



# Italian Journal of Agronomy

## Rivista di Agronomia

*An International Journal of Agroecosystem Management*

January-March 2009 Supplement Issue

Vol. 4, No. 1 Suppl.

### Indice / Contents

<i>Relazione suolo, pianta, atmosfera: sicurezza e qualità delle produzioni agroalimentari e tutela dell'ambiente</i> , Varanini Z.	3
<i>Qualità del suolo, concetti ed applicazioni. Un'analisi critica</i> , Buondonno A., Coppola E.	5
<i>La qualità del suolo: chiave delle produzioni sostenibili</i> , Benedetti A., Mocali S.	13
<i>Speciazione e biodisponibilità degli elementi nel suolo: effetto sulla qualità della produzione agraria e sull'ambiente</i> , Barberis E., Celi L., Martin M.	23
<i>Valutazione dell'impatto economico dei cambiamenti climatici sui sistemi agro-forestali</i> , Gallerani V., Bartolini F., Viaggi D.	33
<i>Potenziale impatto dei cambiamenti climatici nell'evoluzione floristica di fitocenosi spontanee in agroecosistemi mediterranei</i> , Benvenuti S.	45
<i>L'ortoflorofrutticoltura italiana al cospetto delle nuove opportunità offerte dalla genetica e dalla genomica di settore</i> , Allavena A., Corino L., Quarta R., Rotino G.L., Velasco R.	69
<i>Basi genetiche e fisiologiche della qualità degli alimenti di origine animale</i> , Secchiari P.L., Carnier P., Priolo A., Mele M.	81
<i>Determinanti della qualità delle produzioni ortofrutticole</i> , Mezzetti B., Leonardi C.	103
<i>Modelli di coordinamento verticale compatibili con lo sviluppo di filiere bio-energetiche</i> , Nardone G., De Meo E., Seccia A., Viscecchia R.	115
<i>Modelli produttivi agri-energetici: l'integrazione di filiera dalla scala aziendale a quella territoriale</i> , Monteleone M., Cosentino S.L., De Mastro G., Mazzoncini M.	125
<i>Risorse energetiche tradizionali ed innovative dalle attività microbiche nel sistema agroindustriale</i> , De Philippis R., Vincenzini M.	141

<i>Innovazioni impiantistiche per la produzione e valorizzazione dell'olio di oliva nel rispetto dell'ambiente</i> , Amirante P., Clodoveo M.L., Leone A., Tamborrino A.	147
<i>Alimenti e salute – Il contributo dell'Economia agro-alimentare</i> , Baraldi F., Canavari M., Regazzi D., Spadoni R.	163
<i>Ruolo delle sostanze antiossidanti negli alimenti</i> , Gambacorta G., Baiano A., Previtali M.A., Terracone C., La Notte E.	171
<i>Difesa delle colture e sicurezza degli alimenti: considerazioni sulla filiera cereali</i> , Trematerra P., Gullino M.L.	185

## Relazione suolo, pianta, atmosfera: sicurezza e qualità delle produzioni agroalimentari e tutela dell'ambiente

L'agricoltura può essere rappresentata come punto di intersezione fra aspetti biofisici (piante, animali, microrganismi, terreno, acqua, atmosfera ecc.), tecnico economici (produzioni, tecnologie, mezzi tecnici, mercati, prezzi ecc.) e socio-politici (popolazioni, culture, istituzioni politiche ecc.). I problemi che un sistema siffatto pone alla ricerca sono di conseguenza di grande complessità soprattutto nel momento in cui si vogliono perseguire soluzioni rispettose della qualità dei prodotti della sicurezza dei consumatori e in armonia con l'ambiente. Queste problematiche presentano una vera e propria sfida per i ricercatori che operano nel settore agricolo e che si trovano di fronte ad un sistema che deve essere analizzato con il più elevato livello di specializzazione disciplinare possibile senza però perderne di vista l'unitarietà e la complessità. L'avanzamento delle conoscenze e l'individuazione delle migliori soluzioni tecniche risultano pertanto strettamente legati ad un approccio multidisciplinare che preveda l'indagine a tutti i livelli di scale spazio-temporali coinvolgenti una problematica.

Sulla base di queste premesse l'Associazione Italiana Società Scientifiche Agrarie (AISSA), in collaborazione con la Facoltà di Agraria dell'Università di Foggia, organizza il suo V Convegno annuale che verterà sul tema: "Relazione suolo, pianta, atmosfera: sicurezza e qualità delle produzioni agroalimentari e tutela dell'ambiente".

Il Convegno, articolato in sessioni nelle qua-

li verranno presentati i contributi che le diverse Società Scientifiche che costituiscono l'AISSA stanno fornendo per lo studio e la soluzione di specifiche problematiche, deve essere inteso come un tentativo di fornire una visione il più possibile integrata relativamente all'argomento, che coinvolge aspetti di rilevante interesse per il mondo produttivo e che riguardano l'uso ottimale delle risorse biofisiche, l'impatto dei cambiamenti climatici, il contributo del sistema agroindustriale ai problemi energetici e i rapporti fra alimenti e salute. Ogni sessione scientifica sarà completata dalla presenza di poster dando così la possibilità ai diversi gruppi di ricerca di far conoscere il loro lavoro e di discuterlo anche con ricercatori appartenenti ad ambienti culturali diversi, o che operino nell'ambito di una stessa tematica su scale spazio-temporali diverse.

Si auspica che un Convegno così impostato possa attirare l'attenzione non solo di ricercatori, studenti e tecnici di enti pubblici e privati ma anche di imprenditori della filiera agroalimentare interessati ad un aggiornamento multidisciplinare e con i quali è indispensabile consolidare un rapporto tale da valorizzare l'intenso lavoro scientifico che con impegno, in periodi non facili per la ricerca italiana, viene portato avanti dai ricercatori.

Zeno Varanini  
*Presidente AISSA*



# Qualità del suolo, concetti ed applicazioni. Un'analisi critica

Andrea Buondonno\*, Elio Coppola

Dipartimento di Scienze Ambientali, Seconda Università di Napoli  
Via Vivaldi 43, 81100 Caserta

Società Italiana di Pedologia

---

## Riassunto

Nell'accezione comune, il concetto di "qualità del suolo" si basa su criteri di valutazione di tipo soggettivo "antropocentrico" più che non oggettivo "pedocentrico", ricercando e valutando condizioni e caratteristiche definite "desiderabili" o "indesiderabili" dal punto di vista dell'uomo, ma che non tengono conto delle peculiarità pedogenetiche. Tale approccio porta pericolosamente a sostenere una sorta di "discriminazione pedogenetica" che separa *a priori* suoli di qualità "superiore" ed "inferiore", ed implica dequalificare *ipso facto* non solo una gran parte di Sottogruppi, Grandi gruppi e Sottordini, ma anche interi Ordini tassonomici, quali ad esempio Aridisols, Gelisols, Oxisols, Ultisols. Si misconosce così il valore intrinseco del suolo nella complessità delle sue funzioni, in quanto riserva genica garante della biodiversità spazio-temporale, bene ambientale culla della civiltà, elemento imprescindibile del paesaggio, custode del patrimonio evolutivo dell'uomo. Se si consolidasse il principio che la qualità è attribuito esclusivo di suoli ricchi e fertili, allora diventerebbe elevatissimo ed incombente il rischio di sottrarre ulteriormente e definitivamente i suoli di "scarsa qualità" all'agricoltura, al paesaggio, al patrimonio pedologico globale. È necessario riconsiderare il concetto di "qualità" del suolo essenzialmente in termini di "funzionalità" intesa come "attitudine ad esprimere le proprie potenzialità", valorizzando i fondamentali ruoli ambientali, socio-economici e culturali del suolo sulla base dei caratteri intrinseci derivanti dalla sua peculiare storia pedogenetica.

*Parole chiave:* suolo, qualità.

## Summary

### SOIL QUALITY, THEORY AND APPLICATIONS. A CRITICAL ANALYSIS

In its common meaning, the concept of "soil quality" is based on evaluating criteria that are subjective and "anthropocentric" rather than objective and "pedocentric". Several "desirable" or "undesirable" soil conditions and characteristics are considered from the human point of view, disregarding the pedogenetic features. Such an approach perilously leads to support the idea of a "pedogenetic discrimination", which *a priori* privileges "superior" vs. "inferior" soils, thus discrediting a large part of soil Subgroups, Great Groups, Suborders, and even whole taxonomic Orders. So, a number of soil functions, such as genic reserve guarantee of space-temporal bio-diversity, environmental good cradle of civilization, foundation of the landscape, as well as upholder of man heritage, are neglected at all. If "quality" only concerned rich and fertile soils, there would be the great and looming risk to definitively take "poor" soils away from agriculture, landscape and global pedological reserve. It is necessary to reconsider the concept of "soil quality" as "soil functionality", that is to say "aptitude of soil to express its own potential", bringing out the essential environmental, socio-economic and cultural soil roles on the basis of the inherent conditions and characteristics arising from its peculiar pedogenetic history.

*Key-words:* soil, quality.

\* Autore corrispondente: tel.: +39 0823 274606; fax: +39 0823 274605. Indirizzo e-mail: andrea.buondonno@unina2.it

## Introduzione

In un appropriato contesto, il sintagma nominale “qualità del suolo” assume senso compiuto solo se sono noti e chiari sia il significato dei termini “qualità” e “suolo”, sia il nesso relazionale esistente tra di essi. Pertanto, la conformità del concetto di “qualità del suolo”, nonché la sua valida applicazione, dipendono sia dalla correttezza delle definizioni di suolo e di qualità sia dalla esatta individuazione delle relazioni che legano il concetto di qualità a quello di suolo.

## Il concetto di suolo

Nell'ultimo decennio, la definizione di suolo ha subito una notevole evoluzione. Nell'accezione più comune, il suolo è il sistema naturale deputato allo sviluppo dei vegetali ed alle produzioni agrarie. In realtà, il suolo assolve numerose altre funzioni, e le stesse definizioni di suolo si sono evolute nel tempo, soprattutto nell'ultimo decennio. Nel 1998, il World Reference Base (WRB) (FAO-ISRIC-ISSS, 1998) definiva suolo “un corpo naturale continuo, con tre dimensioni spaziali ed una temporale, [...] formato da costituenti organici ed inorganici, comprendenti fasi solide, liquide e gassose, [...] organizzati in strutture specifiche per ciascun sistema pedologico, [...] in continua evoluzione, acquisendo così il tempo come quarta dimensione.

Nel 1999, la Soil Taxonomy (USDA-NRCS, 1999; USDA-NRCS Soil Survey Staff, 2006) definisce suolo “un corpo naturale formato da fasi solide (minerali ed organiche), liquide ed aeriformi che si ritrova alla superficie terrestre, occupa volume, ed è caratterizzato da almeno una delle seguenti proprietà: i) presenza di orizzonti, o strati, distinguibili dai materiali iniziali in conseguenza di aggiunte, perdite, trasporto e trasformazione di materia ed energia, e/o ii) capacità di sostenere, in ambienti naturali, vegetali dotati di apparati radicali ipogei”<sup>1</sup>.

Nel 2005 Nachtergaele assimila, con brillan-

te sintesi, il concetto di suolo a quello di “epidermide della Terra”. Ne scaturisce la più recente definizione fornita dal WRBSR (FAO-ISRIC-IUSS 2006): “Il suolo è [...] qualsiasi materiale entro 2 m dalla superficie terrestre che sia in contatto con l'atmosfera, con esclusione degli organismi viventi, delle aree con ghiaccio continuo non coperte da altri materiali e dei corpi idrici più profondi di 2 m”. Tale inquadramento offre, in particolare, il significativo vantaggio di affrontare i rapporti suolo-ambiente in modo olistico e deterministico, e di evitare sterili discussioni finalizzate alla ricerca di una definizione basata sull'individuazione di specifiche caratteristiche o funzioni. In particolare, non fa menzione di alcuna specifica caratteristica, quale la fertilità, o funzione, quale la produttività: il suolo è tale in quanto esiste.

### *Il concetto di qualità*

La “qualità”, formalmente identificata da Aristotele come una delle dieci *categorie* generali dell'ente, è stata, ed è tuttora, un predicato tra i più variamente investigati, discussi e interpretati dalle varie scuole filosofiche (Geymonat, 1973a). Il dibattito si sostanzia essenzialmente sulla interpretazione, o sulla risoluzione, della dicotomia “soggetto-oggetto”. Già i presocratici, quali Parmenide e gli Eleatici (Peri, 1994), opponevano l'interpretazione “soggettivistica”, ovvero *la qualità è intrinseca nel soggetto*, a quella “oggettivistica” di Aristotele, ovvero *la qualità è intrinseca nell'oggetto*. Il progressivo rifiuto della fisica Aristotelica nella sua accezione “qualitativa” della natura, già manifestatosi sul finire del Medioevo, trova il suo epilogo nella definitiva affermazione della fisica di Galileo Galilei nella sua accezione quantitativa, basata sulla matematica e sulla geometria. La dicotomia soggetto-oggetto porta quindi alla distinzione tra le “qualità primarie”, oggettivamente misurabili in termini quantitativi, quali la grandezza, e le “qualità secondarie”, o “sensibili”, individualmente percepite e misurabili con parametri soggettivi. Le prime sono quindi oggettive e reali, le seconde soggettive e illusorie. Gli stessi concetti, peraltro, erano già stati sostenuti della scuola atomistica democritea, e costituiranno successivamente uno dei capisaldi del meccanicismo di vari filosofi, quali René Descartes, Thomas Hobbes, John Locke, permanendo sostanzialmente invariati fino alla secon-

<sup>1</sup> La nuova definizione ha ampliato la precedente del 1975 (Soil Survey Staff, 1975), includendo quei suoli evoluti in particolari ambienti, quali ad esempio l'Antartide, in cui il clima è tale da consentire l'espressione dei processi pedogenetici, ma troppo rigido ed avverso per favorire lo sviluppo delle piante superiori.

da metà del XVIII secolo, allorché la portentosa rivoluzione del pensiero moderno compiuta da Immanuel Kant rinnova completamente l'impianto logico e metodologico delle *categorie*. Esse non designano più modi di *essere* della realtà, ma bensì modi di percepire e conoscere la realtà stessa. Le *categorie* sono funzioni *a priori* dell'intelletto, o concetti puri, che determinano le condizioni trascendentali dell'esperienza ovvero le forme universali che i fenomeni devono assumere per divenire oggetti di conoscenza. La dicotomia "soggetto-oggetto" è quindi superata nella sintesi della conoscenza e del giudizio. Come opportunamente rilevato da Peri (1994), per Kant la conoscenza implica l'esistenza di un oggetto percepibile e una funzione *a priori*, intrinseca nel soggetto, in grado di organizzare la percezione dell'oggetto. Lo stesso Peri (1994) ricorda che, nella *Critica del Giudizio*, Kant afferma: "Il bello non è una proprietà delle cose, ma nasce dal rapporto tra le cose e noi, e precisamente dal rapporto fra la loro immagine e il nostro sentimento". Quindi, secondo Kant, "il giudizio estetico ci fa cogliere il bello ed il sublime, e l'uomo percepisce il bello quando l'oggetto sensibile<sup>2</sup> su cui egli riflette si presenta in accordo con la sua esigenza di libertà; allora sorge in lui un vivo compiacimento: esso è il riverbero di questo libero e felice incontro del sensibile con il razionale" (Geymonat, 1973b). E la rappresentazione mentale della "libertà", in Kant, coincide con quella della "autodeterminazione" (Riconda, 1991).

Nella lezione di Kant trova riscontro l'evoluzione del concetto di qualità nella storia contemporanea. Citiamo, paradigmaticamente, Joseph Moses Juran, padre della moderna gestione della qualità (Juran, 1951) che definisce la qualità come "idoneità all'uso". Le posteriori norme ISO formalizzeranno e affineranno ulteriormente il concetto di qualità: "insieme delle proprietà e caratteristiche di un prodotto o servizio che gli conferiscono l'attitudine a soddisfare bisogni espressi o impliciti" (UNI EN ISO 8402-1995), "capacità di un insieme di caratteristiche inerenti ad un prodotto, sistema, o processo di ottemperare a requisiti di clienti e di altre parti interessate" (ISO 9000-2000), "grado in cui un insieme di caratteristiche intrinseche soddisfano i requisiti" (ISO 9000-2005).

In sintesi, nell'accezione moderna, la qualità di un oggetto o di un sistema è una funzione

sovrastutturale che garantisce che la struttura dell'oggetto, o del sistema stesso, soddisfi compiutamente i bisogni personali del soggetto.

### *Il concetto di qualità del suolo*

Il sintagma "qualità del suolo" viene utilizzato con sempre maggiore frequenza, e con differenti finalità, in diversi contesti socio-culturali e tecnico-scientifici. A tale termine tuttavia non corrisponde un "concetto" univocamente condiviso, né una definizione stabilmente consolidata. L'eterogeneità di accezioni ed applicazioni, che talora conduce a paradossi interpretativi, deriva sostanzialmente dalle incongruità sia dell'approccio all'analisi del sistema suolo, non sempre strettamente pedologico, sia dei criteri di valutazione del suo stato di "qualità", di tipo soggettivo "antropocentrico" più che non oggettivo "pedocentrico".

Frequenti, ma non coerenti, sono le associazioni del concetto di "qualità" a quelli di "produttività" e di "sostenibilità d'uso", ovvero in funzione della capacità del suolo di soddisfare particolari bisogni dell'antroposfera. Si identifica infatti la qualità del suolo come la capacità di "funzionare all'interno dei confini di un ecosistema ed interagire positivamente con l'ambiente esterno all'ecosistema stesso" (Larson e Pierce, 1991), o di "ricevere, immagazzinare e riciclare acqua, minerali ed energia per sostenere a livelli ottimali la produzione vegetale e, allo stesso tempo, preservare la salute dell'ambiente" (Arshad e Coen, 1992), o di "fungere da mezzo naturale per la crescita delle piante che sostengono la vita umana ed animale" (Karlen et al., 1992), o ancora come la "misura integrata sia della capacità del suolo a funzionare, sia del grado di espressione di tale funzionalità in relazione ad un determinato uso" (Gregorich et al., 1994). La Soil Science Society of America Ad Hoc Committee on Soil Health comprende e sintetizza tali definizioni, considerando la qualità del suolo come "la capacità di uno specifico tipo di suolo di funzionare, all'interno dei confini di un ecosistema naturale o antropizzato, di sostenere la produttività animale e vegetale, di mantenere o accrescere la qualità dell'acqua e dell'aria, e di sostenere la salute e gli

<sup>2</sup> "Sensibile" è l'oggetto che viene percepito dai sensi.

insediamenti umani” (Karlen et al., 1992). Singer e Ewing (2000), infine, affermano che le “caratteristiche del suolo possono essere desiderabili o indesiderabili.

*Limiti e incongruenze del concetto di qualità del suolo*

Dal punto di vista pedologico, le definizioni date appaiono inconsistenti per almeno quattro ordini di motivazioni:

1. Prendono in considerazione solo alcune delle numerose funzioni del suolo. In buona sostanza, il concetto di qualità richiama funzioni quali la produttività e la depurazione e riciclo di acqua ed elementi, senza riconoscere il suolo stesso quale riserva genica garante della biodiversità spazio-temporale, bene ambientale culla della civiltà ed elemento del paesaggio, custode del patrimonio evolutivo dell'uomo.
2. Sono basate su un approccio che astrae il suolo dal suo contesto reale, senza tenere conto della pedodiversità globale. La Soil Taxonomy (USDA-NRCS, 1999; USDA-NRCS Soil Survey Staff, 2006) inquadra i suoli in 12 Ordini, 68 Sottordini, oltre 300 Grandi Gruppi, oltre 1200 Sottogruppi, oltre 10000 Famiglie, e oltre 17000 Serie; per altro verso, il WRBSR (FAO-ISRIC-IUSS, 2006) classifica, al primo livello gerarchico, 32 *Reference Soil Groups*, ed individua 149 *qualifiers* e 10 *specifiers* per l'inquadramento ai livelli tassonomici inferiori; tenuto conto, per ciascun sistema, della incompatibilità, o della mutua esclusione di alcune chiavi tassonomiche ai diversi livelli gerarchici, il numero di pedotipi classificabili a livello globale è dell'ordine di  $10^4$ ; si perviene così ad una pedodiversità nominale ragguardevole, e pienamente congruente con la variabilità combinatoria compatibile di fattori e processi pedogenetici; ne consegue necessariamente una notevole differenziazione tra le funzionalità connaturate ai diversi pedotipi, e quindi l'impossibilità di formulare un concetto di “qualità” generalizzabile e coerente.
3. Mistificano la nozione di “qualità”, plagiano di fatto concetti e criteri di valutazione dei suoli già noti e consolidati a livello internazionale. Ad esempio, il Land Capability Classification System (Klingebiel e Montgomery, 1961) stima la “capacità” dei suoli ad

essere lavorati senza che si instaurino fenomeni di degradazione, e quindi classifica i suoli in base ai possibili compromessi tra limitazioni esistenti e potenzialità d'uso; il Land Suitability Classification System (Dent e Young, 1981) accerta l'idoneità di un suolo ad essere utilizzato per uno specifico fine, producendo benefici senza pregiudizio delle risorse proprie e di quelle dei suoli vicini; il Fertility Capability Classification System (Buol, 1975; Sanchez et al., 2003) classifica i suoli in base alla fertilità potenziale intrinseca, ed alle limitazioni alla sua espressione. Calzolari, Costantini e Venuti (2006) richiamano inoltre i concetti di “Land Characteristic, LC”, quale “attributo semplice di un'area che può essere misurato o stimato”, e di “Land Quality, LQ” come “attributo complesso di una parte di territorio che influenza in modo specifico le attitudini del territorio a specifici usi”.

4. Utilizzano criteri di stima di tipo soggettivo, ricercando e valutando condizioni e caratteristiche definite “desiderabili” o “indesiderabili” su base “antropocentrica”. Tali criteri non tengono conto dell'identità pedologica dei differenti suoli, della loro storia evolutiva e della loro funzionalità intrinseca. La tabella 1 riporta l'estensione superficiale dei dodici Ordini della Soil Taxonomy sull'insieme delle terre emerse non coperte da ghiacci perenni, nonché la loro distribuzione in relazione ai differenti regimi di temperatura e di umidità del suolo (Wilding, 2000).

È evidente come, per tutti gli Ordini, in particolare per sette di essi, esistano significative aliquote di suoli sviluppati in condizioni estreme di temperatura e/o di umidità (tab. 1). I Gelisols si ritrovano esclusivamente nella tundra e nelle foreste boreali artiche, antartiche e subartiche, 82% degli Spodosols e 71% degli Histosols in regioni boreali, 98% degli Oxisols e 69% degli Ultisols nelle regioni tropicali. In relazione all'umidità, 95% degli Aridisols e 65% degli Entisols sono caratterizzati da regime aridico, e 90% degli Spodosols, 68% degli Histosols e 65% degli Oxisols da regime udico-perudico e condizioni aquiche. È significativo evidenziare come l'insieme degli Ordini citati rappresenti il 56.5% dell'intero patrimonio pedologico mondiale. Altra incongruenza delle definizioni date è quella di considerare come “indicatori” della



Tabella 1. Estensione superficiale degli Ordini secondo la Soil Taxonomy, e loro distribuzione in funzione dei principali regimi di umidità e di temperatura del suolo (da Wilding, 2000; modificata).

Table 1. Order expanse according to Soil taxonomy and their distribution as function of main moisture and soil temperature regimes (from Wilding 2000 modified).

Ordine	Estensione		Distribuzione per regime di umidità del suolo <sup>a</sup>				Distribuzione per regime di temperatura del suolo <sup>a</sup>			
	km <sup>2</sup> (x10 <sup>3</sup> )	%	Aridico	Xerico	Ustico	Udico <sup>1</sup>	Tropicale <sup>4</sup>	Temperato <sup>5</sup>	Boreale <sup>6</sup>	Tundra <sup>7</sup>
Alfisol	12.621	9,6	0	8	56	36	38	39	23	0
Andisol	912	0,7	4	3	30	63	49	23	28	0
Aridisol	15.728	12,0	95	1	3	1	12	74	14	<<1
Entisol	21.137	16,2	60	4	22	14	28	68	4	0
Gelisols	11.260	8,6	N/A <sup>2</sup>	N/A <sup>2</sup>	N/A <sup>2</sup>	N/A <sup>2</sup>	0	0	0	100
Histosols	1.527	1,2	8	1	23	68	21	8	71	0
Inceptisols	12.830	9,8	0	6	42	52	47	42	11	0
Mollisols	9.006	6,9	0	13	66 <sup>3</sup>	22	4	50	46	0
Oxisols	9.810	7,5	<<1	0	35	65	98	2	0	0
Spodosols	3.354	2,5	<<1	1	9	90	<<1	18	82	0
Ultisols	11.054	8,5	0	<<1	42	58	69	31	<<1	0
Vertisols	3.160	2,4	28	3	56	13	47	52	1	0

<sup>a</sup> Definiti in accordo con la Soil Taxonomy (USDA-NRCS Soil Survey Staff, 2006):

<sup>1</sup> Include il regime perudico (permanentemente umido) e le condizioni acquiche (saturo d'acqua, condizioni riducenti con figure redoximorfiche);

<sup>2</sup> non applicabile all'ordine dei Gelisols;

<sup>3</sup> una modesta percentuale di Mollisols collocata nel regime di umidità ustico è di fatto ascrivibile al regime di umidità aridico, in particolar modo nelle aree di steppa dell'Eurasia che presentano una situazione al limite tra i regimi aridico e ustico;

<sup>4</sup> isomesico, isotermico e isopertermico (temperatura media annua del suolo > 8 °C con differenza tra la media delle temperature estive e invernali < 6 °C ad una profondità di 50 cm);

<sup>5</sup> mesico, termico e ipertermico (temperatura media annua del suolo > 8 °C ad una profondità di 50 cm);

<sup>6</sup> frigidico, isofrigido e cryico (temperatura media annua del suolo 0-8 °C ad una profondità di 50 cm);

<sup>7</sup> pergelico (temperatura media annua del suolo < 0 °C ad una profondità di 50 cm).

qualità del suolo parametri strettamente connessi invece con la fertilità, le attitudini d'uso e la produttività, quali il contenuto di sostanza organica, la disponibilità dei nutritivi, il grado di reazione, la capacità di ritenzione idrica, l'attività biologica. Tale criterio implica dequalificare *ipso facto* non solo una gran parte di Sottogruppi, Grandi gruppi e Sottordini, ma anche interi Ordini tassonomici. Ad esempio, negli Aridisols, Gelisols, Oxisols, e Ultisols, tutte le caratteristiche concorrono a determinare bassissimi livelli di fertilità chimica e fisica, e notevoli problematiche di gestione e conservazione (tab. 2).

Gli Aridisols (diffusione 12%) sono caratterizzati da carenza di acqua disponibile per lunghi periodi (AWC < 90 d consecutivi), a causa di insufficiente ritenzione idrica, bassi contenuti di argilla e di sostanza organica (SO) e quindi bassa Capacità di Scambio Cationico (CSC), e sbilancio precipitazioni/evapotraspirazione, con accumulo di prodotti di alterazione relativamente solubili e conseguente elevata salinità.

I Gelisols (diffusione 13%) sono caratteriz-

zati dalla presenza di permafrost<sup>3</sup>, che ostacola il movimento della fase liquida del suolo verso il basso. I fenomeni di crioturbazione concorrono a determinare deformazioni e fratture degli orizzonti pedogenetici e accumulo di sostanza organica, in parte segregata all'interno del permafrost e quindi non disponibile. Sono frequentemente acidi, con complesso di scambio desaturato, e, nei deserti polari, possono presentare condizioni di salinità a causa della scarsità di acqua libera.

Gli Ultisols (diffusione 8.5%), caratteristici delle regioni tropicali, sono suoli alterati formati a seguito della combinazione di due condizioni climatiche particolari: una in cui le pre-

<sup>3</sup> Strato ghiacciato di suolo (o di roccia), di spessore misurabile fino ad una determinata profondità dalla superficie, in cui la temperatura resta al di sotto di 0 °C per almeno due anni consecutivi, in un ambiente in cui il riscaldamento estivo non produce temperature sufficienti a sciogliere il limite inferiore delle strato ghiacciato.

Tabella 2. Valori tipici di alcune caratteristiche dei suoli afferenti agli Ordini degli Aridisols, Gelisols, Ultisols, Oxisols (USDA-NRCS, 1999; modificata).

Table 2. Typical values of some characteristics of soils afferent to Aridisols, Gelisols, Ultisols, Oxisols Order (USDA-NRCS, 1999; modified).

Aridisols											
Profondità -cm	Orizzonte	pH H <sub>2</sub> O	Argilla %	C %	N %	C/N	K meq/100g	CSC <sup>1</sup> meq/100g	GSB <sup>2</sup> %	H <sub>2</sub> O 1/3 bar	H <sub>2</sub> O 15 bar
0-33	Ap1	7.8	17.2	0.90	0.093	10	1.7	15.1	100		14.8
33-56	Ap2	8.0	18.3	0.60	0.067	9	2.0	14.5	100		15.6
56-81	Bk1	8.1	29.2	0.34			1.6	9.4	100		15.3
81-107	Bk2	8.1	38.1	0.18			1.3	10.9	100		15.3
107-135	Bk3	8.1	45.1	0.16			1.5	11.5	100		14.7
135-269	Bk4	8.1	50.2	0.11			1.5	9.6	100		16.3
269-279	2C	8.0	40.2	0.03			2.0	15.4	100		14.6
Gelisols											
Profondità -cm	Orizzonte	pH H <sub>2</sub> O	Argilla %	C %	N %	C/N	K meq/100g	CSC <sup>1</sup> meq/100g	GSB <sup>2</sup> %	H <sub>2</sub> O 1/3 bar	H <sub>2</sub> O 15 bar
0-7	A	5.2	23.7	7.54	0.331	23	0.4	29.7	57	38.3	22.5
7-12	AB	5.7	8.7	0.65	0.064	10	0.1	11.4	81	18.5	5.8
12-38	Bw1	6.6	13.0	0.56	0.065	9	0.1	12.6	90		6.5
38-59	Bw2	6.8	15.5	0.48	0.065	7	0.2	14.7	100		8.8
59-78	Bw3	6.8	15.4	0.44	0.066	7	0.2	13.5	100	20.8	8.3
78-94	Bw4	7.3	15.2	0.44	0.068	6	0.2	13.1	95	18.3	7.7
94-110	Cf	7.3	13.5	0.39	0.059	7	0.2	11.2	100		6.9
Ultisols											
Profondità -cm	Orizzonte	pH H <sub>2</sub> O	Argilla %	C %	N %	C/N	K meq/100g	CSC <sup>1</sup> meq/100g	GSB <sup>2</sup> %	H <sub>2</sub> O 1/3 bar	H <sub>2</sub> O 15 bar
0-12	Ap	5.1	12.3	1.25	0.057	22	0.1	4.2	43	9.6	4.4
12-40	Bt1	5.0	35.0	0.51	0.037	14	0.1	5.7	4	15.1	11.8
40-86	Bt2	5.0	35.0	0.32	0.019	17	0.1	5.3	38	18.1	12.7
86-140	Bt3	5.0	40.9	0.20			0.1	5.6	11	16.0	14.0
140-280	Bt4	4.9	44.6	0.19			0.1	5.3	15	17.2	14.8
Oxisols											
Profondità -cm	Orizzonte	pH H <sub>2</sub> O	Argilla %	C %	N %	C/N	K meq/100g	CSC <sup>1</sup> meq/100g	GSB <sup>2</sup> %	H <sub>2</sub> O 1/3 bar	H <sub>2</sub> O 15 bar
0-18	Ap	4.1	53.9	2.12	0.139	15		10.4	6	25.1	18.2
18-30	A	4.3	53.8	1.59	0.098	16		9.1	1	30.2	17.8
30-38	B <sub>Ag</sub>	4.4	56.9	1.00	0.084	12		7.1		28.4	18.3
38-70	B <sub>g1</sub>	5.0	60.0	0.48	0.028	17		6.3		29.7	19.7
70-110	B <sub>g2</sub>	5.1	59.7	0.26	0.027	10		6.5		29.5	21.0
110-180	B <sub>Cg</sub>	5.3	60.7	0.18	0.013	14		5.4		28.2	22.1

<sup>1</sup> Capacità di Scambio Cationico; <sup>2</sup> Grado di Saturazione in Basi.

cipitazioni sono in deficit rispetto all'evapotraspirazione, favorendo la formazione di orizzonti illuviali di tipo argillico o kandico<sup>4</sup>, ed una in cui le precipitazioni sono tali da eccedere la capacità di ritenzione idrica del suolo, favorendo la lisciviazione delle basi e la desaturazione del complesso di scambio, con conseguente incremento dell'acidità e rischio di tossicità da alluminio. La CSC è tipicamente molto bassa, an-

che per la prevalenza di minerali argillosi a bassa carica anionica quali la kaolinite.

Gli Oxisols (diffusione 7.5%) rappresentano ben il 25% dei suoli tropicali. Presentano talu-

<sup>4</sup> Orizzonti subsuperficiali di deposizione di materiali fini (argille) eluviati dagli orizzonti sovrastanti; in particolare, l'orizzonte kandico è caratterizzato da accumulo di argille 1:1 a bassa attività ("kanditi", quali kaolinite).

ne analogie con gli Ultisuoli, prevalentemente sotto l'aspetto climatico, ma presentano un orizzonte subsuperficiale di tipo kandico o oxico<sup>5</sup>, e sono generalmente molto più alterati, quindi fortemente desaturati e acidi. Sono prevalentemente argillosi, e relativamente ben dotati di SO, ma nel contempo sono poco fertili ed hanno bassa CSC. Ciò è dovuto alla concorrenza di due fattori: la frazione minerale è costituita essenzialmente da materiali profondamente alterati, con attività di scambio da scarsa a nulla (quarzo, kaolinite, ossidi di Al e Fe), e la dinamica dell'umificazione è scarsa, a causa della refrattarietà della SO. Tale circostanza evidenzia tra l'altro come, contrariamente a quanto comunemente sostenuto dal punto di vista ecologico, elevati contenuti di argilla e di SO non danno garanzia di "qualità".

## Conclusioni

Il concetto di "qualità del suolo", così come attualmente strutturato, riconduce ad una interpretazione teleologica del ruolo del suolo, e porta inevitabilmente a sostenere una sorta di discriminazione pedogenetica, di pericolosa "pedo-eugenica", che separa *a priori* suoli di qualità "superiore" da quelli di qualità "inferiore", misconoscendo così il valore intrinseco del suolo nella complessità delle sue implicazioni ambientali, socio-economiche e culturali. Se si consolidasse il principio che la qualità è attributo esclusivo di suoli ricchi e fertili, allora diventerebbe elevatissimo ed incombente il rischio di sottrarre definitivamente i suoli di "scarsa qualità" all'agricoltura, al paesaggio, al patrimonio pedologico globale, già di per sé ampiamente minacciato e ormai in parte degradato. L'inadeguatezza dell'approccio si riflette inevitabilmente anche nella continua ricerca di "indicatori" idonei a misurare la qualità. In assenza di una rigorosa definizione e delimitazione del campo e dell'obiettivo di indagine, anche gli strumenti e le unità di misura restano non rigorosamente definiti. Infatti, a tutt'oggi, sono stati proposti differenti insiemi di "indicatori" chimici, fisici e biologici della qualità del suolo, ciascuno formato da un rilevante numero di parametri, con inevitabile ridondanza di informazioni e spreco di risorse. Si resta tuttavia ben lontani da tentativi efficaci di riduzione delle

informazioni superflue e di accorpamento delle dati essenziali, con conseguente rischio di arbitrarietà ed aleatorietà. La problematica è aggravata dalla circostanza che il suolo è un sistema naturale estremamente complesso, e che pertanto offre una serie pressoché innumerevole di parametri atti ad essere misurati, ma il cui significato e la cui importanza spesso sono definiti dal misuratore stesso, senza riscontri oggettivi.

Ogni suolo è un *unicum*, evolutosi nel tempo in equilibrio con le specifiche condizioni di clima, geomorfologia, natura dei materiali genitori, attività biotica, influenza dell'uomo, ed è capace di trasferire materia ed energia tra i comparti ambientali nei limiti delle risorse dell'ambiente stesso.

Come argutamente notato da Chesworth (2008), "lo stato, qualità o salute, del suolo è *most parsimoniously* spiegato come conseguenza della co-evoluzione delle componenti biotiche e abiotiche sulla superficie della Terra, senza implicazioni teleologiche", e "la vita si è evoluta come migliore adattamento a tutte le possibili circostanze, [...] in accordo con la teoria di Darwin".

È necessario quindi riconsiderare il concetto di "qualità" del suolo essenzialmente in termini di "funzionalità" intesa come "attitudine ad esprimere le proprie potenzialità", valorizzando i fondamentali ruoli ambientali, socio-economici e culturali del suolo sulla base dei caratteri intrinseci derivanti dalla sua peculiare storia pedogenetica.

## Bibliografia

- Arshad M.A., Coen G.M. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *Am. J. Altern. Agr.*, 7:25-31.
- Buol S.W., Sanchez P.A., Cate R.B. jr., Granger M.A. 1975. Soil fertility capability classification: a technical soil classification system for fertility management. In: Bornemisza E., Alvarado A. (eds.): *Soil management in tropical america*, 126-145. N.C. State Univ., Raleigh, N.C.
- Calzolari C., Costantini E.A.C., Venuti L. 2006. La valutazione dei suoli e delle terre: storia definizioni e

<sup>5</sup> Orizzonte subsuperficiale caratterizzato da bassa CSC e scarsa presenza di materiali alterabili.

- concetti. In: Costantini E.A.C. (ed.): *Metodi di valutazione delle terre*. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, 3-47. Edizioni Cantagalli, Siena, Italy.
- Chesworth W. 2008. Quality. In: Chesworth W. (ed.): *Encyclopedia of Soil Science*, 597-598. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Dent D., Young A. 1981. *Soil Survey and Land Evaluation*. G. Allen & Unwin, London, UK.
- FAO-ISRIC-ISSS. 1998. *World Reference Base for Soil Resources*. FAO-ISRIC- ISSS. *World Soil Resources Report No. 84*. Rome.
- FAO-ISRIC-IUSS. 2006. *World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication*. *World Soil Resources Report 106*, 2006 ed., Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Geymonat L. (ed.) 1973a. *Storia del pensiero filosofico e scientifico*. Garzanti Ed., Milano.
- Geymonat L. 1973b. Kant – Critica del Giudizio. In: Geymonat L. (ed.): *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, III/6. Garzanti Ed., Milano.
- Gregorich E.G., Carter M.R., Angers D.A., Monreal C.M., Ellert B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.*, 74:367-386.
- Juran M.J. 1951<sup>6</sup>. *Quality Control Handbook*. McGraw-Hill, New York, New York.
- Karlen D.L., Eash N.S., Unger P.W. 1992. Soil and crop management effects on soil quality indicators. *Amer. J. Altern. Agric.*, 7:48-55.
- Klingebiel A.A. and Montgomery P.H. 1961. *Land Capability Classification*. Agr. Handbook n. 210, USDA-SCS, Washington, DC.
- Larson W.E., Pierce F.J. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In: *Evaluation for sustainable land management in the developing world*, 175-203. Int. Board Soil Res. and Management, Bangkok, Thailand.
- Nachtergaele F. 2005. The “soils” to be classified in the World Reference Base for Soil Resources. *Euras. Soil Sci.*, 38, suppl. 1: 13-19.
- Peri C. 1994. *Qualità: concetti e metodi*. FrancoAngeli Ed., Milano, Italy.
- Riconda G. 1991. La nozione di libertà nella storia della filosofia. In: *Enciclopedia Europea*, VI: 869-870. Garzanti Editore, Milano.
- Sanchez P.A., Couto W., Buol S.W. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma*, 114:157-185.
- Singer M.J., Ewing S. 2000. Soil Quality. In: Sumner M.E. (ed.): *Handbook of Soil Science*, G/271-298. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- USDA-NRCS Soil Survey Staff – United States Department of Agriculture, 1999. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, 2<sup>nd</sup> ed., Agriculture Handbook n. 436. USDA, Natural Resources Conservation Service, NY.
- USDA-NRCS Soil Survey Staff – United States Department of Agriculture, 2006. *Keys to Soil Taxonomy*, 10<sup>th</sup> ed. USDA, Natural Resources Conservation Service, NY.
- Wilding L.P. 2000. Classification of soils. In: Sumner M.E. (ed.): *Handbook of Soil Science*, E/175-183. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

---

<sup>6</sup> Sono seguite, per gli stessi tipi, successive edizioni negli anni 1962, 1974, 1988, 1999.

# La qualità del suolo: chiave delle produzioni sostenibili

Anna Benedetti\*, Stefano Mocali

CRA – Centro per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo  
Via della Navicella 2, 00184 Roma

Società Italiana della Scienza del Suolo (SISS)

---

## Riassunto

Negli ultimi anni sono state formulate molte definizioni sulla qualità del suolo, ma tra tutte certamente la più apprezzata è quella di Doran e Parkin del 1994 nella quale la qualità del suolo viene definita come “la capacità di interagire con l’ecosistema per mantenere la produttività biologica, la qualità ambientale e promuovere la salute animale e vegetale”. In realtà molti studiosi del suolo attribuiscono ad essa un significato concettuale fondamentale nella programmazione territoriale e nella gestione aziendale, altri invece sostengono che in tale definizione non risieda alcun valore aggiunto nella comprensione e descrizione delle proprietà del suolo ma che il concetto di qualità del suolo viene a sovrapporsi con il concetto di “adatto per “ e quindi impone di definire in primo luogo la sua destinazione d’uso. La qualità degli alimenti è caratterizzata da un insieme di proprietà che vanno in primo luogo dalla salubrità al valore nutritivo, alle quantità prodotte, alla conservabilità, alla tipicità, alle proprietà organolettiche, ecc. Molte di queste proprietà dipendono dalla qualità ambientale ed in modo particolare dalla qualità del suolo. Il suolo rappresenta il substrato naturale per la crescita e produttività della maggior parte degli organismi vegetali che popolano la terra in quanto dal suolo le piante traggono gli elementi nutritivi indispensabili al loro sviluppo; conseguentemente ogni elemento presente nel suolo in forma biodisponibile alle piante è destinato potenzialmente ad entrare nella catena alimentare degli animali e dell’uomo. Nel controllo di qualità del processo produttivo degli alimenti dunque sarà fondamentale garantire la giusta qualità del suolo in termini sia di elementi indesiderati, che non costituiscono l’oggetto della presente nota, quanto degli elementi della fertilità, essenziali a garantire quantità e qualità nelle produzioni. Nella presente nota verranno discusse le relazioni che legano la qualità e la biodiversità del suolo alla qualità ed alla sostenibilità delle produzioni. Infine verrà discussa la peculiarità del suolo come “biota”, nodo di tutti gli equilibri ambientali e pertanto comparto chiave nella regolazione della vita sulla terra, e degli indicatori come strumenti di valutazione della qualità del suolo.

*Parole chiave:* biota suolo, indicatori di qualità del suolo, sostenibilità delle produzioni, qualità del suolo, biodiversità del suolo.

## Summary

### SOIL QUALITY: KEY FOR SUSTAINABLE PRODUCTION

In the last few years several definitions of “soil quality” have been advanced, but among them the most appreciated is “the ability of soils to interact with the ecosystem in order to maintain the biological productivity, the environmental quality and to promote animal and vegetal health” as defined by Doran and Parkin in 1994. Many researchers place more emphasis on its conceptual meaning for land planning and farm management, while others consider that definition to be worth nothing in order to understand soil properties and the concept of soil quality looks like the concept of “to be suitable for”. For this reason a definition of “soil use” is needed. The food quality is characterized by several properties: the healthiness and the nutritional value, the amount of the production, the typicalness and organoleptic properties, etc.. A lot of these properties depend on environmental quality and, in particular, on soil quality. In fact soil represents the natural substrate for growth and productivity of most of the plants that live on the Earth because they get all the essential nutritional elements from it for their own development; consequently each nutritional element present into the soil as bioavailable form for the plants is potentially destined to entry in the animal (and human) food chain. In the quality process of food productive process it will be important to assure the best soil quality as possible, without any unwanted element (which will not be discussed in this note) and with the right amount of fertility elements in order to guarantee the best production. In this paper the relationships between soil quality, soil biodiversity and crop sustainability will be discussed. Finally the concept of soil “biota” as nodal point for the environment regulation and the application of the indicators for soil quality will be discussed.

*Key-words:* indicators of soil quality, production sustainability, soil biota, soil quality, soil biodiversity.

\* Autore corrispondente: tel.: +39 06 7008721; fax: +39 06 7005711. Indirizzo e-mail: anna.benedetti@entecra.it

## Premessa

Dall'inizio degli anni Ottanta si sta verificando nel mondo un decremento della capacità produttiva del suolo in oltre il 10% delle terre coltivate, come risultato dell'erosione, dell'inquinamento dell'atmosfera, delle coltivazioni intensive, dell'eccesso di pascolamento, della salificazione e soprattutto della perdita di sostanza organica e della biodiversità (Jones et al., 2004). Come per l'aria e per l'acqua anche per il suolo la sua qualità complessiva ha un impatto diretto sulla produttività dei sistemi agricoli.

Molte le proposte da parte della comunità scientifica per individuare un'insieme di indicatori in grado di definire e stimare la qualità del suolo a supporto dei decisori politici e dei pianificatori territoriali. Doran e Parkin (1994) hanno definito la qualità del suolo "la capacità del suolo di interagire con l'ecosistema per mantenere la produttività biologica, la qualità ambientale e promuovere la salute animale e vegetale". Il dibattito a livello scientifico non è ancora concluso e in realtà molti studiosi attribuiscono ad essa un significato concettuale fondamentale nella programmazione territoriale e nella gestione aziendale, altri invece sostengono che in tale definizione non risieda alcun valore aggiunto nella comprensione e descrizione delle proprietà del suolo ma che il concetto di qualità viene a sovrapporsi con il concetto di "adatto per" e quindi impone di definire in primo luogo la sua destinazione d'uso. In realtà appare evidente come non sia sufficiente un solo indicatore o anche un set di indicatori universale per definire la qualità del suolo, ma di volta in volta debbano essere individuati e tarati in funzione della diversa destinazione d'uso (Brookes, 1995).

Per l'Italia e per l'area mediterranea in genere le problematiche principali di perdita della fertilità riguardano il pericolo della desertificazione dei suoli (Jones et al., 2004). In questo contesto gli indicatori legati alla sostanza organica ed alla fertilità biologica dei suoli sembrano essere i più rispondenti alla caratterizzazione delle "funzioni del suolo", così come definite dalla strategia tematica sulla conservazione del suolo.

Nella presente relazione verrà brevemente descritto il "soil biota" quale moderatore dell'intera vita sulla terra.

## Il suolo come "biota"

"Soil biota" è un termine praticamente in traducibile che sta ad indicare l'intera comunità microbica vivente nel suolo e che esprime le funzioni vitali del suolo quasi a rappresentarlo come un unico organismo vivente; esso è caratterizzato anche da una significativa diversità spaziale con macroscopiche differenze tra suolo rizosferico e non rizosferico, tra macropori e micropori, tra diversi orizzonti lungo il profilo, ecc. Numerosi sono i fattori noti che possono interagire con il biota come, ad esempio, condizioni di eterogeneità spaziale e temporale (trattata d'acqua, presenza di nutrienti, aggregazione, composizione granulometrica, ecc.), nonché fattori di stress negativi o positivi che vanno direttamente ad interagire con il potenziamento della stabilità, resilienza e resistenza agli stress ed in ultima analisi con la produttività delle specie vegetali. È stato osservato che a volte le dimensioni delle particelle di suolo hanno un impatto sulla diversità e la struttura delle comunità microbiche più evidente di quanto non facciano pH e sostanza organica (Sessitsch et al., 2001). Tuttavia è stato osservato che il parametro che influenza maggiormente i microrganismi sono la qualità del suolo e soprattutto il suo pH (Girvan et al., 2003; Fierer e Jackson, 2006).

Nonostante i fattori ambientali e la tipologia di suolo influenzino la diversità microbica del suolo, spesso è la tipologia di pratica agricola utilizzata o il tipo di trattamento applicato che possono determinare rilevanti alterazioni della biodiversità (Gomez et al., 2006) con conseguenze che talvolta sono difficili – se non impossibili – da recuperare (Mocali et al., 2008).

Il suolo naturale è infatti un sistema ecologico aperto, che riceve e perde energia. Le modificazioni energetiche a cui va incontro sono determinate dalla nutrizione e dalla respirazione delle popolazioni microbiche, dal trasferimento e circolazione ciclica degli elementi, dalla sintesi e degradazione della sostanza organica. Si può affermare, quindi, che l'equilibrio del suolo naturale, cioè non coltivato, sia governato essenzialmente da quattro parametri: *bioenergetica, trasformazioni cicliche, umificazione e pedogenesi*, strettamente connessi l'uno con l'altro in modo da mantenere in equilibrio ecologico il terreno con l'ambiente. Lo sfruttamento agricolo modifica questi rapporti: le pratiche

agronomiche ad esempio accelerano le trasformazioni cicliche, pertanto questa maggiore dinamicità fa sì che il terreno agrario abbia un minor grado di stabilità rispetto al terreno naturale. Una delle funzioni più importanti dei microrganismi dei suoli agrari è, appunto, quella di presiedere alle trasformazioni a carico degli elementi nutritivi in modo da mantenere un equilibrio di scambio tra suolo e pianta, contribuendo così allo stato di fertilità dei terreni. Pertanto la moderna agricoltura dovrebbe prefiggersi lo scopo di raggiungere la massima produttività consentita dalle condizioni edafiche, mantenendo elevato non solo il livello della fertilità chimica, ma anche quello della *fertilità biologica*.

La fertilità biologica di un suolo può essere definita come una espressione della vita microbica dei suoli e dipende soprattutto dalla sostanza organica e dall'ambiente (Benedetti, 1983). L'ambiente inteso come clima non solo condiziona lo sviluppo dei microrganismi ma anche la loro attività e quindi l'evoluzione della sostanza organica, che è la fonte di energia necessaria per lo svolgimento della vita microbica. In particolare, per quanto riguarda la sostanza organica, si deve sottolineare che i residui vegetali sono costituiti da circa il 75% di cellulosa, il 15% di lignina, il 5% di proteine ed il 5% di ceneri. La quantità dei residui vegetali che si accumula nel terreno varia moltissimo, specie in rapporto alle diverse condizioni ambientali. Le proteine vengono trasformate in proteine microbiche, attraverso una serie di passaggi intermedi, la cellulosa viene ossidata in gran parte ad anidride carbonica dai microrganismi, quale fonte di energia, oppure utilizzata per la formazione di sostanza microbica. La lignina è molto più resistente alla degradazione ed è considerata il materiale principale da cui si produce l'humus (Sequi, 2005).

La sostanza organica dunque è un parametro molto importante per la fertilità biologica perché interviene non solo sulla formazione dell'humus, ma anche sulla formazione di sostanze specifiche microbiche e sul loro metabolismo. I microrganismi eterotrofi si servono infatti di monosaccaridi e azoto per le loro sintesi cellulari ed è stato dimostrato che il tenore in carbonio di un terreno influenza grandemente il metabolismo dell'azoto: un substrato con un elevato C/N favorisce l'immobilizzazione dell'azo-

to, mentre un C/N basso favorisce la mineralizzazione (Sequi, 1992).

La fertilità biologica unitamente alla fertilità chimica ed a quella fisica costituisce la fertilità agronomica o *integrale* dalla quale dipende la produttività. La fertilità tuttavia non è sinonimo di produttività in quanto la prima dipende dal terreno mentre la seconda sia dal terreno che dalla pianta. Inoltre le basi biologiche della produttività riferite ad un terreno naturale non coincidono con quelle della produttività agronomica in quanto quest'ultima rappresenta un livello produttivo superiore a quello naturale.

Sono state avanzate proposte sulle procedure da adottare a livello internazionale per la valutazione della qualità del suolo, e sono stati indicati dei parametri fisici, chimici e biologici come indicatori base per la qualità del suolo (Sparling et al., 2006). I microrganismi, ad esempio, vengono utilizzati come indicatori della qualità del suolo perché svolgono delle funzioni chiave nella degradazione e nel ricircolo della sostanza organica e dei nutrienti o rispondono prontamente ai cambiamenti dell'ambiente suolo. Inoltre l'attività microbica nel suolo rispecchia la somma di tutti i fattori che regolano la degradazione e la trasformazione dei nutrienti (Bloem et al., 2006).

### **La biodiversità del suolo**

In genere nello studio della diversità biologica (biodiversità) le teorie ecologiche sono sempre state sviluppate essenzialmente per gli ecosistemi presenti sulla superficie del suolo, per gli animali e le piante superiori, trascurando per lungo tempo tutte quelle forme di vita che sono presenti all'interno di esso, in particolare i microrganismi, che rappresentano una enorme quantità di "vita invisibile" di fondamentale importanza per l'intera vita sulla terra (Wardle e Giller, 1996). Basti pensare che nel suolo è possibile trovare dal 95 al 98% della biodiversità della Terra. Infatti la microflora rappresenta la parte più rilevante della biomassa del suolo, ed è quella che maggiormente influisce sulle sue proprietà biologiche, regolando tutti i processi biochimici che ne determinano le proprietà nutrizionali (Bloem et al., 2003).

Nonostante la biodiversità sia così importante, al momento è ancora molto difficile riu-

scire a “misurarla”. Questo non è dovuto solo a motivi tecnici ma anche concettuali: basti pensare alla definizione classica di diversità biologica e la sua suddivisione in diversità “ecosistemica, di specie e genetica” attribuita ad animali e piante e alla difficoltà di definire il concetto di diversità di “specie” microbica in quanto non applicabile ad organismi che si riproducono per via asessuata come batteri e virus. La diversità microbica è quindi comunemente definita in termini di *richness*, ovvero il numero degli individui appartenenti a diversi “gruppi” detti *taxa*, e di *evenness* cioè alla loro distribuzione all’interno dei *taxa* stessi (Atlas e Bartha 1998). Inoltre lo studio dei microrganismi richiede necessariamente strumenti e metodologie differenti rispetto a quelli utilizzati per lo studio degli organismi superiori. Nonostante l’uso di sofisticate apparecchiature abbia consentito la stima di circa un miliardo di batteri per grammo di suolo, suddivisi in svariate migliaia di taxa differenti, la maggior parte di questi microrganismi rimane ancora sconosciuto. Utilizzando tecniche di microscopia, infatti, è stato dimostrato che solo l’1% del numero totale delle cellule batteriche presenti in campioni di suolo può essere coltivato sui terreni di coltura di laboratorio e successivamente caratterizzato (Torsvik et al., 1990), lasciando quindi ancora aperta la grande sfida di mettere in relazione la funzione con l’individuo (Nannipieri et al., 2003).

Come detto la composizione delle comunità microbiche può variare nel tempo in conseguenza dei cambiamenti che si verificano nel microambiente o per azione dei microrganismi che ne fanno parte (o di quelli che vi vengono immessi). Tuttavia molti microrganismi possono mantenere la medesima composizione all’interno di una comunità, ma modificare alcuni processi metabolici con conseguenze a livello funzionale ed ecologico. Ecco che si deve parlare anche di *diversità funzionale* dei microrganismi del suolo. Questa visione comporta anche una correlazione degli individui alla loro funzione, associando lo studio della singola cellula con quelli genomici e proteomici del suolo.

La biodiversità dei microrganismi del suolo, in virtù della varietà dei processi chimico-metabolici coinvolti, ha perciò un ruolo importante nel mantenere gli ecosistemi naturali in uno stato funzionalmente efficiente. L’equilibrio che si instaura nell’ecosistema microbico del suolo, do-

vuto alla stabilizzazione delle interrelazioni funzionali tra i vari microrganismi, si riflette positivamente sulle piante e, conseguentemente, sulla comunità animale sovrastante. L’agricoltura intensiva ad esempio, basata sulle monocolture e l’uso di pesticidi ed erbicidi, può influire sulla biodiversità del suolo ed in particolare sulla biodiversità dell’ecosistema, alterando gli equilibri strutturali della comunità microbica presenti e la composizione delle varie popolazioni che compongono tale comunità (Bolton et al., 1985; Doran, 1980; Ramsay et al., 1986).

Come già accennato in precedenza, la composizione e la struttura delle comunità microbiche del suolo dipendono, oltre che dalle interazioni tra le singole specie presenti, anche e soprattutto dalla natura chimico-fisica del terreno (Garbeva et al., 2004). La composizione del suolo rappresenta quindi uno dei principali fattori che influenzano significativamente la comunità microbica a livello sia interspecifico sia intraspecifico (McCaig et al., 2001; Girvan et al., 2003), agendo sia sulla densità microbica che sulla struttura della comunità microbica rizosferica (Chiarini et al., 1998) ed è responsabile della diversità fenotipica di popolazioni rizobatteriche (Latour et al., 1996). I cambiamenti nella composizione microbica del suolo sono quindi il punto cruciale del mantenimento delle funzioni vitali del suolo. Nannipieri e collaboratori in una recente review hanno evidenziato le relazioni esistenti tra diversità microbica e funzioni del suolo (Nannipieri et al., 2003).

Intorno agli anni Cinquanta si è sviluppata la teoria secondo la quale i concetti di diversità biologica e stabilità ecosistemica sono direttamente relazionate per cui la fluttuazione delle popolazioni fornisce una misura della stabilità ecosistemica. MacArthur ha ipotizzato che la stabilità di una comunità microbica dipenda sempre dalle reti trofiche del sistema piuttosto che da fenomeni di autoregolazione da parte di certe specie. Secondo questa ipotesi in un ecosistema dotato di numerose vie metaboliche ed energetiche l’alterazione di una specie determina un effetto minore sulle altre specie presenti di quanto potrebbe causare la medesima alterazione a carico di una specie di un ecosistema dotato di una scarsa rete energetica. Sulla base del modello proposto da MacArthur sono nate numerose teorie ecologiche per spiegare la relazione tra la biodiversità e la stabilità o la pro-



duttività di un suolo (Lynch et al., 2004). Una di queste è la “ipotesi dell’eterogeneità delle risorse” (Resource heterogeneity hypothesis – RHH) proposta da Tilman (1982): essa parte dal presupposto che un suolo uniformemente arido avrà una bassa biodiversità. All’aumentare della fertilità del suolo, aumenteranno anche la distribuzione e la diversità delle risorse nutrizionali determinando, di conseguenza, un incremento della biodiversità e della produttività. Ad un certo punto però la tendenza si inverte e ad una elevata fertilità del suolo corrisponde un abbattimento della eterogeneità delle risorse e quindi della biodiversità. Questo fenomeno è dovuto al fatto che, all’aumentare della fertilità, il suolo si avvicina sempre di più ad un plateau di nutrienti che saranno uniformemente distribuiti su tutto il suolo, selezionando così quei microrganismi che meglio si adattano a quelle condizioni.

### **Indicatori chimici e microbiologici**

Verranno di seguito descritti alcuni indicatori utili per la qualificazione del suolo da poter utilizzare come stima della fertilità integrale.

#### *Indicatori chimici*

Tra i numerosi indicatori chimici del suolo, la sostanza organica, caratterizzata sotto diversi aspetti, è stata scelta come indicatore di qualità. Il suo contenuto nel suolo, infatti, è un potenziale indicatore ambientale in quanto si correla con numerosi aspetti della produttività e sostenibilità degli agroecosistemi e della conservazione ambientale (Sequi, 1992; Smith et al., 2000). In generale, alla presenza di elevate quantità di sostanza organica nel suolo vengono attribuiti molteplici benefici: la sostanza organica esplica infatti la propria azione sulle proprietà nutrizionali del terreno, sia perché costituisce una riserva di elementi nutritivi ed energetici per i microrganismi del suolo e di elementi nutritivi per le piante, sia perché attraverso i meccanismi di scambio, adsorbimento, complessazione e chelazione, modula la disponibilità degli elementi medesimi.

La sostanza organica influenza non solo le proprietà chimiche e biologiche del suolo, ma anche quelle fisiche. La sola proprietà fisica non modificabile è la tessitura, mentre la stabilità di struttura, la ritenzione idrica, il colore e la ca-

pacità termica sono in relazione con la quantità e qualità della sostanza organica nel suolo. Proprio questa relazione tra stabilità di struttura e sostanza organica sta alla base della scelta di quest’ultima, insieme ad altri parametri correlati, come indicatore di qualità del suolo. Inoltre alla sostanza organica vengono attribuite attività fisiologiche da parte di alcune molecole organiche, in particolare le sostanze umiche, che modificano direttamente il metabolismo dei microrganismi e delle piante.

Pertanto sono stati considerati i seguenti parametri, il cui elenco non è da considerarsi esaustivo:

- C organico totale
- C delle frazioni umica e fulvica
- Parametri dell’umificazione (grado, tasso ed indice di umificazione)
- Azoto totale e rapporto C/N
- Il comportamento alla focalizzazione isoelettrica e la stabilità all’analisi termica.

Le motivazioni della scelta della sostanza organica come indicatore chimico della qualità del suolo sono molteplici; infatti tra i diversi costituenti del suolo la sostanza organica è di gran lunga la parte più reattiva dal punto di vista chimico. Essa, insieme ai minerali argillosi, contribuisce in maniera sostanziale alla superficie specifica totale. Infatti nel suolo la maggior parte delle reazioni chimiche avvengono all’interfaccia tra la fase solida e la fase liquida, dove i numerosi gruppi funzionali reattivi delle molecole umiche e degli altri costituenti della sostanza organica interagiscono con i soluti presenti nella soluzione del terreno.

La media nazionale del contenuto di sostanza organica dei suoli agrari italiani si aggira intorno al 1,5%; inoltre in ambiente mediterraneo, senza le dovute reintegrazioni, si perde mediamente ogni anno l’1,5% di humus. Un database pedologico sul contenuto di carbonio organico negli orizzonti superficiali (0-30 cm) di suolo nell’Europa meridionale è stato elaborato a cura dell’European Soil Bureau (Montanarella e Jones, 1999). Stime preliminari sono state effettuate assegnando le unità della mappa dei suoli europei a due sole classi di contenuto di carbonio organico: valori  $\leq 2\%$  e valori  $> 2\%$ . Secondo tali stime l’86,4% della superficie di suolo totale in Italia è caratterizzata da valori di carbonio organico  $\leq 2\%$  mentre solo il 12,4% ne contiene più del 2% (Zdruli et al., 2004).

*Indicatori microbiologici*

È estremamente difficile utilizzare parametri microbiologici, biochimici o molecolari del suolo per la definizione delle qualità di un suolo perché i microrganismi reagiscono molto rapidamente anche a variazioni stagionali e si adattano alle diverse necessità ambientali (Benedetti et al., 2006). È problematico distinguere fluttuazioni naturali da alterazioni causate da attività antropiche, specialmente quando il dato viene determinato tardi e sprovvisto di controllo.

Domsh (1980, 1983) ha stabilito che qualsiasi alterazione provocata sia da agenti naturali che da inquinanti che ritorna a valori microbiologici normali entro 30 giorni è da considerarsi come una fluttuazione normale. Diversamente, alterazioni che durano 60 giorni sono tollerabili, mentre quelle che persistono per più di 90 giorni sono veri e propri agenti di stress. Brookes (1996) ha affermato che nessun parametro possa essere utilizzato da solo, ma che si dovrebbero identificare altri parametri correlati da utilizzare insieme come “controllo interno”.

Bloem et al. (2006) hanno invece proposto un insieme di indicatori da utilizzare secondo un livello gerarchico prestabilito e funzionale alla diversa problematica da affrontare. In termini di qualità del suolo è fondamentale preservare sia la diversità genetica che quella funzionale del suolo, secondo il principio che per definire la fertilità biologica di un suolo occorre conoscere: il numero di individui presenti, la loro attività, la loro diversità genetica e funzionale, le relazioni che possono instaurare con le colture (tab. 1). In particolare disponiamo di metodi in grado di definire:

- *Biomassa e titolo microbico nel suolo.* Questi includono tutti i metodi capaci di definire il peso ed il numero dei microrganismi del suolo, sia come carica totale che come gruppi fisiologici o nutrizionali, come ad esempio la conta su piastra, la microscopia colorimetrica, metodi biochimici in grado di fornire informazioni sulle popolazioni attive.
- *Attività microbica nel suolo.* Questo gruppo abbraccia tutti i metodi biochimici dando informazioni sui processi metabolici della comunità microbica, sia nella sua totalità che in gruppi funzionali.
- *Diversità microbica del suolo e struttura della comunità.* Questo gruppo include tra i più aggiornati metodi di acquisizione di dati ecologici e molecolari.
- *Interazioni pianta-microrganismi.* La rizosfera viene riconosciuta come zona di influenza di tutte le radici sui biota e sul suolo circostante. Molti degli studi danno una descrizione ecofisiologica della regione, con particolare enfasi per quanto riguarda l'influenza dei nutrienti sulle piante, comprendente anche quella mediata da simbionti e da microrganismi liberi, e per gli efflussi della fotosintesi come i prodotti della deposizione rizosferica per fornire i substrati per i biota associati. Questi studi qualitativi e quantitativi sono stati molto rivalutati allo scopo di fare stime energetiche per le piante e di produttività dei raccolti.

Da quanto sino ad ora discusso appare evidente che, sia pure con una certa difficoltà e con un certo margine di approssimazione, è possibile definire la diversità microbica di un suolo e

Tabella 1. Gruppi di metodi selezionati come indicatori microbici per la qualità del suolo.

Table 1. Selected microbial methods as indicators assessing soil quality.

I	II	III	IV
Biomassa e carica microbica del suolo	Attività microbica del suolo	Diversità microbica nel suolo e struttura della comunità	Relazioni pianta-microrganismi
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tecniche di fumigazione con cloroformio</li> <li>– Respirazione indotta da substrato</li> <li>– ATP</li> <li>– Conte dirette</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Respirazione del suolo</li> <li>– Mineralizzazione dell'azoto</li> <li>– Nitrificazione</li> <li>– Incorporazione di timidina e leucina</li> <li>– Test ecotossicologici</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Metodi molecolari</li> <li>– Profili di utilizzo di substrati (CLPP)</li> <li>– Phospholipid Fatty Acids (PFLA)</li> <li>– Profilo di attività enzimatica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Micorrize</li> <li>– Fissazione N<sub>2</sub></li> <li>– Capacità repressive</li> <li>– Microrganismi associativi</li> </ul>

di darne una caratterizzazione temporale in termini di fluttuazioni naturali o patologiche.

La caratterizzazione della fertilità biologica e della diversità microbica di un suolo va costruita per livelli di approssimazione:

- Il *primo livello* di conoscenza dovrà basarsi sulla caratterizzazione di base del suolo in termini fisici, chimici e biologici. In quest'ultimo caso sarà molto utile definire in primo luogo la fertilità biologica del suolo come parametro routinario, veloce e sintetico. Dovranno essere determinati parametri quali la tessitura, il pH, la capacità idrica di campo, il contenuto in N totale, C organico totale e sostanza organica. Sarà, inoltre, indispensabile determinare la respirazione microbica e il suo contenuto in biomassa totale.
- Sarà poi indispensabile procedere, per il *secondo livello* di approfondimento, alla caratterizzazione della diversità genetica dei microrganismi del suolo, ma anche in questo caso sarà fondamentale disporre di dati complessivi ottenuti secondo procedure standardizzate da correlare con le caratteristiche ambientali, gestionali ed evolutive del sito in esame. Si procede con l'estrazione degli acidi nucleici (DNA, RNA) dal suolo e si procede con le opportune tecniche molecolari come, ad esempio, la DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis).
- Il *terzo livello* è da effettuarsi su base comparativa. È questa la fase più delicata e di maggiore difficoltà interpretativa sarà definire la diversità microbica specifica, che comporterà l'isolamento di singoli organismi e l'attribuzione ad essi della corrispondente funzione.
- Infine nel *quarto livello* di intervento si passerà dalla definizione di *diversità attuale*, che corrisponde all'osservazione analitica del momento, alla definizione di *diversità assoluta*, intendendo con questa, la dotazione in termini sia di ricchezza che di abbondanza di specie con le relative funzioni di un determinato sito costante nel tempo. Sarà questa la biodiversità di quel suolo. A tale definizione si giungerà solo nel tempo dopo un lungo periodo di monitoraggio spazio-temporale conseguito con l'applicazione delle procedure sopraelencate.

