





# I GEORGOFILI

Quaderni

2009-VII/2

Sezione Nord Ovest



A<sup>3</sup>E = AGRICOLTURA, ALIMENTAZIONE,  
AMBIENTE, ENERGIA

Prospettive energetiche, sostenibilità  
e miglioramento dell'ambiente

Milano, 25 marzo 2009

Ⓟ

EDIZIONI POLISTAMPA

A cura di: *Giuseppe Pellizzi e Marco Fiala*

Volume pubblicato nell'ambito dell'attività "**Organizzazione e Divulgazione Risultati Giornate di Studio su Agricoltura e Ambiente**" svolta dalla Sezione Nord-Ovest con il sostegno di:



**fondazione  
c a r i p l o**

Copyright © 2011  
Accademia dei Georgofili  
Firenze  
<http://www.georgofili.it>

Proprietà letteraria riservata

Supplemento a «I Georgofili. Atti dell'Accademia dei Georgofili»  
Anno 2009 - Serie VIII - Vol. 6 (185° dall'inizio)

Direttore responsabile: Paolo Nanni

Edizioni Polistampa  
Via Livorno, 8/32 - 50142 Firenze  
Tel. 055 737871 (15 linee)  
[info@polistampa.com](mailto:info@polistampa.com) - [www.polistampa.com](http://www.polistampa.com)  
Sede legale: Via Santa Maria, 27/r - 50125 Firenze

ISBN 978-88-596-0883-7

Servizi redazionali, grafica e impaginazione  
SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA

## INDICE

MARCO FIALA

*Il settore energetico: situazione attuale e scenari futuri.*

*Il ruolo delle bio-energie*

7

PIETRO PICCAROLO

*Le tecnologie energetiche appropriate per il miglioramento*

*delle condizioni nei paesi in via di sviluppo*

45

GIORGIO PROVOLO

*Sostenibilità ambientale dell'uso agronomico di residui*

*dai processi zootecnici e agro-industriali*

63



## Il settore energetico: situazione attuale e scenari futuri. Il ruolo delle bio-energie

### I. IL PRESENTE ENERGETICO

Il mix delle varie fonti di energia primaria impiegate nel pianeta (che, nel 2006, risulta pari a 11.700 Mt<sub>ep</sub>; fig. 1) conferma, da un lato, l'assoluta predominanza dei combustibili fossili (81%) e, dall'altro, la straordinaria "voracità" della trentina di Paesi appartenenti all'OECD che, da soli, utilizzano poco meno della metà (48%) dell'energia primaria totale.

Spiccano poi le posizioni di Cina e Asia<sup>1</sup> che, da sole, consumano ¼ dell'energia primaria mondiale mentre, all'opposto, America Latina e Africa non raggiungono il 10%. È, dunque, un dato oggettivo che, relativamente ai consumi energetici, il pianeta procede a "tre velocità" fra loro diverse per molti ordini di grandezza (tab. 1).

Il ruolo fondamentale giocato dal petrolio ma anche, più recentemente, dal gas naturale evidenziano, inoltre, la macroscopica "dipendenza" fra regioni del mondo, causa di continue, e a volte tragiche, tensioni politico-economiche; infatti e in generale, in termini energetici «i Paesi che più consumano, meno producono e, soprattutto, di minori riserve dispongono per il futuro» (fig. 2).

Le profonde differenze socio-economiche esistenti sul pianeta trovano cruda e puntuale conferma rapportando per ciascun Paese l'energia annualmente consumata (Mt<sub>ep</sub>; TWh) con alcuni semplici parametri (popolazione, PIL, ecc.) e confrontando fra loro i risultati ottenuti (tab. 2).

Sul fronte dei "benefici socio-economici" connessi alla disponibilità di energia primaria vi sono regioni del mondo i cui abitanti mediamente dispon-

\* Dipartimento Ingegneria Agraria, Università degli Studi di Milano

<sup>1</sup> Identificata come tale con esclusione della Cina, considerata a parte nelle statistiche.

FORNTE ENERGETICA	%	Mt <sub>EP</sub>	REGIONE	%	Mt <sub>EP</sub>
Petrolio	34,4%	4.039	OECD	47,1%	5.530
Carbone	26,0%	3.053	Medio Oriente	4,5%	528
Gas naturale	20,5%	2.407	ExUSSR	8,7%	1.021
Nucleare	6,2%	728	NonOECD EU	0,9%	106
Biomasse	10,1%	1.186	ExUSSR & NonOECD EU	9,6%	1.127
Altre Rinn.	0,6%	70	Cina	16,2%	1.902
Biomasse + Altre Rinn.	10,7%	1.256	Asia	11,3%	1.327
Idro	2,2%	258	America Latina	4,5%	528
			Africa	5,2%	611
			Bunkeraggi	1,6%	188
TOTALE	100%	11.741	MONDO	100%	11.741
Fonti fossili	81%	9.498	Paesi OECD	47%	5.530
Fonti non-fossili	13%	1.515	Paesi NonOECD	51%	6.023
Nucleare	6%	728	Bunkeraggi	2%	188

Tab. 1 Anno 2006: impiego di energia primaria ripartito per fonte (a sinistra) e per regione del mondo (a destra) [Fonte: IEA e successive elaborazioni]

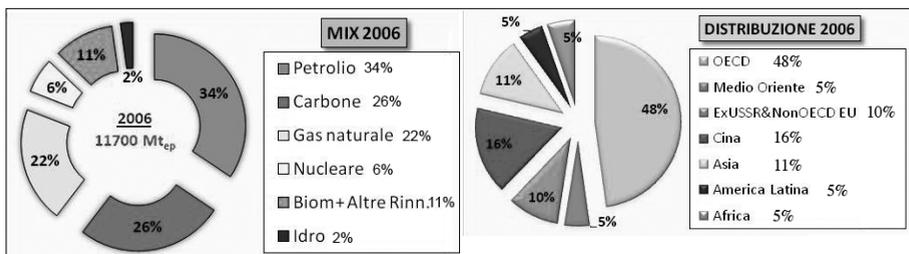


Fig. 1 Anno 2006: impiego di energia primaria ripartito per fonte (a sinistra) e per regione del mondo (a destra)

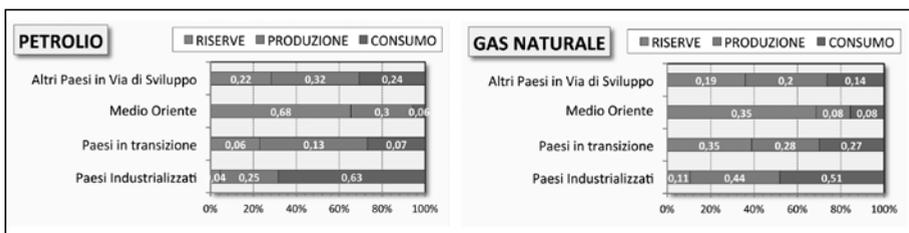


Fig. 2 Petrolio: 5 Paesi possiedono il 63% delle riserve, 10 Paesi l'84%; 5 Paesi producono il 42% del totale, 10 Paesi il 62%; 5 Paesi consumano il 47% del totale, 10 Paesi il 60%. Gas Naturale: 5 Paesi possiedono il 61% delle riserve, 10 Paesi il 75%; 5 Paesi producono il 59% del totale, 10 Paesi il 72%; 5 Paesi consumano il 51% del totale, 10 Paesi il 65% [Fonte: IEA, 2008]

REGIONE/PAESE	POPOLAZ.	PIL	ENERGIA PRODOTTA	IMPORT ENERGIA	CONSUMI ENERGIA PRIMARIA	CONSUMI ELETTRICI (#)	EMISSIONI CO <sub>2</sub> (\$)	CONSUMI ENERGIA PRIMARIA	PROCAPITE ENERGIA PRIMARIA	INTENSITA' ENERGETICA	CONSUMI ELETTRICI PROCAPITE	EMISSIONE SPECIFICA CO <sub>2</sub>	EMISSIONE PROCAPITE CO <sub>2</sub>	EMISSIONE SPECIFICA CO <sub>2</sub>
	POP	mld\$ <sub>2000</sub>	Mt <sub>ep</sub>	Mt <sub>ep</sub>	CEP	CEE	CO <sub>2</sub>	CEP/POP	CEP/POP	CEP/PIL	CEE/POP	CO <sub>2</sub> /CEP	CO <sub>2</sub> /POP	CO <sub>2</sub> /PIL
	milioni				Mt <sub>ep</sub>	TWh	Mt <sub>CO2</sub>	t <sub>ep</sub> /capita	t <sub>ep</sub> /capita	t <sub>ep</sub> /000\$ <sub>2000</sub>	kWh/capita	t <sub>CO2</sub> /t <sub>ep</sub>	t <sub>CO2</sub> /capita	kg <sub>CO2</sub> /\$ <sub>2000</sub>
OECD	1.178	29.169	3.842	1.845	5.537	9.872	12.874	4,70	0,19	0,19	8380	2,33	10,93	0,44
Medio Oriente	189	838	1.529	- 990	523	599	1.291	2,77	0,62	0,62	3169	2,47	6,83	1,54
Ex-USSR	284	568	1.610	-577	1.017	1.274	2.395	3,58	1,79	1,79	4486	2,35	8,43	4,22
Europa Non OECD	54	162	64	45	108	171	271	2,00	0,67	0,67	3167	2,51	5,02	1,67
Cina	1.319	2.315	1.749	161	1.897	2.716	5.648	1,44	0,82	0,82	2059	2,98	4,28	2,44
Asia	2.120	2.139	1.187	176	1.330	1.414	2.718	0,63	0,62	0,62	667	2,04	1,28	1,27
America Latina	455	1.796	704	-169	531	808	972	1,17	0,30	0,30	1776	1,83	2,14	0,54
Africa	937	773	1.110	-489	614	522	854	0,66	0,79	0,79	557	1,39	0,91	1,10
MONDO	6.536	37.759	11.796	-	11.740	17.377	28.003	1,80	0,31	0,31	2659	2,39	4,28	0,74
Italia	58,86	1157	27,43	163,19	184,17	339,18	448,03	3,13	0,16	0,16	5762	2,43	7,61	0,39
Francia	63,2	1468,3	137,02	140,22	272,67	479,33	377,49	4,31	0,19	0,19	7584	1,38	5,97	0,26
Germania	82,37	2011,2	136,76	215,56	348,56	590,98	823,46	4,23	0,17	0,17	7175	2,36	10,00	0,41
Giappone	127,76	5087,1	101,07	431,11	527,56	1.050,13	1.212,7	4,13	0,10	0,10	8220	2,30	9,49	0,24
USA	299,8	11.265,2	1.654,23	730,44	2.320,7	4.052,24	5.696,77	7,74	0,21	0,21	13515	2,45	19,00	0,51
Russia	142,5	373,2	1219,98	-531,12	676,2	872,39	1.587,18	4,75	1,81	1,81	6122	2,35	11,14	4,25
India	1.109,81	703,33	435,64	134,83	565,82	557,97	1.249,74	0,51	0,80	0,80	503	2,21	1,13	1,78
Brasile	189,32	765,13	206,72	20,35	224,13	389,95	332,42	1,18	0,29	0,29	2060	1,48	1,76	0,43
Nigeria	144,72	63,53	235,34	-129,69	105,07	16,85	51,42	0,73	1,65	1,65	116	0,49	0,36	0,81
Qatar	0,82	28,36	94,95	-76,87	18,12	14,11	39,67	22,10	0,64	0,64	17207	2,19	48,38	1,40
Eritrea	4,69	0,75	0,51	0,16	0,7	0,23	0,53	0,15	0,93	0,93	49	0,76	0,11	0,71

Note: (#) Produzione + import – export – perdite trasmissione/distribuzione; (\$) Dovute all'uso di combustibili

Tab. 2 Dati statistici e parametri energetici nelle diverse regioni del mondo e in alcuni Paesi significativi [Fonte: IEA]

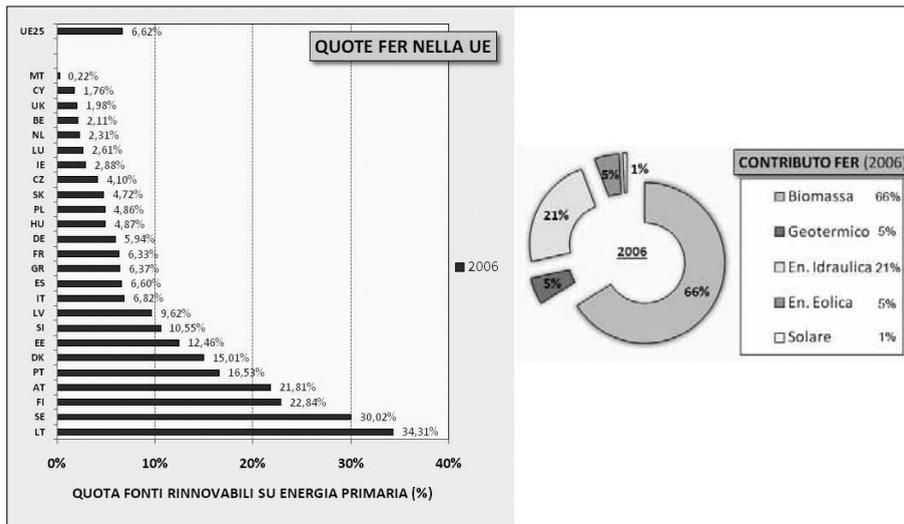


Fig. 3 *A sinistra*: contributo delle Fonti Energetiche Rinnovabili alla copertura dei fabbisogni di energia primaria nei Paesi della UE25 nel 2006. *A destra*: contributo delle differenti fonti [Fonte: EurObserv'ER 2007]

gono 7 volte l'energia ( $t_{ep}$ /anno-capite) che hanno altri; nel caso dell'energia elettrica (kWh/anno-capite) la differenza addirittura raddoppia, raggiungendo le 15 volte.

Ma anche sotto il profilo delle "responsabilità climatiche" correlabili all'impiego di energia il mondo dimostra tutta la sua diversità: il carico di emissioni di CO<sub>2</sub> addebitabili a un abitante ( $t_{CO2}$ /anno-capite) dell'Africa è al momento mediamente 12 volte minore rispetto a quello di un Paese Industrializzato.

Naturalmente, la "forbice" si apre in modo ancor più marcato se i confronti si fanno fra singoli Paesi. Tali aspetti sono solo una componente, sebbene abbastanza indicativa, delle difficoltà che la politica incontrerà nel trovare accordi internazionali che si basino su richieste e aspettative di sviluppo in grado di soddisfare tutti.

Analizzando con maggior risoluzione l'attuale situazione energetica mondiale, per quanto riguarda l'Europa va innanzitutto evidenziato come l'obiettivo fissato nel *Libro Bianco*<sup>2</sup> – che prevedeva di coprire nel 2010 almeno il 12% dei fabbisogni di energia primaria mediante Fonti Energetiche Rinnovabili (FER) – non sarà raggiunto.

Difatti, nella UE25 al 2006, il contributo delle FER alla "bolletta energetica" risulta, mediamente, del 6,6%, con punte del 30% in Svezia e minimi

<sup>2</sup> Una politica energetica per l'Unione Europea, gennaio 1996.

	EOLICO (MW <sub>e</sub> )	SOLARE FOTOVOLTAICO (MW <sub>p</sub> )	SOLARE TERMICO (MW <sub>t</sub> )	BIOGAS (kt <sub>ep</sub> )	CONSUMO BIO- CARBURANTE (kt <sub>ep</sub> )	BIOMASSE SOLIDE (kt <sub>ep</sub> )
Italia	2.213	5.181	606	354	177	1.967
UE25	48.009	3.127	14.280	5.142	2.992	62.413

Tab. 3 Anno 2006: contributo delle Fonti Energetiche Rinnovabili in Italia e nella UE a 25

del 1,8% a Cipro (fig. 3, a sinistra). Relativamente alle differenti tecnologie impiegate (fig. 3, a destra), la quota maggiore è fornita dalle biomasse (solide e bio-carburanti) con il 66%. Seguono l'energia idraulica (23%), la geotermica e l'eolica (6% ciascuna) e il solare (termico e FV) con meno dell'1%.

In Italia, nel 2006, il contributo complessivo delle FER raggiunge il 6,82% e, come tale, si allinea alla media comunitaria, presentando i contributi riportati in tabella 3.

Un secondo obiettivo previsto dal *Libro Bianco* riguarda il progressivo ricorso alle FER per la produzione di EE che, nell'Europa del 2010, avrebbe dovuto raggiungere il 21% dei consumi totali di elettricità. Purtroppo anche questo obiettivo non verrà centrato in quanto, nel 2006, l'elettricità generata da FER (principalmente ricorrendo a: eolico, biomasse e biogas) segna a malapena il 14,6% del totale.

I risultati dell'Italia anche in questo caso non risultano particolarmente brillanti, raggiungendo soltanto quota 14,8%.

Non va, da ultimo, dimenticato che la UE nel 2007 si è formalmente (ma unilateralmente) impegnata – e ha emesso un pacchetto di misure attuative – a raggiungere entro il 2020, i seguenti ambiziosi obiettivi: (a) consumo finale di energia primaria sostenuto per 20% da FER; (b) riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera del 20%; (c) miglioramento dell'efficienza degli impianti energetici del 20%; (d) utilizzazione del 10% di bio-combustibili nei carburanti utilizzati nel settore dei trasporti.

## 2. IL BIVIO

Secondo il parere unanime dei più autorevoli esperti, il sistema energetico mondiale si trova oggi di fronte a una decisione da prendere assai urgente, la cui importanza non ha precedenti nella storia dell'uomo sul pianeta per le conseguenze sulla stessa possibilità di sopravvivenza.

Tale decisione, che presuppone di raccogliere sfide diffusamente ritenute di “dimensioni impressionanti” è sinteticamente causata dalla palese insoste-

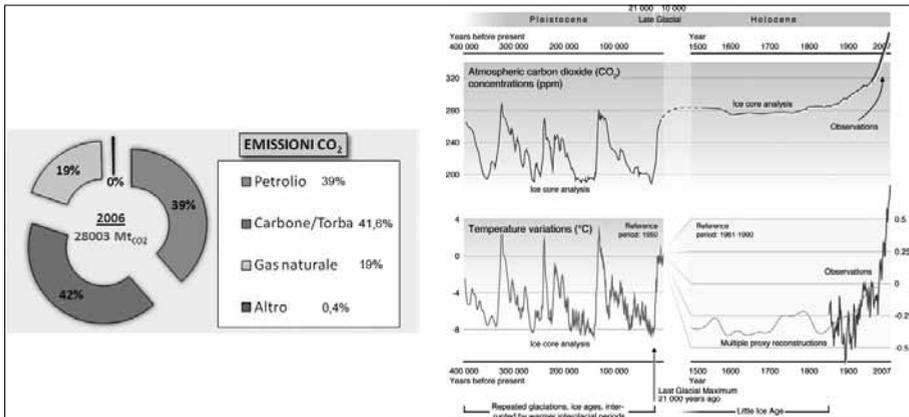


Fig. 4 *A sinistra*: emissioni equivalenti di CO<sub>2</sub> da soli combustibili nel 2006; esse rappresentano poco più del 60% delle emissioni equivalenti totali che raggiungono 46 Gt<sub>CO2</sub>. *A destra*: andamento storico della concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera

nibilità degli attuali consumi di energia con l'ambiente, che – come noto – si esplicita in molteplici forme e manifestazioni ed è sostanzialmente riconducibile all'aumento esponenziale nell'atmosfera della concentrazione di gas a effetto serra, registratosi a partire dal 1800 ovvero l'era dei combustibili fossili (fig. 4).

La “rivoluzione energetica” dalla quale – ormai è affermazione certa – non può prescindere il futuro benessere del pianeta si traduce nell'attuare due azioni – o meglio sfide – tanto semplici da enunciare quanto imponenti da realizzare:

1. assicurare a tutti i Paesi una offerta di energia affidabile a prezzi accettabili che permetta di pianificare lo sviluppo e il progresso di ciascuno di essi;
2. decarbonizzare con grande rapidità le fonti energetiche mondiali, al fine di evitare conseguenze irreparabili sul clima.

La prima sfida fa, fondamentalmente, capo alla “politica” che è chiamata a: – individuare strategie condivise da tutti i Governi che si traducano in azioni decise, a livello nazionale e locale, rivolte a tutti i settori produttivi e da attuare senza possibilità di deroga o ritardo di sorta.

Per quanto invece concerne il secondo obiettivo, dal punto di vista tecnologico la riduzione delle emissioni di gas serra presuppone:

- il progressivo miglioramento dell'efficienza degli impianti di trasformazione;
- l'impiego sempre più massiccio sia di fonti rinnovabili, sia di tecnologie a basso impatto (*Low-Carbon Technologies, LCT*);
- il ricorso a tecniche di cattura e stoccaggio del carbonio (*Carbon Capture and Storage, CCS*).

Quale, fra queste due sfide, sia la più ardua da raccogliere e da condurre è difficile da stabilire.

Infatti, da un lato, l'attuale dibattito politico fornisce continue prove dell'evidente incapacità al confronto e alla soluzione condivisa di problemi pratici di carattere energetico-climatico, dall'altro, soprattutto fra l'opinione pubblica dei Paesi industrializzati si assiste a una crescente consapevolezza delle dimensioni della questione ambientale e della ristrettezza del tempo rimasto per agire.

Un nuovo accordo internazionale sul clima è un passo imprescindibile verso la sostenibilità del sistema energetico, ma l'efficacia della sua realizzazione è altrettanto cruciale; qualsiasi ritardo significherebbe un aumento dei costi finali per il raggiungimento degli obiettivi climatici.

Quest'ultimo aspetto, insieme alla sempre più diffusa coscienza ambientale, potrebbero essere fattori decisivi (e particolarmente convincenti) per l'intera classe politica internazionale.

### 3. IL FUTURO ENERGETICO

La consapevolezza di essere giunti a un bivio ineludibile ma anche, o forse più realisticamente, la percezione delle enormi difficoltà che si frappongono alla messa in moto delle sfide sul tappeto precedentemente ricordate, fa sì che la quasi totalità degli scenari energetici futuri che vengono proposti da più parti prospettino due situazioni assai diversificate.

La prima – definibile, di continuità e, quindi, di sostanziale immobilismo rispetto alle grandi tematiche climatiche – non prevede siano messi in essere sostanziali cambiamenti delle politiche energetiche planetarie (*business as usual*).

Questa possibile evoluzione – sebbene catastrofica per le conseguenze nel breve-medio termine sulla vita della Terra – si prospetta come lo scenario al quale fare riferimento per quantificare l'efficacia del pacchetto di interventi coordinati e internazionalmente condivisi che dovrebbe – questo è l'auspicio di tutti – mettersi in moto senza più indugio e condurre progressivamente il pianeta verso la piena sostenibilità, per garantendo appropriati livelli di sviluppo e crescita economica a tutti i Paesi. Alcuni “scenari di riferimento” limitano l'analisi ai prossimi 20-25 anni, altri fanno proiezioni a più lungo termine, arrivando al 2050 o, addirittura, a fine secolo.

I risultati prospettati dagli scenari di riferimento permettono di definire percorsi evolutivi diversi, più faticosi ma virtuosi e meno impattanti, che configurano il raggiungimento della sostenibilità energetico-ambientale (“scenari alternativi”).

Essi sono, quindi, caratterizzati da uno spiccato dinamismo, dal possesso di una strategia predefinita, dalla capacità politica di operare scelte, alimentati da una condizione di *agreement* internazionale. Pertanto, tutti questi scenari migliorativi – anch’essi proposti con diverse gittate temporali – innescano, sebbene con tempi, intensità e priorità differenziate a seconda dei vari punti di vista, azioni che nel loro complesso danno sostanza alla “rivoluzione energetica” precedentemente menzionata.

### 3.1 *Scenari di Riferimento*

Lo Scenario di Riferimento al 2030 prospettato dallo IEA<sup>3</sup> si qualifica per l’impressionante incremento della domanda di energia primaria che, passando da 11.700 Mt<sub>ep</sub> nel 2006 a 17.700 Mt<sub>ep</sub> nel 2030, segna un aumento del 51% (tab. 4).

Analizzando più in dettaglio l’autorevole previsione, è interessante rilevare che (fig. 5):

- il mix energetico nel 2030 si presenta sostanzialmente analogo a quello del 2006, ricorrendo ancora per oltre l’80% ai combustibili fossili;
- il consumo di petrolio cresce (+38%) e resta ancora la principale fonte di approvvigionamento. I consumi di carbone e gas naturale aumentano in misura sensibilmente maggiore (+64%), coprendo il 60% dell’aumento complessivo della domanda energetica mondiale. Tali risorse, rispettivamente, rappresentano la 2<sup>a</sup> (28%) e la 3<sup>a</sup> (22%) fonte energetica del pianeta. La maggior parte dell’aumento del consumo di gas naturale è richiesto dal settore elettrico, mentre addirittura l’85% dell’aumento di consumo di carbone è destinato alla produzione di energia elettrica di Cina e India;
- le biomasse e le altre rinnovabili (solare, eolica, geotermica, talassica), nel loro complesso, pur segnando un sensibile aumento (+52%) e confermandosi la 4<sup>a</sup> risorsa energetica del pianeta, giocano un ruolo non predominante nel sostenere l’aumento complessivo della domanda. Da segnalare, tuttavia, che a esclusione delle biomasse, le rinnovabili moderne crescono complessivamente più velocemente di ogni altra fonte, concentrandosi l’aumento soprattutto nel settore della generazione di Energia Elettrica (dall’1% del totale prodotto nel 2006 al 4% nel 2030).

Sempre nel contesto di questo Scenario di Riferimento, non meno importante è osservare le significative variazioni dalla distribuzione della domanda

<sup>3</sup> International Energy Agency.

FONTE ENERGETICA	%	Mt <sub>EP</sub>	REGIONE	%	Mt <sub>EP</sub>
Petrolio	31,5%	5.582	OECD	38,4%	6.805
Carbone	28,2%	4.997	Medio Oriente	5,8%	1.028
Gas naturale	22,3%	3.952	ExUSSR		nd
Nucleare	4,8%	851	NonOECD EU		nd
Biomasse		nd	ExUSSR & NonOECD EU	8,1%	1.435
Altre Rinn.		nd	Cina	21,6%	3.828
Biomasse + Altre Rinn.	10,8%	1.914	Asia	14,7%	2.605
Idro	2,4%	425	America Latina	4,9%	868
			Africa	5,3%	939
			Bunkeraggi	1,2%	213
TOTALE	100%	17.721	MONDO		17.721
Fonti fossili	82%	14.531	Paesi OECD	38%	6.805
Fonti non-fossili	13%	2.339	Paesi NonOECD	61%	10.703
Nucleare	5%	851	Bunkeraggi	1%	213

Tab. 4 Anno 2030: impiego di energia primaria ripartito per fonte (a sinistra) e per regione del mondo (a destra), nel caso non sia presa alcuna iniziativa in favore della sostenibilità energetica e del miglioramento climatico del pianeta (Scenario di Riferimento) [Fonte: IEA e successive elaborazioni]

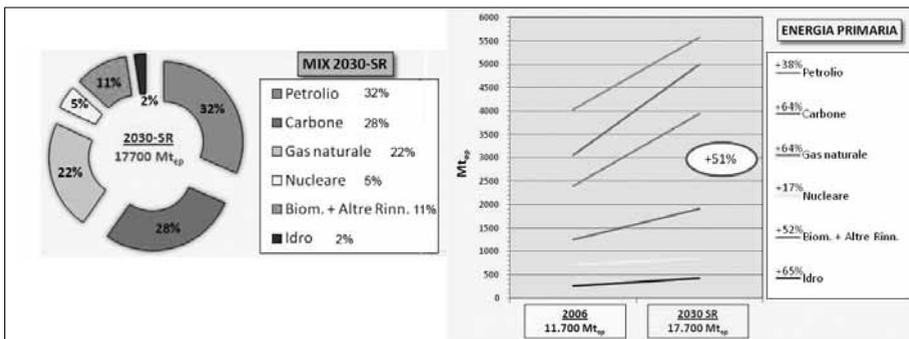


Fig. 5 Scenario Riferimento 2030: impiego di energia primaria ripartito per fonte (a sinistra) e relative variazioni (a destra)

di energia primaria nelle varie macro-aree e/o regioni della Terra che si registrano nell'arco temporale 2006-2030 (fig. 6).