Le analisi di IV livello prevedono la possibilità di intraprendere o meno un percorso di

monitoraggio spazio-temporale della biodiversità del suolo sulla base dell'analisi comparativa dei risultati ottenuti nei livelli precedenti. È bene specificare che questo livello di approfondimento può essere correlato indipendentemente sia alle analisi di I, che di II che di III livello, in funzione della *fitness for use*, ovvero il livello di approfondimento sulla conoscenza della biodiversità del suolo: fertilità biologica e abbondanza del biota (I livello), richness e evenness (II livello), identificazione degli individui (III livello).

Appropriati metodi di studio biologici del suolo combinati con proprietà fisico-chimiche potrebbero servire come indicatori dei cambiamenti della qualità del suolo e fornire delle prime indicazioni se vi sia stata una alterazione o modificazione del "soil biota".

## Conclusioni

La definizione di sostenibilità più conosciuta è quella della Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo (la cosiddetta Commissione Brundtland) che consiste in "uno sviluppo che soddisfa le esigenze del presente senza compromettere la possibilità per le generazioni future di soddisfare i propri bisogni" (WCED, 1987).

Nel 1992 l'OCSE stabilisce tre requisiti irrinunciabili per il raggiungimento di uno sviluppo sostenibile:

- sostenibilità delle risorse;
- sostenibilità della salute umana;
- sostenibilità delle risorse economiche.

Relativamente alla sostenibilità delle risorse è importante sottolineare che alcuni elementi che concorrono alla dotazione di capitale naturale non possono essere sostituiti (se non su base limitata) da capitale costruito dall'uomo. Alcune delle funzioni e dei servizi degli ecosistemi, sostengono Turner et al. (2003), sono essenziali per la sopravvivenza umana, in quanto servizi di sostegno alla vita (ad esempio i cicli biogeochimici) e non possono essere rimpiazzati da altri. Altri beni ecologici sono altrettanto essenziali per il benessere umano, quali il paesaggio, lo spazio nonché una certa pace e tranquillità. Questi beni costituiscono un bene capitale critico e non essendo facilmente sostituibili devono essere tutelati secondo la regola della sostenibilità forte.

L'uso di indicatori di qualità del suolo può contribuire a focalizzare le problematiche relative alla sostenibilità della risorsa suolo ed in modo particolare l'uso combinato di indicatori di tipo microbiologico, biochimico e molecolare, associati all'uso di indicatori chimici caratterizzanti la sostanza organica può contribuire, soprattutto nei paesi del bacino del Mediterraneo, a monitorare possibili fenomeni di innesco di processi degradativi (che preludono a fenomeni di desertificazione) e rendendo possibile una quantificazione relativa alle funzioni del suolo.

La nuova strategia tematica sulla conservazione del suolo focalizza l'attenzione sulle seguenti minacce: erosione, inquinamento, perdita di sostanza organica e biodiversità. È importante, dunque, che gli sforzi maggiori del mondo della ricerca si concentrino sullo sviluppo di strumenti idonei all'implementazione della normativa, al fine di mantenere e migliorare la risorsa suolo al pari dell'aria e dell'acqua per la sostenibilità delle produzioni destinate all'alimentazione umana.

## Bibliografia

- Atlas R.M., Bartha R. 1998. Microbial ecology. Fundamentals and applications, 4<sup>th</sup> ed. Addison-Wesley, Reading.
- Benedetti A. 1983. Fertilità biologica del terreno e concimi ad azoto lento. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante* (Roma), vol. XII, Anno 1983-1984, 3:1-14.
- Benedetti A., Dell'Abate M.T., Mocali S., Pompili L. 2006. Indicatori microbiologici e biochimici della qualità del suolo. In: *ATLAS – Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Osservatorio Nazionale Podologico. Edizioni Delta Grafica, Città di Castello (Perugia).
- Bloem J., Benedetti A., Hopkins D. (eds.) 2006. Microbial methods assessing soil quality. CABI Publishing.
- Bloem J., Schouten T., Didden W., Akkerius G.J., Keidel H., Rutgers M., Breure T. 2003. Measuring soil biodiversity: experiences, impediments and research needs. In: *Agricultural Impacts on soil erosion and soil biodiversity: developing indicators for policy analysis*. Proceedings from OECD Expert Meeting, Rome, Italy, March 2003, 109. Ed. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio,
- Bolton Jr. H., Elliott L.F., Papendick R.I., Bezdicek D.F. 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effects of fertilization and cropping practices. *Soil Biol. Biochem.*, 17:297-302.
- Brookes P.C. 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soil*, 19:269-279.
- Chiarini L., Bevivino A., Dalmastrì C., Nacamulli C., Tabacchioni S. 1998. Influence of plant development, cultivar and soil type on microbial colonization of maize roots. *Appl. Soil Ecol.*, 8:11-18.
- Domsch K.H., Jagnow G., Anderson T.H. 1983. An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil micro-organism. *Residue Reviews*, 86:65-105.
- Domsch K.H. 1980. Interpretation and evaluation of data. In: *Recommended tests for assessing the side-effects of pesticides on the soil microflora*. Weed Research Organization Technical Report, N. 59, 6-8.
- Doran J.W., Parkin T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart B.A. (eds.): *Defining soil quality for a Sustainable Environment*, 35, 3-21. American society of agronomy special publication, Madison, WI.
- Fierer N., Jackson R.B. 2006. The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *PNAS*, 103, 3:626-631.
- Garbeva P., van Veen J.A., van Elsas J.D. 2004. Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 42:243-70.
- Girvan M.S., Bullimore J., Pretty J.N., Osborn A.M., Ball A.S. 2003. Soil Type Is the Primary Determinant of the Composition of the Total and Active Bacterial Communities in Arable Soils. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69, 3:1800-1809.
- Gomez E., Ferreras L., Toresani S. 2006. Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. *Bioresour. Technol.*, 97, 13:1484-1489.
- Jones R.J.A., Hiederer R., Rusco E., Loveland P.J., Montanarella L. 2004. The map of organic carbon in topsoils in Europe: version 1.2. Special Publication Ispra 2004, n. 72, SPL04.72, European Commission – Joint Research Centre.
- Latour X., Corberand T., Laguerre G., Allard F., Lemañeau P. 1996. The composition of fluorescent pseudomonad populations associated with roots is influenced by plant and soil type. *Appl. Environ. Microbiol.*, 62:2449-2456.
- Lynch J.M., Benedetti A., Insam H., Nuti M., Smalla K., Torsvik V., Nannipieri P. 2004. Microbial diversity in soil: ecological theories, the contribution of molecular techniques and the impact of transgenic plants and transgenic microorganisms. *Biol. Fertil. Soils*, 40:363-385.
- McCaig A.E., Grayston S.J., Prosser J.I., Glover L.A. 2001. Impact of cultivation on characterisation of spe-

- cies composition of soil bacterial communities. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 35:37-48.
- Mocali S., Paffetti D., Emiliani G., Benedetti A., Fani R. 2008. Diversity of heterotrophic aerobic cultivable microbial communities of soils treated with fumigants and dynamics of metabolic, microbial, and mineralization quotients. *Biol. Fertil. Soils*, 44:557-569.
- Montanarella L., Jones R.S.A. 1999. The European Soil Bureau. In: Bullock P., Jones R.J.A., Montanarella L. (eds.): *Soil Resources of Europe*. European Soil Bureau Research Report N. 6, EUR 18991 EN, 3-14. Office for official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G. 2003. Microbial diversity and soil functions. *Eur. J. Soil. Sci.*, 54:655-670.
- Ramsay A.J., Standard R.E., Churchman O.J. 1986. Effect of conversion from ryegrass pasture to wheat cropping on aggregation and bacterial population in a silt loam soil in New Zealand. *Australian J. Soil. Res.*, 24:253-264.
- Sequi P. 1992. Sostanza organica del terreno. Proprietà agronomiche, funzioni ambientali, quando serve. RE-DA Editore, Roma.
- Sequi P. 2005. *Fondamenti di Chimica del Suolo*. Patron Editore, Bologna.
- Sessitsch A., Weilharter A., Gerzabek M.H., Kirchmann H., Kandeler E. 2001. Microbial population structures in soil particle size fractions of a long-term fertilizer field experiment. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67:4215-4224.
- Smith O.H., Petersen G.W., Needelman B.A. 2000. Environmental indicators of agroecosystems. *Advances in Agronomy*, 69:75-97.
- Sparling G.P., Wheeler D., Vesely E.-T., Schipper L.A. 2006. What is soil organic worth? Technical Reports: Ecological Risk Assessment. *J. Environ. Qual.*, 35:548-557.
- Tilman D. 1982. *Resource competition and community structure*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Torsvik V., Goksøyr J., Daae F.L. 1990. High diversity in DNA of soil bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56:782-787.
- Turner B.L., Kasperonb R.E., Matson P.A., McCarthy J.J., Corell R.W., Christensen L., Eckley N., Kasperon J.X., Luers A., Martello M.L., Polsky C., Pulsipher A., Schiller A. 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, 100, 14:8074-8079.
- Wardle D.A., Giller K.E. 1996. The quest for a contemporary ecological dimension to soil biology. *Soil. Biol. Biochem.*, 28:1549-1554.
- Zdruli P., Jones R.J.A., Montanarella L. 2004. Organic Matter in the soils of Southern Europe. European Soil Bureau Research Report, EUR 21083 EN, 16. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.



# Speciazione e biodisponibilità degli elementi nel suolo: effetto sulla qualità della produzione agraria e sull'ambiente

Elisabetta Barberis\*, Luisella Celi, Maria Martin

Dipartimento di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agro-Forestali, Università di Torino  
Via Leonardo da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO)

Società Italiana di Chimica Agraria

---

## Riassunto

La produzione agraria, da cui deriva la qualità degli alimenti, dipende dalle caratteristiche biologiche dei vegetali e dalle proprietà dell'ambiente, in cui gioca un ruolo di fondamentale importanza il comparto suolo. Dal suolo i vegetali traggono acqua ed elementi nutritivi indispensabili al loro metabolismo, ma possono anche assorbire elementi tossici. I potenziali benefici o rischi legati alla presenza di un elemento nel suolo sono fortemente dipendenti dalla sua speciazione, cioè dalla sua distribuzione tra diverse forme o specie, che ne governa biodisponibilità, tossicità, mobilità nell'ambiente e comportamento biogeochimico. Un elemento infatti può essere presente nel suolo in diversi stati di ossidazione ed in numerose forme organiche o inorganiche e può andare incontro a svariati processi che possono avvenire in soluzione, in fase solida o all'interfaccia solido-soluzione. La speciazione e la biodisponibilità degli elementi sono fortemente influenzate non solo dalle proprietà del suolo e dell'ambiente ma anche da modificazioni ambientali naturali o indotte dall'attività antropica. A titolo di esempio vengono riportati gli aspetti legati alla speciazione, biodisponibilità e destino ambientale di due elementi che, pur essendo molto simili dal punto di vista chimico, sono rispettivamente un macronutritivo essenziale per la crescita delle piante, il fosforo, ed un elemento fortemente tossico, l'arsenico.

*Parole chiave:* speciazione, biodisponibilità, reattività, produttività, qualità degli alimenti, fosforo, arsenico.

## Summary

### SPECIATION AND BIOAVAILABILITY OF SOIL NUTRIENTS: EFFECT ON CROP PRODUCTION AND ENVIRONMENT

The agricultural production, determining the quality of the foodstuffs, depends on the biological characteristics of the crops and on the environmental properties, where soil environment plays a central role. Crops absorb water and nutritive elements from soil, but they can intake toxic elements as well. The potential benefits, or dangers, due to the presence of a certain element in soil, depend on its chemical speciation regulating its bioavailability, toxicity, environmental mobility, and biogeochemistry. Elements may exist in soil in different redox species and organic or inorganic forms. They may thus undergo different chemical processes occurring in solution, in the solid phase, or at the solid-water interface. The chemical speciation and bioavailability of the elements are affected by soil and environmental properties, which may undergo natural or anthropogenic modifications. As an example, we reported here some aspects linked to the chemical speciation, bioavailability and environmental fate of two chemically similar elements. The former, phosphorus, is a macronutrient element, essential for plant growth, while the latter, arsenic, is strongly toxic for most living organisms.

*Key-words:* speciation, bioavailability, reactivity, productivity, food quality, phosphorus, arsenic.

\* Autore corrispondente: tel.: +39 011 6708520; fax: +39 011 6708692. Indirizzo e-mail: elisabetta.barberis@unito.it

## 1. Introduzione

La salute e il benessere dell'uomo dipendono in gran parte dalla disponibilità di alimenti in quantità sufficiente e di buona qualità, nonché dalla possibilità di vivere in un ambiente salubre; a tutt'oggi infatti le malattie legate al tipo di alimentazione, compresa la denutrizione, sono la più importante causa di morte.

La qualità degli alimenti è un concetto molto complesso alla cui definizione concorrono numerosi fattori: l'aspetto nutrizionale, cioè la concentrazione delle sostanze nutrizionali o salutistiche, e l'aspetto igienico-sanitario, in particolare l'assenza di sostanze tossiche, sono accompagnati da aspetti organolettici ed estetici.

La produzione agraria, primo anello della filiera alimentare, dipende dalle caratteristiche biologiche dei vegetali e dalle proprietà ambientali, tra le quali le caratteristiche del suolo ed il clima svolgono un ruolo centrale. Dal suolo i vegetali traggono l'acqua e tutti gli elementi indispensabili al loro metabolismo ad eccezione del carbonio, ma solo determinate forme chimiche di ciascun elemento possono essere assorbite ed utilizzate.

Il suolo è un sistema eterogeneo, composto da fasi solide e fluide, con una piccola ma essenziale proporzione dello spazio disponibile occupato da microrganismi, i quali sono coinvolti in gran parte delle reazioni che avvengono nel suolo. La superficie delle fasi solide colloidali è in continua interazione con la soluzione del suolo: può subire processi di solubilizzazione e di neoformazione e può adsorbire, a seconda della carica negativa o positiva, cationi, anioni e biomolecole, influenzando la speciazione degli elementi presenti.

La speciazione degli elementi nel suolo è tema di grande interesse ed attualità poiché biodisponibilità, tossicità, mobilità nell'ambiente, comportamento biogeochimico ed, in generale, i potenziali benefici o rischi legati alla presenza di un elemento nel suolo sono fortemente dipendenti da essa. La speciazione è la distribuzione di un elemento tra diverse forme o specie. Con "speciazione fisica" si intende la distribuzione dell'elemento tra forme solubili, colloidali o particolate, mentre la "speciazione chimica" indica la ripartizione tra le varie specie chimiche, in soluzione o in fase solida, presenti nel suolo. Un elemento infatti può essere presente

nel suolo in diversi stati di ossidazione ed in numerose forme organiche o inorganiche la cui biodisponibilità e tossicità è spesso molto differente. Il fatto, ad esempio, che l'alluminio, che è per abbondanza il terzo elemento del suolo, sia fitotossico solo quando il pH è acido, attesta l'importanza della specie chimica nel regolare la solubilità e quindi la biodisponibilità degli elementi nel suolo.

La speciazione degli elementi nutritivi o inquinanti è regolata da numerosi processi che coinvolgono le fasi del suolo, il biota in esso presente e gli input/output dal sistema suolo. Tali processi prevedono reazioni di idrolisi, complessazione ed ossidoriduzione, che possono avvenire in soluzione, reazioni di adsorbimento e scambio, che avvengono all'interfaccia solido-soluzione, reazioni di solubilizzazione o riprecipitazione che coinvolgono la trasformazione delle fasi solide e reazioni di mineralizzazione/organizzazione della sostanza organica del suolo. Modificazioni ambientali naturali o indotte dall'attività antropica possono fortemente modificare queste reazioni e quindi la speciazione e biodisponibilità degli elementi nel suolo. I principali fattori ambientali che regolano la speciazione sono infatti il pH, il potenziale redox (Eh), la disponibilità di specie reattive in soluzione, quali, ad esempio, i ligandi organici o la quantità e le caratteristiche delle superfici adsorbenti (fig. 1). Numerose pratiche agronomiche volte ad influenzare questi fattori, come lavorazioni, sistemazioni idrauliche, calcitazioni, gessature e fertilizzazioni minerali ed organiche, possono avere effetti diretti o indiretti sulla speciazione degli elementi. In figura 2 sono riportate le principali proprietà fisiche, mineralogiche e chimiche del suolo che influenzano la speciazione di nutritivi e contaminanti nel suolo, evidenziando i possibili effetti della gestione agronomica, la scala temporale nella quale avvengono le modificazioni ed i processi chimico-fisici coinvolti.

I processi che controllano la speciazione chimica e fisica degli elementi, nonché i fattori ambientali che li regolano, sono sostanzialmente analoghi per tutti gli elementi presenti nel suolo, ma la loro relativa importanza nonché l'effetto sulla produzione primaria, sulla qualità degli alimenti e dell'ambiente sono specifici per ciascun elemento. A titolo di esempio sono qui discussi gli aspetti legati a speciazione, biodi-



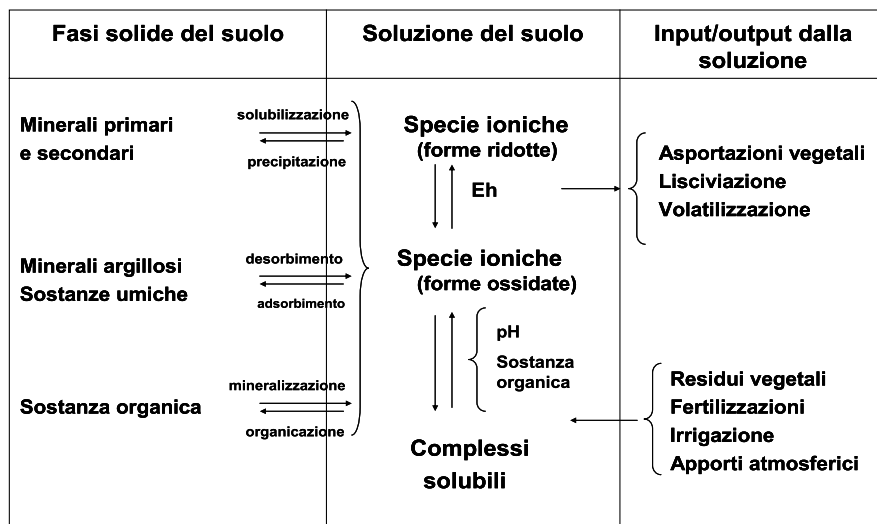


Figura 1. Processi che regolano la composizione della soluzione del suolo.

Figure 1. Processes regulating the composition of soil solution.

Proprietà del suolo	Influenza della gestione agronomica	Scala temporale	Processo influenzato
Disponibilità di ossigeno ed acqua	alta	breve	<b>Processi ossido-riduttivi</b> Mineralizzazione/organicazione della sostanza organica
Mineralogia della frazione argillosa	bassa	lunga	<b>Adsorbimento/desorbimento</b> Solubilizzazione/precipitazione
Caratteristiche delle sostanze umiche	Media	media	<b>Mineralizzazione/organicazione</b> Adsorbimento/desorbimento
Sostanze solubili organiche ed inorganiche	alta	media	<b>Complessazione</b> Mineralizzazione/organicazione Solubilizzazione/precipitazione
pH	media	Media	Solubilizzazione/precipitazione Adsorbimento/desorbimento Mineralizzazione/organicazione

Figura 2. Proprietà del suolo che influenzano la speciazione degli elementi: effetti della gestione agronomica.

Figure 2. Soil properties affecting element speciation: effects of the agronomic management.

sponibilità e destino ambientale di due elementi che, pur essendo molto simili dal punto di vista chimico, sono rispettivamente un macronutritivo essenziale per la crescita delle piante, il fosforo, ed un elemento fortemente tossico, l'arsenico.

## 2. Speciazione, biodisponibilità e destino ambientale del fosforo

Il contenuto totale di fosforo nel suolo è relativamente basso, normalmente compreso tra 0,2 e 3 g kg<sup>-1</sup>. È presente quasi esclusivamente allo stato di ossidazione +5 in forma inorganica od

organica (tab. 1). Nelle forme inorganiche si trova come acido ortofosforico, fosfati, o polifosfati. In tali forme può essere presente nella soluzione del suolo, nei minerali primari e secondari o adsorbito sulle superfici degli ossidi di ferro e alluminio nonché dei minerali argillosi. In forma organica si trova in quantità variabili dal 2 all'80% del totale e deriva da residui vegetali o animali. Fino al 90% del fosforo organico è in forma di monoesteri, in prevalenza inositol-fosfati, tra cui predominano il *mio*-inositolaesafosfato (IHP), comunemente noti come fitine. Diesteri del P sono presenti nel suolo in quantità esigue, a differenza di quanto si ri-

Tabella 1. Principali forme di fosforo e di arsenico presenti nel suolo e nelle acque

Table 1. Main forms of phosphorus and arsenic in soil and water environments

	Fosforo	Arsenico
Ioni inorganici in soluzione <sup>1,2</sup>	$H_2PO_4^-$ , $HPO_4^{2-}$ , $PO_4^{3-}$ , $H_2PO_4^{2-}$ , $P_2O_7^{4-}$ , $H_3P_2O_7^-$ , $H_2P_2O_7^{2-}$ , $HP_2O_7^{3-}$ ,	$H_3AsO_4^0$ , $H_2AsO_4^-$ , $HAsO_4^{2-}$ , $AsO_4^{3-}$ , $AsO_2^-$ , $HAsO_2$ , $AsO_3^{3-}$ , $HAsO_3^{2-}$ , $H_2AsO_3^-$ , $H_3AsO_3^0$
Complessi inorganici solubili <sup>1,3</sup>	$CaP_2O_7^{2-}$ , $CaHP_2O_7^-$ , $CaOHP_2O_7^{3-}$ , $FeH_2PO_4^+$ , $FeH_3PO_4^{2+}$ , $FeHPO_4^0$ , $FeHPO_4^+$ , $CaH_2PO_4^+$ , $CaHPO_4^0$ , $CaPO_4^-$ , $MgHPO_4^0$ ,	$H_2As_3S_6^-$ , $H_2AsS_2^-$ , $HAsS_2^{2-}$ , $As(CO_3)_2^-$ , $As(CO_3)(OH)_2^-$ , $AsCO_3^+$
Composti inorganici <sup>2,4</sup>	$3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$ , $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(OH)_2$ , $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaCO_3$ , $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaO$ , $AlPO_4 \cdot H_2O$ , $Al_3(OH)_3(PO_4)_2 \cdot 5H_2O$ , $FePO_4 \cdot 2H_2O$ , $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ , $Ca(H_2PO_4)_2$ , $CaHPO_4$ , $Ca_3(PO_4)_2$	$As_2S_3$ , $As_2S_2$ , $AsS$ , $FeAsS$ , $As_2O_3$ , $As_2O_5$ , $Ba_3(AsO_4)_2$ , $BaHAsO_4$ , $Ca_3(AsO_4)_2$ , $FeAsO_4$ , $Fe_3(AsO_4)_2$ , $AlAsO_4$ , $Mn_3(AsO_4)_2$ , $Cd_3(AsO_4)_2$ , $Ni_3(AsO_4)_2$ , $Pb_3(AsO_4)_2$ , $Zn_3(AsO_4)_2$
Composti organici <sup>3,5</sup>	Inositolfosfati, acidi nucleici, fosfolipidi, acidi teicoici	$(CH_3)AsO(OH)_2$ , $(CH_3)_2AsO(OH)$ , $(CH_3)_3AsO$ , $(CH_3)As(OH)_2$ , $(CH_3)_2As(OH)$

<sup>1</sup> Lindsay, 1979. <sup>2</sup> Sadiq, 1997. <sup>3</sup> Frankenberger, 2002. <sup>4</sup> Barberis e Fusi, 2003. <sup>5</sup> Magid et al., 1996.

scontra nei vegetali e nei microrganismi, con solo il 2% di P da acidi nucleici e il 5% da fosfolipidi. Gli inositol-fosfati formano complessi stabili con numerosi cationi e sono fortemente adsorbiti dagli ossidi di ferro e di alluminio e dai fillosilicati (Celi e Barberis, 2005; 2007): a questo è probabilmente dovuta la loro elevata stabilità nei suoli.

Le trasformazioni fra le diverse specie contenenti P sono regolate da fattori abiotici e da processi biologici (fig. 3). I fattori abiotici sono

rappresentati da reazioni di precipitazione-dissoluzione e di adsorbimento-desorbimento. L'adsorbimento prevale a basse concentrazioni della soluzione del suolo, < 10 mg P L<sup>-1</sup>, mentre la precipitazione diventa importante a concentrazioni > 20 mg P L<sup>-1</sup> (Matar et al., 1992). La precipitazione provoca la formazione di composti Ca-P, Al-P o Fe-P a seconda della composizione della soluzione del suolo e del pH. La dissoluzione dei fosfati precipitati o dei minerali primari è fortemente pH-dipendente: la solubi-

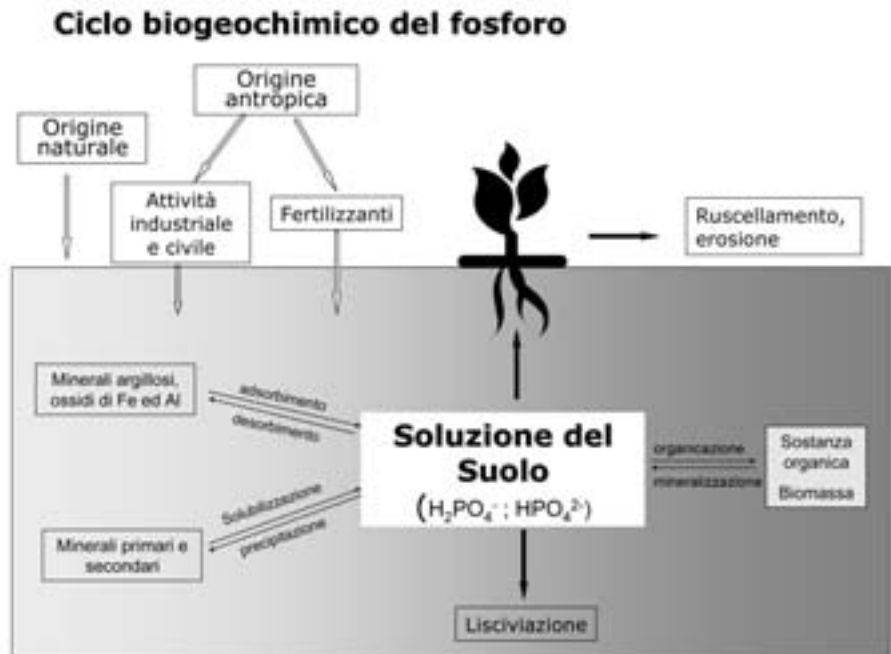


Figura 3. Ciclo biogeochimico del fosforo.

Figure 3. Biogeochemical phosphorus cycling.

lità è in genere massima in condizioni debolmente acide, pH 6,0-6,5.

Le piante assorbono il P presente nella soluzione del suolo sotto forma di anione monovalente,  $H_2PO_4^-$ , o bivalente,  $HPO_4^{2-}$ , e lo utilizzano per la sintesi di trasportatori di energia e di altri importanti composti biochimici. La soluzione del suolo ha una concentrazione compresa tra 0,01 mg L<sup>-1</sup>, in suoli poco fertili, e 1 mg L<sup>-1</sup> in suoli ben fertilizzati: ciò significa che è presente in soluzione una quantità di P inferiore ad 1 kg ha<sup>-1</sup> e di conseguenza, durante la stagione vegetativa, la soluzione deve essere rifornita dalla fase solida. A queste concentrazioni è l'adsorbimento che regola la disponibilità del P per i vegetali. Tale processo avviene tramite un meccanismo di scambio anionico sulle superfici ossidrilate. I principali siti di adsorbimento, sia per il fosfato inorganico sia per l'IHP, sono gli ossidi di ferro e di alluminio, i minerali argillosi nonché la sostanza organica e ciascuna fase solida mostra diversa capacità adsorbente nonché diversa affinità di legame (tab. 2). Inoltre, nel suolo, le fasi solide sono raramente presenti come particelle discrete ma sono associate a formare aggregati di diverse dimensioni e stabilità: la formazione di tali aggregati influenza anche fortemente la capacità adsorbente delle singole fasi nei confronti delle molecole contenenti P. Ad esempio, è sufficiente la presenza di 1% di ferridrite per aumentare da 4 a 10  $\mu\text{mol g}^{-1}$  la capacità adsorbente della caolinite (Celi et al., 1999, 2003). Il P adsorbito è solo parzialmente e lentamente biodi-

sponibile ed in grado di riequilibrare la concentrazione della soluzione in risposta agli asporti dei vegetali. Tuttavia nella rizosfera le continue asportazioni del vegetale abbassano continuamente la concentrazione della soluzione del suolo, per cui non si raggiunge mai una situazione di equilibrio e la reazione è spostata verso il desorbimento. Valori elevati di pH, alta saturazione fosfatica e presenza di ligandi che possono competere per gli stessi siti di adsorbimento (ad es. citrato, ossalato o carbonato, che sono anioni tipici della rizosfera) aumentano la desorbibilità e dunque la biodisponibilità del fosfato (He et al., 1991; 1994; Cabrera et al., 1991; Martin et al., 2002). Quando è l'IHP ad essere adsorbito sui minerali, la reversibilità della reazione è molto inferiore, specialmente a pH acidi. Nel caso dell'adsorbimento sulla goethite la reversibilità della reazione risulta molto bassa anche in presenza di citrato o di bicarbonato, probabilmente a causa della loro limitata capacità a distaccare i quattro gruppi fosfato coinvolti nella reazione di adsorbimento e a causa dell'elevata carica superficiale negativa del complesso goethite-IHP che impedisce l'avvicinamento dello ione competitore alla superficie (Martin et al., 2004). Le piante, come i microrganismi, non possono utilizzare il P contenuto nell'IHP a meno che la molecola non sia prima mineralizzata ed i legami estere (C-O-P) subiscano una reazione di idrolisi, generalmente mediata da fitasi che possono essere prodotte da alcuni microrganismi presenti nel suolo e, in modo meno efficiente, dalle piante (Richardson et al., 2005).

Tabella 2. Isotherme di adsorbimento ottenute a pH 4,5 e KCl 0,01 M.  $x_{\text{max}}$  = massimo di adsorbimento, K = costante di legame, calcolate utilizzando l'equazione di Langmuir. Per tutte le isoterme  $n \geq 8$  e  $R^2 \geq 0,978$ .

Table 2. Adsorption isotherms at pH 4.5 in KCl 0.01M.  $x_{\text{max}}$  = adsorption maximum, K = binding constant, calculated according Langmuir equation. For all isotherms  $n \geq 8$  and  $R^2 \geq 0.978$ .

	SSA (m <sup>2</sup> /g)	Fosfato		IHP	
		$x_{\text{max}}$ (mg P/g <sub>suolo</sub> )	K (l/g P)	$x_{\text{max}}$ (mgP/g <sub>suolo</sub> )	K (l/g P)
Goethite <sup>1</sup>	42	3,1	181	4,9	258
Ematite <sup>3</sup>	38	0,9	6774	2,5	9097
Ferridrite <sup>2</sup>	274	38,8	10323	107,9	7742
Gibbsite <sup>3</sup>	48	2,1	3710	4,8	11968
Illite <sup>1</sup>	78	2,4	242	5,6	3226
Kaolinite <sup>1</sup>	18	0,2	2516	0,9	20000
Fh-KGa <sup>2</sup>	52	4,8	2935	21,6	7097
Argilla A <sup>3</sup>	66	2,9	1139	8,4	4710
Argilla B <sup>3</sup>	68	2,7	2487	5,7	17645

<sup>1</sup> Celi et al., 1999. <sup>2</sup> Celi et al., 2003. <sup>3</sup> Giaveno et al., in press.

Elevate concentrazioni di P nei suoli non creano, generalmente, alcun problema di tossicità per i vegetali ma possono contribuire al deterioramento della qualità delle acque di superficie e di profondità. Il P è il principale responsabile dei fenomeni di eutrofizzazione dei corpi d'acqua con forte impatto negativo a causa della crescita abnorme di alghe e della diminuzione dell'ossigeno disciolto (Foy, 2005).

L'agricoltura è in parte responsabile dell'arricchimento di P nelle acque: l'uso di fertilizzanti fosfatici, che ha notevolmente incrementato le rese agricole, ha provocato un aumento nella dotazione fosfatica di molti suoli, in particolare in vaste aree europee e degli USA. In Italia, nel periodo 1961-2002, sono stati utilizzati 562 Gg  $P_2O_5$  anno<sup>-1</sup> di fertilizzanti minerali che corrispondono ad una addizione al suolo di 14,6 kg P ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>. Tale dose è di poco superiore alla quantità mediamente asportata dalle colture, 12,1 kg P ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (FAO, 2005), ma ad essa è necessario aggiungere la quantità di P trasferita al suolo tramite l'uso dei reflui zootecnici che, in Italia, è stata stimata pari a 13 kg P ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> (Torrent et al., 2007). Tale surplus è ovviamente non uniformemente distribuito sul territorio nazionale: Breeuwsma e Silva (1992) hanno evidenziato che il surplus annuale di P è pari a 10-60 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> nella Pianura Padana, mentre Sacco et al. (2003) riportano valori fino a 112 kg P ha<sup>-1</sup>; valori molto inferiori sono invece riportati per la Toscana e la Sardegna (Torrent et al., 2007). I suoli agricoli hanno così raggiunto una elevata dotazione in P: ad esempio il 48% dei suoli piemontesi, il 58% di quelli lombardi e il 32% degli emiliani hanno concentrazioni di P Olsen maggiori di 20 mg kg<sup>-1</sup> (Torrent et al., 2007), valore considerato ottimale per i fabbisogni delle colture.

Mentre la speciazione chimica gioca un ruolo dominante nel determinare la disponibilità del fosforo per le piante, è principalmente la speciazione fisica che ne determina il destino ambientale. Il fosforo infatti può essere trasferito dal suolo alle acque in forma particolata, colloidale o disciolta e, a causa dell'elevata affinità del P per la fase solida, è la prima che domina (Sharpley e Rekolainen, 1997). Le maggiori perdite avvengono tramite erosione o ruscellamento superficiale mentre sono generalmente limitate, almeno in Italia, le perdite per lisciviazione. Le situazioni più a rischio sono

quelle nelle quali sono erose particelle di argilla ricche in sostanza organica: è infatti su di esse che si verifica il maggior accumulo di P, sia in forma organica sia inorganica (Gburek et al., 2005). In questi casi il fenomeno erosivo può arrivare ad essere anche 100 volte più importante della lisciviazione nell'immettere P nell'ambiente. Dunque le strategie agronomiche ed ambientali che possono essere utilizzate per limitare il trasferimento di P dai suoli coltivati alle acque di superficie devono essere mirate non solo a limitare l'accumulo di P nell'orizzonte superficiale ma anche a prevenire il trasporto orizzontale di particolato solido o la possibilità per le particelle arricchite in P di raggiungere i corsi d'acqua.

### 3. Speciazione, biodisponibilità e destino ambientale dell'arsenico

L'arsenico è tossico per tutti gli organismi, anche se la sensibilità relativa alla quantità e alle specie di As è largamente variabile. La forma più tossica per l'uomo è l'arsina ( $AsH_3$ ); l'arsenito [As(III)] è più tossico dell'arseniato [As(V)], mentre i composti organici quali acido mono- e dimetil arsenico (tab. 1) sono molto meno tossici (Bissen e Frimmel, 2003).

Circa il 99% dell'As presente nel pianeta è immagazzinato nella litosfera, da cui può raggiungere altri comparti ambientali, in particolare suoli ed acque (fig. 4), sia per cause naturali, quali l'attività vulcanica e l'alterazione dei minerali, sia in seguito alle attività antropiche, come quelle legate all'estrazione mineraria, alla lavorazione dei metalli, alla combustione di carbone o allo stoccaggio e trattamento dei rifiuti. L'uso di fitofarmaci contenenti As in agricoltura ha avuto in passato una certa incidenza mentre attualmente l'utilizzo dell'arsenico è per lo più limitato al trattamento del legname (Frankenberger, 2002).

Qualunque sia la sua provenienza, nel sistema suolo-pianta-acqua l'As subisce numerose reazioni chimiche e biologiche, regolate dalle condizioni ambientali, che contribuiscono a determinarne le specie predominanti, la sua reattività e la sua biodisponibilità (fig. 4). Le specie di As più diffuse nei suoli e nelle acque contaminate (tab. 1) sono le specie inorganiche arseniato e arsenito, mentre le forme organiche so-

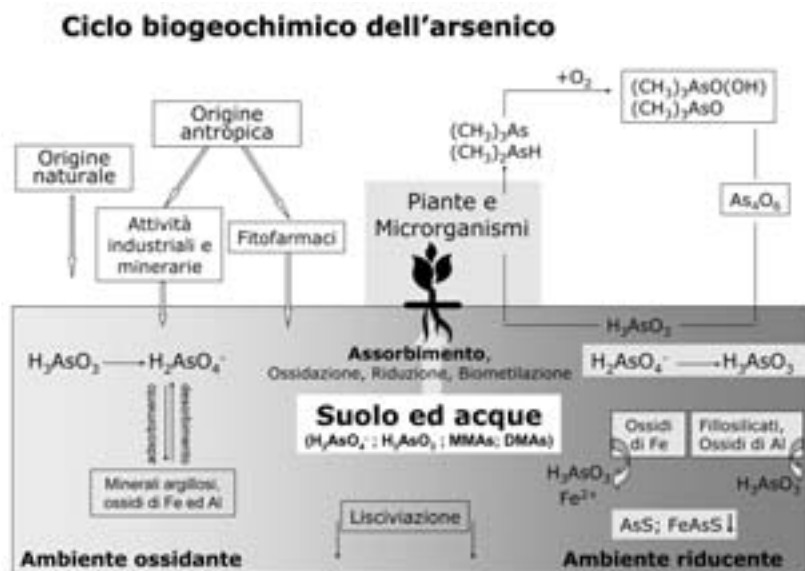


Figura 4. Ciclo biogeochimico dell'arsenico.

Figure 4. Biogeochemical arsenic cycling.

no presenti di solito in piccole quantità. La forma pentavalente è quella dominante nei suoli e nelle acque ricche di ossigeno, mentre quella trivalente tende a prevalere in condizioni di anaerobiosi (Sadiq, 1997). Tuttavia, la trasformazione per ossidoriduzione delle due forme è, negli ambienti naturali, un processo cineticamente lento: è quindi possibile trovare entrambe le forme anche in condizioni di pH ed Eh favorevoli ad una sola di esse (Masscheleyn et al., 1991).

Le principali reazioni che regolano la concentrazione di As in soluzione sono quelle di precipitazione/dissoluzione e di adsorbimento/desorbimento sulla fase solida. Solitamente queste ultime predominano negli ambienti naturali. L'arseniato, come il fosfato, è fortemente adsorbito dai colloidali del suolo, in particolare dagli ossidi di Fe e Al, come complesso inner-sphere, per lo più bidentato e binucleare. L'arsenito si adsorbe invece in modo rilevante quasi esclusivamente sugli ossidi di Fe, con una prevalenza di legami inner-sphere (Frankenberger, 2002). In ambienti molto riducenti e in suoli acidi l'As(III) può precipitare sotto forma di solfuri, mentre gli arseniati che si possono formare in ambienti ossidanti sembrano meno importanti nel regolare la solubilità dell'As (Sadiq, 1997).

I microrganismi sono mediatori di numerose reazioni dell'As, incluse riduzione, ossidazione, metilazione, sia per la sua detossificazione, sia per l'utilizzo metabolico dell'As come ac-

cettore o donatore di elettroni (Oremland e Stolz, 2003). Le piante superiori, incluse quelle di interesse agricolo, possono assorbire As e utilizzare meccanismi di difesa, diversi a seconda della specie in questione, per limitarne gli effetti fitotossici. Mentre alcune specie tendono ad evitarne l'assorbimento, altre ne limitano la traslocazione e compartimentano l'elemento, ad esempio nei vacuoli della radice. La traslocazione verso la parte epigea può fornire delle prospettive per la "phytoremediation" dei suoli contaminati da parte di bio-accumulatori (es. la felce *Pteris vittata*); quando invece la traslocazione coinvolge parti edibili di piante di interesse agrario (tabb. 3 e 4), il pericolo dell'ingresso nella catena alimentare diventa reale (Meharg e Rhaman, 2003).

Una delle più importanti vie di ingestione dell'arsenico, con conseguenti casi di intossicazioni croniche, è la presenza di questo contaminante nelle acque, in particolare nelle falde. Il WHO raccomanda concentrazioni di As nelle acque potabili  $< 10 \mu g l^{-1}$ , limite superato in vaste zone del mondo. Tra queste ricordiamo vastissime aree della Pampa argentina e del Cile, alcune zone degli Stati Uniti e del Canada, e dell'Australia. In Europa si hanno casi di contaminazione che riguardano aree relativamente contenute. Una delle zone più vaste interessa parte del bacino del Danubio (Ungheria e Romania), dove si è avuto il rilascio di As negli acquiferi in seguito all'istaurarsi di condizioni ri-

Tabella 3. Concentrazioni di arsenico nel suolo e nella granello di riso provenienti da risaie irrigate con acqua contaminata da arsenico.

Table 3. Arsenic concentration in soil and rice grain from rice fields irrigated with arsenic polluted water.

As nel suolo (mg/kg)	As nei tessuti ( $\mu\text{g/g}$ sostanza secca)	Riferimento
3.2-19	< 0.05-1.23	Ali et al. (2003b)
7-27	< 0.05-1.52	Ali et al. (2003b)
4.9-15.5	0.058-0.104	Meharg e Rahman (2003)
10.9-14.6	0.043-0.206	Meharg e Rahman (2003)
11.7	0.203	Meharg e Rahman (2003)
15.7-20.9	1.747-1.775	Meharg e Rahman (2003)
24.3-26.7	1.835	Meharg e Rahman (2003)

Tabella 4. Correlazione tra il contenuto di arsenico nelle parti edibili di alcune colture e la concentrazione di arsenico totale o disponibile in suoli contaminati della Cina. Adattato da Huang et al. (2006).

Table 4. Correlation between arsenic content in the edible parts of some crops and the total or available arsenic concentration in contaminated soils of China. Adapted from Huang et al. (2006).

Coltura	As nei tessuti edibili vs. As nel suolo ( $r^2$ )	
	As totale (mg/kg)	As disponibile (mg/kg) <sup>§</sup>
Cavolo cinese ( <i>B. campestris</i> L. ssp. Pekinensis (Lour.) Olsson)	0.29*	0.58**
Lattuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.)	ns	0.51*
Sedano ( <i>Apium graveolens</i> L.)	0.79**	0.68**
Cavolfiore ( <i>B. oleracea</i> L. var. botrytis L.)	0.72**	0.82**
Melanzana ( <i>Solanum melongena</i> L.)	ns	0.52*
Cipolla ( <i>Allium schoenoprasum</i> L.)	0.61**	0.90**
Aglione ( <i>Allium sativum</i> L.)	0.77**	ns
Taro ( <i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott)	0.72**	0.88**

<sup>§</sup> Estratto in 0.5 M  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ; \* significatività 5%; \*\* significatività 1%.

ducenti, mentre altre zone contaminate, in Francia, Germania, Italia e altri Paesi, sono spesso connesse ad attività minerarie o industriali. In Asia si hanno i casi più gravi per quanto ri-

guarda il numero delle persone coinvolte e quello più noto e più allarmante interessa il delta del sistema fluviale Gange-Brahmaputra-Meghna, dove il Paese più colpito è il Bangladesh (Smedley e Kinniburgh, 2002). L'As si è probabilmente liberato nelle acque di falda in queste zone in seguito alla dissoluzione riduttiva degli ossidi di Fe e Mn su cui è adsorbito ed alla trasformazione dell'As(V) in As(III) dovute all'ambiente fortemente riducente che si è instaurato in seguito all'azione di microrganismi anaerobi (Nickson et al., 2000). Si ritiene che in Bangladesh oltre 30 milioni di persone stiano correndo gravi rischi per la salute in seguito all'ingestione diretta di acqua contaminata; inoltre non è ancora del tutto chiarito il destino ambientale dell'As che raggiunge i suoli in seguito all'irrigazione [1360 tonnellate/anno nel solo Bangladesh (Ali et al., 2003a)]. Esso potrebbe essere adsorbito sulla fase solida del suolo e immobilizzato, coprecipitare con altri composti in soluzione, permanere in soluzione per tempi relativamente lunghi ed essere direttamente disponibile per le colture, o legarsi alla fase solida in modo facilmente reversibile (Martin et al., 2007).

A seconda del clima, delle caratteristiche chimiche, fisiche, mineralogiche del suolo, della composizione chimica dell'acqua di falda e della soluzione del suolo, delle condizioni di pH ed Eh, della flora microbica presente, delle pratiche agronomiche e della coltura in campo, gli scenari possono essere molto diversi. In suoli ben aerati, coltivati in condizioni non sommerse, specialmente se ricchi di minerali a carica variabile, l'arsenico, che si trova nella falda soprattutto come As(III) (BGS-DPHE, 2001), verrà ossidato ad arseniato e adsorbito sulla fase solida con un legame difficilmente reversibile, come accade per il fosfato. Le condizioni di sommersione tendono a favorire la persistenza dell'As(III) per tempi più lunghi, con la conseguenza di un adsorbimento più labile da parte dei colloidi del suolo (Martin et al., 2007). Inoltre la dissoluzione riduttiva degli ossidi di Fe, a cominciare dalle forme a scarso ordine cristallino, causa una diminuzione delle superfici in grado di trattenere l'As(III). In suoli a pH acido e sub-acido è favorito l'adsorbimento dell'As(V), mentre nel caso dell'As(III), l'adsorbimento è massimo a pH neutro o sub-alcalino, ed è di-

minuito in condizioni di acidità (Frankenberger, 2002). Questo dipende dalle diverse costanti di dissociazione di acido arsenico ( $pK_{a1} = 2.3$ ;  $pK_{a2} = 6.8$ ;  $pK_{a3} = 11.6$ ) e acido arsenioso ( $pK_{a1} = 9.2$ ;  $pK_{a2} = 12.7$ ). Altro importante parametro è la presenza nel suolo di anioni, quali lo ione fosfato, che possono competere per gli stessi siti reattivi, limitando l'adsorbimento di As e favorendone il desorbimento (Violante e Pigna, 2002).

A parità di concentrazione e forme di As presenti nel sistema suolo-soluzione, l'assorbimento da parte delle colture varia fortemente a seconda della specie vegetale (tab. 4). Particolare attenzione va prestata alle colture con maggiore capacità di assorbimento e traslocazione verso i tessuti edibili. Il riso, invece (tab. 3), tende a confinare l'As assorbito nella radice, traslocandolo al fusto e alle foglie, ma molto meno alla granella (Abedin et al., 2002). Tuttavia, quando le concentrazioni di As biodisponibile sono molto elevate, la traslocazione alla granella può diventare consistente anche per il riso che può arrivare a contenere concentrazioni di As allarmanti per il consumo umano, soprattutto in Paesi dove esso costituisce la base dell'alimentazione (Meharg e Rahman, 2003). Ad esempio, è stato rilevato che il riso coltivato in alcuni Distretti bengalesi può apportare quotidianamente alla dieta una quantità di As superiore alla dose giornaliera totale raccomandata (Williams et al., 2006).

## Conclusioni

Da questi esempi emerge come elementi chimicamente simili diano origine nel suolo e negli organismi viventi a specie molto diverse. Ne deriva che, benché i processi abiotici a cui questi elementi partecipano siano sostanzialmente simili, quelli biologici siano totalmente diversi: il fosforo, a causa dell'elevata energia di legame P-O-P, è la base degli scambi energetici negli organismi viventi mentre l'arseniato impedisce la formazione di ATP ed è dunque fortemente tossico. Diverso è anche il comportamento delle specie organiche che mostrano stabilità e dunque biodisponibilità fortemente differenziate.

La produzione in quantità sufficienti di derivate alimentari di buona qualità richiede dunque una approfondita conoscenza non solo dei

sistemi di produzione agricola ma anche dell'intero ecosistema agrario a scala sia macroscopica sia molecolare. Solo la conoscenza dei meccanismi che regolano ogni aspetto della filiera alimentare ne permetterà il miglioramento qualitativo e quantitativo garantendone la redditività e salvaguardando le risorse ambientali.

## Ringraziamenti

Si ringrazia il MIUR (PRIN 2002, 2004 e 2006) per i contributi alle presenti ricerche.

## Bibliografia

- Abedin M.J., Cresser M.S., Meharg A.A., Feldmann J., Cotter-Howells J. 2002. Arsenic accumulation and metabolism in rice (*Oryza sativa* L.). Environ. Sci. Technol., 36:962-968.
- Ali M.A., Badruzzaman A.B.M., Jalil M.A., Hossain M.D., Ahmed M.F., Al Masud A., Kamruzzaman Md., Rahman M.A. 2003a. Fate of arsenic extracted with groundwater. In: Ahmed M.F., Ashraf Ali M., Adeel Z. (eds.): Fate of arsenic in the environment, BUET-UNU International Symposium Proceedings, 5-6 February 2003, Dhaka, Bangladesh, 7-20.
- Ali M.A., Badruzzaman A.B.M., Jalil M.A., Hossain M.D., Ahmed M.F., Al Masud A., Kamruzzaman Md., Rahman M.A. 2003b. Arsenic in plant-soil environment in Bangladesh. In: Ahmed M.F., Ashraf Ali M., Adeel Z. (eds.): Fate of arsenic in the environment, BUET-UNU International Symposium Proceedings, 5-6 February 2003, Dhaka, Bangladesh, 85-112.
- Argenti G., Pardini A., Sabatini S., Talamucci P. 1996. Rapporti tra tipologie di allevamento ed eccessi di azoto e fosforo stimati attraverso il bilancio apparente in aziende del Mugello. Rivista di Agronomia, 30:547-554.
- Barberis E., Fusi P. 2003. Il fosfato nel sistema suolo-pianta. In: Scarponi L. (ed.): Biochimica agraria. Patron Editore, Bologna.
- BGS, DPHE, 2001. Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh. Kinniburgh D.G., Smedley P.L. (eds.), British Geological Survey, Keyworth.
- Bissen M., Frimmel F.H. 2003. Arsenic, a review. Part I: occurrence, toxicity, speciation, mobility. Acta hydrochim. hydrobiol., 31:9-18.
- Breeuwsma A., Silva S. 1992. Phosphorus fertilisation and environmental effects in The Netherlands and the Po region (Italy). Report 57. DLO The Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.
- Cabrera F., De Arambarri P., Madrid L., Toca C.G. 1991. Desorption of phosphate from iron oxides in relation to equilibrium pH and porosity. Geoderma, 26:203-216.
- Caredda S., Fara G., Re G., Porqueddu C., Sulas L. 1997.

- Stima dei surplus di macronutrienti attraverso il bilancio apparente in sistemi foraggero-zootecnici ovisardi. *Rivista di Agronomia*, 31:505-511.
- Celi L., Barberis E. 2005. Abiotic stabilization of organic phosphorus in the environment. In: *Organic phosphorus in the environment*. Turner B.L., Frossard E., Baldwin D.S. (eds.). Cab International, Wallingford, UK.
- Celi L., Barberis E. 2007. Abiotic reactions of Inositol phosphates in soil. In: Turner B.L., Richardson A.E., Mullaney E.J. (eds.): *Inositol Phosphates. Linking agriculture and the environment*, 207-220. CAB International, Wallingford, UK.
- Celi L., Lamacchia S., Ajmone Marsan F., Barberis E. 1999. Interaction of inositol hexaphosphate on clays: adsorption and charging phenomena. *Soil Sci.*, 164:574-585.
- Celi L., De Luca G., Barberis E. 2003. Effects of interaction of organic and inorganic P with ferrihydrite and kaolinite-ironoxide systems on iron release. *Soil Sci.*, 168:479-488.
- FAO 2005. Agricultural data FAOSTAT. Available online at <http://faostat.fao.org> (verified 3 October 2005).
- Frankenberger W.T. Jr. 2002. *Environmental chemistry of arsenic*. Marcel Dekker, New York.
- Gburek W.J. Barberis E., Haygarth P.M., Kronvang B., Stamm C. 2005. Phosphorus mobility in the landscape. In: *Phosphorus: agriculture and the environment*. American Society of Agronomy, 941-979.
- Giaveno C., Celi L., Cessa R.M.A., Prati M., Bonifacio E., Barberis E. 2008. Interaction of organic phosphorus with clays extracted from oxisols. *Soil Sci.*, 173:694-706.
- Harrison A.F. 1987. *Soil organic phosphorus: A review of world literature*. CAB International Wallingford, UK.
- He Z.L., Yuan K.N., Zhu X.Z., Zhang Q.Z. 1991. Assessing the fixation and availability of sorbed phosphate in soil using an isotopic exchange method. *J. Soil Sci.*, 42:661-669.
- He Z.L., Yang X., Yuan K.N., Zhu X.Z. 1994. Desorption and plant-availability of phosphate sorbed by some important minerals. *Plant Soil*, 162:89-97.
- Huang R.Q., Gao S.F., Wang W.L., Stauton S., Wang G. 2006. Soil arsenic availability and the transfer of soil arsenic to crops in suburban areas in Fujian Province, southeast China. *Sci. Tot. Environ.*, 368:531-541.
- Lindsay W.L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley & Sons, New York.
- Martin M., Celi L., Barberis E. 2002. Extractability and plant availability of phosphate from P-goethite complexes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 33:143-153.
- Martin M., Celi L., Barberis E. 2004. Desorption and plant availability of myo-inositol hexaphosphate adsorbed on goethite. *Soil Sci.*, 169:115-224.
- Martin M., Violante A., Barberis E. 2007. Fate of arsenite and arsenate in flooded and not flooded soils of South West Bangladesh irrigated with arsenic contaminated water. *J. Environ. Sci. Heal. A*, 42:1775-1783.
- Masscheleyn P.H., Delaune R.D., Patrick W.H. Jr. 1991. Effect of redox potential and pH on arsenic speciation and solubility in a contaminated soil. *Environ. Sci. Technol.*, 25:1414-1419.
- Matar A., Torrent J., Ryan J. 1992. Soil and fertilizer phosphorus and crop response in dryland Mediterranean zone. *Adv. Soil Sci.*, 18.
- Nickson R.T., McArthur J.M., Ravenscroft P., Burgess W.G., Ahmed K.M. 2000. Mechanism of arsenic release to groundwater, Bangladesh and West Bengal. *Applied Geochem.*, 15:403-413.
- Oremland R.S., Stolz J.F. 2003. The ecology of arsenic. *Science*, 300:939-944.
- Richardson A.E., George T.S., Hens M., Simpson R.J. 2005. Utilization of soil organic phosphorus by higher plants. In: Turner B.L., Frossard E., Baldwin D.S. (eds.): *Organic phosphorus in the environment*, 165-184. CAB International, Wallingford, UK.
- Sacco D., Bassanino M., Grignani C. 2003. Developing a regional agronomic information system for estimating nutrient balances at a larger scale. *Eur. J. Agron.*, 20:199-210.
- Sadiq M. 1997. Arsenic chemistry in soils: an overview of thermodynamic predictions and field observations. *Water Air Soil Pollut.*, 93:117-136.
- Sharpley A.N., Rekolainen S. 1997. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In: Tuney H. et al. (eds): *Phosphorus losses from soil to water*, 1-53. CAB International, Wallingford, UK.
- Smedley P.L., Kinniburgh D.G. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.*, 17:517-568.
- Torrent J., Barberis E., Gil-Sotres F. 2007. Agriculture as a source of phosphorus for eutrophication in southern Europe. *Soil Use Manage.*, 23 suppl., 1:25-35.
- Violante A., Pigna M. 2002. Competitive Sorption of Arsenate and Phosphate on Different Clay Minerals and Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:1788-1796.
- Williams P.N., Islam M.R.I., Adomako E.E., Raab A., Hossain S.A., Zhu Y.G., Feldmann J., Meharg A.A. 2006. Increase in rice grain arsenic for regions of Bangladesh irrigating paddies with elevated arsenic in groundwaters. *Environ. Sci. Technol.*, 40:4903-4908.



# Valutazione dell'impatto economico dei cambiamenti climatici sui sistemi agro-forestali

Vittorio Gallerani, Fabio Bartolini\*, Davide Viaggi

*Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie, Università di Bologna  
Viale Fanin 50, 40127 Bologna*

Centro Studi di Estimo ed Economia Territoriale

---

## Riassunto

Il cambiamento climatico sta influenzando notevolmente i sistemi agro-forestali. Le attuali previsioni stimano che sia la variazione delle condizioni climatiche medie, sia l'aumento di eventi estremi legati al cambiamento climatico avranno effetti ancora più marcati in futuro. Questo contributo intende illustrare l'articolazione dei problemi di valutazione economica legati al cambiamento climatico, mettendo in evidenza i risultati, le problematiche e le linee di ricerca future. Le ricerche su questo tema, pur potendo utilizzare teorie e metodi già sviluppati nelle discipline relative all'economia delle risorse, vedono tuttora numerosi problemi aperti, in particolare nel campo dello studio multidisciplinare delle relazioni uomo-ambiente, della valutazione delle politiche e della messa a punto di tempestivi supporti decisionali per il decisore pubblico.

*Parole chiave:* cambiamento climatico, politiche di adattamento, politiche di mitigazione, valutazione economica, sistemi agro-forestali.

## Summary

### EVALUATION OF ECONOMIC IMPACT OF CLIMATIC CHANGE ON AGRO-FORESTRY SYSTEMS

Climate change has a strong influence on agro-forestry systems. Present estimations envisage that changes in climate patterns and extreme events connected to climate change will have greater impacts in the future. This paper seeks to illustrate the articulation of the problems concerning the economic evaluation of climate change, with particular attention to open problems and future lines of research. Research on this topic, though using methods and approaches consolidated in the disciplines of resource economics and evaluation, still have several open problems, particularly in the field of multidisciplinary studies of the man-environmental relations, policy evaluation and development of decision support systems for decision makers.

*Key-words:* climate change, adaptation policy, mitigations policy, economic valuation, agro-forest systems.

## 1. Obiettivi

Il cambiamento climatico è una tema di crescente attualità ed è oggetto di forte dibattito non solamente scientifico. L'interesse scientifico per queste tematiche si è concentrato sull'analisi delle relazioni di causalità tra i fattori di

natura antropica e il riscaldamento globale, sull'identificazione di scenari e sulla misurazione degli impatti che le nuove condizioni climatiche potrebbero determinare sui sistemi fisici, biologici, umani, e sulle attività economiche. Tra le ricadute di tali fenomeni sui sistemi sociali, le conseguenze economiche hanno una notevole

\* Autore corrispondente: tel.: +39 051 2096116; fax: +39 051 2096116. Indirizzo e-mail: fabio.bartolini@unibo.it

importanza. Queste riguardano diverse sfere, quali la capacità di produrre ricchezza, la distribuzione dei redditi e il governo del cambiamento climatico attraverso opportune politiche.

Questo contributo intende illustrare l'articolazione dei problemi di valutazione economica legati al cambiamento climatico, mettendo in evidenza i problemi aperti e le linee di ricerca future.

Il lavoro è organizzato in cinque parti. Il paragrafo 2 descrive i termini del problema e le strategie di intervento. Il paragrafo 3 approfondisce il ruolo dell'analisi economica, il paragrafo 4 riassume i risultati e i criteri di lettura dell'analisi economica e il paragrafo 5 riporta un'analisi delle politiche esistenti. Infine, nel paragrafo 6, sono formulate alcune considerazioni conclusive.

## 2. Il problema e le strategie di intervento

In letteratura sono presenti numerosi studi che analizzano le tematiche relative al cambiamento climatico e le identificano come un problema "reale ed urgente" (Stern et al., 2006). A partire dagli inizi del ventesimo secolo sono stati registrati continui aumenti di temperatura. Questi sono mediamente quantificabili in circa 0,7

°C dagli anni cinquanta ad oggi ed hanno interessato in modo disomogeneo l'intero globo terrestre (Murphy et al., 2004; Brohan et al., 2006; Stern et al., 2006). Nella comunità scientifica è stato raggiunto un certo grado di consenso sulle cause dirette e indirette dell'innalzamento delle temperature, individuate sia nelle emissioni di anidride carbonica e di altri gas legati all'effetto serra (GHGs) nell'atmosfera, sia nei cambiamenti dell'uso del suolo, ad esempio la deforestazione. Entrambi i fattori sono di natura antropica e sono direttamente collegati alle attività economiche e produttive. Nella figura 1 sono rappresentate le relazioni tra l'attività antropica e il cambiamento climatico.

L'innalzamento della temperatura atmosferica e degli oceani sta modificando i sistemi fisici e biologici in tutto il pianeta. Alcuni degli elementi di cambiamento più rilevanti riguardano l'innalzamento del livello del mare, la riduzione delle quantità e l'alterazione della distribuzione delle precipitazioni, la riduzione della biodiversità, con aumento del rischio di estinzione di molte specie animali e vegetali, l'aumento del rischio di carestie e di malattie infettive per milioni di persone ed, infine, danni diretti alla salute umana ed animale, a seguito dell'aumento dei fenomeni meteorologici estremi (Commissione Europea, 2007a).



Figura 1. Relazioni tra emissioni di gas legati all'effetto serra e cambiamento climatico.

Figure 1. Relations between emissions and climate change.

Fonte: Stern et al. (2006) modificato.

Le emissioni prodotte direttamente dall'agricoltura sono pari al 14% del totale delle emissioni di gas legati all'effetto serra, a cui si può aggiungere il 18% che deriva dalla deforestazione e dai cambiamenti di uso del suolo. Le maggiori componenti delle emissioni direttamente collegate alle attività agricole sono costituite dal rilascio di ossido di azoto (N<sub>2</sub>O) durante il processo di nitrificazione e di denitrificazione a seguito della concimazione (38%) e dalla produzione di metano derivante dalla fermentazione enterica dei ruminanti (31%). La parte restante deriva dalla coltivazione del riso (11%), dallo smaltimento delle deiezioni animali (7%) e da altre attività (13%), come la bruciatura di residui colturali (US-EPA, 2006)<sup>1</sup>.

Il raggiungimento del consenso scientifico sull'esistenza e sulle cause del cambiamento climatico ha stimolato i decisori ad intervenire con politiche volte alla riduzione delle emissioni e al contenimento degli effetti del riscaldamento globale. Le possibili strategie a disposizione dei decisori sono di tre tipi: a) non-intervento (*business as usual*), b) adattamento e c) mitigazione.

La prima strategia consiste nella scelta di non mettere in atto alcun intervento per la riduzione delle emissioni nell'atmosfera. In questa situazione i livelli di produzione e i consumi non sono vincolati da politiche aggiuntive specifiche; ciò non impedisce che subiscano alterazioni a seguito degli impatti del cambiamento climatico. Questa strategia rappresenta la realtà controfattuale con la quale si confrontano le strategie di adattamento<sup>2</sup> e di mitigazione.

Le strategie di adattamento rappresentano gli aggiustamenti volti alla diminuzione della vulnerabilità dei sistemi agli effetti del cambiamento climatico (Stern et al., 2007). Le strategie di adattamento comprendono meccanismi autonomi e meccanismi pianificati (IPCC, 2007b). I primi sono costituiti da adattamenti generati dalle forze di mercato e da comportamenti spontanei, mentre i secondi corrispondono a politiche specifiche. Le strategie di adattamento sono rilevanti in agricoltura, in quanto è possibile contenere gli effetti del riscaldamento globale mediante diversi meccanismi, tra i quali l'aumento delle superfici irrigue, l'uso di maggiori volumi irrigui, le modifiche delle successioni colturali, l'adozione di nuove colture e l'ingegneria genetica (ad esempio con lo sviluppo

di varietà tolleranti la siccità) (Tol et al., 1998).

Le strategie di mitigazione si riferiscono agli interventi che hanno per obiettivo l'abbattimento delle emissioni (IPCC, 2007c). Le politiche di mitigazione sono riconducibili a sistemi di *pricing*, ovvero tassazione delle emissioni, restrizione delle quantità di emissione (permessi, quote) e definizione dei diritti di proprietà tra inquinatore e inquinato (Stern et al., 2006). Rientrano in questa strategia anche gli investimenti in innovazione, ricerca e sviluppo al fine di identificare e promuovere il ricorso a fonti energetiche alternative non inquinanti, ad esempio l'idrogeno.

### 3. Valutazione dell'impatto economico

L'approccio economico prevalente utilizza la valutazione monetaria al fine di misurare i cambiamenti di benessere e la fattibilità delle azioni dell'amministrazione pubblica (Spash, 2005). Il processo di valutazione economica è rappresentabile come la sequenza di quattro fasi (EEA, 2007). La prima fase consiste nella definizione di una *baseline* al momento della stima, espressa come "fotografia" dei valori di alcuni indicatori socio-economici rappresentativi, tra cui popolazione, produzioni, tecnologie e consumi. La seconda fase è basata sulla modellizzazione dello scenario socio-economico che rappresenta l'evoluzione della *baseline* nel futuro (scenario *business as usual*). Questa fase identifica l'evoluzione nel tempo (50-100 anni) degli indicatori socio-economici usati nella fase precedente per misurare le condizioni di *baseline*. La terza fase consiste nella identificazione di scenari alternativi rispetto allo scenario di *business as usual* e nella valutazione degli effetti di

<sup>1</sup> Per un'analisi esaustiva delle emissioni e degli impatti per il settore agricolo si veda Olesen e Bindi (2002) e IPCC (2007a). I dettagli di questi effetti sono ampiamente trattati dai contributi di altri ambiti disciplinari. Di seguito ci si soffermerà pertanto principalmente sui loro effetti economici.

<sup>2</sup> Con riferimento alla valutazione delle politiche, la strategia *business as usual* rappresenta la *Baseline*; la sua identificazione consente di poter misurare gli effetti addizionali delle politiche, isolando, nella valutazione, gli effetti determinati dall'inerzia dei sistemi. Per approfondimenti si veda Gallerani (2008).

questi scenari. Gli scenari alternativi sono definiti da ipotesi di modifica delle variabili che erano state mantenute costanti nello scenario *business as usual* (temperature medie, variabilità delle temperature, pattern delle precipitazioni ed eventi estremi). Gli effetti di tali variabili negli scenari di cambiamento climatico vengono quantificati mediante analisi degli impatti fisici (es. modelli che simulano le variazioni delle rese e delle produzioni agricole o studi epidemiologici che legano la salute umana ad aumenti della temperatura) o mediante analisi econometriche (es. modelli che simulano comportamenti umani, come l'attitudine ad investire)<sup>3</sup>. Nonostante la valutazione sia strutturata per isolare gli effetti dell'evoluzione delle variabili socio-economiche da quelli relativi al cambiamento climatico, nella modellizzazione è necessario tenere conto anche delle interrelazioni tra i due gruppi di variabili (ed. un aumento della popolazione corrisponde ad un incremento dei consumi e quindi a maggiori emissioni nell'atmosfera).

Infine nella quarta fase vengono monetizzati gli impatti del cambiamento climatico, espressi come differenza tra i valori delle variabili degli indicatori economici rispetto allo scenario *business as usual* a seguito dell'incremento delle temperature e degli altri effetti legati al cambiamento climatico<sup>4</sup>.

#### 4. Risultati e interpretazione della valutazione economica

I risultati delle valutazioni economiche sul cambiamento climatico sono espressi come costi totali o costi marginali. In questo paragrafo vengono dapprima analizzati i costi totali e successivamente i costi marginali.

I costi totali derivano dal confronto, descritto nel precedente paragrafo 2, tra lo scenario di *business as usual* e scenari alternativi di intervento. Il costo totale del cambiamento climatico ( $FC$ ) è dato dalla differenza tra il costo del non intervento ( $K_i$ ), il saldo tra i benefici ( $B_a$ ) e i costi ( $K_a$ ) dell'adattamento e il saldo tra i benefici ( $B_m$ ) e i costi ( $K_m$ ) della mitigazione.

$$FC = K_i - (B_a - K_a) - (B_m - K_m)$$

Il saldo tra i benefici e i costi dei singoli interventi di adattamento e mitigazione è utiliz-

zato per valutare la convenienza all'implementazione di specifiche politiche. Un'ulteriore grandezza utilizzata è il costo residuale ( $RC$ ), definito come:

$$RC = K_i - B_a - B_m$$

Esso rappresenta quella parte del costo del cambiamento climatico che non è eliminato dalle politiche di adattamento e di mitigazione ipotizzate nello scenario. Pertanto può essere considerato un indicatore della gravità del cambiamento climatico e della necessità di intervento.

Le tre strategie (non-intervento, mitigazione, adattamento) ed i relativi costi sono fortemente correlate collegati tra di loro. Ad esempio, il non-intervento è influenzato dai meccanismi di adattamento spontanei; dal canto suo, l'adattamento può servire a ridurre gli effetti negativi non mitigabili.

Il quadro logico presentato per il calcolo del costo totale del cambiamento climatico fornisce la base per l'analisi costi-benefici (ACB) delle politiche di intervento. L'analisi costi benefici è uno strumento di supporto alle decisioni basato sul confronto intertemporale tra costi e benefici di una decisione. Nel caso in esame, una strategia o un insieme di strategie è conveniente se il costo totale del cambiamento climatico, a seguito dell'attivazione della strategia, è inferiore al costo del non-intervento. Tra diverse alternative di intervento risulta più conveniente quella che genera il più basso costo totale del cambiamento climatico.

Al fine di ottenere un *benchmark* comparabile tra i diversi studi, la maggior parte delle stime del costo sociale totale è stata riferita allo stesso target di emissioni. Quello più frequente è riconducibile a concentrazioni di  $CO_2$  nell'atmosfera doppie rispetto a quelle dell'epoca pre-industriale (1800) identificate in 550 ppm di  $CO_2$ . Per quanto riguarda la lunghezza dell'orizzonte temporale, le valutazioni considerano normalmente gli effetti fino all'anno 2100.

<sup>3</sup> Per un approfondimento sulla identificazione della *baseline*, degli scenari di *business as usual* e di cambiamento climatico si veda Russ et al. (2007) e i lavori dell'IPCC (2007a).

<sup>4</sup> Per una formulazione matematica dell'analisi economica e delle relazioni tra gli impatti economici e l'aumento delle temperature si veda Pearce (2003).

Tabella 1. Costi sociali aggregati derivanti dal cambiamento climatico (% del PIL).

Table 1. Aggregate social cost of Climate Change (% of GDP).

Incremento di temperatura corrispondente a 2xCO <sub>2</sub> rispetto all'epoca pre-industriale	Pearce et al. (1996)	Mendelsohn et al. (1999)		Nordhaus e Boyer (2000)	Tol (2002)
	2,5°C	1,5°C	2,5°C	2,5°C	1,0°C
Paesi sviluppati	-	+0,12	+0,03	da -0,5 a +0,4	
Paesi meno sviluppati	-	+0,05	-0,17	da -0,2 a -4,9	
Mondo	da -1,5 a -2,00	+0,10		-1,5	+2,3

Fonte: Pearce (2003).

Nella tabella 1 sono riportati i valori di alcune stime di costo totale comparabili tra loro.

I risultati mostrano un'estrema variabilità nella quantificazione dei costi sociali totali. La variabilità deriva sia dalla stima dell'aumento delle temperature all'aumento delle concentrazioni di CO<sub>2</sub>, sia dalla interpretazione degli impatti economici collegati all'aumento della temperatura. A parità di concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, diversi autori hanno ipotizzato incrementi di temperature medie da 1 a 2,5 °C. Inoltre, a parità di incrementi di temperatura, sono stati stimati diversi range di variazione del PIL, che, in aggiunta possono assumere direzione diversa (aumento/diminuzione) a seconda della temperatura ipotizzata. Infatti, con incrementi delle temperature medie di 1 °C sono stati stimati aumenti del PIL mondiale pari al 2,3%, mentre nel caso di aumenti di temperature maggiori sono state stimate riduzioni del PIL mondiale pari al 2%.

Il costo marginale sociale corrisponde al Va-

lore Attuale Netto (VAN<sup>6</sup>) dei flussi di costi e benefici generati, nell'orizzonte temporale considerato (i prossimi 100 o più anni), dai cambiamenti climatici causati dall'emissione (al momento della stima) di una tonnellata aggiuntiva di carbonio (C). La stima dei costi e benefici marginali sociali consente sia di identificare il livello di inquinamento ottimale, sia di supportare il disegno di strumenti di politica capaci di raggiungere tale obiettivo (es. il livello ottimale di una tassa) (Pearce e Turner, 1989).

I lavori orientati al calcolo dei costi marginali sociali riportano risultati compresi tra 5 e 850 \$ per la riduzione di una tonnellata di C (figura 2).

Analogamente a quanto riscontrato per i costi totali, anche le valutazioni dei costi marginali presenti in letteratura sono estremamente variabili. Esse, inoltre, sono di difficile comparazione in quanto gli autori hanno sviluppato le valutazioni sulla base di diverse assunzioni, a volte non completamente reperibili dai lavori pubblicati. Un tentativo di analisi aggregata delle stime esistenti è stato compiuto recentemente da Tol (2005). L'autore ha analizzato ed adattato 30 stime di costo marginale sociale presenti in letteratura, identificando un valore modale del costo marginale pari a 2 \$/t di C, un valore mediano corrispondente a 14 \$/t di C ed un valore medio di 93 \$/t di C, mentre il novantacinquesimo percentile assume un valore pari a 350 \$/t di C.

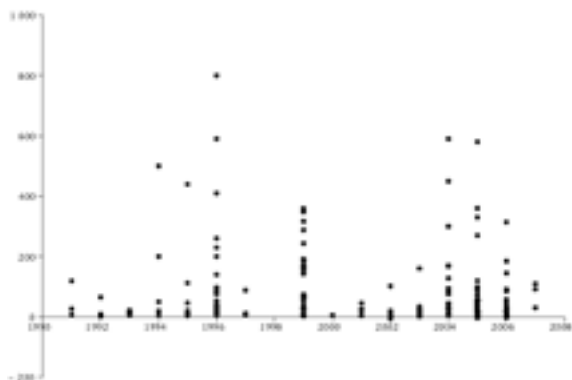


Figura 2. Costi sociali marginali per l'emissione di carbonio nell'atmosfera (\$/T di C).

Figure 2. Marginal social cost of the carbon emissions (\$/T of C).

Fonte: EEA (2007).

<sup>5</sup> Il target di concentrazione più frequentemente utilizzato in letteratura si riferisce a 550 ppm di CO<sub>2</sub> equivalenti, che corrisponde al doppio della concentrazione di CO<sub>2</sub> rispetto all'epoca pre-industriale.

<sup>6</sup> Il VAN è il più noto parametro di valutazione utilizzato nell'ACB. È dato dalla differenza tra i flussi di benefici attualizzati ed i flussi di costo attualizzati generati da una decisione/investimento.

L'ACB offre una lettura sintetica degli impatti economici basata su parametri di immediata comprensione, quali il valore monetario degli effetti. L'interpretazione corretta dei risultati richiede tuttavia la consapevolezza delle limitazioni e dei punti di debolezza di tale modello. Nella tabella 2 sono riportate le principali assunzioni e la caratterizzazione metodologica di alcuni lavori recenti.

I metodi utilizzati per la quantificazione dei costi e dei benefici appartengono agli strumenti classici dell'economia delle risorse. Tali metodi sono principalmente suddivisi in due categorie, ovvero metodi diretti e metodi indiretti (mercati surrogati). Il primo gruppo di metodi permette di stimare direttamente il valore di un bene o di un servizio sia attraverso l'analisi diretta degli adattamenti del mercato (prezzi di mercato, spese di preservazione della risorsa, costi di recupero), sia stimando una disponibilità a pagare (WTP) o ad accettare (WTA) mediante la creazione di un mercato ipotetico (valutazione contingente). Il secondo gruppo di metodi permette di attribuire indirettamente un valore ad un bene o servizio attraverso la misurazione indiretta del costo per surrogare tale bene o il servizio (Kuik et al., 2006). Tra questi

metodi rientrano il costo del viaggio, il prezzo edonico, nel caso in cui esista un mercato e la *choice experiment* nel caso sia simulato un mercato ipotetico. Inoltre è utilizzato il metodo del *benefit transfert* (Kuik et al., 2006) per ottenere valori di disponibilità a pagare o di disponibilità ad accettare in aree in cui manchino studi originali. Il metodo si basa sull'adattamento di stime riguardanti contesti territoriali diversi da quelli in cui si pone il problema di valutazione. Per un'analisi approfondita dei metodi di valutazione dei beni ambientali si veda Freeman (2003).

I metodi illustrati ed i relativi risultati non sono esenti da problemi. Le debolezze più rilevanti possono addebitarsi al fatto che le basi teoriche di questi metodi furono sviluppate per l'analisi di progetti o politiche su piccola scala. Ne deriva che la loro applicazione è robusta per piccoli cambiamenti dei livelli di reddito e per contesti territoriali limitati. Al contrario, questi metodi evidenziano i loro limiti quando sono utilizzati per valutare fenomeni globali, come il cambiamento climatico.

I principali punti di debolezza degli approcci adottati riguardano i seguenti aspetti:  
a) incertezza circa l'identificazione degli scena-

Tabella 2. Aspetti metodologici in alcuni studi recenti.

Table 2. Methodological aspects considered in some recent papers.

Autori	Metodo usato nella valutazione		Stima		Costi di adattamento	Aggregazione temporale		Aggregazione spaziale		Incertezza e rischio	
	WTA/WTP	Benefit Transfert	Impatti diretti	Impatti indiretti		Tasso costante	Tasso decrescente	Con equity weights	Senza equity weights	Analisi di sensitività	Incertezza statistica
Bosello et al 2004 a,b		X	X	X	X				X		X
Darwin e Tol 2001		X	X	X	X	X			X		X
Li et al 2005	X										X
Newell e Pizer 2004					X	X	X		X		X
Nordhaus e Boyer 2000		X	X	X	X		X		X		X
Rive et al. 2005		X	X	X	X				X		
Stern et al. 2006		X	X		X	X			X		
Tol 2005					X	X	X		X		
Tol e Dowlatabadi 2001	X		X	X	X				X		X

Fonte: Kuik et al. (2006) modificata.

Tabella 3. Stime degli impatti del cambiamento climatico.

Table 3. Estimations of the impact of Climate Change.

Incertezze nella previsione dei cambiamenti climatici	Incertezza nella valutazione economica		
	Mercato (es. beni alimentari, mercato dell'acqua)	Non-Mercato (es. salute umana, biodiversità)	Effetti sociali contingenti (es. migrazione, equità, conflitti)
Proiezioni (es. innalzamento del livello del mare, aumento temperatura)	La prevalenza delle stime appartiene a queste categorie		Alcuni effetti plausibili sono stati identificati, ma non adeguatamente valutati nelle stime
Previsioni plausibili (rischio di errore limitato) (es. siccità, alluvioni, tempeste)	Qualche modello ha identificato scenari plausibili. Tuttavia la prevalenza degli studi si riferisce a livelli target di emissioni (2xCO <sub>2</sub> )		
Cambiamenti dei Sistemi ed eventi estremi (es. eventi catastrofici)	Pochi studi per lo più esplorativi. Si veda Nordhaus e Boyer (2000); Ceronsky et al. (2005)		Nessuno studio credibile

Fonte: Downing et al. (2005), modificata.

- ri di previsione del cambiamento climatico;
- b) monetizzazione degli effetti del cambiamento climatico;
- c) modellizzazione dei meccanismi di effetto del cambiamento climatico e delle ipotesi di adattamento/mitigazione;
- d) aggregazione temporale;
- e) aggregazione spaziale;
- f) interazione tra le politiche.

Un punto ampiamente discusso in letteratura è la copertura e la completezza delle valutazioni degli impatti dei cambiamenti climatici in relazione alla plausibilità degli scenari di cambiamento climatico e alla monetizzazione degli impatti.

I risultati dei modelli impiegati sono in primo luogo legati all'incertezza nella previsione degli impatti fisici derivanti dal cambiamento climatico, specialmente per gli "eventi estremi" (a).

Ad essi si aggiungono delle difficoltà nella fase di trasformazione in moneta di tali impatti fisici (b) (Watkiss et al., 2005). Nella tabella 3, gli studi di valutazione economica del cambiamento climatico sono classificati in relazione alla plausibilità degli scenari relativi agli effetti del cambiamento climatico e alle incertezze degli elementi valutati nell'analisi economica.

Da quest'ultimo punto di vista, le stime degli impatti del cambiamento climatico esistenti in letteratura sono in genere incomplete. Infatti,

la maggior parte delle valutazioni economiche si è limitata all'analisi di quei beni per i quali esiste un mercato o dei beni senza mercato per i quali è possibile identificare una disponibilità a pagare e facendo riferimento ai soli fenomeni di cambiamento climatico ritenuti meno incerti. Al contrario, non vi sono studi attendibili che includano sia plausibili monetizzazioni delle contingenze sociali (migrazione, conflitti sociali), sia gli effetti di eventi estremi.

All'interno delle componenti valutate, le stime si differenziano a seconda del modello di simulazione utilizzato (c)<sup>7</sup> (FUND; PAGE; RICE/DICE; MERGE ecc) (Whatkiss, 2004). Tali modelli si differenziano infatti per l'adozione di diverse ipotesi relativamente alla definizione della *baseline*, alla scelta degli indicatori socio-economici, alla scelta degli scenari di cambiamento climatico, al livello di analisi territoriale, al tipo di ottimizzazione e all'inclusione dei meccanismi di adattamento.

<sup>7</sup> Esistono oltre venti modelli in letteratura sviluppati per quantificare i costi sociali relativi al cambiamento climatico. Si tratta spesso di modelli ottimizzanti, spesso dinamici o recursivi distinguibili in modelli con approccio bottom-up o approccio top-down (IPCC, 2007c).

L'aggregazione temporale (d) ha un ruolo estremamente importante nelle valutazioni relative al cambiamento climatico per almeno due motivi:

- l'entità degli orizzonti temporali considerati, che variano in genere tra 50 e 100 anni, ma possono anche andare oltre;
- il fatto che le cause e gli effetti del cambiamento climatico sono separati nel tempo, ovvero le strategie di mitigazione e di adattamento vengono messe in atto oggi o nel medio-breve periodo, mentre le loro ricadute (benefici e costi) si verificano nel lungo periodo.

Per rendere comparabili tra loro i costi e i benefici futuri delle scelte effettuate oggi, i flussi annuali vengono scontati facendo ricorso al saggio di preferenza temporale. Il saggio di preferenza temporale quantifica il peso che hanno le preferenze future rispetto alle preferenze attuali (Pearce, 2003). Formalmente lo sconto dei flussi monetari futuri è basato sulla moltiplicazione dei benefici e dei costi per un coefficiente di sconto

$$\frac{1}{(1+r)^n}$$

dove  $r$  rappresenta il saggio di preferenza temporale e  $n$  l'anno in cui si verifica il costo o il beneficio. Vi sono due ragioni per scontare i costi e i benefici futuri: a) gli individui preferiscono consumare oggi piuttosto che domani; b) il capitale investito, nel tempo, fornisce produzioni e redditi (Davidson, 2006). Nella letteratura sul cambiamento climatico vi è un'ampia discussione relativamente al valore e all'andamento nel tempo del saggio di preferenza temporale da utilizzare (Kuik et al., 2006; Guo et al., 2006). Per quanto riguarda il valore, in letteratura sono stati utilizzati saggi di sconto compresi tra l'1% e il 3%. Circa l'andamento nel tempo, possono essere usati saggi di preferenza temporali costanti o decrescenti. Il primo penalizza maggiormente le generazioni future rispetto al secondo. I tassi di sconto decrescenti utilizzati nelle stime di costo sociale presenti in letteratura, sono compresi tra il 7% e il 3% nei primi anni della stima e scendono fino all'1% nel lungo periodo (Gau et al., 2006). Recentemente Guo et al. (2006) hanno confrontato i costi marginali sociali utilizzando sia il tasso di sconto sociale costante, sia il tasso decrescente. I risultati ottenuti con i due metodi sono forte-

mente diversificati (58\$/tC nel primo caso e 185\$/tC nel secondo caso).

Per loro natura le cause e gli effetti del cambiamento climatico non sono collegabili a specifiche unità territoriali, ma sono globali. Un punto rilevante dell'analisi economica consiste nel fatto che la globalità delle problematiche relative al cambiamento climatico, rende necessaria la confrontabilità tra i costi e i benefici in Paesi caratterizzati da diversi livelli di sviluppo (e). L'espedito più diffuso per garantire la confrontabilità è costituito dagli *equity weights*, ovvero "pesi" che tengono conto dell'utilità marginale decrescente della spesa per consumi in aree diverse. La pesatura si ottiene moltiplicando i valori di WTP o WTA ottenute in ciascuna area per i relativi *equity weights*. Applicando gli *equity weights* viene incrementato il valore dei costi sociali del cambiamento climatico nei Paesi più poveri. Tecnicamente, la necessità di pesatura deriva dal fatto che la disponibilità a pagare o ad accettare è funzione del reddito dei singoli individui o del Paese. Inoltre, per paesi più poveri è teoricamente fondato supporre che la stessa unità di valore monetario abbia una utilità superiore rispetto ai paesi più ricchi, in quanto il reddito è utilizzato prioritariamente per beni e servizi di prima necessità. Inoltre la pesatura esprime un concetto di equità, in quanto i Paesi più poveri sono quelli più vulnerabili agli effetti del cambiamento climatico (Kuik et al., 2006), a seguito della localizzazione geografica, dei sistemi economici meno sviluppati e della minore capacità di adottare strategie di adattamento (Watkiss et al., 2005). In un recente lavoro Tol (2005) confronta i costi marginali sociali in presenza e in assenza di *equity weights*. La pesatura determina un incremento dei costi sociali da 10\$/t di C a 54 \$/t di C.

La globalità e la multisettorialità delle problematiche relative al cambiamento climatico non consentono una facile valutazione degli impatti di ogni singola politica (f), in quanto le politiche di adattamento e mitigazione determinano effetti indiretti sui mercati dei prodotti modificando ad esempio le produzioni, gli scambi, i trasporti ecc. Inoltre, altre politiche non direttamente orientate a contrastare gli effetti del cambiamento climatico, ad esempio la rinaturalizzazione o la direttiva nitrati, generano impatti indiretti sulla quantità di emissioni cambian-



do gli usi del suolo e le quantità di input immessi nei processi produttivi.

Le incertezze e i limiti delle valutazioni ora esposti non consentono un uso deterministico dell'ACB nel produrre direttamente un giudizio circa la decisione di attuare o no una politica. L'ACB, tuttavia, rappresenta un importante strumento di supporto alle decisioni in quanto permette di delinearne i termini del problema e di fornire elementi di giudizio basati sulla consapevolezza del valore delle risorse in gioco.

In diversi casi si preferisce adottare il criterio dell'analisi costi-efficacia. In tal caso la misura ritenuta migliore è quella che, a parità di risultati, presenta il costo minore. Anche questo orientamento, sebbene meno ambizioso in termini di stima dei benefici, risponde ad un criterio di efficienza puramente economica.

A fini operativi, la scelta della strategia e dello strumento di politica dipende da almeno altri due criteri a) l'analisi degli effetti distributivi in termini di equità e giustizia, sia all'interno della società, sia tra le generazioni e b) la fattibilità istituzionale, ovvero la legittimità e l'accettabilità degli strumenti (IPCC, 2007c).

## 5. Politiche per la riduzione delle emissioni

Questa articolazione dei meccanismi di valutazione economica e la complessità del processo con cui gli elementi di valutazione contribuiscono al processo decisionale, possono spiegare la varietà e la diversa tempistica con cui i diversi paesi e la comunità mondiale hanno reagito al fenomeno del cambiamento climatico.

L'amministrazione pubblica ha la possibilità di intervenire nel ridurre le emissioni di gas legati all'effetto serra mediante strumenti di politica coercitivi, strumenti misti e strumenti volontari (Howlett e Ramesh, 1995) che riflettono l'allocatione dei diritti di proprietà tra inquinatore e inquinato. Più in dettaglio gli strumenti di politica per ridurre le emissioni possono essere ricondotti alle seguenti tipologie: a) tasse, b) regolamenti e standard; c) accordi volontari; d) permessi negoziabili; e) sussidi e incentivi; f) strumenti di sensibilizzazione e g) attività di Ricerca e Sviluppo (Hahn, 1989; IPCC, 2007c). Questi strumenti sono stati applicati sia a livello nazionale sia a livello internazionale, mediante decisioni individuali, accordi bilaterali o

multilaterali e in tutto il mondo si possono contare oltre mille interventi, mediante politiche di mitigazione o di adattamento implementate a partire dagli anni ottanta<sup>8</sup>.

La politica più discussa, sia per la complicata implementazione, sia per la moltitudine degli attori coinvolti, è il protocollo di Kyoto. A partire dal summit mondiale della terra su ambiente e sviluppo, tenutosi a Rio de Janeiro nel 1992, alcuni Paesi, definiti successivamente Annex 1 (Paesi più ricchi più i Paesi dell'ex blocco sovietico) decisero di limitare la concentrazione dei gas responsabili dell'effetto serra a livelli inferiori a quelli registrati nel 1990. I meccanismi proposti all'interno del protocollo di Kyoto prevedono la definizione di quantitativi massimi di emissioni e la possibilità di instaurare un mercato delle emissioni con gli altri Paesi che hanno ratificato il protocollo. Agli stati membri è stato concesso di ottenere dei crediti di carbonio per incrementare il quantitativo assegnato mediante la realizzazione di progetti di riduzione delle emissioni nei Paesi non compresi nell'Annex 1 all'interno dei *Clean Development Mechanism* (CDM) o della *Joint Implementation* (JI)<sup>9</sup>.

La possibilità di scambiare crediti suppletivi originariamente non prevista dal trattato di Rio, fu inserito su richiesta dei paesi più sviluppati. L'introduzione di questi meccanismi produce un abbattimento dei costi sociali per raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni sfruttando la differenza di costo marginale di abbattimento tra i settori produttivi e tra i diversi Paesi.

Il calcolo (o la percezione) dei costi/benefici sociali marginali di abbattimento ha portato a risultati opposti in diversi paesi, con l'attesa

<sup>8</sup> Considerata l'eterogeneità e la vastità delle politiche di adattamento e mitigazione implementate si è ritenuto di limitare l'analisi al solo protocollo di Kyoto e alle politiche europee, con particolare riferimento al settore agricolo. Per un'analisi completa delle politiche implementate si veda il database delle politiche di mitigazione e di adattamento dell'Agenzia Internazionale per l'Ambiente al link: <http://www.iea.org/textbase/pmn/?mode=cc>.

<sup>9</sup> Per la completa documentazione dei meccanismi previsti dal protocollo di Kyoto e della sua implementazione si veda il sito: [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php).

di un beneficio netto in alcuni casi e di un costo netto in altri. Questo ha giustificato opposti comportamenti circa la ratifica del protocollo di Kyoto, sfociati, rispettivamente, nella scelta di accettare o respingere l'accordo (Nordhaus e Boyer, 1999; Pearce, 2003).

In Europa sono state implementate sia misure intersettoriali di riduzione delle emissioni (*cross-cutting measures*), sia misure settoriali. In merito alle prime misure sono stati applicati i meccanismi previsti dal protocollo di Kyoto come i permessi negoziabili (direttiva CE 87/2003); il CDM, le JI (direttiva CE 101/2004) e il monitoraggio e gli ulteriori meccanismi di implementazione previsti dal protocollo di Kyoto (decisione CE 280/2004).

In merito alle misure settoriali, per il settore agricolo non vi sono piani specifici per la riduzione delle emissioni, ma sono previste azioni all'interno dei Piani di Sviluppo Rurale per favorire il sequestro di carbonio dall'atmosfera, principalmente mediante il rimboschimento e contributi per la produzione di colture energetiche all'interno della Politica Agricola Comune (PAC). Inoltre, anche la direttiva nitrati (direttiva CEE 676/1991), originariamente prevista per migliorare la qualità delle acque, prevede misure che, limitando l'uso dei concimi azotati nei suoli, riducono il rilascio di ossido di azoto nell'atmosfera.

Nonostante l'agricoltura possa ritenersi tra i settori che finora hanno contribuito in modo più rilevante alla riduzione di emissione di gas serra, nei paesi sviluppati (IPCC, 2007c), l'ulteriore miglioramento del suo ruolo in tal senso costituisce uno degli elementi centrali dell'agenda politica (Commissione Europea, 2007b). Ne è esempio la proposta di *health check* della PAC formulata dalla Commissione Europea. Questa proposta contiene almeno tre linee di azione riguardanti le relazioni tra agricoltura e cambiamento climatico, ovvero la creazione di nuove misure di mitigazione ed adattamento al cambiamento climatico nell'ambito delle misure di sviluppo rurale; l'incorporamento degli obiettivi di riduzione delle emissioni nelle misure di condizionalità ambientale; il riesame del sistema di supporto alle colture energetiche tenuto conto degli aumenti dei prezzi dei prodotti agricoli. Cambiamento climatico, gestione dell'acqua e biodiversità costituiscono tre delle nuove sfide identificate dall'UE per le politiche nel settore agricolo; di queste, il cambiamento cli-

matico è ritenuto l'elemento centrale, che influenza tutte le altre (Commissione Europea, 2007b).

## 6. Conclusioni

Il cambiamento climatico, per le sue caratteristiche, sollecita uno sforzo di ricerca che necessariamente deve essere olistico, multidisciplinare ed interdisciplinare. All'interno di tale sforzo, l'analisi economica porta le sue specificità, contribuendo in diversi ambiti, che vanno dal mero calcolo degli impatti economici attesi, al contributo alla definizione delle reazioni al cambiamento climatico attraverso il supporto al disegno delle politiche.

L'analisi costi benefici è il principale strumento di valutazione utilizzato, che consente di fornire un supporto alle politiche indirizzando le decisioni soprattutto sulla base di criteri di efficienza economica. Inoltre, tale strumento costringe ad affrontare (seppure in modo non risolutivo) problematiche complesse quali l'equità nella distribuzione di costi e benefici tra diverse aree geografiche e tra generazione presente e generazioni future, la dipendenza del benessere sociale dalla disponibilità di beni di consumo, servizi ambientali, salute ecc. (Pearce, 2003; Spash, 2005). Tuttavia le valutazioni economiche considerano in maniera parziale e imperfetta le motivazioni politiche, culturali ed etiche; pertanto non forniscono dei criteri di scelta assoluti per i decisori quanto piuttosto informazioni per orientare le scelte (Pearce, 2003).

Le ricerche su questo tema, pur potendo utilizzare metodi ed approcci già sviluppati dalle discipline valutative e di economia delle risorse, vedono tuttora numerosi problemi aperti, in particolare nel campo dello studio multidisciplinare delle relazioni uomo-ambiente, della valutazione e gestione del rischio, della capacità di trattare fenomeni globali e di lungo periodo e della messa a punto di tempestivi supporti decisionali per il decisore pubblico.

Al di là delle specificità metodologiche, tuttavia, la sfida maggiore delle scienze economiche si identifica con la sollecitazione di una visione proattiva, in cui l'azione umana costituisce una componente positiva della soluzione dei problemi, piuttosto che un mero elemento generatore di danno ambientale.

## **Bibliografia**

- Berrens R.P., Bohara A.K., Jenkins-Smith H.C., Silva C.L., Weimer, D.L. 2004. Information and Effort in Contingent Valuation Surveys: Application to Global Climate Change using National Internet Samples. *J. Environ. Econ. Manage.*, 47:331-363.
- Bosello F., Roson R., Tol R.S.J. 2004a. Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change: Human Health. Working Paper FNU-57, Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science, Hamburg.
- Bosello F., Lazzarin M., Roson R., Tol R.S.J. 2004b. Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change: Sea Level Rise. Working paper o FNU-38. Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science, Hamburg.
- Brohan P., Kennedy J.J., Haris I., Tett S.F.B., Jones P.D. 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *J. Geophys. Res.* 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548, 2006.
- Ceronsky M., Anthoff D., Hepburn C., Tol R.J. 2005. Checking the price tag on catastrophe: the Social cost of carbon under non-linear climate response. Working paper FNU-87. Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science, Hamburg.
- Commissione Europea 2007a. L'adattamento ai cambiamenti climatici in Europa – quali possibilità di intervento per l'UE. Documento n. COM (2007) 354.
- Commissione Europea 2007b. Preparing for the “Health Check” of the CAP reform. Documento n. COM (2007) 722.
- Darwin R.F., Tol R.S.J. 2001. Estimates of the Economic Effects of Sea Level Rise. *Environ. Res. Econ.*, 19:113-129.
- Davidson M.D. 2006. A social discount rate for climate damage to future generations based on regulatory law. *Climatic Change*, 76:55-72.
- Downing T.E., Anthoff D., Butterfield R., Ceronsky M., Grubb M., Guo J., Hepburn C., Hope C., Hunt A., Li A., Markandya A., Moss S., Nyong A., Tol R.S., Watkiss P. 2005. Social Cost of Carbon: A closer look at uncertainty. Final project report.
- European Environmental Agency 2007. Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation. EEA Technical report n. 13/2007.
- Frankhauser R., Smith J., Tol RSJ. 1999. Weathering Climate change: some simples rules to guide adaptations decision. *Ecol. Econ.*, 30:67-78.
- Freeman A.M. 2003. The measurement of environmental and resources values. Theory and methods. Second edition. Resources for the future, Washington DC, USA.
- Gallerani V. 2008. Nuove problematiche per la valutazione delle politiche agricole. In: Marone E. (ed.): Riforma della PAC, evoluzioni tecnologiche e trasformazioni ambientali: aspetti economici, estimativi, giuridici e urbanistici. Atti del XXXVII Convegno CESET, 19-20 ottobre 2007, Ferrara (in stampa).
- Guo J., Hepburn C.J., Tol R.S.J., Anthoff D. 2006. Discounting and the social cost of carbon; a closer look at uncertainty. *Environ. Sci. Policy*, 9:205-216.
- Hahn RW. 1989. A primer on Environmental Policy Design. Harwood Academic Publisher.
- Hanemann WM. 2000. Adaptation and its measurement. *Climate change*, 45:571-581.
- Hersch J., Viscusi W.K. 2006. The Generational Divide in Support for Environmental Policies: European Evidence. *Climatic Change*, 77:121-136.
- Howlett M., Ramesh M. 1995. Studing Public Policy: Policy cycles and policy subsystems. Oxford University Press.
- IPCC, 2007a. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2007b. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC, 2007c. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz B., Davidson O.R., Bosch P.R., Dave R., Meyer L.A. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- Kuik O., Buchner B., Catenacci M., Goria A., Karakaya E., Tol RSJ. 2006. Methodological aspects of recent climate change cost studies. Working paper FNU-122. Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science, Hamburg.
- Li H., Berrens R.P., Bohara A.K., Jenkins-Smith H.C., Silva C.L., Weimer D.L. 2004. Exploring the Beta Model Using Proportional Budget Information in a Contingent Valuation Study. *Ecol. Econ.*, 28:329-343.
- Li H., Berrens R.P., Bohara A.K., Jenkins-Smith H.C., Silva C.L., Weimer D.L. 2005. Testing for Budget Constraint Effects in a National Advisory Referendum Survey on the Kyoto Protocol. *J. Agric. Resour. Econ.*, 30:350-366.
- Mendelsohn R. 1999. The Greening of Global Warming, Washington DC, American Enterprise Institute.
- Murphy J.M., Sexton D.M.H., Barnett D.N., Jones G.S., Webb M.J., Collins M., Stainforth D.A. 2004. Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations. *Nature*, 430: 768-772.
- Newell R.G., Pizer W.A. 2004. Uncertain Discount Rates in Climate Policy Analysis. *Energ. Policy*, 32:519-529.

- Nordhaus W.D., Boyer J. 1999. Requiem for Kyoto: An Economic Analysis of the Kyoto Protocol. *Energy Journal*, 20:131-156.
- Nordhaus W.D., Boyer J. 2000. *Warming the World: Economic Models of Global Warming*, The MIT Press.
- Olesen J.E., Bindi M. 2002. Consequences of climate change for European Agricultural productivity, land use and policy. *Eur. J. Agron.*, 16:239-262.
- Pearce D., Turner R.K. 1989. *Economics of Natural Resources and the Environmental*. Hemel Hempstead, Harvester Wheatsheaf.
- Pearce D., Cline W.R., Achanta A., Frnakhauser S., Pachauri R., Tol R.S.J., Vellinga P. 1996. The social costs of climate change: Greenhouse Damage and the Benefits of Control. In: *Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) (ed.): Climate change 1995: Economic and Social Dimension of Climate Change*, Cambridge University Press.
- Pearce DW. 2003. The social cost of carbon and its policy implications. *Oxford Rev. Econ. Policy*, 19:362-384.
- Rive N., Aaheim H.A., Hauge K.E. 2005. *Adaptation and World Market Effects of Climate Change on Forestry and Forestry Products*. Paper presented at the 8<sup>th</sup> Annual Conference on Global Economic Analysis, Lübeck, Germany.
- Russ P., Wiesenthal T., van Regemorter D., Ciscar J.C. 2007. *Global Climate Scenarios for 2030 and beyond. Analysis of Greenhouse Gas Emission Reduction Pathway Scenarios with the POLES and GEM-E<sub>3</sub> models*. JRC references report n. EUR 23032.
- Spash CL. 2005. *Greenhouse economics. Value and ethics*. Routledge.
- Stern N., Peters S., Bakhshi V., Bowen A., Cameron C., Catovsky S., Crane D., Cruickshank S., Dietz S., Edmonson N., Garbett S.-L., Hamid L., Hoffman G., Ingram D., Jones B., Patmore N., Radcliffe H., Sathiyarajah R., Stock M., Taylor C., Vernon T., Wanjie H., Zenghelis D. 2006. *Stern Review: The Economics of Climate Change*. HM Treasury, London.
- Tol R.S.J. 2002. Estimates the damage costs of climate change. Part 1: Benchmark Estimates. *Environ. Res. Econ.*, 21:47-73.
- Tol R.S.J. 2005. The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. *Energ. Policy*, 33:2064-2074.
- Tol R.S.J., Frankhauser S., Smith J.B. 1998. The scope for adaptation to climate change: what we can learn from the impact literature? *Global Environ. Chang.*, 8:109-123.
- US-EPA (United States Environmental Protection Agency), 2006. *Global Mitigation of Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases*. Document n. EPA 430-R-06-005.
- Watkiss P., Dowing T., Handley C., Butterfield R. 2005. *The Impacts and Costs of Climate Change Report of the EU project financed by European Commission DG. Environmental Modelling support for Future Actions – Benefits and Costs of Climate Change Policies and Measures*. ENV.C.2/2004/0088.

# Potenziale impatto dei cambiamenti climatici nell'evoluzione floristica di fitocenosi spontanee in agroecosistemi mediterranei

Stefano Benvenuti\*

Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa  
Via Delle Piagge 23, 56124 Pisa

Società Italiana per la Ricerca sulla Flora Infestante

---

## Riassunto

Alla luce degli scenari climatici previsti nei periodi futuri sono state esaminate le più probabili ripercussioni che questi eventi possono comportare sulla dinamica della flora infestante. A tal fine sono stati presi in considerazione i singoli parametri climatici che sono stati poi sovrapposti alle caratteristiche biologiche delle varie specie in modo da prevedere sia la loro evoluzione floristica che la loro sostenibilità di gestione nei vari agroecosistemi mediterranei. Emerge come sia gli incrementi termici che l'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> tendano ad esaltare le caratteristiche di ruderalità a livello quantitativo e di brevità della fase riproduttiva. Inoltre, l'aumento dei fattori di stress (termici, idrici, UV-B, ecc.) incrementano quella tendenza alla de-specializzazione che è una caratteristica tipica di molte delle più temute malerbe. La dinamica delle condizioni ambientali avverse, derivante persino da eventi estremi di opposta azione biologica (ad esempio siccità e sommersione), sembra destinata ad avere un impatto sinergico con quei disturbi agronomici che fin dalla nascita dell'agricoltura hanno selezionato le specie definite "segetali" in quanto tipicamente in grado di persistere in ambiente altamente disturbato. Le caratteristiche di resilienza sembrano quindi destinate ad accrescere la loro importanza selezionando così fitocenosi sempre meno diversificate. Questa riduzione della biodiversità sembra incrementare il rischio di ingresso di specie esotiche, spesso provenienti da aree più calde e siccitose, alcune delle quali di tipo parassita. In ogni caso la loro aggressività nei confronti della flora nativa può persino essere esaltata da quei fattori di stress biotico od abiotico non presenti nelle aree di origine. Specie già oggi rare sembrano destinate all'estinzione soprattutto se la loro biologia presuppone fragili interazioni mutualistiche con organismi animali come ad esempio nel caso della flora entomogama. Tale simultanea presenza risulta infatti minata dal progressivo scollamento tra foto-periodo e termo-periodo che tende a de-sincronizzare le rispettive fasi fenologiche. Questa probabile evoluzione floristica, destinata ad aumentare le specie autogame ed anemofile, tenderà a peggiorare i già degradati aspetti paesaggistici del territorio agrario nonché a favorire problemi alla salute umana derivanti dall'aumento di polline aerodisperso ad attività allergenica. Si conclude che le fitocenosi spontanee appaiono molto meno vulnerabili delle colture in seguito ai previsti cambiamenti climatici. Ciò sembra presupporre un crescente uso di fitofarmaci come già previsto sia nel settore entomologico che fitopatologico. È stato infine ipotizzato che una delle possibili strategie agronomiche del futuro possa prevedere piani di miglioramento genetico delle colture volti alla ottimizzazione della loro plasticità ambientale mediante l'utilizzo del germoplasma dei loro progenitori spontanei.

*Parole chiave:* biodiversità, agroecosistema, cambiamenti climatici, flora infestante, evoluzione floristica.

## Summary

### POTENTIAL IMPACT OF CLIMATIC CHANGES ON FLORISTIC EVOLUTION OF PHYTOCOENOSSES IN MEDITERRANEAN AGROECOSYSTEMS

In order to predict the potential agronomic scenarios of the future, the probable involvements of climatic changes on weed dynamics were analyzed. In this perspective the several climatic parameters were examined and overlapped to the biological characteristics of the different species to predict both: weed evolution and the sustainability of the relative management. Thermal and CO<sub>2</sub> increasing favour the weed ruderality in terms of seed quantity and

\* Autore corrispondente: tel.: +39 050 2216500; fax: +39 050 2216524. Indirizzo e-mail: Sbenve@agr.unipi.it

velocity of seed set. In addition the increasing of stress factors (thermal, drought, UV-B, etc.) favour the de-specialization trend as typically occurs in the most persistent weeds. Adverse climatic dynamics, even due to events of opposite biological action (for example drought and flooding), appears to have a synergistic impact with the agronomic disturbances. Indeed these additive disturbances increase the selective pressure of the phytocoenoses and play a crucial role in the allowing survival only to the “segetal” weeds as well it occurs from the origin of agriculture. Consequently, the different degree of resilience induces a decreasing of the phytocoenoses complexity. This biodiversity reduction appears to increase the risk of exotic weed invasion overall regards to species from warmer and more arid environments (potentially even parasite species). Their invasivity could be increased by biotic or abiotic stress factors that are not present in their native environment. The fate of rare weeds appears to go to their extinction, overall if their dynamics is linked to fragile mutualistic interaction as it occurs in the case of entomogamous species. Indeed such simultaneous presence (flora and pollinator fauna) is mined by the progressive differences between photoperiod and thermoperiod and the consequent de-synchronization of their phenological phases. This virtual weed evolution through the increasing of the richness of self- and wind-pollinated weeds will involve both: 1) the agricultural landscape degradation; 2) a worse human health because of atmosphere rich of allergenic pollen. In conclusion, weed phytocoenoses appear to be less vulnerable of the relative crops to the climatic injuries. This higher crop vulnerability will increase the pesticides use as well as already predicted regards to entomologic and phytopatologic aspects. Finally, an agronomic strategy of the future was hypothesized. This is based on the germplasm utilization of the wild types in order to increase the environmental crop plasticity in the predicted climatic scenarios.

*Key-words:* agroecosystem biodiversity, climatic changes, floristic evolution, weeds.

## Introduzione

La crescente sensibilità alle problematiche ambientali che si sono verificate negli ultimi decenni ha determinato un conseguente allarmismo sulle ripercussioni negative che l'uomo può generare sia nei confronti degli ecosistemi naturali che degli agroecosistemi. Non è facile distinguere i cambiamenti climatici naturali da quelli antropogenici, anche se questa ultima ipotesi è ritenuta altamente probabile (Collins et al., 2007). Tuttavia, indipendentemente dalle cause, risulta evidente che il clima sta repentinamente e progressivamente cambiando mettendo a dura prova l'equilibrio delle interazioni reciproche di biocenosi animali e vegetali. In questo ambito, risulta di cruciale importanza poter prevedere se, ed in che misura, tali cambiamenti climatici possono interferire sulla sostenibilità ecologica dell'uomo nelle future generazioni (Schneider et al., 1998). Ne consegue che assume un crescente interesse poter prevedere la dinamica della produttività e sostenibilità dei vari sistemi colturali sia nel medio che nel lungo periodo. Tra gli aspetti di maggiore importanza agronomica risulta di notevole interesse poter simulare l'evoluzione floristica delle fitocenosi spontanee dato che esse risultano fortemente coinvolte nel processo produttivo in quanto in grado di interagire negativamente sia con il risultato quantitativo e quali-

tativo della coltura. E' stato infatti dimostrato che nei periodi futuri alcune malerbe possano avvantaggiarsi più di altre nei nuovi scenari climatici tanto che la loro diffusione può essere utilizzata come “indicatore biologico” dell'affermazione delle nuove condizioni ecologiche (De Groot et al., 1995). La modificazione dei parametri ambientali darà, in altre parole, un impulso di nuove dinamiche evolutive in quanto i nuovi scenari ecologici si ripercuoteranno in nuove interazioni (sia allelopatiche che competitive), in grado di selezionare comunità vegetali più adatte a persistere alle mutate condizioni climatiche (Brooker, 2006).

Prima di iniziare l'analisi delle probabili interazioni dei cambiamenti climatici nei confronti dell'evoluzione floristica dell'agroecosistema risulta opportuno evidenziare le caratteristiche generali che contraddistinguono le malerbe. Queste ultime sono le specie vegetali che sono risultate particolarmente resilienti ai disturbi agronomici grazie a strategie di persistenza come ad esempio la rapida ed elevata e attività riproduttiva, la spiccata dormienza e longevità dei semi, l'adattabilità a numerose situazioni pedo-climatiche ed agronomiche (Jordan e Jannink, 1997).

E' curioso notare che da sempre le malerbe si sono co-evolute in funzione della tipologia e frequenza dei disturbi agronomici effettuati all'interno dell'agroecosistema (Baker, 1974),

mentre oggi, al contrario, i cambiamenti climatici rappresentano un ulteriore fattore di evoluzione floristica derivante, in questo caso, dall'attività dell'uomo riflessa da ambienti lontani come quelli urbani, peri-urbani ed industriali spesso inseriti a mosaico all'interno delle più vaste aree agricole. Sorge spontanea una considerazione: ma perchè questi cambiamenti climatici possono rappresentare una minaccia per la sostenibilità ecologica dei nostri agroecosistemi anche sotto un profilo malerbologico? Il motivo ruota intorno al fatto che le complesse fitocenosi infestanti hanno una biodiversità genetica, sia intra- che inter-specifica, straordinariamente più elevata rispetto alle colture. Queste ultime sono infatti estremamente minori sia numericamente che geneticamente in quanto il germoplasma delle colture risulta decisamente produttivo ma "appiattito" in termini di base genetica. Gran parte dei geni presenti nei biotipi originari nonché nelle antiche cultivar sono stati infatti persi nei programmi di miglioramento genetico. Ne consegue che mentre la flora spontanea può evolvere rapidamente i biotipi più adatti alle nuove condizioni climatiche, le colture sono legate ad una minore flessibilità ambientale con la conseguenza che esse risultano penalizzate nell'interazione con l'elevata dinamicità delle comunità vegetali che tendono a modificarsi nel tempo. In altre parole viene ipotizzato che la produttività delle colture agrarie possa risultare più "vulnerabile" dai cambiamenti climatici rispetto alla dinamica delle fitocenosi infestanti che sembrano destinate a trovare vantaggio dalla rottura degli equilibri ecologici coltura-malerba in scenari agronomici ancora sconosciuti (Goudriaan e Zadoks, 1995). Tale analisi dei vari aspetti di vulnerabilità dell'agroecosistema ha infatti destato un crescente interesse per la prevedibilità della sua sostenibilità non solamente in un futuro prossimo ma anche nel medio e nel lungo termine (Metzger et al., 2006). Lo scopo di questo lavoro è stato quello di esaminare le potenziali ripercussioni che i singoli cambiamenti climatici possono indurre nella dinamica delle singole specie per tentare poi di sintetizzarne le più probabili evoluzioni floristiche complessive nei futuri agroecosistemi. A questo scopo sono stati rilevati in letteratura i più importanti mutamenti climatici rilevati sia a livello mondiale che del nostro ambiente mediterraneo per tentare di prevedere le specie destinate a "vincere" ed a "perdere" (Ba-

skin, 1998) in questa nuova sfida fitosociologica del futuro.

### **Andamento termico**

Durante l'ultimo secolo la temperatura ha mostrato aumentati che sono stati stimati tra gli 0,6 (Walther et al., 2002) e gli 0,75 °C (Osborne et al., 2000). Nonostante questa non perfetta coincidenza dei dati numerici, sono ormai tutti concordi nel ritenere che i "gas serra" siano i principali responsabili del riscaldamento del nostro pianeta. Tra questi il vapore acqueo risulta il più direttamente coinvolto nel fenomeno anche se la sua azione risulta affiancata dall'attività da una complessa miscela di gas la cui concentrazione risulta strettamente in funzione dell'attività umana. Sono ad esempio molto attivi gas come anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), ossido nitroso (N<sub>2</sub>O) ed i clorofluorocarburi (CFCs) (O'Neill e Oppenheimer, 2002). Tra questi "gas serra" l'N<sub>2</sub>O risulta avere una marcata azione biologica dal momento che una sua sola molecola mostra la stessa azione di 200 molecole di CO<sub>2</sub> (Ashmore, 1990). Risulta importante evidenziare al riguardo la prevalente origine antropica dell'ossido nitroso (tende purtroppo ad incrementare annualmente dello 0,25%) dal momento che esso deriva per almeno il 20% delle emissioni totali dalla denitrificazione dei fertilizzanti azotati distribuiti in agricoltura (Patterson, 1995). Indipendentemente dalle cause di questo incremento termico è evidente che tale progressiva tendenza porterà dei marcati cambiamenti nelle fitocenosi spontanee dal momento che questo parametro risulta di cruciale importanza nel favorire, od ostacolare, lo sviluppo delle singole specie. Il ritmo di crescita di ogni malerba è infatti fortemente influenzato dalla temperatura in quanto essa può risultare più o meno vicina agli ottimi termici nei quali risulta massima la fotosintesi clorofilliana (Benvenuti et al., 1994). Un cambiamento apparentemente irrilevante risulta invece in grado di mutare gli equilibri competitivi (Patterson, 1995), sia malerba-malerba che malerba-coltura, causando così l'affermazione delle specie meglio in grado di esaltare la crescita in concomitanza con tali modificazione termiche. Ne consegue come le specie definibili più "macroterme" siano quelle destinate ad incre-

mentare la propria incidenza nelle varie associazioni floristiche presenti nell'agroecosistema. Le varie specie appartenenti al genere *Amaranthus* (*A. retroflexus*, *A. hybridus*, *A. blitoides*, *A. graecizans*, etc.), possono rappresentare un chiaro esempio di malerbe destinate ad aumentare la loro invasività in funzione della loro spiccata risposta fisiologica alle elevate temperature (Selinioti et al., 1985). Anche le interazioni competitive coltura-malerva sono destinate a modificarsi in seguito all'aumento della temperatura e solitamente ciò avviene a scapito della produttività della coltura (Wright et al., 1999; Tungate et al., 2007). Risulta inoltre opportuno sottolineare che, in generale, le specie macroterme hanno anche il vantaggio di dar luogo a flussi di emergenza primaverili in epoca precoce dal momento che il verificarsi delle soglie minime richieste per la germinazione (Benvenuti e Macchia, 1993) risultano meno limitanti. È curioso notare che l'incremento termico dei periodi autunno-invernali, unitamente alle condizioni solitamente umide del suolo, potrebbe comportare un potenziale "handicap" per alcune malerbe in quanto in grado di favorire malattie fungine dei semi interrati. Ciò sembra essere tuttavia escluso a causa della spiccata rusticità dei semi (Leishman et al., 2000) spesso dotati di apposite sostanze allelopatiche sul tegumento come dimostrato in *Abutilon theophrasti* (Paszkowski e Kremer, 1988). Al contrario, un ulteriore vantaggio consegnato a molte malerbe dagli incrementi termici si verifica in epoca autunnale da momento che le ormai tipiche temperature miti di questi periodi tendono a rallentare la loro senescenza consentendo così di allungarne il ciclo e, conseguentemente, la relativa produzione di seme come rilevato in diverse malerbe (Benvenuti et al., 2007). È stato infatti osservato in varie parti d'Europa che la stagione di crescita di molte specie a ciclo primaverile-estivo si sia ampliata consentendo una maggiore crescita stagionale soprattutto per le specie a sviluppo spiccatamente indeterminato (Menzel et al., 1999). Tale mutamento è stato osservato soprattutto alle maggiori latitudini dove la temperatura risulta un fattore maggiormente limitante (Myneni, 1997) e conseguentemente possono completare il ciclo biologico anche specie più esigenti in termini di "somme termiche" necessarie al completamento della fase riproduttiva. Alle minori latitudini tale amplia-

mento del termoperiodo sembra destinato non tanto a modificare il numero di specie in grado di completare il proprio ciclo biologico, quanto ad aumentare quelle specie in grado di prolungare la fioritura e disseminazione in virtù del relativo "opportunità" ecologico. Un chiaro esempio è fornito dalla *Datura stramonium*, specie che tende a protrarre il periodo di fioritura fino all'arrivo delle prime gelate. Non è inoltre escluso che alcune specie a ciclo breve possano mostrare più generazioni all'anno dal momento che il loro "range" di crescita risulta ampliato sia nei periodi primaverili che autunnali. Le popolazioni di seconda generazione, di malerbe a ciclo estivo, potrebbero persino infestare le prime fasi della successiva coltura autunno-vernina come nel caso del frumento. Durante i decorsi autunnali miti sono infatti in crescita i casi di infestazioni di specie macroterme nella coltura di frumento nelle prime fasi di crescita, fenomeno che al momento risulta avere scarsa importanza agronomica dal momento che le prime gelate sono sufficienti ad eliminare tali infestazioni. Se tuttavia tali eventi dovessero rarefarsi, scomparire, o comunque ritardare, l'interferenza con la coltura non sarebbe più trascurabile e sarebbero quindi necessari interventi mirati alla gestione di tale infestazione.

Oltre che una maggiore propagazione per seme l'aumento della temperatura potrebbe favorire anche la propagazione vegetativa. Infatti gli inverni miti tendono a rendere perenni specie solitamente annuali, come nel caso di alcune specie appartenenti alla famiglia delle Solanacee, che terminano il loro ciclo biologico in concomitanza con le prime gelate invernali. Ciò è stato già notato in "isole di calore" di ecosistemi urbani nei quali il *Solanum nigrum*, solitamente a ciclo annuale, tende a divenire perenne (Benvenuti, 2004). È stato infatti mostrato che negli ultimi decenni si è drasticamente ridotta la frequenza delle gelate invernali anche in aree dell'Europa centrale (Walther et al., 2002) e ciò potrebbe portare ad un incremento della capacità di sopravvivenza di molte specie come già osservato in Canada nel caso di alcune colture foraggere (Bélanger et al., 2002). Si ritiene quindi probabile che tale fenomeno possa estendersi anche alle comunità vegetali dell'agroecosistema. Comunque l'incremento termico non risulta importante solamente nell'affermazione ecologica delle specie più esigenti



ma anche nella riduzione delle specie definibili “microterme” in quanto adattatesi a trascorrere alcune fasi di sviluppo in condizioni di freddo. Ne consegue che tali specie possano andare incontro a rarefazione, almeno nelle aree più a sud del Bacino mediterraneo, e risultare circoscritte sia alle maggiori latitudini nord europee che alle maggiori altitudini delle zone montane. Alcune specie a ciclo biologico autunno-invernale hanno talvolta persino esigenze, più o meno marcate, di “vernalizzazione” e cioè necessitano di periodi freddi. Ciò in quanto questi ultimi inducono il passaggio dalla fase vegetativa a quella riproduttiva (Michaels e Amasino, 2000). Esempi di specie con probabili problemi di “viraggio” (da fase vegetativa a riproduttiva) sono dati da alcune graminacee microterme come l'*Alopecurus myosuroides* (Chavel et al., 2002) od appartenenti ad i generi *Bromus* (Meyer, 2004) ed *Avena* (Darmency e Aujas, 1986).

L'ingresso di specie esotiche pervenute da ambienti più caldi, essenzialmente dal sud del Bacino mediterraneo, è comunque il più probabile e negativo dei fenomeni biologici derivanti dall'incremento della temperatura (Cronk, 1995) aspetto che sarà più ampiamente discusso nei successivi paragrafi.

### **De-sincronizzazione termoperiodo-fotoperiodo**

Il fotoperiodismo è il ben noto fenomeno attraverso il quale le piante riescono a percepire la stagione a loro ecologicamente idonea per poter passare dalla fase vegetativa a quella riproduttiva (Salisbury, 1961) e ciò avviene mediante vari recettori tra cui il più importante è il fitocromo (Lin, 2000). Tale fenomeno si è evoluto nel tempo in modo sostanzialmente sincronizzato al termoperiodo consentendo alle varie specie di “scegliere” la lunghezza del giorno meglio correlata con le proprie esigenze di temperatura. Gli incrementi termici prima esaminati hanno però creato una sorta di “confusione” ecologica (McCarty, 2001) con conseguenze sia nel regno animale che vegetale (Wuethrich e How, 2000) in quanto l'andamento termico tende a risultare sempre meno coincidente con la durata del periodo di luce. Ne consegue che nei periodi futuri possa verificarsi per molte specie di malerbe una sorta di “pressione di selezione” che potrà indurre l'abbandono delle pregresse

esigenze fotoperiodiche (longidiurne o brevi-diurne) verso l'indifferenza fotoperiodica (specie neutrodiurne). In altre parole le varie specie sembrano destinate ad essere dipendenti solamente dal termoperiodo mostrando un'attività di crescita e riproduzione esclusivamente in funzione delle disponibilità termiche. Già oggi molte specie di brassicacee come *Sinapis arvensis*, *Raphanus raphanistrum*, *Myagrimum perfoliatum* e *Rapistrum rugosum*, un tempo sostanzialmente longidiurne, tendono ormai a fiorire già in autunno nei casi di decorsi autunnali miti. In pratica il termoperiodo tende ormai ad avere un prevalente od assoluto controllo della fioritura di molte specie spontanee analogamente a quanto osservato in colture sia arboree che erbacee (Chmielewski et al., 2004). Ciò potrebbe non sembrare un problema ecologico ma in realtà risulta prevedibile che in futuro tale fenomeno possa favorire quelle sole specie che non necessitano di alcun mutualismo con la fauna circostante come nei casi di disseminazione zoocora (Benvenuti, 2007) e/o della impollinazione entomofila (Benvenuti e Raspi, 2007). Tale “disordine” ecologico nella de-sincronizzazione tra fotoperiodo e termoperiodo è comunque un fenomeno generale ed è sta mostrando i suoi effetti in varie parti del mondo (Fuhrer, 2003) compresi gli ecosistemi mediterranei (Peñuelas et al., 2000). I fenomeni di maggiore rilevanza ecologica riguardano il Regno vegetale in termini di epoca di fioritura e maturazione dei semi mentre nel Regno animale si rilevano fenomeni di alterati periodi di migrazione e riproduzione. In pratica sembra delinarsi un “ideotipo” di malerba che tende ad acquisire un atteggiamento definibile “opportunistico” nei confronti delle disponibilità termiche riuscendo a riprodursi anche in occasionali inverni miti indipendentemente dalle condizioni fotoperiodiche. Si potrebbe riassumere tale fenomeno come tendenza ad abbandonare i rigidi schemi di dinamica fenologica favorendo invece l'aumento della plasticità di adattamento alle mutevoli situazioni termiche come già osservato in ecosistemi naturali (Parmesan, 2006).

### **Aumento della CO<sub>2</sub>**

Durante l'ultimo secolo la concentrazione della CO<sub>2</sub> atmosferica è progressivamente aumentata

da circa 295 ppm a più di 360 ppm (Osborne et al., 2000). È bene chiarire che l'anidride carbonica non è certamente un fattore di stress ma al contrario una disponibilità limitante per la crescita dei vegetali. Ne consegue che tale aumento di anidride carbonica è destinato ad aumentare il tasso di crescita sia delle malerbe che delle relative colture. In questo caso il quesito di cruciale importanza è: quali specie troveranno vantaggio in termini di competitività? In questo ambito risulta di fondamentale importanza il tipo di "pathway" fotosintetico in quanto è ben noto che, salvo eccezioni, che non è il caso di riportare in questo contesto, sia colture che malerbe sono suddivise in due categorie: C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>. Senza entrare nei dettagli fisiologici di questi due raggruppamenti risulta di fondamentale importanza sottolineare che la loro competitività risulta diversamente influenzata dalle condizioni ambientali presenti (Roush e Radosevich, 1985). Tra queste ultime gioca un ruolo cruciale proprio la concentrazione di CO<sub>2</sub> che avvantaggia le C<sub>4</sub> solamente allorché essa risulta limitante. Ciò avviene soprattutto nella concomitante presenza di elevate temperature e scarse risorse idriche. Conseguentemente il progressivo aumento dell'anidride carbonica tende al contrario a spostare le interazioni competitive a vantaggio delle specie C<sub>3</sub> la cui efficienza energetica risulta maggiore. Ne consegue che colture C<sub>4</sub> come mais (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum vulgare* L.) possono perdere la loro competitività nei confronti delle loro più temute malerbe C<sub>3</sub> come ad esempio *Abutilon theophrasti*, *Datura stramonium*, *Chenopodium album* e *Xanthium strumarium* (Ziska, 2001a). Sperimentazioni effettuate al riguardo in ambiente controllato, hanno dimostrato che molte malerbe risultano più competitive con le colture in presenza di elevate concentrazioni di anidride carbonica (Ziska, 2003a). Va inoltre sottolineato che alcune malerbe C<sub>4</sub>, come nel caso di *Amaranthus retroflexus* (Ziska e Bunce, 1997), sono avvantaggiate nelle interazioni competitive con altre specie C<sub>4</sub> (mais e sorgo) nei casi di aumento della concentrazione di anidride carbonica. In ogni caso l'aumento della CO<sub>2</sub> sembra destinato a divenire un importante fattore in grado di influenzare l'evoluzione floristica nei futuri agroecosistemi (Ziska, 2003b) e ciò appare avvantaggiare in ogni caso le malerbe (Ziska e George, 2004). Risulta op-

portuno evidenziare che tale aumento di CO<sub>2</sub> rappresenta una sorta di inversione di tendenza evolutiva dal momento che le specie C<sub>4</sub> si sono evolute successivamente alle C<sub>3</sub> (Ehleringer e Monson, 1993) in quanto la progressiva diminuzione dell'anidride carbonica, avvenuta durante le varie ere geologiche (periodi di accumulo delle riserve di carbone, metano e petrolio nel sottosuolo, Monnin et al., 2001), rappresentava una spinta evolutiva verso una maggiore tolleranza a scarse disponibilità di CO<sub>2</sub>. Il progressivo rilascio di tale magazzino di carbonio fossile tende quindi a ripristinare antiche condizioni di anidride carbonica che non premiano affatto le successive spinte evolutive tendenti ad ottimizzare la fotosintesi in condizioni di carenza.

Oltre al sopra esaminato cambiamento degli equilibri competitivi tra le varie specie, è stato osservato che l'aumento dell'anidride carbonica tende ad accelerare il passaggio da attività vegetativa a riproduttiva (Navas et al., 1977) ed, almeno nel caso dell'Avena selvatica (O'Donnell e Adkins, 2001) ed altre graminacee (Edwards et al., 2002), anche ad incrementare il numero di semi prodotti. Se ciò fosse confermato come fenomeno generale tra le varie malerbe esso tenderebbe a favorire una delle più importanti strategie di sopravvivenza: la ruderalità. Con tale termine (Grime, 1977) si intende infatti la rapidità con la quale molte specie riescono a produrre elevati quantitativi di seme già dopo poche settimane dalla loro emergenza dal suolo. Risulta opportuno sottolineare al riguardo che tale ruderalità risulta una caratteristica già posseduta da molte delle più temute malerbe in quanto costrette a riprodursi prima dei vari disturbi agronomici (lavorazioni, diserbo, raccolta, etc.) tipicamente effettuati nell'agroecosistema.

### **Diminuzione piogge e desertificazione**

Il livello delle precipitazioni meteoriche si sono ridotte negli ultimi anni pressoché in tutte le aree mediterranee (Le Houérou, 1996), comprese quelle italiane (Ferrara, 2003), con crescenti problematiche di desertificazione soprattutto nelle zone più meridionali. L'impatto sulla vegetazione di tale fenomeno risulta particolarmente negativo non solamente per la riduzione complessiva della piovosità annua ma an-

che per il fatto che la sua distribuzione risulta concentrata in quei pochi eventi che tendono spesso a creare problemi di erosione piuttosto che quella infiltrazione in falda che renderebbe poi disponibile la risorsa idrica in periodi prolungati. Ne consegue che le disponibilità idriche del suolo sono progressivamente limitanti con la conseguenza di una spinta floristico-evolutiva verso l'aumento di quelle specie xerofite che risultano più adatte a sopravvivere in condizioni di stress idrico (Turner, 2004). In questo caso la siccità tende a selezionare specie e/o biotipi in grado di limitare l'azione negativa dello stress idrico attraverso adattamenti fisiologici (osmoregolazione, conduttanza stomatica) e/o morfologici (cerosità, tomentosità, spinescenza, ecc.) in grado di poter superare periodi avversi mantenendo poi una elevata competitività in condizioni di meno marcata carenza (Morgan, 1984; Fowler, 1986).

Sia nel caso di colture a ciclo primaverile-estivo (Lososová et al., 2004) che autunno-vernino (Espigares e Peco, 1995) vengono spesso segnalate in aumento proprio le specie infestanti meglio in grado di limitare i danni biologici dello stress idrico tanto che questo cambiamento floristico è segnalato come uno degli aspetti agronomici più significativi dei recenti cambiamenti climatici (Olesen e Bindi, 2002).

Per quanto in molti agroecosistemi il deficit idrico risulta rimediabile con l'irrigazione, è ben noto che ciò non sempre risulta possibile o per la mancanza della sua disponibilità e/o dell'economicità di tale intervento. Ne consegue che le interazioni coltura-malerba in condizioni di stress idrico risultano di estrema importanza in termini di produttività (Munger et al., 1987). Risulta cruciale al riguardo la cosiddetta "efficienza nell'uso dell'acqua" che è una caratteristica peculiare di ogni specie. Contrariamente a quanto riportato sull'aumento della CO<sub>2</sub> (che comporta vantaggi competitivi per le specie C<sub>3</sub>), in questo caso, sono le specie a ciclo fotosintetico C<sub>4</sub> (ad esempio *Cynodon dactylon*, *Sorghum halepense*, *Amaranthus retroflexus*), a risultare più efficienti in condizioni di carenza idrica (Patterson, 1985). È chiaro quindi che queste due contrapposte tendenze climatiche tendono ad avvantaggiare l'una o l'altra delle due categorie di piante a seconda della prevalente tendenza futura.

Tuttavia, l'effetto della siccità nei confronti delle fitocenosi spontanee non si ripercuote solamente a vantaggio delle specie più "stress tolleranti" ma anche verso quelle più idonee alla colonizzazione nello spazio di aree ciclicamente sottoposte a periodi di forte carenza idrica. In altre parole sono destinate ad incrementare anche le specie in grado di poter disseminare anche in aree ormai pressoché prive di vegetazione a causa della prolungata siccità. Una delle famiglie botaniche che appare in grado di avvantaggiarsi della crescente siccità appare essere quella delle asteracee sia in quanto specializzate per la colonizzazione di aree degradate (Sakai et al., 2001) che a causa dei loro meccanismi di disseminazione anemocora o zoocora (Benvenuti, 2007). Sono infatti sempre più diffuse nei vari agroecosistemi molte asteracee come ad esempio *Conyza canadensis*, *Aster squamatus*, *Cirsium arvense*, *Sonchus oleraceus*, *Senecio vulgaris* e *Xanthium strumarium*. Risulta inoltre ipotizzabile un loro drastico incremento nei pascoli e prati-pascoli del sud Europa in quanto le sempre più scarse produzioni foragere dovuta dalla crescente siccità possono indurre un eccessivo pascolamento (Ibáñez et al., 2007) in grado esercitare una drastica "pressione di selezione" sulle fitocenosi presenti. In questo caso sono destinate ad aumentare le specie meno od affatto appetite. Conseguentemente, appare logico ritenere che siano avvantaggiate dal crescente stress idrico le specie infestanti che risultano indesiderate soprattutto a causa della loro marcata spinescenza come ad esempio nei casi di *Xanthium spinosum*, *Tribulus terrestris* e *Sylibum marianum*.

Comunque, indipendentemente dal tipo di coltura effettuata, le specie più idonee a mantenere elevate popolazioni nelle fitocenosi presenti sono quelle che riescono ad avvantaggiarsi, in modo opportunistico, delle fluttuanti disponibilità idriche (Davis et al., 2000) come nel caso di molte graminacee annuali che completano il loro ciclo biologico prima dell'arrivo della siccità estiva (Naveh, 1975).

### **Resilienza ad eventi estremi**

Nonostante la sopra esaminata tendenza climatica, orientata verso incrementi termici e riduzione delle precipitazioni meteoriche, sono tut-

tavia sempre maggiori i casi di eventi estremi che tendono a contraddire la direzione climatica prevalente con fenomeni opposti (ad esempio gelate, inondazioni, ecc.) con effetti talvolta catastrofici sugli ecosistemi (Wright e Erickson, 2003). Sempre più frequenti sono infatti i repentini abbassamenti termici talvolta concomitanti ad eventi piovosi straordinari spesso associati con eccezionale ventosità (Easterling et al., 2000). In questi casi risultano fondamentali le attitudini di resilienza della flora spontanea in termini di potenzialità di recupero in seguito a condizioni critiche di opposta natura come nel caso di gelate seguite da elevate temperature oppure periodi di siccità seguiti da stress anossici dovuti a prolungati periodi di sommersione idrica (Parmesan et al., 2000). Riguardo a questo ultimo caso sono infatti crescenti i casi di danni da inondazioni verificatisi nelle varie parti del mondo (Milly et al., 2002). In generale, indipendentemente dalla tipologia dello stress verificatosi, le malerbe sono quasi sempre più resilienti rispetto alla coltura in quanto più rustiche. Va infatti sottolineato che mentre le fitocenosi spontanee si sono evolute nel tempo selezionando le caratteristiche di rusticità, nelle colture questi caratteri sono stati spesso “sacrificati” a vantaggio della produttività. Sono infatti frequenti le sperimentazioni che hanno dimostrato come l’interazione coltura-malerva tenda ad avvantaggiare questa ultima in condizioni di stress sia da elevate (McDonald et al., 2004) che basse temperature (Kropf, 1988). Tale maggiore rusticità delle malerbe è stata dimostrata anche in termini di tolleranza allo stress da anossia (Vartapetian e Jackson, 1997), indotto da eventi piovosi eccezionali in quanto la maggiore variabilità genetica delle malerbe consente di poter selezionare genotipi idonei al superamento di tale stress. Ne è un chiaro esempio l’*Echinochloa crus-galli* che evidenzia popolazioni adattatesi a persistere in colture di mais gestito in “asciutta” mentre altre si sono evolute per infestare la coltura del riso in completa e prolungata sommersione (Barrett e Wilson, 1983).