Più in particolare:

- i Paesi OECD – pur restando i più energivori in assoluto – si caratterizzano per un aumento “contenuto” dei propri consumi (+23%), riducendo di quasi 9 punti percentuali la loro incidenza sul bilancio energetico mondiale-

le. Incidenza che, di fatto, si trasferisce a Cina e Asia che – lanciate in un trend di sviluppo senza paragoni e conseguentemente andando a colmare l'attuale loro gap energetico – evidenziano aumenti di energia primaria scioccanti (rispettivamente, +101% e +96%) e motivano più della metà (3.200 Mt<sub>ep</sub>) dell'aumento mondiale di energia nel periodo considerato. Analogamente, il Medio Oriente, confermando le proprie formidabili prospettive di sviluppo, compie un balzo in avanti nei consumi (+95%); al contrario, pur essendo le regioni socialmente ed economicamente più arretrate del pianeta, America Latina e Africa presentano incrementi di energia primaria molto meno eclatanti (rispettivamente, +64% e +54%), segnale abbastanza inequivocabile di un divario che al 2030 appare non solo confermato ma, forse anche, peggiorato;

- la corsa all'urbanizzazione risulta inarrestabile e le metropoli e le città consolidano il loro primato nel consumare l'energia che muove il mondo: se nel 2006 i centri urbani ne assorbono circa il 67% (8.000 Mt<sub>ep</sub>, in cifra tonda), nel 2030 si sale al 75% (13.200 Mt<sub>ep</sub>).

Le diverse regioni del mondo, affrontano e poggiano il loro sviluppo 2006-2030, su fonti energetiche diverse (fig. 7); Cina e India identificano nel carbone e nel petrolio le fonti cruciali, Medio Oriente su petrolio e gas naturale. Indicativa la posizione dei Paesi OECD che, accanto al gas naturale, prevedono un forte sviluppo di biomasse e altre rinnovabili.

Qualora, malauguratamente, prendesse corpo e si compisse lo Scenario di Riferimento, gli effetti sul clima mondiale sarebbero catastrofici e irreversibili: le emissioni di CO<sub>2</sub> e degli altri gas a effetto serra passerebbero nel periodo 2006-2030 da 44 a 60 Gt<sub>CO2</sub>/anno, pari a un aumento del 35% (addirittura, le emissioni dovute al solo uso di energia registrerebbero un incremento del 45%, passando da da 27 a 41 Gt<sub>CO2</sub>/anno). Ciò anche a causa ridotta applicazione delle tecnologie CCS alle centrali elettriche.

Tale trend di crescita comporterebbe, entro la fine del secolo, il raddoppio della concentrazione di gas serra nell'atmosfera (circa 1.000 ppm di CO<sub>2</sub> equivalente) con conseguente incremento della temperatura media del pianeta valutato dallo IEA in 6 °C.

Sebbene il 97% dell'aumento di CO<sub>2</sub> da sola energia proviene dai Paesi non-OECD e il 75% (poco meno di 10 Gt<sub>CO2</sub>) da Cina, India e Medio Oriente, le emissioni pro-capite dei Paesi OECD restano estremamente più elevate rispetto a quelle degli altri Paesi e, nel 2030, solo in Europa e Giappone risultano inferiori ai livelli 2006. Per quanto detto in precedenza sul fenomeno dell'urbanizzazione, la maggior parte dell'incremento delle emissioni di CO<sub>2</sub> da energia avverrà nelle città e nelle aree metropolitane.

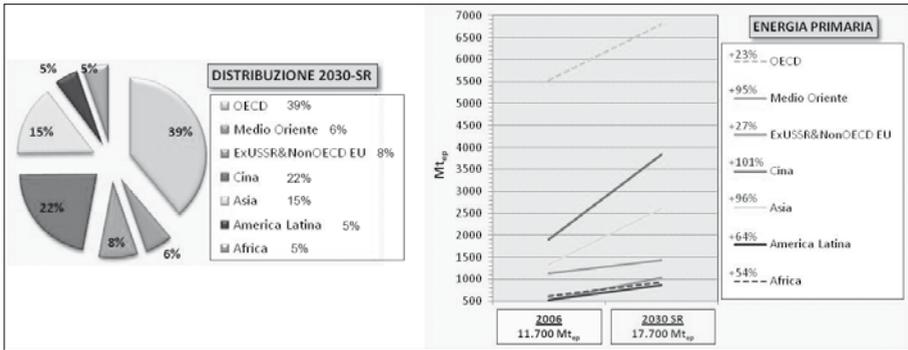


Fig. 6 Scenario Riferimento 2030: distribuzione della domanda di energia primaria per regione del mondo (a sinistra) e relative variazioni (a destra)

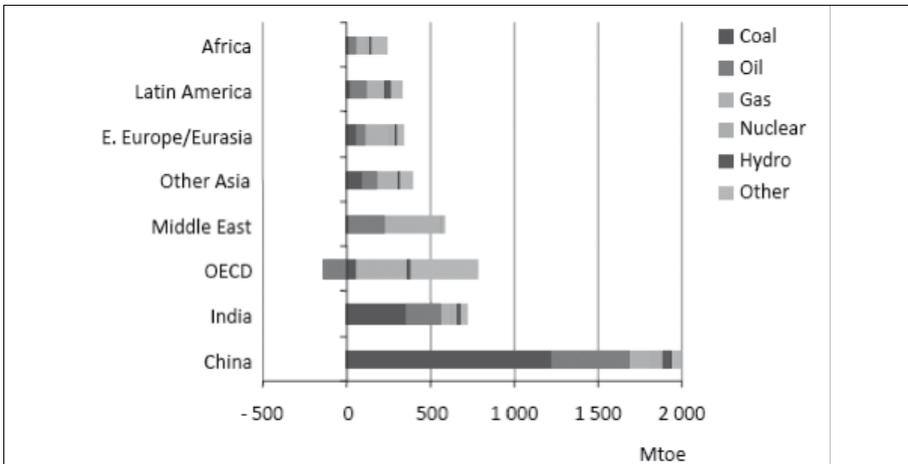


Fig. 7 Scenario Riferimento 2030: variazione della domanda di energia primaria nelle regioni del mondo suddivisa per fonte [Fonte: IEA]

### 3.2 Scenari alternativi

Gli scenari per uno sviluppo alternativo del pianeta e del suo stato di salute sono ormai numerosi e vengono proposti a ritmo serrato da vari Enti di Ricerca, Agenzie Governative, nonché da privati.

Si tratta di modelli di calcolo estremamente complessi e articolati chiamati a considerare innumerevoli aspetti, variabili e/o parametri di analisi con previsioni modulate su target ambientali predefiniti e spesso riconducibili alla stabilizzazione nel medio termine della concentrazione media nell'atmosfera

FORTE ENERGETICA	%	Mt <sub>ep</sub>	REGIONE	%	Mt <sub>ep</sub>
Petrolio	31,1%	4.909	OECD	39,9%	6.297
Carbone	23,4%	3.693	Medio Oriente	5,5%	868
Gas naturale	21,8%	3.441	ExUSSR		nd
Nucleare	6,8%	1073	NonOECD EU		nd
Biomasse		nd	ExUSSR & NonOECD EU	8,2%	1.294
Altre Rinn.		nd	Cina	20,6%	3.251
Biomasse + Altre Rinn.	14,0%	2.210	Asia	14,2%	2.241
Idro	2,9%	458	America Latina	4,9%	773
			Africa	5,4%	852
			Bunkeraggi	1,3%	205
TOTALE	100%	15.783	MONDO		15.783
Fonti fossili	76%	12.042	Paesi OECD	40%	6.297
Fonti non-fossili	17%	2.667	Paesi NonOECD	59%	9.280
Nucleare	7%	1.073	Bunkeraggi	1%	205

Tab. 5 Anno 2030: impiego di energia primaria ripartito per fonte (a sinistra) e per regione del mondo (a destra), nel caso in cui vengano assunte iniziative in favore della sostenibilità energetica e per contenere le emissioni a 550 ppm di CO<sub>2</sub> equivalenti (Scenario Alternativo 550 ppm) [Fonte: IEA e successive elaborazioni]

dei gas a effetto serra (in termini di CO<sub>2</sub> equivalenti) su valori predefiniti (scenario a 450 ppm; scenario a 550 ppm, ecc.).

Lo IEA prospetta per il 2030 uno Scenario Alternativo a quello di Riferimento (brevemente descritto in precedenza), associato alla stabilizzazione delle emissioni a 550 ppm, corrispondenti a un aumento medio della temperatura mondiale di 3 °C.

Secondo tale Scenario Alternativo 550 ppm, tale concentrazione limite verrebbe raggiunta intorno al 2020 e nel successivo decennio si stabilizzerebbe; il risultato più eclatante sarebbe che in tutti i Paesi attualmente maggiormente inquinanti<sup>4</sup> il livello di emissioni complessive (energia + altre cause) risulterebbe significativamente più basso. Considerando l'andamento delle sole emissioni dovute ai consumi energetici, se tutti i Paesi sapessero varare nuove ed efficaci politiche, le emissioni mondiali aumenterebbero "solo" fino a 34 Gt<sub>CO<sub>2</sub></sub>/anno (1/5 in meno rispetto alle 42 Gt<sub>CO<sub>2</sub></sub>/anno proprie dello Scenario di Riferimento, ma comunque superiori del 22% rispetto alle 27 Gt<sub>CO<sub>2</sub></sub>/anno del 2006).

Sul piano energetico, lo Scenario Alternativo 550 ppm si caratterizzerebbe per una domanda complessiva di energia primaria di 15.780 Mt<sub>ep</sub> (tab. 5), presentando un aumento molto più contenuto rispetto a quello dello Scenario di Riferimento (+34% contro +51%).

<sup>4</sup> Attualmente, Cina, USA, UE, India e Russia producono 2/3 delle emissioni complessive.

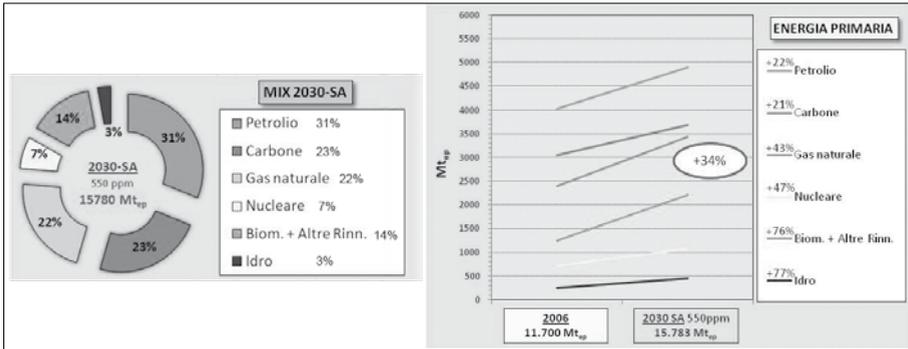


Fig. 8 Scenario Alternativo 2030 con emissioni CO<sub>2</sub> a 550 ppm: impiego di energia primaria ripartito per fonte (a sinistra) e relative variazioni (a destra)

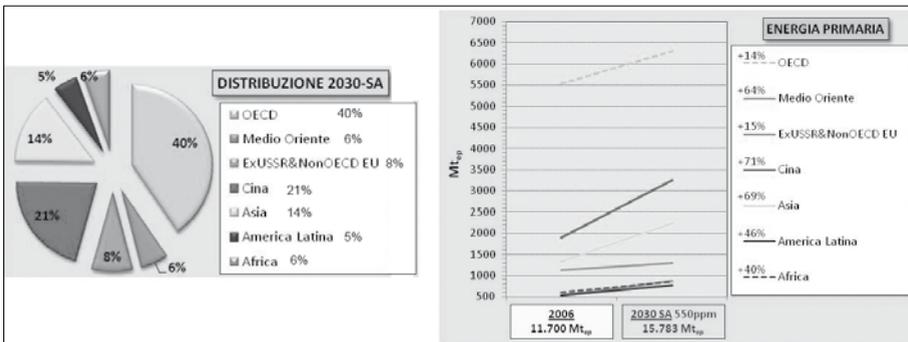


Fig. 9 Scenario Alternativo 2030 con emissioni CO<sub>2</sub> a 550 ppm: distribuzione della domanda di energia primaria per regione del mondo (a sinistra) e relative variazioni (a destra)

Il mix energetico si presenterebbe sensibilmente modificato, con i combustibili fossili che perderebbero di importanza a favore delle rinnovabili e del nucleare (fig. 8, a sinistra).

Petrolio, carbone e gas naturale mostrerebbero ancora cospicui incrementi nel consumo (rispettivamente, +22%, +21% e +43%), ma essi risulterebbero decisamente meno marcati se paragonati allo Scenario di Riferimento (fig. 9, a destra).

Il minor ricorso alle fonti fossili, soprattutto al carbone, si ripercuoterebbe positivamente sul sopraccennato contenimento delle emissioni totali, favorito anche dalla buona diffusione di tecnologie CCS (centrali elettriche per 160 GW).

Viceversa, le biomasse e le rinnovabili – a seguito della maturazione delle tecnologie ma, soprattutto, per la presenza di specifiche azioni governative

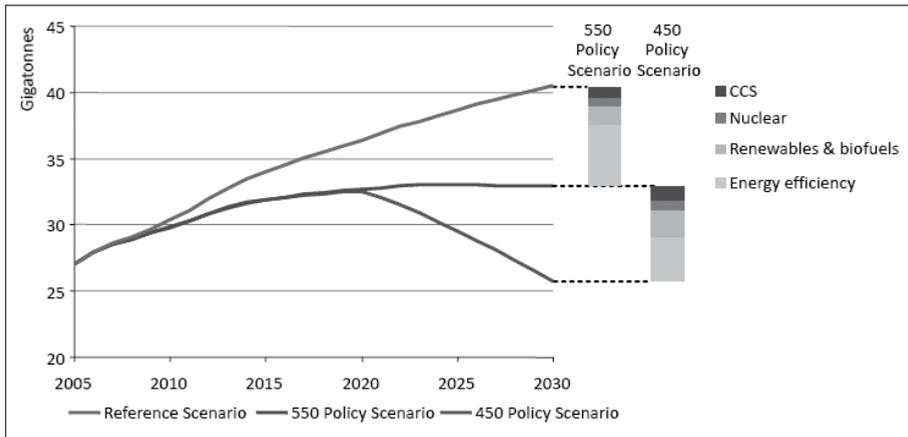


Fig. 10 *Andamento delle emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti da consumo energetico nei vari scenari e ruolo giocato dalle diverse tecnologie. Rispetto allo Scenario di Riferimento (40,5 Gt<sub>CO2</sub> nel 2030), il contenimento delle emissioni a 34 Gt<sub>CO2</sub> (Scenario Alternativo 550 ppm) è imputabile a: aumento dell'efficienza energetica per 5,0 Gt<sub>CO2</sub>/anno; fonti rinnovabili e biocarburanti per 1,7 Gt<sub>CO2</sub>/anno; nucleare per 0,6 Gt<sub>CO2</sub>/anno; tecnologie CCS per 0,6 Gt<sub>CO2</sub>/anno. L'ulteriore contenimento delle emissioni a 23 Gt<sub>CO2</sub> (Scenario Alternativo 450 ppm) è ascrivibile ai seguenti contributi aggiuntivi: aumento dell'efficienza energetica per 3,8 Gt<sub>CO2</sub>/anno; fonti rinnovabili e biocarburanti per 2,4 Gt<sub>CO2</sub>/anno; nucleare per 0,7 Gt<sub>CO2</sub>/anno; tecnologie CCS per 1,0 Gt<sub>CO2</sub>/anno. [Fonte: IEA]*

di sostegno e il contestuale aumento del greggio (che raggiungerebbe circa 100 US\$<sub>2007</sub> a barile, -20% rispetto alla Scenario di Riferimento) – avrebbero l'opportunità di rimuovere la propria dipendenza da sussidi e incentivi e di permettere l'espansione delle tecnologie su larga scala.

Questi sono i motivi per il loro deciso incremento (+75%) che, da solo, varrebbe ¼ dell'aumento complessivo della domanda di energia primaria.

Poiché, come brevemente accennato, anche nello Scenario Alternativo 550 ppm le emissioni di CO<sub>2</sub> risulterebbero comunque superiori a quelle attuali, lo IEA individua anche un percorso capace di stabilizzare nel 2030 delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente a 450 ppm (Scenario Alternativo 450 ppm) che – a fronte di trasformazioni tecnologiche di portata e velocità di diffusione senza precedenti – porterebbe le emissioni nel 2030 a 23 Gt<sub>CO2</sub>/anno, associate a un aumento della temperatura media mondiale limitato a 2 °C.

Per raggiungere questo ambizioso obiettivo occorrerebbe tuttavia fare pieno ricorso alle tecnologie CCS, al nucleare di 4<sup>a</sup> generazione e alle biomasse/ fonti rinnovabili; tuttavia, sarebbe l'aumento dell'efficienza energetica che giocherebbe di gran lunga il ruolo più importante (fig. 10).

Le biomasse e le FER, in questo contesto, conoscerebbero uno sviluppo intenso nel settore elettrico arrivando a contare nel 2030 fino al 40% della generazione elettrica mondiale.

#### 4. LE TECNOLOGIE ENERGETICHE

Molte sono le tecnologie già disponibili e mature, sia sul fronte della rinnovabili vere e proprie (solare, eolico, geotermico), sia sul fronte dell'impiego delle biomasse per la generazione diretta o indiretta di bio-energia a livello centralizzato o distribuito nel territorio; le caratteristiche salienti delle tecnologie che attualmente rivestono la maggior importanza anche sotto il profilo commerciale sono riassunte in tabella 6.

Inoltre, è indispensabile sottolineare come in tutto il mondo siano in atto innumerevoli studi e progetti mirati a sperimentare nuove soluzioni tecnologiche, migliorare l'efficienza dei processi, ridurre i costi di investimento e i costi di gestione, ottimizzare le filiere eliminando sprechi energetici e/o migliorandone i punti critici.

Tale straordinaria vivacità che caratterizza ogni branca del settore energetico certamente contribuirà – in pochi anni – ad ampliare l'offerta di soluzioni convenientemente praticabili e a rendere sempre più efficienti, affidabili e meno costose le tecnologie attualmente già diffuse.

La descrizione basilare delle più importanti tecnologie basate sull'impiego delle Fonti Energetiche Rinnovabili nonché il contributo energetico da esse attualmente fornito è indicato nelle “Schede Tecnologiche”, riportate sottoforma di Allegato al presente contributo.

#### 5. CONCLUSIONI

Il ruolo che giocheranno le biomasse e le altre rinnovabili nel futuro energetico del pianeta non è in discussione.

Qualsiasi scenario, dal più irresponsabile (e, dunque, devastante) al più difficoltoso (e, dunque, benefico) coglie le grandi potenzialità legate a queste fonti che, pertanto, diventano un passaggio obbligato mediante il quale – nel 2030 – immettere nel sistema energetico mondiale da 1.900 (Scenario di Riferimento) a 2.200 (Scenario Alternativo 550 ppm)  $Mt_{ep}$ /anno, raggiungendo una fetta del mix planetario variabile tra 11% e 14%.

FONTE	TECNOLOGIE FILIERA	MICRO-GENERAZIONE				MACRO-GENERAZIONE			DESTINAZIO- NE PRINCIPALE
		DIFFUS.	TIPO (\$)	IMPIANTI	DESTINAZIONE PRINCIPALE	DIF- FUS.	TIPO (\$)	IMPIANTI	
SOLE	Fotovoltaico	+++	EE	Moduli FV	Autoconsumo, rete elettrica	+	EE	Campi FV	Rete elettrica
	Solare termico	+++	ET	Collettore piani	Autoconsumo	+	EE, ET	Collettori concentra- tori (olio diatermico, sali fusi)	Rete elettrica
VENTO	Eolico	+	EE	Minigeneratori	Autoconsumo, rete elettrica	+++	EE	Aerogeneratori	Rete elettrica
	Geotermia	+	ET	Pompa calore	Autoconsumo	+	EE ET	Centrali termoelet- triche	Rete elettrica Reti TLR
COLTURE ENERGETICHE OLEAGINOSE (colza, girasole, soia, palma, jathropa)	Olio puro	+	EE+ET	Imp. estrazione + motori	Rete elettrica	+++	FUEL	Imp. estrazione/raf- finaz.	Trasporti
	Biodiesel								
COLTURE ENERGETICHE AMIDACEE/ ZUCCHERINE (canna zucchero, mais, sorgo)	Bioetanolo1° g.								
	Bioetanolo2° g.								
BIOMASSE CELLULOSICHE, MICROAL- GHE	Bio-Idrogeno	+	FUEL	Digestori	Vettore energetico				
	Biogas	+++	EE+ET FUEL	Imp. fermentaz. + motori Imp. fermentaz.	Rete elettrica Reti gas	+	FUEL	Imp. fermentaz.	Trasporti
BIOMASSE RESIDUALI UMIDE (reflui, scarti agro-alimentari, FORSU)		+++	ET ET+EE	Gen. termici domestici Gen. termici consortili	Autoconsumo Rete elettrica, reti TLR	+++	EE+ET	Centrali termoelet- triche	Rete elettrica
		++	EE	Gassificatori Pirolicizzatori	Autoconsumo, rete elettrica	+	EE, ET FUEL	Gassificatori Pirolicizzatori	Rete elettrica Trasporti

Tab. 6 Principali tecnologie e filiere: forme di energia prodotte e impianti utilizzati sia nella micro-generazione (distribuita), sia nella macro-generazione (centralizzata)  
Note: (\$) EE = Energia Elettrica; ET = Energia Termica; FUEL = Biocarburante

Nel primo caso, tuttavia, il loro impiego risulterebbe incontrollato e obbedirebbe prevalentemente alla logica di massimizzare lo sfruttamento delle risorse, senza alcun limite e/o vincolo e, dunque, generando nuove problematiche e competizioni di non poco conto.

Viceversa, nel secondo caso, il ricorso alle rinnovabile e alle bio-energie, ancorché più intenso e differenziato, risulterebbe un importantissimo tassello di un sistema complesso nel quale tutte le risorse disponibili fornirebbero il loro contributo in modo equilibrato e armonioso, diventando esse stesse vettori di sviluppo e, dunque, con ricadute positive in termini socio-economici e con effetti durevoli e capitalizzati.

Nel documento *State of the World – 2008*, si legge: «*abbiamo bisogno di un sistema economico che sia fermamente messo al sicuro entro i limiti ecologici della Terra; un sistema economico diversificato, adattabile, capace di reagire alla difficoltà. Tutti questi obiettivi possono essere ricompresi entro il concetto di sviluppo sostenibile*».

Le bio-energie vanno proprio in questa direzione essendo in grado di coniugare sviluppo economico e progresso sociale, coinvolgendo produttori di tutti i Paesi e consegnando loro gran parte del valore aggiunto che si genera lungo le filiere produttive. Inoltre, alla produzione di bio-energia si associa di norma anche una elevata attenzione verso l'ambiente facendo sì che il recupero e la successiva trasformazione delle biomasse possa generare cura e manutenzione del territorio e porti a soluzione numerosi questioni ambientali locali ancora aperte.

#### BIBLIOGRAFIA

- BRITISH PETROLEUM (BP) (2008): *Statistical Review of World Energy*, June, pp. 48, [www.bp.com](http://www.bp.com).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2008): *The State of Food and Agriculture*, [www.fao.org](http://www.fao.org).
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2008): *World Energy Outlook*, [www.iea.org](http://www.iea.org).
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2008): *Key World Energy Statistics*, pp. 82, [www.iea.org](http://www.iea.org).
- ROYAL DUTCH SHELL, *Shell energy scenario to 2050*, pp. 50, [www.shell.com](http://www.shell.com).
- Photovoltaic Energy Barometer*, EurObserv'ER, [www.eurobserv-er.org](http://www.eurobserv-er.org).
- Wind Energy Barometer*, EurObserv'ER, [www.eurobserv-er.org](http://www.eurobserv-er.org).
- Solid Biomass Barometer*, EurObserv'ER, [www.eurobserv-er.org](http://www.eurobserv-er.org).
- Solar Thermal Barometer*, EurObserv'ER, [www.eurobserv-er.org](http://www.eurobserv-er.org).
- Biogas Barometer*, EurObserv'ER, [www.eurobserv-er.org](http://www.eurobserv-er.org).
- Biofuels Barometer*, EurObserv'ER, [www.eurobserv-er.org](http://www.eurobserv-er.org).

# Allegati - FER: SCHEDE TECNOLOGICHE

## SOLARE TERMICO

**Descrizione:** intercettazione della radiazione solare da parte di differenti tipologie di collettori e trasmissione dell'Energia Termica (ET) assorbita a un fluido termovettore (acqua, aria, oli diatermici) in essi circolante e trasporto/cessione del calore all'utenza.

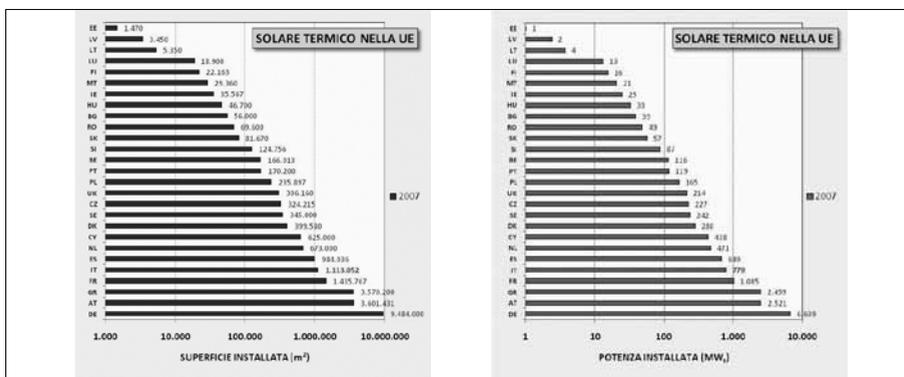
**Tipologie impiantistiche:** i collettori solari più diffusi si suddividono in: (a) vetrati piani; (b) vetrati sotto vuoto; (c) non vetrati (scoperti); (d) a concentrazione. In relazione al circuito del fluido termovettore gli impianti si suddividono in: (a) a circuito aperto; (b) a circuito chiuso (che rappresentano la quasi totalità degli impianti esistenti) che, a loro volta, risultano a circolazione: (b1) naturale; (b2) forzata.

**Impieghi principali:** micro-generazione di ET a bassa temperatura (45-65 °C) per riscaldamento acqua a uso sanitario; riscaldamento edifici; raffrescamento edifici; riscaldamento di acqua piscine.

**Rendimento medio:** 45-60%, in relazione alla tipologia di collettore.

**Situazione mondiale: -**

**Situazione UE (2007):** nella UE27 la superficie complessivamente installata è pari a circa 23,9 milioni di m<sup>2</sup>, pari a una potenza termica di 16.750 MW<sub>t</sub><sup>5</sup>.



UE27 (anno 2007), solare termico: superficie (a sinistra) e potenza totale installata [Fonte: EurObserv'ER]

<sup>5</sup> Sulla base di una potenza media specifica media di 0,7 KW/m<sup>2</sup>

Germania, Austria e Grecia sono le tre nazioni europee con la maggior superficie installata in assoluto; a fronte di una media UE27 pari a 48,7 m<sup>2</sup> installati ogni 1.000 abitanti, Cipro è il Paese che raggiunge il valore più elevato (803 m<sup>2</sup>/1.000ab).

Nel 2007 sono stati installati 2.912.124 m<sup>2</sup> pari a 2.038 MW<sub>t</sub> (85,9% collettori vetrati piani; 8,6% collettori vetrati sotto vuoto; 5,5% collettori non vetrati), 7% in meno rispetto all'anno precedente, causa con una marcata flessione del mercato tedesco (-37%), una mancata crescita del mercato austriaco (-3%), in parte compensati dagli aumenti dei mercati spagnolo (+50%), italiano (+33%) e francese (+9%).

La stima della superficie totale installata nella UE nel 2010 è di 35 milioni di m<sup>2</sup>, molto al di sotto (35%) dell'obiettivo fissato dal "Libro Bianco" dalla UE per questa tecnologia.

**Situazione Italia (2007):** il nostro Paese si colloca al 5° posto per di superficie complessiva installata (984.036 m<sup>2</sup>, 689 MW<sub>t</sub>), ma soltanto in 14<sup>a</sup> posizione in termini di superficie pro-capite (18,8 m<sup>2</sup>/1.000ab), meno di Austria (433 m<sup>2</sup>/1.000ab), Germania (115 m<sup>2</sup>/1.000ab), Danimarca (73 m<sup>2</sup>/1.000ab), Svezia (38 m<sup>2</sup>/1.000ab), Paesi Bassi (41 m<sup>2</sup>/10.00ab), Lussemburgo (40 m<sup>2</sup>/1000ab) e Repubblica Ceca (31 m<sup>2</sup>/1.000ab), tutti Paesi posti a latitudini maggiori del nostro e, dunque, con meno disponibilità della fonte energetica.

**Investimenti:** impianti domestici (< 5 m<sup>2</sup>): 800-1.000 €/m<sup>2</sup>.

## SOLARE FOTOVOLTAICO

**Descrizione:** la radiazione solare colpendo due strati – sottili, contrapposti e opportunamente trattati – di un semiconduttore (silicio o altri elementi) libera elettroni che possono scorrere in un circuito esterno generando Energia Elettrica (EE) di tipo continuo (cc). Quest'ultima può essere: (a) accumulata in batterie, trasformata in alternata (ac) da un inverter e autoconsumata da piccole utenze collegate all'impianto oppure (b) trasformata in alternata e immessa nella rete di distribuzione.

**Tipologie impiantistiche:** i moduli al silicio (i più diffusi) si suddividono in: (a) Si-monocristallino; (b) Si-policristallino; (c) Si-amorfo. L'impiego di altri semiconduttori ( $\text{CuInGaSe}_2$ ,  $\text{CdTe}$ ) permette la realizzazione di moduli: (d) in film sottile policristallini. In relazione alla rete di distribuzione di energia elettrica, si distinguono: (a) impianti isolati (*off-grid*) direttamente collegati a utenze di potenza modesta; (b) impianti connessi alla rete di distribuzione elettrica (*on-grid*).

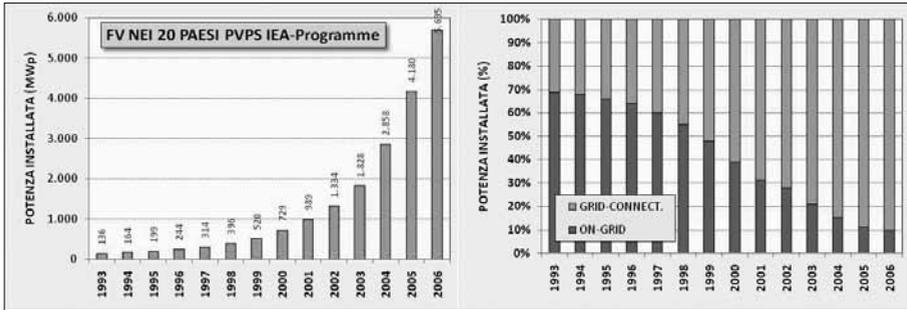
**Impieghi principali:** micro-generazione di EE da cedere della rete di distribuzione elettrica (impianti *on-grid*) con forme di incentivazione/compensazione sui consumi elettrici domestici. Limitato a situazioni particolari è il ricorso a impianti FV *off-grid* per la copertura dei fabbisogni di utenze isolate, mentre sono in forte espansione i campi FV la generazione di EE in da immettere alla rete di distribuzione per ricavarne utile economico grazie agli incentivi.

**Rendimento medio:** Moduli: Si-monocristallino 13-17%; Si-policristallino 12-14%; Si-amorfo 5-7%; CIGS/CT (film sottile) 10-11%. Inverter: 95-97%. Cablaggi: 85-90%.

**Situazione mondiale (2006):** nei 20 Paesi aderenti al Programma PVPS dello IEA<sup>6</sup>, nel 2006, la potenza complessivamente installata raggiunge 5.695  $\text{MW}_p$  (+36% rispetto all'anno precedente); di questi: 574,6  $\text{MW}_p$  sono impianti *off-grid* (domestici: 39%; non domestici: 61%); 5.117,0  $\text{MW}_p$  sono impianti *on-grid* (distribuiti: 93%; centralizzati: 7%). La potenza elettrica di picco complessivamente installata nell'anno di riferimento è 1.514,6  $\text{MW}_p$ , il 95,6% dei quali per impianti *on-grid* e il restante 4,4% per impianti *off-grid*.

Nello stesso anno, la produzione mondiale di celle fotovoltaiche (3.733  $\text{MW}_p$ , +50% rispetto al 2006) è concentrata presso 15 grandi gruppi indu-

<sup>6</sup> PhotoVoltaic Power Sistem Programme (IEA-PVPS).



PVPS-Programme (20 Paesi): potenza totale di picco installata (a sinistra) e tipologia impianti (a destra) [Fonte: IEA]

strali; tale produzione è ubicata in: Europa (28,5%), Giappone (24,6%); Rep. Popolare Cinese (22,0%, in grande espansione); Taiwan (9,9%, pure in grande espansione).

**Situazione UE (2007):** nella UE27 la potenza elettrica di picco complessivamente installata nell'anno di riferimento è  $4.690 \text{ MW}_p$ , il 97,3% dei quali per impianti *on-grid* e il restante 2,7% per impianti *off-grid*.

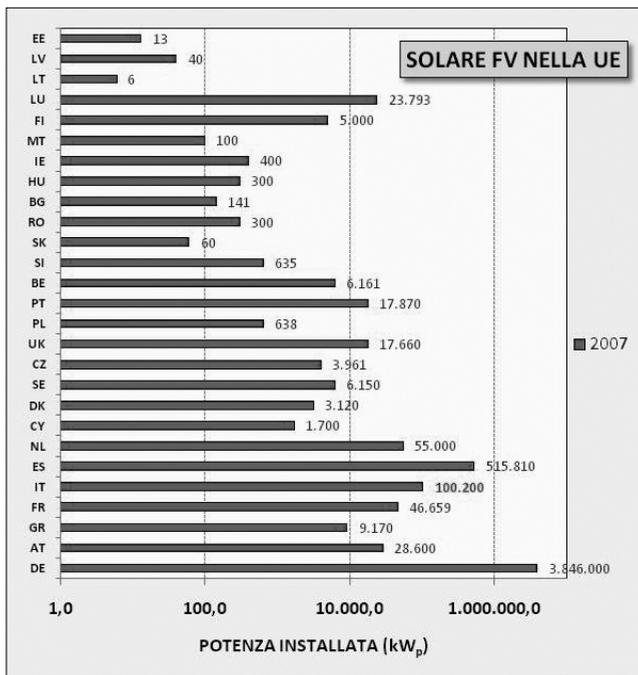
Germania, Spagna e Italia sono le 3 nazioni europee con la maggior potenza installata in assoluto; a fronte di una media UE27 pari a  $8,5 \text{ kW}_p$  installati ogni 1000 abitanti, il Lussemburgo è il paese che raggiunge il valore più elevato ( $51,2 \text{ kW}_p/1000\text{ab}$ ).

Nel 2007 sono stati installati impianti FV per  $1.541 \text{ MW}_p$  (99,5% impianti *on-grid*; 0,5% impianti *off-grid*), 57% in più rispetto all'anno precedente, causa i forti incrementi registrati su tutti i più importanti mercati (Germania: +32%; Spagna: +196%; Italia: +301%).

La potenza totale installata nella UE nel 2010 è stimata in  $10.300 \text{ MW}_p$ , superiore di 3,5 volte rispetto all'obiettivo fissato per questa tecnologia nel Libro Bianco della UE.

**Situazione Italia (2007):** il nostro Paese si colloca la 3° posto in termini di potenza complessiva installata ( $100,2 \text{ MW}_p$ ), ma soltanto in 7ª posizione in termini di potenza pro-capite ( $1,7 \text{ kW}_p/1000\text{ab}$ ), meno di Lussemburgo ( $51,2 \text{ kW}_p/1000\text{ab}$ ), Germania ( $46,5 \text{ kW}_p/1000\text{ab}$ ), Austria ( $3,5 \text{ kW}_p/1.000\text{ab}$ ) e Paesi Bassi ( $3,3 \text{ kW}_p/1000\text{ab}$ ), tutti Paesi posti a latitudini maggiori del nostro e, dunque, con minor disponibilità di energia radiante.

**Investimenti:** FV bassa potenza (1-5  $\text{kW}_p$ ):  $5.500-6.500 \text{ €/kW}_p$ .



UE27 (anno 2007), fotovoltaico: potenza di picco complessivamente installata [Fonte: EurObserv'ER]

## EOLICO

**Descrizione:** trasformazione, da parte di differenti tipologie di macchine eoliche (aero-motori), del moto del vento in Energia Meccanica (EM) utilizzata come tale (azionamento pompe) o trasformata in Energia Elettrica (EE). In quest'ultimo caso le macchine sono definite aero-generatori. L'EE viene auto consumata (minieolico,  $\varnothing$  3-9 m, torri 10-20 m, 2-10 kW) oppure ceduta alla rete di distribuzione (media-elevata potenza,  $\varnothing$  30-60 m, torri 100-150 m, 0,3-3,0 MW).

**Tipologie impiantistiche:** in relazione all'orientamento dell'asse dei rotori le macchine eoliche si suddividono in: (a) rotori verticali (Darrieus; Savonius); (b) asse orizzontale. Queste ultime, che rappresentano la quasi totalità degli impianti realizzati, si distinguono per il numero di pale (1, 2, 3, multipala). Negli aero-generatori di grande potenza la configurazione a 3 pale è la più diffusa e queste macchine possono essere: (a) sincrone (dotati di moltiplicatore di giri); (b) asincrone (privi di moltiplicatore di giri). In relazione alla ubicazione degli impianti di grande potenza, che possono essere isolati o raggruppati e collegati fra loro (*wind farm*), si distinguono aero-generatori: (a) su terra ferma (*on-shore*); (b) su mare (*off-shore*).

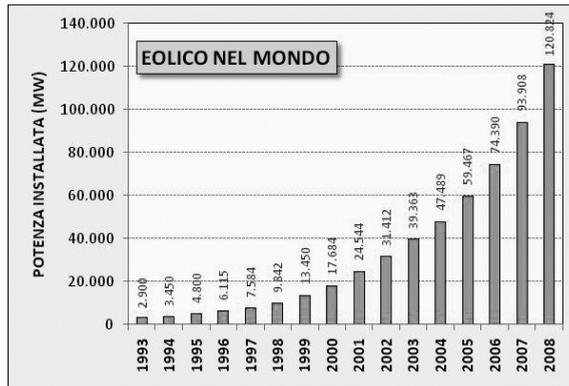
**Impieghi principali:** gli aero-generatori di medio-grande potenza generano EE da cedere ai gestori locali delle reti di distribuzione a cui sono connessi; recentemente anche il mini-eolico si sta diffondendo, permettendo la micro-generazione di EE per utenze domestiche e/o da immettere in rete.

**Rendimento medio:** 55-60%.

**Situazione mondiale (2008):** nessun settore fra le "green energies" ha conosciuto sviluppo così rapido e intenso come l'eolico che, a livello mondiale nel 2008, raggiunge 120,8 GW<sub>e</sub> (+28% rispetto al 2007).

Sebbene il mercato UE abbia registrato una piccola flessione (-1,8%), l'incremento in alcuni Paesi è stato straordinario (USA: +60% con 8,3 GW<sub>e</sub>; Repubblica Popolare Cinese: +91% con 6,3 GW<sub>e</sub>). La potenza eolica complessivamente installata risulta distribuita come segue: UE 54,6%; Nord-America: 22,8%; Asia: 20,2%; altri localizzazioni: 2,4%.

Gli USA, pionieri nello sfruttamento dell'energia eolica, restano i leader mondiali presentando il 30,9% della potenza complessivamente installata (25,2 GW<sub>e</sub>), da soli capaci di coprire i fabbisogni di almeno 7 milioni di abitazioni. Appaiono enormi i potenziali della tecnologia in Cina e India che, nel 2008, raggiungevano rispettivamente 12,2 e 9,6 GW<sub>e</sub> installati.



*Mondo, eolico: andamento storico della potenza installata*

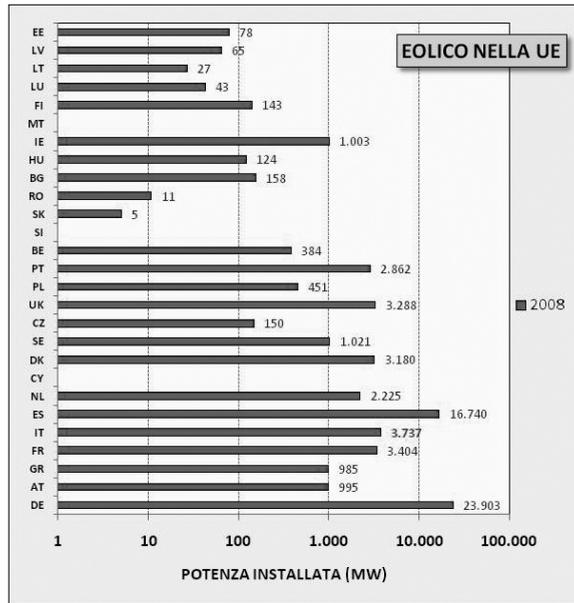
**Situazione UE (2008):** con 64,98 GW<sub>e</sub>, la UE possiede il 54% della potenza totale installata. Sono 7 i Paesi europei che rientrano nelle prime 10 nazioni al mondo: Germania 23,9 GW<sub>e</sub> (19,2% della potenza totale mondiale); Spagna 16,7 GW<sub>e</sub> (13,9%); Italia 3,7 GW<sub>e</sub> (3,1%); Francia 3,4 GW<sub>e</sub> (2,8%); UK: 3,3 GW<sub>e</sub> (2,7%); Danimarca 3,2 GW<sub>e</sub> (2,6%); Portogallo 2,8 GW<sub>e</sub> (2,4%). La potenza derivante da impianti *off-shore* raggiunge complessivamente 1,4 GW<sub>e</sub>, settore che vede il Regno Unito la nazione leader (566 MW<sub>e</sub>), seguita da Danimarca (426 MW<sub>e</sub>) e Paesi Bassi (247 MW<sub>e</sub>).

La taglia media degli aerogeneratori europei installati è in continuo aumento; nel 2008 si registra: UK 2,1 MW<sub>e</sub>; Germania e Francia 1,9 MW<sub>e</sub>; Spagna 1,7 MW<sub>e</sub>; Italia 1,6 MW<sub>e</sub>.

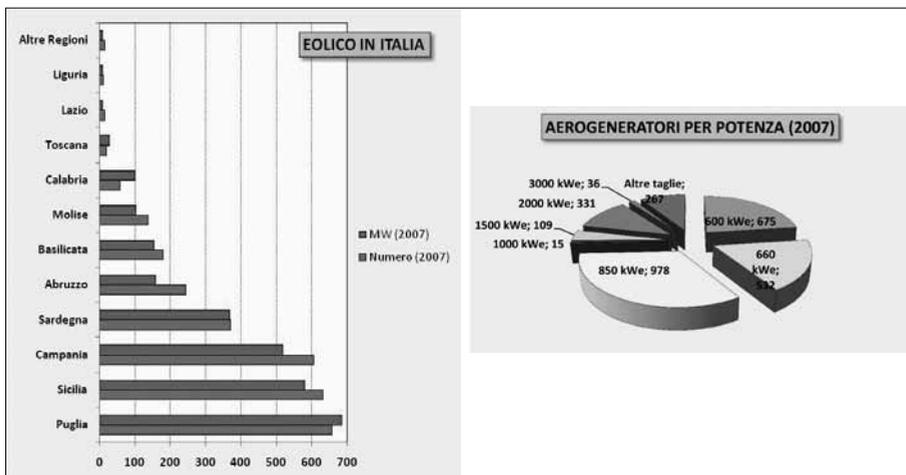
L'EE prodotta con il vento raggiunge 122,7 TWh (fabbisogno di 41 milioni di abitazioni), pari al 3,6% del totale.

A fronte di una media UE27 di 231 kW<sub>e</sub> installati ogni 1.000 abitanti, la Danimarca è il Paese che raggiunge il valore più elevato (581 kW<sub>e</sub>/1.000ab). Nel 2008 sono stati installati impianti per 8.447 MW<sub>e</sub>, leggermente meno rispetto alle previsioni, causa il forte decremento del mercato spagnolo e la stagnazione di quello tedesco. Tenuto conto dei possibili affetti della attuale crisi finanziaria, per l'eolico si stima una crescita media annua del 15% e, conseguentemente, una potenza totale nella UE nel 2010 di 86 GW<sub>e</sub>, più del doppio (2,1 volte) rispetto all'obiettivo fissato per questa tecnologia nel Libro Bianco della UE.

**Situazione Italia (2007):** gli aero-generatori installati nel nostro Paese sono 2.943, con una capacità media di 900 MW<sub>e</sub>, tuttavia, le più recenti realizzazioni riguardano macchine da 2-3 MW<sub>e</sub> (Sicilia e Puglia). Nel 2008,



UE27 (anno 2008), eolico: potenza complessivamente installata [Fonte: EurObserv'ER]



Italia (anno 2007), eolico: numero impianti e potenza complessivamente installata (a sinistra) e classi di potenza (a destra)

l'Italia è diventato il 3° Paese europeo per potenza installata (3.736 MW) ma resta solo all'11° posto per potenza pro-capite (63 kW<sub>e</sub>/1.000ab).

**Investimenti:** minieolico (2 kW<sub>e</sub>): 2.000-2.500 €/kW<sub>e</sub>; *on-shore* (1,5 MW<sub>e</sub>): 800-1.500 €/kW<sub>e</sub>; *off-shore* (2,0 MW<sub>e</sub>): 1.500-2.000 €/kW<sub>e</sub>.

## BIOGAS

**Descrizione:** fermentazione anaerobica in condizioni mesofile o termofile di substrati organici di varia provenienza (reflui zootecnici, residui agro-industriali, colture energetiche, rifiuti urbani), introdotti – singolarmente o miscelati – in appositi impianti (digestori) con produzione di una miscela gassosa combustibile (biogas) e di un effluente (digestato). I tempi di ritenzione idraulica nel digestore variano da 20 a 50 gg in funzione della tipologia impiantistica. Il biogas contiene elevate quantità di  $\text{CH}_4$  (50-70%) e possiede elevato Potere Calorifico Inferiore ( $5,3\text{-}7,6 \text{ kWh}_t/\text{m}^3_{\text{N}}$ )<sup>7</sup>; esso viene convertito in Energia Elettrica (EE) e/o termica (ET), mentre il digestato è smaltito in differenti modalità (fini agronomici, discarica) in relazione alla sua composizione.

**Tipologie impiantistiche:** in ambito agricolo la configurazione più diffusa è quelle bistadio, nelle quale alla fase di fermentazione attuata in un primo digestore, segue quella di post-fermentazione in un secondo digestore che ha anche funzioni di accumulo del biogas nella parte superiore (cupola, semplice o pressurizzata a 2-3 membrane). La presenza di una seconda vasca di fermentazione aumenta la resa in biogas del 15-20%.

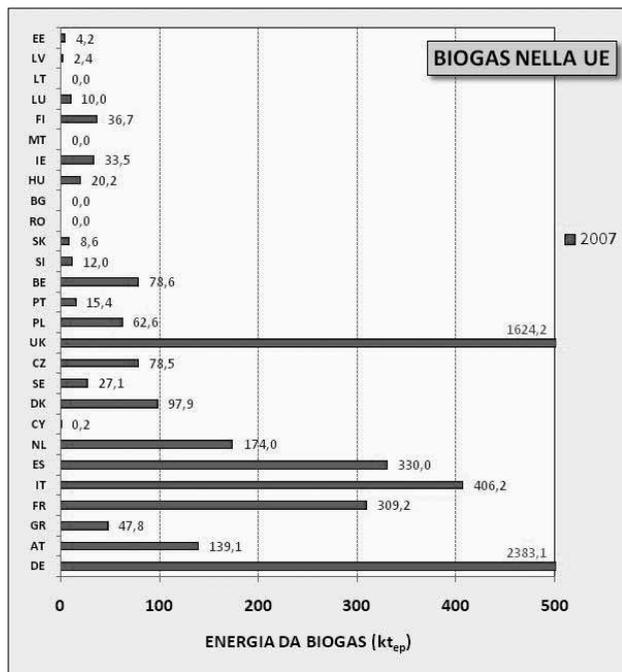
**Impieghi principali:** Il biogas, preventivamente deumidificato e depurato: (a) alimenta motori a combustione interna per cogenerazione (*Combined Heat and Power*, CHP) producendo ET (autoconsumo) e EE (cessione alla rete di distribuzione); (b) viene, previa eliminazione della  $\text{CO}_2$ , immesso in reti di distribuzione (bio-metano con  $\text{CH}_4 > 99,5 \text{ vol.}\%$ ).

**Rendimento medio:** produzione di biogas:  $200\text{-}800 \text{ m}^3 \text{ biogas}/\text{t}_{\text{SO}}$  di Sostanza Organica immessa nel digestore, in funzione del tipo di substrato. Trasformazione energetica in sistemi CHP: EE 35-40% + ET 40-50%; produzione di calore (combustione diretta in generatori termici): ET 80-85%.

**Situazione mondiale (2007):** -

**Situazione UE (2007):** l'energia primaria corrispondente alla produzione di biogas raggiunge  $5,9 \text{ Mt}_{\text{ep}}$ , in sensibile aumento (+21%) rispetto all'anno precedente. La produzione riguarda il biogas derivato da: discarica (*landfill gas*;  $2,9 \text{ Mt}_{\text{ep}}$ ; 49% del totale); depurazione acque reflue urbane e industriali ( $0,9 \text{ Mt}_{\text{ep}}$ ; 15%); altre fermentazioni ( $2,1 \text{ Mt}_{\text{ep}}$ ; 36%), con substrati organici per lo più di origine agricola. Quest'ultima fonte di biogas

<sup>7</sup> Metro cubo normale: volume di gas posto in condizioni di pressione atmosferica (1 atm; 1,013 bar) e temperatura di 0 °C.



UE27 (anno 2007), biogas: energia primaria corrispondente [Fonte: EurObserv'ER]

è quella che guida la recente forte crescita del settore, principalmente basata sul ricorso – oltre che a reflui zootecnici e scarti agro-industriali – a colture energetiche (mais, sorgo, triticale, loiessa, ecc.). Le nazioni che maggiormente sfrutta *landfill gas* sono: UK (1,43 Mt<sub>ep</sub>), Germania (0,42 Mt<sub>ep</sub>), Italia (0,35 Mt<sub>ep</sub>); il biogas da depurazione trova maggior impiego in: Germania (0,27 Mt<sub>ep</sub>), UK (0,19 Mt<sub>ep</sub>), Francia (0,14 Mt<sub>ep</sub>), mentre quelli in cui più diffuso è il “biogas agricolo” sono: Germania (1,69 Mt<sub>ep</sub>), Austria (0,12 Mt<sub>ep</sub>) e Paesi Bassi (0,08 Mt<sub>ep</sub>).

Complessivamente, dunque, Germania con 2,38 Mt<sub>ep</sub>, UK (2,38 Mt<sub>ep</sub>) e Italia (0,41 Mt<sub>ep</sub>) sono le prime 3 nazioni europee per impiego di biogas. A fronte di una media UE27 pari a 11,9 t<sub>ep</sub> ogni 1.000 abitanti derivanti dall'impiego di biogas, la Germania è la nazione che raggiunge il valore più elevato (29 t<sub>ep</sub>/1.000ab).

In termini energetici, nell'anno di riferimento, dal biogas in Europa si producono 19.937 GWh elettrici, il 58,4% dei quali in impianti CHP e 356,9 kt<sub>ep</sub> termici.

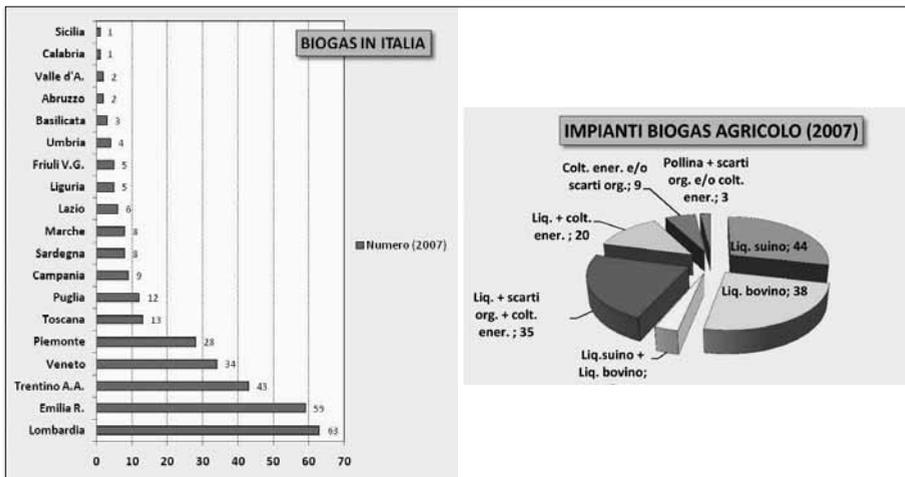
La tecnologia legata all'impiego di “biogas agricolo” è attualmente in rapida evoluzione, conseguente la crescita potenziale del biogas è assai elevata

soprattutto nelle nazioni europee nei quali l'agricoltura risulta essere settore trainante (Francia, Polonia). Tuttavia, il ricorso su larga scala di colture energetiche per incrementare la produzione di biogas, pone il medesimo problema della corretta destinazione d'uso dei terreni agricoli autorevolmente sollevato per i bio-carburanti. Peraltro, nonostante la grande vivacità del settore, l'energia derivata dal biogas nella UE nel 2010 è stimata in 7,8 Mt<sub>ep</sub>, cioè poco più della metà rispetto all'obiettivo fissato per questa tecnologia nel Libro Bianco.

**Situazione Italia (2007):** l'Italia si colloca al 3° posto nella UE27 per energia derivata da biogas e al 12° posto per valore procapite (6,9 t<sub>ep</sub>/1.000ab). Nel 2007 gli impianti di biogas in attività sono 306, dei quali: 154 (50%) alimentati con reflui zootecnici + scarti organici + colture energetiche; 121 (40%) con fanghi di depurazione civile; 22 (7%) con scarti agro-industriali; 9 (3%) con FORSU + fanghi di depurazione. Dei 154 impianti di "biogas agricolo" 44 hanno potenza < 100 kW<sub>e</sub> e 14 > 1 MW<sub>e</sub>.

L'esistenza, in particolare in Pianura Padana, di una delle più estese e articolate reti di gasdotti d'Europa, costituirebbe una condizione assai favorevole per la diffusione del bio-metano, soluzione sviluppata soprattutto in Svezia. La tecnica, assai interessante per la riduzione degli investimenti associati, presenta in Italia al momento forti ritardi sul piano normativo.

**Investimenti:** estremamente variabili. Indicativamente per un impianto



Italia (anno 2007), biogas: numero impianti (a sinistra) e tipologia substrati impianti agricoli (a destra)

completo a soli reflui zootecnici (100 kW<sub>e</sub>): 4.000-5.000 €/kW<sub>e</sub>; impianto completo per reflui zootecnici e colture energetiche (250 kW<sub>e</sub>): 4.500-5.500 €/kW<sub>e</sub>; impianto completo per colture energetiche (400-500 kW<sub>e</sub>): 4.000-5.000 €/kW<sub>e</sub>; impianto completo per colture energetiche (1.000 kW<sub>e</sub>): 2.500-2.800 €/kW<sub>e</sub>.