Va inoltre ricordato al proposito che tale rusticità nella tolleranza a periodi di carenza di ossigeno tende a predisporre alcune specie ad una maggiore tolleranza a quelle patologie a loro spesso associate (Schoeneweiss, 1975) consentendo così una doppia resilienza sia di tipo abiotica che biotica.

Considerazioni simili possono essere estese anche ai danni da quella ventosità eccezionale che molto spesso accompagna gli eventi di eccezionale piovosità. Infatti, per quanto le colture siano state spesso migliorate geneticamente anche in termini di aerodinamica, e quindi tolleranza al vento (Farquara et al., 2000), appare chiaro che tale tolleranza non può essere paragonata a malerbe decisamente poco od affatto danneggiabili a causa del loro *habitus* prostrato. Pur non essendo facile generalizzare quali specie siano più adatte a superare eventi climatici estremi le graminacee ne sono risultate particolarmente tolleranti (Milbau et al., 2005), soprattutto se in grado di propagarsi anche da rizoma (Buckland et al., 2001). Ciò deriva, probabilmente, dalla loro spiccata attitudine a risultare resilienti ai tipici disturbi ecologici dovuti al pascolamento (Lavorel, 1999).

### Salinizzazione del suolo

Il fatto che vi siano terreni salini in varie parti del mondo non è certo una novità né tanto meno ciò è da attribuirsi ai recenti cambiamenti climatici. Tuttavia, i crescenti problemi di salinità che si verificano su molte aree agricole sono indirettamente indotti dai sempre più frequenti problemi di siccità. L’eccessivo sfruttamento di falde freatiche, utilizzate per l’irrigazione delle colture, tendono spesso a richiamare acque ad elevata salinità sodica (Williams, 2001) e ciò accade, ovviamente, nelle aree litoranee (Cucci et al., 2003). Ad incrementare tale tendenza alla salinizzazione va a sommarsi il lento ma continuo innalzamento del livello del mare stimato intorno agli 0,2 mm annui (Ferrara, 2003) a causa dello scioglimento dei ghiacciai nell’emisfero artico (Cavaliere et al., 1997). Se tale tendenza sarà confermata nei periodi futuri è chiaro che pressoché tutte le aree definite di “bonifica” saranno sottoposte ad un lento ma costante incremento della salinità dal momento che il dislivello tra il cosiddetto “franco di bonifica” ed il livello del mare sarà destinato a ridursi fino alla teoricamente possibile inversione della direzione di flusso idrico. Lo stress salino è un forte fattore di selezione floristica nelle comunità di malerbe dell’agroecosistema. Le specie tolleranti tendono infatti a trasportare poco od affatto gli ioni  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$

verso le foglie con meccanismi diversificati (Zhu, 2001) ma solitamente mediante la loro “compartimentalizzazione” nei vacuoli per ridurre od eliminare la loro tossicità (Muns, 2002). Molte malerbe, definite alotolleranti proprio per la loro marcata tolleranza allo stress salino, sono quindi destinate ad aumentare nelle aree nelle quali la crescente siccità induce ad un progressivo incremento dei volumi idrici sottratti dalle falde freatiche come già osservato in alcuni ambienti (Ungar, 2001). Quali saranno le specie in grado di aumentare la loro incidenza nelle fitocenosi in virtù della loro alotolleranza? Sicuramente la *Portulaca oleracea*, già ampiamente diffusa in molti ambienti agricoli, appare l’“ideotipo” di malerba in grado di superare brillantemente lo stress da salinità che è poi fisiologicamente molto simile a quello indotto dallo stress idrico (Munns, 2002). Le sue foglie cerosi in grado di ridurre le perdite idriche, unitamente alle elevate capacità di osmoregolazione (Zimmermann, 1976) e ruderalità (disseminazione rapida ed elevata), rendono questa specie particolarmente adatta a crescere in terreni ad elevata salinità tanto che questa specie viene persino coltivata come strategia agronomica per la de-salinizzazione del suolo (Grieve e Suarez, 1997). Una spiccata attitudine a tollerare la salinità è inoltre mostrata da gran parte di malerbe appartenenti alla famiglia botanica delle Chenopodiaceae, come nel caso di *Atriplex prostrata*, *Chenopodium album* (Reimann, 1992) e *Kockia prostrata* (Francois, 1976). Queste specie sono in grado di germinare ed emergere dal suolo anche in situazioni di forte stress osmotico (Steppuhn e Wall, 1993). Una ulteriore famiglia botanica destinata ad incrementare in risposta all’aumento della salinizzazione del suolo sono inoltre molte specie di graminacee come ad esempio *Echinochloa crus galli* (Yamamoto et al., 2003) e *Setaria viridis* (Yenghoo et al., 2004) sia per la loro innata predisposizione a tollerare tale stress che per l’ampia base genetica in grado di co-evolvere tale attitudine in funzione della crescente esigenza di stress-tolleranza.

### **Incremento di UV-B**

L’assottigliamento dello spessore di ozono nella stratosfera terrestre, dovuto a cause antropo-

geniche, ha comportato un incremento del livello di raggi ultravioletti (in particolare gli UV-B, lunghezze d’onda 280-315 nm) che raggiungono la crosta terrestre (Ashmore e Bell, 1991). Tale relazione tra aumento di UV-B e riduzione dello strato di ozono è dovuta al fatto che questo ultimo è responsabile della “filtrazione” della luce solare incidente. Non è facile tradurre numericamente l’aumento di UV-B dal momento che esso varia sia nello spazio che nel tempo anche se tale problematica è sentita soprattutto alle elevate latitudini durante i periodi estivi (Mandronich et al., 1998). Tale fenomeno è ritenuto in grado di modificare le interazioni biologiche tra i vari organismi vegetali ed animali sia di ecosistemi naturali (Caldwell et al., 1995) che dell’agroecosistema (Ballaré et al., 1992) anche per il fatto che talvolta l’incremento di UV-B tende ad interagire con altri parametri climatici (Caldwell et al., 2007). Tuttavia, tali modificazioni dei rapporti ecologici tra i vari organismi viventi è più una problematica del futuro che del presente, dal momento che, alcune sperimentazioni effettuate in campo, hanno evidenziato che fenomeni significativi sono osservabili solamente con simulazioni di drastici incrementi di UV-B (Searles et al., 2001). È comunque un aspetto che sta destando un crescente interesse scientifico e ciò è testimoniato da una piuttosto ampia letteratura sia in termini di fisiologia dello stress da UV-B che della sua tollerabilità da parte sia delle varie colture che delle rispettive malerbe. È stato rilevato che c’è un’ampia variabilità nella suscettibilità ai danni che gli UV-B determinano sulla fotosintesi, in particolare sul fotosistema II e sulla funzionalità dei tilacoidi (Björn et al., 1999). Nella fisiologia della tolleranza a questo stress risulta di cruciale importanza la capacità della pianta di sintetizzare pigmenti che assorbono gli UV-B, come nel caso dei flavonoidi e delle antocianine, in quanto essi preservano la clorofilla e gli acidi nucleici da fenomeni ossidativi (Treutter, 2006). È curioso notare che il prevalente ruolo ecologico dei flavonoidi, definiti metaboliti secondari (Bennett e Wallsgrave, 1994), non è sempre quello di filtrare gli UV-B della luce incidente ma spesso di proteggere la pianta dagli attacchi di insetti (Salloum e Isman, 1989) o per dar luogo ad interferenze allelopatiche con la vegetazione circostante (Macías et al., 2007). Fanno eccezione le specie tipicamen-

te presenti ad elevate latitudini ed altitudini che, al contrario si sono evolute soprattutto per crescere in ambienti ricchi di UV-B (Barnes et al., 1987).

Un ulteriore fattore di tolleranza è dato dalle cere epicutcolari (Day et al., 1992) in grado di ridurre fortemente la penetrazione degli UV-B all'interno dei tessuti fogliari. I sintomi di dosi sub-letali si manifestano con la riduzione della fotosintesi, dello sviluppo fogliare e, conseguentemente, della crescita in biomassa. In termini generali le monocotiledoni sono risultate più sensibili al danno da UV-B rispetto alle dicotiledoni (Barnes et al., 1990), nonostante che anche tra queste ultime siano stati evidenziati casi di spiccata intolleranza come nel caso della *Stellaria media* (Dai et al., 2004) specie microterma ampiamente diffusa in molte colture a ciclo autunno-vernino. In termini generali, sperimentazioni condotte su di un gran numero di specie hanno evidenziato che le malerbe più danneggiate da esposizioni agli UV-B sono quelle caratterizzate da elevati ritmi di crescita (Smith et al., 2000). Ne consegue come sotto questo profilo siano destinate ad avvantaggiarsi della pressione selettiva degli UV-B soprattutto le specie a lenta crescita ed in grado di produrre pigmenti protettivi (flavonoidi, antocianine, ecc.). Sovrapponendo i due sopraccitati requisiti appaiono avvantaggiate specie appartenenti alla famiglia botanica delle asteracee come ad esempio di *Senecio vulgaris*, *Aster squamatus*, *Conyza canadensis*, *Sonchus asper* e *Picris echioides* specie già ampiamente diffuse in ecosistemi antropizzati (Benvenuti, 2004).

Indipendentemente dai mutamenti delle associazioni floristiche di potenziale futura evoluzione risulta di ancora maggiore importanza stabilire chi tra coltura e malerbe risulta più danneggiato da questo crescente fattore di stress. Come purtroppo già precedentemente discusso, anche in questo caso, sono le malerbe che risultano meno vulnerabili in virtù della loro più ampia base genetica sia rispetto a colture monocotiledoni (Yuan et al., 1999) che dicotiledoni (Furness et al., 2005).

### **Invasività specie esotiche**

Nell'era della globalizzazione sono in netta crescita i casi di invasività di specie non autoctone

ma introdotte accidentalmente dall'uomo (Meyerson e Mooney, 2007) attraverso quei meccanismi di antropocoria che sono le prevalenti cause di disseminazione delle malerbe nell'agroecosistema (Benvenuti, 2007). Nonostante questa accidentale introduzione, sono poche le specie in grado di affrancarsi nel nuovo ambiente ed in questo ambito sono talvolta proprio i cambiamenti climatici a favorire, talvolta, il successo ecologico delle nuove specie, e ciò accade non solamente del Regno vegetale ma anche animale (Vitousek et al., 1996). Le maggiori possibilità di affrancamento derivano dal fatto che esse spesso provengono da ambienti simili alle nuove condizioni istauratesi (Walther, 2000). Le specie esotiche tendono quindi sempre più spesso a prevalere sulla flora autoctona (Thompson et al., 1995) in quanto evolutesi in situazioni simili alle nuove condizioni climatiche soprattutto sotto un profilo di stress-tolleranza (Mitchell et al., 2006). Conseguentemente, in termini generali, si può affermare che i cambiamenti climatici possono creare i presupposti per il successo ecologico di specie esotiche (Dukes e Mooney, 1999). Ad esempio, alcune graminacee evolutesi in ecosistemi caldo-aridi tendono a risultare molto invasive in aree a rischio di desertificazione in quanto particolarmente adatte a crescere in condizioni difficili e quindi meglio in grado di risultare resilienti ai disturbi ecologici di tipo biotico (Willis et al., 1999) od abiotico (D'Antonio e Vitousek, 1992).

Tale fenomeno è ancora più sentito nell'agroecosistema dal momento che i piani di controllo chimico dell'infestazione difficilmente risultano attivi contro queste nuove malerbe. Sono infatti sempre più frequenti problematiche agronomiche legate al difficile controllo della cosiddetta "flora di sostituzione" che spesso è costituita da specie mai segnalate (Dinelli e Benvenuti, 2003) e sottoposte ad un drastico aumento nei casi di una tardiva individuazione delle strategie agronomiche mirate al loro contenimento. Spesso l'aggressività delle specie esotiche risulta ampliata dalle loro spiccate caratteristiche allelopatiche (Bardsley e Edwards-Jones, 2007) tanto che tale caratteristica risulta spesso un importante parametro per poter prevederne il potenziale di invasività (Maillet e Lopez-Garcia, 2000). Talvolta le condizioni di stress tendono persino ad esaltare le caratteristiche allelopatiche come accade in *Centaurea*

*diffusa* (Hierro e Callaway, 2003) e *Tribulus terrestris* (El-Ghareeb, 1991) che risultano particolarmente aggressive soprattutto se sottoposte a forte stress idrico. E' stato dimostrato ad esempio che la *Centaurea maculosa* tende ad inibire la vegetazione circostante mediante essudati radicali contenenti alcune fitotossine della categoria chimica delle catechine (Bais et al., 2003). Risulta sorprendente che questa specie Europea risulta molto più aggressiva nel Nord America dove tende a formare una rizosfera contenente il doppio della concentrazione di catechine tipicamente essudate nell'ambiente di origine. Altra asteracea come l'*Anthemis cotula* risulta analogamente invasiva grazie all'azione biologica dei suoi essudati radicali nei confronti della germinazione dei semi delle specie circostanti (Allaie et al., 2006). Anche in questo caso nelle condizioni ecologiche dell'ambiente Asiatico, dove risulta accidentalmente introdotto da alcuni decenni, mostra una maggiore attività allelopatica rispetto a quanto mostrato negli ambienti mediterranei dai quali proviene. In generale ciò non è solamente un problema di tipo agronomico dovuto al loro difficile controllo (Di Tomaso, 2000), ma anche biologico in termini di biodiversità (Callaway e Aschehoug, 2000; Ridenour e Callaway, 2001) dal momento che le specie autoctone sono spesso sostituite da quelle esotiche a causa della loro estrema invasività. Sono diverse infatti le segnalazioni di specie che si sono rarefatte od estinte proprio per l'occupazione di determinate "nicchie ecologiche" da parte di specie esotiche introdotte (Henderson et al., 2006). In questo ambito, l'aggressività delle specie introdotte risulta favorita dalla tipologia dei disturbi agronomici esercitati in quanto, se eccessivi (Hobbs, 1991), possono minare la naturale resilienza delle fitocenosi autoctone favorendo così l'occupazione della "nicchia ecologica" da parte della flora di sostituzione di origine esotica (Kennedy et al., 2002).

### Aumento specie parassite

Alcune delle malerbe più temute al mondo sono specie totalmente o parzialmente parassite (Joel, 2000). Tra queste ultime vi sono due specie, appartenenti al genere *Striga* (*S. hermonthica* e *S. asiatica*) che sono diffuse rispettivamente nel continente africano ed in Asia (Oswald e

Ranson, 2001). Esse invadono diverse colture appartenenti alla famiglia delle graminacee come il sorgo (*Sorghum vulgare*), il mais (*Zea mays*) e, soprattutto, la canna da zucchero (*Saccharum officinarum*). Il crescente verificarsi di estati calde e prolungate dovute alla persistenza di masse d'aria calde di origine africana (Maracchi, 2000) potrebbero favorire l'affrancamento di accidentali introduzioni di queste specie anche nelle aree dell'Europa mediterranea soprattutto nelle regioni più meridionali. La sua dinamica di parassitizzazione e sopravvivenza dipende infatti sia dalle elevate temperature (Dawoud e Sauerborn, 1994) che dallo stress idrico (Taylor et al., 1996). Tale ingresso sarebbe particolarmente nocivo non solamente come impatto sull'equilibrio delle pre-esistenti comunità di malerbe (Press e Phoenix, 2005) ma, soprattutto, per i danni economici che tali specie possono comportare sulle colture. Inoltre, a causa della straordinaria produzione di semi estremamente longevi queste specie risultano particolarmente persistenti nel suolo e difficili da eradicare in quanto i semi interrati germinano solamente quando percepiscono gli essudati radicali della pianta ospite (Musselman, 1980). Ne consegue che una volta riuscita a disseminare questa specie tende a mantenere a lungo la sua nocività per le colture che saranno effettuate per diversi decenni (Mohamed et al., 1998). È stato calcolato in USA che un aumento delle temperature medie di 3 °C consentirebbe di allargare il suo areale geografico dal Sud Carolina fino all'area del "Corn Belt" comportando ingenti danni economici alla coltura del mais (Ziska, 2001b). L'ingresso di tali malerbe nelle aree cerealicole del sud Italia risulterebbe di particolare nocività dal momento che è stato recentemente dimostrato in laboratorio che essa è potenzialmente in grado di parassitizzare persino il frumento (Vasey et al., 2005), coltura ampiamente diffusa in tutto il Sud Italia. Comunque, il riscaldamento dovuto alla permanenza sul Mediterraneo di masse di origine africana tenderebbe ad incrementare l'aggressività e la delimitazione geografica di altre malerbe parassite già presenti sul nostro territorio sia nel centro (Benvenuti et al., 2004) che nel sud Italia (Mauromicale et al., 2001): le Orobanchacee. Queste specie olo-parassite (essenzialmente *O. crenata* ed *O. ramosa*) risultano infatti favorite da condizioni caldo-aride tanto che è nel Nord

Africa che esse trovano le condizioni ottimali di invasività (Joel et al., 1995). È stato ipotizzato che i recenti cambiamenti climatici possono favorire in futuro la loro diffusione (Mohamend et al., 2006) e la loro pericolosità (Wesseling et al., 2006) dal momento che è proprio la temperatura che tende a limitarne l'areale geografico (Grenz e Sauerborn, 2007). Una ulteriore malerba olo-parassita di potenziale incremento dovuto ai nuovi scenari climatici è la *Cuscuta campestris* già ampiamente diffusa su tutto il territorio italiano soprattutto nelle colture di erba medica (*Medicago sativa*) e barbabietola da zucchero (*Beta vulgaris*). Tale ampliamento potrebbe derivare da una tipica risposta fisiologica dovuta allo stress idrico che implica un aumento della concentrazione degli zuccheri nella potenziale coltura-ospite per controbilanciare il deficit osmotico (Pilon-Smits, 1999) favorendo così il successo della parassitizzazione. Ciò in quanto il livello delle risorse energetiche della coltura ospite risultano di cruciale importanza in quanto la malerba si trova in forte deficit energetico nel periodo che precede la penetrazione degli austeri nella coltura-ospite (Benvenuti et al., 2005a). Analoga predisposizione alla parassitizzazione da parte della *Cuscuta* è stata rilevata nella coltura della barbabietola sottoposta a crescenti livelli di stress salino (Frost et al., 2003).

### Problematiche nel controllo dell'infestazione

I sopra descritti fenomeni di incremento termico, unitamente all'aumento della concentrazione di anidride carbonica, sembrano favorire non solamente una maggiore crescita vegetativa ma una più rapida ed elevata produzione di semi. Tale potenziale fenomeno sembra condurre ad un aumento del numero di semi presenti nel suolo (seedbank) e persino ad anche ad un aumento del numero di generazioni di malerbe in una singola stagione di crescita.

Il potenziale aumento del numero di generazioni all'anno potrebbe inoltre incrementare il rischio di insorgenza di biotipi resistenti agli erbicidi dal momento che esso aumenterebbe la disseminazione annuale degli individui sopravvissuti (Holt et al., 1993).

In sintesi i nuovi scenari climatici sembrano portare ad esaltare quella rapidità di formazio-

ne del seme (ruderalità) che è da sempre una delle più importanti strategie di persistenza delle malerbe nell'agroecosistema. Tuttavia, la vera "novità" potrebbe essere il fatto che alcune specie a ciclo estivo potrebbero interferire, almeno nei primi stadi di crescita, con le colture autunno-vernine. Può essere questo il caso di specie come *Abutilon theophrasti*, *Chenopodium album* e *Datura stramonium* in grado di interferire, almeno durante la fase di crescita autunnale, con la coltura del frumento. Nonostante che queste specie risulteranno incapaci di completare il ciclo biologico per gli abbassamenti termici invernali, esse potranno portare ad interferire negativamente sul risultato produttivo della coltura per l'interferenza ormai avvenuta nei primi stadi di crescita. Inoltre, potrebbe verificarsi il problema che alcune delle specie a ciclo annuale possano divenire "perennanti" in quanto l'interazione genotipo-ambiente non riesce ad innescare la senescenza come già osservato in *Solanum nigrum* nelle isole di calore tipicamente presenti nell'ecosistema urbano (Benvenuti, 2004). Il problema agronomico ruota intorno al fatto che le specie perenni sono tipicamente più difficili da controllare in quanto pressoché insensibili agli erbicidi "antigerminello" ad applicazione in pre-emergenza (Dixon et al., 2006). Inoltre, anche nel caso di interventi di post-emergenza l'efficacia erbicida risulta marcatamente minore come ad esempio nel caso di *Sorghum halepense* che risulta di difficile controllo chimico nel caso di emergenze da rizoma (Obrigawitch et al., 1990). D'altra parte è stato dimostrato che altre specie perenni come il *Cirsium arvense* tendono a risultare meno sensibili anche ad erbicidi di post-emergenza in quanto l'aumento di CO<sub>2</sub> tende ad incrementare la parte ipogea non raggiungibile dal principio attivo (Ziska et al., 2004).

Altre problematiche agronomiche potrebbero derivare dalla minore attività fitocida dei vari principi attivi (Chen e McCarl, 2001) in quanto molte delle fitocenosi destinate ad evolversi nei periodi futuri sono caratterizzate da tessuti epidermici che, avendo la funzione di limitare le perdite idriche, esse tendono anche ad ostacolare l'ingresso dell'erbicida all'interno dei tessuti fogliari. Sono questi i casi di specie ricche di sostanze cerosi (potenzialmente anche per proteggersi dagli UV-B) ma forse più frequentemente potrebbe verificarsi il caso di malerbe



dotate di tomentosità, ispessimenti fogliari e/o spinescenze come tipicamente accade per quelle specie xerofite evolutesi in ambienti caldo-aridi. Ciò tenderebbe a stimolare il già importante filone di ricerca orientato ad individuare quei cosiddetti “surfactanti” in grado favorire l’ingresso dell’erbicida all’interno del suo sito di azione biologica (Ramsey et al., 2005).

L’aumento della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> potrebbe inoltre aumentare la tolleranza agli erbicidi come già osservato in diverse specie (Ziska et al., 1999; Ziska e Teasdale, 2000) impedendo così di poter impiegare gli erbicidi a dosaggi convenzionali, analogamente a quanto già oggi accade per altri fattori che predispongono all’insensibilità erbicida (Riethmuller-Haage et al., 2007). Di duplice interpretazione è inoltre la previsione che i cambiamenti climatici siano destinati a ridurre la persistenza dei vari erbicidi (Bailey, 2003). Se ciò infatti può da un lato assicurare l’impatto ambientale del diserbo chimico sull’ecosistema circostante, dall’altro c’è da chiedersi se tale fenomeno possa indurre a mantenere l’azione biologica attraverso incrementi nelle dosi di impiego. Anche per quanto riguarda l’incremento di UV-B che raggiungono la superficie terrestre la sua ricaduta biologica sull’azione erbicida è controversa in quanto dipende sia dal tipo di erbicida che dal suo meccanismo di azione. Mentre in termini generali gli UV-B tendono ad ossidare gli erbicidi distribuiti, riducendone la durata biologica per fenomeni di foto-degradazione (Konstantinou et al., 2001), sperimentazioni effettuate con simulazioni di scenari climatici ad elevati UV-B hanno evidenziato una loro maggiore efficacia in quanto l’azione erbicida risulta avere con questi effetti sinergici (Martínez-Ghersa et al., 2004). A tal proposito, una recente categoria di erbicidi, i trichetoni, troverebbe sicuramente vantaggi dall’aumento degli UV-B dal momento che la loro azione fitocida è dovuta all’inibizione della sintesi di quei carotenoidi che hanno la funzione biologica di proteggere le molecole di clorofilla dalla foto-ossidazione (Lee et al., 1998).

### **Biodiversità**

La comunità scientifica internazionale risulta concorde nel ritenere che i cambiamenti clima-

tici siano destinati a contrarre il livello di biodiversità dei vari ecosistemi (Hitz e Smith, 2004) in quanto essi tendono ad alterare la vasta gamma di interazioni trofiche tra i vari organismi viventi (Harrington et al., 1999). Ciò tende ad ampliare il già elevato rischio di estinzione delle specie rare presenti sia in ecosistemi naturali (McCarty, 2001) che in quegli agroecosistemi nei quali il basso impatto agronomico ha mantenuto nel tempo una elevata complessità floristica (Benvenuti et al., 2005b). Molte specie rare sono infatti divenute tali soprattutto a causa di delicati equilibri mutualistici con la fauna circostante all’agroecosistema (Gibson et al., 2006). A conferma di ciò basta riflettere sul fatto che gli ambienti nei quali esse sono sopravvissute sono caratterizzati da una complessa diversificazione dell’uso del territorio i cui seminativi risultano inseriti a mosaico tra pascoli, boschi ed aree incolte dove l’entomofauna impollinatrice può trovare le condizioni idonee per la nidificazione. La persistenza di queste specie dipende infatti dalla presenza di altri organismi animali, in questo caso gli insetti, in quanto la loro impollinazione risulta operata da apoidei sociali e solitari, ditteri nonché lepidotteri (Benvenuti e Raspi, 2007). Tale entomofauna presuppone in sintesi la presenza di un ecosistema ricco di nicchie ecologiche atte alla loro riproduzione nel suolo o sulla vegetazione. L’equilibrio di tale biocenosi animale e vegetale risulta decisamente vulnerabile dal momento che i cambiamenti climatici possono agire negativamente in più modi: 1) direttamente sulla compatibilità ecologica delle piante stesse; 2) indirettamente sulla sostenibilità ecologica degli organismi mutualistici la cui persistenza risulta spesso minata dalle difficoltà di poter reperire quelle poche specie in grado di costituire l’ambiente idoneo alla loro riproduzione oppure, 3) sulla de-sincronizzazione tra fotoperiodo e termoperiodo di flora ed entomofauna impollinatrice. Nel caso ad esempio di alcuni lepidotteri, spesso impollinatori obbligati di alcune “wild-flowers”, lo scollamento tra termoperiodo e fotoperiodo può creare difficoltà non solamente nella sua sincronizzazione con il ciclo biologico della pianta impollinata ma persino con quelle poche specie che risultano idonee all’ovideposizione ed in grado di allevare le giovani larve (Fenster et al., 2004). In altre parole la flora maggiormente minacciata dai cambiamenti cli-

matici appare proprio quella entomofila in quanto la sua dinamica di sopravvivenza presuppone il mantenimento di delicate specializzazioni spesso incompatibili con i progressivi sconvolgimenti climatici. Appaiono al contrario avvantaggiate le specie prive di mutualismi flora-fauna come nel caso di specie autogame o anemofile che sono già oggi le specie tipicamente resilienti ai sistemi colturali a maggiore impatto ambientale (Suarez et al., 2001). In sintesi i cambiamenti climatici appaiono destinati a contrarre ulteriormente la già evidente contrazione di specie un tempo diffuse. Tale contrazione non risulta solamente un problema legato alla tutela ambientale ma anche agronomico dal momento che la gestione di comunità vegetali complesse risulta decisamente più facile rispetto a quanto accade nel controllo di quelle fitocenosi oligo- o persino monospecifiche che risultano tipicamente molto aggressive (Benvenuti et al., 2005b). In ogni caso, il “vuoto biologico” creato dalla sola presenza di poche specie può ampliare il rischio di invasività delle già discusse malerbe esotiche (Hoegh e Bairlein, 2002). È ben noto infatti che un ecosistema floristicamente degradato risulta più vulnerabile in quanto è proprio la complessità floristica a giocare un ruolo cruciale nel contrastare l’ingresso di nuove specie (Kennedy et al., 2002).

### Aspetti paesaggistici

Non è affatto un caso che le specie mutualistiche siano quelle contraddistinte da un impatto estetico di indubbia attrattività. Molte specie indicate all’estero con il termine di “wildflowers” hanno infatti fiori ed infiorescenze evolutesi proprio per attrarre la fauna impollinatrice mediante la loro cromaticità e morfologia (Johnson e Dafni, 1998). Molte di queste specie fanno parte degli antichi paesaggi agrari (Baessler e Klotz, 2006) che saltuariamente tendono ancora oggi a ricomparire ma quasi esclusivamente nelle aree gestite in modo ecologicamente sostenibile. Sono questi i casi di *Centaurea cyanus*, *Agrostemma githago*, *Nigella damascena*, *Glaucium italicum*, *Papaver rhoeas* e *Consolida regalis* che “coloravano” i campi di frumento spesso senza apportare consistenti danni agronomici in quanto scarsamente competitive nei con-

fronti delle colture. Risulta opportuno premettere che la loro rarefazione non è certamente dovuta ad i cambiamenti climatici ma risulta scontato prevedere che essi potranno minacciare la loro presenza persino nelle oasi agro-ecologiche ancora rimaste. Come già riportato infatti, qualsiasi squilibrio ambientale tende a minacciare i delicati equilibri mutualistici flora-fauna tendendo così ad ostacolare e/o impedire ad esempio la formazione del seme su queste piante ad impollinazione spesso assolutamente incompatibile come nel caso del *Papaver rhoeas* (Thomas e Franking-Tong, 2004). Del resto sono proprio queste “wildflowers” che sono una essenziale componente estetica nell’ecologia del paesaggio di un territorio agricolo (Weitbull et al., 2003). Il verificarsi dei sempre più temuti sconvolgimenti climatici potrà certamente avvantaggiare invece quelle specie che non necessitano di alcuna interazione mutualistica e quindi assolutamente prive di esteticità. Tale specie saranno infatti in grado di persistere grazie a quella biologia di impollinazione anemogama od autogama che non presuppone alcuna integrità biologica dell’ambiente circostante. Purtroppo esse sono caratterizzate da fiori od infiorescenze che non hanno alcuna componente paesaggistica positiva in quanto prive di qualsiasi strategia evolutiva basata sull’attrattività (Culley et al., 2002) componente in grado di conferire loro resilienza non solamente ai disturbi agronomici ma anche ai potenziali squilibri climatici previsti. Per quanto i casi delle malerbe “non entomogame” siano molte, e solitamente prevalenti nell’agroecosistema, si ritiene comunque opportuno fare alcuni esempi. È questo il caso di molte graminacee tipicamente diffuse nella coltura del frumento come *Lolium multiflorum*, *Avena sterilis*, *Alopecurus myosuroides*, *Phalaris minor* e nelle colture primaverili estive come ad esempio *Sorghum halepense*, *Setaria viridis* e *Digitaria sanguinalis*. Analogamente tenderanno ad essere prevalenti anche dicotiledoni prive di esteticità come *Rumex crispus* e *Galium aparine* nei cereali autunnino vernini e *Amaranthus retroflexus* e *Chenopodium album* nelle colture a ciclo primaverile-estivo. Il paesaggio sembra in sintesi destinato a riflettere come uno specchio le attività umane che direttamente (agrotecnica) ed indirettamente (cambiamenti climatici antropogenici) tendono a riflettere la il grado di sostenibilità ecologica

esercitata sia nella gestione del territorio agroforestale che in altri ecosistemi antropizzati.

### **Evoluzione floristica e salute umana**

È stato previsto in termini generali che i cambiamenti climatici possano interferire negativamente sulla salute umana sia direttamente (McMichael et al., 2006) che indirettamente dal momento che essi tendono ad incrementare il rischio di epidemie fungine nelle varie colture (Garrett et al., 2006) tanto da prevedere una crescente richiesta di fitofarmaci (Epstein, 2001). Tale previsione viene estesa anche al particolare caso della difesa dalle malerbe dal momento che, come già ampiamente discusso, gli sconvolgimenti climatici sembrano destinati ad evolvere fitocenosi di sempre più difficile controllo (Ziska, 2001b). In questa evoluzione floristica potrebbero persino verificarsi casi di diffusione di specie tossiche e/o velenose accidentalmente introdotte. Da sempre l'uomo risulta vettore spesso inconsapevole di semi di specie esotiche (Benvenuti, 2007) ma sono proprio le condizioni di stress climatico che ne possono favorire il successo ecologico e quindi il loro affrancamento in un determinato agroecosistema. Già in passato si sono verificati problemi di inquinamento delle farine in seguito alla presenza di specie esotiche tossiche come nel caso dei semi di *Datura stramonium*, ricchi di alcaloidi, negli sfarinati di soia (List et al., 1979). Talvolta può accadere che alcune specie, scarsamente tossiche nel loro ambiente di origine, possono accrescere la loro pericolosità (William, 1980) a causa di una alterata interazione con l'ambiente in quanto questo può risultare "elicatore" della sintesi di composti allelopatici. Un caso emblematico è dato da *Pastinaca sativa* che risulta innocua in Europa ma risulta al contrario tossica negli individui spontaneizzati nel Nord America. Ciò avviene come meccanismo di difesa dall'attacco di un lepidottero (*Depressaria pastinacella*), non presente nell'ambiente di origine, in grado di stimolare la sintesi di furanocumarine (Zangerl e Berenbaum, 2005). Tale comportamento potrebbe essere esteso non solamente per l'introduzione di malerbe esotiche ma persino di insetti provenienti da altri ecosistemi in quanto migrati proprio a causa dei cambiamenti climatici. È possibile quindi che anche

specie autoctone possano divenire tossiche in risposta alle ben note interazioni ospite-parassita (Jermy, 1984).

La salute umana può trovare nocimento dalla flora tossica non solamente in quanto potenzialmente ingeribile, ma anche a causa del polline aerodisperso da molte specie anemofile, in grado di indurre allergie nella popolazione. Del resto, come è stato già discusso, le perturbazioni climatiche, analogamente a quelle ecologiche e/o agronomiche, tendono ostacolare primariamente le specie entomogame favorendo così la colonizzazione delle varie "nicchie ecologiche" dalle specie anemofile. Sono infatti queste ultime che sono responsabili delle più temute allergie in quanto la loro biologia di impollinazione ha indotto la formazione di granuli di polline di dimensioni estremamente piccole in modo da favorire la loro mobilità nell'atmosfera (Gadermaier et al., 2004). Purtroppo il progressivo ingresso di specie esotiche, unitamente al loro affrancamento in vari ecosistemi minati dall'eccessiva antropizzazione (Benvenuti, 2004), ha favorito l'ingresso di specie anemofile il cui polline è caratterizzato da una spiccata allergenicità. È questo il caso di *Ambrosia artemisiifolia*, ormai da alcuni anni introdotta in Europa (Laaidi et al., 2003), che disperde una gran quantità di polline che risulta marcatamente allergenico (Lee et al., 1979) anche a notevoli distanze. Sono state infatti rilevati casi di pollinosi da questa specie persino nella Toscana litoranea (Goracci e Goracci, 1996) pur essendo essa presente solamente nel nord Italia (Albasser, 1992). È stato purtroppo dimostrato che questa malerba tende ad incrementare la produzione di polline in conseguenza degli aumenti di anidride carbonica (Wayne et al., 2002), analogamente a quanto accade in altre specie con simile attività allergenica (Ziska et al., 2007). Conseguentemente, la sua pericolosità sembra destinata ad aumentare nei periodi futuri. Va infine sottolineato che l'azione biologica degli allergeni viene purtroppo amplificata dalla sua interazione con la vasta gamma di sostanze inquinanti presenti nell'atmosfera (Beggs, 2004).

### **Conclusioni**

L'analisi effettuata sul potenziale impatto dei cambiamenti climatici sulla dinamica sulle fito-

cenosi infestanti ha validato l'ipotesi che la coltura sia marcatamente più vulnerabile delle comunità di malerbe presenti nell'agroecosistema. Tali parametri climatici, sintetizzati nella tabella 1, tendono ad indurre una diversificata risposta evolutiva nelle fitocenosi infestanti anche se la loro incidenza sugli scenari climatici del futuro non è del tutto chiara. Sembra tuttavia probabile che alcuni di essi, come ad esempio l'aumento degli UV-B e della CO<sub>2</sub>, possano risultare decisivi solamente in periodi ancora lontani dal momento i loro effetti sono risultati apprezzabili solamente in condizioni di incrementi estremamente marcati. Al contrario, risultano avere già iniziato il loro effetto sull'evoluzione floristica altri parametri come gli incrementi termici, la siccità e talvolta anche la salinizzazione

del suolo. Questi cambiamenti climatici già oggi avvertibili negli agroecosistemi mediterranei sembrano indurre una sorta di de-specializzazione floristica che tende ad evitare le fragili dipendenze dall'equilibrio ecologico dell'agroecosistema favorendo così la loro tolleranza e/o resilienza alle perturbazioni ambientali. Questa flora sembra destinata a creare maggiori problemi di gestione in quanto sempre meno diversificata e più aggressiva spesso caratterizzata da una marcata attività allelopatica. La progressiva rarefazione e scomparsa di specie entomogame sembra quindi destinata ad essere sostituita da specie autogame ed anemofile con un drastico peggioramento del paesaggio agrario. Le comunità vegetali poco diversificate potranno favorire l'ingresso nell'agroecosistema di

Tabella 1. Schematizzazione di alcune delle più probabili ripercussioni dei recenti cambiamenti climatici sull'evoluzione floristica delle comunità di malerbe in agroecosistemi mediterranei.

Table 1. Schematization of some of the most likely consequences of the late climatic changes on the floristic evolution of weed communities in Mediterranean agro-ecosystems.

Cambiamento climatico	Mutamento nelle fitocenosi spontanee	Problematiche agro-ecologiche
Aumento della temperatura	Aumento specie macroterme; aumento della loro disseminazione per maggiori "somme termiche"; aumento "perennanza"; de-sincronizzazione fotoperiodo-termoperiodo; riduzione specie microterme soprattutto se esigenti di "vernalizzazione"; specie macroterme infestanti dei primi stadi di sviluppo di colture autunno-vernine; rischio di invasività di specie parassite già presenti ( <i>Orobanchae</i> ) o da Africa ( <i>Striga</i> )	Elevata "aggressività" delle macroterme; aumento dei semi annualmente prodotti (senescenza tardiva); difficoltà controllo "perennanti"; produzione di seme opportunistica indipendentemente dal periodo dell'anno (foto-indifferenza); più generazioni di malerbe in un solo anno; difficoltà di controllo delle specie parassite; difficoltà di controllo di specie esotiche macroterme
Siccità e desertificazione	Aumento specie xerofite, riduzione specie con rapporti mutualistici; aumento specie "colonizzatrici" come molte asteraceae; aumento specie autogame e/o anemofile; aumento invasività specie esotiche soprattutto se ad azione allelopatica	Barriere morfologiche e fisiologiche per l'assorbimento degli erbicidi; minore biodiversità; peggioramento del paesaggio agrario; aumento specie "allergeniche"; difficoltà controllo malerbe esotiche invasive; aumento delle malerbe parassite; più facile affrancamento di specie tossiche e/o velenose
Salinizzazione suolo	Aumento malerbe alotolleranti come <i>Portulaca oleracea</i> , alcune Chenopodiacee e Graminacee	Fattore di stress osmotico quasi sempre a favore delle malerbe negli equilibri competitivi
Aumento della CO <sub>2</sub>	Aumento della malerbe C <sub>3</sub> ; più elevata e rapida produzione seme (ruderalità)	Squilibri competitivi a vantaggio delle malerbe C <sub>3</sub> soprattutto nei confronti di colture C <sub>4</sub>
Eventi estremi	Aumento specie tolleranti stress di natura spesso opposta e/o in grado di risaltarne "resilienti"	Maggiore "vulnerabilità" della coltura con squilibri competitivi a vantaggio delle malerbe
Aumento dei raggi Ultra-Violetti	Favorite le specie a crescita lenta, ricche di flavonoidi e di cere epicuticolari	Minore azione generale degli erbicidi per foto-degradazione; caso particolare dei trichetoni favoriti da UV-B

specie esotiche talvolta tossiche, velenose o persino a spiccata attività allergenica. La gestione di tali infestazioni sembra presupporre un crescente uso di erbicidi in quanto tendono ad aumentare proprio le specie sempre meno sensibili all'azione dei vari principi attivi in quanto dotati di tessuti epidermici che ne tendono a limitare la permeabilità. Il potenziale aumento del numero di generazioni di malerbe nelle prolungate stagioni più calde, unitamente al rischio di incremento della sopravvivenza vegetativa di alcune specie, sembrano destinate a complicare ancor più le già elevate problematiche odierne. In altre parole, sembra che i cambiamenti climatici tendano a minare la già precaria sostenibilità ecologica ed economica dell'agroecosistema. Le aree più povere del Mediterraneo sembrano destinate a ridurre ancor più marcatamente la propria produttività in quanto è proprio la loro economia, ancor prima della loro ecologia, ad essere più vulnerabile ad i cambiamenti climatici. Ne consegue che gli scenari climatici ipotizzati per futuro potranno amplificare la divaricazione tra agricoltura delle aree più ricche e quella delle aree sempre più povere (Rosenzweig e Tubiello, 2007).

Non è facile poter ipotizzare una razionale gestione di queste comunità vegetali sempre più nocive, aggressive e meglio in grado di persistere nell'agroecosistema. Tuttavia, riflettendo sul fatto che le malerbe debbono alla loro rusticità il loro successo in condizioni di stress climatico, appare chiaro che l'uomo potrà "imitare" la natura rispondendo alla ciclica "sfida" delle malerbe con il miglioramento genetico delle colture mirato all'incremento della loro rusticità. In questo ambito il nuovo obiettivo potrebbe essere non più mirato ad aumentarne ancor più le rese, e quindi le loro esigenze ambientali, quanto ad aumentarne la plasticità alle varie condizioni climatiche. A tal fine sarà sempre più importante il reperimento e lo studio del germoplasma delle specie progenitrici delle attuali colture ("wild tipe") unitamente a quelle specie spontanee a loro ibridabili per affinità botanica. Solo in questo modo appare possibile di gestire razionalmente la flora infestante nei difficili scenari futuri, ispirandosi, non tanto a massimizzare le produzioni agricole destinate alla nostra generazione ma, piuttosto, verso la creazione di quei presupposti di sostenibilità agricola che potranno sfamare le generazioni che ci seguiranno.

## Bibliografia

- Albasser G. 1992. Ragweed pollen sampling in Gallarate (North-West of Milan) during four years (1987-1990). *Aerobiologia*, 8:31-33.
- Allaie R.R., Reshi Z., Rashid I., Wafai B.A. 2006. Effect of aqueous leaf leachate of *Anthemis cotula*- an alien invasive species on germination behaviour of some field crops. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192:186-191.
- Ashmore M. 1990. The greenhouse gases. *Trends in Ecology and Evolution*, 5:296-297.
- Ashmore M.R., Bell J.N.B. 1991. The role of ozone in global change. *Annals of Botany*, 67:39-48.
- Baessler C., Klotz S. 2006. Effects of changes in agricultural land-use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 115:43-50.
- Bailey S.W. 2003. Climate change and decreasing herbicide persistence. *Pest Management Science*, 60:158-162.
- Bais H.P., Vepachedu R., Gilroy S., Callaway R.M., Vianco J.M. 2003. Allelopathy and Exotic Plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science*, 301:1377-1380.
- Baker H.G. 1974. The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5:1-24.
- Ballaré C.L., Scopel A.L., Sanchez R.A., Radosevich S.R. 1992. Photomorphogenic processes in the agricultural environment. *Photochemistry & Photobiology*, 56: 777-788.
- Bardsley D.K., Edwards-Jones G. 2007. Invasive species policy and climate change: social perceptions of environmental change in the Mediterranean. *Environmental Science & Policy*, 10:230-242.
- Barnes P.W., Flint S.D., Caldwell M.M. 1987. Photosynthesis damage and protective pigments in plants from a latitudinal arctic/alpine gradient exposed to supplemental UV-B radiation in the field. *Arctic and Alpine Research*, 19:21-27.
- Barnes P.W., Flint S.D., Caldwell M.M. 1990. Morphological responses of crop and weed species of different growth forms to ultraviolet-B radiation. *American Journal of Botany*, 77:1354-1360.
- Barrett S.C.H., Wilson B.F. 1983. Colonizing ability in the *Echinochloa crus-galli* complex (barnyard grass). II. Seed biology. *Canadian Journal of Botany*, 61:556-562.
- Baskin Y. 1998. Winners and Losers in a Changing World. *BioScience*, 48:788-792.
- Beggs P.J. 2004. Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clinical & Experimental Allergy*, 34:1507-1513.
- Bélanger G., Rochettea P., Castonguaya Y., Bootsma A., Mongrain D., Ryanc D.A.J. 2002. Climate Change and Winter Survival of Perennial Forage Crops in Eastern Canada. *Agronomy Journal*, 94:1120-1130.
- Bennett R.N., Wallsgrave R.M. 1994. Secondary Meta-

- bolites in Plant Defence Mechanisms. *New Phytologist*, 127:617-633.
- Benvenuti S., Macchia M. 1993. Calculation of threshold temperature for the development of various weeds. *Agricoltura Mediterranea*, 123:252-256.
- Benvenuti S., Pardossi A., Serra G. 1994. Light and temperature effects on net photosynthesis of three mediterranean weeds. *Proceedings 5<sup>th</sup> EWRS Mediterranean Symposium*, Perugia, Italy, 67-73.
- Benvenuti S. 2004. Weed dynamics in the Mediterranean urban ecosystem: ecology, biodiversity and management. *Weed Research*, 5:341-354.
- Benvenuti S., Pompeiano A., Macchia M., Miele S. 2004. Evaluation of an Experimental Stimulant for Germination Induction of Hemp Broomrape (*Orobancha ramosa* L.) in Tobacco Crops (*Nicotiana tabacum* L.). *Italian Journal of Agronomy*, 8:17-28.
- Benvenuti S., Dinelli G., Bonetti A., Catizone P. 2005a. Germination ecology, emergence and host detection in *Cuscuta campestris*. *Weed Research*, 45:270-278.
- Benvenuti S., Loddo D., Macchia M. 2005b. Biodiversità delle fitocenosi spontanee presenti nell'agroecosistema: ruolo agronomico, ambientale e paesaggistico. VII Convegno Nazionale sulla Biodiversità (7CNB), 30-31 marzo 2005, Catania. *Italus Hortus*, 13:400-409.
- Benvenuti S. 2007. Weed seed movement and dispersal strategies in the agricultural environment. *Weed Biology and Management*, 7:141-157.
- Benvenuti S., Ceccarini L., Macchia M. 2007. Ruolo dell'epoca di raccolta nella disseminazione di malerbe nella coltura del mais (*Zea mays* L.) in Toscana. Atti XXXVII Convegno Nazionale della Società Italiana di Agronomia, 13-14 settembre, Catania, 47-48.
- Benvenuti S., Raspi A. 2007. Some observations on flower visitors of Mediterranean weeds. 14<sup>th</sup> EWRS Symposium, 17-21 June 2007, Hamar – Norway, 200.
- Björn L.A., Callaghan T.V., Gehrke C., Gwynn-Jones D., Lee J.A., Johanson U., Sonesson M., Buck N.D. 1999. Effects of ozone depletion and increased ultraviolet-B radiation on northern vegetation. *Polar Research*, 18:331-337.
- Brooker R.W. 2006. Plant-plant interactions and environmental change. *New Phytologist*, 171:271-284.
- Buckland S.M., Thompson K., Hodgson J.G., Grime J.P. 2001. Grassland invasions: effects of manipulations of climate and management. *Journal of Applied Ecology*, 38:301-309.
- Caldwell M.M., Teramura A.H., Tevini M., Bornman J.F., Björn L.O., Kulandaivelu G. 1995. Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial plants. *Ambio*, 24:166-173.
- Caldwell M.M., Bornman J.F., Ballaré C.L., Flint S.D., Kulandaivelu G. 2007. Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation, and interactions with other climate change factors. *Photochemical & Photobiological Science*, 6: 252-266.
- Callaway R.M., Aschehoug E.T. 2000. Invasive plants versus their new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion. *Science*, 290:521-523.
- Cavaliere D.J., Gloersen P., Parkinson C.L., Comiso J.C., Zwally H.J. 1997. Observed hemispheric asymmetry in global sea ice changes. *Science*, 278:1104 -1106.
- Chavvel B., Munier-Jolain N.M., Grandgirard D., Guertaine G. 2002. Effect of vernalization on the development and growth of *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research*, 42:166-175.
- Chen C.C., McCarl B.A. 2001. An investigation of the relationship between pesticide usage and climate change. *Climate Change*, 50:475-487.
- Chmielewski F.M., Muller A., Bruns E. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Agriculture Forestry & Meteorology*, 121:69-78.
- Collins W., Colman R., Haywood J., Manning M.R., Mote P. 2007. La fisica del cambiamento climatico. *Le Scienze*, 472:74-83.
- Cronk Q.C.B. 1995. Changing worlds and changing weeds. In: Stirton C. (ed.): *Proceedings: British Crop Protection Council Symposium: Weeds in a Changing World*. Farnham, 64:3-13.
- Cucci G., Rubino P., Caliendo A. 2003. Effects of irrigation water with different salt concentrations and SAR values on soil salinisation and sodification. *Italian Journal of Agronomy*, 7:41-48.
- Culley T.M., Weller S.G., Sakai A.K. 2002. The evolution of wind pollination in angiosperms. *Trends in Ecology & Evolution*, 17:361-369.
- Dai Q., Furness N.H., Upadhyaya M.K. 2004. UV-absorbing compounds and susceptibility of weedy species to UV-B radiation. *Weed Biology and Management*, 4:95-102.
- D'Antonio C.M., Vitousek P.M. 1992. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle and global change. *Annual Review in Ecology and Systematic*, 23:63-87.
- Darmency H., Aujas C. 1986. Polymorphism for vernalization requirements in a population of *Avena fatua*. *Canadian Journal of Botany*, 64:730-733.
- Davis M.A., Grime J.P., Thompson K. 2000. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasivity. *Journal of Ecology*, 88:528-534.
- Dawoud D.A., Sauerborn J. 1994. Impact of drought stress and temperature on the parasitic weeds *Striga hermonthica* and *Alectra vogelii* in their early growth stages. *Experimental Agriculture*, 30:249-257.
- Day T.A., Vogelmann T.C., De Lucia E.H. 1992. Are some plant life forms more effective than others in screening out ultraviolet-B radiation? *Oecologia*, 92:513-519.
- De Groot R.S., Ketner P., Ovaas, A.H., 1995. Selection and use of bio-indicators to assess the possible effects of climate change in Europe. *Journal of Biogeography*, 22:935-943.
- Dinelli G., Benvenuti S. 2003. Evoluzione della flora infestante. *Informatore Fitopatologico*, 1:28-32.
- Di Tomaso J.M. 2000. Invasive weeds in rangelands: species, impacts, and management. *Weed Science*, 48:255-265.

- Dixon F.L., Clay D.V., Willoughby I. 2006. The efficacy of pre-emergence herbicides on problem weeds in woodland regeneration. *Crop Protection*, 25:259-268.
- Dukes J.S., Mooney H.A. 1999. Does global change increase the success of biological invaders? *Trends in Ecology and Evolution*, 14:135-139.
- Easterling D.R., Meehl G.A., Parmesan C., Changnon S.A., Karl T.R., Mearns L.O. 2000. Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science*, 289:2068-2074.
- Edwards G., Clark H., Newton P. 2002 The effects of elevated CO<sub>2</sub> on seed production and seedling recruitment in a sheep-grazed pasture. *Oecologia*, 127:383-394.
- Ehleringer J.R., Monson R.K. 1993. Evolutionary and Ecological Aspects of Photosynthetic Pathway Variation Annual Review of Ecology and Systematics, 24:411-439.
- El-Ghareeb R.M. 1991. Suppression of annuals by *Tribulus terrestris* in an abandoned field in the sandy desert of Kuwait. *Journal of Vegetation Science*, 2:147-154.
- Epstein P.R. 2001. Climate change and emerging infectious diseases. *Microbes and Infection*, 3:747-754.
- Espigares T., Peco B. 1995. Mediterranean annual pasture dynamics: impact of autumn growth. *Journal of Ecology*, 83:135-142.
- Farquhara T., Meyera H., Van Beemb J. 2000. Effect of aeroelasticity on the aerodynamics of wheat. *Materials Science and Engineering*, 7:111-117.
- Fenster C.B. Armbruster W.S., Wilson P. Dudash M.R., Thomson J.D. 2004. Pollination syndromes and floral specialization. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35:375-403.
- Ferrara V. 2003. Evoluzione del clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia. *Energia, Ambiente e Innovazione*, 49:15-30.
- Fowler N. 1986. The Role of Competition in Plant Communities in Arid and Semiarid Regions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17:89-110.
- Francois L.E. 1976. Salt tolerance of prostrate summer cypress (*Kochia Prostrata*). *Agronomy Journal*, 68: 455-456.
- Frost A. López-Gutiérrez J.C., Purrington C.B. 2003. Fitness of *Cuscuta salina* (Convolvulaceae) parasitizing *Beta vulgaris* (Chenopodiaceae) grown under different salinity regimes. *American Journal of Botany*, 90:1032-1037.
- Fuhrer J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO<sub>2</sub>, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 97:1-20.
- Furness N.H., Joliffe P.A., Upadaya M.K. 2005. Competitive interactions in mixtures of broccoli and *Chenopodium album* grown at two UV-B radiation levels under glasshouse conditions. *Weed Research*, 45:449-459.
- Gadermaier G., Dedic A., Obermeyer G., Frank S., Himly M., Ferreira F. 2004. Biology of weed pollen allergens. *Current Allergy and Asthma Reports*, 4:391-400.
- Garrett K.A., Dendy S.P., Frank E.E., Rouse M.N., Travers S.E. 2006. Climate Change Effects on Plant Disease: Genomes to Ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 44: 489-509.
- Gibbson R.H., Nelson I.L., Hopkins G.W., Hamlett B.J., Memmott J. 2006. Pollinators webs, plant communities and the conservation of rare plants: arable weeds as a case study. *Journal of Applied Ecology*, 43:246-257.
- Goracci E., Goracci G. 1996. Ragweed (Ambrosia) pollen presence in Livorno, Central Italy: Aerobiological and sensitization data. *Journal of Aerobiologia*, 12:139-140.
- Goudriaan J., Zadoks J.C. 1995. Global climate change: modelling the potential responses of agro-ecosystems with special reference to crop protection. *Environmental Pollution*, 87:215-24.
- Grenz J.H., Sauerborn J. 2007. Mechanisms limiting the geographical range of the parasitic weed *Orobancha crenata*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 122:275-281.
- Grieve C.M., Suarez D.L. 1997. Purslane (*Portulaca oleracea* L.): a halophytic crop for drainage water reuse systems. *Journal of Plant and Soil*, 192:277-283.
- Grime J.P. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolution strategies. *The American Naturalist*, 111:169-1194.
- Harrington R., Woiwod I., Sparks T. 1999. Climate change and trophic interactions. *Trends in Ecology and Evolution*, 14:146-150.
- Henderson S., Dawson T.P., Whittaker R.J. 2006. Progress in invasive plant research. *Progress in Physical Geography*, 30:25-46.
- Hierro J.L., Callaway R.M. 2003. Allelopathy and exotic plant invasion. *Plant and Soil*, 256:29-39.
- Hitz S., Smith J. 2004. Estimating global impacts from climate change. *Global Environmental Change*, 14:201-218.
- Hobbs R.J. 1991. Disturbance: a precursor to weed invasion in native vegetation. *Plant Protection Quarterly*, 6:99-104.
- Hoegh O., Bairlein F. 2002. Ecological responses to recent climate. *Nature*, 416:389-395.
- Holt J., Powles S., Holtum J. 1993. Mechanisms and agronomic aspects of herbicide resistance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 44:203-229.
- Ibáñez J., Martínez J., Schnabel S. 2007. Desertification due to overgrazing in a dynamic commercial livestock-grass-soil system. *Ecological Modelling*, 205:277-288.
- Jermy T. 1984. Evolution of insect/host plant relationships. *American Naturalist*, 124:609-630.
- Johnson S.D., Dafni A. 1998. Response of bee-flies to

- the shape and pattern of model flowers: implications for floral evolution in a Mediterranean herb. *Functional Ecology*, 12:289-297.
- Joel D.M., Kleifeld Y., Losner-Goshen D., Herzlinger G., Gressel J. 1995. Transgenic crops to fight parasitic weeds. *Nature*, 374:220-221.
- Joel D.M. 2000. The long-term approach to parasitic weeds control: manipulation of specific developmental mechanisms of the parasite. *Crop Protection*, 19:753-758.
- Jordan N.R., Jannink J.L. 1997. Assessing the practical importance of weed evolution: a research agenda. *Weed Research*, 37:237-246.
- Kennedy T.A., Naeem S., Howe K.M., Knops J.M.H., Tilman D., Reich P. 2002. Biodiversity as a barrier to ecological invasion. *Nature*, 417:636-38.
- Konstantinou I.K., Zarkadis A.K., Albanis T.A. 2001. Photodegradation of selected herbicides in various natural waters and soils under environmental conditions. *Journal of Environmental Quality*, 30:121-130.
- Kropff M.J. 1988. Modelling the effects of weeds on crop production. *Weed Research*, 28:465-471.
- Laaidi M., Laaidi K., Besancenot J.P., Thibaudon M. 2003. Ragweed in France; an invasive plant and its allergenic pollen. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 91:195-201.
- Lake B.H., Shribbs J.M., Fraster T. 1998. The structure-activity relationships of the triketone class of HPPD herbicides. *Pesticide Science*, 54:377-384.
- Lavorel S. 1999. Ecological diversity and resilience of Mediterranean vegetation to disturbance. *Diversity and Distributions*, 5:3-13.
- Le Houérou H.N. 1996. Climate Change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments*, 34:133-185.
- Lee Y.S., Dickinson D.B., Schlager D., Velu J.G. 1979. Antigen E content of pollen from individual plants of short ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). *Journal of Allergy Clinical Immunology*, 63:336-339.
- Lee D.L., Knudsen C.G., Michaelley W.J., Chin H.L., Nguyen N.H., Carter C.G., Cromartie T.H., Leishman M.R., Masters G.J., Clarke I.P., Brown V.K. 2000. Seed bank dynamics: the role of fungal pathogens and climate change. *Functional Ecology*, 14:293-299.
- Lin C. 2000. Photoreceptors and Regulation of Flowering Time. *Plant Physiology*, 123:39-50.
- List G.R., Spencer G.F., Hunt W.H. 1979. Toxic weed seed contaminants in soybean processing. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 56:300-305.
- Lososová Z., Chytrý M., Cimalová Š, Kropá Z., Otýpková Z., Pyšek P., Tichý L. 2004. Weed vegetation of arable land in Central Europe: Gradients of diversity and species composition. *Journal of Vegetation Science*, 15:415-422.
- Macías F.A., Molinillo J.M.G., Varela R.M., Galindo J.C.G. 2007. Allelopathy a natural alternative for weed control, 63:327-348.
- Madronich S., McKenzie R.L., Bjorn L.O., Caldwell M.M. 1998. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 46:5-19.
- Maillet J., Lopez-Garcia C. 2000. What criteria are relevant for predicting the invasive capacity of a new agricultural weed? The case of invasive American species in France. *Weed Research*, 40:11-26.
- Maracchi G. 2000. Effetto dei cambiamenti climatici sull'agricoltura. *L'Informatore agrario*, 30:31-37.
- Martínez-Ghersa M.A., Aiub M.M.V., Ghersa C.M., Gundela P., Satorre E.H. 2004. Herbicide selection of Italian ryegrass under different levels of UVB radiation. *Journal of Environmental Quality*, 33:1177-1182.
- Mauromicale G., Restuccia G., Marchese M. 2001. Soil solarization, a non-chemical technique for controlling *Orobanche crenata* and improving yield of faba bean. *Agronomie*, 21:757-765.
- McCarty J.P. 2001. Ecological Consequences of recent Climate Change. *Conservation Biology*, 15:320-331.
- McDonald A.J., Riha S.J., Mohler C.L. 2004. Mining the record: historical evidence for climatic influences on maize *Abutilon theophrasti* competition. *Weed Research*, 44:439-445.
- McMichael A., Woodruff R., Hales S. 2006. Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, 367:859-869.
- Menzel A., Fabrian P. 1999. Growing season extended in Europe. *Nature*, 397:659-661.
- Metzger M.J., Rounsevell M.D.A., Acosta-Michlik L., Leemans R., Schröter D. 2006. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114:9-85.
- Meyer S.E., Nelson D.L., Carlson S.L. 2004. Ecological genetics of vernalization response in *Bromus tectorum* L. (Poaceae). *Annals of Botany*, 93:653-663.
- Meyerson L.A., Mooney H.A. 2007. Invasive alien species in an era of globalization. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5:199-208.
- Michaels S.D., Amasino R.M. 2000. Memories of winter: vernalization and the competence to flower. *Plant, Cell & Environment*, 23:1145-1153.
- Milbau A., Scheerlinck L., Reheul D., De Cauwer B., Nijs I. 2005. Ecophysiological and morphological parameters related to survival in grass species exposed to an extreme climatic event. *Physiologia Plantarum*, 125:500-512.
- Milly P.C.D., Wetherald R.T., Dunne K.A., Delworth T.L. 2002. Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, 415:514-517.
- Mitchell C.E., Agrawal A.A., Bever J.D., Gilbert G.S., Huffbauer R.A., Klironomos J.N., Maron J.L., Morris W.F., Parker I.M., Power A.G., Seabloom E.W., Torchin M.E., Vázquez D.P. 2006. Biotic interactions and plant invasions. *Ecology Letters*, 9:726-740.
- Mohamed K.I., Papes M., Williams R., Benz B.W., Peterson A.T. 2006. Global Invasive Potential of 10 Parasitic Witchweeds and Related Orobanchaceae. *Journal of the Human Environment*, 35:281-288.



- Mohamed A.H., Ejeta G., Butler L.G., Housley T.L. 1998. Moisture content and dormancy in *Striga asiatica* seeds. *Weed Research*, 38:257-265.
- Monnin E., Indermühle A., Dällenbach A., Flückiger J., Stauffer B., Stocker T.F., Raynaud D., Barnola J.M. 2001. Atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations over the last glacial termination. *Science*, 291:112-114.
- Morgan J.M. 1984. Osmoregulation and Water Stress in Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35:229-319.
- Munger P.H., Chandler J.M., Cothren J.T. 1987. Effect of water stress on photosynthetic parameters of soybean (*Glycine max*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) interspecific competition. *Weed Science*, 35:15-21.
- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25:239-250.
- Musselman L.J. 1980. The biology of *Striga*, *Orobanche*, and other root-parasitic weeds. *Annual Review of Phytopathology*, 18:463-489.
- Myneni R.B., Keeling C.D., Tucker C.J., Asrar G., Nemani R.R. 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 386:698-702.
- Navas M.L., Sonie L., Richarte J., Roy J. 1977 The influence of elevated CO<sub>2</sub> on species phenology, growth and reproduction in a Mediterranean old-field community. *Global Change Biology*, 3:523-530.
- Naveh Z. 1975. The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. *Vegetatio*, 29:199-208.
- Obrigawitch T.T., Kenion W.H., Kuratle H. 1990. Effect of application timing on rhizome Johnsongrass (*Sorghum halepense*) control with DPX-V9360. *Weed Science*, 38:45-49.
- O'Donnell C.C., Adkins S.W. 2001. Wild oat and climate change: The effect of CO<sub>2</sub> concentration, temperature, and water deficit on the growth and development of wild oat in monoculture. *Weed Science*, 49:694-702.
- Olesen J.E., Bindi M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, 16:239-262.
- O'Neill B.C., Oppenheimer M. 2002. Climate change – dangerous climate impacts and the Kyoto protocol. *Science*, 296:1971-1972.
- Osborne C.P., Mitchell P.L., Sheehy J.E., Woodward F.I. 2000. Modelling the recent historical impacts of atmospheric CO<sub>2</sub> and climate change on Mediterranean vegetation. *Global Change Biology*, 6:445-458.
- Oswald A., Ransom J.K. 2001. Striga control and improved farm productivity using crop rotation. *Crop Protection* 20:113-120.
- Parmesan C., Root T.L., Willig M.R. 2000. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81:443-450.
- Parmesan C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 37:637-669.
- Paszkowski W.L., Kremer R.J. 1988. Biological activity and tentative identification of flavonoid components in velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medik.) seed coats. *Journal of Chemical Ecology*, 14:1573-1582.
- Patterson D.T. 1985. Comparative eco-physiology of weeds and crops. In: Duke S.O. (ed.): *Reproduction and Ecophysiology*, 101-129. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Patterson D.T. 1995. Weeds in a changing climate. *Weed Science*, 43:685-701.
- Peñuelas J., Filella I., Comas P.E. 2000. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology*, 8:531-544.
- Pilon-Smits E.A., Terry N., Sears T., Van Dun K. 1999. Enhanced drought resistance in fructan-producing sugar beet. *Plant Physiology and Biochemistry*, 37:313-317.
- Press M.C. e Phoenix G.K. 2005. Impacts of parasitic plants on natural communities. *New Phytologist* 166:737-751.
- Ridenour W.M., Callaway R.M. 2001. The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecologia*, 126:444-450.
- Riethmuller-Haage Bastians L., Kempenaar C., Smutny V., Kropff M.J. 2007. Are pre-spraying growing conditions a major determinant of herbicide efficacy? *Weed Research*, 47:415-424.
- Rosenzweig C., Tubiello F.N. 2007. Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Journal Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12:855-873.
- Ramsey R.J.L., Stephenson G.R., Hall J.C. 2005. A review of the effects of humidity, humectants, and surfactant composition on the absorption and efficacy of highly water-soluble herbicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 82:162-175.
- Reimann J. 1992. Sodium Exclusion by *Chenopodium* species. *Experimental Botany*, 43:503-510.
- Roush M.L., Radosevich S.R. 1985. Relationships between growth and competitiveness of four annual weeds. *Journal of Applied Ecology*, 22:895-905.
- Sakai A.K., Allendorf F.W., Holt J.S., Lodge D.M., Mollofsky J. 2001. The population biology of invasive species. *Annual Review in Ecology and Systematics*, 32:305-32.
- Salisbury F.B. 1961. Photoperiodism and the flowering process. *Annual Review Plant Physiology*, 12:293-326.
- Salloum G.S., Isman M.B. 1989. Crude extracts of asteraceous weeds. *Journal of Chemical Ecology*, 15:1379-1389.
- Schneider S.H., Turner B.L., Morehouse Garriga H. 1998. Imaginable Surprise in Global Change Science. *Journal of Risk Research*, 1:165-185.
- Schoeneweiss D.F. 1975. Predisposition, Stress, and Plant Disease. *Annual Review of Phytopathology*, 13:93-211.