## BIO-COMBUSTIBILI SOLIDI

**Descrizione:** la conversione dei biocombustibili solidi (legna e derivati, sottoprodotti agro-forestali, scarti di lavorazione, colture energetiche) in Energia Termica (ET) avviene a opera del calore che fraziona progressivamente le componenti organiche a struttura chimica complessa (lignina, cellulosa, emicellulosa). Le tecnologie di riferimento sono: (a) combustione che si attua mediante generatori termici, con eccesso di ossidante (aria) e porta alla completa ossidazione del carbonio ( $\text{CO}_2$ ) con liberazione di ET di norma ceduta a un fluido termo-vettore (acqua, vapore, oli diatermici) per la successiva utilizzazione; (b) gassificazione che si attua mediante gassificatori, in difetto di ossidante (aria, vapore d'acqua,  $\text{O}_2$ ) e porta all'ossidazione all'incompleta del C con formazione di una miscela gassosa ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , ecc.) a basso Potere Calorifico Inferiore, di norma impiegata per alimentare un gruppo elettrogeno con generazione di Energia Elettrica (EE).

**Tipologie impiantistiche:** **Combustione:** (a) generatori termici di piccola potenza (< 50 kW<sub>t</sub>): letto fisso con griglia orizzontale, combustione montante o inversa, carico manuale discontinuo, suddivisione aria in 1<sup>aria</sup> e 2<sup>aria</sup>, scarico ceneri manuale; (b) generatori termici di media potenza (100-2.000 kW<sub>t</sub>): letto fisso con griglia inclinata, combustione montante, carico meccanico continuo (coclee, nastri, pistoni idraulici), suddivisione aria in 1<sup>aria</sup> e 2<sup>aria</sup>, camera di post-combustione, scarico ceneri meccanico, abbattimento inquinanti e controllo fumi; (c) generatori termici di elevata potenza (2.000-50.000 kW<sub>t</sub>): letto fisso con griglia inclinata o letti fluidi, carico meccanico continuo (coclee, nastri, pistoni spingitori), suddivisione aria in 1<sup>aria</sup> e 2<sup>aria</sup>, scarico ceneri meccanico, abbattimento inquinanti e controllo fumi. **Gassificazione:** (a) gassificatori di piccola potenza (100-500 kW<sub>t</sub>): letto fisso con flussi biomassa-gas in controcorrente o in equicorrente, carico manuale o meccanico (coclee, nastri) discontinuo, dispositivi (a secco e a umido) di pulizia/raffreddamento gas, scarico ceneri manuale, motore-generatore elettrico; (b) gassificatori di elevata potenza (500-1.500 kW<sub>t</sub>): letto fisso con flussi biomassa-gas in equicorrente o letto fluido, carico meccanico (coclee, nastri), dispositivi (a secco e a umido) di pulizia/raffreddamento gas, scarico ceneri meccanico, motore-generatore elettrico, abbattimento inquinanti e controllo fumi.

**Impieghi principali:** **Combustione:** (a) generatori < 50 kW<sub>t</sub> → produzione ET per usi domestici (riscaldamento, acqua sanitaria); (b) generatori 100-2.000 kW<sub>t</sub> → produzione ET centralizzata per usi domestici e/o produt-

tivi, teleriscaldamento; possibilità di cogenerazione (ET+EE) mediante Ciclo Rankine a fluido organico (ORC) e turbina-generatore elettrico; (c) generatori 2.000-50.000 kW<sub>t</sub> produzione di EE+ET attraverso Ciclo Rankine a vapore d'acqua e turbina-generatore elettrico. Gassificazione: (a e b) → produzione di EE mediante motore endotermico alternativo-generatore elettrico alimentato a gas.

**Rendimento medio: Combustione:** (a) generatori < 50 kW<sub>t</sub> → ET 50-85%; (b) generatori 100-2.000 kW<sub>t</sub> → ET 70-75%, EE 18-20%; (c) generatori 2.000-50.000 kW<sub>t</sub> → ET 70-75%, EE 18-20%. Gassificazione: (a e b) → EE 18-20%.

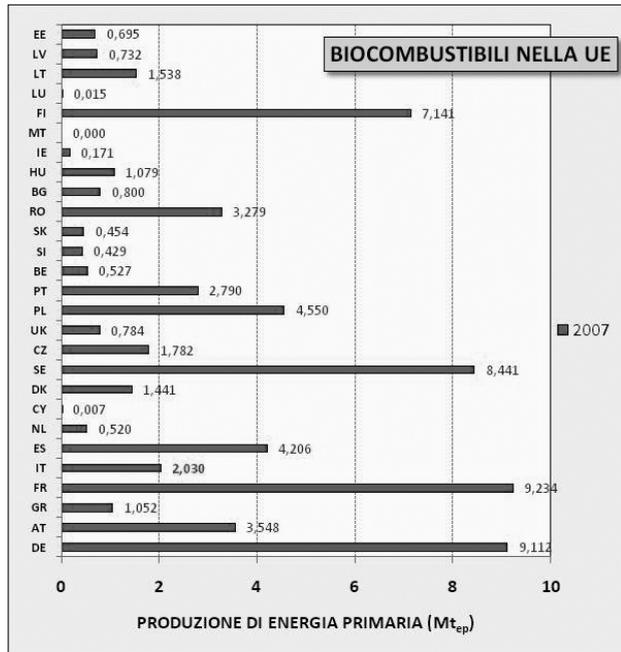
**Situazione mondiale (2007):** Le biomasse soddisfano il 15% circa degli usi energetici primari mondiali, con 1.230 Mt<sub>ep</sub>/anno. I Paesi in Via di Sviluppo, con 1.074 Mt<sub>ep</sub>/anno, in media soddisfano con le biomasse il 38% della propria domanda energetica, ma in molti casi l'impiego della risorsa arriva fino al 90%. Nei Paesi Industrializzati, invece, le biomasse contribuiscono solo per il 3% agli usi energetici primari, con 156 Mt<sub>ep</sub>/anno. Gli USA utilizzano bioenergia solo per il 3,2% del proprio fabbisogno mentre l'Europa raggiunge il 3,5% (con punte del 18% in Finlandia, del 17% in Svezia, del 13% in Austria). L'Italia, con il 2,5% del proprio fabbisogno coperto dalle biomasse, è nettamente al di sotto della media europea.

**Situazione UE (2007):** nonostante il forte incremento del prezzo del petrolio, l'energia primaria generata da bio-combustibili aumenta solo di 0,66 Mt<sub>ep</sub> (1%) rispetto all'anno precedente, raggiungendo 66,3 Mt<sub>ep</sub>.

La principale causa di tale moderato aumento risiede nell'eccezionale mitezza (il più caldo da quando registrazioni meteo) dell'inverno 2007 registratasi soprattutto nei Paesi Scandinavi; ciò a determinato una contrazione nella produzione di calore per le numerosissime reti di teleriscaldamento (TLR) presenti in tale area dell'Europa (in Finlandia 1,2 milioni di famiglie, pari a 2,5 milioni di persone, sono riscaldate con TLR).

I Paesi del Nord-Europa caratterizzati da grandi superfici forestali (Francia: 9,23 Mt<sub>ep</sub>, Germania: 9,11 Mt<sub>ep</sub>, Svezia: 8,44 Mt<sub>ep</sub>, Finlandia: 7,14 Mt<sub>ep</sub>, Polonia: 4,55 Mt<sub>ep</sub>) sono i principali produttori, detenendo da soli il 58% dell'energia prodotta.

Tuttavia, anche in questo caso, l'indicazione più realistica del livello di impiego della fonte energetica rinnovabile viene dalla quota per abitante. A fronte di un valore medio per la UE27 di 0,134 t<sub>ep</sub>/ab, si ha: Finlandia: 1,35 t<sub>ep</sub>/ab; Svezia: 0,960 t<sub>ep</sub>/ab; Lettonia: 0,67 t<sub>ep</sub>/ab; Estonia: 0,52 t<sub>ep</sub>/ab; Austria: 0,43 t<sub>ep</sub>/ab.



UE27 (anno 2007), biocombustibili solidi: energia primaria corrispondente [Fonte: EurObserv'ER]

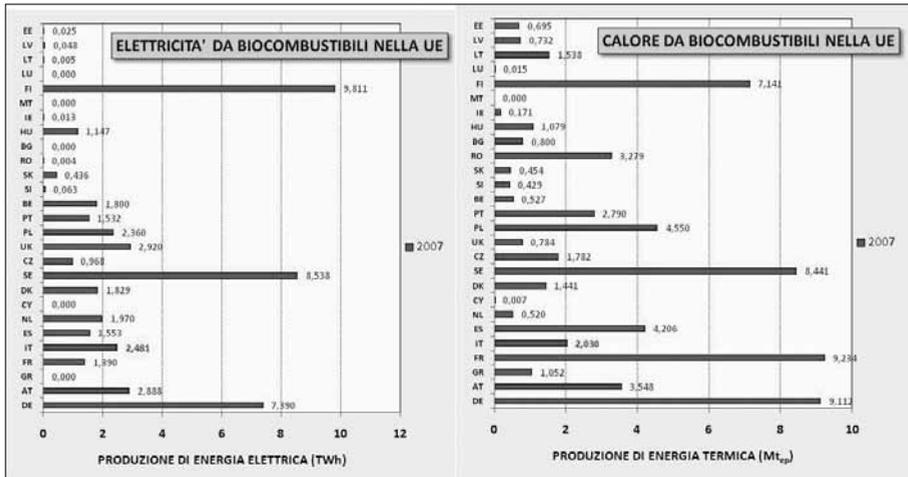
La **generazione di elettricità** deriva in gran parte (76,8%) da impianti cogenerati (CHP, *Combined Heat and Power*) di grande potenza appartenenti a industrie del legno e della carta che valorizzano gli scarti di lavorazione (black liqueur, ritagli, corteccia, segatura), coprendo i fabbisogni interni e producendo grandi surplus sia di EE (venduta e immessa nelle reti dei gestori locali) sia di ET (impiegata per teleriscaldamento).

Nel 2007 l'aumento (+4,4%) della produzione EE da bio-combustibili è stato meno forte di quello registrato nei due anni precedenti (+11% nel 2004-2005; 13% nel 2005-2006).

Finlandia (9,811 TWh; 19,9% del totale UE), Svezia (8,538 TWh; 17,3%) e Germania (7,390 TWh; 15,0%) sono i Paesi collocati ai primi 3 posti.

I dati relativi alla generazione di calore da bio-combustibili (limitatamente a quello prodotto in centrali termiche e impianti CHP, escludendo quindi le caldaie domestiche) sono piuttosto scarsi e non disponibili per tutti i Paesi della UE.

Il calore da bio-combustibili venduto (4,896 Mt<sub>ep</sub>) è, rispetto all'anno precedente, in diminuzione (-2,2%); come già accennato prevalgono Sve-



UE27 (anno 2007), biocombustibili solidi: energia elettrica (a sinistra) ed energia termica (a destra) [Fonte: EurObserv'ER]

zia (2,112 Mt<sub>cp</sub>; 43,1% del totale UE), Finlandia (1,192 Mt<sub>cp</sub>; 24,3%) e Danimarca (0,466 Mt<sub>cp</sub>; 9,5%).

**Situazione Italia (2007):** l'energia primaria prodotta con bio-combustibili nel 2007 è 2,0 Mt<sub>cp</sub> (10° posto), ma in quota abitante si registrano solo 0,034 t<sub>cp</sub> che collocano il nostro Paese fra gli ultimi nella UE27 (22° posto). Secondo l'ISTAT attualmente si prelevano dalle foreste italiane circa 6 Mm<sup>3</sup>/anno (60% dei prelievi totali) destinati a legna da ardere, corrispondenti a circa 1,2 Mt<sub>cp</sub>/anno. Tuttavia, l'utilizzo di legna da ardere è notevolmente superiore a quello evidenziato dalle statistiche ufficiali sia per una prevedibile sottostima del rilievo, sia perché più della metà della legna è legata ad autoconsumo. Pertanto, il consumo residenziale risulta molto più elevato, 14-16 Mt<sub>tq</sub>/anno (circa 2,7 Mt<sub>cp</sub>), secondo stime prudenziali.

Nella generazione EE da bio-combustibili l'Italia, con 2,888 TWh (5,8% del totale UE), si colloca al 6° posto nella classifica europea; tuttavia, solo il 60% di tale EE viene prodotta in impianti CHP.

**Investimenti: Combustione:** (a) generatori 25-50 kW<sub>t</sub> (ET domestica): 200-350 €/kW<sub>t</sub> (legna in tronchetti), 400-600 €/kW<sub>t</sub> (pellet); (b) generatori 100-2.000 kW<sub>t</sub> (ET centralizzata o cogenerazione ET+EE): 150-250 €/kW<sub>t</sub> (legna cippata) mediante Ciclo Rankine a fluido organico (ORC) e turbina-generatore elettrico. Gassificazione: impianti completi 100 kW<sub>c</sub> (EE per rete o cogenerazione ET+EE): 2.500-4.000 €/kW<sub>c</sub>.

## BIO-CARBURANTI

**Descrizione:** il **bio-diesel (BD)** si ottiene dalla trans-esterificazione di oli vegetali puri (*Pure Vegetable Oil*; PVO) di semi di colture oleaginose alimentari (colza, girasole, soia, palma da olio) e non (*Jathropa Curcas*) o da alghe marine ottenuti per spremitura meccanica seguita da raffinazione.

Il bio-etanolo (BE) è invece un alcol derivato dalla fermentazione di substrati amidacei o zuccherini (1<sup>a</sup> generazione) provenienti da colture agrarie (barbabietola, sorgo zuccherino, canna da zucchero, cassava, mais e altri cereali) o da scarti di lavorazione dell'agro-industria (borlande, vinacce). Il BE di 2<sup>a</sup> generazione invece si ottiene sottoponendo a fermentazione cellulosa ed emicellulosa derivate da biomasse non alimentari (sorgo, panico, canna comune, miscanto, ecc.) preventivamente separate dalla frazione ligninica.

**Tipologie impiantistiche:** il BD e il BE, pur derivando da materie prime agricole, sono prodotti ottenuti in impianti industriali di grande scala; si attua pertanto una "filiera lunga" (agro-industriale) che conduce all'immissione sul mercato di carburanti che alimentano motori endotermici convenzionali (ciclo Otto e ciclo Diesel). Il PVO, precursore del BD, è anche ottenibile in piccoli impianti di spremitura ubicati in aziende agricole e impiegabile in "filiera corta" per alimentare specifici motori ad accensione per compressione con i quali generare EE da riversare in rete. Possibile l'uso del PVO per alimentare trattori aziendali, equipaggiati tuttavia di motori specifici.

**Impieghi principali:** BD e BE hanno come destinazione il settore dei trasporti (autotrazione) sostituendo (BD) e/o integrando (BE) in diversa concentrazione i carburanti fossili convenzioni (gasolio, benzina). Motori speciali, ad accensione per compressione, per generazione di EE o EM, possono essere alimentati da PVO provenienza da diverse oleaginose.

**Rendimento medio:** nella produzione di BD, l'estrazione di PVO avviene con rese medie variabili dal 30-33% (meccanica) al 40-42% (chimica o mista), residuando nel primo caso "panello grasso" o *expeller* (67%), "farina" (59%) e "farina disoleata" (58%), rispettivamente, con il secondo e il terzo sistema. Il pannello può essere impiegato come alimento zootecnico proteico (facilmente irrancidibile), migliorando sensibilmente al sostenibilità della filiera. Il PVO (100%) può essere successivamente raffinato (centrifugazione, degommaggio e neutralizzazione) e – mediante aggiunta di CH<sub>3</sub>OH (11%) come catalizzante – trans-esterificato a BD (100%) e glicerolo (11%).

Le rese media in BD sono: girasole (acheni 2,0-2,2 t/ha): 1.000 dm<sup>3</sup>/t; colza (2,0-2,5 t/ha): 1.000 dm<sup>3</sup>/t; palma da olio (semi 18-20 t/ha): 230 dm<sup>3</sup>/t; soia (semi 2,5-2,7 t/ha): 205 dm<sup>3</sup>/t.

Nella produzione di BE di 1<sup>a</sup> generazione le fasi fondamentali sono: (a) estrazione zucchero (materie prime zuccherine) o idrolisi dell'amido (materie prime amidacee), (b) fermentazione alcolica, (c) distillazione.

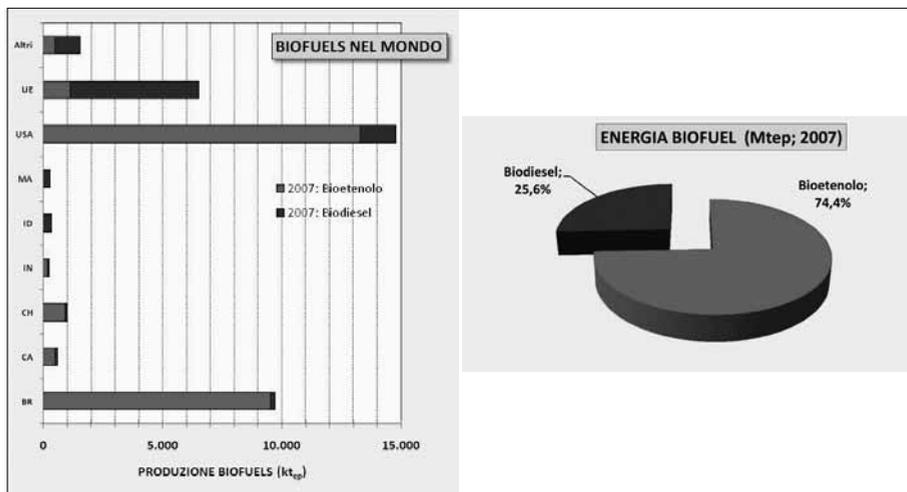
Le rese medie in BE sono: barbabietola da zucchero (radici 45-50 t/ha): 110 dm<sup>3</sup>/t; sorgo zuccherino (steli 20-25 t/ha): 380 dm<sup>3</sup>/t; mais (granella 9-12 t/ha): 400 dm<sup>3</sup>/t; canna da zucchero (steli 70-75 t/ha): 75 dm<sup>3</sup>/t; cassava (11-15 t/ha): 110 dm<sup>3</sup>/t; riso (4-6 t/ha): 430 dm<sup>3</sup>/t.

Nella produzione di BE di 2<sup>a</sup> generazione le fasi fondamentali sono: (a) pretrattamento biomassa (NAOH, *steam explosion*, *steam explosion* + H<sub>2</sub>S, AFEX, biologico), (b) idrolisi della cellulosa, (c) fermentazione alcolica, (d) distillazione.

**Situazione mondiale (2007):** fino al 2004 la produzione mondiale di BD si otteneva quasi esclusivamente nella UE ma negli ultimi anni tra produttori sono comparsi anche altri Paesi, con un forte aumento degli USA. La produzione complessiva supera di poco 10.000 Mlt (corrispondenti a 9,0 Mt<sub>ep</sub> circa) e vede al primo posto la UE (60%), seguita da USA (16%), Indonesia (4%) e Malesia (3%).

La produzione mondiale di BE è superiore, raggiungendo 52.000 Mlt (circa 26 Mt<sub>ep</sub>) con posizione di leader per gli USA (51%) seguiti da Brasile (37%) e UE (4%).

In termini energetici, dunque, i bio-carburanti nel loro complesso contribuiscono per circa 35 Mt<sub>ep</sub>/anno, il 75% delle quali dal BE e il restante 25% dal BD.



Mondo (anno 2007), bio-carburanti: produzione (a sinistra) e corrispondente energia (a destra) [Fonte: EurObserv'ER]

**Situazione UE (2008):** il consumo di bio-carburanti aumenta rispetto all'anno precedente e raggiunge 7,7 Mt<sub>ep</sub><sup>8</sup> che rappresenta il 2,6% dell'energia contenuta nei combustibili per autotrazione<sup>9</sup>. Il consumo di BD aumenta del 42% tra il 2006 (4,1 Mt<sub>ep</sub>) e il 2007 (5,8 Mt<sub>ep</sub>) mentre quello di BE, sia miscelato con le benzine sia trasformato in ETBE (EtilTerButilEtere<sup>10</sup>), aumenta del 34% circa (2006: 0,9 Mt<sub>ep</sub>; 2007: 1,2 Mt<sub>ep</sub>). Gli altri biocarburanti, essenzialmente dati dai SVO, rappresentano meno del 10% del consumo UE e non presentano aumenti significativi. Il maggior incremento del consumo di BD è fondamentalmente legato al maggior impiego di gasolio nel parco trasporti europeo (62% circa nel 2006), mentre il ridotto incremento del BE va ricondotto, oltre al minor ricorso alla benzina (38% circa nel 2006), al forte incremento del prezzo dei cereali. La Germania è leader nella UE per consumo di bio-carburanti con 4,0 Mt<sub>ep</sub>/anno (7% BE, 74% BD, 17% PVO), seguita dalla Francia con 1,4 Mt<sub>ep</sub>/anno (19% BE, 81% BD) e dall'Austria con 0,39 Mt<sub>ep</sub>/anno (6% BE, 94% BD). La produzione di BD raggiunge complessivamente 5,7 Mt (3,7 Mt<sub>ep</sub>)<sup>3</sup> in 185 impianti; i maggiori produttori sono: Germania (2,9 Mt), Francia (0,87 Mt) e Italia (0,36 Mt); la produzione di BE raggiunge complessivamente 1.770 Mlt (0,88 Mt<sub>ep</sub>) in 38 impianti; i maggiori produttori sono: Francia (578 Mlt), Germania (394 Mlt) e Spagna (38 Mlt). Nell'UE il BE è attualmente utilizzato in miscela con la benzina al 5% in volume, mentre negli USA e in Canada la percentuale sale al 20%. La tecnologia FFV (*Fuel Flexible Vehicles*) ha consentito la diffusione in alcuni Paesi europei (Francia, Svezia, Germania) di veicoli a doppio sistema di alimentazione, a benzina e a BE all'85% in volume con benzina. In Brasile il BE azeotropo è utilizzato puro nei veicoli appositamente predisposti.

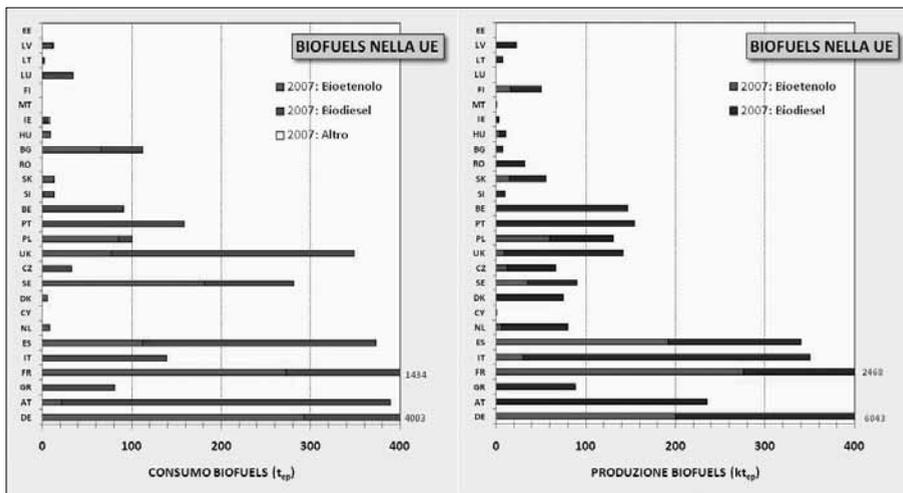
**Situazione Italia (2007):** il nostro Paese si colloca all'8° posto per consumo di bio-carburanti (0,14 Mt<sub>ep</sub>; 100% BD), al 3° posto (0,36 Mt) nella produzione di BD e al 6° posto (60 Mlt) in quella di BE. Sono operativi 2 grandi impianti per BD (Ital Green Oil: 300.000 t/anno; Novaoil:

<sup>8</sup> Conversioni comunemente impiegate dalla UE per i bio-carburanti più diffusi:

PRODOTTO		1 t	1 m <sup>3</sup>	MJ/kg	MJ/lt
BIO-ETANOLO	t <sub>ep</sub>	0,6449	0,5016	27,0	23,0
BIO-DIESEL	t <sub>ep</sub>	0,8837	0,7882	37,0	33,0

<sup>9</sup> Meno della metà dell'obiettivo comunitario fissato per il 2010, pari a 5,75%.

<sup>10</sup> Antidetonante sintetizzato a partire dal BE e può essere utilizzato nella formulazione delle benzine per i motori a ciclo Otto in sostituzione del benzene e del MTBE (MetilTerButilEtere), che - a loro volta - hanno sostituito nella funzione antidetonante il piombo tetraetile.



UE27 (anno 2007), biocarburanti: consumo (a sinistra) e produzione (a destra) [Fonte: EurObserv'ER]

250.000 t/anno) e 1 impianto per BE (IMA: 200 Mlt).

**Investimenti: Filiera PVO:** impianti estrazione meccanica (0,1-1 t/h): 240.000-300.000 €/t; motori endotermici ad accensione per compressione (700-1.000 kW<sub>e</sub>): 700-800 €/kW<sub>e</sub>.

**Filiera BD** (impianti europei): capacità 40-50 kt/anno (taglia grande), oli esausti e olio di colza: 120-300 €/t; capacità 1,5-2,0 kt/anno (taglia piccola), olio di colza e girasole: 120-200 €/t.

**Filiera BE:** capacità 3500 t/anno (taglia piccola), 1.200-1.300 €/t; capacità 50-100.000 t/anno (taglia grande), colture saccarifere (barbabietola, sorgo): 400-1.100 €/t, colture amidacee (mais): 700-750 €/t.

PIETRO PICCAROLO\*

## Le tecnologie energetiche appropriate per il miglioramento delle condizioni nei paesi in via di sviluppo

### PREMESSE

Trattando il tema energetico, i professori Armaroli e Balzani in un recente articolo pubblicato su *La chimica e L'industria* assimilano la Terra a una gigantesca astronave. Questa astronave non consuma energia per viaggiare alla velocità di 29 km/s, mentre ha bisogno di energia per i 6,7 miliardi di passeggeri che trasporta. Questi, ogni anno aumentano di circa 75 milioni di unità, che per la maggior parte finiscono nella terza classe di questa astronave. Essi cioè rappresentano i nati in Cina, in India, nei paesi in via di sviluppo (PVS), ecc.; rappresentano cioè i poveri della Terra.

Questa situazione impone non solo per motivi etici ma anche per ragioni di ordine sociale, di intervenire in loro favore e, in particolare, in favore dei più poveri e cioè di quelli dei PVS, non solo per far fronte alle nuove nascite, ma anche per sopperire al basso livello di vita e ai bassi consumi che si registrano in queste aree. Ciò nella consapevolezza che questo intervento non potrà portare a risultati positivi senza fare crescere il consumo energetico di queste popolazioni.

### CRISI ENERGETICA E FONTI RINNOVABILI

La crisi energetica e i problemi ambientali connessi all'impiego delle risorse fossili come fonte energetica prevalente, hanno messo in discussione il modello di sviluppo basato sull'equazione:

\* *Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale, Università degli Studi di Torino*

*consumo = benessere*

Questo modello, fra l'altro, ha contribuito ad aumentare il divario tra paesi ricchi e paesi poveri in termini di qualità della vita e di consumi energetici.

È opinione largamente condivisa che il futuro energetico della Terra, non potrà basarsi sui combustibili fossili in quanto:

- sono una risorsa destinata a esaurirsi;
- sono localizzati in aree di forte instabilità politica e sociale;
- sono fortemente inquinanti in quanto per ottenere energia si produce una quantità di CO<sub>2</sub> pari a circa 3 volte il loro peso.

Per avere un futuro energetico sostenibile per l'umanità è necessario, come del resto sostenuto dall'UE e ora anche dagli USA:

- aumentare l'efficienza e il risparmio energetico riducendo così gli sprechi;
- svincolarsi progressivamente dall'uso dei combustibili fossili e produrre energia da altre fonti e, in particolare, da fonti rinnovabili.

Nei paesi industrializzati, nei quali le fonti fossili hanno una forte incidenza sulla produzione di energia, la transizione verso le fonti rinnovabili non sarà breve e richiederà investimenti in ricerca, oltre che indirizzi politici ben finalizzati. Si tratta infatti di passare da una fonte energetica grandemente concentrata come quella di origine petrolifera a una energia fortemente diluita sul territorio come quella proveniente dalle fonti rinnovabili (tab. 1).

Nei PVS invece il problema della transizione praticamente non si pone. Il problema è infatti soprattutto quello di produrre energia con tecnologie appropriate.

DENSITÀ DI POTENZA IN W/m <sup>2</sup>	
Fotovoltaica	20-60
Eolica	5-20
Idroelettrica (alta quota)	10-50
Idroelettrica (bassa quota)	<1
Maree	10-50
Biomassa	<1
Combustibili fossili	1000 - 10000

Tab. 1 *Potenza ottenibile per unità di superficie impegnata da fonti energetiche differenti (V. Smil – MIT Press 2003)*

## I CONSUMI DI ENERGIA NEI PAESI IN VIA DI SVILUPPO

Il professore Pellizzi, in vista di questo incontro, mi ha trasmesso un libro scritto con il contributo di diversi Autori dal titolo *Solar Energy and Agriculture*. Il primo capitolo, autore Giuseppe Pellizzi, è relativo a *Solar Energy as a tool for improving agriculture in developing countries*. L'aspetto preoccupante è che pur essendo un libro del 1978, le cose scritte dal professore Pellizzi sui PVS a distanza di 30 anni sono ancora drammaticamente attuali. Così: l'alta percentuale di addetti all'agricoltura (più del 60% della popolazione); la produzione largamente assorbita dall'autoconsumo; le forti perdite di prodotti che si hanno in fase di conservazione per mancanza di strutture adeguate; l'input energetico della produzione agricola (circa 10 kWh/ha) rispetto a quello dei paesi industrializzati (800 kWh/ha). Sono dati che, con la sola esclusione dell'autoconsumo, ancora rispecchiano la situazione di questi paesi che per certi aspetti, è ulteriormente peggiorata, facendo crescere anziché ridurre il divario. Anche per quei PVS divenuti esportatori di qualche prodotto (cotone, caffè, ecc.), il vantaggio è soprattutto a favore di qualche paese sviluppato.

In termini di energia il raffronto dei consumi annui pro capite di energia fra PVS e il resto del mondo riferito al 2004, evidenzia un divario molto forte anche rispetto ai valori che esprimono la media mondiale: valori che nei PVS sono inferiori alla metà dei consumi sia di TEP/persona-anno, sia di kWh/persona-giorno (fig. 1).

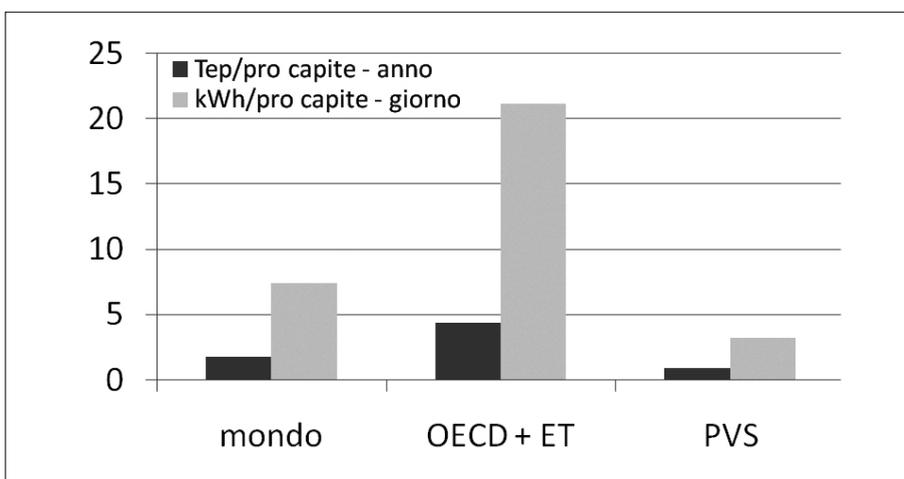


Fig. 1 Consumi specifici di energia nel 2004 (da OECD/IEA)

Analizzando poi l'accesso all'energia elettrica si vede ad esempio che nell'Africa sub sahariana i milioni di persone senza l'elettricità sono più del doppio di quelli con l'elettricità (fig. 2).

Il divario tra PVS e paesi sviluppati è dunque forte e ha conseguenze che vengono evidenziate da diversi indicatori. Si pensi, ad esempio, a quella che viene definita "impronta ecologica" e cioè all'area di superficie capace di fornire a una persona le risorse necessarie e di smaltirne i rifiuti. Tale area, secondo una valutazione generalmente accettata è di 1,8 ha/persona. Nei diversi paesi, nelle più recenti stime, l'impronta ecologia è pari a:

- 9,6 ha, per uno statunitense;
- 7,6 ha, per un canadese;
- 4,2, per un italiano;
- 0,7 ha per un eritreo;
- 0,1 ha per un afghano.

Ciò significa che se ciascuno degli attuali 6,7 miliardi di abitanti avesse una impronta ecologia uguale a quella del cittadino statunitense la superficie necessaria dovrebbe essere pari a 4 volte quella della Terra. Questo non è possibile, mentre deve essere possibile migliorare le condizioni di vita nei PVS.

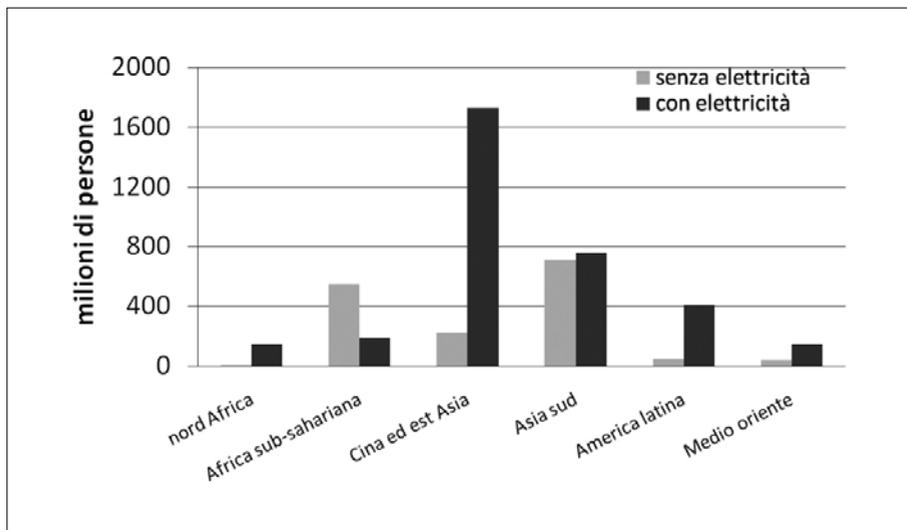


Fig. 2 *Aggregati regionali e accesso all'energia elettrica (da OECD/IEA)*

## QUALE ENERGIA

I consumi energetici pro capite nei PVS, sono dunque meno della metà dell'attuale consumo medio mondiale. Considerando che solo una piccola quota di tale consumo proviene da fonte fossile e che molti di questi paesi non hanno risorse fossili significative, lo sviluppo sostenibile dovrà essenzialmente basarsi su fonti rinnovabili.

Attualmente la maggior parte delle fonti energetiche in questi paesi proviene dalle biomasse: principalmente legno, ma anche deiezioni animali e paglia (fig. 3).

Il legno è una fonte rinnovabile che negli ultimi decenni, con il crescere della popolazione ha fatto registrare un forte aumento dei consumi, creando gravi problemi di deforestazione particolarmente evidenti nell'Africa subsahariana e in Asia. Il forte consumo di legna non si registra solo nelle zone rurali. Infatti, almeno mezzo miliardo di persone site in aree urbane utilizza questa risorsa. Sono i poveri dei PVS, ma anche quelli dei paesi emergenti. Nel 2004 il consumo domestico di biomassa è stato di 750 milioni di TEP (circa il 7% della domanda mondiale di energia). Nei PVS, 2,5 miliardi di persone hanno usato biomassa per cucinare, e tale consumo ha rappresentato l'88% dei consumi totali di biomassa (tab. 2).

Di per sé l'uso della biomassa come energia non rappresenta un fatto negativo. Tuttavia quando tale risorsa, come avviene per il legno, è raccolta in modo

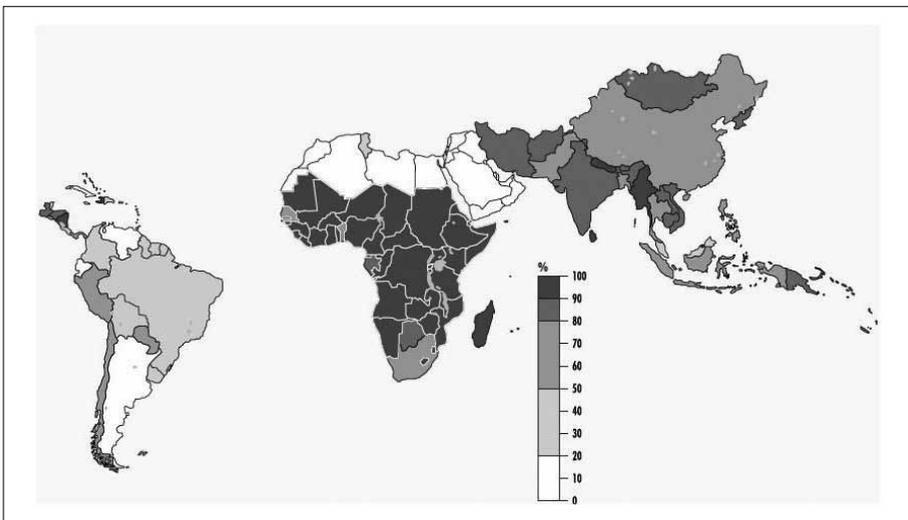


Fig. 3 Percentuale di ricorso alle biomasse per usi domestici (da OECD/IEA)

	POPOLAZIONE TOTALE		RURALE		URBANA	
	%	milioni	%	milioni	%	milioni
Africa Sub-Sahariana	76	575	93	413	58	162
Nord Africa	3	4	6	4	0,2	0,2
India	69	740	87	663	25	77
Cina	37	480	55	428	10	52
Indonesia	72	156	95	110	45	46
Resto dell'Asia	65	489	93	455	35	92
Brasile	13	23	53	16	5	8
Resto dell'America Latina	23	60	62	59	9	25
<b>Totale</b>	<b>52</b>	<b>2528</b>	<b>83</b>	<b>2147</b>	<b>23</b>	<b>461</b>

Tab. 2 *Persones che utilizzano biomassa come combustibile primario per cottura (da OECD/IEA)*

insostenibile e quando le tecnologie di conversione energetica sono inefficienti, il fatto diventa negativo non solo per i forti sprechi e per le conseguenze negative sull'ambiente, ma anche per gli effetti sulla salute delle persone. Si valuta che circa 1,3 milioni di persone, principalmente donne e bambini, muoiano prematuramente per intossicazione provocata dai fumi della combustione.

La risorsa legno, in particolare, non può dunque più essere impiegata in modo sostenibile come fonte energetica principale nei PVS, per cui occorre pensare ad altre risorse e, in particolare, all'energia solare nelle sue forme dirette e indirette.

Per fortuna questa fonte, come il professore Pellizzi faceva rilevare nel suo scritto, è ampiamente disponibile in questi paesi che, sostanzialmente, sono situati nella zona tra il 35° di latitudine nord e sud. Aree che non solo beneficiano di una radiazione solare molto alta (mediamente 20000 KJ/m<sup>2</sup>-giorno) ma anche di una elevata costanza nell'arco dell'anno.

Oggi questo è largamente condiviso dai governi dei PVS. Così, in Niger ad esempio, e cioè in piena area Saheliana, il documento di "Strategie e di Piano di Azione Nazionale" sulle energie rinnovabili adottato dal 2003 si è posto come obiettivi strategici:

- la riduzione della povertà nelle zone rurali, puntando sull'energia solare ritenuta una soluzione economica e durevole per l'elettrificazione rurale decentralizzata e per soddisfare i bisogni di base della popolazione;
- la riduzione della pressione della risorsa energetica legno al fine di preservare l'ambiente (in Niger come negli altri paese del Sahel, il legno rappresenta più del 90% del consumo energetico specialmente destinato alla cottura degli alimenti);

- la riduzione della dipendenza energetica dovuta all'importazione di idrocarburi e all'energia elettrica importata dalla Nigeria. Con l'utilizzazione massiva dell'energia elettrica da fonte solare, si vuole passare dall'attuale tasso nazionale d'accesso della popolazione all'elettricità, pari al 5,12%, al tasso del 25% per il 2020.

Dagli stessi governi nazionali dei PVS, viene quindi riconosciuto che la crescita sostenibile deve fare riferimento a fonti rinnovabili. Tra queste l'energia:

- da biomassa (diversa dal legno);
- dal sole direttamente;
- dal vento;
- dall'acqua.

In ogni caso, l'indirizzo prevalente è quello di puntare non su grandi impianti centralizzati ma sul decentramento energetico, basato su impianti di non grande capacità, il più possibile semplici, di facile utilizzo e a basso costo. La stessa UE è indirizzata su questa linea. Il programma di "Agevolazioni per l'energia" nato per finanziare progetti di trasferimento di tecnologie energetiche a favore dei PVS, ha recentemente finanziato 75 progetti basati sulle energie rinnovabili per un totale di 198 M€. Tre di questi progetti sono italiani: il primo in Etiopia, il secondo in Madagascar e il terzo in Rwanda, tutti basati sull'elettrificazione rurale.

Gli esempi di realizzazioni basate su fonti energetiche rinnovabili che verranno di seguito riportati, rispondono a queste impostazioni generali e cioè: ricorso a fonti rinnovabili con impianti decentralizzati in funzione delle risorse disponibili e con l'impiego di tecnologie appropriate.

#### ESEMPI DI TECNOLOGIE APPROPRIATE

##### *Biomasse*

Escludendo l'impiego del legno l'interesse per le biomasse nei PVS sembra soprattutto rivolto alla produzione di biogas e di biocombustibili.

##### *Biogas*

Il biogas rappresenta una risorsa interessante per i PVS in quanto:

- gli impianti decentrati in aree rurali non richiedono grandi investimenti;
- il digestato è un buon fertilizzante;

– è un ottimo sostituto del legno specie per i consumi domestici.

Nell'utilizzazione in cucina, una produzione media giornaliera di 1,5 m<sup>3</sup> di biogas è sufficiente per cucinare e per riscaldare l'acqua necessaria a 20-30 persone.

Si è già parlato dei progetti in Kenia e in Etiopia finanziati dall'UE; qui si vuole riportare l'esperienza condotta in Mali e presentata da Dembélé e Bayoko in un incontro internazionale tenuto a Bamako nel febbraio 2005, relativa alla fermentazione di paglia di riso e di steli di sorgo e di cotone per la produzione di biogas.

Il Mali ha una popolazione di 12 milioni di abitanti e il 91% della stessa utilizza il legno come fonte energetica. Non solo le aree rurali, ma tutte le grandi città del Paese esercitano una forte pressione sul consumo del legno come fonte energetica. Ogni anno, per un raggio di 200 km intorno alla capitale Bamako, viene prelevato un milione di tonnellate di legno a fini energetici e circa 400000 ettari di foresta vengono annualmente disboscati (fig. 4). Una situazione quindi che rispecchia ampiamente quella di tutta l'area Saheliana.

Negli anni '80 del secolo scorso, furono installati 75 impianti biogas di fabbricazione cinese destinati alla fermentazione di deiezioni animali (vacche) con capacità compresa tra 6 e 11 m<sup>3</sup>. I risultati sono stati deludenti e molti di



Fig. 4 *Deforestazione in Mali*

questi impianti già alla fine degli anni '80 non erano più in funzione a causa:

- dell'approvvigionamento non regolare delle deiezioni e dell'acqua;
- della difficoltà di esercizio e di una insufficiente preparazione delle persone;
- del carico di lavoro e di una scarsa motivazione.

La sperimentazione messa in atto dal IPR/IFRA di Katibougou, presentata nell'incontro di Bamako, consiste in 12 digestori in lamiera della capacità di 100 litri dai quali si è ottenuto una produzione media giornaliera di biogas, con una temperatura ambientale di 34-38 °C e un tempo di ritenzione di 50 giorni, pari a:

- 0,33 – 0,35 l/l di digestore per il sorgo (fig. 5);
- 0,20 – 0,31 l/l di digestore per il cotone;
- 0,06 – 0,08 l/l di digestore per la paglia di riso.

La percentuale di metano mediamente è risultata del 68%.

Risultati quindi interessanti che mirano a valorizzare una tecnologia semplice e poco costosa con l'impiego di una biomassa ligno-cellulosica di cui il Mali dispone in grande quantità. Gli Autori indicano infatti una disponibilità annua di:

- 5 milioni di tonnellate per gli steli di sorgo, miglio e mais;
- 500 mila tonnellate per gli steli di cotone;
- 100 mila tonnellate per la paglia di riso.

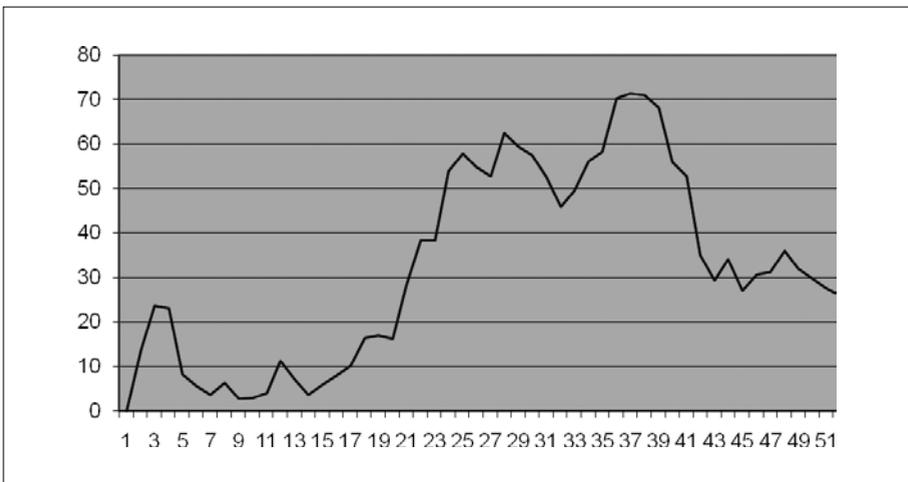


Fig. 5 *Produzione di biogas dalla fermentazione degli steli di sorgo (litri) (Dembélé, Bayoko)*

### *Biocombustibili*

L'interesse per le biomasse destinate alla produzione di biocombustibili è crescente, sia pure con impostazioni diverse, quali la produzione di biocombustibile di seconda generazione e il ricorso a colture destinate o alle microalghe.

Anche nei PVS, queste tecnologie possono assumere un ruolo importante. Tra le colture destinate da coltivare in aree tropicali, vi è interesse crescente per la *Jatropha* (fig. 6), che possiede caratteristiche interessanti per la produzione di biodiesel.

La pianta cresce rapidamente anche in terreni poveri, resiste alla siccità e la sua granella ha un contenuto in olio pari a 27-40%, per cui si possono ottenere 2-3 tonnellate d'olio per ettaro e per anno. L'India prevede di impiantare 14 milioni di ettari di *Jatropha* entro il 2012 e anche lo Zimbabwe, a partire dal 2010, vuole estendere la coltura per avviare la produzione di biodiesel.

### *Energia solare*

L'energia che il Sole manda alla Terra è abbondante e diffusa, però ha una bassa intensità e non è continua. La densità di potenza che si registra in una abitazione del mondo occidentale varia da 20 a 100 W/m<sup>2</sup>, quella di una acciaieria è compresa tra i 300 e i 900 W/m<sup>2</sup>, mentre la potenza dell'energia solare è in media di circa 170 W/m<sup>2</sup>; potenza fornita che si riduce drasticamente quando si converte in potenza utilizzabile (Amaroli – Balzani). Proprio per queste sue caratteristiche l'energia solare, così disponibile nei PVS, può essere convertita senza particolari problemi in energia termica mentre è più difficile e costoso trasformarla in energia elettrica.

### *Energia termica dal sole*

Le tecnologie di utilizzazione dell'energia termica solare messe in atto, o che si possono mettere in atto, nei PVS sono diverse. Ci limitiamo a riportare qualche esempio.

Una tecnologia semplice ma utilissima è quella dei *forni solari* per la cottura degli alimenti e per la potabilizzazione dell'acqua.



Fig. 6 *Jatropha curcas*

Una ricerca condotta da A. Calvo, M.P. Tassetti dell'Università di Torino, finanziata dalla regione Piemonte sui fondi della cooperazione, ha consentito di fare il punto sulle tecnologie esistenti e di proporre soluzioni più efficienti, allo scopo di diffondere le tecniche di costruzione e di utilizzazione dei forni solari.

Gli obiettivi che si sono perseguiti sono stati:

- massimo utilizzo dell'energia solare;
- semplicità di utilizzo;
- facilità di spostamento;
- facilità di pulizia;
- rendimenti all'altezza delle esigenze degli utenti;
- prezzi moderati.

I modelli di forno solare sperimentati sono stati quelli che nelle esperienze condotte in vari paesi africani, asiatici e del centro America, avevano fornito buoni risultati decidendo poi di lavorare su due modelli: il modello Boite e il modello ULOG, diversi per la differente penetrazione dei raggi solari nella camera di cottura (fig. 7).

Il forno solare proposto è in pratica un telaio di legno rivestito sui quattro lati e sul fondo con due strati e isolato per mezzo di uno spazio intermedio con materiale semplice (segatura, semi di cotone – materiale che aumenta

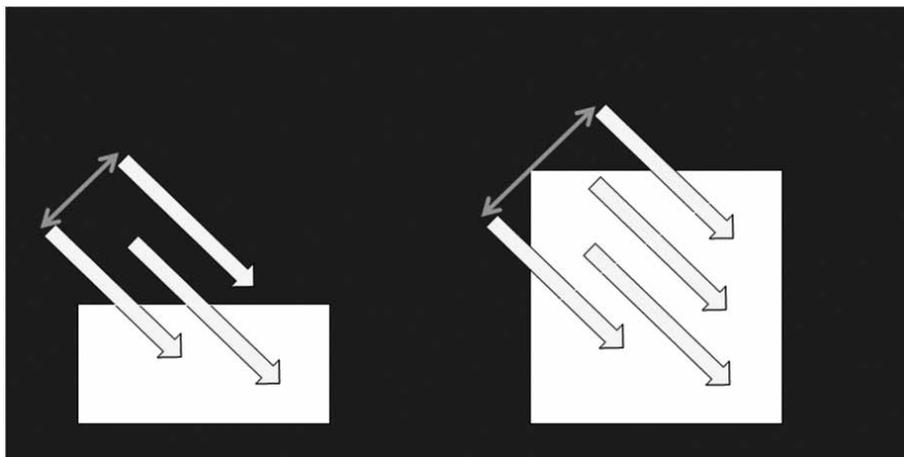


Fig. 7 *Differenza di penetrazione della radiazione solare tra la cucina tipo scatola e l'ULOG (Calvo, Tassetti)*

il peso del forno utile in caso di utilizzo in zone ventose –, residui secchi di colture, polistirene, fibre di kapokier, pezzetti di carta riciclata) e con un semplice vetro sulla faccia superiore.

Le dimensioni del forno possono variare secondo il numero di persone che compongono la famiglia.

L'interno deve essere ricoperto mediante lamiera riflettente sulle pareti laterali e con una lamiera verniciata di nero sulla base.

L'accesso per l'introduzione/prelievo della pentola è possibile grazie a uno sportello posteriore. La pentola di alluminio è verniciata in nero, come anche il coperchio che permette una buona chiusura.

La realizzazione tecnica di questi due modelli di cucine è quindi basata su:

- utilizzo dei materiali disponibili localmente;
- possibilità tecnica di costruzione sul posto;
- basso costo di realizzazione e quindi di diffusione;
- buon livello di efficienza termica;
- semplicità di utilizzo.

Questa impostazione ne ha consentito la diffusione in diversi paesi.

Altra importate applicazione del solare termico è l'*essiccazione dei prodotti alimentari*. Nei PVS, la catena del freddo per la conservazione degli alimenti freschi è molto carente, se non assente, come generalmente avviene nelle aree rurali. L'essiccazione dei prodotti sia vegetali e sia animali, viene effettuata soprattutto con la diretta esposizione al sole in condizioni igieniche gravemente insufficienti.

Il DEIAFA sez. Meccanica dell'Università di Torino, a partire dall'inizio degli anni '90 del secolo scorso, su finanziamento della Regione Piemonte sempre con i fondi della cooperazione, ha avviata una attività sperimentale in Niger. Attività che grazie all'impegno costante del Dott. Stefano Bechis, ancora oggi continua e che ha portato alla realizzazione di diversi modelli di essiccatoi solari: il primo nel 1993 – IMA 1993 –, l'ultimo nel 2007 – Icaro 2007 – (fig. 8).

La logica seguita nella progettazione e realizzazione degli essiccatoi, scaturita dopo un attento studio e analisi delle condizioni del paese, ha portato a definire le seguenti linee guida:

- essiccazione al riparo dal sole con ventilazione forzata;
- completa autosufficienza energetica e buona efficienza di essiccazione;
- semplicità di realizzazione, senza impiego del vetro e facilità di utilizzazione;
- possibilità di spostamento dell'unità;
- prezzo moderato.

Il materiale impiegato è stato la lamiera annerita, che è il metallo più disponibile in loco, facilmente lavorabile in modo da consentirne la realizzazione da parte degli artigiani locali. Nel modello del 1998 la camera di essiccazione è un parallelepipedo a base quadrata con larghezza di un metro e altezza di 1,4



Fig. 8 *Modelli di essiccatoi solari sperimentati in Niger*

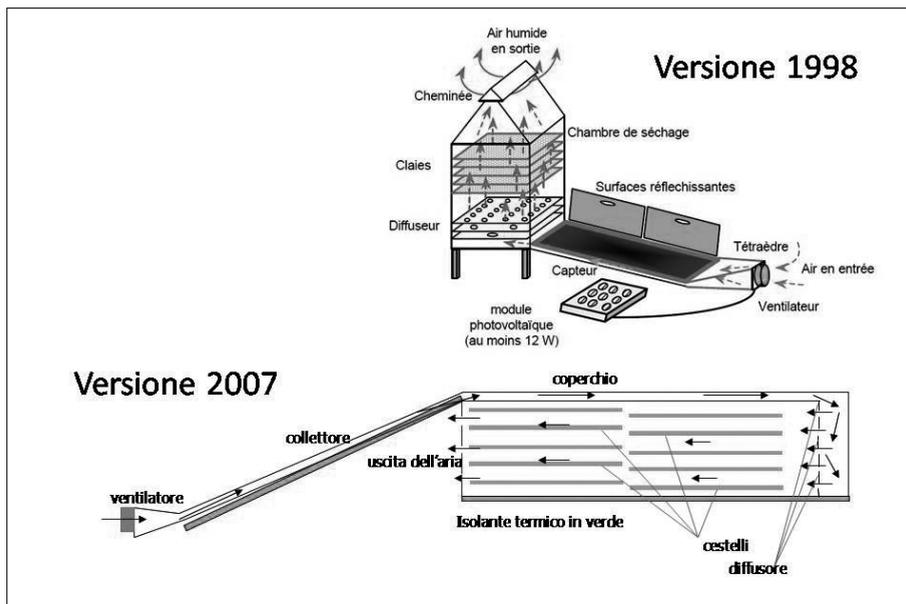


Fig. 9 *Movimenti dell'aria nell'essiccatoio Icaro (Bechis)*

metri. La camera, alla cui base si trova un diffusore dell'aria, si raccorda con il captatore solare (200 x 100 x 2,5 cm). Un ventilatore, posto davanti al captatore, azionato da un pannello fotovoltaico mette in circolazione l'aria (fig. 9).