- Searles P.S., Flint S.D., Caldwell M.M. 2001. A meta-analysis of plant field studies simulating stratospheric ozone depletion. *Oecologia*, 127:1-10.
- Selinioti E., Manetas Y., Gavalas N.A. 1986. Cooperative Effects of Light and Temperature on the Activity of Phosphoenolpyruvate Carboxylase from *Amaranthus paniculatus* L. *Plant Physiology*, 82:518-522.
- Smith J.L., Burritt D.J., Bannister P. 2000. Shoot Dry Weight, Chlorophyll and UV-B-absorbing compounds as indicators of a plant's sensitivity to UV-B radiation. *Annals of Botany*, 86:1057-1063.
- Stappuhn H., Wall K. 1993. *Kochia scoparia* emergence from saline soil under various water regimes. *Journal of Range Management*, 46:533-538.
- Suárez S.A., De la Fuente E.B., Ghersa C.M., León R.J.C. 2001. Weed Community as an Indicator of Summer Crop Yield and Site Quality. *Agronomy Journal*, 93:524-530.
- Taylor A., Martin J., Seel W.E. 1996. Physiology of the parasitic association between maize and witchweed (*Striga hermonthica*): is ABA involved? *Experimental Botany*, 47:1057-1065.
- Thomas S.G., Frankin-Tong E.F. 2004. Self-incompatibility triggers programmed cell death in *Papaver* pollen. *Nature*, 429:305-309.
- Thompson K., Hodgson J.G., Rich T.C.G. 1995. Native and alien invasive plants: more of the same? *Ecography*, 18:390-402.
- Treutter D. 2006. Significance of flavonoids in plant resistance: a review. *Journal Environmental Chemistry Letters*, 4:147-157.
- Tungate K.D., Israel D.W., Watson D.M., Ruffy T.W. 2007. Potential changes in weed competitiveness in an agroecological system with elevated temperatures. *Environmental and Experimental Botany*, 60:42-49.
- Turner N.C. 2004. Sustainable production of crops and pastures under drought in a Mediterranean environment. *Annals of Applied Biology*, 144:139-147.
- Ungar I.A. 2001. Seed banks and seed population dynamics of halophytes. *Journal Wetlands Ecology and Management*, 9:499-510.
- Vartapetian B.B., Jackson M.B. 1997. Plant adaptations to anaerobic stress. *Annals of Botany*, 79:3-20.
- Vasey R.A., Scholes J.D., Press M.C. 2005. Wheat (*Triticum aestivum*) is susceptible to the parasitic angiosperm *Striga hermonthica*, a major cereal pathogen in Africa. *Phytopathology*, 95:1294-1300.
- Vitousek R.C., D'Antonio L., Loope L., Westbrooks R. 1996. Biological invasions as global environmental change. *American Scientist*, 84:468-478.
- Walther G.R. 2000. Climatic forcing on the dispersal of exotic species. *Phytocoenologia*, 30:409-430.
- Wayne P.S., Foster S., Connolly J., Bazzaz F.A., Epstein P.R. 2002. Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 80:669-679.
- Wesselingh R.A., Phoenix G.K., Press M.C. 2005. Effects of climate change on parasitic plants: the root hemiparasitic Orobanchaceae. *Folia Geobotanica*, 40:205-216.
- Weibull A.C., Östman Ö., Granqvist A. 2003. Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation*, 12:1335-1355.
- Williams M.C. 1980. Purposefully introduced plants that have become noxious or poisonous weeds. *Weed Science*, 7:300-305.
- Williams W.D. 2001. Salinization: unplumbed salt in a parched landscape. *Water Science & Technology*, 43:85-91.
- Willis A.J., Thomas M.B., Lawtonet J.H. 1999. Is the increased vigour of invasive weeds explained by a trade-off between growth and herbivore resistance? *Oecologia*, 120:632-640.
- Wright S.R., Coble H.D., Raper C.D. Jr., Ruffy T.W. Jr 1999. Comparative responses of soybean (*Glycine max*), sicklepod (*Senna obtusifolia*), and Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) to root zone and aerial temperatures. *Weed Science*, 47:167-174.
- Wright E.L., Erickson J.D. 2003. Incorporating catastrophes into integrated assessment: science, impacts, and adaptation. *Climatic Change*, 57:265-270.
- Wuethrich B. 2000. How climate change alters rhythms of the wild. *Science*, 287:793-795.
- Yamamoto A., Shim I.S., Fujihara S., Yoneyama T., Usui K. 2003. Physicochemical factors affecting the salt tolerance of *Echinochloa crus-galli* Beauv. var. formosensis Ohwi. *Weed Biology and Management*, 3:98-104.
- Yeonghoo K., Arihara J., Nakayama T., Nakayama N., Shimada S., Usui K. 2004. Antioxidative responses and their relation to salt tolerance in *Echinochloa oryzicola* Vasing and *Setaria viridis* (L.) Beauv. *Journal Plant Growth Regulation*, 44:87-92.
- Yuan Li. Ming Y., Xun-Linga W., Zhi-Ded H. 1999. Competition and sensitivity of wheat and wild oat exposed to enhanced UV-B radiation at different densities under field conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 41:47-55.
- Zangerl A.R., Berenbaum M.R. 2005. Increase in toxicity of an invasive weed after reassociation with its coevolved herbivore. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102:15529-32.
- Ziska L.H., Bunce J.A. 1997. Influence of increasing carbon dioxide concentration on the photosynthetic and growth stimulation of selected C<sub>4</sub> crops and weeds. *Photosynthesis Research*, 54:199-208.
- Ziska L.H., Teasdale J.R., Bunce J.A. 1999. Future atmospheric carbon dioxide concentrations may increase tolerance to glyphosate. *Weed Science*, 47:608-615.
- Ziska L.H., Teasdale J.R. 2000. Sustained growth and increased tolerance to glyphosate observed in a C<sub>3</sub> perennial weed, quackgrass (*Elytrigia repens* (L.) Nev-

- ski), grown at elevated carbon dioxide. Australian Journal of Plant Physiology, 27:159-164.
- Ziska L.H. 2001a. Changes in competitive ability between a C<sub>4</sub> crop and a C<sub>3</sub> weed with elevated carbon dioxide. Weed Science, 49:622-627.
- Ziska L.H. 2001b. My View: Weed science and public health. Weed Science, 49:437-438.
- Ziska L.H. 2003a. Evaluation of yield loss in field-grown sorghum from a C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> weed as a function of increasing atmospheric carbon dioxide. Weed Science, 51:914-918.
- Ziska L.H. 2003b. Evaluation of the growth response of six invasive species to past, present and future atmospheric carbon dioxide. Journal of Experimental Botany, 54:395-404.
- Ziska L.H., George K. 2004. Rising carbon dioxide and invasive, noxious plants: potential threats and consequences. World Resource Review, 16:427-447.
- Ziska L.H., Faulkner S., Lydon J. 2004. Changes in biomass and root:shoot ratio of field-grown Canada thistle (*Cirsium arvense*), a noxious, invasive weed, with elevated CO<sub>2</sub>: implications for control with glyphosate. Weed Science, 52:84-588.
- Ziska L.H., Sicher R.C., George K., Mohan J.E. 2007. Rising Atmospheric Carbon Dioxide and Potential Impacts on the Growth and Toxicity of Poison Ivy (*Toxicodendron Radicans*). Weed Science, 55:288-292.
- Zhu J.K. 2001. Plant salt tolerance. Trends in Plant Science, 6:66-71.
- Zimmerman C.A. 1976. Growth characteristics of weediness in *Portulaca oleracea* L. Ecology, 57:964-974.



# L'ortoflorofrutticoltura italiana al cospetto delle nuove opportunità offerte dalla genetica e dalla genomica di settore

Andrea Allavena<sup>1</sup>, Lorenzo Corino<sup>2</sup>, Roberto Quarta<sup>3</sup>, Giuseppe L. Rotino<sup>4</sup>,  
Riccardo Velasco<sup>\*5</sup>

<sup>1</sup>CRA – Dipartimento di Biologia e Produzione Vegetale, Unità di Ricerca per la Floricoltura e le Specie Ornamentali

Corso degli Inglesi 508, 18038 Sanremo (IM)

<sup>2</sup>CRA – Dipartimento di Biologia e Produzione Vegetale, Centro di Ricerca per l'Enologia  
Via Pietro Micca 35, 14100 Asti

<sup>3</sup>CRA – Dipartimento di Biologia e Produzione Vegetale, Centro di Ricerca per la Frutticoltura  
Via Fioranello 52, 00134 Roma

<sup>4</sup>CRA – Dipartimento di Biologia e Produzione Vegetale, Unità di Ricerca per l'Orticoltura  
Via Paullese 28, 26836 Montanaso Lombardo (LO)

<sup>5</sup>Istituto Agrario San Michele all'Adige – Fondazione E. Mach, Dipartimento di Genetica e Biologia Vegetale  
Via E. Mach 1, 38010 San Michele all'Adige (TN)

Società Italiana di Genetica Agraria

---

## Riassunto

L'orto-floro-frutticoltura italiana ha l'occasione di rilanciare la ricerca italiana nel settore della genomica dopo una fruttuosa serie di rilevanti investimenti che hanno portato al sequenziamento del genoma della vite, ed oggi puntano al genoma del pesco, del melo e di altre specie economicamente rilevanti. La genomica vegetale riscatta una fuoriuscita anzitempo dell'impegno italiano sui genomi, e pone le basi per una ricerca avanzata che necessita ulteriori sforzi per vedere il completamento della propria opera con le applicazioni delle conoscenze acquisite nel miglioramento genetico assistito e nelle applicazioni biotecnologiche. Esempi di rilevante successo realizzati da istituti di ricerca italiani nel settore vengono qui descritti.

*Parole chiave:* sequenziamento di genomi, biotecnologie vegetali, ortoflorofrutticoltura, genomica vegetale.

## Summary

ITALIAN HORTICULTURE, FRUITCULTURE AND FLORICULTURE MAY GAIN FUNDAMENTAL ROLE BY NEW OPPORTUNITIES OFFERED BY GENETICS AND GENOMICS

Horticulture, fruitculture and floriculture in Italy have the opportunity to highlight the Italian research on plant genomics, following a fruitful series of investments leading to the sequencing of the grapevine genome, and today to the peach and apple genomes, with further species of economical interest that will follow. Plant genomics recover the Italian role of Italy on genomics, and pose the basis for advanced research which needs further efforts to see the workflow completed, from assisted breeding to applied biotechnology. Successful example of research work made by Italian institutes in plant genomics of horticulture, fruitculture and floriculture will follow.

*Key-words:* genome sequencing, plant biotechnology, horti-fruit-floriculture, plant genomics.

\* Autore corrispondente: tel.: +39 0461 615314; fax: +39 0461 615372. Indirizzo e-mail: riccardo.velasco@iasma.it

## Introduzione

Tra le varie branche dell'agricoltura italiana spetta curiosamente a questo ampio settore, l'ortoflorofrutticoltura, rilanciare la ricerca italiana nelle genetica agraria e più propriamente nella genomica vegetale. Perso il treno nella genomica umana, quando con estremo rammarico del premio Nobel Dulbecco, l'Italia rinunciò al sequenziamento del cromosoma Y dell'uomo, la ricerca nazionale non è riuscita ad agganciare le grandi imprese del settore vegetale che hanno rappresentato altre pietre miliari nella ricerca internazionale quali il sequenziamento del genoma dell'*Arabidopsis*, la pianta modello per i genetisti vegetali al pari della drosofila per i genetisti animali, o la costituzione e lo sfruttamento per scopi conoscitivi delle grandi collezioni di mutanti per studi di *reverse genetics* che hanno portato alle maggiori scoperte degli ultimi dieci anni. Dicevamo sopra, curiosamente, poiché l'ortoflorofrutticoltura non rappresenta quei settori agrari di maggiore forza e dimensione quali il cerealicolo o lo zootecnico, bensì settori talvolta di nicchia, talvolta di forte interconnessione paesaggistico-turistica che rende il nostro Paese una grande attrazione turistica ma non certo un Paese fortunato per orografia e caratteristiche dei terreni poco adatti ad una agricoltura intensiva e remunerativa. La peculiarità del nostro Paese, forte di un clima invidiabile e di una piccola imprenditoria diffusa, ha nell'ortoflorofrutticoltura un punto di forza e proprio da questo settore viene l'occasione del rilancio, che non a caso ha visto, da parte di alcuni centri di ricerca affacciati del panorama internazionale, un forte impegno sia nel reperire i fondi che nello sfruttamento pieno di questa occasione. Di seguito si descriveranno alcuni dei risultati che hanno portato la ricerca italiana del settore a recuperare una certa credibilità con risultati importanti che vanno dalla partecipazione italiana al sequenziamento del genoma della vite, che ha visto addirittura l'Italia protagonista in due progetti indipendenti, ma complementari, raggiungere entrambi nel 2007 il sequenziamento del genoma di due genotipi di vite, uno coltivato e l'altro omozigote, con grandi potenzialità di applicazione nel miglioramento genetico della specie; ma non solo, prosegue con la realizzazione di altri progetti di sequenziamento che vedono gli istituti italiani protagoni-

sti quali il sequenziamento del genoma del melo e del pesce, che si affiancano al sequenziamento del cromosoma 12 del pomodoro e del cromosoma 5 del grano recentemente finanziati dai Ministeri dell'Agricoltura e dell'Università e Ricerca Scientifica. A queste eccezionali esperienze si aggiungono le competenze nella genomica funzionale applicata ad alcuni ortaggi, su tutti la melanzana e il pomodoro, ma anche alle piante ornamentali, le quali presentano una plasticità straordinaria e rappresentano una forte peculiarità del nostro Paese.

## Risultati

Negli ultimi 4-5 anni il panorama della ricerca italiano, pur soffrendo croniche carenze di finanziamento, ha raggiunto alcuni obiettivi che possono rilanciare la ricerca italiana nel mondo, se opportunamente sostenuti. Di seguito si riportano alcuni esempi di rilevanti risultati ottenuti da centri di ricerca italiani nella genetica e nella genomica vegetale, sottolineando che sono solo alcuni dei risultati presentabili in un contesto relativamente limitato e che vogliono rappresentare solo alcuni esempi tra i numerosi disponibili.

### *Floricoltura*

Le specie ornamentali sono molto numerose ed a parte Rosa, Crisantemo, Lillium e Garofano si caratterizzano per possedere ciascuna una modesta importanza economica, complessiva e nel settore. Ciascuna specie mostra un'ampia variabilità genetica, fornisce prodotti distinti (es.: fiore reciso o pianta in vaso) e può essere impiegata per fini diversi (pianta da appartamento, giardino, aree pubbliche, aree degradate, ecc.). Le specie ornamentali si caratterizzano inoltre per avere strategie riproduzione differenziate e possono manifestare poliploidia, autoincompatibilità, sterilità. Sul mercato sono considerate un bene voluttuario e come tali si comportano nei confronti della domanda/offerta. Il consumatore esige un prodotto perfetto, chiede nuove varietà e cambia rapidamente il gusto. Le informazioni scientifiche sulle specie ornamentali sono generalmente scarse, a parte alcune eccezioni. La Rosa ad esempio è considerata una specie modello nella famiglia delle *Rosaceae* in conseguenza del suo genoma relativamente piccolo

ed è la specie più studiata dal punto di vista genetico; per essa si dispone una mappa genetica e di marcatori associati a caratteri di rilevante interesse. Le basi molecolari di caratteri come il profumo, l'attitudine alla rifioritura e la resistenza ad alcune malattie come il blackspot sono state investigate in dettaglio. Altre specie su cui si è concentrata l'attenzione dei ricercatori sono: *Anthriscum* (forma dei fiori), *Petunia* (espressione di transgeni), *Pharbitis* (induzione della fioritura), *Antirrhinum*, *Phalaenopsis* e *Clarkia* (controllo del profumo).

Nelle piante ornamentali, obiettivi di ricerca, che trovano nelle biotecnologie lo strumento principale di lavoro, sono il controllo dell'epoca e dell'abbondanza di fioritura, la modifica della forma e del colore dei fiori, l'allungamento della vita dei fiori recisi e delle piante in vaso in ambiente domestico, il controllo della crescita e dell'architettura della pianta anche in condizioni di elevata densità di coltivazione e di scarsa intensità luminosa, il miglioramento del profumo della vegetazione e dei fiori, la resistenza agli stress.

In contrasto con le potenzialità offerte dalle biotecnologie, nel campo delle specie ornamentali, la ricerca italiana nel settore si è mostrata piuttosto limitata. L'unica eccezione è rappresentata dalle colture *in vitro*, utilizzate da numerosi laboratori privati e pubblici, finalizzate alla propagazione delle nuove costituzioni, al risanamento da virus ed al mantenimento di materiali in assenza di patogeni. Tra le applicazioni specifiche delle colture *in vitro* sono da ricordare la coltura di antere di Anemone utilizzata per la produzione di linee pure androgenetiche da impiegare nella costituzione di ibridi F1 (Laura et al., 2006a), l'induzione di hairy roots e la produzione di biomassa da destinare all'estrazione di metaboliti secondari (Bertoli et al., 2008).

Agli inizi degli anni Novanta è stata avviata una consistente attività di trasformazione genetica. La collaborazione tra laboratori nazionali diversi ha portato alla costituzione di genotipi di *Osteospermum* con modificata architettura della pianta mediante espressione dei geni *rol* (Giovannini et al., 1999) e resistenti a TSWV mediante integrazione del gene del nucleocapsid del virus stesso (Vaira et al., 2000). In *Petunia* sono stati ottenuti genotipi tolleranti a *Botrytis cinerea* mediante espressione del gene *ech-42* di *Trichoderma harzianum* (Esposito et al.,

2000). Successivamente i geni *rol* sono stati utilizzati per ridurre la taglia della pianta anche in *Limonium* (Mercuri et al., 2001a) mentre genotipi di *Osteospermum* resistenti agli stress sono stati ottenuti sovra esprimendo il gene *Myb4* di riso. (Monica Mattana, comunicazione personale). Nonostante la rilevanza dei risultati conseguiti, questi lavori non hanno portato a ricadute pratiche per il clima anti OGM lievitato in Italia e nell'Unione Europea. Ben maggiore clamore ha avuto sui media l'ottenimento di fiori fluorescenti in conseguenza dell'espressione in *Osteospermum* ed *Eustoma* del gene *GFP* (Mercuri et al., 2001b). Al momento l'attività d'ingegnerizzazione delle ornamentali è limitata agli studi di genomica funzionale.

I marcatori molecolari sono una tecnologia largamente utilizzata nei laboratori di ricerca pubblici. L'importanza delle informazioni e delle utilizzazioni dei marcatori molecolari comincia ad essere sentita anche da parte delle aziende. In conseguenza della loro indipendenza dai fattori ambientali, i marcatori molecolari sono stati utilizzati nelle specie ornamentali principalmente per la distinzione varietale. L'utilizzazione di AFLP in Anemone ha permesso di distinguere le 5 varietà in prova e raggrupparle in insiemi coerenti con le informazioni disponibili sull'origine delle varietà stesse (Laura et al., 2006b). Analogamente, marcatori molecolari di varia natura hanno confermato la netta separazione delle varietà di *Hibiscus rosa sinensis* dalle varietà di *H. syriacus*. *H. arnotianus* parentale di *H. rosa sinensis* è stato posizionato dall'analisi in una sottobranca separata ma interna al gruppo delle cvs di *H. rosa sinensis* (Bruna et al., 2008). La capacità discriminante e l'efficacia di marcatori AFLP, STMS ed EST è stata valutata per distinguere varietà di Azalea (Scariot et al., 2007). Marcatori molecolari di varia natura sono stati utilizzati anche in *Osteospermum* (Faccioli et al., 2000), Rosa (Scariot et al., 2006), Oleandro (Portis et al., 2004) per la distinzione varietale, in Mirto per la distinzione di genotipi provenienti da varie aree del bacino del mediterraneo (Bruna et al., 2007), in *Limonium* per la distinzione delle specie e degli ibridi derivati (Bruna et al., 2005), in *Alstroemeria* per la verifica dell'origine ibrida degli embrioni (De Benedetti et al., 2000), in Garofano per la selezione assistita di individui resistenti alla senescenza (De Benedetti et al., 2006).

Le ricerche di geni coinvolti in caratteri d'interesse ornamentale e la comprensione della loro funzione è ancora una frontiera per la ricerca biotecnologica italiana sulle piante ornamentali. Le due ricerche principali nel settore riguardano entrambe studi legati alla comprensione della riproduzione vegetativa. Una prima ricerca si è posta l'obiettivo di comprendere gli eventi molecolari precoci che avviano la formazione di plantule dai bordi delle foglie di *Kalanchoe xoughtonii*. A tal fine sono stati attivati due approcci: a) preparazione e screening di una libreria sottrattiva; b) identificazione di ortologhi di geni omeotici della famiglia *KNOX*. La libreria sottratta (Regis et al., 2006) ha permesso di identificare 270 sequenze differenzialmente espresse successivamente classificate in classi funzionali sulla base delle analogie con sequenze presenti in banca dati. Una delle sequenze identificata con la libreria, codificante un gene BELL like, è stata depositata in banca dati (EU622857). Il sequenziamento di geni *KNOX* ha portato all'identificazione di quattro ortologhi di classe 2 (accession number: EU 272787, EU272788, EU 272789, EU272790) ed uno di classe 1 (accession number: EU240661). Studi di espressione genica hanno permesso di verificare che la sovraespressione del gene *KxhKN5* (classe 1) riduce la taglia delle piante e modifica drasticamente la forma delle foglie: da lanceolate a palmate. La sovraespressione della sequenza parziale di uno dei geni di classe 2 riduce la taglia della pianta ed in alcuni dei cloni transgenici è drasticamente ritardata l'emissione dello scapo fiorale. Una seconda ricerca, nel settore della genomica, ha permesso di identificare e sequenziare parzialmente geni della famiglia *SERK* (*Somatic Embryogenesis Receptor Kinase*) di *Cyclamen persicum*: *CpSERK1* e *CpSER* (accession number: EF661828, EF672247, DQ350614). Mediante ibridazione *in situ*, è stata dimostrata l'espressione di *CpSERK1* nelle masse proembriogeniche di *Cyclamen* e negli apici radicali (Savona et al., 2005).

### Orticoltura

**Melanzana.** I risultati conseguiti presso il CRA-Unità di Ricerca per l'Orticoltura di Montanaso Lombardo in collaborazioni con altre istituzioni di ricerca nazionali ed estere nell'ambito della pluriennale attività di miglioramento ge-

netico della melanzana (*Solanum melongena*) hanno riguardato l'utilizzazione di tecniche biotecnologiche finalizzate primariamente all'ottenimento di materiale genetico con caratteri innovativi. Tecniche di colture *in vitro* (rigenerazione di piante intere da espianti somatici, cellule in sospensione, microspore, trasformazione genetica, protoplasti e fusione di protoplasti) e molecolari (*fingerprinting* con differenti tipi di marcatori, MAS, e recentemente sviluppo di mappe molecolari, silenziamento genico, genetica funzionale) sono state spesso utilizzate in combinazione nell'ambito dei programmi di breeding rappresentando passaggi indispensabili per il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

La tecnica di trasformazione genetica ha permesso di ingegnerizzare i caratteri di resistenza all'insetto *Leptinotarsa decemlineata* (dorifora) ed il carattere partenocarpia (Arpaia et al., 1997; Rotino et al., 1997). Linee ed ibridi F1 di melanzana esprimenti questi due caratteri sono stati sottoposti ad accurata validazione in pieno campo e/o serra (Acciarri et al., 2000; Donzella et al., 2000; Acciarri et al., 2002; Mennella et al., 2005).

Introggressione della resistenza a *Fusarium oxysporum* e di altri caratteri di utilità agronomica da specie affini è stata ottenuta mediante ibridazione somatica con *S. aethiopicum* e *S. integrifolium*. Gli ibridi somatici tetraploidi hanno mantenuto la resistenza alla fusariosi e mostrato, in generale, tratti fenotipici intermedi o maggiormente simili alla specie affine a melanzana. Allo scopo di incorporare gli ibridi somatici nel programma di miglioramento genetico, la coltura d'antere si è dimostrata essere una tecnica cruciale per ottenere piante androgenetiche diaploidi, quindi potenzialmente incrociabili con la melanzana in quanto hanno il medesimo livello di ploidia. La popolazione di piante diaploidi ha mostrato segregazione di caratteri fenotipici e molecolari (Rizza et al., 2002). Ulteriori indagini, utilizzando marcatori ISSR ed isoenzimi, hanno permesso di evidenziare che almeno parte della variabilità dei diaploidi era generata da effettiva ricombinazione genetica tra i genomi di melanzana coltivata e *S. aethiopicum* (Toppino et al., 2008a). La dimostrazione dell'esistenza di scambi di materiale genetico tra le due specie oltre ad essere un requisito per l'introggressione della resistenza a fusariosi nel pool genetico di *S. melongena* ha



evidenziato anche la concreta possibilità che, nelle numerose linee d'introggressione finora sviluppate, possano essere stati introgressiti dalle specie affini anche altri caratteri, riguardanti ad esempio la composizione biochimica del frutto.

Le piante diaploidi resistenti a fusariosi sono state sottoposte a vari cicli (5-6) di reintrogressione con linee di melanzana possedenti diverse tipologie del frutto; tali progenie da reintrogressione sono state mantenute mediante autofecondazioni. Durante l'allevamento in campo è stata eseguita selezione sia per resistenza a *Fusarium* sia per caratteristiche morfologiche che ha portato all'ottenimento di linee avanzate d'introggressione di pregio con fenotipo simili a quelli dei genotipi ricorrenti. È utile sottolineare che tale materiale genetico ha suscitato l'interesse di alcune ditte sementiere che stanno cofinanziando parte dell'attività di breeding applicato. Il fingerprinting molecolare mediante marcatori ha evidenziato che loci SSR e COSII delle specie affini sono stati stabilmente integrati nel genoma delle linee d'introggressione. Le linee d'introggressione hanno anche permesso di dimostrare che la resistenza a *Fusarium* derivata da *S. aethiopicum* e *S. integrifolium* è controllata da un singolo gene dominante e che i geni delle due specie affini risultano essere allelici. Il locus di resistenza a *Fusarium* è stato denominato *Rfo-sal*. L'analisi BSA ha permesso d'individuare marcatori molecolari CAPS codominanti associati al locus *Rfo-sal*, questi marcatori sono utilmente impiegati nella selezione assistita per resistenza a fusariosi (Toppino et al., 2008b). Con lo scopo di eseguire il mappaggio fine del locus *Rfo-sal* e di migliorare l'efficienza del miglioramento genetico è in corso di costituzione una popolazione di mappa segregante sia per resistenza a *Fusarium* sia per importanti caratteri agronomici e tecnologici. Marcatori molecolari polimorfici anche tra i parentali di mappa (Stagel et al., 2008), attualmente in fase di sviluppo, verranno posizionati nella popolazione segregante per la costruzione di una mappa genetica.

Recentemente sono stati avviate ricerche di genetica funzionale e di proteomica per individuare geni e proteine coinvolti nel meccanismo di resistenza a *Fusarium* (Mennella et al., 2008) e di tolleranza ad un'altra importante micosi vascolare causata da *Verticillium dahliae*.

## Frutticoltura

**Pesco.** Le specie da frutto sono le piante su cui si è maggiormente concentrato l'interesse degli istituti di ricerca italiani che ha prodotto i maggiori progressi degli ultimi anni. Le Rosaceae, con il pesco ed il melo, come vedremo sotto, sono le specie regine nelle quali si è focalizzata l'attività di genomica più avanzata.

Nel pesco, sono state realizzate numerose librerie di sequenze codificanti (cDNA) che sono state utilizzate per produrre sequenze brevi di geni espressi (ESTs) codificate e organizzate in banche dati come quella gestita dal Parco Tecnologico Padano ed altri istituti internazionali (Jung et al., 2008). Presso il CRA di Frutticoltura di Roma, oltre ad aver partecipato alla realizzazione di sequenze EST, sono state realizzate numerose mappe molecolari necessarie per associare tratti fenotipici e regioni del genoma del pesco e di altri *Prunus*. In particolare, proprio questa grande omologia tra le varie specie di questo genere e la loro interfertilità (come ad es. pesco-mandorlo) è possibile interpolare i dati delle analisi dei genomi e realizzare mappe genetiche da incroci interspecifici (Testolin et al., 2000; Dettori et al., 2001; Shulaev et al., 2008). Grazie a questa attività alla quale ha partecipato attivamente l'istituto del CRA sono stati mappati quasi 30 caratteri monogenici o quantitativi. Inoltre si è potuto approfondire lo studio della funzione di diversi geni, su tutti i percorsi metabolici dei composti aromatici nel pesco (Horn et al., 2005).

Le popolazioni di incrocio utilizzate sono una fonte inesauribile di marcatori molecolari (siti specifici ed identificabili sui cromosomi), i quali, una volta correlati con tratti fenotipici specifici, possono essere proposti come strumenti per ridurre i tempi necessari al miglioramento genetico convenzionale per l'ottenimento di nuove cultivar, applicando la selezione assistita da marcatori.

Dalle sopraccitate popolazioni di incrocio sono stati individuati QTLs (Quantitative Trait Loci), loci responsabili di tratti quantitativi responsabili della qualità del frutto e della resistenza a malattie, tra questi: pezzatura frutto, epoca fioritura, diametro del tronco, lunghezza internodi, resistenza oidio, epoca di maturazione, sovracoloro della buccia, contenuto solidi solubili.

Strumenti genomici importanti quali uno dei primi microarray a DNA di piante da frutto, contenenti 4.800 geni di pesco (Vecchietti A., personal communication). I microarrays consentono di approfondire lo studio in maniera contemporanea dell'espressione di molti (idealmente tutti) geni confrontando l'espressione genica di tessuti diversi per studiare le specificità di espressione di classi di geni, o anche genotipi diversi in condizioni di crescita diverse o in condizioni diverse quali sotto stress biotico o abiotico.

*Melo.* La scuola di Bologna ha aperto la strada all'avvento della genomica nelle Rosaceae in Italia, costruendo una rete di rapporti internazionali che è culminata con il risultato più eclatante nell'isolamento e clonaggio del gene per la resistenza alla *Venturia inaequalis* dal *Malus floribunda* (*Vf*) ed il suo inserimento nel background genetico del *Malus domestica* dimostrando il ruolo nella resistenza al patogeno da parte della proteina codificata da questo gene (Belfanti et al., 2004; fig. 1). Si può forse ricondurre a questo successo che ha visto uno dei gruppi italiani più attivi nel miglioramento del melo contribuire in maniera determinante in un tipico progetto di genomica applicata, basandosi sullo sviluppo di mappe e marcatori molecolari, sull'isolamento di una regione cromosomica ben definita, con un arricchimento di marcatori molecolari intorno al gene target e chiusura della regione poi isolata in grandi frammenti di DNA genomico (cloni BAC) contenenti la sequenza codificante il gene *Vf* (Patocchi et al., 1999). La trasformazione genetica in un contesto omologo come il *Malus domestica* ha poi confermato la funzione del gene nel migliore modo possibile, senza dover interpretare il ruolo di questo gene in sistemi modello come l'*Arabidopsis*, metodi estremamente utili ma di minor valore rispetto al confermare l'attività di un gene in una specie appartenente al genere da dove il gene è stato isolato (Belfanti et al., 2004).

Rispetto al pesco, il melo ha avuto apici di un certo successo come quello appena descritto quale risultato di un forte impegno europeo con finanziamenti a progetti di genomica del melo in tre programmi europei consecutivi (<http://users.unimi.it/hidras>). Queste collaborazioni europee, che hanno visto l'Università di Bologna,

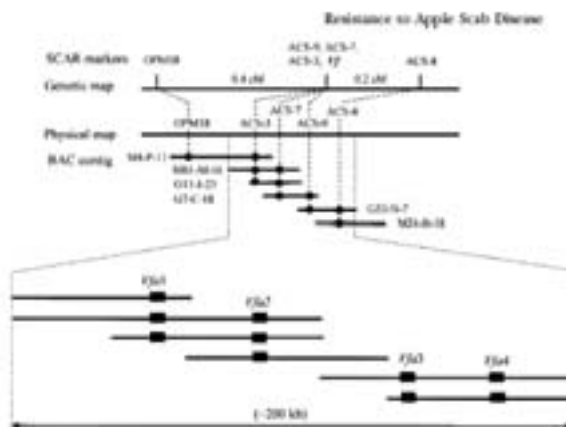


Figura 1. Descrizione della regione fisica contenente il gene Vf per la resistenza alla ticchiolatura in melo (da Xu and Korban 2002, Genetics, 162:1995-2006. Copyright 2002 by the Genetics Society of America).

Figure 1. Description of the physical map of the Vf region, containing the trait of the resistance to apple scab in apple (from Xu and Korban 2002, Genetics, 162:1995-2006. Copyright 2002 by the Genetics Society of America).

ma anche Milano e il CRA di frutticoltura di Roma, partecipi nella crescita di una scuola di genomica delle Rosaceae in Italia. Di fatto, l'attività di genetica molecolare e di genomica del melo ha visto crescere le conoscenze genetiche della specie che ad oggi si possono apprezzare nelle numerose mappe genetiche pubblicate negli ultimi dieci anni, nella mappa fisica (allineamento di cloni BAC; Han et al., 2007) di una varietà di melo coltivata, nelle regioni isolate quali responsabili di tratti monogenici (Erdin et al., 2006) o QTLs (tratti quantitativi) di importanza economica rilevante (Liebhard et al., 2004; Antofie et al., 2007). I tempi erano quindi maturi per il sequenziamento del genoma di questa specie, iniziato dall'Istituto agrario di San Michele all'Adige con il sequenziamento del genoma del varietà Golden delicious e proseguito nell'ambito di una collaborazione internazionale che vede la partecipazione dell'INRA di Angers, dell'Istituto dell'HortResearch neozelandese, dell'Università di Western Cape sudafricana, e dell'Università di Washington State americana. Il progetto è tuttora in corso e si prevede la pubblicazione della sequenza del melo tra la fine dell'anno 2008 e l'inizio del 2009. Tale disponibilità di dati rappresenterà una svolta epocale nel miglioramento genetico della specie e gli strumenti prodotti, quali i marcatori mole-

colari adesso possibili all'interno delle sequenze codificanti predette sulla base della ricostruzione di tutti i 17 cromosomi della specie, sosterranno programmi di miglioramento genetico italiani già di rilevante importanza ma ancora più robusti grazie alle recenti conoscenze prodotte.

**Vite.** Per ultima, non certo per ordine di importanza, merita un approfondimento la vite in quanto nel corso del 2007 ben due genomi sono stati resi pubblici, da due attività di sequenziamento tra loro complementari, che hanno visto gruppi italiani di Università e Istituti di Ricerca nazionali primeggiare in un settore, la genomica, dove l'Italia aveva finora avuto un ruolo decisamente da comprimaria. Nell'estate del 2007 (Jaillon et al., 2007) un primo lavoro ha presentato un importante contributo a quello che forse può essere descritto come il maggiore progresso dell'anno nelle piante da frutto, con la pubblicazione della sequenza di un genotipo altamente omozigote di *Vitis vinifera*, seguito, nel dicembre del 2007, dalla pubblicazione del secondo lavoro sul genoma del Pinot Nero, sempre della vite europea coltivata (fig. 2; Velasco et al., 2007). Questi due lavori hanno entrambi rivelato la presenza nel genoma della specie di circa 30.000 geni di cui oggi si conosce la posizione sui 19 cromosomi della specie. Nel primo progetto di sequenziamento sono in corso analisi di annotazione fine delle sequenze codificanti attese per la fine dell'anno, nel secondo caso gli oltre 30.000 geni sono stati classificati con sistemi automatici e ci si è concentrati soprattutto nella struttura del genoma di una specie coltivata, altamente eterozigote, e ricca di differenze (polimorfismi) nel confronto tra i due aplotipi (i genomi presenti nei cromosomi omologhi della vite) identificati in oltre 2 milioni di singoli nuclotidi (fig. 3; Troggio et al., 2007; Velasco et al., 2007) e quasi un milione di inserzione e delezioni nel confronto tra i due genomi. Si è visto addirittura come, all'interno di una varietà coesistono due genomi che tra loro differiscono di oltre l'11% in termini di sequenze presente nell'uno ed assenti nell'altro, rivelandoci come nelle differenze esistenti tra due varietà di una specie come la vite, ad esempio il Cabernet Sauvignon e il Pinot Nero esistono porzioni del genoma che sono completamente assenti in una varietà e presenti nell'altra (Zharkikh et al., 2008). Queste differenze

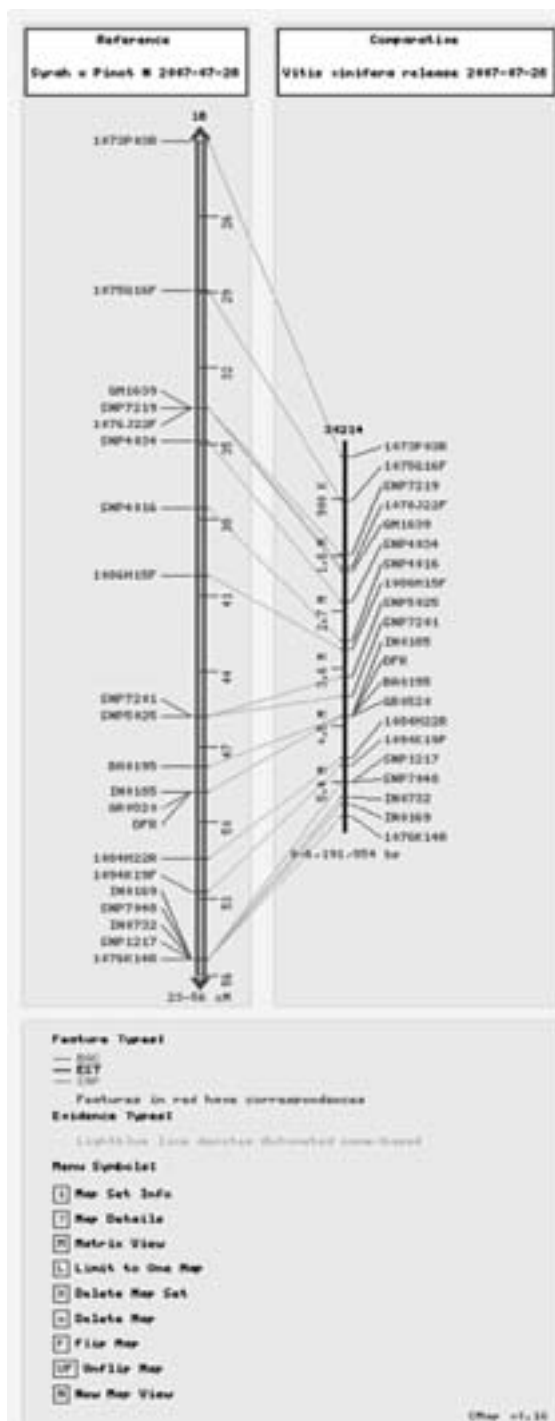


Figura 2. Comparazione tra mappa genetica e sequenza genomica nel cromosoma 18 (<http://genomics.research.iasma.it>, da Zharkikh et al., 2008. Copyright 2008 by the Journal of Biotechnology).

Figure 2. Comparison between the genetic map and the genome sequence on chromosome 18 (<http://genomics.research.iasma.it>, from Zharkikh et al., 2008. Copyright 2008 by the Journal of Biotechnology).

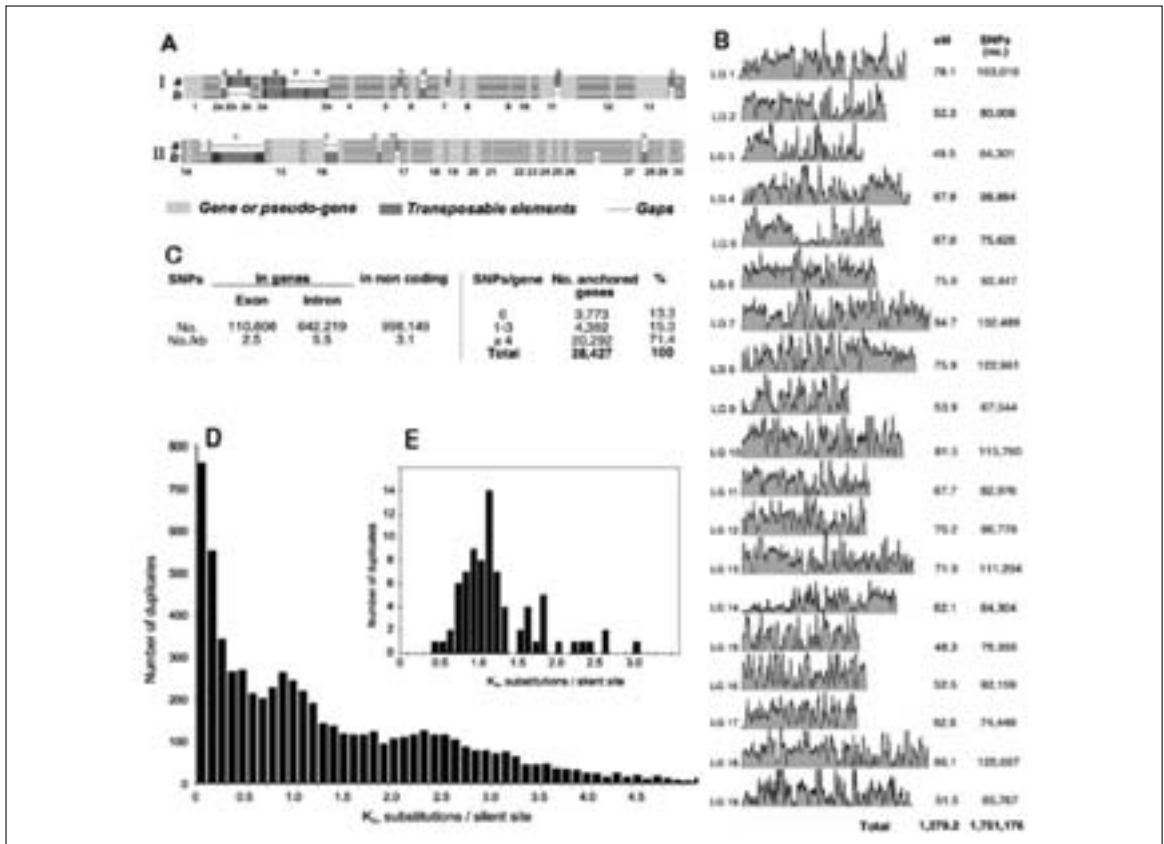


Figura 3. Particolari del genoma del Pinot Nero. A) differenze tra i due aplotipi nei due cromosomi omologhi del Pinot; B) rappresentazione grafica della distribuzione dei polimorfismi a singolo nucleotide (SNP) tra i due aplotipi e numero di SNPs totale per cromosoma; C) numero SNPs in esoni, introni, sequenze intergeniche; distribuzione degli SNPs nelle sequenze codificanti; D ed E) analisi delle sostituzioni aminoacidiche utilizzate per studi filogenetici. (da Velasco et al., 2007. Copyright 2007 by PLoS ONE, 2, 12:e1326).

Figure 3. Details of the Pinot Noir genome: A) differences between the two haplotypes of the two homologous chromosomes in Pinot; B) graphic representation of the polymorphism distribution of single nucleotides (SNPs) between the two haplotypes and total number of SNPs per chromosome; C) number of SNPs in exons, introns and intergenic sequences; distribution of SNPs in the coding sequences; D and E) analysis of the aminoacidic substitutions used for phylogenetic analysis (from Velasco et al., 2007. Copyright 2007 by PLoS ONE, 2, 12:e1326).

possono chiaramente giocare ruoli fondamentali nelle diverse caratteristiche vinificatorie delle due varietà ed aiutare enormemente nel futuro del miglioramento genetico (Troggio et al., 2008).

A questo proposito vale forse la pena sottolineare che nel settore viticolo non abbiamo richieste di rinnovo varietale come per esempio nel settore della mela o delle drupacee. Questo anche per l'utilizzo del prodotto uva non tanto nel consumo diretto quanto nella produzione di lavorato (vino) che subisce notevoli trasformazioni che, si pensa, abbiano maggiore importanza del prodotto uva. È però un fatto che solo

da buona uva si può produrre buon vino, e che a conti fatti, le varietà di maggiore diffusione mondiale si contano sulla punta delle dita, e che queste vengano utilizzate spesso per migliorare o stabilizzare il prodotto lavorato di varietà meno stabili o più scadenti (ENOSIS, 2007). Alla luce di ciò, presentare un programma di miglioramento genetico e di costituzione di nuove varietà utilizzando l'enorme mole di dati che il sequenziamento del genoma della vite ha prodotto si ritiene che possa essere una proposta che avrà esiti rivoluzionari anche nel campo della viticoltura.

Un discorso a parte merita quanto può es-

sere fatto nel campo del miglioramento genetico dell'uva da tavola, che è da sempre in mano a Stati Uniti o Israele, gli unici stati che hanno investito seriamente in questa attività che li vede dominare la scena. La viticoltura italiana può riprendersi un ruolo importante nel settore di costituzione di nuove varietà se saprà utilizzare la mole di dati e competenze che si sono sviluppate grazie anche e soprattutto a queste due iniziative di elevato profilo che hanno definitivamente sancito il ruolo di centri di genomica e genetica vegetale italiani nel panorama internazionale.

## Conclusioni

Gli esempi riportati ci danno un'idea di quella che è stata l'evoluzione della ricerca nel settore orto-floro-frutticolo italiano. Il panorama è tutt'altro che deserto dal punto di vista delle idee e delle competenze. Anzi, quando adeguatamente finanziato, ha dimostrato che anche in Italia si può realizzare un'ottima ricerca che darà frutti importanti nel settore del miglioramento genetico dei prossimi anni. La crescita di giovani motivati e competenti è forse il risultato migliore. Questi progetti hanno contribuito fortemente alla loro crescita e alla loro produttività scientifica.

È evidente che il settore orto-floro-frutticolo rappresenti una parte importante dell'agricoltura italiana, e che possa divenirne il fiore all'occhiello, anche perché, a causa degli sviluppi del mercato globale, potremo vedere un ruolo importante per l'Italia solo se i suoi prodotti saranno sempre chiaramente distinguibili per qualità e tracciabilità, più che per l'elevata produzione. In quest'ottica, la ricerca italiana nel settore può e deve giocare un ruolo determinante nel contribuire al miglioramento degli aspetti qualitativi dei prodotti ad alto valore nutritivo quali ortaggi e frutta, ed a proporre novità caratterizzanti il nostro panorama varietale con novità commercialmente apprezzabili.

## Bibliografia

### Floricoltura

Bertoli A.A., Giovannini A., Ruffoni B., Di Guardo A., Spinelli G., Mazzetti M., Pistelli L. 2008. Bioactive constituent production in St. John's Wort in vitro

hairy roots – regenerated plant lines. *J. Agriculture and Food Chemistry*, 56, 13:5078-82.

Bruna S., Burchi G., De Benedetti L., Mercuri A., Pecchioni N., Bianchini C., Schiva T. 2005. Molecular analysis of *Limonium* genus through RAPD markers. *Agricoltura Mediterranea*, 135:52-58.

Bruna S., Portis E., Cervelli C., De Benedetti L., Schiva T., Mercuri A. 2007. AFLP-based genetic relationships in the Mediterranean myrtle (*Myrtus communis* L.). *Scientia Horticulturae*, 113:370-375.

Bruna S., Braglia L., Lanteri S., Mercuri A., Portis E. 2008. An AFLP-based assessment of the genetic diversity within *Hibiscus rosa sinensis* and the place of the species within the genus *Hibiscus*. Accepted by *Conserv. Genet.*, in press.

De Benedetti L., Burchi G., Mercuri A., Pecchioni N., Faccioli P., Schiva T. 2000. Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) analysis for the verification of hybridity in interspecific crosses of *Alstroemeria*. *Plant Breeding*, 119:443-44.

De Benedetti L., Bruna S., Mercuri A., Burchi G., Pecchioni N., Bianchini C., Schiva T. 2006. Impiego di marcatori molecolari in garofano e loro applicazione per il miglioramento della qualità post-raccolta. *Italus Hortus*, 13,5:141-145.

Esposito S., Colucci M.G., Frusciante L., Filippine E., Lorito M., Bressan R.A. 2000. Antifungal transgene expression in *Petunia hybrida*. *Acta Hort.*, 508:157-162.

Faccioli P., Secchioni N., Berio T., Giovannini A., Allavena A. 2000. Genetic diversity in cultivated *Osteospermum* as revealed by RAPDS analysis. *Plant Breeding*, 119:351-355.

Giovannini A., Zottini M., Spena A., Allavena A. 1999. Ornamental traits modification by *rol* genes in *Osteospermum ecklonis* transformed by *Agrobacterium tumefaciens*. *In Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant.*, 35:70-75.

Laura M., Safaverdi G., Allavena A. 2006a. Androgenetic plants of *Anemone coronaria* derived through anther culture. *Plant Breeding*, 125, 6:629-634.

Laura M., Allavena A., Magurno F., Lanteri S., Portis E. 2006b. Genetic variation of commercial *Anemone coronaria* cultivars assessed by AFLP. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 81, 4:621-626.

Mercuri A., Bruna S., De Benedetti L., Burchi G., Schiva T. 2001. Modification of plant architecture in *Limonium* spp. induced by *rol* genes. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 65, 3:247-253

Mercuri A., Sacchetti A., De Benedetti L., Schiva T., Alberti S. 2001. Green fluorescent flowers. *Plant Science*, 161, 5:961-968.

Portis E., Comino C., Lanteri S., Lenzi A., Lombardi P., Tesi R. 2004. Genetic Relationships between *Oleander* (*Nerium oleander* L.) Accessions by Means of AFLP Profiling. *Acta Hort*, 651:173-180.

Regis C., Laura M., Morreale G., Vale' G., Allavena A. 2006. Screening of viviparous plantlet formation-related genes in *Kalanchoe daigremontiana* by SSH analysis. *Acta Horticulture*, 714:155-161.

- Savona M., Ruffoni B., Giovannini C., Albrecht C., De Vries S., Altamura M.M. 2005. Il gene SERK1 (Somatic Embryogenesis Receptor Kinase 1) in colture di callo con alta potenzialità embriogenica di *Cyclamen persicum* Mill cv "Halios". *Informatore Botanico Italiano*, 37, 1 B:736-737.
- Scariot V., Akak A., Botta R. 2006. Characterization and genetic relationship of wild species and old garden roses based on microsatellite analysis. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 131, 1:66-73.
- Scariot V., De Keyser E., Handa T., de Riek J. 2007. Comparative study of the discriminating capacity and effectiveness of AFLP, STMS and EST markers in assessing genetic relationships among evergreen *Azalea*. *Plant Breeding*, 126:207-212.
- Varia A.M., Berio T., Accotto G.P., Vecchiati M., Allavena A. 2000. Evaluation of resistance in *Osteospermum ecklonis* (DC) Norl. plants transgenic for the N protein gene of tomato spotted wilt virus. *Plant Cell Report*, 19, 10:983-988.
- Orticoltura*
- Acciarri N., Vitelli G., Arpaia S., Mennella G., Sunseri F., Rotino G.L. 2000. Transgenic resistance to the Colorado Potato Beetle in Bt-expressing eggplant fields. *HortScience*, 35, 4:722-725.
- Acciarri N., Restaino F., Vitelli G., Perrone D., Zottini M., Pandolfini T., Spena A., Rotino G.L. 2002. Genetically modified parthenocarpic eggplants: improved fruit productivity under both greenhouse and open field cultivation. *BMC Biotechnology*, 2:4.
- Arpaia S., Mennella G., Onofaro V., Perri E., Sunseri F., Rotino G.L. 1997. Production of transgenic eggplant (*Solanum melongena* L.) resistant to Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say). *Theoretical Applied Genetics*, 95:329-334.
- Donzella G., Spena A., Rotino G.L. 2000. Transgenic parthenocarpic eggplants: superior germplasm for increased winter production. *Molecular Breeding*, 6:79-86.
- Mennella G., Acciarri N., D'alexandro A., Perrone D., Arpaia S., Sunseri F., Rotino G.L. 2005. Mixed deployment of Bt-expressing eggplant hybrids as a reliable method to manage resistance to Colorado potato beetle. *Scientia Horticulturae*, 104:127-135.
- Mennella G., Francese G., D'alexandro A., Toppino L., Cavallanti F., Sparpaglione M., Sabatini E., Vale' G., Acciarri N., Rotino G.L. 2008. Proteins and genes involved in the *Fusarium oxysporum* f.s. *melongenae* resistance mechanism in new eggplant introgressed breeding lines. *Proceedings 52<sup>nd</sup> Italian Society of Agricultural Genetics Annual Congress*, 14-17 September 2008, Padova, Italy. Poster Abstract – c. 14.
- Rizza F., Mennella G., Collonnier C., Sihachakr D., Kashyap V., Rajam M.V., Presterà M., Rotino G.L. 2002. Androgenetic dihaploids from somatic hybrids between *Solanum melongena* and *S. aethiopicum* group *gilo* as a source of resistance to *Fusarium oxysporum* f.sp. *melongenae*. *Plant Cell Report*, 20:1022-1032.
- Rotino G.L., Perri E., Zottini M., Sommer H., Spena A. 1997. Genetic engineering of parthenocarpic plants. *Nature Biotechnology*, 15:1398-1401.
- Stagel A., Portis E., Toppino L., Rotino G.L., Lanteri S. 2008. Gene-based microsatellite development for mapping and phylogeny studies in eggplant. *BMC Genomics*, 9:357.
- Toppino L., Mennella G., Rizza F., D'alexandro A., Sihachakr D., Rotino G.L. 2008a. ISSR and Isozyme Characterization of androgenetic dihaploids reveals tetrasomic inheritance in tetraploid somatic hybrids between *Solanum melongena* and *Solanum aethiopicum* group *gilo*. *Journal of Heredity*, 99, 1:304-315.
- Toppino L., Vale' G., Rotino G.L. 2008b. Inheritance of *Fusarium* wilt resistance introgressed from *Solanum aethiopicum* *Gilo* and *Aculeatum* groups into cultivated eggplant (*S. melongena*) and development of associated PCR-based markers. *Molecular Breeding*, in press.
- Frutticoltura*
- Antofie A., Lateur M., Oger R., Patocchi A., Durel C.E., Van de Weg W.E. 2007. A new versatile database created for geneticists and breeders to link molecular and phenotypic data in perennial crops: the *Apple Breed DataBase*. *Bioinformatics*, 23, 7:882-891.
- Belfanti E., Silfverberg-Dilworth E., Tartarini S., Patocchi A., Barbieri M., Zhu J., Vinatzer B.A., Gianfranceschi L., Gessler C., Sansavini S. 2004. The HcrVf2 gene from a wild apple confers scab resistance to a transgenic cultivated variety. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 101, 3:886-890.
- Dettori M.T., Quarta R., Verde I. 2001. A peach linkage map integrating RFLPs, SSRs, RAPDs, and morphological markers. *Genome*, 44, 5:783-790.
- Erdin N., Tartarini S., Broggin G.A., Gennari F., Sansavini S., Gessler C., Patocchi A. 2006. Mapping of the apple scab-resistance gene Vb. *Genome*, 49, 10:1238-1245.
- Han Y., Gasic K., Marron B., Beever J.E., Korban S.S. 2007. A BAC-based physical map of the apple genome. *Genomics*, 89, 5:630-637.
- Horn R., Lecouls A.C., Callahan A., Dandekar A., Garay L., McCord P., Howad W., Chan H., Verde I., Main D., Jung S., Georgi L., Forrest S., Mook J., Zhebentyayeva T., Yu Y., Kim H.R., Jesudurai C., Sosinski B., Arús P., Baird V., Parfitt D., Reighard G., Scorza R., Tomkins J., Wing R., Abbott A.G. 2005. Candidate gene database and transcript map for peach, a model species for fruit trees. *Theor. Appl. Genet.*, 110, 8:1419-28.
- Jaillon O. et al. 2007. The grapevine genome sequence suggests ancestral hexaploidization in major angiosperm phyla. *Nature*, 449:463-467.
- Jung S., Staton M., Lee T., Blenda A., Svancara R., Abbott A., Main D. 2008. GDR (Genome Database for Rosaceae): integrated web-database for Rosaceae genomics and genetics data. *Nucleic Acids Res.*, 36, Database issue:D1034-1040.

- Liebhard R., Kellerhals M., Pfammatter W., Jertmini M., Gessler C. 2003. Mapping quantitative physiological traits in apple (*Malus x domestica* Borkh.). *Plant Mol. Biol.*, 52, 3:511-26.
- Patocchi A., Vinatzer B.A., Gianfranceschi L., Tartarini S., Zhang H.B., Sansavini S., Gessler C. 1999. Construction of a 550 kb BAC contig spanning the genomic region containing the apple scab resistance gene Vf. *Mol. Gen. Genet.*, 262, 4-5:884-91.
- Shulaev V., Korban S.S., Sosinski B., Abbott A.G., Aldwinckle H.S., Folta K.M., Iezzoni A., Main D., Arús P., Dandekar A.M., Lewers K., Brown S.K., Davis T.M., Gardiner S.E., Potter D., Veilleux R.E. 2008. Multiple models for Rosaceae genomics. *Plant Physiol.*, 147, 3:985-1003.
- Testolin R., Marrazzo T., Cipriani G., Quarta R., Verde I., Dettori M.T., Pancaldi M., Sansavini S. 2000. Microsatellite DNA in peach (*Prunus persica* L. Batsch) and its use in fingerprinting and testing the genetic origin of cultivars. *Genome*, 43, 3:512-520.
- Troggio M., Malacarne G., Coppola G., Segala C., Cartwright D., Pindo M., Stefanini M., Mank R., Moroldo M., Morgante M., Grando M.S., Velasco R. 2007. A physically anchored SNP-based genetic linkage map of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Genetics*, 176, 4:2637-50.
- Troggio M., Vezzulli S., Pindo M., Malacarne G., Fontana P., Moreira F.M., Costantini L., Grando M.S., Viola R., Velasco R. 2008. Beyond the Genome, Opportunities for a Modern Viticulture: A Research Overview. *Am. J. Vit. Enol.*, 59:2-11.
- Velasco R., Zharkikh A., Troggio M., Cartwright D.A., Cestaro A., Pruss D., Pindo M., FitzGerald L.M., Vezzulli S., Reid J., Malacarne G., Iliev D., Coppola G., Wardell B., Micheletti D., Macalma T., Facci M., Mitchell J.T., Perazzolli M., Eldredge G., Gatto P., Oyzerski R., Moretto M., Gutin N., Stefanini M., Chen Y., Segala C., Davenport C., Demattè L., Mraz A., Battilana J., Stormo K., Costa F., Tao Q., Si-Ammour A., Harkins T., Lackey A., Perbost C., Taillon B., Stella A., Soloviev V., Fawcett J.A., Sterck L., Grando M.S., Toppo S., Moser C., Lanchbury J., Bogden R., Skolnick M., Sgaramella V., Bhatnagar S.K., Fontana P., Gutin A., Van de Peer Y., Salamini F., Viola R. 2007. A High Quality Draft Consensus Sequence of the Genome of a Heterozygous Grapevine Variety. *PLoS ONE*, 2, 12:e1326.
- Zharkikh A., Troggio M., Pruss D., Pindo M., Eldredge G., Cestaro A., Mitchell J.T., Vezzulli S., Bhatnagar S., Fontana P., Viola R., Gutin A., Salamini F., Skolnick M., Velasco R. 2008. Sequencing and Assembly of Highly Heterozygous Genome of *Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir: Problems and Solutions. *J. Biotech.*, 136:38-43.





# Basi genetiche e fisiologiche della qualità degli alimenti di origine animale

Pier Lorenzo Secchiari<sup>11</sup>, Paolo Carnier<sup>2</sup>, Alessandro Priolo<sup>3</sup>, Marcello Mele<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agro-ecosistema – Sezione di Scienze Zootecniche, Università di Pisa

Via del Borghetto 80, 56124 Pisa

<sup>2</sup>Dipartimento di Scienze Animali, Università di Padova

Agripolis, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD)

<sup>3</sup>Dipartimento di Scienze Agronomiche, Agrochimiche e delle Produzioni Animali – Sezione di Scienze delle Produzioni Animali, Università di Catania

Via Valdisavoia 5, 95123 Catania

Associazione Scientifica di Produzione Animale

---

## Riassunto

Il miglioramento della qualità dei prodotti rappresenta, da più di vent'anni, uno degli obiettivi prioritari dell'attività di ricerca nell'ambito delle scienze animali, a causa dell'importanza crescente di questo fattore nelle scelte operate dai consumatori. In questo lavoro vengono passati in rassegna i principali alimenti di origine animale (latte, carni e uova), evidenziando lo stato attuale delle conoscenze genetiche e fisiologiche che sono alla base delle loro principali caratteristiche qualitative. In particolare nei bovini e nei suini viene esaminato il ruolo della genetica quantitativa e l'importanza crescente delle conoscenze derivanti dallo studio del genoma animale e dall'individuazione di QTL, vale a dire *loci* aventi effetto sui caratteri quantitativi. L'aumento delle conoscenze sulle regioni genomiche che controllano i QTL può consentire di avviare programmi di miglioramento genetico, utilizzando la Selezione Assistita da Marcatori (MAS) e l'Introgressione di geni Assistita da Marcatori (MAI). Accanto a queste problematiche vengono riportate le conoscenze relative ai processi fisiometabolici che determinano la qualità dei prodotti soprattutto riguardo la loro componente lipidica e proteica. In riferimento ai prodotti di altre specie vengono analizzate le conoscenze relative alla fisiologia della produzione delle uova e al miglioramento genetico delle ovaiole e sono ricordati gli aspetti qualitativi più rilevanti delle carni avicole e di coniglio, le particolarità fisiologiche che condizionano l'espressione di quest'ultime e le metodologie di miglioramento genetico oggi attuate.

*Parole chiave:* alimenti, genetica, fisiologia, qualità.

## Summary

### GENETIC AND PHYSIOLOGY BASIS OF THE QUALITY OF LIVESTOCK PRODUCTS.

The animal research gives more attention, for more than twenty years, to the improvement of food quality, because this aspect plays an important role in the consumer choice. In this paper are browsed the principal foods of animal origin (milk, meat and eggs), paying attention on the actual genetic and physiologic knowledge, which influence the quality characteristic. Particularly, we examined the role of Quantitative Genetic in bovine and swine and the growing knowledge about animal genomes and individuation of QTL. Information on genomic regions that control QTL, allow to organize genetic improvement programs, using Markers Assisted Selection (MAS) and Markers Assisted Introgression (MAI). Moreover are reported the knowledge about metabolic processes that influence quality especially on lipid and protein component. About other productions are considered the physiology of eggs production and the genetic improvement of hens. Finally the qualitative aspects about poultry and rabbit meat and the actual genetic improvement strategy are reported.

*Key-words:* foods, genetic, physiology, quality.

\* Autore corrispondente: tel.: +39 050 599225; fax: +39 050 540633. Indirizzo e-mail: psecchia@agr.unipi.it

## 1. Introduzione

L'agricoltura odierna sta attraversando un'importante fase di transizione che la porterà ad acquisire un nuovo ruolo nel contesto socio-economico nazionale e internazionale. L'aumento della produzione agricola non riveste più il fine ultimo delle pratiche agronomiche, perché si stanno sviluppando nuovi aspetti quali la tutela dell'ambiente, l'agricoltura sostenibile, la difesa idrogeologica, la salvaguardia della biodiversità animale e vegetale, la qualità della vita, che hanno sostituito e diversificato l'univoca finalità originaria. L'avvenire dell'agricoltura, per decisione politica della Unione Europea, si indica ormai in termini di sviluppo rurale, che riassume tutti i contenuti in cui si declina l'attività agricola nella sua accezione più moderna.

La zootecnia italiana, dal canto suo, si sta adeguando alle nuove esigenze del settore, grazie anche all'apporto fondamentale della ricerca scientifica. Le conquiste fatte nel campo della genetica, della nutrizione e del management aziendale, hanno permesso di conquistare importanti risultati, con lo scopo di migliorare la produzione non solo da un punto di vista quantitativo, ma anche e soprattutto, qualitativo. Le principali produzioni zootecniche sono rappresentate dal latte dei grandi (bovini e bufali) e piccoli ruminanti (capre e pecore), dalla carne bovina, suina e avicunicola e dalle uova. Il miglioramento della qualità di questi prodotti rappresenta, da più di vent'anni, uno degli obiettivi prioritari dell'attività di ricerca nell'ambito delle scienze animali. Il perseguimento di questo obiettivo ha consentito lo sviluppo di questo specifico ambito di ricerca. Tale sviluppo, tuttavia, non sarebbe stato possibile se non fosse stato accompagnato da un contemporaneo avanzamento delle conoscenze nel campo della genetica e della fisiologia degli organismi animali coinvolti nei processi produttivi, da cui derivano gli alimenti che sono considerati in questa rassegna.

## 2. Il latte

Il processo fisiologico, che porta alla sintesi del latte, è detto lattazione. Le fasi che caratterizzano questo processo sono la secrezione, l'eiezione e l'estrazione del latte.

La cellula mammaria, durante la sintesi del

latte, preleva sostanze dal sangue e le rielabora per la sintesi dei vari componenti (lattosio, lipidi e proteine), ai quali aggiunge, assumendoli direttamente dal circolo sanguigno, sali minerali e componenti minori (azoto non proteico e vitamine). Per fare questo la cellula epiteliale mammaria ha sviluppato una straordinaria organizzazione ed efficienza nella capacità di convertire i nutrienti circolanti nei componenti del latte (Bauman et al., 2006).

La secrezione di latte da parte della ghiandola mammaria è sostenuta da una serie di controlli di tipo neuroendocrino che stimolano il metabolismo mammario e ai quali si accompagna un largo aumento nella richiesta di nutrienti, soprattutto negli individui appartenenti a razze di ruminanti selezionate per il loro potenziale produttivo. I fabbisogni della ghiandola mammaria sono parzialmente soddisfatti dalla maggiore disponibilità di nutrienti che l'allevatore mette a disposizione con la dieta e dall'aumentata efficienza digestiva e metabolica dell'animale. In aggiunta, la mobilitazione delle riserve minerali, lipidiche e proteiche dell'organismo, fornisce alla ghiandola mammaria l'apporto di metaboliti necessario per assicurare un'adeguata secrezione di latte. In particolare, all'inizio della lattazione, l'animale è soggetto ad una serie di cambiamenti del metabolismo dei diversi organi e tessuti, al fine di assicurare un adeguato rifornimento di nutrienti alla ghiandola mammaria. Tali adattamenti metabolici riguardano: il tessuto adiposo, che, tramite la mobilitazione degli acidi grassi contenuti nei trigliceridi degli adipociti, consente di sopperire al deficit energetico che si realizza negli animali che producono elevate quantità di latte nella fase iniziale della lattazione; il tessuto muscolare, che, sempre nella fase iniziale della lattazione, mobilita proteine di riserva per sopperire agli aumentati fabbisogni della ghiandola mammaria; il fegato, la cui attività di gluconeogenesi, di turnover del glucosio e di ossidazione degli acidi grassi, incrementa notevolmente con l'inizio della lattazione, per sopperire ai notevoli fabbisogni energetici che questo stadio fisiologico necessita, le ossa, che forniscono parte delle grandi quantità di minerali, soprattutto calcio, secreti con il latte. Infine, un ruolo determinante nella regolazione del metabolismo dell'animale in lattazione è svolto dagli ormoni circolanti.

Alla funzionalità della mammella concorrono, infatti, molti ormoni; fra questi, per la mammosi sono importanti gli Estrogeni, che agiscono sullo sviluppo dei dotti e il Progesterone, che influenza il trofismo delle cellule alveolari; abbiamo poi l'effetto di altri ormoni, quali la Prolattina, il Cortisolo, e l'Insulina, gli ormoni tiroidei ( $T_3$ : Triiodotironina e  $T_4$ : Tiroxina), l'IGF<sub>1</sub> e l'ormone placentare prolattina-simile (HPLC, Ormone Lattogeno Placentare). La lattogenesi e la galattopoiesi sono sostenute dalla Prolattina, secreta dalle cellule lattotrofe dell'adenipofisi, che avvia i processi di biosintesi e di secrezione del latte. Nei ruminanti, a differenza dei monogastrici, il mantenimento della secrezione di latte durante la lattazione non è strettamente dipendente dalla concentrazione di Prolattina (Delouis et al., 1980).