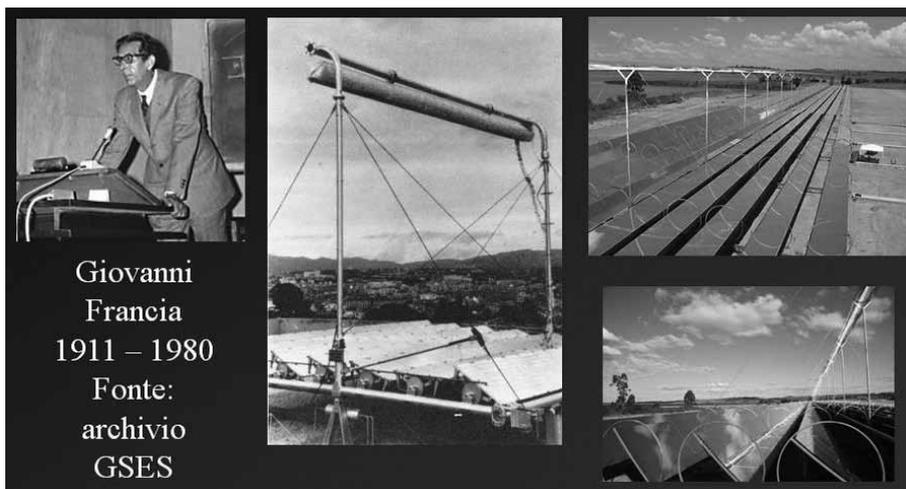
Il funzionamento dell'unità è semplice:

- il pannello fotovoltaico (40 Wp) alimenta il ventilatore;
- il ventilatore insuffla l'aria attraverso il collettore;
- il collettore capta i raggi solari e scalda l'aria che lo attraversa;
- l'aria attraverso il diffusore percorre la camera di essiccazione dal basso verso l'alto, per poi uscire attraverso il camino.

Le prove di essiccazione eseguite in Niger hanno fornito ottimi risultati, in termini di efficienza energetica e di qualità del prodotto essiccato. L'essiccatoio viene ora realizzato direttamente in Niger e, attualmente, più di 30 unità operano nei villaggi rurali di questo Paese.

### *Energia solare elettrica*

Negli USA è tornato attuale, per la semplicità e l'economicità costruttiva, la realizzazione di centrali solari a concentrazione, basate sul principio inventato oltre 40 anni fa da Giovanni Francia (fig. 10).



Giovanni  
Francia  
1911 – 1980  
Fonte:  
archivio  
GSES

Fig. 10 *Solare a concentrazione con specchi piani*

Tale soluzione può essere indubbiamente interessante per i PVS, pensando a installazioni di una certa potenza in aree desertiche vicino a centri abitati. È indubbio però che il *fotovoltaico* rappresenti la tecnologia che può fornire un grosso contributo alla elettrificazione decentrata di questi paesi.

A partire dal 2003, la regione Piemonte, attraverso il comitato di solidarietà ha finanziato il DEIAFA sez. Meccanica dell'Università di Torino, un progetto a favore della Mongolia, inteso a fornire energia elettrica con impianti fotovoltaici ad alcuni nuclei famigliari di nomadi residenti nelle tende tradizionali (Ger) e a edifici di pubblica utilità (scuola e ospedale).

Nell'elettrificazione delle tende, ciascun impianto fotovoltaico di 110 Wp 12V cc, con batteria ermetica da 110 Ah 12V, è stato dotato di un punto luce per ogni tenda e di due prese e due spine polarizzate in modo da potere collegare utenze elettriche diverse, quali: radioregistratore, televisore e decodificatore, ecc., con possibilità di alimentare due o più tende contigue. Pertanto i dieci impianti installati hanno permesso di elettrificare 20 tende (figg. 11, 12).

Per l'elettrificazione dell'ospedale e della scuola, si è invece ricorso a un impianto fotovoltaico da 540 Wp 220V ca, con batteria ermetica da 314 Ah 24V.

Un settore nel quale l'energia elettrica da fonte solare può dare un grosso contributo è quello della potabilizzazione dell'acqua. Malgrado il 70% della superficie terrestre sia coperto da acqua, solo il 2,5% è costituito da acqua dolce (quella disponibile è lo 0,01%), mentre il restante 97,5% è acqua salata.

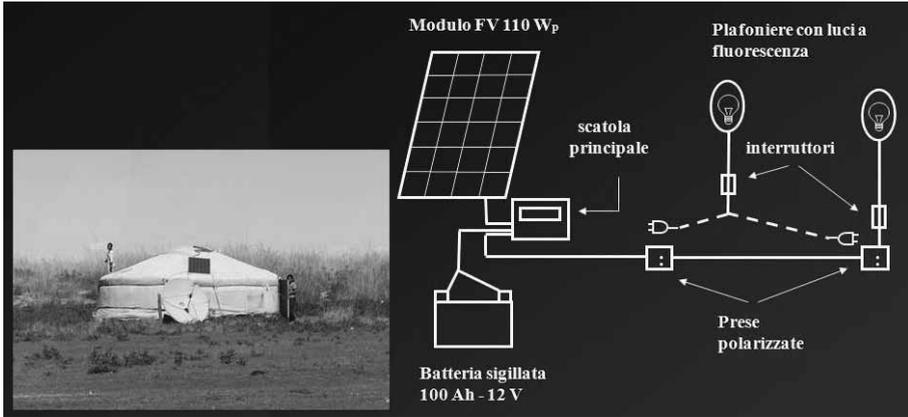


Fig. 11 Schema di impianto autonomo 12 Vcc per le tende dei nomadi della Mongolia (Bechis)



Fig. 12 Utenze di impianto autonomo 12 Vcc per le tende dei nomadi della Mongolia

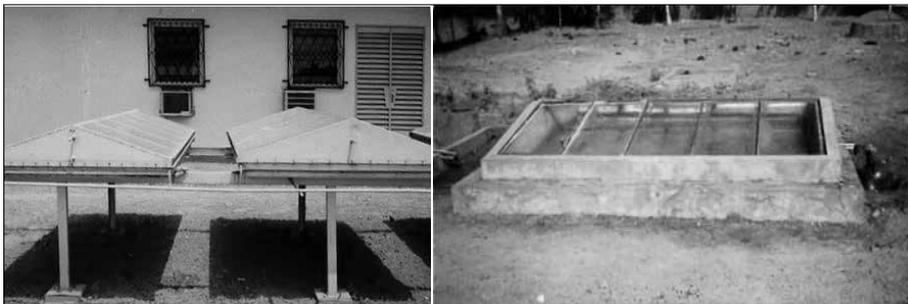


Fig. 13 Distillatori solari per produzione d'acqua (a sinistra), di sale (a destra)

La carenza di acqua potabile dunque è un problema grave destinato ad accentuarsi e lo è soprattutto per gli abitanti dei PVS che più degli altri accusano la scarsità di acqua potabile: condizione che si traduce in gravi problemi a carico della salute e della stessa sopravvivenza. Attraverso l'energia elettrica prodotta da un impianto fotovoltaico è possibile non solo pompare acqua ma anche desalinizzarla e potabilizzarla (fig. 13). Con una installazione fotovoltaica da 120 Wp è possibile attuare il pompaggio e la potabilizzazione dell'acqua necessaria a un villaggio di 60 persone.

### *Energia eolica e idrica*

La produzione di elettricità tramite *aerogeneratori* è molto cresciuta negli ultimi anni. Nel 2007 la potenza mondiale globale è aumentata di 20000 MW, mentre nella sola Europa la crescita annua è stata di 8500 MW nel 2007 e si è praticamente quasi confermata nel 2008.

I rilievi della NASA sulla distribuzione della velocità media annuale del vento nel decennio 1983-1993, dimostrano che questa risorsa è ampiamente disponibile anche nei PVS.

Prescindendo dai grandi impianti, che se ci sono le condizioni possono avere significato, la produzione di energia elettrica da fonte eolica può anche essere ottenuta, specie nelle aree rurali, con piccoli aerogeneratori ad asse orizzontale o verticale, per fornire energia meccanica (fig. 14) o elettrica.

La tecnologia, sia per i grandi impianti (oltre 10 MW), sia per i piccoli (meno di 5KW), è ampiamente matura e richiede un uso ridotto del territorio. Piccoli impianti da 400-500 W possono essere montati sui tetti delle case per cui non si viene a sottrarre terreno agricolo ai coltivatori. Questi impianti, specie se limitati alla produzione di energia meccanica, possono essere realizzati facilmente in loco, per cui ben si prestano a essere insediati in aree dei PVS dove si può godere della risorsa eolica.

Per *l'energia dall'acqua* può valere lo stesso discorso. L'analisi del potenziale idroelettrico mondiale dimostra che, se si esclude l'Europa e il Nord America, tale potenziale è ancora scarsamente utilizzato e lo è specialmente in Africa.

Anche per questa energia, la tecnologia è ampiamente matura sia per i grandi e sia per i piccoli impianti, per cui anche da questa fonte potrebbe derivare un significativo contributo energetico per i PVS che ne dispongono.



Fig. 14 Aerogeneratore per il pompaggio meccanico dell'acqua in Niger

#### BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2000): *Icaro: Séchoir solaire à ventilation forcée pour aliments*, Regione Piemonte.
- ARMAROLI N., BALZANI V. (2008): *La Chimica e L'Industria*, Novembre.
- ARMAROLI N., BALZANI V. (2009): *Energia per l'astronave Terra*, Zanichelli.
- CALVO A., TASSETTI M.P. (2002): *Les fours solaires*, Regione Piemonte.
- DEMBÉLÉ F., BAYOKO P. (2005): *La fermentation sèche des tiges de sorgho, de coton et des pailles de riz à l'IPR/IFRA de Katibougou*, 3° Colloque International du Réseau inter universitaire "Turi-Sahel", Bamako 10-13 febbraio 2005.
- HOFFMAN A.R. (2009): *Sicurezza idrica: il ruolo dell'energia rinnovabile per una crisi crescente*, «ilsoleatrecentosessantagradi», 3.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2006): *World Energy Outlook*.
- PELLIZZI G. (1978): *Solar Energy as a Tool for Improving Agriculture in Developing Countries*, in *Solar Energy and Agriculture*, Sogesta, pp. 9-31.

GIORGIO PROVOLO\*

## Sostenibilità ambientale dell'uso agronomico di residui dai processi zootecnici e agro-industriali

### ALLEVAMENTO ZOOTECNICO E NECESSITÀ DI EQUILIBRIO CON IL TERRITORIO

Negli ultimi anni il settore agricolo ha subito profonde trasformazioni e ha modificato sostanzialmente i suoi rapporti con gli altri settori produttivi e soprattutto con i consumatori.

Infatti si è ora molto distanti dall'idea di un settore primario indispensabile per assicurare la produzione di sufficienti derrate alimentari che aveva animato il periodo del dopoguerra e aveva connotato la costituzione della Politica Agricola Comune negli anni '50.

Attualmente, l'apertura dei mercati, l'allargamento della Comunità Europea e la incrementata capacità produttiva hanno reso i prodotti alimentari largamente disponibili e, in molti comparti, si è dovuto ricorrere al contingentamento per ridurre le eccedenze.

Contemporaneamente è aumentata l'attenzione verso le modalità con cui il settore agricolo si relaziona con le componenti sociali e con il territorio.

Infatti, nel corso degli ultimi decenni il rapporto tra agricoltura e territorio è andato mutando in modo significativo. Infatti, fino alla metà del secolo scorso l'agricoltura aveva un ruolo predominante in termini sia di numero di addetti sia di produzione lorda vendibile e tutto il territorio era ben integrato con l'attività primaria che realizzava anche il ruolo di manutenzione del territorio. La ruralità era di fatto presente in tutti contesti compreso quello urbano.

L'evoluzione del secondario prima e del terziario poi, con tutte le conseguenze sull'apertura dei mercati e dei trasporti, ha provocato un distacco

\* *Dipartimento Ingegneria Agraria, Università degli Studi di Milano*

significativo tra il settore primario e l'utilizzatore dei suoi prodotti e servizi. Ciò ha comportato il non riconoscimento del ruolo attuale di questo comparto da parte di una rilevante porzione della popolazione e in particolare da quella cittadina.

Al contempo sta crescendo l'esigenza di una maggior qualità e tracciabilità dei prodotti unita alla evidenza di una situazione ambientale non sostenibile senza adeguati interventi di recupero e tutela. Tale necessità è chiaramente espressa anche dal regolamento (CE) 1698/2005 sul sostegno allo sviluppo rurale.

A fronte di questa situazione, la maggior parte delle iniziative attivate al fine di riconciliare il settore rurale con quello urbano hanno avuto il presupposto di avvicinare il cittadino all'attività agricola sia in termini di sistemi di produzione, sia in termini di fruizione del territorio.

Se questo ha portato un aumento significativo della coscienza e conoscenza del ruolo del primario, non ha contribuito a integrare le diverse componenti del territorio.

Questa carenza è attribuibile principalmente a un approccio che è sempre stato visto in modo unidirezionale dalla città verso la campagna ponendo il cittadino come "visitatore" e fruitore di un ambiente non suo e in cui non si sente partecipe.

I concetti di multifunzionalità dell'agricoltura sono stati spesso interpretati come aspetti di polifunzionalità, cioè di funzioni diverse ma non integrate, portando a risultati interessanti dal punto di vista dei redditi, ma fallendo nel recupero dei valori di ruralità nella cultura della popolazione.

In questo quadro, il settore agricolo, pur perpendo le indicazioni che arrivano sia dal mercato sia dalle nuove regole comunitarie, non dispone di strumenti adeguati e di indicazioni tecniche validate per l'introduzione degli aspetti di salvaguardia ambientale che coinvolgono l'attività produttiva in modo integrato.

Ne risulta la necessità di sviluppare dei modelli di applicazione delle numerose acquisizioni della comunità scientifica a livello sia nazionale sia internazionale che possano essere adottati nella filiera produttiva tipica della agricoltura lombarda. Infatti, le numerose indicazioni volte alla tutela ambientale e salvaguardia del territorio sono sempre state affrontate in modo frammentario e non risulta evidente la sostenibilità degli interventi con la conseguente difficoltà e diffidenza nella loro adozione da parte degli agricoltori che temono una riduzione dei redditi.

Infatti, il concetto di sostenibilità richiede che l'attività agricola:

- sia ambientalmente compatibile;

- sia conveniente dal punto di vista economico e mantenga/crei l'occupazione per le attività produttive e “ambientali”;
- produca beni alimentari con la qualità attesa dai consumatori intermedi e finali;
- promuova i valori sociali e culturali delle comunità rurali.

Inoltre, non è presente una sufficiente conoscenza del ruolo dell'agricoltura nella salvaguardia ambientale, tutela del territorio e manutenzione del paesaggio. Risulta a questo proposito necessario diffondere tali aspetti non solo agli operatori agricoli ma anche alle altre componenti del territorio in modo da far riconoscere i benefici indiretti che un'agricoltura rispettosa trasferisce al territorio su cui opera.

Emerge nel contesto della multifunzionalità che la competitività delle imprese agricole va considerata in termini globali, come globale è l'offerta del settore; ne deriva che è appropriato discutere di competitività a livello di spazio rurale, in cui l'attività agricola multifunzionale si svolge, e affrontare tale problematica a livello di sviluppo rurale. Le ricerche condotte in Europa e in Italia nelle aree rurali dimostrano che le aree rurali di “successo” sono quelle nelle quali l'offerta del settore agricolo è appunto globale e sostenibile.

Si tratta di un processo difficile e oneroso che non può essere realizzato in modo indifferenziato su tutto il territorio. Il risultato può essere conseguito solo grazie a una maturazione culturale degli imprenditori agricoli che richiede tempi lunghi e un programma di azione coerente nel tempo che veda coinvolti tutti i soggetti, compresi i fruitori, che ruotano attorno al “sistema agricoltura”.

È necessario, quindi, recuperare l'attività dell'azienda agricola nel settore primario nel suo ruolo multifunzionale e territoriale. Questo significa considerare l'azienda un sistema complesso in cui la produzione è uno degli aspetti ma non esaurisce le funzioni. Infatti, l'effetto dell'attività agricola non si esaurisce con la produzione (latte, carne, cereali, foraggi) che viene in parte re-impiegata e in parte venduta, ma si concretizza anche in esternalità positive o negative che riguardano l'interazione dell'azienda con il territorio in cui si colloca.

Sicuramente positive solo le azioni di manutenzione del paesaggio e di conservazione del territorio che sono implicite nell'attività agricola produttiva. Si pensi, a esempio, alla manutenzione dei canali irrigui, delle strade pedonali, ma anche alla conservazione del patrimonio edilizio rurale. Tutto ciò va a contribuire alla connotazione del paesaggio, che qualifica un territorio con un beneficio per la collettività. Anche dal punto di vista più propriamente ambientale l'attività agricola può portare a effetti positivi sul mantenimento di una elevata biodiversità e della qualità del sito.

Al tempo stesso, l'agricoltura genera esternalità negative alcune delle quali attribuibili a un uso non corretto dei fattori di produzione.

Una di queste è legata al rilascio di nutrienti e fitofarmaci verso le acque superficiali e di falda che costituisce una delle forme dell'inquinamento diffuso di origine agricola. Tale fenomeno è strettamente legato alle modalità di esecuzione delle operazioni colturali e, per questo motivo, è quello per cui sono più facilmente individuabili le modalità di riduzione.

L'aumento dei rilasci peraltro deriva sempre da un disequilibrio tra le esigenze delle colture praticate e l'apporto di elementi nutritivi, anche se gli effetti non sono facilmente quantificabili e non possono essere generalizzati poiché dipendono da condizioni locali che comprendono numerosi fattori, di tipo pedologico, topografico, idrologico, gestionale.

Sulla base di queste considerazioni, risulta evidente come il rischio di rilascio di nutrienti sia direttamente proporzionale alla loro disponibilità nel terreno in una forma tale da poter essere trasportata verso le acque.

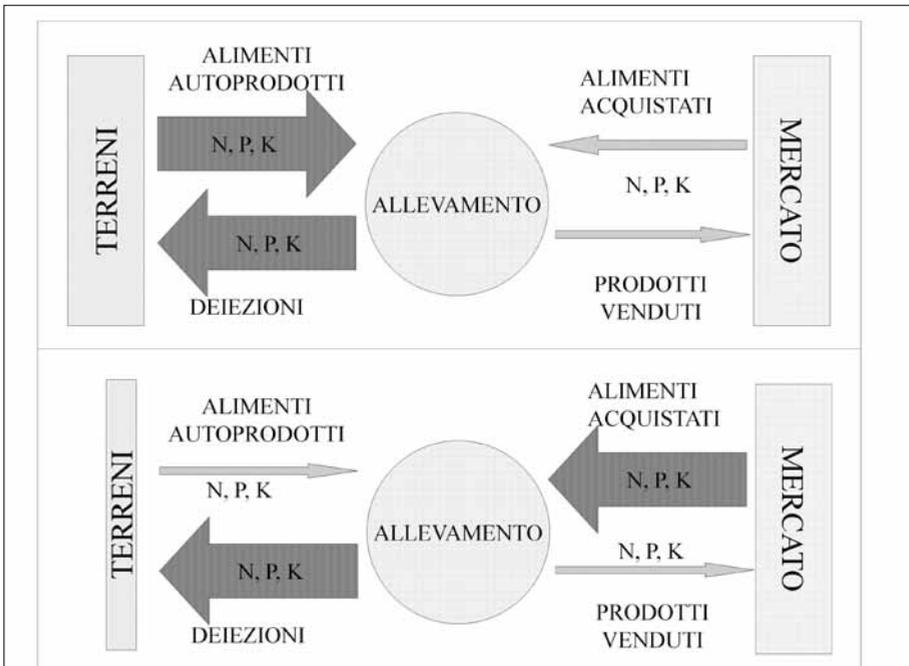


Fig. 1 Gli allevamenti sono in equilibrio con i terreni quando la quantità di elementi nutritivi che vengono asportati dalle colture è equivalente a quella prodotta con i reflui (sopra). Quando l'allevamento acquista dall'esterno la maggior parte degli alimenti, i reflui prodotti contengono elementi nutritivi in eccesso che aumentano il rischio di rilascio verso le acque (sotto)

Nel quadro delle attività agricole, la zootecnia viene considerata sicuramente quella su cui è necessario focalizzare l'attenzione in quanto potenzialmente più a rischio. Infatti, l'allevamento zootecnico pone alcune problematiche ambientali che derivano, sostanzialmente dal disequilibrio che si introduce nel sistema produttivo nel momento in cui l'acquisto di materie prime dall'esterno dell'azienda (alimenti) non viene compensato dai prodotti che vengono ceduti (carne, latte).

Questo disequilibrio si traduce nella produzione di effluenti di allevamento che costituiscono un valido fertilizzante, ma il cui apporto in elementi nutritivi ai terreni che li ricevono è spesso in esubero rispetto alle esigenze delle colture praticate. Da ciò deriva un rischio di rilascio dei nutrienti in eccesso e, quindi, un possibile inquinamento dell'ambiente (fig. 1).

#### INQUINAMENTO DA FONTI DIFFUSE

La situazione nelle aree ad agricoltura intensiva con elevato carico zootecnico risulta critica per quanto riguarda il rischio di inquinamento delle acque legato in particolare ai nitrati.

I principali fattori di rischio di inquinamento da nitrati di origine agricola, oltre a quelli rappresentati dalla concentrazione degli allevamenti e dal numero di capi allevati, sono così riassumibili:

- lo squilibrato rapporto tra i capi allevati, le superfici disponibili per lo spandimento degli effluenti prodotti e la capacità di assorbimento di nutrienti da parte delle colture praticate;
- l'andamento meteorico (che facilita il trasporto superficiale e la lisciviazione di nutrienti provenienti dal terreno, dagli effluenti di allevamento, dai fertilizzanti di sintesi);
- l'uso molto diffuso dei sistemi di irrigazione per scorrimento superficiale;
- l'applicazione di calendari di distribuzione degli effluenti non coerenti con i periodi di maggiore fabbisogno di elementi nutritivi da parte delle colture;
- il non adeguato dimensionamento dei contenitori per lo stoccaggio degli effluenti per far fronte ai periodi in cui è impossibile, ovvero proibita, la loro applicazione al suolo, ovvero la loro inidoneità (platee non impermeabilizzate, ecc.).

Il tipo di inquinamento che può essere generato dall'attività agricola e zootecnica è sia di tipo puntuale che diffuso. L'agricoltura, e l'allevamento zootecnico in particolare, sono spesso considerati come i principali responsabili dell'inquinamento diffuso.

Questo è in contrasto con la tradizione contadina che ha sempre considerato una “ricchezza” le deiezioni animali e non le ha mai valutate negativamente da un punto di vista ambientale.

I profondi cambiamenti introdotti nel sistema produttivo a partire dall'ultimo dopoguerra hanno portato, fra le altre cose, a una alterazione delle modalità di produzione e utilizzazione dei reflui zootecnici. In particolare, l'apertura dei mercati e la reperibilità di alimenti al di fuori del sistema produttivo aziendale ha consentito di svincolare l'allevamento dalla superficie coltivata, fino ad arrivare all'estremo dell'allevamento “senza terra”. In queste condizioni, la tendenza degli allevatori è stata quella di non considerare più i reflui come fonte di nutrienti, con la conseguente loro gestione non sempre corretta. Ciò ha portato l'agricoltura, e la zootecnia in particolare, a essere additata come maggiore responsabile dei fenomeni di inquinamento diffuso.

La risposta a questa problematica dal punto di vista normativo, a livello sia comunitario sia nazionale, è orientata verso la riduzione dell'impatto degli allevamenti zootecnici sull'inquinamento diffuso, con particolare riguardo a quello da nitrati, da raggiungere mediante il corretto utilizzo agronomico degli effluenti di allevamento.

L'aspetto più importante dell'inquinamento diffuso è che viene causato da eventi climatici non controllabili dall'uomo. I processi che influenzano il trasporto degli inquinanti verso le acque superficiali sono parte del ciclo idrologico (fig. 2). L'acqua presente in atmosfera sotto forma di vapore acqueo, ritorna sulla superficie della terra sotto forma di precipitazioni. La maggior parte di queste cade su mari e oceani; solo una piccola parte (circa il 20%) cade sulla terraferma. Queste sono le precipitazioni coinvolte nei fenomeni di inquinamento diffuso.

Quando la pioggia giunge al suolo, una parte evapora direttamente in atmosfera o viene intercettata dalla vegetazione. La parte rimanente raggiunge il terreno e può entrare nel suolo per infiltrazione. L'acqua continua a penetrare nel terreno fino a quando l'intensità con cui cade non supera quella che può essere accettata dal terreno. A questo punto, la pioggia in eccesso inizia a riempire i piccoli avvallamenti della superficie del terreno. Se la precipitazione continua a superare la capacità di infiltrazione, l'acqua comincia a fluire sulla superficie dando origine allo scorrimento superficiale.

Prendendo in considerazione i due elementi che intervengono direttamente nel processo di eutrofizzazione, azoto e fosforo, è importante ricordare che il loro rilascio nelle acque avviene indipendentemente dall'attività agricola ed è una componente del loro ciclo naturale.

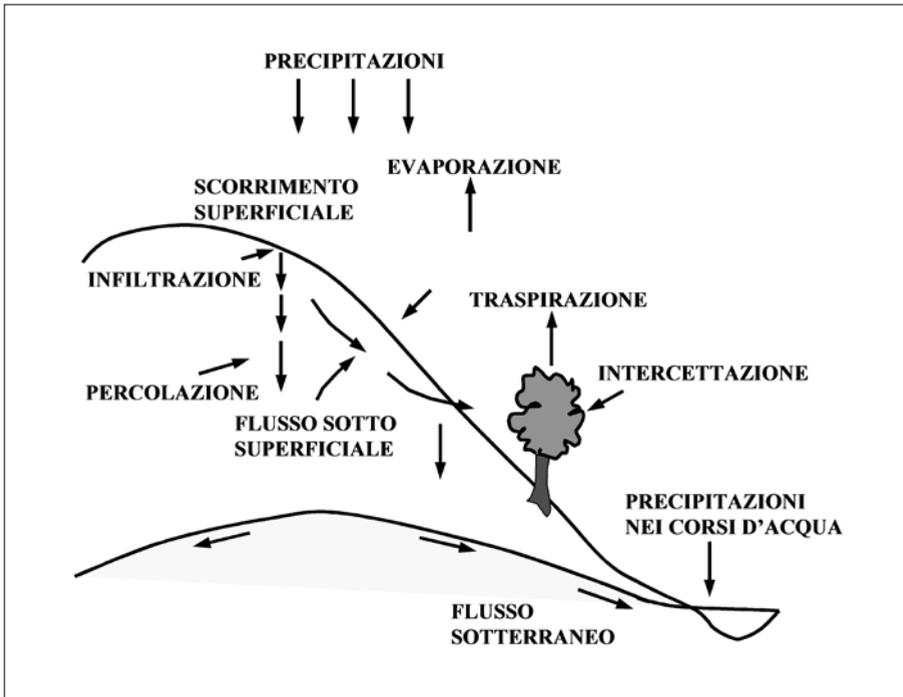


Fig. 2 Schematizzazione del ciclo idrologico (Magette, 1991)

Sicuramente le pratiche agricole possono accentuare significativamente questo rilascio fino a influenzare significativamente la qualità delle acque. Da questo punto di vista, l'elemento su cui è stata maggiormente concentrata l'attenzione è l'azoto, specialmente nella sua forma nitrica, in quanto estremamente mobile nel terreno e fonte di inquinamento delle acque superficiali e di falda (direttiva 91/676/CE). Peraltro, il rilascio di fosforo risulta altrettanto critico in quanto, come noto, fattore chiave dei fenomeni di eutrofizzazione.

A questo proposito, l'Agenzia europea dell'ambiente stima che il 50-80% dell'input totale di azoto nelle acque dell'UE sia di origine agricola, con variazioni a seconda degli stati membri, dei bacini idrografici e delle variazioni annue.