Gli Estrogeni svolgerebbero un ruolo indiretto nel favorire la lattogenesi, in quanto l'aumento della loro concentrazione ematica dopo il parto stimolerebbe la secrezione di prolattina da parte dell'adenipofisi (Kann e Houdebine, 1978), così come la diminuzione della concentrazione di Progesterone durante la fase finale della gravidanza è il segnale più efficace nell'indurre la secrezione di Prolattina e, pertanto, avviare il processo di secrezione del latte. Al contrario i livelli di Progesteronemia che si hanno durante la gravidanza inibiscono la secrezione di latte per via diretta tramite la riduzione dell'espressione del gene della prolattina a livello dell'adenipofisi.

Gli ormoni surrenalici e tiroidei sono necessari al mantenimento della lattazione; i primi (Cortisolo) sono infatti indispensabili per la formazione della quota minerale e idrica del latte, mentre i secondi regolano la funzionalità mitocondriale e, quindi, le vie metaboliche energetiche cellulari.

Il GH (Ormone dell'accrescimento) ha un ruolo importantissimo sullo sviluppo mammario, in quanto esercita un'azione di controllo sul numero e sulle dimensioni delle cellule mammarie secernenti durante la lattazione. Inoltre, l'influenza dell'ormone GH, induce l'aumento della produzione epatica di IGF-1, che favorisce la moltiplicazione delle cellule del tessuto mammario (Duclos et al., 1989). Le bovine più produttive avrebbero un'elevata secrezione di GH e questa condizione costituirebbe una caratteristica genetica.

L'eiezione è il passaggio del latte dagli alveoli alla cisterna della mammella. Il processo è regolato da un meccanismo neuroendocrino, originato dalla stimolazione della mammella e del capezzolo con la poppata o la mungitura. I segnali nervosi di questi processi giungono all'encefalo e, quindi, sono trasferiti ai nuclei ipotalamici (sede della sintesi dell'ossitocina) e da qui all'ipofisi (sede del suo accumulo), da cui il neuroormone viene rilasciato nel flusso sanguigno. L'ossitocina agisce sulle cellule mioepiteliali degli alveoli mammari, provocando la loro contrazione e quindi lo svuotamento della ghiandola (Pulina e Nudda, 2001). L'assenza di ossitocina non consentirebbe il completo svuotamento della mammella; nella vacca si riuscirebbe ad estrarre appena il 30-40% del latte totale (Alais, 2000).

La contrazione degli alveoli incrementa la pressione endomammaria, ma non è in grado di vincere la resistenza dello sfintere del capezzolo; questa sarà vinta solo dalla suzione o dalla mungitura (Pulina e Nudda, 2001). Questa fase rappresenta l'estrazione vera e propria del latte. Il latte secreto dalla ghiandola mammaria può essere estratto naturalmente dai lattanti, oppure artificialmente con la mungitura.

Questo complesso sistema ormonale, oltre a regolare lo sviluppo della ghiandola mammaria e l'avvio dell'attività secretoria, interviene anche nella regolazione dei processi di sintesi dei componenti del latte. Tra i diversi componenti del latte quelli che influenzano maggiormente le proprietà chimico, nutrizionali e tecnologiche dello stesso sono sicuramente il lattosio, le proteine e il grasso. La piena comprensione dei meccanismi fisiologici che sono alla base della sintesi di queste componenti rappresenta il primo passo verso la messa a punto di adeguate strategie di miglioramento della qualità dei prodotti.

### 2.1 Sintesi del lattosio

Il lattosio è un disaccaride costituito da una molecola di glucosio e una di galattosio; dal punto di vista biochimico è osmolaricamente attivo e perciò in grado di richiamare acqua, necessaria a garantire l'osmolarità, entro le membrane del Golgi, poste nel citoplasma cellulare in cui esso viene assemblato. In forza di questo processo il lattosio condiziona la quantità di latte prodotto poiché ne determina il suo contenuto in acqua,

cioè della componente più cospicua del latte medesimo.

La sua sintesi è catalizzata dalla Lattosio-sintetasi, formata dalla UDP-galattosiltransferasi e dalla alfa-lattoalbumina. La disponibilità di questa ultima proteina è controllata dalla Prolattina. Il Progesterone, invece, inibisce la formazione dell'alfa-lattoalbumina e pertanto ha un effetto negativo sulla sintesi del lattosio e, per le ragioni suddette, sulla produzione di latte.

Infine, la disponibilità di glucosio per la ghiandola mammaria è un altro fattore limitante la sintesi del lattosio.

Dal punto di vista nutrizionale, il lattosio svolge un ruolo positivo nel metabolismo del Ca, favorendone l'assorbimento intestinale.

Inoltre, dopo la sua idrolisi intestinale da parte della Lattasi, i glucidi che ne derivano sono così utilizzati dall'organismo: il glucosio, a fini energetici e il galattosio per fornire il substrato glucidico necessario alla sintesi dei galattolipidi. Quest'ultimo aspetto è estremamente importante, poiché i galattolipidi sono componenti della mielina, sostanza che avvolge esternamente il sistema nervoso centrale e periferico. Come è noto la mielinizzazione nei mammiferi si completa dopo la nascita, e pertanto questo processo è favorito dall'assunzione del lattosio del latte, durante la fase di allattamento.

## 2.2 Sintesi delle proteine del latte

Le principali proteine del latte vengono sintetizzate a partire dagli aminoacidi circolanti, in funzione dell'espressione dei geni codificanti per le quattro caseine ( $\alpha$ -s1,  $\alpha$ -s2,  $\beta$  e k-caseina), la beta-lattoglobulina e l'alfa-lattoalbumina. La sintesi delle proteine del latte non si avvia subito dopo il parto, ma, in realtà, comincia assai prima, durante la gravidanza, come testimonia la presenza di mRNA caseinico nelle cellule ghiandolari durante questa fase fisiologica. Tuttavia, è solo con il parto che questo processo si amplifica e si estrinseca al suo massimo potenziale, favorito da un ambiente ormonale che vede prevalere la presenza di Prolattina, rispetto al Progesterone. Quest'ultimo, infatti, presente ad elevate concentrazione nel plasma di animali gravidi, non consentirebbe un'efficiente traduzione di mRNA caseinico in proteina. La Prolattina, al contrario, è il principale ormone che induce l'espressione dei geni delle proteine del latte, stimolandone la trascrizione e stabiliz-

zando l'mRNA prodotto. L'effetto stimolante della Prolattina sarebbe, inoltre, amplificato dall'azione dell'Insulina e degli ormoni glucocorticoidi (Rosa et al., 1982).

La sintesi delle proteine del latte avviene nelle cellule secretici della ghiandola mammaria a livello del reticolo endoplasmatico rugoso. Successivamente, le proteine sono secrete nel lume dell'alveolo mammario attraverso un meccanismo che coinvolge la formazione di vescicole da parte dell'apparato del Golgi e la loro successiva secrezione attraverso un meccanismo di esocitosi (Secchiari et al., 2008).

Alla quantità e alla qualità delle proteine del latte sono legate molte delle proprietà nutrizionali e tecnologiche del latte. È noto, ad esempio, che la resa alla caseificazione è funzione della quantità di caseina totale e del tipo di isoforme di K-caseina. La presenza, invece, di alcuni importanti peptidi bioattivi, come le caseochinine e le caseosine, sono legati all'abbondanza di  $\beta$  e k-caseina. Poiché la quantità delle diverse proteine presenti nel latte è funzione delle diverse forme alleliche presenti nelle popolazioni dei ruminanti, nel caso delle proteine le strategie di miglioramento della qualità del latte sono storicamente fondate sull'individuazione di alleli favorevoli e sull'impostazione di programmi di miglioramento genetico in grado di sfruttare queste conoscenze. Questo aspetto, tuttavia, sarà trattato nella parte relativa alle basi genetiche della qualità del latte.

## 2.3 Sintesi del grasso del latte

Il grasso del latte è composto per circa il 98% da trigliceridi e la rimanente parte da fosfolipidi, altri esteri del glicerolo, colesterolo e vitamine liposolubili. Per la sintesi di questi composti, le cellule della ghiandola mammaria utilizzano per circa il 50% acidi grassi neosintetizzati a partire dall'acetato e dal beta-idrossi butirrato, mentre, per il rimanente 50% utilizzano acidi grassi preformati prelevati direttamente dal sangue. Questi ultimi derivano dalla dieta e dalla mobilizzazione delle riserve lipidiche. I meccanismi di sintesi del grasso del latte coinvolgono diversi enzimi che sono interessati nel processo di captazione dei precursori dal sangue (Lipoproteinlipasi), nell'allungamento e nella desaturazione delle catene carboniose degli acidi grassi (Acetil-CoA Carbossilasi; Fatty acid Sintasi,  $\Delta$ -9 desaturasi); nel trasporto degli

acidi grassi all'interno del citoplasma (Fatty Acid Binding Protein); nell'esterificazione del glicerolo per la formazione di trigliceridi e fosfolipidi (Acil-transferasi). Oltre a questi intervengono, inoltre, tutti gli enzimi coinvolti nel metabolismo energetico della cellula ghiandola-re al fine di fornire gli equivalenti riduttivi e l'ATP necessario alla realizzazione delle reazioni biochimiche e di ossidoriduzione che sono alla base della sintesi dei grassi del latte. Un ruolo importante nella determinazione della disponibilità di precursori ematici per la sintesi mammaria di grasso del latte è svolto anche dall'equilibrio ormonale. Gli ormoni maggiormente coinvolti sono l'Insulina, l'Epinefrina, il GH e la Leptina. La loro azione si esplica principalmente sulla capacità dell'animale di mobilitare le riserve lipidiche e, pertanto, di rendere disponibili gli acidi grassi in esse contenuti sia per la loro  $\beta$ -ossidazione sia per aumentare l'apporto di acidi grassi preformati alla ghiandola mammaria, in funzione del bilancio energetico dell'animale.

La conoscenza approfondita dei meccanismi fisiologici e biochimici che sono alla base della secrezione del grasso del latte ha permesso lo sviluppo di strategie nutrizionali finalizzate a migliorare la qualità del grasso del latte dei ruminanti. Data la grande importanza che ha assunto il ruolo nutraceutico degli alimenti nella prevenzione delle principali malattie che affliggono le società dei paesi sviluppati, uno degli obiettivi primari della ricerca negli ultimi vent'anni è quello di migliorare la composizione degli acidi grassi del latte nel senso di ottenere un aumento della frazione insatura a discapito di quella satura. Tale obiettivo nasce dalla consapevolezza che, in assenza di adeguati accorgimenti nutrizionali, la fisiologia del ruminante è indirizzata verso la sintesi di un grasso ad alto contenuto di acidi grassi saturi. Questo si deve a due motivi: da un lato gli acidi grassi insaturi contenuti nella dieta subiscono intensi processi di bioidrogenazione a livello del ruminante ad opera dei microrganismi ivi presenti; dall'altro, l'attività sintetica della ghiandola mammaria è dedicata in massima parte alla formazione di acidi grassi saturi a media catena (indicati come fattori di rischio nell'uomo per le malattie cardiovascolari), grazie ad un sistema enzimatico che non consente di ottenere allungamenti della catena carboniosa degli acidi gras-

si oltre i 16 atomi di carbonio (Mele et al., 2007). D'altra parte le stesse bioidrogenazioni ruminali responsabili dell'accumulo di acidi grassi saturi sono anche la via biochimica che garantisce la formazione a livello ruminale di acido vaccenico (*trans*-11 C18:1), che, a livello delle cellule della ghiandola mammaria, grazie all'azione dell'enzima  $\Delta$ -9 desaturasi, viene convertito in maniera significativa ad acido rumenico (*cis*-9, *trans*-11 18:2), un isomero coniugato dell'acido linoleico (CLA) dalle riconosciute proprietà antitumorali, antidiabetiche, immunomodulanti e antiaterosclerotiche. Ad oggi, accanto a quelle genetiche, esistono numerose strategie nutrizionali in grado di orientare i meccanismi biochimici e fisiologici che intervengono nel metabolismo lipidico dei ruminanti, al fine di aumentare il contenuto di acidi grassi favorevoli per la salute umana, a discapito di quelli sfavorevoli. Tali strategie si basano sulla modulazione delle bioidrogenazioni ruminali, sull'interferenza che alcuni acidi grassi esercitano sulla neosintesi mammaria di acidi grassi saturi e sulla modulazione dell'attività desaturasica mammaria.

#### 2.4 Basi genetiche della qualità del latte

Il miglioramento della qualità del latte è stato ed è tuttora perseguito attraverso i metodi della genetica quantitativa che hanno come base concettuale il modello infinitesimale. Tali metodi hanno conosciuto nel tempo una considerevole evoluzione nei sistemi di stima dei parametri genetici, tuttavia si basano sempre su informazioni fenotipiche e genealogiche, non considerando, fino a pochi anni fa, aspetti legati alla struttura del genotipo degli animali. I sistemi sopra accennati originano dal modello generale di stima del Valore genetico additivo con il metodo infinitesimale e dalla derivazione da questo dei metodi basati su equazioni di modello misto, che hanno generato l'attuale BLUP-Animal Model. All'ottimizzazione di questo risultato ha dato un grosso contributo l'affinamento delle tecniche di rilievo dei dati fenotipici basato sul Test-Day-Model. L'agevole stima delle parentele degli animali attraverso il Metodo tabulare ha permesso la creazione e l'inserimento nei modelli delle matrici di parentela, aumentando considerevolmente l'accuratezza della stima del Valore genetico, partendo da dati fenotipici che il Test-Day riesce a rap-

presentare adeguatamente (Secchiari et al., 2007).

Inoltre, nell'ultimo ventennio, lo sviluppo delle tecnologie di genetica molecolare ha permesso di ottenere un'enorme quantità di informazioni sul genoma delle specie animali di interesse zootecnico. L'utilizzo di queste informazioni riveste una particolare importanza per quanto riguarda il miglioramento genetico che, in generale, ha come obiettivi finali il miglioramento della quantità e della qualità dei prodotti zootecnici. A tale scopo, lo sfruttamento delle nuove conoscenze, che derivano dalla genetica molecolare, si attua attraverso la selezione degli animali basata sulle informazioni di marcatori del DNA, la così detta selezione assistita da marcatori o Marker Assisted Selection (MAS), che si basa appunto sull'individuazione di QTL, vale a dire *loci* aventi effetto sui caratteri quantitativi. Attualmente, sebbene l'impiego della MAS nei programmi di selezione sia ancora nella sua fase iniziale, gli studi compiuti per sviluppare risorse genetiche e strumenti che permettano l'identificazione di geni o regioni del genoma in grado di influenzare i caratteri di interesse economico rappresentano il punto di partenza per l'identificazione delle strategie future di ricerca e per le applicazioni in campo zootecnico.

Un approccio alternativo alla MAS è rappresentato dallo studio dei geni candidati, basandosi sulle informazioni che derivano dall'aumento delle conoscenze sulla fisiologia degli animali, per identificare direttamente marcatori associati con caratteri produttivi. Dato che il numero di potenziali geni candidati è spesso molto elevato, l'integrazione dell'approccio del gene candidato con le informazioni ottenute dal mappaggio di QTL permette di ridurre notevolmente il numero dei possibili geni da studiare aumentando le probabilità di identificare marcatori effettivamente associati con i caratteri oggetto di studio.

Un esempio di utilizzo del gene candidato è quello delle caseine del latte. La qualità tecnologica del latte è rappresentata eminentemente dalla frazione proteica caseinica:  $\alpha$ -s1,  $\beta$  e k-caseina. I tre loci, che presentano un ampio polimorfismo genetico (tab. 1), sono stati mappati sul cromosoma 6 nella specie bovina e sono in stretto linkage fra loro occupando uno spazio di circa 0,25 cM (Ferretti et al., 1990); l'effetto dei

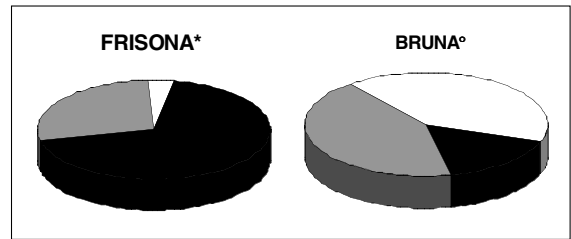


Figura 1. Distribuzione del polimorfismo della k-caseina nelle razze Frisona Italiana e Bruna Italiana. Legenda: nero = AA; grigio = AB; bianco = BB. Frequenza allelica A in Frisona = 82,70%; Frequenza allelica A in Bruna = 38,64% (ANAFI 2005 e ANARB, 2005).

Figure 1. K-casein polymorphism distribution in Italian Holstein Friesian and Italian Brown breed. Legend: black = AA; grey = AB; white = BB. Allelic frequency A in Italian Holstein Friesian = 82.70%; Allelic frequency in Italian Brown = 38.64% (ANAFI 2005 and ANARB 2005).

diversi alleli è stato ampiamente studiato (Pagnacco e Caroli, 1987; Ikonen et al., 1996) ed è stata sottolineata una migliore attitudine alla coagulazione del latte associata alla k-caseina B, rispetto alla A (Pagnacco e Caroli, 1987), mentre la variante E, la cui frequenza nella Frisona Italiana non è irrilevante, sembrerebbe presentare effetti molto negativi (Leone et al., 1998). Questo approccio, basato sull'associazione tra le forme geniche di un singolo locus e le caratteristiche produttive degli animali portatori dei diversi alleli, ha condotto all'applicazione della selezione dei riproduttori genotipizzati per il locus della k-caseina, come avviene nelle razze bovine Frisona Italiana e Bruna Italiana (fig. 1). Quello della K-caseina è, allo stato attuale, l'unico esempio applicativo di MAS che riguarda i caratteri qualitativi del latte.

Alcuni autori, tuttavia, hanno recentemente posto l'attenzione sul fatto che i risultati relativi agli effetti dei polimorfismi dei singoli loci sulle caratteristiche produttive degli animali sono spesso contrastanti tra loro e, pertanto, gli effetti positivi sulla produzione osservati in alcuni studi potrebbero essere dovuti all'associazione tra il locus caseinico e altri loci presenti sul cromosoma 6, piuttosto che all'esclusivo effetto allelico del locus stesso (Braunschweig et al., 2000). Attualmente, pertanto, si ritiene che una miglior stima degli effetti dei vari alleli del locus caseinico si ottenga indirizzando la stima medesima al cluster caseinico, partendo non dai semplici genotipi, ma dai diversi aplotipi osser-

Tabella 1. Varianti genetiche delle componenti della frazione caseinica del latte.

Table 1. Genetic variants of milk caseins.

Caseina	Variante	Variazione rispetto alla forma A specifico per ogni classe	Riferimenti
Alfa s1 caseina	A		Thompson et al., 1962
	B	Inserzione Aa 14-26	Thompson et al., 1962
	C	Glu(192)→Gly	Thompson et al., 1962; Kiddy et al., 1963
	D	Ala(53)→Thr P	Grosclaude et al., 1966
	Eyak	Glu(192)→Gly Gln(59)→Lys	Grosclaude et al., 1974, 1976
	F	Ser(66)→Leu	Erhardt et al., 1992; Erhardt 1993
	G	Variazioni a livello nucleotidico, inserzione di 371 bp nell'esone 19	Rando et al., 1993, 1995 Ramunno et al., 1994
	H	Delezione aminoacidi (Aa) 51-58	Mahè et al., 1999
Alfa s2 caseina	A		Grosclaude et al., 1976
	B	Variante non ancora caratterizzata	Grosclaude et al., 1976
	C	Glu (33)→Gly Ala (47)→Thr Thr (130)→Ile	Grosclaude et al., 1976
	D	Delezione Aa 51-59	Grosclaude et al., 1976, 1978
Beta caseina	A <sup>1</sup>	Pro(67)→His	Peterson e Kopfler, 1966; Kiddy et al., 1963
	A <sup>2</sup>		Peterson e Kopfler, 1966; Kiddy et al., 1963
	A <sup>3</sup>	His(106)→Gln	Kiddy et al., 1963
	B	Pro(67)→His; Ser(122)→Arg	Aschaffenburg, 1961-1963
	C	Pro(67)→His; Glu(37)→Lys; Ser P(35)→Ser	Aschaffenburg, 1961-1963
	D	Ser P(18)→Lys	Aschaffenburg, 1961-1963
	E	Variante non ancora caratterizzata	Vogolino, 1972
	A'	Variante non ancora caratterizzata	Abe et al., 1975
	A <sup>3m</sup>	Variante non ancora caratterizzata	Grosclaude, 1975
	B <sup>2</sup>	Variante non ancora caratterizzata	Creamer e Richardson, 1975
A <sup>4</sup> (H)	[Pro(67)→His]; Arg(25)→Cys	Han et al., 1983; Chung et al., 1995; Han e Shin, 1996	
F	Pro(67)→His; Pro(152)→Leu	Visser et al., 1991-1995	
A <sup>5</sup>	Mutazione silente CØT nella 3 <sup>a</sup> posizione del codone codificante per Pro (110)	Lien e Rogne, 1993	
K caseina	A		Neelin, 1964
	B	Thr(136)→Ile; Asp(148)→Ala	Gorodetshij et Kaledin, 1987
	C	Thr(136)→Ile; Asp(148)→Ala; Arg(97)→His	Di Stasio e Merlin, 1978
	E	Ser(155)→Gly	Erhardt et al., 1989; Erhardt 1989
	F	Arg(10)→His	Sulimova et al., 1992
	G	Asp(148)→Ala	Sulimova et al., 1996
	G	Arg(97)→Cys	Erhardt, 1996
	H	Ile(135)→Thr	Grosclaude et al., 1974; Prinzerberg e Erhardt, 1998; Prinzenberg et al., 1999
	I	Ser(104)→Ala	Prinzerberg e Erhardt, 1998; Prinzenberg et al., 1999
	J	Ser(155)→Arg	Mahè et al., 1999

vabili in ogni singola razza. Gli aplotipi sono polimorfismi a due o più *loci* strettamente associati su un cromosoma, generalmente ereditati come un'unità. Recentemente, è stato dimostrato che medesimi aplotipi tendono ad avere effetti simili in razze differenti e questo sembra confermare l'importanza del cluster caseinico ri-

spetto ai singoli polimorfismi ivi contenuti, per spiegare gli effetti ad esso associati (Boettcher et al., 2004).

Anche per quanto riguarda la quantità e la qualità del grasso del latte è stato sperimentato l'approccio del gene candidato, tuttavia, a differenza di quanto evidenziato per la frazione

proteica, mancano ancora delle esperienze applicative nell'ambito della selezione.

Come ricordato in precedenza, il controllo del metabolismo lipidico è regolato dall'espressione e dall'attivazione di numerosi geni che danno origine a molteplici enzimi di cui alcuni svolgono un ruolo chiave come il complesso Acetil-CoA-Carbossilasi (ACC) e Sintasi degli acidi grassi (FAS), le Lipoproteinlipasi (LPL), le Aciltransferasi (GPAT, LPAT, DGAT), le desaturasi degli acidi grassi ( $\Delta 4$ ,  $\Delta 5$ ,  $\Delta 6$  e  $\Delta 9$  Stearoil Co-A Desaturasi, SCD). La loro regolazione è sicuramente di origine multifattoriale in quanto comprende fattori endogeni ed esogeni. I primi sono costituiti essenzialmente da molecole prodotte dall'organismo (come gli ormoni Insulina e Leptina), che hanno la capacità di attivare fattori che, a loro volta, sono in grado di attivare o reprimere l'espressione dei geni lipogenici. I fattori esogeni, al contrario, sono legati a stimoli esterni come le condizioni ambientali (clima, management e salute dell'animale) e la composizione della dieta. Dal punto di vista delle relazioni fra polimorfismi genetici e caratteristiche produttive degli animali i geni più investigati risultano essere quelli relativi agli enzimi ACC, DGAT e SCD.

Tra gli enzimi lipogenici, le acil-transferasi sono quelle responsabili della sintesi dei trigliceridi, essendo deputate al trasferimento selettivo degli acidi grassi nelle tre posizioni della glicerina (sn-1, sn-2 e sn-3). L'enzima DGAT catalizza l'ultima fase della sintesi dei trigliceridi, in quanto la reazione comporta l'esterificazione dei diacilgliceroli con gli acil-CoA in posizione sn-3.

Nel bovino è stata dimostrata la presenza di un gene candidato, il DGAT1, che presenta un polimorfismo a livello proteico, dove in posizione 232 si nota la sostituzione non conservativa di una lisina (K) con un'alanina (A) (*K232A*). Questo polimorfismo ha manifestato un forte effetto sul contenuto di grasso nel latte e su altre caratteristiche del latte nelle razze Jersey, Ayrshire e Holstein neozelandese, olandese, tedesca, israeliana e polacca (Grisart et al., 2002; Spelman et al., 2002; Thaller et al., 2003; Weller et al., 2003). L'allele K comporta una  $V_{MAX}$  di reazione superiore all'allele A, inoltre esprime un maggior contenuto di grasso nel latte (+0.35%) e una maggiore produzione di latte (+10 Kg) (Grisart et al., 2004; Spelman et al., 2002; Winter et al., 2002). Dall'analisi delle se-

quenze presenti in banca dati (GenBank n. d'accesso AW446985) è stata messa in evidenza l'esistenza di uno *splicing* alternativo. Questo comporta la comparsa di due trascritti che differiscono per la loro lunghezza. Il più lungo utilizza la parte terminale dell'ottavo introne, precisamente 6 bp a monte del sito polimorfico *K232A*, con una conseguente "intronizzazione" dell'ottavo esone. Amplificando la regione comprendente il sito di *splicing* alternativo, è stato possibile verificare che la variante più corta è associata con l'allele K del *locus K232A* (Grisart et al., 2004). Analisi fatte sulla sequenza del gene DGAT1, hanno mostrato l'esistenza di altri polimorfismi oltre al *K232A*: due SNP (A→G; C→T) a livello dell'introne 12 chiamati rispettivamente *N984+8(AG)* e *N984+26(CT)*; ed uno SNP (C→T) nella regione 3'UTR chiamato *Nt-1501* (Grisart et al., 2001). Esiste anche un secondo gene, chiamato DGAT2, evidenziato in topi transgenici, cui era stata bloccata l'espressione del DGAT1, che rappresenta una via alternativa per la sintesi di trigliceridi (Cases et al., 2001). Riguardo alla specificità nei confronti degli acidi grassi, non si sono notate differenze tra DGAT1 e DGAT2, anche se appartengono a famiglie di geni che non mostrano omologia (Cases et al., 2001). Il DGAT1 è localizzato sul cromosoma 14 bovino nella zona di un QTL associato al miglioramento della produzione di grasso del latte. La zona in cui è contenuto questo QTL è compresa tra i marcatori microsatelitari BULGE13-BULGE9 e i dati ottenuti da Grisart et al. (2001) suggeriscono che il DGAT1 sia il gene candidato associato a questo QTL. Tra le desaturasi degli acidi grassi la  $\Delta 9$  (SCD) svolge sicuramente un ruolo centrale, in quanto è responsabile della produzione di circa la metà del contenuto di uno degli acidi grassi maggiormente rappresentato nei lipidi animali: l'acido oleico. La SCD è una proteina localizzata sulla membrana del reticolo endoplasmatico dei microsomi ed ha la funzione di catalizzare la desaturazione in posizione *cis- $\Delta^9$*  di alcuni acidi grassi, tra cui l'acido stearico e l'acido vaccenico, originando così rispettivamente l'acido oleico (C18:1 *cis-9*) e l'acido rumenico (CLA *cis-9, trans-11*) (Ntambi et al., 2001). La sequenza aminoacidica è caratterizzata dalla presenza di 3 regioni ricche di istidina, che si ripetono in tutte le specie con un elevato tasso di similarità, che si estende anche al regno vegetale. Questo



### Aplotipo V:

```
gtactacaaacctgggtgctctgtgtgtgtgcttcctcctgccacactcgtg  
gcc_tggatctctgtgggatgaaacgtttcaaacagcctgttttttggcac  
cttatctcggtta_gcccttgggctcaacgctcacctggctggatagtg  
tgcccatatgtatggataccgcccttatgacaagaccatcaacccccgaga  
gaatattctgggttccctgggagctg_gg
```

### Aplotipo A

```
gtactacaaacctgggtgctctgtgtgtgtgcttcctcctgccacactcgtg  
gcc_tggatctctgtgggatgaaacgtttcaaacagcctgttttttggcac  
cttatctcggtta_gcccttgggctcaacgctcacctggctggatagtg  
tgcccatatgtatggataccgcccttatgacaagaccatcaacccccgaga  
gaatattctgggttccctgggagctg_gg
```

Figura 2. Aplotipi A e V del gene  $\Delta$ -9 Stearoyl Co-A Desaturasi.

Figure 2. A and V aploptype of  $\Delta$ -9 Stearoyl Co-A Desaturase gene.

fa supporre che le tre regioni intervengano attivamente nella catalisi della reazione (Ntambi 1995; Behrouzian et al., 2003; Heinemann et al., 2003).

Il gene della SCD è costituito da sei esoni e cinque introni. Questa organizzazione è stata ritrovata nel gene murino, umano, caprino, ovino e bovino (Bernard et al., 2001). Le sequenze presenti in banca dati rivelano una notevole similarità tra il cDNA della SCD dei caprini e quello di ovini e bovini; mentre è più bassa con quello di topo e uomo (Bernard et al., 2001). Il gene della SCD bovina è lungo 17088 bp ed è localizzato a livello del cromosoma 26. Lo studio della struttura del gene ha rilevato la presenza di un polimorfismo, esteso a molte razze (Holstein, Jersey e Brown Suisse) (Medrano et al., 1999), costituito da tre mutazioni puntiformi (SNP) a carico del quinto esone, le prime due sono mutazioni silenti, mentre la terza comporta la sostituzione di un amminoacido, precisamente una valina con un'alanina, nella terza regione istidinica (Medrano et al., 1999; Taniguchi et al., 2004). Questo comporta la presenza di due aplotipi SCD (A e V), codificanti per due forme proteiche che differiscono per la sostituzione aminoacidica sopra riportata (fig. 2). A partire da questa evidenza sperimentale sono state ipotizzate modifiche nell'attività enzimatica delle due proteine. Recentemente, nell'ambito di un progetto PRIN-MIUR coordinato da P. Secchiari, mediante uno studio condotto su 360 bovine da latte di razza Frisone Italiana, è stato evidenziato che gli individui portatori dell'aplotipo A mostravano un contenuto significati-

vamente più elevato di MUFA nel latte e un'attività desaturasica, misurata come rapporto C14:1/C14:0, più elevata, rispetto agli individui omozigoti per l'aplotipo V (Mele et al., 2007).

Il gene della SCD di capra è stato mappato a livello del cromosoma 26, ma non è stato ancora sequenziato e poco si conosce riguardo la sua struttura. La lunghezza del cDNA è molto simile a quello bovino e ovino con una similarità del 95% e 98% rispettivamente (Bernard et al., 2001). È stato comunque individuato un polimorfismo all'interno del gene, non dovuto a mutazioni puntiformi, come nel caso dei bovini, ma ad una delezione di tre paia di basi (TGT), a livello della regione 3'UTR; precisamente nella zona compresa tra 3178-3180 del cDNA (Bernard et al., 2001). In questo caso la presenza del polimorfismo non è stata ancora associata ad alcun effetto sulla produzione quantitativa o qualitativa di latte.

Negli ovini il gene SCD è localizzato a livello del ventiduesimo cromosoma e, come per la capra, la sua struttura non è stata ancora completamente sequenziata. Attualmente è conosciuta la sequenza del cDNA che è lungo 1986 bp. La sequenza aminoacidica del SCD ovino mostra una similarità del 93% con la SCD1 di ratto, uomo e bovino (Ward et al., 1998). Uno studio condotto su una popolazione di reincrocio Sarda x Lacaune ha evidenziato la presenza di un QTL sul cromosoma 22 che influenza in maniera significativa il rapporto acido ruminico/acido vaccenico. Dato che il gene SCD nella pecora è localizzato sul cromosoma 22 e che l'acido vaccenico rappresenta uno dei substrati

dell'enzima SCD, è stato ipotizzato che il QTL sia associato allo stesso gene SCD (Daniel et al., 2004). Il gene SCD è uno dei pochi, insieme con quello DGAT1 per il quale è stato dimostrato un polimorfismo genetico associato con variazioni significative nella produzione di grasso nel latte e nella carne. Questo fatto induce a considerare questi due geni come possibili candidati per l'individuazione di marcatori molecolari da utilizzare ai fini della selezione.

### 3. La carne

Si definiscono carni le parti commestibili dei muscoli scheletrici degli animali da macello propriamente detti (bovini, bufalini, equini, ovini, caprini, suini), del pollame, dei conigli e della selvaggina. Nelle carni, oltre al tessuto muscolare, possono essere presenti, in proporzioni differenti, tessuto adiposo, osseo, cartilagineo e connettivale.

La produzione della carne deriva soprattutto da soggetti giovani, dei quali, con appropriate tecniche di allevamento e di alimentazione, si asseconda la naturale tendenza all'accrescimento e al conseguente sviluppo somatico.

Il tessuto maggiormente rappresentato nella carne è quello muscolare striato, composto da fibre muscolari. Queste originano dal mesoderma embrionale, cioè dal mesenchima (pre-mioblasti, mioblasti e miotubi) e diventano fibre polinucleate, dotate di miofibrille.

Mentre durante i primi due terzi dello sviluppo embrionale e fetale, l'aumento in peso e in volume è dovuto a iperplasia, nell'ultima fase della vita prenatale, si ha anche ipertrofia. Dopo la nascita le fibre aumentano sia in lunghezza sia in larghezza (ipertrofia) e l'aumento del loro diametro è dovuto alla proliferazione di cellule dette satellite ed alla loro successiva differenziazione che comporta la loro fusione con le fibre adiacenti e la formazione, pertanto, di cellule polinucleate responsabili dell'accrescimento ipertrofico.

Il tessuto adiposo è formato da adipociti, che, alla nascita, possono essere presenti in due forme: tessuto adiposo bruno e bianco. Il primo, caratterizzato da adipociti piccoli di colore bruno, a causa del maggiore contenuto di citocromo nei mitocondri, ha funzioni energetiche per il neonato e, entro poche settimane, scompare o

è convertito in grasso bianco, caratterizzato da adipociti di volume più grande. Ai fini auxinici gli adipociti si accumulano soprattutto, negli animali giovani, intorno ai visceri e ai reni e, a livello muscolare, nel perimio, cioè nella membrana connettivale che avvolge i singoli muscoli e, infine, sulle fibre muscolari (grasso di marzatura). Successivamente e in maniera particolare durante "l'ingrasso", il tessuto lipidico aumenta nelle regioni suddette e anche nel sottocute, determinando una "copertura" adiposa, più evidente in certe regioni del corpo (i così detti "tasti" o "maneggiamenti"), a livello dei quali è possibile apprezzare l'entità dell'accumulo adiposo e, da questo, stimare lo stato di ingrassamento generale.

Sempre dal mesenchima si originano gli osteoblasti, i fibroblasti e i condroblasti. I primi daranno origine alle cellule ossee (osteociti), i secondi, cioè i fibrociti, formeranno i tendini, i legamenti e i tessuti connettivali lasso e fibroso; gli ultimi, divenuti condrociti, formeranno le cartilagini. L'accrescimento del tessuto osseo è dovuto, nelle ossa lunghe, all'accrescimento della cartilagine epifisaria (centro di ossificazione), che viene gradualmente sostituita da tessuto osseo. Da analoghi centri di ossificazione, presenti nelle ossa piatte, procede la formazione in esse di tessuto osseo definitivo.

Il tessuto connettivo fibroso, formato da collagene, elastina e reticolina, è parte integrante di tutti i muscoli. Il contenuto di connettivo è maggiore nei muscoli scheletrici degli arti che in quelli di supporto, quali i toracici e i lombari, che danno i tagli di carne più pregiati.

L'accrescimento somatico è un processo che inizia già durante la vita prenatale, soprattutto nell'ultimo periodo della gravidanza (nel bovino, dal settimo mese in poi) e si continua poi, dalla nascita fino al raggiungimento dello stato adulto. Sempre nel bovino, l'accrescimento ha una accelerazione dalla nascita alla pubertà e una successiva progressiva decelerazione da questo momento all'età adulta. La maggior velocità di accrescimento si osserva nei muscoli degli arti e in quelli della groppa.

Il diametro delle fibre, cioè la capacità di accrescere il loro volume (ipertrofia) è da mettersi in relazione a fattori genetici (specie, razza, individuo) e ambientali (alimentazione e attività fisica); oltre alla specie (bovini e suini hanno fibre più grandi degli ovini), anche il sesso e l'età

influenzano questo parametro: le fibre muscolari dei maschi sono più grandi di quelle delle femmine e il diametro delle fibre aumenta con l'età.

Se si considera l'accrescimento dei vari tessuti, si osserva che quelli che più precocemente si formano sono il tessuto nervoso, già quasi interamente costituito, salvo l'incompleta mielinizzazione dei nervi, nel corso della vita intrauterina, e quelli che determinano la struttura somatica, cioè i tessuti osseo e muscolare, mentre il tessuto adiposo ha un ritmo di sviluppo più ritardato nel tempo. Da ciò discende che la deposizione di grasso è un processo lungo che si realizza con il progredire dell'età/peso dell'animale.

Dal punto di vista della produzione della carne, con la crescita dell'animale e con il variare dei rapporti tra le parti, si modifica anche la "resa", che tende ad aumentare con l'età. Infatti, l'incidenza percentuale del peso della carcassa tende a crescere con l'aumento del peso vivo dell'animale, mentre le percentuali della pelle e dei visceri tendono a diminuire. Tuttavia, oltre una certa età, fra le componenti della carcassa viene sempre più a incidere il tessuto adiposo sui tessuti muscolare e osseo. Questa osservazione è importante perché il valore della carcassa è in relazione al rapporto fra muscolo, grasso e osso.

Nel corso dell'accrescimento la composizione chimica del muscolo scheletrico si modifica, con differenze dovute a specie, razza, sesso e all'età dell'animale. In generale, aumenta la concentrazione delle proteine sieroplasmatiche e fibrillari e, in particolare, aumenta la mioglobina, proteina del sarcoplasma, che è responsabile del colore rosso più carico delle fibre muscolari dell'adulto, rispetto a quelle dell'animale immaturo. La percentuale di acqua muscolare decresce progressivamente mentre aumenta quella delle proteine e dei lipidi. La diminuzione è più forte nei primi stadi di sviluppo e rallenta con la maturità. Anche il contenuto minerale complessivo aumenta, con differenze tra i singoli elementi minerali (per esempio: dopo la nascita il contenuto di K aumenta e quello di Na diminuisce). Se si considera la composizione chimica dell'intero organismo, si vede che dalla nascita in avanti si riduce il contenuto idrico del corpo, si ha una lieve contrazione di quello proteico, mentre aumenta la componente lipidica. Il grasso, comunque, è la componente più va-

riabile del corpo in relazione al tipo genetico e alla qualità e quantità degli alimenti assunti dall'animale. In generale le razze più precoci tendono ad ingrassare più precocemente di quelle ad accrescimento più lento e la carne dei maschi contiene meno grasso di quella delle femmine.

Il processo di sviluppo, di cui sono stati descritti i momenti fondamentali, è regolato da una serie di fattori intrinseci ed estrinseci. Fra i primi ricordiamo quelli genetici (specie, razza, individuo), il sesso e la componente endocrina; fra i secondi hanno un ruolo preminente l'alimentazione e le tecniche di allevamento, che devono essere in grado l'una di assicurare i substrati nutritivi e le altre di creare le condizioni che favoriscano l'accrescimento.

Un aspetto importante è quello legato ai meccanismi endocrini che governano la crescita e lo sviluppo somatico dopo la nascita. Il principale fattore endocrino che interviene in questo processo è il GH (Ormone dell'accrescimento), la cui azione si esplica sulla crescita cellulare e, in particolare, sull'allungamento delle ossa. Il GH sembra svolgere la sua azione tramite una famiglia di peptidi dotata di attività solfatante e insulinosimile (IGF Insuline-like-growth factors) e le Somatomedine (IGF<sub>1</sub> e IGF<sub>2</sub>), prodotte dal fegato. Il GH agirebbe a livello delle cellule delle cartilagini in cui consentirebbe la risposta alla stimolazione delle Somatomedine (IGF<sub>1</sub>), promuovendo la differenziazione delle cellule immature (condroblasti) in cellule mature (condrociti); il GH, inoltre, stimolerebbe la produzione epatica e locale della stessa Somatomedina.

L'Insulina aumenta la secrezione del GH; tale azione è molto evidente alla pubertà, in cui l'incremento dell'Insulina corrisponde a una accelerazione della velocità di accrescimento. L'Insulina stimola la sintesi proteica, facilita la produzione di Somatomedina a livello epatico e favorisce la crescita dei tessuti connettivi e muscolo-scheletrici.

Gli ormoni tiroidei (T<sub>3</sub>, Triiodotironina e T<sub>4</sub>, Tiroxina) hanno un ruolo essenziale sull'accrescimento e sulla maturazione ossea; la loro carenza, infatti provoca il rallentamento e, se assoluta, l'arresto dello sviluppo (nanismo). L'azione degli ormoni tiroidei si esplica essenzialmente sulla maturazione più che sull'allungamento del tessuto osseo.

Gli ormoni sessuali (Estrogeni e Progesterone, prodotti dalle ovaie e Testosterone, prodotto dal testicolo), ma anche dalle ghiandole surrenali (Androgeni), influenzano la normale maturazione della crescita. In particolare il Testosterone, oltre ai noti effetti sulle manifestazioni dei caratteri sessuali secondari, ha azione anabolizzante sui tessuti muscolare e osseo.

### 3.1 Qualità della carne dei ruminanti.

Le caratteristiche qualitative della carne sono legate, per gli aspetti chimico nutrizionali, alla sua composizione chimica e, in particolare, alla componente lipofila, che rappresenta la quota maggiormente variabile ed influenzabile mediante opportune strategie nutrizionali. Gli aspetti organolettici sono influenzati sia dalle componenti lipofile (che influenzano il gusto, l'aroma e la consistenza della carne) sia dalle componenti proteiche. In quest'ultimo caso gioca sicuramente un ruolo importante la quantità e la qualità di connettivo, ma anche l'organizzazione stessa delle fibre muscolari e il grado di frammentazione di quest'ultime (che dipende anche da caratteristiche endogene dell'animale), nel determinismo di alcune caratteristiche fisiche come la durezza.

In questi ultimi anni i consumatori hanno posto una crescente attenzione all'aspetto edonistico e salutare degli alimenti. Per esempio, il colore della carne è il parametro che influenza maggiormente la scelta di acquisto, mentre l'aroma e la tenerezza sono valutate durante il consumo. Inoltre, la composizione in acidi grassi della carne ha importanti ripercussioni sulla salute umana. La conoscenza dei meccanismi fisiologici che regolano lo sviluppo somatico degli animali e l'accumulo di grasso nei tessuti ha svolto sicuramente un ruolo importante nell'evoluzione dei sistemi di alimentazione finalizzati ad ottenere carni con caratteristiche qualitative apprezzate dai consumatori.

I consumatori associano il colore e la luminosità della carne alla sua freschezza in funzione del loro background culturale. Ad esempio, in consumatori spagnoli (Sanudo et al., 1996) e giapponesi (Zembayashi et al., 1999) gradiscono maggiormente una carne chiara piuttosto che scura. Il colore della carne può essere misurato oggettivamente mediante l'utilizzo dei colorimetri, secondo il sistema CIE  $L^*a^*b^*$  ed è descritto dalle tre coordinate  $L^*$  (luminosità: mag-

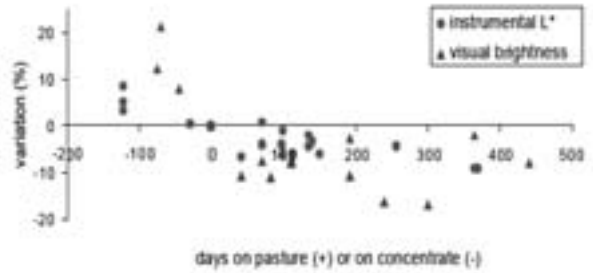


Figura 3. Variazione (%) di luminosità strumentale (instrumental  $L^*$ ) o visuale (visual brightness) nel muscolo *Longissimus dorsi* bovino dopo pascolamento o alimentazione con concentrato (Priolo et al., 2001).

Figure 3. Variation (%) of instrumental  $L^*$  or visual brightness in cattle m. *Longissimus dorsi* after grazing on pasture or fed concentrate (Priolo et al., 2001).

giore è il valore  $L^*$ , più luminosa è la carne),  $a^*$  (indice del rosso) e  $b^*$  (indice del giallo).

È evidente che la carne degli animali allevati al pascolo è più scura rispetto alla carne degli animali allevati in stalla. Effetti diretti della dieta sul colore della carne sono considerati rari. Altri fattori, come l'attività fisica, il pH (fig. 3) ed il grasso di marezatura sono responsabili per queste differenze (Priolo et al., 2001). In generale, gli animali alimentati al pascolo presentano valori di pH finale più alti rispetto agli animali alimentati in stalla. Ciò è dovuto ad un minor accumulo di riserve di glicogeno, e quindi ad un minor potenziale glicolitico, negli animali al pascolo rispetto agli animali nutriti con mangimi concentrati (Daly et al., 1999). L'attività delle calpaine e delle catepsine (che sono gli enzimi responsabili dell'idrolisi delle proteine miofibrillari) dipende dal pH del muscolo (Dransfield et al., 1992) e quindi anche la struttura della carne è influenzata dal pH finale del muscolo. È noto che la struttura del muscolo influenza il colore della carne, dal momento che in funzione della struttura del muscolo la luce può essere più o meno riflessa o assorbita (Geay et al., 2001). Inoltre, anche il contenuto di grasso di marezatura influenza il colore della carne: in generale, gli animali allevati in stalla con mangimi concentrati hanno più grasso di marezatura degli animali allevati al pascolo (Crouse et al., 1984) e considerando che il grasso è più chiaro rispetto al muscolo, la sua presenza può contribuire all'aumento della luminosità della carne (Priolo et al., 2001).

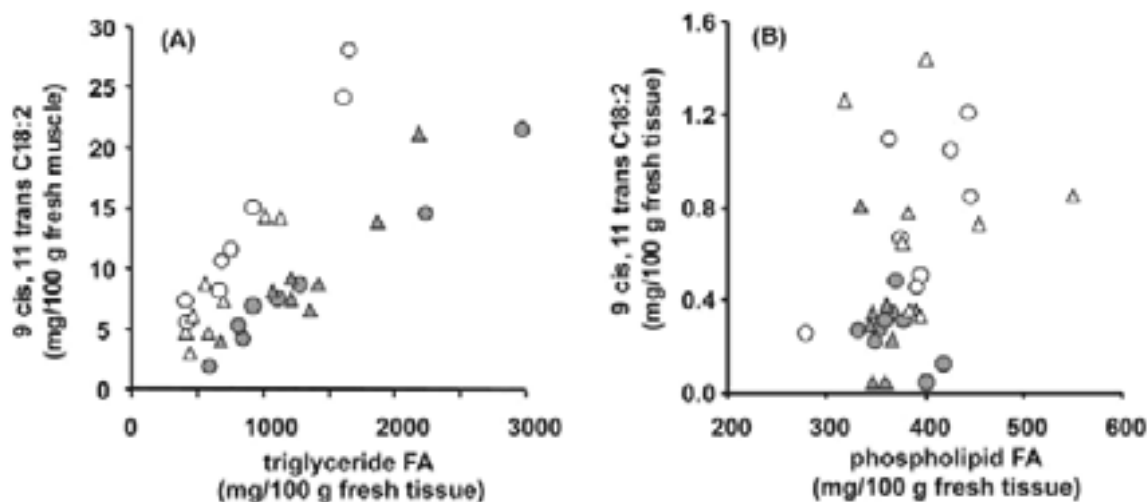


Figura 4. Variabilità del contenuto di 9-cis, 11-trans CLA nei trigliceridi (A) and nei fosfolipidi (B) a seconda del loro contenuto in *Longissimus thoracis* di agnelli alimentati con pascolo (simboli bianchi) o con dieta a base di granella (simboli neri) a due differenti tassi di crescita (basso = triangoli; alto = cerchi) (Aurousseau et al., 2004).

Figure 4. Variability of the amount of 9-cis, 11-trans CLA in triglycerides (A) and in phospholipids (B) according to their content in *Longissimus thoracis* of lambs fed on pasture (white symbols) or on a grain-based diet (black symbols) at two different growth rate (low = triangles; high = circles) (Aurousseau et al., 2004).

Il colore della carne dipende anche dal contenuto e dallo stato chimico della mioglobina (Mancini e Hunt, 2005). Questo pigmento si trova come ossimioglobina, responsabile del colore rosso brillante della carne, e come metamioglobina, che è la forma ossidata della mioglobina. La metamioglobina è responsabile dell'imbrunimento della carne. Quando gli animali sono al pascolo, la loro carne è meno soggetta all'imbrunimento rispetto alla carne degli animali alimentati con concentrato (Scollan et al., 2006). Questo effetto sembra essere dovuto alle proprietà antiossidative della vitamina E, ampiamente presente nell'erba verde (fig. 3).

Gli acidi grassi ingeriti dagli animali con la dieta possono essere depositati immutati nei tessuti adiposi, oppure possono essere elongati e desaturati nel muscolo o nella ghiandola mammaria. Inoltre, negli animali poligastrici, gli acidi grassi mono- e poli-insaturi (MUFA e PUFA) sono bioidrogenati nel rumine. In particolare, come già sottolineato in precedenza, la bioidrogenazione dell'acido linoleico produce tra gli intermedi della reazione Acido rumenico (RA) e acido vaccenico, due acidi grassi dalle riconosciute proprietà nutraceutiche.

Studi pubblicati negli ultimi dieci anni hanno dimostrato che quando gli animali sono al

pascolo la loro carne possiede un contenuto di CLA superiore rispetto agli animali alimentati con mangime concentrato (French et al., 2000; Santos Silva et al., 2002; Aurousseau et al., 2004) (fig. 4). L'elevato contenuto di fibra presente nell'erba favorisce lo sviluppo nel rumine della microflora cellulolitica, come ad esempio il *Butyrivibrio fibrisolvens*, uno dei ceppi batterici responsabili della bioidrogenazione ruminale (Kepler e Tove, 1967). Inoltre, l'erba verde ha un contenuto di acido alfa-linolenico, che è un precursore ruminale dell'acido vaccenico, superiore rispetto al concentrato. L'acido alfa-linolenico è un acido grasso della serie n-3: esso può essere elongato e desaturato nel muscolo dando origine agli acidi grassi C20:5 n-3 (EPA) e C22:5 n-3 (DHA), che sono attivi nella prevenzione delle malattie cardiocircolatorie (Simopoulos, 1999). Quando gli animali ricevono erba verde, il contenuto di acidi grassi n-3 delle loro carni può essere persino il doppio rispetto alle carni di animali alimentati con mangime concentrato (fig. 5). Al contrario, la carne degli animali alimentati in stalla ha elevati contenuti di acidi grassi n-6 (Aurousseau et al., 2004). Secondo le linee guida del dipartimento della salute del Regno Unito (1994) il rapporto n-6/n-3 non deve eccedere il valore di 4 nella dieta umana al fi-

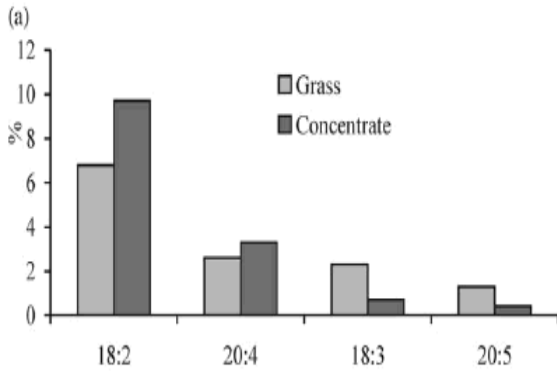


Figura 5. Composizione in acidi grassi di muscolo *Semimembranosus* in pecore alimentate con erba o concentrati (dati espressi come % di lipidi totali) (Fisher et al., 2000).

Figure 5. Fatty acid composition of m. *Semimembranosus* in sheep fed grass or concentrate (data expressed as % of total lipids) (Fisher et al., 2000).

ne di prevenire l'insorgenza di malattie cardiovascolari (Secchiari, 2008).

Un altro aspetto qualitativo della carne che negli ultimi anni ha ricevuto notevole attenzione da parte della ricerca e il cui determinismo è legato, almeno in parte, ad aspetti fisiometabolici è l'aroma delle carni.

La presenza dei composti volatili nei prodotti di origine animale, in effetti, ha più di un'origine: essi possono derivare dal trasferimento diretto dagli alimenti, o possono essere formati dal metabolismo animale (sintesi endogena) o, nel caso dei poligastri, dai microrganismi ruminanti (Suzuki e Bailey, 1985). Inoltre, quando gli animali pascolano, la presenza di alcuni composti volatili può essere influenzata da variabili ambientali come la stagione (Fernández-García et al., 2002), la collocazione geografica del pascolo (Viallon et al., 1999), la sua composizione botanica (Mariaca et al., 1997) o il tempo che gli animali trascorrono al pascolo (Viallon et al., 2000). Alcuni composti volatili sono stati indicati come marcatori del regime alimentare [erba o concentrato] (Priolo et al., 2004) e, nel caso di animali allevati al pascolo, come marcatori dell'area geografica di pascolamento (Coulon e Priolo, 2002). Vari studi hanno riportato che numerose variabili influenzano la presenza dei composti volatili nella carne: la specie animale (Ha e Lindsay, 1991), la razza (Elmore et al., 2000), l'età di macellazione, la maturità sessuale (Sutherland e Ames, 1996) e la dieta (El-

more et al., 2000; Young et al., 1997, 2003; Geay et al., 2002). Alcuni composti volatili hanno effetti evidenti sul flavour della carne (Priolo et al., 2001), mentre altri non contribuiscono alle proprietà sensoriali della carne.

### 3.2 Basi genetiche della qualità della carne dei ruminanti e del suino

Al pari di quanto ricordato per la qualità del latte, il miglioramento della qualità della carne si basa, in massima parte, sugli schemi di selezione che derivano dall'applicazione dei criteri della genetica quantitativa. Tali schemi si differenziano in funzione delle caratteristiche della specie (a breve o a lungo ciclo riproduttivo, pluripara o unipara, ecc.) e degli specifici obiettivi dettati dalle peculiarità del sistema produttivo e del mercato nazionale. Negli ultimi anni, l'aumento delle conoscenze sul genoma animale ha contribuito, anche nel caso della carne, allo sviluppo di strategie integrate tra genetica quantitativa e informazioni molecolari.

Nel caso della carne bovina, interessanti risultati sono stati ottenuti usando l'approccio del gene candidato per l'identificazione di marcatori associati a diverse caratteristiche produttive. In particolare, per il gene miostatina, scelto sulla base del fatto che l'inibizione del gene determina un aumento delle masse muscolari nel topo, sono state identificate diverse mutazioni associate all'ipertrofia muscolare caratteristica di alcune razze da carne tra cui la razza Piemontese e la razza Marchigiana (Kambadur et al., 1997; McPherron e Lee, 1997; Marchitelli et al., 2003). Diversi altri studi hanno analizzato i geni dell'asse dell'ormone della crescita per identificare associazioni tra marcatori e quantità e qualità della carne (Di Stasio et al., 2005).

Recentemente, uno studio compiuto su razze bovine da carne ha messo in luce l'effetto del polimorfismo del gene *SCD* sulla composizione degli acidi grassi nella carne. In particolare è stato rilevato che la presenza dell'aplotipo con alanina (A) comporta un maggiore accumulo di MUFA, come già ricordato, rispetto all'aplotipo con valina (V) (Taniguchi et al., 2004).

Per quanto riguarda il suino, gli obiettivi di selezione e miglioramento genetico perseguiti in ambito nazionale sono in larga parte diversi da quelli di altri paesi europei, in quanto finalizzati all'ottimizzazione delle caratteristiche qualitative dei prodotti tipici stagionati. La suinicola-

tura italiana, infatti, è caratterizzata da indirizzi produttivi che hanno assunto, in ambito europeo, connotazioni specifiche e originali. L'orientamento prevalente del settore verso la produzione di suini "pesanti e maturi" nel rispetto di linee guida imposte da disciplinari di produzione di prodotti tipici stagionati DOP, quali il prosciutto di Parma e di San Daniele, rappresenta elemento caratterizzante della suinicoltura nazionale. Particolare importanza assumono, per questo tipo di prodotti, le caratteristiche tecnologiche e qualitative della carne suina in quanto la tecnologia di trasformazione, basata sull'aggiunta di sale e stagionatura in ambiente controllato, non è in grado di correggere eventuali difetti e carenze della materia prima impiegata.

L'attività di miglioramento genetico che ha dato origine e tuttora contraddistingue linee suine prodotte da *breeding companies* estere persegue obiettivi selettivi incentrati sulla produzione di carne da consumo fresco che risultano, in larga parte, privi di significato o finanche incompatibili con le esigenze della filiera nazionale di trasformazione delle carni suine. A titolo d'esempio è possibile ricordare gli effetti sconvenienti prodotti dalla selezione per la riduzione dello spessore del grasso dorsale, intensamente praticata in ambito europeo, sul grado di copertura adiposa delle cosce, sul tenore di grasso della carne destinata a trasformazione in prodotti tipici stagionati, e sul calo di stagionatura del prosciutto. Per tali motivi l'utilizzazione di riproduttori appartenenti a tali linee ha frequentemente determinato incertezza e insoddisfazione nell'ambito della filiera produttiva nazionale. Il limitato interesse manifestato dalle *breeding companies* estere e, in particolare, da quelle a connotazione multinazionale, nei riguardi dello sviluppo di linee di riproduttori espressamente selezionate per il mercato nazionale trova ragione nella dimensione ridotta del mercato italiano in rapporto a quello mondiale, nell'entità dell'investimento finanziario richiesto e nelle difficoltà derivanti dall'introduzione di attività straordinarie in un contesto gestionale organizzativo omogeneo e consolidato.

La recente disponibilità di conoscenze, ricavate dall'analisi del genoma animale, offre l'opportunità di integrare approcci innovativi nell'ambito delle metodologie di valutazione genetica e di selezione tradizionalmente utilizzate

nella specie suina e di incrementare l'efficienza degli schemi selettivi classici. La selezione assistita da marcatori genetici (MAS), come indicato in precedenza, è un metodo di selezione innovativo basato sull'utilizzazione di informazioni relative a singoli loci nel determinismo di caratteri quantitativi di interesse economico (ETL) o a regioni genomiche contenenti ETL. L'utilizzazione dei markers molecolari in ambito selettivo consente di incrementare l'efficienza della selezione praticata entro razza o linea suina mediante approcci GAS (Gene Assisted Selection) o di operare interventi selettivi nell'ambito di popolazioni ibride come nel caso dell'introgresione Genica Assistita da marcatori (MAI).

Nella specie suina, l'approccio del gene candidato è stato utilizzato per identificare marcatori associati con caratteristiche qualitative della carne. In particolare, per il potenziale glicolitico e l'attività catepsinica, che rappresentano parametri qualitativi importanti per la trasformazione delle cosce in prosciutti, sono stati studiati una serie di geni coinvolti, rispettivamente, nel metabolismo energetico (Fontanesi et al., 2003) e nella proteolisi enzimatica del muscolo (Russo et al., 2002).

### 3.3 Carni avicole

Le carni di pollo al pari delle altre tipologie di carne danno un buon apporto proteico, superiore per il petto (22,5%), rispetto al coscio (17,9%). Ugualmente le carni di tacchino (petto, 22%; coscio 20,9%) si collocano su altrettanto buoni valori di proteine. Dal punto di vista qualitativo esse sono dotate dei più utili aminoacidi (Lisina: da 1,6-1,8g/100g di prodotto; Istidina: circa 0,6 g/100g di prodotto e Arginina). Apportano anche Ferro (1,5 mg nel pollo e 2,5 mg nel tacchino) e, se si esclude la pelle, il loro contenuto di grasso è limitato (1% nel petto di pollo e 1,55 in quello di tacchino). Le carni avicole sono facilmente digeribili sia per la struttura delle fibre muscolari, più ridotta rispetto a quella delle carni delle altre specie (diametri: micron 45-48, nel pollo; micron 73-75, nel bovino; micron 50-54, nell'ovino e micron 90-92, nel suino) e per la minor presenza di tessuto connettivo.

La genetica degli avicoli si basa sull'utilizzazione come riproduttori di ibridi commerciali, prodotti all'estero, sia in paesi europei sia negli USA, con le seguenti basi genetiche: per i pol-

li da carne Broilers-Roasters, da linee sintetiche maschili e femminili Plymouth Rock bianca si ottiene la linea parentale femminile che, incrociata con maschi derivati Cornish bianco (originata da incrocio Cornish x Livorno), dà i polli "Broilers" commerciali.

Nella linea maschile sono selezionati i caratteri peso all'età in giorni alla macellazione, indice di conversione, conformazione corpo, qualità carne, grasso addominale, resa in tagli primari, assenza di difetti agli arti e al petto, velocità di impennamento k (rapido), colore penna I (bianco)-i \*, colore pelle W (bianco) o w (giallo), presenza o assenza di ascite.

Nella linea femminile sono presi in considerazione per la selezione i caratteri: età al primo uovo, tasso di deposizione, fertilità alla schiusa, velocità impennamento K (lento). Il colore della pelle, bianco o giallo è in, genere, una scelta di mercato.

Il diagramma di flusso per la produzione di riproduttori avicoli è articolato in vari momenti che si susseguono nel tempo e partono dalla creazione di linee consanguinee di maschi super pesanti e di femmine pesanti, cui segue la determinazione della popolazione di gran *parents*, attraverso la realizzazione di tutti gli incroci possibili per identificare le due linee migliori da riprodurre. Le loro uova fertili vengono incubate e da esse si ottengono i riproduttori pesanti da cui deriveranno poi i Broilers che saranno allevati per la produzione della carne.

### 3.4 Carni di coniglio

Il coniglio è un ottimo produttore di carne, anzitutto in forza delle sue caratteristiche riproduttive. La femmina infatti presenta elevate fecondità, prolificità e attitudine materna e una durata della gravidanza di soli 31 giorni. Negli allevamenti commerciali, viene solitamente impiegato un ritmo riproduttivo semi-intensivo con inseminazione 11-12 giorni *post-partum*, corrispondente a circa 7-8 parti all'anno con una media di 7 conigli venduti/ciclo riproduttivo ad un peso di 2,5-2,7 kg. Ne deriva una produzione annuale per coniglia fattrice di 120-140 kg di conigli macellati corrispondenti a 70-80 kg di carcassa. La carne di coniglio presenta un buon valore proteico (20-21%) con un elevato contenuto di Lisina e Treonina e una limitata quantità di grasso (1,5-5%), prevalentemente sepa-

rabile, caratterizzato da un favorevole rapporto fra acidi grassi saturi e insaturi e da un ottimo apporto di PUFA n-3 (Gondret et al., 1998). Il suo contenuto in colesterolo (70-80 mg/100 g di carne) è inferiore a quello delle carni di altre specie; buona la concentrazione di Fosforo Potassio e Magnesio, mentre Ferro e Iodio sono presenti in quantità limitate (Lebas e Ouhayoun, 1987; Dalle Zotte, 2000). A causa della peculiarità della fisiologia digestiva del coniglio e della suscettibilità alle malattie digestive, non sono possibili variazioni consistenti della composizione della dieta e pertanto l'effetto dei fattori alimentari sulla qualità della carne è in genere modesto (Xiccato, 1999; Trocino e Xiccato, 2000).

Il coniglio, infatti per la conformazione anatomica dell'apparato digerente, dotato di un grosso cieco a livello del quale si realizza la ciecotrofia, ha un comportamento di risparmio alimentare, che, tramite la microflora ciecale, permette di trasformare i residui della digestione in sostanze nutritive che sono nuovamente assorbite dal coniglio con l'assunzione del ciecotrofo.

L'allevamento commerciale del coniglio è basato sull'impiego di tipi genetici specializzati nella produzione della carne, rappresentati in buona misura da ibridi commerciali prevalentemente di origine francese e solo in parte nazionale. L'impiego di razze pure (Bianca di Nuova Zelanda, Californiana) o di incroci domestici a due o tre vie è ancora frequente negli allevamenti di piccole dimensioni e non mancano esempi di grandi allevamenti che utilizzano riproduttori derivanti da selezione e rimonta interna.

Una quota del mercato della carne cunicola, nettamente inferiore rispetto al settore avicolo e stimata pari a circa il 20-25%, è integrata verticalmente e controllata da alcune delle principali industrie mangimistiche italiane, mentre la maggior parte degli allevatori e degli operatori della filiera (macelli, grossisti, distributori) opera indipendentemente nel mercato cunicolo (Xiccato e Trocino, 2007).

Queste sono le note più rilevanti a proposito di una filiera di produzione che vede il nostro paese come primo produttore e consumatore, con un consumo che colloca la carne di coniglio (circa 4-4,5 kg pro capite/anno), al 4° posto dopo le carni suine bovina e avicole.



#### **4. Le uova**

L'uovo è prodotto dalle ovaie che, con l'ovidotto, si originano da abbozzi primitivi pari e simmetrici; nel corso dello sviluppo però la porzione destra si atrofizza e nell'animale adulto rimangono soltanto l'ovaia e l'ovidotto di sinistra. L'ovaia si presenta come un grappolo con gli acini costituiti dai follicoli oofori a differente grado di sviluppo.

La produzione di uova nella gallina inizia alla pubertà (5-6 mesi di età), quando l'animale manifesta sensibilità alla luce, segno del completamento dello sviluppo sessuale.

In relazione al ruolo esercitato dalla sensibilità alla luce, l'inizio del ciclo di ovodeposizione può essere posto al momento del passaggio dal periodo di luce a quello di buio; il picco di Ormone Luteinizzante (LH) si ha infatti a distanza di circa 8 ore dall'inizio del buio; contemporaneamente si ha anche il picco degli Estrogeni, degli Androgeni e del Progesterone, che, oltre agli effetti sopra ricordati, induce anche la produzione delle proteine dell'albumine.

Dopo la pubertà, quando l'animale raggiunge la maturità sessuale, a partire dai primi ovociti pronti, inizia lo scoppio dei follicoli per l'ovulazione. Le ovulazioni si susseguono a distanza di circa 24 ore, con un giorno di riposo alla fine del ciclo di ovulazione, che regola la successiva deposizione. La formazione dell'uovo, dopo l'ovulazione, si completa nell'ovidotto, che nella gallina in piena età di produzione è lungo circa cm 70 e consta dei seguenti settori funzionali: infundibolo, camera albuminifera, magnum, istmo e camera calcigena.

Il ciclo di deposizione inizia al giorno zero, con l'emissione del primo uovo fra le 6 e le 8 del mattino; nel giorno successivo questo viene deposto con un ritardo compreso tra 30 minuti e 4 ore e così avanti finché si ha una deposizione nel tardo pomeriggio. A questo punto si blocca l'ovulazione, perché essa non avviene mai nelle ore notturne. La nuova deposizione si avrà dopo circa 36 ore. La deposizione dura per un periodo di circa 365 giorni e rallenta o si attenua solo con la muta, cioè il cambio della livrea, che in genere si ha nei mesi di agosto-settembre.

Questi eventi fisiologici descrivono il processo produttivo delle uova, tipico degli uccelli, ma che, in riferimento alle galline ovaiole, co-

stituisce uno dei più importanti comparti produttivi della zootecnica italiana, con una produzione annua di oltre 13 miliardi di pezzi, che assicura un tasso di autoapprovvigionamento del nostro paese del 101,2%, con un consumo annuo di 222 uova a testa, pari a kg. 14/pro capite.