D'altra parte, azoto e fosforo sono, insieme al potassio, i macronutrienti per le piante che vengono coltivate e risultano pertanto dei mezzi tecnici di produzione essenziali per mantenere elevate le produzioni agricole e, in questo modo, garantire il reddito degli operatori del settore.

È da mettere in evidenza come un aumento del rilascio di nutrienti sia insito nel loro utilizzo come fattori di produzione, in quanto, da quando ven-

gono distribuiti, entrano a far parte del complesso meccanismo di interazione e trasformazione del sistema atmosfera/suolo/acqua.

L'aumento dei rilasci deriva sempre da un disequilibrio tra le esigenze delle colture praticate e l'apporto di elementi nutritivi, anche se gli effetti non sono facilmente quantificabili e non possono essere generalizzati poiché dipendono da condizioni locali che comprendono numerosi fattori, di tipo pedologico, topografico, idrologico, gestionale.

Sulla base di queste considerazioni, risulta evidente come il rischio di rilascio di nutrienti sia direttamente proporzionale alla loro disponibilità nel terreno in una forma tale da poter essere trasportata verso le acque.

Se l'apporto in elementi nutritivi ai terreni che li ricevono è in esubero rispetto alle esigenze delle colture praticate, ne deriva un rischio di rilascio dei nutrienti in eccesso e, quindi, un possibile inquinamento dell'ambiente.

Al fine di valutare i rilasci di nutrienti da fonte diffuse agricole, occorre identificare i fattori che influenzano il trasporto dei nutrienti verso le acque superficiali e sotterranee.

Questi possono essere suddivisi in fattori di carico, comprendenti quelli che determinano l'intensità delle fonti diffuse, e in fattori di trasporto che considerano le componenti in grado di regolare la mobilità degli elementi nutritivi nel suolo.

Due condizioni, infatti, devono essere soddisfatte affinché un elemento possa essere definito come potenziale inquinante:

- l'elemento inquinante deve essere presente in quantità e forma tali da poter essere rilasciato dal sistema suolo;
- un agente di trasporto deve essere presente cosicché l'inquinante si muova dal suolo verso le acque di raccolta.

I nutrienti possono arrivare nelle acque per ruscellamento superficiale, che porta all'immissione nel corso d'acqua degli elementi; fenomeno che si può verificare nel caso di condizioni avverse quale può essere uno spandimento in campo seguito da un periodo prolungato di piogge, o per drenaggio, ovvero passando attraverso il naturale "filtro" composto dalla granulometria del terreno, fino ad arrivare al corso d'acqua.

Il potenziale impatto ambientale del ruscellamento da terreni agrari riguarda in primo luogo il fosforo, poi l'azoto in forma nitrica e ammoniacale (si fa rilevare, però, che in parecchi casi il terreno agrario agisce da filtro, e che talvolta si registrano nelle acque di ruscellamento tenori di azoto minerale inferiori a quelli delle acque di pioggia); spesso anche i fitofarmaci possono essere veicolati nei corpi idrici di superficie dalle acque di ruscellamento.

## EMISSIONI IN ARIA

Altre forme di emissione consistenti, sono ovviamente quelle gassose.

Le emissioni atmosferiche di natura zootecnica si originano in diversi punti del ciclo di produzione e di smaltimento dei reflui:

- all'interno degli edifici;
- durante le operazioni di allontanamento delle deiezioni dai ricoveri;
- nel corso dei trattamenti (stabilizzazione, stoccaggio);
- al momento del prelievo dai contenitori di stoccaggio e durante la distribuzione in campo;
- successivamente alle operazioni di spandimento, in particolare nelle prime ore che seguono tale operazione.

L'entità delle emissioni dai ricoveri dipende da diversi fattori così riassumibili:

- microclima (temperatura e umidità);
- densità degli animali;
- stato igienico della stalla;
- soluzione costruttiva (separazioni delle aree di riposo, defecazione, alimentazione; tipo di pavimentazione; tipo di asportazione dei reflui).

L'entità delle emissioni dagli stoccaggi dipende da:

- area esposta;
- presenza di coperture;
- geometrie dei contenitori (maggiori le esposizioni dei contenitori con elevate superfici libere);
- assenza /presenza di sistemi di trattamento (che possono aumentare la superficie a contatto con l'aria e quindi emettente);
- velocità dell'aria sopra lo stoccaggio e temperatura ambiente.

Tra le emissioni in atmosfera la sostanza sicuramente più consistente è rappresentata dall'ammoniaca, composto gassoso derivato dalla demolizione dell'urea e dell'acido urico contenuti nelle urine e da vari composti azotati presenti nelle feci. Anche altri gas quali il metano, l'anidride carbonica e il protossido di azoto sono significativamente presenti nelle emissioni dagli allevamenti.

Inoltre, la gestione degli effluenti negli allevamenti zootecnici comporta una significativa emissione di gas (ammoniaca, metano, protossido di azoto, ecc.) che sono nocivi per l'ambiente essendo gas che inquinano o che favoriscono l'effetto serra.

In particolare, l'emissione di inquinanti verso l'atmosfera, il suolo e le acque si riscontra nelle diverse fasi della gestione degli allevamenti zootecnici.

Infatti, nelle zone di stabulazione degli animali, in particolare dove permangono le deiezioni in fosse sottofessurate, si riscontrano emissioni di azoto in forma ammoniacale e di metano.

L'azoto ammoniacale è presente nelle deiezioni degli animali al momento della loro escrezione (il 40-65% dell'azoto escreto è ammoniacale). Successivamente la mineralizzazione della sostanza organica che deriva dalla degradazione microbica incrementa la quota ammoniacale dell'azoto presente nelle deiezioni fino a raggiungere il 75-80% di quello totale al momento della distribuzione in campo.

L'azoto ammoniacale si trova in forma disciolta nei liquami e tende a essere rilasciato in forma gassosa. Infatti, l'ammoniaca tende a spostarsi da zone ad alta concentrazione (deiezioni) a zone a bassa concentrazione (atmosfera).

All'interno dei ricoveri una elevata concentrazione di ammoniaca può essere percepita dal caratteristico odore pungente e provoca irritazioni e malessere sia agli addetti, sia agli animali. Ciò comporta seri rischi per la salute dei lavoratori e una riduzione delle performance degli animali.

Molto spesso le concentrazioni rilevate negli allevamenti di suini superano i valori ammissibili di 10 ppm fissati per l'esposizione continuativa da parte di uomini e animali. Inoltre l'effetto delle emissioni di azoto in forma ammoniacale hanno come detto un effetto negativo sull'ambiente in quanto in atmosfera questo composto è molto reattivo e può avere effetti diretti sulla vegetazione in prossimità delle zone di emissione (allevamenti).

La maggior parte dell'ammoniaca emessa ricade rapidamente sul territorio limitrofo al punto di emissione, intercettato dalla vegetazione, o depositandosi sul suolo o sulle acque. Una parte si combina con altri composti e può essere trasportata a lunga distanza, anche per centinaia di chilometri (fig. 3). La deposizione dell'ammoniaca può causare un danno diretto alla vegetazione, provocare squilibri negli ambienti naturali alterando gli ecosistemi, favorire i fenomeni di eutrofizzazione delle acque. Inoltre, può causare l'acidità dei suoli. Infatti, raggiunto il suolo l'ammoniaca viene trasformata in nitrati con reazioni che aumentano l'acidità del suolo. Quando questo aumento di acidità non può essere tamponato dal terreno, possono essere rilasciate delle sostanze tossiche che vengono poi trasportate nelle acque causando ulteriori fenomeni di inquinamento.

Le zone di stabulazione degli animali sono fonti anche di metano ( $\text{CH}_4$ ) un gas ben noto per i suoi utilizzi come combustibile per il riscaldamento delle abitazioni, per la cottura degli alimenti e per autotrazione. Peraltro, il metano è uno tra i gas a effetto serra e, pertanto, le emissioni in atmosfera di questo gas devono, per quanto possibile, essere controllate.

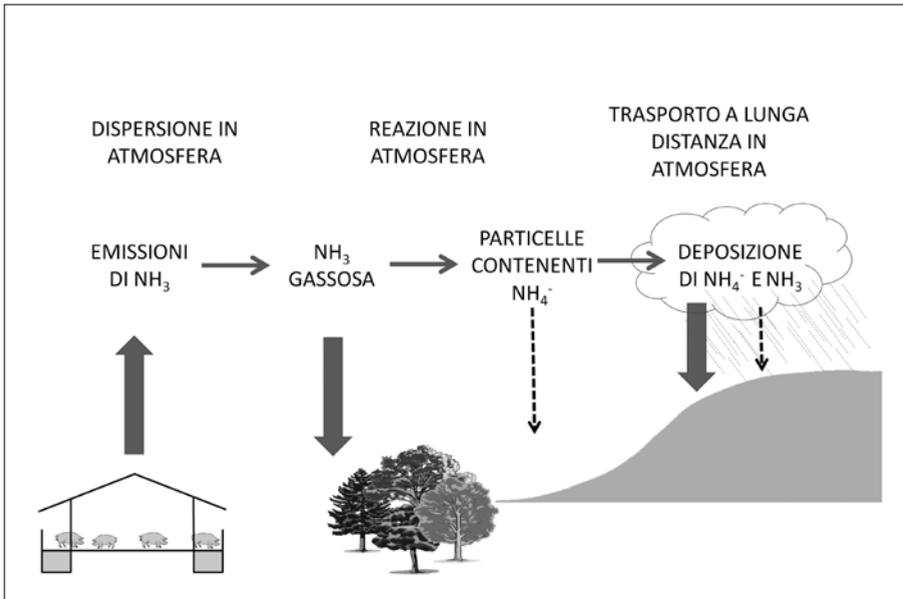


Fig. 3 L'ammoniaca presente nelle deiezioni volatilizza per poi ricadere a breve o lunga distanza causando fenomeni di inquinamento e acidificazione dei suoli

La produzione di metano deriva in parte dal metabolismo animale, nei processi digestivi. Questo processo prosegue nelle deiezioni a opera di microrganismi che si sviluppano in assenza di ossigeno. La produzione di metano è favorita quindi dallo stoccaggio delle deiezioni nelle fosse sotto fessurato e nelle strutture per lo stoccaggio degli effluenti.

In questa fase, oltre alla produzione di metano, continua la volatilizzazione dell'azoto in forma ammoniacale a cui si accompagna l'emissione di protossido di azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Questo gas è anch'esso annoverato tra i gas a effetto serra e contribuisce all'arricchimento del contenuto in azoto dell'aria. Costituisce un prodotto delle trasformazioni di nitrificazione/denitrificazione che avvengono negli effluenti di allevamento durante lo stoccaggio, ma soprattutto nei terreni coltivati dopo la distribuzione di fertilizzanti azotati, sia organici sia minerali.

La volatilizzazione dell'ammoniaca viene favorita dalla agitazione dei liquami e dalla loro distribuzione con modalità che favoriscono la creazione di piccole gocce, con aumento della superficie di contatto tra liquido e atmosfera. È per questo motivo che l'operazione di distribuzione dei liquami con carri spandiliquame in pressione con piatto deviatore comporta una notevole emissione di questo gas rispetto a sistemi a bassa pressione o che prevedono l'interramento dei reflui.

Infine, gli effluenti di allevamento che raggiungono il terreno sono soggetti a ulteriori trasformazioni e emissioni. Il processo di volatilizzazione dell'ammoniaca prosegue, soprattutto se il refluo viene lasciato in superficie. La trasformazione dell'azoto ammoniacale in nitrati e la loro successiva denitrificazione ad azoto molecolare ha come conseguenza la produzione di protossido di azoto, come precedentemente evidenziato.

#### NORMATIVE SULL'USO AGRONOMICO DEI FERTILIZZANTI ORGANICI

Le nuove normative introdotte a livello nazionale e regionale in applicazione della direttiva nitrati pongono la gestione dell'azoto come elemento centrale della sostenibilità ambientale dell'attività agricola. Uno dei limiti più significativi che derivano dalla "Direttiva Nitrati" (91/676/CEE), recepita a livello nazionale con il dlgs. 152/2006 e il DM del 4 aprile 2006, riguarda la quantità massima di azoto da effluenti di allevamento utilizzabile, che nelle zone vulnerabili viene fissata in 170 kg per ettaro e per anno. Parallelamente il decreto nazionale regola l'utilizzo dell'azoto anche nelle zone non vulnerabili fissando il tetto di utilizzo di quello di origine zootecnica a 340 kg per ettaro e per anno.

Inoltre, vengono poste limitazioni anche all'utilizzo di azoto minerale che deve essere distribuito in relazione alle esigenze delle colture e in vicinanza del momento di maggiore assorbimento da parte delle piante.

I provvedimenti normativi sollecitano gli imprenditori agricoli ad affrontare una corretta gestione dell'azoto al fine di limitare i rilasci verso l'aria, per volatilizzazione dell'ammoniaca, e verso le acque, per lisciviazione e ruscellamento dell'azoto presente nel terreno e non utilizzato dalle colture.

Queste perdite sono particolarmente elevate nella gestione degli effluenti di allevamento raggiungendo valori complessivi che superano l'85% dell'azoto escreto dagli animali (fig. 4).

Indipendentemente dalla rispondenza alle normative, l'aumento dell'efficienza dell'azoto zootecnico è un obiettivo che dovrebbe essere perseguito per due motivi principali. Il primo è che gestendo bene l'azoto zootecnico si può risparmiare sull'acquisto di quello minerale.

Infatti, attraverso l'attenta programmazione ed esecuzione della utilizzazione agronomica degli effluenti è possibile aumentare la quantità di azoto che viene utilizzato dalle colture, riducendo o annullando la necessità di integrazione minerale.

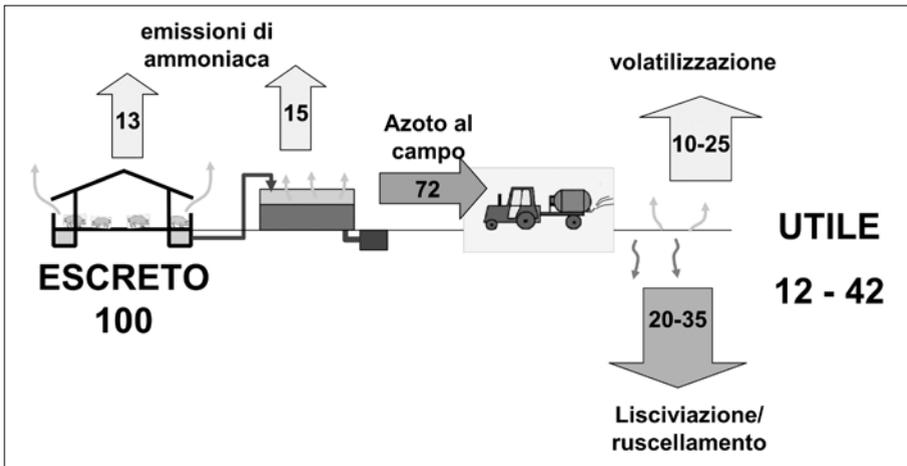


Fig. 4 L'azoto contenuto negli effluenti viene solo parzialmente utilizzato dalle colture

Con una gestione attenta, si possono ridurre significativamente le perdite e migliorare l'efficienza di utilizzazione. Aumentare del 10% la quota di azoto utilizzato significa risparmiare 1 centesimo di euro per litro di latte e 0,5 centesimi per kg di carne suina prodotta grazie alla riduzione dell'acquisto e distribuzione di concimi azotati minerali.

Il secondo motivo riguarda la necessità di garantire un apporto di azoto alle colture adeguato agli obiettivi di resa previsti. Infatti, la normativa prevede il contingentamento anche delle quantità di fertilizzanti minerali in base a un piano di concimazione. Inoltre stabilisce che l'azoto contenuto deve essere considerato completamente utilizzato dalle piante, cioè che l'efficienza sia pari al 100%, valore oggettivamente difficile da raggiungere. La poco attenta gestione dell'azoto zootecnico non può quindi essere compensata da un aumento delle quantità di azoto minerale e può comportare una riduzione delle produzioni.

Le tecniche per il contenimento delle perdite di azoto e per l'aumento dell'efficienza di utilizzo da parte delle colture sono ampiamente note e sono riconducibili alle Migliori Tecnologie Disponibili per la riduzione delle emissioni riportate anche nel D.M. 29-1-2007 che fornisce le linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili per gli allevamenti.

Ad esempio, la distribuzione raso terra con incorporazione entro le 4 ore consente di aumentare del 20% l'azoto disponibile per le colture rispetto all'utilizzo del carrobotte con piatto deviatore. La scelta di un'ideale epoca di distribuzione può incidere per un altro 15-20%. Limitare l'esposizione

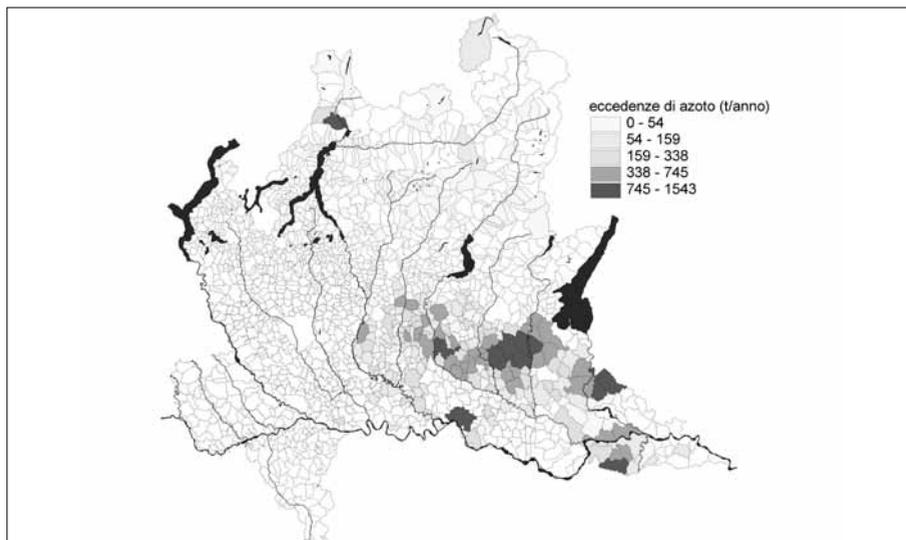


Fig. 5 *Classificazione dei comuni lombardi in relazione alle eccedenze di azoto prodotto sul territorio comunale in relazione alla superficie disponibile e ai vincoli normativi*

all'aria del liquame nelle zone di stabulazione e nelle vasche di stoccaggio può consentire una riduzione delle perdite del 10-15%.

Anche se la riduzione dei rilasci di azoto è un elemento importante per le aziende zootecniche, la preoccupazione attuale riguarda in molti casi l'adeguamento ai limiti normativi, soprattutto nelle zone vulnerabili. In particolare il vincolo dei 170 kg di azoto di origine zootecnica per ettaro colloca molte aziende in esubero e la densità zootecnica delle aree vulnerabili non consente di rientrare nei carichi consentiti attraverso la pratica della distribuzione degli effluenti sui terreni di aziende non zootecniche limitrofe.

Ciò è ben rappresentato dall'analisi delle eccedenze del carico di azoto di origine zootecnica rispetto alla superficie agricola utilizzata a livello comunale (fig. 5).

#### LA GESTIONE DELLE ECCEDENZE DI AZOTO

È necessario, quindi, che vengano individuate soluzioni che consentano di affrontare l'adeguamento alle normative mantenendo la sostenibilità anche economica delle aziende.

Si tratta, in altri termini, di valutare i possibili interventi modulandoli nelle diverse aree e condizioni aziendali sulla base dell'entità degli esuberi di azoto. Le soluzioni possono essere di tipo gestionale, nelle zone dove la ridi-

istribuzione degli effluenti sul territorio può essere sufficiente a riequilibrare i carichi di azoto.

Dove ciò non risulta possibile è necessario prevedere l'introduzione di tecnologie per la rimozione dell'azoto. In ogni caso, l'introduzione di soluzioni impiantistiche va attentamente valutata e orientata anche verso sistemi di gestione consortile e soluzioni di recupero energetico al fine di ridurne i costi di gestione.

In termini generali e senza la pretesa di individuare soluzioni che possano essere adatte alle diverse aree e alle variegate situazioni aziendali, si possono individuare alcuni modelli gestionali differenziati in base all'esubero di azoto rispetto ai limiti normativi, fermo restando che l'utilizzo di terreni in convenzione è la soluzione più sostenibile se le distanze da percorrere sono contenute.

Una soluzione per aziende che hanno eccedenze di azoto limitate (<30% del totale prodotto) può essere quella di effettuare una separazione dei solidi e trasporto del palabile in altra area. In questo caso, il volume contenuto e la maggior facilità di trasporto consente di rendere sostenibile la soluzione anche con distanze decisamente più elevate (100-150 km).

Quando la quantità di azoto in esubero rispetto ai limiti normativi supera il 30% sembra inevitabile ricorrere a un trattamento più o meno energetico di rimozione dell'azoto.

Le tecniche utilizzabili a questo fine possono essere suddivise in due grandi categorie in relazione al metodo di rimozione dell'azoto: conservazione o dispersione.

Alcuni trattamenti infatti consentono di conservare l'azoto e trasformarlo in un prodotto minerale che potrebbe essere utilizzato come fertilizzante o dall'industria chimica. Altre tecniche prevedono la riduzione dell'azoto presente nelle deiezioni alla forma molecolare, gas inerte che compone per circa il 78% l'aria che respiriamo.

L'individuazione delle soluzioni tecnologiche da adottare deve avvenire in modo da rispondere alle esigenze delle singole aziende inserite nel loro contesto territoriale.

In ogni caso, nella valutazione delle alternative è indispensabile tener conto delle caratteristiche e delle prestazioni delle diverse tecniche.

#### SEPARAZIONE SOLIDO-LIQUIDO

Nei liquami zootecnici le sostanze minerali e organiche sono in parte disciolte e in parte sospese. La componente sospesa è costituita da particelle con diver-

sa granulometria. Il trattamento di separazione solido-liquido adotta tecniche per la rimozione di queste particelle in modo da rendere la componente liquida più facile da gestire, con minore formazione di odori e riduzione della formazione di sedimenti o crostoni nelle vasche di stoccaggio (fig. 6). La componente separata è palabile con un contenuto in solidi dell'ordine del 20-40%. Come detto, può essere trasportata in modo più agevole e distribuita sui terreni con un minor rischio ambientale rispetto ai liquami. Infatti, in questa frazione si concentra la maggior parte della sostanza organica. Di conseguenza anche l'azoto è presente principalmente in forma organica (60-80% dell'azoto totale). Il separato ha quindi caratteristiche ammendanti che lo rendono particolarmente adatto alle fertilizzazioni prima delle lavorazioni principali del terreno e utile per i terreni poveri di sostanza organica.

Le tipologie di separatori in commercio sono finalizzate al trattamento del liquame grezzo per migliorare la gestione dell'effluente. Sono sistemi meccanici che si basano, essenzialmente, sullo stesso principio: separare le particelle di dimensione superiore mediante il passaggio del liquame attraverso una superficie grigliata o forata. Le dimensioni dei fori o delle aperture definisce il grado di separazione che si ottiene. In genere questo è un compromesso tra la portata delle attrezzature, il rischio di intasamento e una buona efficienza di separazione.

La quantità di frazione palabile (fig. 7) che si ottiene non deve essere confusa con l'efficienza di separazione che rappresenta il rapporto tra la frazione di solidi, azoto, fosforo che viene separata e quella contenuta nel liquame in ingresso al trattamento. A parità di efficienza di separazione, i volumi di palabile possono variare notevolmente in relazione al contenuto in acqua del separato.

L'efficienza di separazione di tre tipologie di attrezzature è riportata in tabella 1; i dati riportati sono orientativi e possono variare notevolmente in relazione tipologia alle caratteristiche dell'effluente che viene avviato al trattamento. I liquami bovini hanno in genere un contenuto di solidi e una frazione di azoto organico più elevati.

La riduzione di volume dei liquidi che si ottiene è in genere modesta. Può diventare significativa (>10%) solo nel caso si utilizzi del liquame bovino con un contenuto di solidi rilevante (>5%).

La separazione ottenuta con queste attrezzature può essere utilizzata vantaggiosamente per motivi gestionali, ma non modifica il problema delle eccedenze di azoto prodotto se non di entità particolarmente contenute.

Per ottenere una separazione più efficiente dell'azoto è possibile utilizzare altre tipologie di separatori (centrifughe, nastro presse, flottatori, sedimenta-

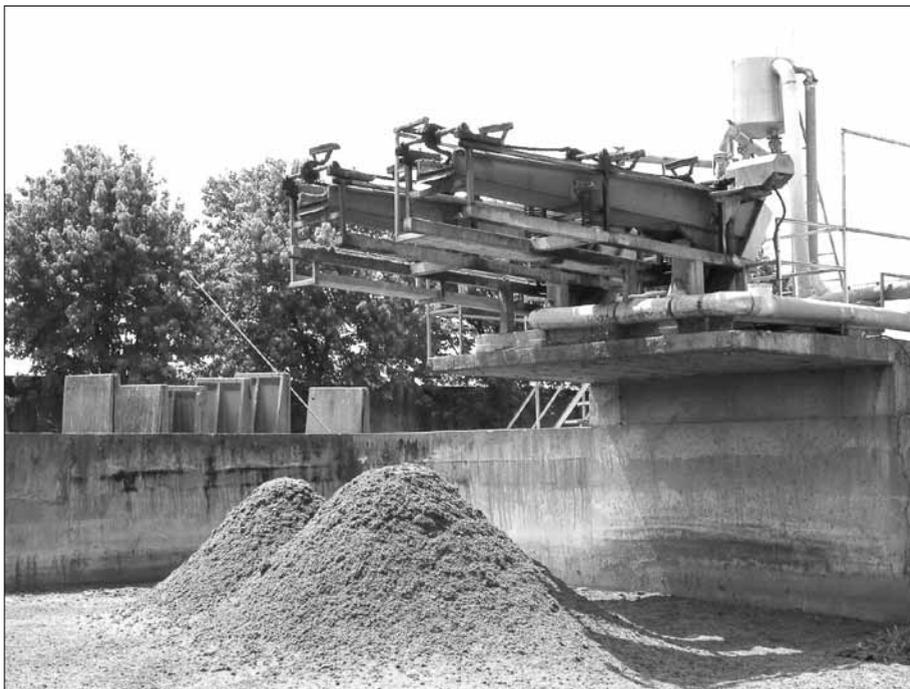


Fig. 6 Separatore solido-liquido a vite elicoidale

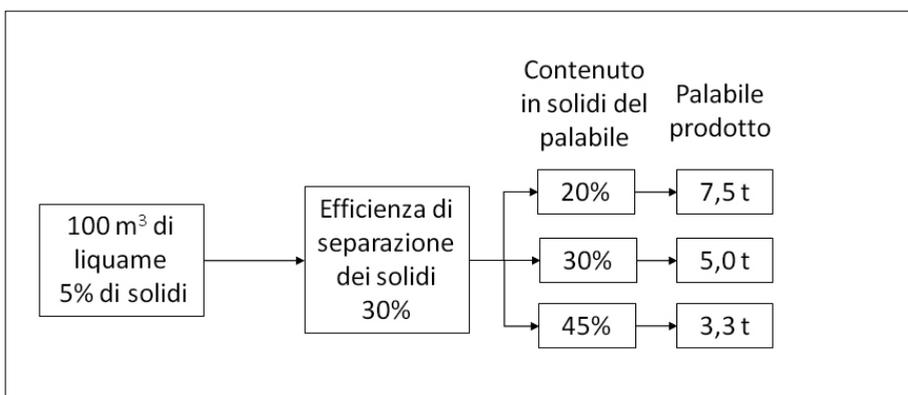


Fig. 7 Frazione palabile ottenibile attraverso la separazione solido-liquido di effluenti di allevamento

TIPO DI SEPARATORE	EFFICIENZA DI SEPARAZIONE (%)			COSTO €.m <sup>3</sup>
	solidi	N	P	
vagli	20-25	4-7	8-12	0,2-0,4
cilindrico	28-40	8-15	30-42	0,6-1,2
elicoidale	35-48	6-16	28-42	0,6-1,2

Tab. 1 *Efficienza di tre tipologie di separatore*

tori) che, grazie anche all'uso di additivi e di uso combinato di diverse attrezzature, possono consentire di separare fino al 25-30% dell'azoto contenuto nei liquami prodotti.

#### RIMOZIONE BIOLOGICA DELL'AZOTO CON RILASCIO IN ARIA DI AZOTO IN FORMA MOLECOLARE

È l'unico sistema che consente di ridurre l'azoto senza doverlo ulteriormente gestire.

A questa tipologia appartengono diverse tecnologie che hanno in comune alcuni elementi e la modalità di riduzione dell'azoto che viene portato alla forma molecolare e liberato in aria. Questo risultato viene ottenuto mediante due fasi: ossidazione dell'azoto in ambiente aerobico; successiva denitrificazione in ambiente anossico (assenza di ossigeno disciolto).

Il risultato di questo trattamento è una degradazione della sostanza organica che viene ossidata con la conseguente riduzione degli odori e la rimozione dell'azoto che può raggiungere rendimenti anche elevati, liberando in atmosfera fino al 70-80% dell'azoto in ingresso all'impianto.

Il trattamento vero e proprio viene spesso, ma non necessariamente, preceduto dalla separazione dei solidi e seguito dalla rimozione della biomassa in eccesso in uscita dall'impianto (fanghi di supero). Inoltre viene in alcuni casi prevista la rimozione del fosforo mediante precipitazione e sedimentazione. L'obiettivo del trattamento va dalla semplice riduzione del carico organico e azotato alla depurazione completa con scarico in acque superficiali.

Una interessante applicazione di questa tecnologia è costituita dai reattori SBR (Sequencing Batch Reactors). Questi sistemi di trattamento biologico a flusso discontinuo sono costituiti generalmente da uno o due bacini in cui hanno luogo i processi di ossidazione biologica e di sedimentazione. Le fasi del processo sono condotte in tempi diversi, variando ciclicamente le condizioni operative dell'impianto.

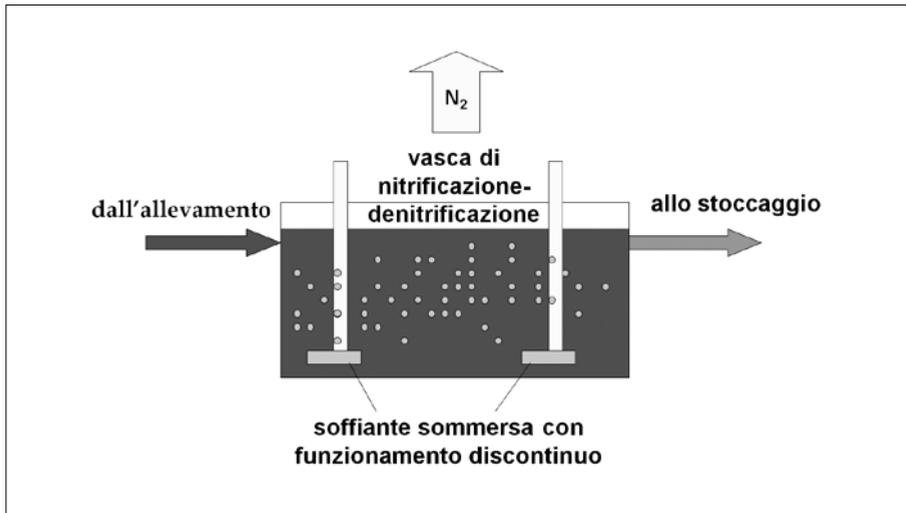


Fig. 8 Schema di un impianto semplificato di riduzione biologica dell'azoto

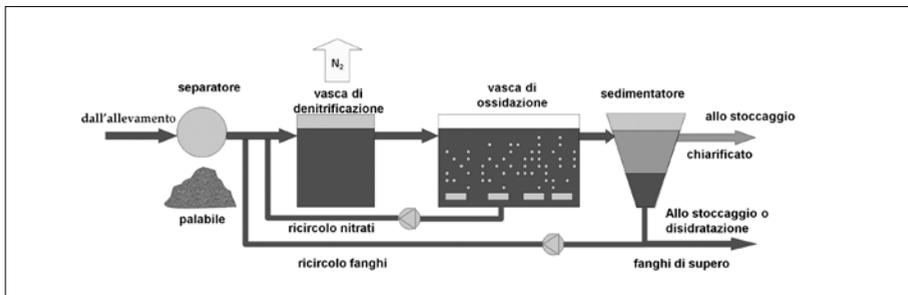


Fig. 9 Schema di un impianto per la rimozione biologica dell'azoto mediante nitrificazione-denitrificazione in vasche separate

La soluzione più semplificata consiste nell'alternare periodi di aereazione con periodi di stasi in una vasca dove viene convogliato il liquame tal quale. La produzione di fanghi è limitata perché il processo non è particolarmente spinto e fuoriescono con l'effluente (fig. 8).

La soluzione più articolata, prevede, oltre al separatore dei solidi grossolani, una fase di sedimentazione dell'effluente in modo da consentire un ricircolo dei fanghi biologici con il conseguente aumento della loro concentrazione nella vasca di trattamento.

L'effettuazione dell'aereazione in vasca separata rispetto alla fase anossica consente di ottenere efficienze di rimozione più elevate a fronte di una significativa complicazione impiantistica e maggior difficoltà di gestione (figg. 9 e 10).



Fig. 10 Vasca di ossidazione di un impianto per la rimozione biologica dell'azoto

Questa tipologia di trattamento è adatta per le aziende che non trovano altre soluzioni alla gestione delle eccedenze azotate. I costi elevati di investimento e di gestione rendono questi impianti molto onerosi e la loro scelta deve essere valutata in modo oculato e con un supporto tecnico qualificato.

#### ESTRAZIONE DI AZOTO IN FORMA MINERALE

Nelle tecniche conservative l'azoto e il fosforo vengono separati e concentrati in un prodotto che può essere facilmente trasportato e utilizzato al di fuori dell'azienda.

L'azoto negli effluenti è presente in forma organica (20-60%) e ammoniacale (40-80%). La frazione organica viene naturalmente degradata e tende, quindi a trasformarsi nella frazione ammoniacale non rimovibile con i normali sistemi di separazione. L'estrazione dell'azoto in una forma concentrata e riutilizzabile come concime minerale ha tre alternative: estrazione dell'ammonica come gas e successiva concentrazione come solfato ammonico liquido; precipitazione come sale ammonico; concentrazione mediante osmosi inversa.

Queste tecniche sono consolidate dal punto di vista del processo in quanto ampiamente utilizzate in altri settori, e sono commercializzate da alcune ditte, ma non sono ancora state pienamente sperimentate per il trattamento degli effluenti di allevamento. Un elemento comune è la preventiva separazione spinta dei solidi da effettuare prima del trattamento di estrazione. Questo produce una significativa quantità di materiale palabile che contiene il 20-35% dell'azoto degli effluenti in ingresso.

#### IL RUOLO DEL BIOGAS

Gli impianti di digestione anaerobica con produzione di biogas anche se non hanno effetto sul contenuto di azoto dei liquami possono fornire un importante contributo nella gestione degli effluenti di allevamento. Un primo aspetto riguarda le trasformazioni che avvengono in questo impianto che comportano una mineralizzazione dell'azoto che si trova, al termine della digestione, prevalentemente in forma ammoniacale. Inoltre, i liquami risultano stabilizzati e la formazione di odori notevolmente ridotta. Quindi, viene agevolata la gestione degli effluenti e favorita l'utilizzazione dell'azoto. Un secondo aspetto è relativo alla possibilità di utilizzare l'energia termica ed elettrica, prodotta da un cogeneratore azionato dal biogas prodotto, per il trattamento di rimozione dell'azoto. Questo può comportare una riduzione dei costi del trattamento stesso. Pertanto, l'utilizzo di impianti combinati per la rimozione dell'azoto e la produzione di energia possono fornire un'interessante soluzione anche se la loro adozione deve essere attentamente valutata sia per l'impegno tecnico della gestione dell'impianto, sia dal punto di vista economico.

#### SOLUZIONI TERRITORIALI E CONDIVISE

La breve analisi delle problematiche legate alla gestione e riduzione dell'azoto di origine zootecnica mette in luce come le soluzioni percorribili anche se effettuate nelle singole aziende devono essere affrontate in modo organico e condiviso, con un approccio territoriale e non individuale. Al fine di rendere sostenibile l'adeguamento delle aziende zootecniche ai vincoli normativi è necessario modulare gli interventi in relazione alle condizioni locali fornendo alternative tecnologiche adatte alle singole esigenze. In questo quadro, le soluzioni aziendali dovrebbero essere affiancate da soluzioni consortili e dal contoterzismo. Inoltre dovrebbe essere enfatizzato il ruolo

di supporto e coordinamento svolto dall'assistenza tecnica e dall'amministrazione pubblica.

Affrontare queste problematiche con strategie condivise e supportate a livello territoriale può anche consentire di sollevare le singole aziende, almeno in parte, dalla responsabilità e dalla difficoltà dell'individuazione delle soluzioni di riduzione della pressione ambientale. L'adeguamento alle normative potrebbe in questo modo diventare non solo tecnicamente ed economicamente sostenibile, ma anche un elemento di valorizzazione e aumento di competitività delle produzioni zootecniche.

In questo contesto si inserisce il progetto di ricerca svolto dal Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano volto a definire le modalità con cui possono essere individuate le soluzioni più adatte nelle diverse condizioni operative.

L'attività svolta ha riguardato, come fase iniziale, l'analisi delle tecnologie disponibili per la gestione degli effluenti, in modo da definirne le caratteristiche sia dal punto di vista operativo (efficienze di rimozione, prestazioni, ecc.) sia dal punto di vista economico (costi di investimento e gestione).

Successivamente la ricerca si è concentrata sui modelli gestionali, cioè sulle soluzioni operative che le aziende, singolarmente o in forma consorziata, possono adottare per gestire l'azoto disponibile in relazione alla disponibilità di terreni aziendali e extra aziendali.

L'approccio utilizzato è di tipo territoriale in quanto non è possibile svincolare questo tipo di analisi dalla situazione specifica dell'area presa in considerazione. Infatti, la soluzione ambientalmente più corretta ed economicamente più vantaggiosa risulterebbe sempre quella di distribuire gli effluenti di allevamento sui terreni limitrofi all'azienda, utilizzando anche quelli delle aziende non zootecniche presenti nel circondario.

Tale soluzione risulta in alcuni casi di difficile applicazione o limitato interesse. In alcune aree la stipula di una convenzione per la distribuzione degli effluenti tra l'azienda zootecnica e quella non zootecnica avviene a titolo oneroso e, di conseguenza, aumenta significativamente i costi di distribuzione anche di 2-3 euro per metro cubo di liquame. Inoltre, alcuni terreni sono poco adatti alla distribuzione degli effluenti sia per il rischio di rilascio di azoto (vicinanza ai corsi d'acqua, facilità di trasporto verso la falda, ecc.), sia l'interazione con altre attività e con i centri abitati.

Infine, la possibilità di utilizzo dei terreni delle aziende limitrofe, in molti casi non consente di distribuire tutti gli effluenti prodotti nella zona e, di conseguenza, è necessario adottare altre opzioni per la riduzione dell'azoto.

## IL MODELLO DI SIMULAZIONE

L'individuazione delle soluzioni proponibili in un determinato territorio derivano dalla combinazione di:

- conoscenza delle caratteristiche delle aziende zootecniche presenti e della loro collocazione geografica;
- mappatura dei terreni utilizzati per la coltivazione e definizione della loro disponibilità alla ricezione di effluenti di allevamento;
- valutazione delle possibili strategie di trattamento in relazione alle singole situazioni aziendali;
- analisi dei costi legati alla distribuzione degli effluenti e ai trattamenti previsti.

Per tener conto di tutte le variabili da considerare, è stato sviluppato un modello di simulazione che consente di prendere in considerazione le informazioni relative all'area di studio, derivanti anche da un Sistema Informativo Territoriale, e le ipotesi per la gestione degli effluenti, definite dall'utente, in base a due aspetti:

- propensione a rendere disponibili i terreni per la distribuzione degli effluenti da parte delle aziende non zootecniche e a una gestione consortile da parte delle aziende zootecniche;
- tipologie di trattamento che si è disposti a introdurre, a livello aziendale o consortile, nel territorio in esame.

## UN CASO DI STUDIO

L'applicazione del modello di simulazione ad aree specifiche ha consentito di individuare la validità di soluzioni alternative e di evidenziare l'entità degli interventi necessari e le modalità di accordo che devono essere conseguite per raggiungere gli obiettivi previsti.

A titolo di esempio si riportano sinteticamente i risultati di alcune simulazioni effettuate su un territorio della Provincia di Lodi, comprendente 6 comuni a elevato carico zootecnico, con una superficie coltivata di 4.500 ha di cui 1.900 in zona vulnerabile. Sono presenti 93 imprese agricole di cui 55 zootecniche. Queste ultime conducono direttamente 3.200 ha di SAU e le 7.600 tonnellate di peso vivo allevato producono annualmente circa 1.000 tonnellate di azoto al campo. Considerando un criterio di disponibilità dei terreni in base alla loro attitudine a ricevere i liquami e alla colture praticate, anche se si ipotizza di distribuire su tutto il territorio, risulta un eccesso di azoto pari a 220.000 kg (fig. 11).

Una prima ipotesi riguarda l'introduzione di sistemi di trattamento solo nelle aziende in cui le eccedenze sono elevate (>60%) mentre nelle altre aziende eccedentarie si provvede alla redistribuzione degli effluenti sul territorio. Con questa soluzione è possibile riportare l'equilibrio azotato sul territorio, minimizzando gli interventi.

Adottando, invece una soluzione in cui ogni azienda in eccesso adotta un sistema di riduzione dell'azoto (mediante la separazione con trasporto del separato in altra area, quando le eccedenze aziendali sono limitate, e trattamenti di rimozione dell'azoto negli altri casi) porta a una situazione in cui permangono solo moderate eccedenze che possono essere distribuite su terreni di aziende limitrofe con limitate distanze medie di percorrenza (fig. 12). In questa ipotesi si potrebbero addirittura utilizzare quantitativi ulteriori di azoto. Ovviamente, dal punto di vista economico, questa soluzione richiede investimenti superiori. Se si analizzano i costi le cui componenti principali sono riportate in tabella 2, si evidenzia come la soluzione più conveniente risulta quella con un livello minimo di trattamenti, in modo da ottimizzare dal punto di vista territoriale la gestione degli effluenti.

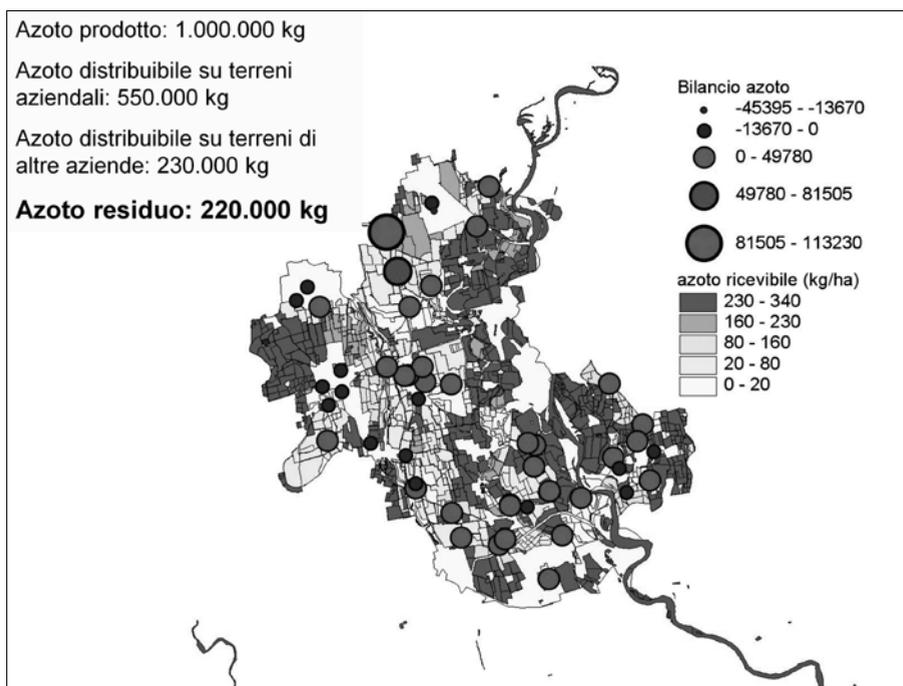


Fig. 11 Area di studio con la localizzazione delle aziende zootecniche e il bilancio dell'azoto. I terreni sono caratterizzati dalla quantità di azoto ricevibile

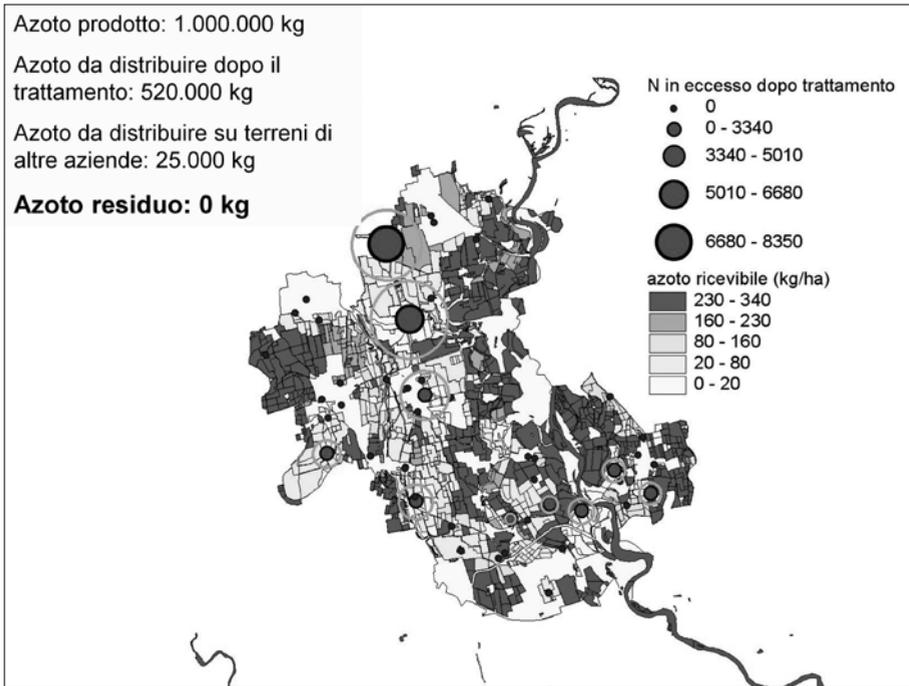


Fig. 12 Aziende zootecniche dell'area di studio e loro bilancio dell'azoto dopo l'applicazione di interventi di rimozione dell'azoto

	NESSUN TRATTAMENTO	TRATTAMENTO MIRATO	TRATTAMENTO INDIVIDUALE
Distribuzione	€ 289.000	€ 298.000	€ 135.000
Trattamento	€ 0	€ 416.000	€ 820.000
smaltimento eccedenze	€ 874.000	€ 0	€ 0
Totale	€ 1.163.000	€ 714.000	€ 955.000
costo unitario	5,20 €·m <sup>-3</sup>	3,20 €·m <sup>-3</sup>	4,28 €·m <sup>-3</sup>

Tab. 2 Valutazione dei costi che dovrebbero essere sostenuti annualmente dalle aziende del territorio esaminato e costo per metro cubo di liquame prodotto in relazione alle tre ipotesi considerate. La soluzione a minor costo prevede la realizzazione di impianti di trattamento solo nelle aziende con maggiori eccedenze e la distribuzione degli effluenti su tutti i terreni disponibili

## CONCLUSIONI

I risultati dell'attività svolta hanno permesso di sviluppare un modello di valutazione tecnica-economica delle possibili alternative per la gestione degli effluenti di allevamento in aree a elevata intensità zootecnica.

L'applicazione in casi di studio ha consentito di confermare la validità di un approccio territoriale al problema e della sostenibilità di una gestione integrata degli effluenti unico modo per limitare gli investimenti e i costi di gestione.

Le soluzioni realizzate indipendentemente da singole aziende, anche se tecnicamente corrette, rischiano di non essere sostenibili e portano comunque a diseconomie a livello territoriale che difficilmente il settore zootecnico può permettersi di sostenere. Inoltre, è stato evidenziato come non si possano individuare soluzioni valide in assoluto, confermando la necessità di analisi specifiche per ogni realtà produttiva.

In questo contesto diventa fondamentale il ruolo dell'assistenza tecnica che ha il compito di informazione e affiancamento alle scelte imprenditoriali e della ricerca per fornire una valutazione oggettiva delle tecnologie disponibili ed emergenti.

## RIASSUNTO

Negli ultimi decenni sono cresciute le preoccupazioni per lo stato dell'ambiente e di conseguenza è aumentata l'attenzione alla riduzione dell'inquinamento di origine antropica. Una delle tematiche ambientali che è maggiormente sentita e coinvolge in modo rilevante l'attività agricola, riguarda la qualità delle acque sia per quanto concerne la presenza di composti pericolosi per la salute, come a esempio i nitrati, sia per l'arricchimento di sostanze nutritive, in particolare azoto e fosforo, che favoriscono fenomeni di eutrofizzazione.

Il ruolo dell'agricoltura in questo contesto è tutt'altro che trascurabile. Infatti, pur non essendo l'unico comparto coinvolto, è quello a cui vengono attribuiti la maggior parte dei rilasci di azoto verso le acque sia superficiali, sia sotterranee.

La preoccupazione verso gli elevati input di fertilizzanti azotati nel sistema agricolo, che si traducono in un maggior rischio di rilascio verso l'ambiente, cresce nelle zone a zootecnia intensiva dove si somma l'uso fertilizzanti minerali azotati con l'elevata disponibilità di effluenti di allevamento e residui agro-industriali. Questi hanno dal punto di vista ambientale degli aspetti positivi in quanto consentono di riportare fertilità al terreno sotto forma di sostanza organica e microelementi evitandone l'impoverimento. Quando sono distribuiti in quantità elevate possono però incrementare i rilasci di azoto verso le acque anche perché la modalità con cui vengono somministrati ne comporta una solo parziale utilizzazione da parte delle colture.

Queste considerazioni hanno portato all'emanazione a livello comunitario della direttiva "nitrati" (91/676/CEE) che ha avuto il suo pieno recepimento a livello nazionale solo con il decreto ministeriale del 4 aprile 2006. Come noto la direttiva richiede la designazione di zone vulnerabili, cioè di zone dove la gestione dell'azoto e in particolare quello di origine zootecnica è fortemente regolamentata attraverso dei "programmi di azione".

Per garantire che l'utilizzo agronomico dei residui dei processi zootecnici e agro-industriali sia ambientale ed economicamente sostenibile, è necessario, quindi, che vengano individuate delle soluzioni tecniche che consentano di valorizzare il contenuto fertilizzante di questi prodotti nel rispetto delle normative. Si tratta, in altri termini, di valutare i possibili interventi modulandoli nelle diverse aree e condizioni aziendali sulla base dell'entità degli esuberi di azoto. Le soluzioni possono essere di tipo gestionale, nelle zone dove la redistribuzione degli effluenti sul territorio può essere sufficiente a riequilibrare i carichi di azoto. Quando ciò non risulta possibile è necessario prevedere l'introduzioni di tecnologie per la separazione dell'azoto, da trasportare successivamente in altre aree non zootecniche, o per la rimozione dell'azoto, liberandolo in aria in forma molecolare o recuperandolo come fertilizzante minerale.

#### ABSTRACT

The change towards intensification in recent decades by agriculture, maximizing productivity from a minimal surface area, has reduced the use of manure as fertilizers, with a subsequent increase of pollution risk and agricultural cost. Many farms are facing the introduction of Best Available Technologies in order to reduce emissions and to decrease the nitrogen load on the land. The spatial analysis of structural characteristics and management of livestock enterprises with regard to the production of manures and their use has highlighted the critical situations and made it possible to quantify the amount of nitrogen applied in different areas to comply with the requirements of legislation. Based on the Italian and international experience the advantages and disadvantages of various management techniques have been analysed, taking into account solutions to be implemented both in individual farms and in consortium manure management. The resulting management models are defined by their characteristics in terms of applicability, and cost effectiveness in reducing nitrogen application to fields. The results may allow the identification of appropriate solutions to handle with a common strategy the application of laws that creates a high pressure on agriculture and if not guided may lead to unsuitable investment and results not in line with expectations.

#### BIBLIOGRAFIA

- BALSARI ET AL. (1992): *Primi risultati di prove sulle perdite di azoto ammoniacale durante e a seguito della distribuzione in campo dei liquami*, Atti del seminario internazionale sul trattamento e riutilizzo dei reflui agricoli e dei fanghi, pp. 231-245.
- BARBARI M., FERRARI P., ROSSI P. (2007): *Technical and Economical Analysis of Manure*

- Management in Loose Housing Systems for Dairy Cows*, Sixth International Dairy Housing Conference Proceeding, 16-18 June 2007, (Minneapolis, Minnesota, USA). Publication Date 16 June 2007. ASABE Publication Number 701P0507e.
- BURTON C.H., JAOUEN V., MARTINEZ J. (2007): *Traitement des effluents d'élevage des petites et moyennes exploitations. Guide technique à l'usage des concepteurs, bureaux d'études et exploitants*, Editions Quae, Versailles, France, pp. 42.
- BURTON C.H., TURNER C. (2003): *Manure Management: Treatment Strategies for Sustainable Agriculture*, 2<sup>nd</sup> Edition, Silsoe Research Institute, Bedford (UK).
- CARTON O.T. AND MAGETTE W.L. (1999): *Land Spreading of Animal Manures, Farm Wastes and Non-agricultural Organic Wastes: Manure (and Other Organic Wastes) Management Guidelines for Intensive Agricultural Enterprises*, Teagasc, Dublin, Ireland, 50 pp.
- CHIUMENTI A., CHIUMENTI R., DA BORSO F. (2007): *La digestione anaerobica*, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Università di Udine, Udine.
- CRPA (2001): *Liquami zootecnici. Manuale per l'utilizzazione agronomica*, Edizioni L'informatore Agrario, Verona, 320 pp.
- EUROPEAN IPPC BUREAU (2003): *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Best Available Techniques Reference Document on the Intensive Rearing of Poultry and Pigs*, Seville (Spain).
- FINZI A., RIVA E., PROVOLO G. (2008): *Biogas, il digestato e l'impiego agronomico*, «Rivista di Suinicoltura», XLIX, 6, pp. 64-71.
- MARTÍNEZ-SULLER L., AZZELLINO A., PROVOLO G. (2008): *Analysis of livestock slurries from farms across Northern Italy: Relationship between indicators and nutrient content*, «Biosystems Engineering», 99, pp. 550-552.
- HATFIELD J.L. AND STEWART B.A. (1998): *Animal Waste Utilization: Effective Use of Manure as a Soil Resource*, Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, USA, pp. 283-315.
- MAGETTE W.L. (2000): *Controlling agricultural losses of pollutants to water and air: challenges for technology transfer*, Proceedings 9<sup>th</sup> Workshop of the Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN) FAO European Cooperative Research, Gargnano, ITALY, 6-9 September 2000. pp. 1-15.
- MASOTTI L. (2002): *Depurazione delle acque*, Calderini, Bologna, 2002, pp. 1145.
- PROVOLO G. (2005): *Manure management practices in Lombardy (Italy)*, «Bioresource Technology», 96/2, pp. 145-152.
- PROVOLO G., MARTINEZ-SULLER L. (2007): *In situ determination of slurry nutrient content by electrical conductivity*, «Bioresource technology», 98, pp. 3235-3242.
- SANGIORGI F. (2002): *I reflui zootecnici: risorsa e problema. La gestione dei reflui zootecnici fra problemi aziendali e territoriali*, Firenze, Italia, 27 giugno 2002, Accademia dei Georgofili, Firenze.



Finito di stampare in Firenze  
presso la tipografia editrice Polistampa  
nel febbraio 2011