Le uova hanno forma ovale non regolare e sono di colore bianco o rossastro; hanno un peso che varia dai 30 ai 70 g (peso medio: 60-65 g) e i suoi diametri misurano mediamente 6,1 cm, il maggiore e cm 45, il minore.

I costituenti dell'uovo sono: il guscio e le membrane testacee (12%, del peso dell'uovo), l'albumine (56%) e il tuorlo (32%). Le variazioni rispetto a questi valori possono toccare anche il 10%.

Il guscio è costituito principalmente da Sali di calcio (carbonato di calcio) e, in misura minore, da Sali di Mg, P, Fe, S (95%); si ha poi il 3,5% di proteine, nella sottile cuticola esterna che lo riveste e che ha funzione di barriera contro agenti microbici e spore; infine si ha un 1,5% di acqua. Il guscio possiede circa 7.000 pori, che permettono gli scambi gassosi con l'esterno; questi sono dislocati soprattutto nella zona equatoriale e ai poli dell'uovo. All'interno del guscio, abbiamo la membrana testacea (70% di proteine, 20% di acqua e 10% di sali minerali), formata da due foglietti accollati, che si discostano al polo ottuso per formare la camera d'aria.

L'albumine circonda completamente il tuorlo ed è costituito da più strati che si formano a seguito delle rotazioni dell'uovo e del tipo di secrezioni che avvengono nelle successive parti dell'ovidotto. Nell'albumine si distinguono le calaze che sono formazioni che sospendono il tuorlo longitudinalmente. È costituito per l'86% di acqua; per il 12% di proteine, di cui l'ovoalbumina costituisce il 75%, per lo 0,6% da lipidi; si hanno poi sali minerali e vitamine (B<sub>2</sub>, C, B<sub>1</sub>, Ac. pantotenico) ed enzimi, fra cui il Lisozima, ad azione battericida. L'albumine contiene anche l'avidina, una antivitaminina B<sub>1</sub>, che viene inattivata dal calore, come avviene a seguito della cottura.

Il tuorlo è assai disomogeneo e rappresenta un oocita di secondo ordine, che, se fecondato, diviene uno zigote. Ha un elevato valore nutritivo; infatti è costituito per il 48% da acqua, per il 17% da proteine; per 1% di glucidi, 33% di lipidi (62% trigliceridi; 33% fosfolipidi, 5% steroli e cerebrosidi) e per l'1% di sali minerali. È

ricco di vitamine lipo e idrosolubili, di caroteni (pro-vitamina A) e di enzimi.

Il miglioramento genetico delle galline ovaiole è basato sull'utilizzazione per la produzione di uova di femmine commerciali ottenute, per le uova a guscio colorato, dall'incrocio di linee sintetiche maschili (derivate New Hampshire o Rode Island bb) con linee sintetiche femminili (derivate da Plymouth Rock barrata B o bianca). Ugualmente si procede per le galline ovaiole a guscio bianco, con la differenza che le linee sintetiche parentali sono ottenute da soggetti derivati Livorno.

## 5. Conclusioni

La trattazione dei vari capitoli in cui è articolato il lavoro ha posto in evidenza i processi fisiologici che portano alla secrezione del latte e determinano le sintesi dei suoi componenti principali. È stato altresì ricordato il ruolo della genetica quantitativa e le nuove prospettive aperte dalla genetica molecolare, basate sulle conoscenze relative alle regioni genomiche che controllano i QTL, alle possibilità di utilizzazione della Selezione Assistita da Marcatori (MAS) e dall'Introgresione di geni Assistita da Marcatori (MAI). Un ulteriore approccio considerato è stato quello riguardante lo studio dei geni candidati per identificare direttamente marcatori associati con caratteri produttivi. La stessa metodologia di analisi, applicata agli altri alimenti considerati (carni e uova) ha permesso di analizzare lo stato e le conoscenze relative ad essi, rilevando che è in atto un progressivo aumento dei dati fisio-metabolici che condizionano la qualità delle carni, mentre per le uova le conoscenze in questo ambito sono ben consolidate. In entrambi i casi è preponderante il ruolo della genetica quantitativa con qualche apporto della genetica molecolare soprattutto per le carni bovine e suine.

Questi dati sono utili in relazione alle nuove prospettive che si stanno affacciando nel campo delle scienze animali e che sono legate alle possibilità di studiare l'effetto dei nutrienti sull'espressione dei geni e delle proteine o di investigare i meccanismi fisiologici e biochimici di adattamento che gli animali hanno sviluppato in risposta all'esposizione a differenti nutrienti, mettendo così in luce le varianti genetiche più

favorevoli. Questa nuova area di ricerca è spesso indicata come nutrigenomica, cioè l'integrazione fra genomica funzionale, nutrizione, biochimica e fisiologia anche definita come nutrigenetica.

La sua applicazione in zootecnia può essere rivolta al miglioramento della qualità delle produzioni attraverso una alimentazione mirata degli animali.

Infatti, anche se i nutrienti sono in gran parte metabolizzati a composti energetici o sono coinvolti nelle reazioni chiave del metabolismo (ad esempio le vitamine), alcuni composti naturalmente presenti negli alimenti possono agire direttamente sul genoma alterando l'espressione dei geni, oppure agire come leganti di fattori di trascrizione o, ancora, influenzare indirettamente l'espressione genica, agendo come segnali del processo di traduzione proteica.

Queste sono attualmente le conoscenze più avanzate relativamente ai processi genetici e fisiologici che sono alla base della qualità nutrizionale e nutraceutica degli alimenti di origine animale.

## Bibliografia

- Abe T., Komatsu M., Oishi T., Kageyama A. 1975. Genetic polymorphism of milk proteins in Japanese Cattle and European Cattle breeds in Japan. *Japanese Journal of Zootechnical Science*, 46:591-599.
- Alais C. 2000. *Scienza del latte*. 3ª ed. Ed. Tecniche Nuove.
- Aschaffenburg R., Drewry J. 1955. Occurrence of different beta-lactoglobulins in cow's milk. *Nature*, 176:218-219.
- Aurousseau B., Bauchart D., Calichon E., Micol D., Priolo A. 2004. Effect of grass or concentrate feeding system and rate of growth on triglyceride and phospholipid and their fatty acids in the *M. longissimus thoracis* of lambs. *Meat Sci.*, 66:531-541.
- Bauman D.E., Lock A.L., Corl B.A., Ip C., Salter A.M., Parodi P.W. 2006. Milk fatty acids and human health: potential role of conjugated linoleic acid and trans fatty acids. In: Sejrsen K., Hvelplund T., Nielsen M.O. *Ruminant Physiology*, 529-561. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Behrouzian B., Buist P.H. 2003. Mechanism of fatty acid desaturation: a bioorganic perspective. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 68:107-112
- Bernard L., Leroux C., Hayes H., Gautier M., Chilliard Y., Martin P. 2001. Characterization of the caprine stearyl-CoA desaturase gene and its mRNA showing an

- unusually long 3'-UTR sequence arising from a single exon. *Gene*, 281:53-61.
- Boettcher P., Caroli A., Stella A., Chessa S., Budelli E., Canavesi F., Ghiroldi S., Pagnacco G. 2004. Effects of casein haplotype on milk production traits in Italian Holstein and Brown Swiss Cattle. *J. Dairy Sci.*, 87:4311-4317.
- Braunschweig M., Hagger C., Stranzinger G., Puhani Z. 2000. Associations between casein haplotypes and milk production traits of Swiss Brown cattle. *J. Dairy Sci.*, 83:1387-1395.
- Cases S., Stone S.J., Zhou P., Yen E., Tow B., Lardizabal K.D., Voelker T., Farese R.V. 2001. Cloning of DGAT2, a Second Mammalian Diacylglycerol Acyltransferase, and Related Family Members. *The Journal of Biological Chemistry*, 276:38870-38876.
- Chung E.R., Han S.K., Rhim T.J. 1995. Milk protein polymorphisms as genetic marker in Korean native cattle. *Asian-Australasian Journal Animal Sciences*, 8:187-194.
- Coulon J.-B., Priolo A. 2002. La qualité sensorielle des produits laitiers et de la viande dépend des fourrages consommés par les animaux. *INRA Productions Animales*, 15:333-342.
- Creamer L.K., Richardson B.C. 1975. A new genetic variant of  $\beta$ -casein. *New Zealand Journal of Dairy Science and Technology*, 10:170-171.
- Crouse J.D., Cross H.R., Seideman S.C. 1984. Effects of a grass or grain diet on the quality of three beef muscles. *J. Anim. Sci.*, 58:619-625.
- Dalle Zotte A. 2000. Main factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Proceedings 7<sup>th</sup> World Rabbit Congress*, July Valencia, Spain, vol. A:507-537.
- Daly C.C., Young O.A., Graafhuijs A.E., Moorhead S.M., Easton H.S. 1999. Some effects of diet on beef meat and fat attributes. *New Zeal. J. Agric. Res.*, 42:279-287.
- Daniel Z.T.C.R., Wynn R.J., Salter A.M., Buttery P.J. 2004. Differing effects of forage and concentrate diets on the oleic acid and conjugated linoleic acid content of sheep tissues: The role of stearyl-CoA desaturase. *Journal of Animal Science*, 82:747-758.
- Delouis C., Djiane J., Houdebine L.M., Terqui M. 1980. Relation between hormones and mammary-gland function. *J. Dairy Sci.*, 63, 9:1492-1513.
- Di Stasio L., Destefanis G., Brugiapaglia A., Albera A., Rolando A. 2005. Polymorphism of the *GHR* gene in cattle and relationships with meat production and quality. *Anim. Genet.*, 36:138-140.
- Di Stasio L., Merlin P. 1978. A new k-casein variant in cattle. *Proceedings XVI<sup>th</sup> Intern. Conf. Animal Blood Grps and Biochem. Polimorph.*, Leningrad, USSR, 97.
- Dransfield E., Etherington D.J., Taylor M.A.J. 1992. Modelling post-mortem tenderization. 2. Enzyme change during storage of electrically stimulated and non stimulated beef. *Meat Sci.*, 31:75-84.
- Duclos M., Houdebine L.M., Djiane J. 1989. Comparison of insulin-like growth factor 1 and insulin effects on prolactin-induced lactogenesis in the rabbit mammary gland in vitro. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 65:129-134.
- Elmore J.S., Mottram D.S., Enser M., Wood J.D. 2000. The effects of diet and breed on the volatile compounds of cooked lamb. *Meat Sci.*, 55:149-159.
- Erhardt G. 1989. k-Caseine in Rindermilch – Nachweis eines weiteren Allels (CASKE) in verschiedenen Rassen. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 106:225-231.
- Erhardt G., Senft B. 1989. Integration of milk protein variants in bovine breeding programmes using an economical screening method. *Animal Genetics*, 20, suppl. 1:61.
- Erhardt G. 1993. A new  $\alpha$ 1-casein allele in bovine milk and its occurrence in different breeds. *Animal Genetics*, 24:65-66.
- Erhardt G. 1996. Detection of a new k-casein variant in milk of Pinzgauer cattle. *Animal Genetics*, 27:105-107.
- Fernández-García E., Serrano C., Nuñez M. 2002. Volatile fraction and sensory characteristics of Manchego cheese. 2. Seasonal variation. *J. Dairy Res.*, 69:595-604.
- Ferretti L., Leone P., Sgaramella V. 1990. Long range restriction analysis of the bovine casein genes. *Nucleic Acids Research*, 18:6829-6833.
- Fontanesi L., Davoli R., Nanni Costa L., Scotti E., Russo V. 2003. Study of candidate genes for glycolytic potential of porcine skeletal muscle: identification and analysis of mutations, linkage and physical mapping and association with meat quality traits in pigs. *Cytogenet. Genome Res.*, 102:145-151.
- French P., Stanton C., Lawless F., O'Riordan E.G., Monahan F.J., Caffrey P.J., Moloney A.P. 2000. Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid, of intramuscular fat from steers offered grass, grass silage, or concentrate-based diets. *J. Anim. Sci.*, 78:2849-2855.
- Geay Y., Bauchart D., Hocquette J.-F., Culioli J. 2001. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reprod. Nutr. Dev.*, 41:1-26.
- Gondret F., Mourot J., Lebas F. 1998. Comparison of intramuscular adipose tissue, cellularity in muscles differing in their lipid content and fibre type composition during rabbit growth. *Livestock Prod. Sci.*, 54:1-10.
- Gorodetskij S.I., Kaledin A.S. 1987. Analysis of nucleotide sequence of bovine k-casein. *Genetika, USSR*, 23, 4:596-604.
- Grisart B., Coppieters W., Farnir F., Karim L., Ford C., Berzi P., Cambisano N., Mni M., Reid S., Simon P., Spelman R., Georges M., Snell R. 2001. Positional Candidate Cloning of a QTL in Dairy Cattle: Identification of a Missense Mutation in the Bovine DGAT1 Gene with Major Effect on Milk Yield and Composition. *Genome Research*, 12:352-368.
- Grisart B., Coppieters W., Farnir F., Karim L., Ford C., Cambisano N. 2002. Positional candidate cloning of a QTL in dairy cattle: identification of a missense mutation in the bovine DGAT1 gene with major effect on milk yield and composition. *Genome*, 12:222-231.

- Grisart B., Farnir F., Karim L., Cambisano N., Kim J.J., Kvasz A., Mni M., Simon P., Frère J.M., Coppieters W., Georges M. 2004. Genetic and functional confirmation of the causality of the DGAT1 K232A quantitative trait nucleotide in affecting milk yield and composition. *PNAS*, 101:2398-2403.
- Grosclaude F., Joudrier P., Mahé M.F. 1978. Polymorphisme de la caséine  $\alpha_2$  bovine: étroite liaison du locus  $\alpha_2$ -Cn avec les loci  $\alpha_1$ -Cn,  $\beta$ -Cn et CASK; mise en évidence d'une délétion dans le variant  $\alpha_2$ -CnD. *Annales de Génétique et de Sélection Animale*, 10:313-327.
- Grosclaude F., Mahé M.F., Mercier J.C. 1974. Comparaison du polymorphisme génétique des lactoprotéines du zébu et des bovins. *Annales de Génétique et de Sélection Animale*, 6:305-329.
- Grosclaude F., Mahé M.F., Mercier J.C., Bonnemaire J., Teissier J.H. 1976. Polymorphisme des lactoprotéines de Bovinés Népalais. I. Mise en évidence, chez le yak, et caractérisation biochimique de deux nouveaux variants:  $\beta$ -Lactoglobuline Dyak et caséine  $\alpha_1$ -E. *Annales de Génétique et de Sélection Animale*, 8:461-479.
- Grosclaude F., Mahé M.F., Mercier J.C., Bonnemaire J., Teissier J.H. 1976. Polymorphisme des lactoprotéines de Bovinés Népalais. II. Polymorphisme des caséines " $\alpha$ -mineures"; le locus  $\alpha_2$ -Cn est-il lié aux loci  $\alpha_1$ -Cn,  $\beta$ -Cn et CASK? *Annales de Génétique et de Sélection Animale*, 8:481-491.
- Grosclaude F., Pujolle J., Garnier J., Ribadeau-Dumas B. 1966. Mise en évidence de deux variants supplémentaires des protéines du lait de vache:  $\alpha_1$ -CnD et LgD. *Annales de Biologie Animale, Biochimie et Biophysique*, 6:215-222.
- Grosclaude F. 1975. Variants génétiques des protéines du lait de vaches mongoles. *Études Mongoles, Cahier du Centre d'études mongoles, Laboratoire d'Éthnologie, Université de Paris X – Nanterre*, 6:81-83.
- Ha J.K., Lindsay R.C. 1991. Volatile alkylphenols and thiophenol in species-related characterizing flavors of red meats. *J. Food Sci.*, 56:1197-1202.
- Han S.K., Chung E.Y., Lee K.M. 1983. Studies on the genetic polymorphism of milk proteins in Korean Cattle. *Proceedings 5<sup>th</sup> World Conference of Animal Production, August 14-19 1983, Tokyo, Japan*, 2: 51-52.
- Han S.K., Shin Y.C. 1996. Biochemical characterization of the new  $\beta$ -casein variant in Korean Cattle. *Proceedings XXV<sup>th</sup> International Conference on Animal Genetics, 21-25 July 1996, Tours, France*, 144.
- Heinemann F.S., Ozols J. 2003. Stearoyl-CoA desaturase, a short-lived protein of endoplasmic reticulum with multiple control mechanisms. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 68:123-133
- Ikonen T., Ruottinen O., Erhardt G., Ojala M. 1996. Allele frequencies of the major milk proteins in the Finnish Ayrshire and detection of a new k-casein variant. *Animal Genetics*, 27:179-181.
- Inea. L'Italia Conta 2005.
- Kambadur R., Sharma M., Smith T.P.L., Bass J.J. 1997. Mutation in myostatin (GDF8) in double-muscling Belgian blue and Piedmontese cattle. *Genome Research*, 7:910-916.
- Kann G., Houdebine L.M. 1978. Role of prolactin in development and initiation of milk secretion. *J. Gynec. Obstet. et Bio. de la Repr.*, 50:262-274
- Kepler C.R., Tove S.B. 1967. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids. III Purification and properties of a linoleate  $\Delta^{12}$ -cis,  $\Delta^{11}$ -trans-isomerase from *Butyrivibrio fibrosolvens*. *J. Biol. Chem.*, 242:5686-5692.
- Kiddy C.A., Thompson M.P., Johnston J.O., Pepper L. 1963. Genetic control of  $\alpha$ s and  $\beta$ -casein. *Journal of Dairy Science*, 46:626-627.
- Lebas F., Ouhayoun J. 1987. Effect of dietary-protein level, housing conditions and season on growth and slaughtered traits of rabbits. *Annales de Zootechnie*, 36:421-432.
- Leone P., Scaltriti V., Sangalli S., Caroli A., Pagnacco G. 1998. Polimorfismo della k-caseina nei bovini: identificazione dell'allele E in torelli di razza Bruna e Frisona Italiana. *Proceedings IV<sup>th</sup> National Congress Biodiversity, 8-11 September 1998, Alghero, Italy*.
- Lien S., Rogne S. 1993. Bovine casein haplotypes: number, frequencies and applicability as genetic markers. *Animal Genetics*, 24:373-376.
- Mahé M.F., Miranda G., Queval R., Bado A., Zafindrajaona P.S., Grosclaude F. 1999. Genetic polymorphism of milk proteins in African *Bos taurus* and *Bos indicus* populations. Characterization of variants  $\alpha_1$ -Cn H and CASK. *J. Genetics Selection Evolution*, 31:239-253.
- Mancini R.A., Hunt M.C. 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.*, 71:100-121.
- Marchitelli C., Bavarese M.C., Crisà A., Nardone A., Ajmone-Marsan P., Valentini A. 2003. Double muscling in Marchigiana beef breed is caused by a stop codon in the third exon of myostatin gene. *Mamm. Genome*, 14:392-395.
- Mariaca R.G., Berger T.F.H., Gauch R., Imhof M.I., Jean-gros B., Bosset J.O. 1997. Occurrence of volatile mono- and sesquiterpenoids in highland and lowland plant species as possible precursors for flavor compounds in milk and dairy products. *J. Agric. Food Chem.*, 45:4423-4434.
- McPherron A.C., Lee S.J. 1997. Double muscling in cattle due to mutations in the myostatin gene. *Proceedings of the national academy of the sciences of the United States of America*, 94:12457-12461.
- Medrano J.F., Johnson A., DePeters E.J., Islas A. 1999. Genetic modification of the composition of milk fat: Identification of polymorphisms within the bovine stearoyl-CoA-desaturase gene. *J. Dairy Sci.*, 82, suppl. 1:71 (abstr.).
- Mele M., Conte G., Castiglioni B., Chessa S., Macciotta N.P.P., Serra A., Buccioni A., Pagnacco G., Secchiari P. 2007. Stearoyl-Coenzyme A Desaturase Gene Polymorphism and Milk Fatty Acid Composition in Italian Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 90:4458-4465.
- Neelin J.M. 1964. Variants of k-casein revealed by im-

- proved starch gel electrophoresis. *Journal of Dairy Science*, 47:506-509.
- Ntambi J.M. 1995. The regulation of stearoyl-CoA desaturase (SCD). *Prog. Lipid Res.*, 34:139-150.
- Ntambi J.M., Bené H. 2001. Polyunsaturated fatty acid regulation of gene expression. *Journal of Molecular Neuroscience*, 16:273-278.
- Pagnacco G., Caroli A. 1987. Effect of casein and beta-lactoglobulin genotypes on renneting properties of milks. *J. Dairy Sci.*, 54:479-485.
- Peterson R.F., Kopfler F.C. 1966. Detection of new types of  $\beta$ -casein by polyacrylamide gel electrophoresis at acid pH: a proposed nomenclature. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 22:388-392.
- Prinzenberg E.M., Erhardt G. 1999. A new *CSN3* allele in *Bos indicus* cattle is characterised by *MspI* PCR-RFLP. *Animal Genetics*, 30:164 (abstr.).
- Prinzenberg E.M., Erhardt G. 1998. High-resolution SSCP analysis reveals new alleles at the k-casein (*CSN3*) locus in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Proceedings XXVI<sup>th</sup> International Conference Animal Genetics*, 9-14 August 1998, Auckland, New Zealand, 17.
- Priolo A., Waghorn G., Lanza M., Biondi L., Pennisi P. 2000. Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannins in carob pulp: effects on lamb growth, performance and meat quality. *J. Anim. Sci.*, 78:810-816.
- Priolo A., Cornu A., Prache S., Krogmann M., Kondjoyan N., Micol D., Berdagué J.-L. 2004. Fat volatiles tracers of grass feeding in sheep. *Meat Sci.*, 66:475-481.
- Priolo A., Micol D., Agabriel J. 2001. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Anim. Res.*, 50:185-200.
- Pulina G., Nudda A. 2001. La produzione del latte. In: Pulina G. (ed.): *L'alimentazione degli ovini da latte*, 9-31. *Avenue media*.
- Ramunno L., Rando A., Pappalardo M., Fiorella A., Di Gregorio P., Capuano M., Masina P. 1994. Molecular analyses on quantitative alleles at goat  $\beta$ -Cn and cow  $\alpha$ s1-Cn loci. *Proceedings Società Italiana per il Progresso della Zootecnica*, Milano, Italy, 29:233-240.
- Rando A., Mariani P., Fiorella A., Di Gregorio P., Ramunno L., Masina P. 1995. Un allele quantitativo della caseina  $\alpha$ s1 di bovino. *Proceedings Associazione Scientifica di Produzione Animale 1995*, Grado, Italy, 11:175-176.
- Rando A., Ramunno L., Di Gregorio P., Fiorella A., Davoli R., Masina P. 1993. Localizzazione di siti polimorfi nella regione di DNA che contiene il gene della caseina  $\alpha$ s1 di bovino. *Proceedings Associazione Scientifica di Produzione Animale*, Bologna, Italy, 10:617-620.
- Rosa A.A.M., Djiane J, Houdebine L.M. Kelly P.A. 1982. Stimulatory effects of prolactin and anti-prolactin receptor serum on prolactin binding sites in rat liver cells in suspension culture. *Bioc. And Biop. Res. Comm.*, 106:243-249.
- Russo V., Fontanesi L., Davoli R., Nanni Costa L., Cagnazzo M., Buttazzoni L., Virgili R., Yerle M. 2002. Investigation of candidate genes for meat quality in dry-cured ham production: the porcine cathepsin B (*CTSB*) and cystatin B (*CSTB*) genes. *Anim. Genet.*, 33:123-131.
- Santos-Silva J., Bessa R.J.B, Santos-Silva F. 2002. Effect of genotype, feeding system and slaughter weight to on the quality of light lambs II. Fatty acid composition of meat. *Liv. Prod. Sci.*, 77:187-194.
- Sañudo C., Santolaria M.P., Maria G., Osorio M., Sierra I. 1996. Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive production systems. *Meat Sci.*, 42:195-202.
- Scollan N., Hocquette J. F., Nuernberg K., Dannenber, D., Richardson I., Moloney A. 2006. Innovations in beef production system that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Sci.*, 74:17-33.
- Secchiari P., Conte G., Fontanesi L., Macciotta N.P.P., Mele M., Pieragostini E., Stefanon B. 2007. Relazione introduttiva. In: *Quaderni dei Georgofili 2006-I: Acquisizioni della genetica e prospettive della selezione animale*, 7-48. Ed. Società Editrice Fiorentina.
- Secchiari P. 2008. Aspetti del valore nutrizionale e nutraceutico degli alimenti di origine animale. *Ital. J. Agron., Riv. Agron.*, 1 Suppl.:73-101.
- Simopoulos A.P. 1999. Essential fatty acids in health and chronic disease. *Amer. J. Clin. Nutr.*, 70:560S-569S.
- Spelman R.J., Ford C.A., McElhinney P., Gregory G.C., Snell R.G. 2002. Characterization of the DGAT1 gene in the New Zealand dairy population. *J. Dairy Sci.*, 85:3514-3517.
- Sulimova G.E., Badagueva Yu.N., Udina I.G. 1996. Polymorphism of the k-casein gene in populations of the subfamily Bovinae. *Genetika (Moscow)*, 32, 11:1576-1582.
- Sulimova G.E., Sokolova S.S., Semikozova O.P., Nguet L.M., Berberov E.M. 1992. Analysis of DNA polymorphism of clustered gene in cattle: casein genes and genes of the *BoLA* major histocompatibility complex. *Tsitologiya i Genetika*, 26, 5:18-26.
- Sutherland M. M., Ames J.M. 1996. Free fatty acid composition of the adipose tissue of intact and castrated lambs slaughtered at 12 and 30 weeks of age. *J. Agric. Food Chem.*, 10:3113-3116.
- Suzuky J., Bailey M.E. 1985. Direct sampling capillary GLC analysis of flavor volatiles from ovine fat. *J. Agric. Food Chem.*, 33:343-347.
- Taniguchi M., Utsugi T., Oyama K., Mannen H., Kobayashi M., Tanabe Y., Ogino A., Tsuji S. 2004. Genotype of stearoyl-CoA desaturase is associated with fatty acids composition in Japanese Black cattle. *Mammalian Genome Genes and Phenotypes*, 14:142-148.

- Thaller G., Kramer W., Winter A., Kaup B., Erhardt G., Fries R. 2003. Effects of DGAT1 variants on milk production traits in German cattle breeds. *J. Anim. Sci.*, 81:1911-1918.
- Thompson M.P., Kiddy C.A., Pepper L., Zittle C.A. 1962. Variations in the  $\alpha$ s-casein fraction of individual cow's milk. *Nature*, 195:1001-1002.
- Trocino A., Xiccato G. 2000. La carne di coniglio: come variano le richieste del consumatore e la qualità del prodotto. Tratto dal sito <http://www.pubit.it/sunti/euc00081.html>
- Viallon C., Verdier-Metz I., Denoyer C., Pradel P., Coulon J.B., Berdagué J.L. 1999. Desorbed terpenes and sesquiterpenes from forages and cheeses. *J. Dairy Res.*, 66:319-326.
- Viallon C., Martin B., Verdier-Metz I., Pradel P., Garel J.P., Coulon J.B., Berdagué J.L. 2000. Transfer of monoterpenes and sesquiterpenes from forages into milk fat. *Lait*, 80:635-641.
- Visser S., Slangen C.J., Rollema H.S. 1991. Phenotyping of bovine milk proteins by reversed-phase high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography*, 548:361-370.
- Vogliano G.F. 1972. A new  $\beta$ -casein variant in Piedmont cattle. *Animal Blood Groups and Biochemical Genetics*, 3:61-62.
- Ward R.J., Travers M.T., Richards S.E., Vernon R.G., Salter A.M., Buttery P.J., Barber M.C. 1998. Steroyl-CoA desaturase mRNA is transcribed from a single gene in the ovine genome. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1391:145-156.
- Weller J.I., Golik M., Seroussi E., Ezra E., Ron M. 2003. Population-wide analysis of a QTL affecting milk-fat production in the Israeli Holstein population. *J. Dairy Sci.*, 86:2219-2227
- Winter A., Krämer W., Werner F.A.O., Kollers S., Kata S., Durstewitz D., Buitkamp J., Womack J.E., Thaller G., Fries R. 2002. Association of a lysine-232\_alanine polymorphism in a bovine gene encoding acyl-CoA:diacylglycerol acyltransferase (DGAT1) with variation at a quantitative trait locus for milk fat content. *PNAS*, 99:9300-9305.
- Young O.A., Lane G.A., Priolo A., Fraser K. 2003. Pastoral and species flavour in lambs raised on pasture, lucerne or maize. *J. Sci. Food Agric.*, 83:93-104.
- Young O.A., Berdagué J.-L., Viallon C., Rousset-Akrim S., Theriez M. 1997. Fat-borne volatiles and sheep-meat odour. *Meat Sci.*, 45:183-200.
- Zembayashi M., Lunt D.K., Smith S.B. 1999. Dietary tea reduces the iron content of beef. *Meat Sci.*, 53:221-226.

# Determinanti della qualità delle produzioni ortofrutticole

Bruno Mezzetti\*<sup>1</sup>, Cherubino Leonardi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali e delle Produzioni Vegetali, Università Politecnica delle Marche  
Via Breccie Bianche, 60100 Ancona

<sup>2</sup>Dipartimento di Ortofloroarboricoltura e Tecnologie Agroalimentari, Università di Catania  
Via Santa Sofia 98/C, 95123 Catania

SOI - Società di Orticola Italiana

---

## Riassunto

L'obiettivo qualità rappresenta sicuramente uno dei cardini attorno cui ruota la produzione ortofrutticola moderna, che si mostra sempre più incline a produrre secondo elevati standard qualitativi. Alle caratteristiche qualitative "tradizionali" oggi, se ne affiancano altre, legate a nuove esigenze da parte dei consumatori che sono sempre più interessati ad una dieta basata sul consumo di ortofrutta senza residui di pesticidi e con un alto valore nutrizionale. Nell'ambito di un possibile programma di qualificazione delle produzioni ortofrutticole, risulta quindi fondamentale uno studio dei determinanti della qualità secondo un approccio euristico, idoneo ad individuare il contributo dei singoli fattori nel determinare la qualità del prodotto. Le conoscenze genetiche applicate a diverse tecniche di costituzione varietale rappresentano sicuramente la base per la creazione di variabilità utile al miglioramento della qualità senza però limitare la produttività colturale. Sotto il profilo agronomico, le opportunità offerte da una gestione sostenibile dei fattori della produzione, orientata verso il miglioramento di uno o più parametri di qualità, sono senz'altro numerose e riconducibili, ora al miglioramento della interazione pianta-ambiente, ora ad un più mirato input dei mezzi di produzione, ora alla induzione di condizioni di stress di natura diversa. Anche le tecniche del post-raccolta risultano ora sempre più importanti per garantire che la qualità ottenuta in campo sia garantita fino al consumatore. In considerazione di tale articolazione e facendo riferimento ad alcune colture modello si cercherà di delineare un quadro volto ad evidenziare, con riferimento ai principali determinanti, le potenzialità in tema di qualificazione delle corrispondenti produzioni.

*Parole chiave:* parametri di qualità, nutraceutica, genotipo, ambiente, sistemi di produzione.

## Summary

### QUALITY DETERMINANTS OF FRUIT AND VEGETABLES PRODUCTIONS

Nowadays, the main goal for modern horticultural production is the increase of quality. Furthermore, in consideration of the new consumer demand, always more attracted by a diet based on a larger consumption of fruit and vegetables without risks of pesticides residues and with increased nutritional value, new important features in addition to the traditional quality attributes are now requested. For a program of qualification and valorisation of modern horticultural productions, it is fundamental a study of the major quality determinants organized by following a heuristic approach useful to identify the contribution of each factor in defining the quality of the product.

The genetic knowledge applied to all available techniques useful for the creation of new genetic variability surely represent the most important starting point for the release of new varieties with increased nutritional quality without limitation in plant productivity. About agronomic practices, new opportunities are offered by the sustainable management of the production factors able to improve the plant-environment interaction, to well address the reduction of inputs needed for the production, and finally to induce specific stress conditions able to promote higher quality at reduced inputs. Much more attention is also addressed to the post-harvest technologies, this because of the increased needs to guarantee the preservation of the high quality obtained in the field until the consumer use. Taking in account such complexity of the horticultural production systems and examples of some major model crops, an outlook of the main determinants and potential valorisation of high quality horticultural products are attempted.

*Key-words:* quality parameters, nutraceuticals, genotype, environment, production system.

\* Autore corrispondente: tel.: +39 071 2204933; fax: +39 071 2204933. Indirizzo e-mail: b.mezzetti@univpm.it

## Introduzione

La qualità dei prodotti ortofrutticoli è comunemente definita come “l’insieme delle caratteristiche di un prodotto in grado di soddisfare le esigenze del consumatore determinandone il valore” (Peri, 2004). La qualità viene distinta tra “qualità strutturale e qualità funzionale”: la prima si riferisce alle caratteristiche intrinseche di un prodotto (es. contenuto zuccherino di un frutto); la seconda, riguarda l’esplicitazione di queste caratteristiche nei confronti dell’utilizzatore del prodotto (es. gusto dolce del frutto). Più recentemente si parla pure di “qualità globale”, espressione che racchiude molteplici significati in cui coesistono più aspetti riguardanti oltre che il prodotto, anche al processo.

La qualità, anche per i prodotti ortofrutticoli, rappresenta una problematica ampia e complessa, che coinvolge diverse figure. La questione andrebbe pertanto studiata e discussa con riferimento a tutti i fattori che concorrono alla sua estrinsecazione, tenendo in considerazione il punto di vista delle più importanti figure della filiera, all’interno della quale è possibile identificare: l’operatore agricolo, il commerciante/distributore ed il consumatore. Tali figure esprimono, com’è intuitivo, obiettivi e punti di vista talora contrastanti.

Il consumatore è comunque il soggetto economico maggiormente coinvolto nella fruizione della qualità; il soddisfacimento delle sue richieste rappresenta pertanto l’aspetto imprescindibile in una produzione che da *market oriented* è divenuta *consumer oriented*.

Per il consumatore il concetto di qualità coinvolge, oltre ai fattori prioritari per le altre figure della filiera (es. aspetto esteriore, integrità, ecc.), anche fattori derivanti da stimoli organolettici (es. sapore, tatto) o da aspettative salutistiche (reali o virtuali) associate ad una salubrità (es. produzioni biologiche) o al contenuto di sostanze nutraceutiche.

L’obiettivo qualità rappresenta comunque un aspetto che interessa sempre più le produzioni destinate al consumo moderno. Tale obiettivo può essere perseguito attraverso il miglioramento di uno o più attributi di qualità; la questione appare tuttavia assai complessa se si considera la rilevante articolazione che caratterizza il comparto ortofrutticolo dal punto di vista colturale, genetico, merceologico, pedoclimatico,

agronomico e tecnico. D’altra parte, le caratteristiche di qualità oggetto di attenzione, nel quadro della qualificazione delle produzioni, possono variare ed assumere un’importanza differente in funzione della destinazione del prodotto.

## Le caratteristiche di qualità dei prodotti ortofrutticoli

I prodotti ortofrutticoli rappresentano un vasto gruppo di prodotti agricoli largamente utilizzati a scopo alimentare, soprattutto allo stato fresco. La loro qualità è espressa da differenti attributi che possono essere ricondotti alle caratteristiche: organolettiche, nutrizionali, igienico-sanitarie, commerciali (La Malfa, 1988).

*Caratteristiche organolettiche.* Riguardano tutte le proprietà percepibili dai nostri sensi; quelle di maggior rilievo sono rappresentate dal sapore e dalla consistenza. Il primo, nel caso dei frutti (es. pesche, melone, ecc.), è determinato essenzialmente dal contenuto in zuccheri ed acidi organici. Il sapore riassume in se anche la componente degli aromi tipici di ciascun prodotto percepiti direttamente, nel caso di composti volatili, ed anche attraverso l’olfatto; esso è sostenuto da sensazioni complesse e pertanto di difficile parametrizzazione. I composti responsabili dell’aroma (ne sono stati identificati circa 100) fanno riferimento ad idrocarburi, composti idrogenati, carbonili, acetali e chetali, acidi, esteri, lattoni, eteri, composti solforati, composti azotati e composti clorurati.

Il sapore tipico di diversi prodotti può essere determinato da un solo o da un numero ridotto di composti (es. cetriolo e cipolla). Alcuni composti, possono dar luogo a sapori ed aromi non desiderabili che quindi condizionano negativamente la qualità; esempi significativi sono il sapore amaro dei cetrioli per la presenza della cucurbitacina e la piccantezza del peperone per la presenza di capsicina.

La consistenza è una caratteristica complessa riconducibile ad un insieme d’attributi meccanici che possono essere divisi in primari (durezza, coesione, viscosità, elasticità, adesività) e secondari (friabilità, masticabilità, gommosità). Si tratta di attributi meccanici derivanti dai rapporti tra alcuni composti cellulari (es. enzimi, amido e fitina), dalla pressione di turgore, dal-



le proprietà della parete cellulare e dalla forza dei legami tra cellule contigue. Le conoscenze circa la consistenza degli ortaggi e dei prodotti vegetali in genere è di notevole interesse pratico anche per stabilirne il momento ottimale di raccolta, per verificarne il comportamento nella fase di conservazione, per valutarne l'attitudine alla manipolazione e la resistenza alle sollecitazioni meccaniche. Tra le caratteristiche organolettiche più importanti ai fini dell'accettabilità da parte del consumatore va richiamata, inoltre, la succosità, da cui dipende, in parte, la maneggevolezza e la serbevolezza dei frutti.

*Caratteristiche nutrizionali.* Fanno riferimento alla composizione chimica ed al contenuto in sostanze nutritive dei prodotti; non sono percepibili dal consumatore e di conseguenza scarsamente valutabili al momento dell'acquisto. Tradizionalmente la composizione ha assunto rilievo per la valutazione dei prodotti destinati alla lavorazione industriale. In passato, per il prodotto destinato al consumo allo stato fresco, solo occasionalmente le caratteristiche nutrizionali reali (es. carotene e carota) o presunte (es. ferro disponibile e spinacio) hanno orientato il consumo. Più recentemente esse sono state tenute in considerazione in rapporto alla crescente attenzione che è scaturita dalla consapevolezza dell'importanza dei prodotti ortofrutticoli per la regolazione dell'attività metabolica e per l'azione protettiva dovute alla presenza di sali minerali, di vitamine, di alcuni aminoacidi essenziali, di fibra grezza e di sostanze ad azione antiossidante.

*Caratteristiche igienico-sanitarie.* I prodotti ortofrutticoli, analogamente ad altri prodotti alimentari, possono essere destinati all'alimentazione soltanto se non determinano condizioni di danno o di rischio sanitario per il consumatore. Proprio per questo, le caratteristiche igienico-sanitarie hanno un'importanza fondamentale rispetto alle altre, poiché in questi ultimi tempi i prodotti ortofrutticoli, ritenuti da sempre alimenti genuini, sono sempre più frequentemente chiamati in causa per possibili alterazioni delle loro caratteristiche igienico-sanitarie conseguenti all'intensificazione del processo produttivo che caratterizza i sistemi di coltivazione e commercializzazione moderni. Per evitare danni o rischi sanitari per il consumatore, i prodot-

ti ortofrutticoli non devono veicolare fattori fisici, chimici e biologici dannosi, in quantità tali da determinare nell'uomo l'insorgenza di stati patologici. Le più frequenti condizioni di rischio igienico-sanitario, possono derivare dalla presenza di: microrganismi patogeni; residui di contaminanti presenti nell'atmosfera; costituenti naturali elaborati dalle piante; sostanze chimiche utilizzate nella coltivazione e relativi prodotti metabolici. A quest'ultimo riguardo va ricordata la presenza di residui di agrofarmaci e di nitrati e nitriti, in riferimento ai quali vi sono opportune normative che stabiliscono i residui massimi ammissibili sui diversi prodotti.

*Caratteristiche commerciali.* Comprendono tutti quei parametri presi in considerazione ai fini della classificazione mercantile dei prodotti secondo le norme definite a livello comunitario. Tranne rare eccezioni (es. solidi solubili nel melone), si tratta di parametri esteriori sulla base dei quali il prodotto viene classificato in categorie più o meno omogenee, che assumono importanza negli scambi commerciali.

## **Il potere antiossidante**

Le aspettative del consumatore possono essere raggruppate in tre grandi categorie: una comprende l'aspetto e la presentazione dei prodotti, per i quali sono determinanti il *packaging*, l'omogeneità di presentazione, di pezzatura, di forma e di colore; un'altra riguarda il sapore e quindi le caratteristiche organolettiche; infine, una terza categoria riguarda la salubrità (Crisosto, 2002).

Come accennato, tra i consumatori vi è sempre più la consapevolezza che il consumo costante di frutta e verdura possa recare beneficio alla salute, soprattutto grazie alla spiccata attività antiossidante esercitata a livello cellulare (McGhie et al., 2002). È stato provato che una dieta ricca di frutta e verdura è in grado di offrire una fondamentale protezione contro alcune delle patologie più diffuse, quali malattie cardiovascolari, cancro e molte altre patologie di tipo degenerativo legate all'invecchiamento (Ames et al., 1993; World Cancer Research, 1997; World Health Organization, 1990; Willett, 1999).

Tali possibili benefici hanno stimolato la ricerca ad individuare ed esaltare le proprietà an-

tiossidenti di frutta e verdura. Le componenti antiossidenti più importanti, oltre la vitamina C, la vitamina E ed i carotenoidi, comprendono sostanze fenoliche, flavonoidi ed antociani. Alcuni minerali sono altrettanto importanti perché componenti essenziali di enzimi con azione antiradicalica (es. manganese, molibdeno, rame, selenio, zinco).

I composti ad azione antiossidente possono agire singolarmente o interagire fra loro producendo un effetto sinergico. In considerazione di ciò, l'attenzione della ricerca è stata di recente rivolta alla quantificazione della capacità antiossidente totale (CAT) (Benzie et al., 1996; Deighton et al., 2000; Finley, 2005; Re et al., 1999; Battino e Mezzetti, 2007). Il carattere CAT è fortemente influenzato dal tipo di frutto, dalla specie e dalla varietà, ma anche dalle condizioni di coltivazione, dalle condizioni ambientali, dalla durata e dalle tecniche di conservazione del frutto (Guo et al., 2003; Giorgi et al., 2005, Scalzo et al., 2005a). Ad esempio, tra le specie frutticole la capacità antiossidente è sicuramente più elevata nei piccoli frutti rispetto alle altre specie. Al riguardo il mirtillo, per l'elevato contenuto di antocianine che lo caratterizza, è assai noto per la sua capacità antiossidente (Prior et al., 1998; Ehlenfeldt e Prior, 2001). L'elevata capacità antiossidente della fragola di bosco, del lampone e della fragola coltivata, è un'ulteriore conferma del primato dei piccoli frutti rispetto alle altre specie da frutto. Per contro, i frutti per i quali vi è un consumo più significativo (es. l'albicocca, la pesca, la mela, il kiwi e la ciliegia) manifestano un potenziale antiossidente più contenuto (Pellegrini et al., 1999; Guo et al., 2003; Scalzo et al., 2005a).

Occorre tuttavia sottolineare che se da una parte la quantificazione della capacità antiossidente totale consente di definire i benefici di un determinato prodotto sulla salute, tale informazione non permette di chiarire le relazioni di causa ed effetto tra le varianti di processo ed il contenuto delle singole sostanze attive. Si tratta, infatti, di sostanze che sono contenute in misura variabile nei diversi prodotti ortofrutticoli (Brat et al., 2006; Guo et al., 2003; Halvorsen et al., 2002).

### **La qualità in funzione delle varianti di processo**

I fattori che condizionano la qualità dei prodotti possono essere considerati tanti quanti quelli

che controllano il livello delle rese. Il loro effetto sui diversi parametri di qualità si può manifestare in maniera diversa e talora contrastante. Nell'ambito della medesima coltura la variabilità della qualità dei prodotti dipende da fattori di ordine genetico, da fattori ambientali, dalle agrotecniche e da fattori attinenti la fase di raccolta e di post raccolta. In generale si tratta di fattori che possono avere riflessi diretti o indiretti in rapporto alla loro influenza sui processi di assimilazione, sull'assorbimento idrico, sullo stato nutrizionale e sulla ripartizione dei fotosintati nelle porzioni eduli della pianta.

### *Fattori genetici*

Per diverse colture ortofrutticole la scelta del genotipo ha da sempre costituito un aspetto di primaria importanza in rapporto ai riflessi sulle caratteristiche di qualità del prodotto che derivano dalla continua diffusione di nuove cultivar, dotate di un elevato potenziale produttivo o idonee a far fronte a specifiche condizioni di stress. L'elevato tasso di rinnovamento varietale, che interessa in misura più o meno rilevante le principali colture ortofrutticole, si traduce in genere in una significativa articolazione dell'assetto biologico che può comportare alcune difficoltà per il produttore nella fase di scelta e di gestione colturale dei diversi genotipi, ma soprattutto per il consumatore che è sempre più disorientato nel riconoscere il prodotto adeguato alle sue aspettative.

La variabilità del profilo qualitativo in funzione del genotipo ha sicuramente rappresentato una delle più immediate strategie per la produzione di genotipi dotati di caratteristiche di qualità più rispondenti alle specifiche esigenze espresse dai consumatori. Tuttavia, nell'ambito di un programma di miglioramento genetico, l'obiettivo qualità è considerato assai oneroso per la complessità dei caratteri che talvolta sono coinvolti. Nel caso di programmi rivolti ad esaltare la qualità nutrizionale, ad esempio, occorrerebbe in primo luogo conoscere i processi che determinano l'efficacia del/dei composto bioattivi, quindi occorre identificarli chimicamente e ancora risulta necessario verificare la loro stabilità nelle varie fasi di conservazione, eventuale trasformazione e commercializzazione del prodotto (Finley, 2005).

La qualità nutrizionale di diverse specie ortofrutticole può essere esaltata tramite un ap-

proccio di miglioramento genetico tradizionale solo se sono disponibili risorse genetiche in grado di fornire validi progressi nelle diverse generazioni d'incrocio. Al riguardo, per alcune specie quali mirtillo e lampone, esistono studi che dimostrano l'ereditabilità di caratteri legati alla capacità nutrizionale dei frutti, dipendente dal contenuto in polifenoli e antociani (Connor et al., 2002; Connor et al., 2005).

Nel caso delle piante arboree vi sono alcune difficoltà che rendono particolarmente lungo ed oneroso il perseguimento di obiettivi specifici che sono da ricondurre oltre che all'elevata eterozigosi e alla complessa biologia fiorale, anche alla durata del ciclo produttivo. Un approccio basato sull'ingegneria genetica, sebbene con le attuali riserve, può rappresentare una possibilità più immediata (Scalzo et al., 2005b; Gentile e Mezzetti, 2007). L'approccio transgenico è già stato applicato con successo per aumentare il valore nutrizionale di importanti specie coltivate, come ad esempio il riso (Paine et al., 2005) e il pomodoro (Davoluri et al., 2005). Si tratta però di miglioramenti della qualità che risultano talora associati ad alcuni effetti negativi (Gilberto et al., 2005). Questi risultati evidenziano quindi la possibilità di utilizzare tali tecnologie per aumentare il contenuto di specifiche componenti bioattive delle piante, tuttavia la manipolazione dei diversi metabolismi non è ancora così facile da realizzare anche in rapporto all'interferenza cui le piante sono sottoposte nel corso della fase di fruttificazione.

#### *Fattori climatici*

Il decorso e la variabilità delle condizioni climatiche che caratterizzano gli areali maggiormente interessati alle produzioni ortofrutticole rappresentano indubbiamente fattori determinanti il profilo qualitativo dei prodotti (Crisosto et al., 1984). Il processo di fruttificazione può infatti avere luogo in condizioni estremamente diversificate per ciò che attiene a quei fattori del clima che possono avere riflessi sui processi di assimilazione e sullo stato nutrizionale della pianta (per es. temperatura, luce, umidità, condizioni pedologiche) (Anttonen et al., 2006). La realizzazione di condizioni climatiche differenti può d'altra parte scaturire dalla coltivazione in ambiente protetto alla quale si fa ricorso ai fini della destagionalizzazione dei calendari produttivi, ma che può avere riflessi sul-

la qualità dei prodotti a seguito delle condizioni, talora sub ottimali, che si determinano all'interno degli apprestamenti di protezione nel corso della fase di fruttificazione.

Tra i fattori del clima, la temperatura e la luce controllano più degli altri i processi biochimici e quindi la composizione e il valore nutritivo dei prodotti (Wang et al., 2003). Gli effetti di questi due parametri sui processi di assimilazione si estrinsecano in direzione opposta, poiché elevati livelli del primo favoriscono l'accumulo di fotosintati, mentre temperature elevate ne accelerano la demolizione. Relativamente ai riflessi sulla qualità, l'influenza di questi due fattori va considerata in funzione dei diversi attributi di qualità e comunque non è riconducibile a schemi univoci. Estremi termici possono, ad esempio, avere riflessi sui processi di micro e macrosporogenesi (Subodh e Munshi, 2001), sull'assimilazione (Zhang et al., 2007), sulla sintesi e sulla demolizione dei pigmenti (Hamauzu, 1994).

Nel caso dei prodotti da foglia, per contro, la moderata luminosità può avere riflessi positivi su alcuni parametri di qualità (per es. elevata acquosità dei tessuti, attenuazione del colore verde, ecc.), mentre può comportare un peggioramento delle caratteristiche igienico sanitarie a motivo dell'accumulo di nitrati (Weightman et al., 2006).

L'umidità relativa e l'anidride carbonica rappresentano fattori ambientali che, in certe condizioni (per es. colture protette), possono determinare significative variazioni di alcuni attributi di qualità. L'influenza della prima si estrinseca attraverso il rallentamento o l'attivazione del ricambio idrico ed una diversa allocazione di acqua nelle porzioni eduli della pianta (Leonardi et al., 2000). Nel caso dell'anidride carbonica gli effetti sono da ricondurre ad un variabile contenuto di assimilati, determinato dall'influenza sul processo fotosintetico (Dorais et al., 2001).

#### *Fattori tecnici*

Le indicazioni riguardanti i riflessi delle principali varianti di processo sulle caratteristiche di qualità dei prodotti sono senz'altro numerose; un esame dettagliato risulta assai difficile poiché i singoli fattori possono agire talvolta in maniera opposta (La Malfa et al., 1995). Nel quadro dei rapporti tra qualità e fattori tecnici van-

no sicuramente chiamati in causa gli interventi volti al controllo dei fattori del clima, alla gestione degli equilibri vegeto-produttivi, alla gestione della nutrizione minerale e idrica.

Il controllo dei fattori del clima è per lo più da ricondurre alla coltivazione in ambiente protetto. Al di là delle varianti di processo che trovano applicazione esclusiva in tale contesto di coltivazione (per es. colture idroponiche), la questione va considerata con riferimento alle maggiori opportunità offerte dalla coltura protetta in termini di controllo attivo del clima, ma anche per ciò che attiene ai possibili riflessi sulla qualità del prodotto che possono semplicemente derivare dalla coltivazione in ambiente protetto rispetto alla coltivazione in pien'aria. Quest'ultimo aspetto assume importanza non trascurabile se si pensa alle riserve che spesso vengono avanzate dal consumatore nei confronti dei prodotti fuori stagione. D'altra parte appare difficile poter effettuare delle vere e proprie valutazioni comparative non potendosi spesso disporre contemporaneamente di prodotti provenienti dalla coltura protetta e da quella in pien'aria. In definitiva i riflessi sulla qualità del prodotto derivanti dalla coltivazione in ambiente confinato vanno ricondotti, come accennato in precedenza, alle specifiche condizioni micro-climatiche che si determinano nell'ambiente confinato, che derivano dall'andamento climatico esterno, dalle caratteristiche dell'apprestamento di protezione e dal controllo attivo del clima. Ad esempio, è stato dimostrato che utilizzando pacciamature con telo di colore bianco (*highly reflective*), nella fragola può essere indotto un aumento del contenuto totale di acido ellagico e acido ascorbico rispetto al controllo pacciamato con plastica nera (Atkinson et al., 2006). Ciò rappresenta un'esemplificazione di come le pratiche agronomiche e le conseguenti condizioni climatiche possono essere considerate lo strumento integrativo a quello genetico per implementare le caratteristiche qualitative dei prodotti.

Relativamente alla gestione dei rapporti vegeto-produttivi, le possibilità d'intervento ai fini del miglioramento della qualità del prodotto sono nella realtà operativa molteplici. Queste possibilità possono riguardare in primo luogo l'adozione di idonee forme d'allevamento e/o di corretti interventi di potatura.

L'influenza della forma d'allevamento è da

ricondurre agli effetti diretti dell'esposizione dei frutti alle radiazioni solari e attraverso la migliore intercettazione della luce da parte degli organi fotosintetizzanti. Studi effettuati su varietà di pesco allevate secondo forme diverse hanno portato alla conclusione che la produttività e la qualità nei frutteti allevati secondo varie architetture può risultare differente e, spesso, questo fatto dipende dalla diversa capacità di intercettazione e di distribuzione della luce all'interno della chioma stessa (Giuliani et al., 1999). Per alcuni autori (Robinson et al., 1991; Xiloyannis et al., 1996) la forma di allevamento ad Y trasversale comporta dei vantaggi produttivi, rispetto a forme a vaso, vantaggi che sono stati riscontrati in varie specie, tra cui melo, albicocco, pesco e susino; questo fenomeno è facilmente spiegabile con la maggiore capacità di intercettazione della luce da parte dell'Y trasversale rispetto a forme in parete o a vaso.

La regolazione della carica produttiva è indispensabile per il raggiungimento delle caratteristiche finali dei frutti più rispondenti; lo scopo per cui si esegue è di commisurare gli organi di accumulo alla capacità di sintesi; il risultato è quello di ottenere un miglioramento del calibro commerciale dei frutti lasciati e del loro contenuto in solidi solubili (Valantin-Morison et al., 2006). L'equilibrio vegeto-produttivo ottimale per il miglioramento della qualità dei frutti è solitamente ottenuto con il diradamento dei frutti (Costa e Vizzotto, 2000).

Effetti rilevanti sulla qualità dei prodotti ortofrutticoli sono esercitati dall'irrigazione e dalla concimazione (Ferrante et al., 2008; Zegbe e Behboudian, 2008). La regolare alimentazione idrica migliora in genere la qualità direttamente attraverso un incremento del contenuto d'acqua nelle porzioni eduli (per es. prodotti da organi vegetativi) e/o indirettamente determinando condizioni più favorevoli ai processi di assimilazione. L'elevato contenuto in acqua potrebbe, tuttavia, determinare effetti negativi sulla qualità, pregiudicando la serbevolezza dei prodotti o la sapidità degli stessi e la concentrazione relativa di zuccheri e di acidi. Sotto il profilo generale si può affermare che la qualità risulta compromessa dalla carenza di acqua per le specie da organi vegetativi e dagli eccessi per quelle da organi riproduttivi (La Malfa, 1988).

Relativamente all'irrigazione, una notazione a parte va fatta con riferimento all'impiego di

acque saline che, com'è noto, può avere riflessi sulle caratteristiche di qualità dei frutti (per es. pomodoro e melone), ma al contempo può comportare una significativa riduzione del livello delle rese (Leonardi et al., 2004).

Gli effetti della nutrizione minerale sono in primo luogo da ricondurre al ruolo che i diversi elementi minerali hanno sui diversi processi metabolici della pianta che stanno alla base della sintesi e traslocazione dei diversi composti biochimici. Laute concimazioni se da una parte possono rappresentare il presupposto per un miglioramento della qualità (per es. nutrizione potassica e qualità) dall'altra possono comportare l'accumulo di nitrati nelle porzioni eduli (Malaguti et al., 2001).

È all'assorbimento idrico e minerale, oltre che agli equilibri ormonali, che viene ricondotto l'effetto dell'innesto sulla qualità del prodotto (Sorce et al., 2001). La tecnica che in passato interessava solo le specie da frutto legnose, negli ultimi anni si sta sempre più diffondendo anche per le specie orticole appartenenti alla famiglia delle *Solanaceae* e *Cucurbitaceae*. L'influenza sembra possa essere ricondotta più al portinnesto adottato che alla tecnica in quanto tale (Leonardi e Romano, 2004). Al riguardo, la questione appare assai complessa in rapporto alla crescente disponibilità di nuovi portinnesti. Gli effetti sono da ricondurre all'interazione tra i due bionti, che è in grado di influenzare la qualità dei frutti soprattutto con riferimento al loro contenuto in zuccheri, acidi, sali minerali ed anche all'attività antiossidante (Caruso et al., 1996; Leonardi e Romano, 2004; DiVaio et al., 2001). In considerazione di ciò, l'interazione portinnesto-nesso può essere considerata un importante strumento ai fini del miglioramento quantitativo della produzione (Loreti e Massai, 1999; Wang et al., 1996, Giorgi et al., 2005; Tsiouridis et al., 2005).

#### *Fattori attinenti la fase di raccolta e di post-raccolta*

Tra i fattori che figurano nel determinare la qualità dei prodotti ortofrutticoli vi sono indubbiamente quelli relativi alla raccolta ed al post-raccolta. Nel primo caso ci si riferisce allo stadio di maturazione del prodotto ed alla modalità ed alle condizioni ambientali al momento della raccolta (Bonghi et al., 2001; Raffo et al., 2002). Nel corso della maturazione dei frut-

ti le modifiche più rilevanti riguardano il cambiamento di colore di fondo, l'accumulo degli zuccheri, la diminuzione degli acidi organici, l'evoluzione delle sostanze volatili e la perdita di consistenza della polpa. Nella scelta del momento della raccolta è necessario quindi realizzare un opportuno compromesso tra il raggiungimento delle caratteristiche organolettiche ottimali e la necessità di mantenere i frutti integri fino al consumo.

Per gran parte dei prodotti ortofrutticoli, le migliori caratteristiche qualitative vengono comunque raggiunte in corrispondenza della raccolta; nelle fasi successive vi è un progressivo decadimento della qualità del prodotto. Pertanto le condizioni di conservazione e le tecniche di lavorazione del prodotto in fase di post-raccolta possono assumere un'importanza assai significativa.

Relativamente alla post-raccolta, va precisato che i prodotti possono subire danni meccanici, attacchi di parassiti, nonché un decadimento qualitativo che è correlato con la normale attività metabolica del prodotto (Almirante e Colelli, 1994). Una notazione a parte va fatta con riferimento alle produzioni di tipo *fresh-cut* (a base di frutta o ortaggi), che, a fronte di un maggior contenuto in servizio, sono caratterizzati da un accentuato grado di deperibilità (Pernice et al., 2007).

Per quanto riguarda i sistemi di conservazione dei prodotti ortofrutticoli generalmente si fa riferimento, in primo luogo, alle problematiche relative alla gestione della catena del freddo, secondo i seguenti obiettivi prioritari (Colelli, 2001):

- valutare le esigenze specifiche dei singoli prodotti per rallentare il metabolismo al fine di migliorarne la qualità finale anche attraverso la pianificazione di opportuni cicli di condizionamento, caratterizzati da operazioni elementari adatte a ciascun prodotto;
- predisporre opportuni lay-out delle centrali ortofrutticole in modo da ottimizzare i tempi di utilizzazione dei diversi impianti e ridurre i costi di gestione;
- introdurre tecnologie impiantistiche di refrigerazione indiretta e mista che garantiscano la qualità finale del prodotto, contenendone i costi di gestione;
- utilizzare in maniera generalizzata la pratica della pre-refrigerazione con tecnologie più

- adeguate alle singole esigenze dei prodotti;
- applicare nuove tecnologie per l'atmosfera controllata in modo da ridurre i costi di gestione;
- estendere ad un numero crescente di prodotti la tecnica dell'imballaggio in atmosfera modificata, anche alla luce della disponibilità di diverse tipologie d'imballaggi innovativi;
- sviluppare linee di preparazione per il mercato sempre più automatizzate con controlli in linea per la selezione e lo scarto di prodotti indesiderati;
- implementare sistemi di automazione e controlli nella gestione delle centrali ortofrutticole, sia per consentire la tracciabilità e quindi la provenienza ed il percorso dei singoli prodotti, sia per il controllo anche a distanza della funzionalità dei singoli apparati impiantistici.

Il metabolismo del prodotto durante la fase di maturazione e/o senescenza si manifesta con fenomeni d'aumento della respirazione, della traspirazione e della produzione di etilene e, in maniera macroscopica, attraverso modificazioni nel colore, nella struttura e nella composizione, che comportano una rapida degradazione delle caratteristiche di accettabilità del prodotto. Tale degradazione è strettamente correlata con la temperatura a cui il prodotto viene conservato e con il tempo che intercorre tra la raccolta ed il consumo. Essa, inoltre, può essere accelerata da danni meccanici e da alterazioni di tipo fisiologico e/o patologico. Pertanto, la conoscenza e la corretta analisi di tali esigenze relative al prodotto rivestono una fondamentale importanza nella progettazione, realizzazione e gestione delle centrali ortofrutticole (Colelli, 2001).

## Conclusioni

L'ortofrutticoltura mediterranea si trova di fronte alla necessità di un adeguamento della sua configurazione dal punto di vista tecnico, agronomico ed organizzativo, per corrispondere agli scenari che man mano si vanno delineando in termini di globalizzazione ed evoluzione delle aspettative dei consumatori. L'interesse nei confronti di tale adeguamento scaturisce dal fatto che per i prodotti ortofrutticoli si osserva un

progressivo cambiamento del concetto di qualità anche in rapporto alla diffusione di nuove tecnologie di produzione, al rinnovamento del sistema di distribuzione, alle mutate aspettative da parte dei consumatori i quali manifestano una crescente diffidenza nei confronti dei prodotti il cui processo produttivo si caratterizzi per un elevato grado di intensificazione. D'altra parte, il consumatore è sempre più attento ai prodotti salubri, ottenuti con metodi e tecniche eco-compatibili.

Tra i principali obiettivi da perseguire ai fini del mantenimento della competitività del comparto vi è, quindi, quello relativo alla qualificazione delle produzioni. Tale obiettivo potrà essere perseguito attraverso una scelta appropriata delle principali varianti del processo o attraverso l'introduzione di specifiche innovazioni che riguardano uno o più segmenti della filiera produttiva. Tali varianti sono comunque numerose e possono determinare effetti talora contrastanti sui diversi attributi di qualità. Occorre pertanto verificare preliminarmente il grado di compatibilità tecnica con le specificità che le diverse espressioni del comparto ortofrutticolo esprimono, sotto il profilo pedoclimatico, agronomico, organizzativo, ecc. D'altra parte, non va sottovalutata la notevole eterogeneità che caratterizza i prodotti ortofrutticoli, anche sotto il profilo delle caratteristiche che ne determinano la qualità.

Nel quadro della qualificazione dei prodotti ortofrutticoli la definizione di disciplinari di produzione potrebbe essere considerata uno strumento per i produttori, utile ai fini dell'ottenimento di prodotti più rispondenti e in grado, anche attraverso mirate certificazioni, di fornire al consumatore indicazioni più puntuali circa il prodotto ed il processo attraverso il quale esso è stato ottenuto. Gli elevati costi che le procedure per la certificazione richiedono rendono questa strategia accessibile soltanto alle aziende o genecooperative di produttori di idonee dimensioni.

In conclusione, appare evidente come i determinanti della qualità dei prodotti ortofrutticoli riguardanti la filiera produttiva siano numerosi e che le relazioni di causa ed effetto risultino sufficientemente conosciute solo in alcuni casi. La possibilità di ipotizzare percorsi innovativi riguardanti il processo, utili ai fini della qualificazione delle produzioni, risulta per-

tanto subordinata ad un ampliamento del quadro conoscitivo dei processi biofisiologici alla base del determinismo della qualità. I margini per un miglioramento della qualità dei prodotti risultano comunque significativi; occorre, tuttavia, preliminarmente verificare se gli oneri che ogni innovazione riguardante la filiera produttiva, possono comportare ai fini della qualificazione del prodotto, sono giustificati dalle maggiori opportunità di mercato.

## Ringraziamenti

Lavoro parzialmente svolto nell'ambito del progetto finanziato dalla Regione Marche – LR27 – Valorizzazione biodiversità orticola autoctona.

## Bibliografia

- Almirante P., Colelli G. 1994. Criteri costruttivi degli impianti di frigoconservazione in relazione alle esigenze post-raccolta dei prodotti. Atti del Convegno "Scelte Varietali e Aspetti Qualitativi della Frigoconservazione", Firenze, Italy, 129-169.
- Ames B.M., Shigen M.K., Hagen T.M. 1993. Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 90:7915-7922.
- Anelli G., Favati F., Fiorentini R., Mencarelli F. 1984. Maturation e qualità dei prodotti ortofrutticoli. In: Ortofrutticoli freschi – aspetti della maturazione e post-raccolta, 11-43. Monografia n. 2. CNR-IPRA.
- Anttonen M., Hoppula K.I., Nestby R., Verheul M.J., Karjalainen R.O. 2006. Influence of fertilization, mulch color, early forcing, fruit order, planting date, shading, growing environment and genotype on the content of selected phenolics in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits. J. Agric. Food Chem., 54:2614-2620.
- Atkinson C.J., Dodds P.A., Ford Y.Y., Le Mière J., Taylor J.M., Blake P.S., Paul N. 2006. Effects of cultivar, fruit number and reflected photosynthetically active radiation on *Fragaria x ananassa* productivity and fruit ellagic acid and ascorbic acid concentrations. Ann. Bot., 97, 3:429-41.
- Battino M., Mezzetti B. 2007. Update on fruit antioxidant capacity: a key tool for Mediterranean diet. Public Health Nutrition, 1-6 DOI: 10.1017/ S1368980007668554.
- Benzie I.F.F., Strain J.J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. Anal. Biochem., 239:70-76.
- Bonghi C., Ramina A., Tonutti P. 2001. La fisiologia della maturazione dei frutti di pesco. Rivista di Frutticoltura, 4:85-88.
- Brat P., George S., Bellamy A., Du Chaffaut L., Scalbert A., Mennen L., Arnault N., Amiot M.J. 2006. Daily Polyphenol Intake in France from Fruit and Vegetables. J. Nutr., 136, 9:2368.
- Caruso T., Giovannini D., Liverani A. 1996. Rootstock influences the fruit mineral, sugar and organic acid content of a early ripening peach cultivar. Journal of Horticultural Science, 71, 6:931-937.
- Colelli G. 2001. Il condizionamento dei prodotti ortofrutticoli per il consumo fresco e per la IV gamma. In: G. Colelli (ed.): Linee guida per il condizionamento e la trasformazione dei prodotti ortofrutticoli, 9-37. Edizioni GAL "Terra dei Messapi", Mesagne, Italy.
- Connor A.M., McGhie T.M., Stephens M.J., Harvey K.H., Alspach P.A. 2005. Variation and Heritability Estimates of Anthocyanins and Their Relationship to Antioxidant Activity in a Red Raspberry Factorial Mating Design. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 130:534-542.
- Connor A.M., Luby J.J., Tong C.B.S. 2002. Variation and heritability estimates for antioxidant activity, total phenolic content and anthocyanin content in blueberry progenies. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 127:82-88.
- Costa G., Vizzotto G. 2000. Fruit thinning of peach trees. Plant Growth Regulation, 31:113-119.
- Crisosto C.H. 2002. How do we increase peach consumption? Acta Hort., 592:601-605.
- Crisosto C.H., Johnson R.S.M., DeJong T., Day K.R. 1997. Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality. HortSci., 32:820-823.
- Crisosto G.U., Mitchell F.G., Arpaia M.L., Mayer G. 1984. The effect of growing location and harvest maturity on the storage performance and quality of "Hayward" kiwifruit. J. Am. Soc. Hort. Sci., 109:584-587.
- Davuluri G.R., Van Tuinen A., Fraser P.D., Manfredonia A., Newman R., Burgess D., Brummell D.A., King S.R., Palys J., Uhlig J., Bramely P.M., Pennings H.J., Bowler C. 2005. Fruit-specific RNAi-mediated suppression of *DETI* enhances carotenoid and flavonoids content in tomatoes. Nat. Biotechnol., 23:890-895.
- Deighton N., Brennan R., Finn C., Davies H.V. 2000. Antioxidant properties of domesticated and wild *Rubus* species. J. Sci. Food Agric., 80:1307-1313.
- Di Vaio C., Buccheri M., Graziani G., Ritieni A., Scalfi L. 2001. Attività antiossidante di frutti di pesco (cv. Maycrest). Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura, 7-8:83-86.
- Dorais M., Papadopoulos A.P., Gosselin A. 2001. Greenhouse tomato fruit quality. Horticultural Reviews, 26:239-319.
- Ehlenfeldt M.K., Prior R.L. 2001. Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Phenolic and Anthocyanin Concentration in Fruit and Leaf Tissue of Highbush Blueberry. J. Sci. Food Agric., 49:2222-2227.
- Ferrante A., Spinardi A., Maggiore T., Testoni A., Gallina P.M. 2008. Effect of nitrogen fertilisation levels on

- melon fruit quality at the harvest time and during storage. *J. Sci. Food and Agriculture*, 88, 4:707-713.
- Finley J.W. 2005. Proposed Criteria for Assessing the Efficacy of Cancer Reduction by Plant Foods Enriched in Carotenoids, Glucosinolates, Polyphenols and Seleno compounds. *Annals of Botany*, 95:1075-1096.
- Gentile A., Mezzetti B. 2007. Biotecnologie OGM: quali prospettive per le piante da frutto? In: Sansavini S. (ed.): Nuove Frontiere dell'arboricoltura Italiana, 339-353. Ed. Oasi Perdisa.
- Gilberto L., Perrotta G., Pallara P., Weller J.L., Fraser P.D., Bramley P.M., Fiore A., Tavazza M., Giuliano G. 2005. Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content. *Plant Physiol.*, 137:199-208.
- Giorgi M., Capocasa F., Scalzo J., Murri G., Battino M., Mezzetti B. 2005. The Rootstock effects on plant adaptability and production, and fruit quality and nutrition, in the peach (cv. Suncrest). *Scientia Hort.*, 107:36-42.
- Giuliani R., Magnanini E., Corelli Grappadelli L. 1999. Relazioni tra scambi gassosi e intercettazione luminosa in chiome di pesco allevate secondo tre forme. *Frutticoltura*, 3:65-69.
- Guo C., Yang, J., Wei J., Li Y., Jiang Y. 2003. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. *Nutrition Research*, 50:1719-1716.
- Halvorsen B.L., Holte K., Myhrstad M.C.W., Barikmo I., Hvattum E., Remberg S.F., Wold A.B., Haffner K., Baugerød H., Andersen L.F., Moskaug J., Jacobs D.R., Blomhoff R. 2002. A Systematic Screening of Total Antioxidants in Dietary Plants. *American Society for Nutritional Sciences*, 461-471.
- Hamazu Y., Miyamoto Y., Chachin K. 1994. Effect of high temperatures on the change of carotenoid contents in tomato fruit after harvest. *J. Jap. Soc. Hortic. Sci.*, 63, 3:675-684.
- La Malfa G. 1988. La qualità degli ortaggi destinati al consumo allo stato fresco. Consiglio nazionale delle ricerche. Progetto strategico: Nuovi orientamenti dei consumi e delle produzioni alimentari.
- La Malfa G., Leonardi C., Romano D. 1995. Changes in some qualità parameters of greenhouse tomatoes in relation to thermal levels and auxin sprays. *Agr. Med.*, 125:404-412.
- Leonardi C., Guichard S., Bertin N. 2000. High vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. *Scientia Hort.*, 84, 3-4: 285-296.
- Leonardi C., Martorana M., Giuffrida F., Fogliano V., Pernice R. 2004. Tomato fruit quality in relation to the content of sodium chlorine in the nutrient solution. *Acta Hort.*, 659:769-774.
- Leonardi C., Romano D. 2004. Recent issues on vegetable grafting. *Acta Hort.*, 631:163-174.
- Loreti F., Massai R. 1999. I portinnesti del pesco. *Informatore Agrario*, 6, suppl.:39-44.
- Malaguti D., Millard P., Wendler R., Hepburn A., Tagliavini M. 2001. Translocation of amino acids in the xylem of apple (*Malus domestica* Borkh.) trees in spring as a consequence of both N remobilization and root uptake. *J. Exp. Bot.*, 52, 361:1665-71.
- McGhie T.K., Hall H.K., Ainge G.D., Mowat A.D. 2002. Breeding Rubus cultivars for high anthocyanin content and high antioxidant capacity. *Acta Hort.*, 585:495-500.
- Paine A., Shipton C.A., Chaggar S., Howells R.M., Kennedy M.J., Vernon G., Wright S.Y., Hinchliffe E., Adams J.L., Silverstone A.L., Drake R. 2005. Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. *Nat. Biotechnol.*, 23:482-487.
- Pellegrini N., Re R., Yang M., Rice-Evans C.A. 1999. Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying the ABTS<sup>+</sup> radical cation decolorization assay. *Meth. Enzymol.*, 299:589-603.
- Peri C. 2004. Qualità nelle aziende e nelle filiere agroalimentari. Hoepli, Milano.
- Pernice R., Scuderi D., Napolitano A., Fogliano V., Leonardi C. 2007. Polyphenol composition and qualitative characteristics of fresh-cut lettuce in relation to cultivar, mulching and storage. *Journal Horticultural Science and Biotechnology*, 82, 3:420-427.
- Prior R.L., Cao G., Martin A., Sofic E., McEwen J., O'Brien C., Lischner N., Ehlenfeldt M., Kalt, W., Krewer G., Mainland M. 1998. Antioxidant capacity is influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity and variety of *Vaccinium* species. *J. Agric. Food Chem.*, 46:2686-2693.
- Raffo A., Leonardi C., Fogliano V., Ambrosino P., Salucci M., Gennaro L., Bugianesi R., Giuffrida F., Quaglia G. 2002. Nutritional value of cherry tomatoes (cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *J. of Agric. and Food Chem.*, 50:6550-6556
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 26:1231-1237.
- Robinson T.L., Lakso A.N. 1991. Bases of yield e production efficiency in apple orchards systems. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 116:188-194.
- Scalzo J., Politi A., Pellegrini N., Mezzetti B., Battino M. 2005a. Plant genotype affects total Antioxidant Capacity and Phenolic Content in fruit. *Nutrition*, 21:207-213.
- Scalzo J., Mezzetti B., Battino M. 2005b. Total antioxidant capacity evaluation: Critical steps for assaying berry antioxidant features. *Biofactors*, 23, 4:221-7.
- Sorce S., Massai R., Picciarelli P., Lorenzi R. 2001. Hormonal relationship in xilem sap of grafted and ungrafted *Prunus* rootstocks. *Scientia Hort.*, 93:333-342.



- Subodh J., Munshi A.D. 2001. Capsicum germplasm with fruiting ability under high temperature stress. Capsicum and Eggplant Newsletter, 20:27-30.
- Tsipouridis C., Thomidis T., Bladenopoulou S. 2005. Rhizogenesis of GF677, Early Crest, May Crest and Arm King stem cuttings during the year in relation to carbohydrate and natural hormone content. Scientia Hort., 108, 2:200-204.
- Valantin-Morison M., Vaissiere B.E., Gary C., Robin P. 2006. Source-sink balance affects reproductive development and fruit quality in cantaloupe melon (*Cucumis melo* L.). J. Hort.Sci.Biotech., 81, 1:105-117.
- Wang H., Cao G., Prior R.L. 1996. Total antioxidant capacity of fruits. J. Agric. Food Chem., 44:701-705.
- Wang S.Y., Zeng W., Maas J.L. 2003. High plant growth temperatures increases antioxidant capacities in strawberry fruits. Act. Hort., 626:57-63.
- Weightman R.M., Dyer C., Buxton J., Farrington D.S. 2006. Effects of light level, time of harvest and position within field on the variability of tissue nitrate concentration in commercial crops of lettuce (*Lactuca sativa*) and endive (*Cichorium endiva*). Food Additives and Contaminants, 23, 5:462-469.
- Willett W.C. 1999. Goals for nutrition in the year 2000. CA. Cancer. J. Clin., 49: 331-352.
- World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research, 1997. Food, Nutrition and the Prevention of Cancer: A Global Perspective. American Institute for Cancer Research, Washington, DC.
- World Health Organization, 1990. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases: Report of a WHO Study Group – Technical Report Series 797. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Xiloyannis C., Nuzzo V., Dichio B., Biasi R. 1996. Effetto della forma di allevamento sull'evoluzione dell'area fogliare, sulla produzione e sulla qualità dei frutti di albicocco (cultivar *Tyrinthos*). Atti MacFruit: Agro. Bio. Fruit. Cesena, 10-11 maggio, 162-163.
- Zhang Jie, Li TianLai, Xu Jing 2007. Effect of daytime sub-high temperature on metabolism of photosynthates in tomato leaf and fruit after flowering. Plant Physiology Communications, 43, 4:673-677.



# Modelli di coordinamento verticale compatibili con lo sviluppo di filiere bio-energetiche<sup>#</sup>

Gianluca Nardone<sup>\*1</sup>, Emilio De Meo<sup>1</sup>, Antonio Seccia<sup>2</sup>, Rosaria Viscecchia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze delle Produzioni e dell'Innovazione nei Sistemi  
Agro-alimentari Mediterranei, Università di Foggia  
Via Napoli 25, 71100 Foggia

<sup>2</sup>Dipartimento di Economia e Politica Agraria, Estimo e Pianificazione Rurale, Università di Bari  
Via Amendola 165/A, 70126 Bari

Società Italiana di Economia Agraria

---

## Riassunto

Una delle prospettive per lo sviluppo delle biomasse destinate a combustibile solido consiste nello sviluppo di filiere locali caratterizzate da coesistenza di fase agricola e fase industriale. A tal fine, però, è necessario implementare un efficace coordinamento verticale tra le parti, con la definizione di contratti che scongiurino il pericolo di eventuali comportamenti opportunistici e garantiscano gli investimenti industriali di forniture stabili e costanti nel tempo. Prendendo spunto da un progetto di una centrale a biomasse alimentata da sorgo nel foggiano, il presente studio riflette sui pagamenti da prevedere in un eventuale contratto per mantenere la fedeltà dell'agricoltore allo stesso. In particolare, poiché l'impresa agricola è dotata di maggiore flessibilità potendo optare annualmente per la coltura meglio remunerata dal mercato, si ipotizza che tale fedeltà possa essere ottenuta legando i pagamenti contrattuali al prezzo della principale coltura alternativa a quella per uso energetico. I risultati del presente lavoro sembrano indicare l'opportunità di fissare un prezzo di acquisto della materia prima che possa essere legato al prezzo del grano in quanto coltura più diffusa sul territorio e che più di ogni altra, in seguito al disaccoppiamento introdotto dalla riforma della PAC, soggiace ad oscillazioni repentine del prezzo di mercato. Utilizzando i dati del Distretto 12 del Consorzio di Bonifica di Capitanata esteso su 11.300 ettari (contro i 20.000 richiesti dalla proposta in questione), è stato possibile organizzare le circa 600 imprese in cinque cluster ognuno dei quali identificato da un'azienda rappresentativa. Con un modello di programmazione lineare sono state condotte simulazioni inserendo nelle opzioni dell'imprenditore il sorgo da biomassa e zuccherino in modalità sia estensiva che intensiva. Attraverso un processo di aggregazione, si è potuto constatare che con un prezzo del grano duro sui 15 €/q il prezzo ritenuto conveniente dall'agricoltore per l'inserimento della coltura energetica nell'ordinamento oscilla intorno ai 50 €/t (superiore ai 40 €/t offerti nel progetto industriale). Si è inoltre identificata una forte correlazione tra il prezzo del grano duro e il prezzo con il quale il sorgo entra nella pianificazione aziendale, tanto che il prezzo da prevedere eventualmente nel contratto supererebbe i 70 € nel caso in cui il grano raggiungesse i 40 €. Tali risultati, pur non offrendo indicazioni circa la convenienza della parte industriale a pagare prezzi maggiori per la biomassa, rappresentano comunque elementi fondamentali per poter riflettere sulle clausole contrattuali capaci di impedire fenomeni di *hold-up* e *moral hazard*.

*Parole chiave:* biomasse, coordinamento verticale, contratti, *hold-up*.

## Summary

### MODELS OF VERTICAL COORDINATION CONSISTENT WITH THE DEVELOPMENT OF BIO-ENERGETICS

To foster the development of the biomasses for solid fuel it is fundamental to build up a strategy at a local level in which co-exists farms as well as industrial farms. To such aim, it is necessary to implement an effective vertical coordination between the stakeholders with the definition of a contract that prevents opportunistic behaviors and

<sup>#</sup> Il lavoro è frutto della collaborazione degli Autori. Tuttavia, la Premessa e le Conclusioni vanno attribuite a G. Nardone, il paragrafo 2 a A. Seccia, il paragrafo 3 a E. De Meo, e il paragrafo 4 a R. Viscecchia.

Si ringrazia il prof. Massimo Monteleone per la gentile concessione delle informazioni relative alle caratteristiche tecnico-agronomiche delle colture bio-energetiche ed il dott. Maurizio Prospero per il prezioso contributo nella realizzazione del caso studio.

<sup>\*</sup> Autore corrispondente: tel.: +39 0881 589316; fax: +39 0881 589349. Indirizzo e-mail: g.nardone@unifg.it

guarantees the industrial investments of constant supplies over the time. Starting from a project that foresees a biomass power plant in the south of Italy, this study reflects on the payments to fix in an eventual contract in such a way to maintain the fidelity of the farmers. These one have a greater flexibility since they can choose the most convenient crop. Therefore, their fidelity can be obtained tying the contractual payments to the price of the main alternative crop to the energetic one. The results of the study seem to indicate the opportunity to fix a purchase price of the raw materials linked to the one of durum wheat that is the most widespread crop in the territory and the one that depends more on a volatile market. Using the data of the District 12 of the province of Foggia Water Consortium with an area of 11.300 hectares (instead of the 20.000 demanded in the proposal), it has been possible to organize approximately 600 enterprises in five clusters, each of them identified by a representative farm. With a model of linear programming, we have run different simulations taking into account the possibility to grow sorghum in different ways. Through an aggregation process, it has been calculated that farmers may find it convenient to supply the energetic crop at a price of 50 €/t when the price of durum wheat is 150 €/t. Anyway, this price is lower than the one offered by firm that is planning to build the power plant. Moreover, it has been identified a strong correlation between the price of the durum wheat and the price that makes convenient for the farmers to grow the sorghum. When the price of wheat goes up to 400 €/t then the price that must be paid to the farmers for the energetic crop is 70 €/t. Even though these results offer no definitive indications about the economic convenience of industrial firms to pay greater prices for the biomasses, they represent an important step towards the definition of contractual clauses that may prevent phenomena of hold-up and moral hazard.

*Key-words:* biomasses, vertical coordination, contracts, hold-up.

## 1. Premessa

Il dibattito sulle prospettive delle filiere bio-energetiche sta richiamando un crescente interesse, sia in ambito accademico sia in ambito politico, in virtù delle potenziali risposte che queste possono fornire rispetto alle problematiche agricole, ambientali ed energetiche. Gli evidenti freni allo sviluppo di tali filiere, legati principalmente alla minore convenienza rispetto al costo dei combustibili fossili nonché alle manifeste difficoltà degli impianti di raggiungere economie di scala e di reperire la materia prima, hanno determinato una particolare attenzione a costruire adeguate politiche di incentivazione basate su obblighi di produzione di energia da fonti rinnovabili, contributi per le colture energetiche, certificati verdi e, non ultimo, sostegno alla ricerca e sviluppo.

Tali strumenti incentivanti non riescono ad affrontare efficacemente gli specifici limiti strutturali ed organizzativi delle filiere bio-energetiche che, soprattutto nel caso di biomasse per combustibile solido, dipendono fortemente da un'organizzazione su scala locale tale da ridurre l'incidenza dei costi di trasporto. Un'organizzazione secondo un tale schema richiederebbe, però, che gli investimenti industriali possano essere garantiti da forme di integrazione verticale tra gli operatori coinvolti che assicurino forniture stabili e costanti nel tempo e scongiurino il pericolo di eventuali comportamenti opportunistici.

In questa ottica, il presente studio si propone di analizzare le caratteristiche del coordinamento verticale individuando quelle modalità maggiormente compatibili con lo sviluppo di una filiera bio-energetica e con particolare riferimento alla definizione delle clausole contrattuali che possano rendere sostenibile una filiera a bio-combustibili solidi in provincia di Foggia. L'impostazione teorica deriva da due considerazioni di base. Da una parte si considera che con l'integrazione contrattuale le parti stabiliscono le modalità con le quali si disciplina la transazione economica con particolare riferimento ai pagamenti quale parametro principale per giudicare la convenienza o meno ad avviare il rapporto economico. D'altra parte, è anche vero che mentre per il cliente industriale esiste una specificità nella richiesta di materia prima che non può che essere di provenienza locale, l'impresa agricola fornitrice è dotata di maggiore flessibilità potendo valutare l'eventuale convenienza a pianificare la coltura meglio remunerata dal mercato. Ciò determina la possibilità di comportamenti opportunistici e di problemi di *hold-up* o di *moral hazard*, con inevitabili ripercussioni sulla sostenibilità dell'investimento.

Prendendo spunto da un progetto reale che prevede la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da biomassa di origine agricola sul territorio della Capitanata, si è inteso verificare se il prezzo alla produzione

proposto fosse in grado di incentivare gli imprenditori agricoli a modificare la pianificazione aziendale a favore di colture energetiche, nel caso specifico il sorgo. Tale prezzo è stato determinato a condizioni di mercato definite, ovvero avendo fissato il prezzo della principale coltura alternativa a quella per uso energetico. Per arrivare a definire clausole contrattuali tali da disincentivare comportamenti opportunistici, si è scelto poi di verificare come il prezzo concordato dovesse modificarsi in risposta ad aumenti del prezzo della coltura alternativa individuata.

## 2. Il coordinamento verticale

Il concetto di integrazione verticale fa riferimento alle diverse strategie di incorporazione all'interno di una stessa impresa, o comunque sotto il suo controllo, di attività, processi, funzioni, prodotti e capacità produttive precedentemente realizzate all'esterno di essa. Le scelte di integrazione da parte delle imprese possono riguardare un coordinamento più o meno stretto e vengono definite scelte di *make* o *buy* a significare le due alternative estreme a disposizione dell'impresa: l'internalizzazione del processo produttivo a valle o a monte o l'azione attraverso il mercato a cui è demandato il ruolo di coordinamento e quindi di "armonizzazione" dei processi produttivi.

Tra le due forme estreme esiste una varietà di soluzioni intermedie che possono essere ricondotte alle categorie di quasi integrazione e di integrazione contrattuale. La prima si realizza quando le imprese realizzano forme di collegamento sistematico con altre unità produttive a monte e a valle senza acquisire quote nel capitale di rischio (per es. il *franchising*). L'integrazione contrattuale si ha, invece, quando i legami tra gli operatori di stadi contigui avvengono per contratto. Rappresenta un grado ancora minore di coinvolgimento dell'impresa nella gestione dei suoi partner.

La scelta del *make* o *buy* si basa ovviamente su una serie di valutazioni economiche sull'alternativa che consente all'impresa di raggiungere un maggiore livello di redditività. L'integrazione risulterebbe giustificata rispetto all'esternalizzazione se l'impresa conseguisse un livello superiore di profittabilità dallo svolgi-

mento congiunto di due o più attività rispetto all'opzione di attività realizzate da imprese giuridicamente ed economicamente distinte. La letteratura economica e manageriale ha prodotto numerose spiegazioni teoriche in relazione alla individuazione delle determinanti della convenienza per i processi di integrazione verticale. È possibile tentare una sintesi dei diversi contributi teorici raggruppandoli in tre grandi filoni che saranno di seguito, molto brevemente, esposti.

Il primo filone è quello che fa riferimento all'approccio *strutturalista neoclassico*. Nell'ambito di tale paradigma sono state elaborate diverse teorie che si riferiscono a specifiche determinanti dell'integrazione verticale delle imprese (Stigler, 1961; Bain, 1959). Secondo questa impostazione, la spinta all'integrazione verticale è data dall'esistenza a livello di settore, quindi esogenamente alle imprese, di meccanismi che rendono vantaggiosa economicamente la scelta *make* o *buy*.

Le determinanti economiche principali si riferiscono alla struttura dei costi, in particolare alla possibilità per l'impresa di poter conseguire economie di scala, di scopo e di esperienza attraverso scelte di integrazione verticale o, al contrario, di disintegrazione, a seconda della natura del prodotto, dei processi produttivi e delle caratteristiche del settore in cui opera, come ad esempio il grado di concentrazione. In relazione ai processi produttivi, la condizione di efficienza tecnica può essere presupposto di vantaggio di un processo di integrazione verticale, determinata dalla presenza in un dato settore di tecnologie aventi specifiche caratteristiche tecnico-economiche in termini di indivisibilità o di dimensioni minime. Un ulteriore fattore è dato dalla localizzazione economica, a causa dell'assenza, in alcune aree, di fornitori di materie prime o di semilavorati o di lavorazioni specializzate, che può spingere le imprese a cercare soluzioni organizzative di integrazione verticale in alternativa all'approvvigionamento in aree distanti con maggiori oneri di organizzazione e di trasporto.

L'impostazione strutturalista propone anche una interpretazione legata alle funzioni di costo dei singoli attori coinvolti nel processo di integrazione verticale, nei casi in cui si riscontra un elevato grado di interdipendenza fra le funzioni di costo dei medesimi. In tali situazioni, può

esistere un forte condizionamento della competitività di un'impresa da parte delle scelte produttive realizzate da un'altra senza che la prima tragga vantaggio in termini di profittabilità o che si raggiunga un equilibrio dato dalla massimizzazione congiunta dei profitti di entrambe.

Un secondo approccio è quello *istituzionale o del governo dell'impresa* e fa riferimento alle teorie dell'informazione, dei contratti, dell'agenzia e alle nuove teorie dell'impresa. In questo caso si individuano due principali filoni teorici: quello che considera l'organizzazione interna dell'impresa, originato da Berle e Means (1932) e sviluppato in seguito da altri autori (Fama, Jensen e Meckling), e quello che considera i confini esterni dell'impresa, che prende origine da Coase (1937) e che in seguito ha condotto alla teoria dei costi di transazione e dei diritti di proprietà (Williamson e Grossman-Hart-Moore). Per entrambi i filoni, comunque, è possibile riconoscere un ambito tematico comune, quello della incompletezza della contrattazione. Nel primo caso, essa è riferita ai rapporti interni all'impresa, tra ogni soggetto che agisce da "principale" ed il suo "agente", mentre nel secondo è il mercato l'ambito in cui le imperfezioni contrattuali si manifestano.

Lo strumento dei contratti, in alcuni casi impliciti cioè fondati su regole non scritte ma note, regola i rapporti interni all'impresa fra proprietari e manager, ma anche fra manager e dipendenti, fra proprietari e finanziatori esterni. Tuttavia, essendo il contesto in cui tali meccanismi di interazione avvengono caratterizzato da razionalità limitata ed informazione asimmetrica, i contratti sono necessariamente incompleti.

Un fecondo filone sui rapporti di agenzia tra "principale" e "agente" si è sviluppato nella letteratura della gestione d'impresa. Quest'ultima, non viene più concepita come semplice profilo tecnologico legato ai costi produttivi perché il rapporto di agenzia implica nuove tipologie di costi: quelli relativi al controllo del principale sull'eventuale azione sleale del suo agente (*monitoring costs*), quelli di cauzione, tramite i quali l'agente offre garanzie e rassicura il principale che non si comporterà slealmente (*bonding costs*) ed, infine, i costi connessi alla perdita di valore che l'impresa sostiene nel processo di delega data all'agente dal principale (*residual loss*) (Jensen e Meckling, 1976). Secondo questo ap-

proccio, elaborato negli anni Settanta da autori come Alchian, Demsetz, Fama, Jensen, Meckling, dunque, l'impresa diviene il luogo di convergenza di contratti complessi in cui l'imprenditore si trova collocato in posizione gerarchicamente superiore alle sue controparti.

Secondo Coase (1937) per l'impresa esiste un limite dimensionale nella gestione gerarchica e nella attività di pianificazione che è rappresentato dalle capacità gestionali e dalle possibilità informative dell'imprenditore. Infatti, al di là una certa dimensione, i costi di gestione, di organizzazione ed informativi eccedono gli eventuali costi di transazione che si sosterebbe se si sostituisse, per alcuni rapporti, il mercato all'impresa. La scelta fra "mercato" e "impresa" è quindi regolata dal confronto tra costi di transazione e costi di gestione. Il concetto di costi di transazione viene introdotto con l'analisi economica delle transazioni: sono costi associati all'atto dello scambio, non specificamente visibili e rilevabili (*hidden costs*) ma della cui esistenza l'impresa ha consapevolezza tanto da mettere in atto comportamenti finalizzati a minimizzarli.

Secondo Williamson (1975), grazie al quale il problema della contrattazione si sposta ai confini esterni dell'impresa, in situazione di scelta fra una relazione di gerarchia (impresa) e una transazione effettuata tra due contraenti indipendenti (mercato), l'integrazione verticale costituisce la soluzione organizzativa efficiente in presenza di elevati costi di transazione.

Il modello di Williamson si basa su due assunzioni comportamentali e tre variabili per spiegare le determinanti specifiche dei costi di transazione da cui possono derivare i livelli di integrazione verticale delle imprese. Le assunzioni comportamentali sono la razionalità limitata e l'opportunismo degli attori. Le variabili economiche sono il possesso di risorse specifiche, l'incertezza e la frequenza delle transazioni.

La razionalità limitata indica che i protagonisti delle contrattazioni di mercato sono caratterizzati da limiti nelle capacità cognitive e di elaborazione delle informazioni per cui non possono prevedere tutte le conseguenze delle proprie decisioni.

L'opportunismo degli attori consiste nel perseguire finalità egoistiche attraverso l'utilizzo parziale o distorto di informazioni con lo scopo di confondere gli interlocutori di mercato.

La specificità delle risorse si riferisce a in-

vestimenti in risorse materiali e immateriali strettamente connessi ad una data transazione non avendo possibilità di impiego alternativo al di fuori di essa (Riordan, Williamson, 1985, Perry 1989).

L'incertezza delle transazioni è connessa alla difficoltà di prevedere le conseguenze giuridico-economiche degli scambi di mercato con riferimento a problemi contrattuali della transazione, non identificabili a priori, e che generano ostacoli nell'esecuzione degli accordi.

La frequenza delle transazioni riguarda la ripetitività nel tempo delle stesse e il peso economico che hanno per le parti coinvolte nella transazione.

Nel caso in cui per un'impresa una determinata transazione di mercato sia contraddistinta da elevata frequenza, da rilevanti investimenti specifici ed elevata incertezza, la soluzione efficiente risulta essere l'integrazione verticale.

In alcuni casi non risultano efficienti né l'integrazione verticale né il mercato concorrenziale, per cui, in tali casi, è necessario stabilire contratti che però sono inevitabilmente incompleti in un ambiente di razionalità limitata ed asimmetria informativa, e quindi esposti al rischio di comportamento opportunistico di una delle parti.

Il terzo e ultimo approccio è quello definito *strategico* secondo il quale alla base delle scelte di integrazione verticale non c'è la natura esogena della transazione economica bensì il comportamento strategico dell'impresa finalizzato a rafforzare le proprie posizioni competitive. La struttura gerarchica di governo permette di gestire risorse immateriali, come l'informazione e l'innovazione, in misura migliore rispetto ad una struttura deverticalizzata composta da numerosi soggetti economicamente e giuridicamente indipendenti.

Si possono individuare due diversi ambiti concettuali che determinano le scelte di integrazione verticale da parte delle imprese: azioni strategiche di integrazione verticale volte a ostacolare l'ingresso nel settore da parte di potenziali concorrenti (Comanor 1967; Comanor e Fech 1985; Blair e Kaserman 1978) e azioni intese a rafforzare la posizione competitiva dell'impresa.

Tra i fattori alla base di strategie di integrazione verticale volte al miglioramento competitivo dell'impresa assumono particolare importanza:

1. Il miglioramento dei flussi informativi di mercato per evitare che pervengano all'im-

presa alterati sia nella qualità che nella quantità (Blair e Kaserman, 1982; Caves e Murphy, 1976).

2. Il controllo della qualità delle materie prime e delle fasi particolarmente rilevanti in termini di generazione della qualità del prodotto finale.
3. L'efficienza e l'efficacia logistica: l'impresa può avere la necessità di migliorare il proprio ciclo manifatturiero e di commercializzazione coerentemente con le modificazioni della domanda di mercato.
4. La tutela economica delle innovazioni: le imprese possono avere la necessità di tutelare le innovazioni prodotte evitandone l'esternalizzazione.
5. L'assicurazione di uno sbocco di mercato soprattutto nel caso di creazione di nuovi mercati con prodotti innovativi: l'integrazione verticale costituisce una scelta strategica fondamentale per fare affermare un prodotto nel mercato e favorire la penetrazione commerciale.

La scelta di soluzioni che minimizzano il rischio connesso con le attività aziendali e che è strettamente dipendente dall'imprenditore o dal soggetto economico dell'impresa.

### **3. Il modello di riferimento: la teoria dei contratti, l'imprenditore razionale e massimizzante e i modelli di programmazione lineare**

Negli ultimi venti anni la teoria dei contratti ha dato vita a uno dei filoni più fecondi della ricerca economica come attesta il premio Nobel assegnato nel 2001 a George A. Akerlof, Michael A. Spence e Joseph E. Stiglitz per avere analizzato il funzionamento dei mercati in presenza di asimmetria informativa, un concetto importante per capire la natura degli accordi tra soggetti. L'approccio teorico mette al centro dell'interesse il contratto inteso come un accordo volontario tra due o più individui con il quale, indipendentemente dal fatto che esso ne possieda lo status giuridico, essi stabiliscono le modalità attraverso cui debba realizzarsi una certa transazione economica. Tramite il contratto gli individui stabiliscono le azioni che ciascuno deve intraprendere ed il comportamento che ciascuno può aspettarsi dagli altri. Inoltre il contratto stabilisce i pagamenti che devono essere effettuati (Aron, 1984; Hermalin, 1986; Joskow, 1985; Joskow, 1987; Klein, Crawford, Alchian,

1978; Aghion e Bolton, 1987; Dixit, 1983; Townsend, 1979; Hart, 1988; Hart e Holmstrom, 1987).

Le norme contrattuali possono prevedere la specificazione di una serie di azioni che contemplano il volume specifico (max o min) del prodotto oggetto dello scambio, il tipo e la modalità di determinazione della qualità del prodotto, i tempi e modalità di consegna, il sistema di determinazione e modulazione del prezzo, la tecnologia di produzione, la fornitura dei fattori di produzione, l'indennizzo in caso di violazione delle norme. A seconda delle norme contrattuali concordate si distingue tra tre tipologie di contratto che presentano vincoli crescenti: *market specification*, *production management*, *resource providing*.

Il contratto più efficiente ai fini dell'organizzazione delle attività economiche è quello definito completo, caratterizzato dal fatto di prevedere e descrivere tutte le contingenze che potrebbero emergere nello svolgimento della relazione, definire le azioni e i compensi adeguati per ciascuna contingenza e assicurare la certezza dell'esecuzione dei termini contrattuali.

In realtà, i mercati presentano una serie di problematiche (razionalità limitata degli individui, costi di scrittura, informazione asimmetrica tra le parti coinvolte, costi di *enforcement*) che determinano la definizione di contratti di fatto incompleti e quindi condizioni di mercato lontane dall'efficienza. In generale, le conseguenze dell'incompletezza contrattuale possono essere ricondotte a 4 macro categorie: rinegoziazione ex-post dei contratti e problema degli investimenti specifici (*hold-up*); informazione asimmetrica e opportunismo pre-contrattuale; selezione avversa (*adverse selection*); opportunismo post-contrattuale e *moral hazard*.

Nel caso della filiera bio-energetica locale, la specificità degli investimenti unita all'incompletezza contrattuale determina un potenziale problema di *hold-up*, per cui alcuni investimenti, pur se socialmente efficienti, possono non essere realizzati. Un ulteriore problema è legato al fatto che se, successivamente alla realizzazione dell'investimento si verificassero contingenze impreviste tali da rendere opportuno modificare i termini del contratto iniziale, una delle parti può approfittarsi della natura specifica dell'investimento realizzato dall'altra per recedere dal contratto. Anche in questo caso si avrebbero effetti negativi sull'efficienza della transazione.

Possibili soluzioni potrebbero essere rappre-

sentate da particolari contratti a lungo termine, con un orizzonte temporale pari all'intera durata della transazione per cui l'investimento ha rilevanza, in cui siano chiaramente specificate le obbligazioni di ciascuna parte e, in particolare, i criteri di pagamento della fornitura in maniera tale da evitare comportamenti opportunistici. Considerando le opzioni a disposizione dell'agricoltore che produce biomasse, tale modello può trovare una risposta concreta nella definizione di prezzi di fornitura collegati al prezzo di una coltura sostitutiva in un ipotetico piano di produzione di un imprenditore agricolo razionale e massimizzante.

Per poter determinare un tale sistema di pagamento, è possibile utilizzare modelli di programmazione matematica che la letteratura economico-agraria ha ampiamente riconosciuto come strumenti di analisi adeguati per prevedere le scelte colturali dell'imprenditore.

I modelli di programmazione matematica utilizzati in economia sono modelli di ottimizzazione in cui una funzione obiettivo soggetta a vincoli è massimizzata o minimizzata scegliendo opportunamente i valori di specifiche variabili. I vincoli rappresentano le condizioni che definiscono l'ambiente economico, tecnologico ed istituzionale in cui opera l'impresa e determinate variabili esogene fuori dal controllo dell'agente. La soluzione del problema rappresentato dal modello, se esiste, esprime i valori ottimi delle variabili nel rispetto di tutti i vincoli. In particolare la programmazione lineare (PL) costituisce uno strumento basato su un insieme di teoria e metodi di soluzione di problemi che comportano la massimizzazione o la minimizzazione di una funzione matematica di tipo lineare soggetta ad una serie di vincoli lineari (Panattoni e Campus, 1969; Cosentino e de Benedictis, 1979; Chiang, 1984; Hazell e Norton, 1986; Paris, 1991).

Tali modelli possono diventare metodi di previsione se usati per descrivere il comportamento degli agenti in condizioni diverse da quelle in cui operano. Per utilizzare correttamente la programmazione matematica a scopo previsionale si rende necessaria una fase di convalida del modello con cui verificare la sua capacità di replicare la realtà osservata. In pratica, se l'ipotesi comportamentale assunta nel modello è vera e se la struttura dei vincoli è tale da rappresentare adeguatamente i vincoli che l'imprenditore deve fronteggiare nella realtà, il modello dovrebbe fornire i valori osservati del-



le variabili (Cafiero, 2004). Quando ciò non accade si può ricorrere alla calibratura del modello attraverso la modifica di alcuni parametri e di alcuni vincoli in modo da consentire l'aderenza tra la soluzione del modello e la realtà osservata (Mc Carl e Aplan, 1986; Howitt, 1992).

Un ulteriore aspetto da notare, nella definizione del modello di analisi, è la necessità di utilizzare modelli settoriali per simulare e valutare gli effetti di un determinato cambiamento a livello aggregato. I modelli settoriali si differenziano da quelli aziendali per la funzione obiettivo che non è più quella comportamentale degli agricoltori ma è una funzione tale da consentire il raggiungimento di una soluzione coerente con il nuovo equilibrio di mercato. Inoltre, è opportuno notare che la costruzione di tali modelli presenta un ulteriore problema operativo rappresentato dall'aggregazione delle diverse unità produttive del settore.

#### 4. Il caso studio di una filiera energetica locale

Al fine di stabilire la convenienza ad incentivare la formazione di un rapporto stabile regolato dalla stipula di un contratto tra agricoltori ed industriali è stato sviluppato un caso studio in cui si è ipotizzata la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da biomassa di origine agricola in provincia di Foggia. Nel caso specifico, la proposta presentata al ter-

ritorio prevede la realizzazione di un impianto che necessita di una copertura minima di 20.000 ettari da destinare alla coltivazione di sorgo. L'industria di trasformazione sarebbe disposta a concordare un prezzo di acquisto della biomassa di 40-45 €/t attraverso contratti di coltivazione e accordi di fornitura.

Seguendo gli obiettivi del presente lavoro si è cercato di valutare se il prezzo è congruo rispetto agli obiettivi massimizzanti degli agricoltori e se il rapporto contrattuale a prezzo fisso è in grado di garantire flussi di fornitura stabili nel tempo assicurando un costante approvvigionamento all'impianto di trasformazione. Per fare ciò si è voluto verificare il prezzo di ingresso del sorgo nell'ordinamento colturale alle attuali condizioni di mercato e le variazioni nelle forniture a seguito di modifiche del prezzo del grano duro preso come più importante coltura alternativa.

Come area di studio è stato individuato il Distretto 12 del Consorzio di Bonifica di Capitanata in virtù della presenza di aziende vitali, di consistenti dimensioni e con elevata professionalità, oltre che della disponibilità di una base dati strutturata ed aggiornata. Tale Distretto presenta 45 settori estesi su 11.300 ha con il 37% di SAU irrigata. Alle 1.458 ditte catastali presenti corrispondono circa 600 aziende di media e grande dimensione che sono state *clusterizzate* in base alla superficie e all'uso del suolo (fig. 1).

Sono stati isolati cinque cluster di aziende rappresentative del territorio (tab. 1) per cia-



Figura 1. Localizzazione del Distretto 12 di Capitanata (fonte: Consorzio di Bonifica della Capitanata).

Figure 1. Capitanata District 12 localization (source: Consorzio di Bonifica della Capitanata).

Tabella 1. Caratteristiche dei Cluster nel Distretto 12 (fonte: nostre elaborazioni da dati del Consorzio di Bonifica della Capitanata).

Table 1. Disterct 12 Cluster characteristics (source: our elaboration from Consorzio di Bonifica della Capitanata data).

	Cluster				
	1	2	3	4	5
SAT media (ha)	8,9	8,3	11,2	4,1	220,8
SAT totale (ha)	561	1.686	8.218	608	221
% su SAT Distretto	5	15	73	5	2
Imprese	64	215	1001	177	1
% su imprese Distretto	4	15	69	12	0
Numero di settori	3	8	30	3	1
Imprese per settore	21	27	33	59	1
Caratterizzazione	granicole	pomodoricole, orticole	pomodoricole estensive	arboricole	pomodoricole specializzate

scuno dei quali si è proceduto ad individuare le aziende rappresentative su cui sono state condotte le simulazioni che poi, per un processo di aggregazione, hanno condotto ai risultati dell'intero Distretto.

La coltura prevalente è il grano duro che è coltivato laddove, pur essendoci sufficiente disponibilità di acqua, le caratteristiche pedoclimatiche non consentono di raggiungere alti redditi; al contrario la coltura irrigua determinante è il pomodoro da industria, mentre le altre orticole sono ostacolate da problemi di avversità o da stanchezza del terreno (fig. 2).

Nelle simulazioni è stato inserito, come coltura bio-energetica, il sorgo da biomassa e zucherino ipotizzando che, a seconda delle modalità, estensiva o intensiva, di coltivazione possa passare da livelli produttivi di 18t/ha a 25 t/ha. Si tratta di una coltura annuale con ciclo primaverile-estivo, coltivata in rotazione con il grano in sostituzione delle colture irrigue.

Come anticipato, il modello adottato per ciascuno dei 5 cluster di aziende che costituiscono il distretto è un modello di programmazione lineare (PL) che prevede la specificazione di alcune assunzioni: la massimizzazione del reddito lordo e una tecnologia lineare. Il modello può essere descritto come:

$$MaxRL_d = \sum_{j \in J} P_j \cdot q_j + \sum_{j \in I} aiu_j \cdot q_j - \sum_{j \in I} w_j \cdot q_j - \sum_{j \in I} c_{acq} \cdot q_j - w_{acq} - \sum_{j \in I} c_{lav} \cdot w_{lav} + pau$$

soggetto a<sup>1</sup>

$$\sum_{j \in I} a_{2j} \cdot q_{jacc} \leq b_{acq}$$

$$\sum_{j \in I} a_{2j} \cdot q_j \leq b_{fam} + b_{extra}$$

$$\sum_{j \in I} a_{3j} \cdot q_{jacc} \leq b_{acq}$$

$$\sum_{j \in I} e_{ji} \cdot q_j \leq 0$$

Con il modello descritto, implementato con il software di programmazione matematica GAMS (General Algebraic Modeling System), è stato possibile verificare il prezzo di ingresso del sorgo nell'ordinamento colturale alle attuali condizioni di mercato ed analizzare i diversi scenari possibili a seguito di modifiche del prezzo del grano.

I risultati ottenuti indicano una forte correlazione tra il prezzo con il quale il sorgo entra nella pianificazione aziendale e il prezzo di mercato del grano duro. In particolare, l'analisi evidenzia che il prezzo del contratto da stipulare per

<sup>1</sup> I termini hanno i seguenti significati:  $RL_d$  è il reddito lordo del distretto,  $J$  il set dei prodotti realizzati,  $I$  il set delle possibili attività,  $P_j$  è il vettore dei prezzi di mercato dei prodotti,  $Q_j$  è il vettore dei possibili prodotti realizzabili,  $aiu_j$  sono gli aiuti accoppiati,  $w_j$  i costi variabili per unità di prodotto,  $C_{acq}$  il consumo di acqua,  $W_{acq}$  il costo dell'acqua,  $C_{lav}$  l'impiego di lavoro,  $W_{lav}$  il costo del lavoro,  $pau$  il pagamento unico aziendale,  $a_{1j}$  il fabbisogno unitario terra,  $b_1$  la disponibilità del fattore terra,  $a_{2j}$  il fabbisogno unitario lavoro dell'azienda,  $b_{fam}$  la disponibilità di lavoro familiare,  $b_{extra}$  la disponibilità di lavoro avventizio,  $a_{3j}$  il vettore di fabbisogno unitario di acqua,  $q_{jacc}$  le produzioni irrigue,  $b_{acq}$  la disponibilità del fattore acqua, e  $e_{ji}$  il coefficiente di rotazione agronomica.

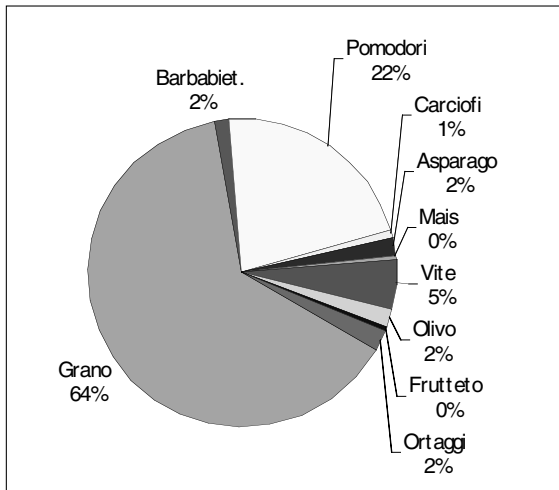


Figura 2. Ordinamento colturale del distretto 12 (fonte: Consorzio di Bonifica della Capitanata).

Figure 2. District 12 cropping system (source: Consorzio di Bonifica della Capitanata).

tonnellata di sorgo passa da un minimo di 50 € quando il prezzo del grano si aggira intorno ai 15 €/q.le e supera la somma di 70 € se il prezzo del grano raggiunge il valore di 40 € (fig. 3).

Inoltre, l'analisi evidenzia che un prezzo di acquisto della biomassa di 40-45 €/t non sarebbe congruo rispetto agli obiettivi massimizzanti degli imprenditori agricoli, neanche nel caso in

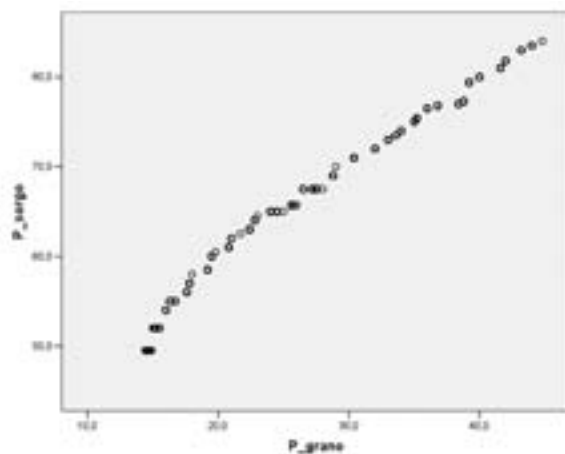


Figura 3. Relazione tra prezzo del sorgo e prezzo del grano (fonte: nostre simulazioni).

Figure 3. Sorghum-weath price relationship (source: our simulation).

cui il prezzo del grano si mantenesse a livelli inferiori ai 20 €/qle, ipotesi assai improbabile vista la crescente tendenza mostrata da questa coltura nell'ultimo biennio e che, stando alle recentissime stime pubblicate dalla FAO, sarebbe destinata ad ulteriori incrementi nel prezzo di vendita.

## 5. Conclusioni

Una forte integrazione a livello locale costituisce il presupposto per lo sviluppo di filiere bioenergetiche che, come è noto, risultano caratterizzate da bassa redditività del business ed alta incidenza dei costi di trasporto. Il vincolo maggiore a questo tipo di soluzione è rappresentato dalla richiesta di forti investimenti nella fase a valle di costruzione dell'impianto che necessita di garanzie nella fornitura di materia prima. Una possibile soluzione a questa criticità risiede nella definizione di contratti a lungo termine in grado di fidelizzare i fornitori impedendo il più possibile l'eventualità che questi possano assumere comportamenti opportunistici.

I risultati del presente lavoro sembrano indicare l'opportunità di fissare un prezzo di acquisto della materia prima che possa essere legato al prezzo del grano in quanto rappresenta la coltura alternativa più diffusa sul territorio e che più di ogni altra, in seguito al disaccoppiamento introdotto dalla riforma della PAC, soggiace ad oscillazioni repentine del prezzo di mercato.

Lo studio condotto ha quindi consentito di valutare la convenienza della coltivazione di biomasse per il settore agricolo. In particolare, dai risultati ottenuti emerge che il prezzo di 40 o 45 €/t previsto dall'impresa di produzione dell'energia nello specifico caso studio non risulterebbe adeguato ad incentivare gli agricoltori ad inserire la biomassa nella propria pianificazione neanche con un prezzo del grano molto basso. D'altro canto gli industriali, qualora il prezzo del grano si attestasse a circa 35 €/q, come prevedibile dal trend registrato negli ultimi anni, dovrebbero essere disposti a pagare agli imprenditori agricoli un prezzo superiore ai 70 €/t per assicurarsi la fornitura di materia prima.

È ovvio che tali risultati non offrono indicazioni circa la convenienza della parte industriale a pagare prezzi maggiori e pertanto non si possono ritenere esaustivi al fine di individuare l'adeguatezza per l'intera filiera.

Un secondo aspetto che sarebbe opportuno esplorare in ulteriori riflessioni sull'argomento può riguardare l'apporto di politiche tese a promuovere lo sviluppo della filiera. In particolare potrebbe essere utile considerare l'effetto di ulteriori premi accoppiati legati alla produzione di colture energetiche nonché l'implementazione delle potenzialità offerte dal Decreto legislativo 102/2005 in riferimento alla costituzione di Organizzazioni di Produttori (OP) e di Accordi di filiera.

## Bibliografia

- Aghion P., Bolton P. 1987. Contracts as a barrier to entry. *American Economic Review*, 77:388-401
- Akerlof G. 1970. The market for lemons: qualitative uncertainty and the market mechanism. *Quarterly Journal of Economics*, 84:488-500.
- Alchian A., Demsetz H. 1972. Production, information costs and economic organization. *The American Economic Review*, 62.
- Aron D. 1984. Ability, moral hazard, and firm diversification. I parte, Mimeo, Department of Economics, University of Chicago.
- Bain J. 1959. *Industrial organization*. Wiley, New York.
- Berle A. A., Means G.C. 1966. *Società per azioni e proprietà privata*. Einaudi, Torino.
- Blair R.D., Kaserman D.L. 1978. Vertical integration, tying and antitrust policy. *American Economic Review*, 68.
- Cafiero C. 2004. Ci si può fidare dei modelli matematici nelle analisi di politica agraria? *Politica Agricola Internazionale*, 1-2.
- Carlton D.W., Perloff J.M. 1997. *Organizzazione industriale*. McGraw-Hill, Milano.
- Caves R., Murphy W.F. 1976. Franchising: firms, markets and intangible assets. *Southern Economic Journal*, 42.
- Chiang A.A. 1984. *Fundamental methods of mathematical economics*. Third Edition. Mc Grow-Hill, Milano.
- Coase R.H. 1937. The nature of the firm. *Economica*, 4.
- Comanor W.S. 1967. Vertical mergers, market power and the anti-trust laws. *American Economic Review*, 57.
- Comanor W.S., Frech H.E. 1985. The competitive effects of vertical agreements. *American Economic Review*, 75.
- Cosentino V., De Benedictis M. 1976. Forme di conduzione ed equilibrio dell'impresa. *Rivista di Economia Agraria*, 2.
- Dixit A. 1983. Vertical integration in a monopolistically competitive industry. *International Journal of Industrial Organization*, 1:63-78.
- Grossman S., Hart O. 1986. The costs and benefits of ownership: a theory of vertical and lateral integration. *Journal of Political Economy*, 691-719.
- Hart O. 1988. Incomplete contracts and the theory of the firms. *Journal of Law, Economics and Organization*, spring.
- Hart O., Holmstrom B. 1987. The theory of contracts. In: Bewly T. (ed.): *Advances in Economic Theory*. Cambridge, Mass., Cambridge UP.
- Hazell P.B., Norton R.D. 1986. *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. Mc Millian Publishing Company, NY.
- Hermalin B. 1986. Adverse selection and contract length. Mimeo, Massachusetts Institute of Technology.
- Howitt R.E. 1992. Positive quadratic programming. Department of Agricultural Economics, University of California, Davis, CA.
- Jensen M., Meckling W. 1976. Theory of the firm: managerial behaviour, agency costs and capital structure. *Journal of Financial Economics*, 3.
- Joskow P. 1985. Vertical integration and long term contracts. *Journal of Law, Economics and Organization*, 1, 33-79.
- Joskow P. 1987. Contract duration and relationship-specific investments. *American Economic Review*, 77, 168-185.
- Klein B., Crawford R., Alchian A. 1978. Vertical integration appropriable rents and the competitive contracting process. *Journal of Law and Economics*, 297-326.
- McCarl B.A., Amland J. 1986. Validation of linear programming models. *Southern Journal of Agricultural Economics*, Dec.
- Milgrom P., Roberts J. 1994. *Economia, organizzazione e management*. Il Mulino-Prentice Hall, Bologna.
- Panattoni A., Campus F. 1974. *Economia dell'azienda agraria*. Unione Tipografica Editrice Torinese, Torino.
- Paris Q. 1991. *Programmazione lineare, un'interpretazione economica*. Il Mulino, Bologna.
- Perry M.K. 1989. Vertical integration: determinants and effects 2. In: Schmalensee R., Willig R.D. (eds.): *Handbook of industrial Organization*, Elsevier Publ., North Holland.
- Riordan M.H., Williamson O.E. 1985. Asset specificity and economic organization. *International Journal of Industrial Organization*, 3.
- Schmalensee R., Willig R.D. 1989. *Handbook of industrial Organization*. Elsevier Publ., North Holland.
- Spence M. 1973. Job Market Signaling. *Quarterly Journal of Economics*, 87:355-374.
- Stigler G.J. 1968. *The organization of Industry*, Chicago.
- Stiglitz J. 1977. Monopoly, Nonlinear Pricing, and Imperfect Information: The Insurance Market. *Review of Economic Studies*, 44:407-430.
- Tirole J. 1991. *Teoria dell'organizzazione industriale*. Hoepli, Milano.
- Townsend R. 1979. Optimal Contracts and Competitive Markets with Costly State Verification. *Journal of Economic Theory*, 21:265-293.

# Modelli produttivi agri-energetici: l'integrazione di filiera dalla scala aziendale a quella territoriale

Massimo Monteleone<sup>\*1</sup>, Salvatore Luciano Cosentino<sup>2</sup>,  
Giuseppe De Mastro<sup>3</sup>, Marco Mazzoncini<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze Agroambientali, Chimica e Difesa Vegetale, Università di Foggia  
Via Napoli 25, 71100 Foggia

<sup>2</sup>Dipartimento di Scienze Agronomiche, Agrochimiche e delle Produzioni Animali, Università di Catania  
Via Valdisavoja 5, 95123 Catania

<sup>3</sup>Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, Università di Bari  
Via Giovanni Amendola 165/A, 70126 Bari

<sup>4</sup>Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema, Università di Pisa  
Via San Michele degli Scalzi 2, 56124 Pisa

Società Italiana di Agronomia

---

## Riassunto

Si assiste oggi ad un generale consenso in merito alle agri-energie, sebbene crescenti siano le preoccupazioni in merito all'effettiva capacità da parte di queste nuove tecnologie di poter far fronte efficacemente ai problemi di ordine ambientale ed ecologico che il modello energetico convenzionale, prevalentemente incentrato sulle fonti di origine fossile, ha di fatto generato.

Aumentano incessantemente le richieste di energia su scala planetaria, in parte anche a seguito della crescita economica che contraddistingue i nuovi Paesi emergenti. La consapevolezza diffusa in merito alla ormai limitata disponibilità residua di risorse petrolifere ed alle negative conseguenze ambientali generate dal consumo di fonti fossili, determina l'assoluta ed improrogabile necessità di definire un nuovo "modello" energetico, incentrato sul risparmio energetico, l'efficienza nell'utilizzo dell'energia e sulle fonti rinnovabili. A questo proposito, le biomasse di origine agricola possono svolgere un ruolo importante per soddisfare tali requisiti e far fronte alle suddette esigenze. Lo sviluppo di efficienti filiere agri-energetiche necessita un'adeguata disponibilità di materie prime agricole (biomasse), un'ottima integrazione e coordinamento fra le differenti fasi produttive nonché la capacità di operare a costi sufficientemente competitivi rispetto alle fonti convenzionali. In realtà, è possibile identificare differenti tipologie di filiere agri-energetiche, le quali possono avere un'articolazione ed una diffusione territoriale più o meno ampia (filiera corta vs. filiera lunga); ciascuna di esse può manifestare sia caratteristiche positive che negative; in generale, però, la filiera corta è giudicata più favorevolmente nel quadro di un modello di sviluppo sostenibile, in quanto ritenuta più idonea ad uno sviluppo locale, auto-centrato, rispettoso delle risorse agro-ecologiche ed ambientali e più consona alla promozione di un modello di generazione energetica distribuito, localmente diffuso e non accentrato. In ogni caso, è assolutamente indispensabile procedere ad una rigorosa comparazione delle alternative energetiche a mezzo di procedure quali il *Life Cycle Assessment* (Valutazione del Ciclo di Vita) in grado di evidenziare le tipologie di generazione che risultano meno inquinanti rispetto ad una pluralità di categorie d'impatto.

*Parole chiave:* modelli produttivi agri-energetici; pianificazione agri-energetica; aspetti agro-ecologici ed ambientali.

## Summary

### AGRI-ENERGY CHAINS: FROM FIELD TO LAND PLANNING

A general consensus on bio-energy and renewable energetic sources is expressed by modern societies; at the same time, some concerns and uncertainties are related to the actual ecological and environmental standards that these new technologies are able to fulfill. The overall energy demand is permanently rising as the economic growth spread through new developing countries. The consciousness about the limited petroleum availability and the negative environmental consequences related to fossil fuels exploitation, inevitably calls for a new global energy model based

\* Autore corrispondente: tel.: +39 0881 589223; fax: +39 0881 589342. Indirizzo e-mail: m.monteleone@unifg.it

on a drastic improvement on energy use efficiency, energy savings and renewables. On this respect, biomass could play an important role to meet these new constraints and requirements.

The development of bio-energy needs a reliable biomass availability, a well organized and integrated chain-supply and reasonable costs of the biomass feedstock in order to be competitive with respect to conventional fossil-fuels. Different productive and distributive chain-supply can be depicted, at the large as well as at the local-scale; pros and cons can be identified for both, but locally produced bio-energy and “distributed” energy generation is mostly favored by general society and some stakeholders; it seems to better support landowners, rural economy and local market; at the same time, the environmental benefits seems to be higher. Rigorous evaluation procedures, such as “Life Cycle Assessment”, must be ordinarily implemented to proper compare such alternatives with each other and choose the one that fits better.

*Key-words:* agri-energy models, agri-energy land-planning, agro-ecological and environmental traits.

## 1. Introduzione

Il dibattito intorno alle fonti energetiche rinnovabili (FER) e, di conseguenza, riguardo all’impiego delle biomasse agricole ai fini energetici, si è progressivamente esteso, coinvolgendo ampi settori della pubblica opinione oltre che esponenti della politica, della ricerca scientifica e del trasferimento tecnologico, nonché le diverse categorie professionali e produttive direttamente coinvolte; si è assistito ad una progressiva crescita dell’interesse, di pari passo accompagnato da un’accentuazione dei toni polemici del confronto, frequentemente condizionato da una contesa (quasi “ideologica”) fra sostenitori e detrattori delle fonti energetiche “alternative”.

È però del tutto evidente che il *sistema energetico attuale*, per come esso si è determinato a scala mondiale nel corso della crescita economico-industriale del secolo scorso, mostra chiari ed evidenti segni di crisi; il *modello energetico di riferimento*, incentrato quasi esclusivamente su fonti non rinnovabili e ad elevato tasso d’inquinamento, nonché fondato sulla garanzia di un’offerta energetica crescente ed incondizionata, incapace di regolare la domanda d’energia in termini di qualità ed efficienza, necessita una drastica e radicale riformulazione.

Come da più parti evidenziato, l’ineluttabilità e l’urgenza della presente crisi energetica e la sua dimensione planetaria derivano da alcune specifiche condizioni che schematicamente si richiamano:

- le disponibilità petrolifere sono ormai in netta contrazione; analogo decorso contraddistingue anche le altre fonti di origine fossile, il gas naturale e, in un lasso di tempo più dilatato, anche il carbone;

- le conseguenze di un uso massiccio e crescente di combustibili fossili ha avviato un processo di alterazione climatica su scala planetaria (*global warming*) ormai inequivocabile e palese, a tal punto che occorre prontamente contrastarne e mitigarne l’azione, al fine di non incorrere in perturbazioni ancor più gravi e a carattere irreversibile;
- la sicurezza e l’autonomia energetica dell’Europa (e in particolare dell’Italia) sono gravemente minacciate a seguito di una condizione d’instabilità geopolitica che vede il manifestarsi delle più gravi tensioni internazionali o la recrudescenza di scenari di guerra aperta (non a caso) proprio nelle aree geografiche dove si localizzano gli ultimi, più consistenti giacimenti petroliferi.

Atteggiamenti preconcepiuti, che alternativamente identificano le FER come la “panacea” alla crisi energetica mondiale o, all’opposto, come l’ennesimo “imbroglio” o “sogno” ecologico, costituiscono delle mistificazioni semplificatrici che allontanano il momento, invece improrogabile, in cui adottare soluzioni concrete, tecnicamente efficienti, coerenti agli indirizzi sovranazionali definiti a scala globale od europea come pure risultanti da un processo di pianificazione e concertazione condotto a livello locale. Si tratta di definire *condizioni chiare e regole condivise* che possano consentire, a beneficio di tutta la comunità (locale, nazionale ed internazionale), di conseguire il massimo vantaggio in termini di disponibilità energetica senza tradire quei presupposti imprescindibili che tributano alle FER la qualifica di fonti di energia “pulita”, ossia ottenuta secondo criteri di sostenibilità ecologica, compatibilità ambientale ed equità sociale.

Il presente lavoro, quindi, intende procedere ad una riflessione sui caratteri ed i requisiti fondamentali che sono sottesi ad un modello energetico che preveda una significativa ma equilibrata contribuzione da parte delle fonti energetiche incentrate sull'impiego delle biomasse di origine agricola. La dimensione complessivamente esplorata dal presente lavoro è perciò di tipo sovra-aziendale; essa attiene ad una scala espressamente territoriale, coinvolgendo livelli d'ambito che oltre ad una dimensione tipicamente locale investono anche quella macro-geografica.

La proposta agri-energetica, nel quadro del carattere multifunzionale oggi attribuito all'attività agricola, prevede la produzione (nonché il consumo interno e/o la vendita) di energia da fonti rinnovabili come processo conclusivo di una filiera integrata agro-industriale che trova il suo imprescindibile punto di avvio nelle aziende agrarie, siano esse singole o consorziate.

## **2. Un'ampia gamma di possibilità energetiche**

Le biomasse, in funzione della loro natura e tipologia, possono consentire l'attivazione di numerose e diversificate filiere agri-energetiche; possibili classificazioni, ad esempio, si fondano in base alla composizione chimica (presenza di componenti ligno-cellulosici, zuccherino-amidacei oppure oleaginosi) ed alle caratteristiche fisiche della biomassa (potere calorifico, umidità, massa volumica, stato di confezionamento od addensamento, ecc.); sono inoltre numerose e variamente interrelate le vie tecnologiche per l'ottenimento di differenti qualità di combustibile (solido, liquido e gassoso) e le opportunità di utilizzare tali combustibili su di un vasto fronte d'impiego, per la realizzazione di un'ampia gamma di prodotti e/o servizi energetici: produzione di calore, di freddo, di elettricità, di energia motrice per le autovetture, ecc.

È proprio la spiccata duttilità e la molteplicità delle utilizzazioni delle biomasse ai fini della generazione energetica a costituire il fattore forse più rilevante a favore delle filiere agri-energetiche. Biomassa è "la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali ed animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile

dei rifiuti industriali ed urbani" (D.L. 29 dicembre 2003, n. 387). Da questa definizione si evince, inoltre, che quello delle coltivazioni agrarie non è l'unico settore produttivo potenzialmente coinvolto nell'impiego delle biomasse a scopo energetico; bensì le opportunità di generazione energetica sono estendibili sia al settore delle forestazione (quella "produttiva" finalizzata all'ottenimento di legno d'opera e da ardere e quella "conservativa" tesa alla corretta gestione del patrimonio boschivo) che al settore agro-industriale e, più in generale, a tutte quelle attività produttive che impiegano materiali di origine organica attraverso processi che non ne alterino o contaminino le caratteristiche proprie di bio-combustibile naturale; in particolare, occorre segnalare il potenziale e proficuo innesto di finalità energetiche anche nell'ambito del settore del trattamento e smaltimento dei rifiuti solidi urbani (RSU) e la possibilità che, limitatamente alla sua frazione organica opportunamente differenziata (FORSU), possano attivarsi processi di valorizzazione energetica come ultimo anello di una catena tesa in primo luogo al riciclo ed al reimpiego produttivo dei materiali conferiti (D.L. 5 febbraio 1997, n. 22, anche denominato "decreto Ronchi").

## **3. La struttura delle filiere agri-energetiche**

In linea del tutto generale, una filiera produttiva destinata alla generazione energetica a partire dalle biomasse agricole può essere intesa come articolata in tre fasi essenziali: 1) la fase di coltivazione e/o di raccolta delle biomasse (a seconda che trattasi di colture dedicate o biomasse residuali), operazione che risulta spazialmente distribuita e la cui materia prima evidenzia una "concentrazione" (massa per unità di superficie) variabile a seconda della tipologia e della produttività delle colture coinvolte; 2) la fase di trasporto e concentrazione spaziale della materia prima presso il centro di stoccaggio, includendovi l'eventuale condizionamento della biomassa, fino al momento del suo trasferimento al centro di utilizzazione, presso lo stabilimento industriale; 3) la successiva fase di conversione della biomassa in un prodotto energetico (combustibile, energia elettrica, energia termica), direttamente impiegabile od eventualmente soggetto ad ulteriore trasferimento, at-

traverso una rete distributiva, fino all'utente finale. Ciascuna di queste fasi richiede un particolare consumo energetico, diretto od indiretto che sia, più o meno rilevante in rapporto all'ammontare complessivo dei fattori produttivi immessi nel processo di filiera; inoltre, si viene a determinare la disponibilità di residui, scarti o sottoprodotti il cui contenuto energetico è complementare a quello del prodotto principale; inevitabile, infine, il rilascio di emissioni o reflui aventi un possibile effetto inquinante (alterazione degli standard qualitativi di comparti ambientale quali aria, acque ed atmosfera).

Il calcolo dettagliato e sequenziale di tutte le qualità e quantità di materiali, composti e sostanze rispettivamente in ingresso ed in uscita dal processo trasformativo di filiera (procedura d'inventario ambientale) costituisce l'operazione preliminare al fine di valutare l'impatto ambientale esercitato dal processo medesimo e di determinarne alcuni indici di prestazione ambientale secondo la metodologia *Life Cycle Assessment* (LCA).

L'ottimizzazione del processo di filiera e l'efficiente integrazione dei suoi differenti segmenti, mediante aggiustamenti e calibrazioni tecnologiche, debbono consentire di mitigare al massimo il possibile impatto ambientale, migliorando le prestazioni ambientali del processo e, allo stesso tempo, di abbattere i costi di produzione nonché d'incrementare i margini di guadagno da parte di tutti gli imprenditori coinvolti nella filiera.

Il modello organizzativo in cui si struttura la filiera agri-energetica assume un particolare significato in riferimento al ruolo che l'imprenditore agricolo esplica nel suo seno. Con specifico riferimento a tale criterio, quindi, la *filiera lunga* è quella in cui gli imprenditori agricoli producono le colture energetiche che altre imprese acquisiscono, trasformano e convertono in energia o carburante. La filiera, quindi, appare segmentata e parcellizzata in una serie sequenziale di processi e passaggi, in alcuni casi numerosi, ciascuno dei quali si appropria di una frazione del valore aggiunto complessivamente conseguito a compenso del processo produttivo svolto o dell'apporto di servizi immessi nella filiera medesima. La tipologia diametralmente opposta alla precedente è quella rappresentata dalla cosiddetta *filiera corta* che si contraddistingue per una sostanziale identità fra produt-

tore ed utilizzatore finale delle agro-energie; in altri termini, l'imprenditore agricolo impegnato nella produzione di materia prima combustibile realizza egli stesso gli impianti destinati alla conversione energetica delle biomasse, in stretta relazione a quelle che sono le sue dirette esigenze di auto-consumo energetico. In caso di produzione eccedentaria rispetto alle richieste strettamente necessarie, è possibile prefigurare l'opportunità di vendere l'energia prodotta attraverso le modalità oggi offerte dal mercato liberalizzato dell'energia.

Si parla d'*integrazione di filiera* allorché, sebbene gli imprenditori agricoli non trasformino direttamente la biomassa in energia per destinarla alla vendita, essi comunque partecipano agli utili della filiera. Questa condizione, che permane nell'alveo della cosiddetta filiera lunga può determinarsi a seguito di accordi o contratti di filiera. In particolare, occorre segnalare il D.L. 27 maggio 2005, n. 102 inerente la "Regolazione dei mercati agro-alimentari", all'articolo 10 si introduce il concetto d'*intesa di filiera* ed all'articolo 11, invece, si definisce il concetto di *contratto quadro*.

#### 4. Le "polarità" del settore agri-energetico

Il settore agri-energetico si qualifica per una serie di polarità o contrapposizioni di tipo dualistico sulle quali occorrerebbe svolgere opportune riflessioni. Una prima polarità è quella che sussiste fra disponibilità locale di biomasse (evidentemente contenuta entro definiti limiti territoriali) e potenzialità di una loro ampia acquisizione sul mercato internazionale; una seconda polarità è quella, di cui si è detto, fra "filiera corta", finalizzata al prioritario soddisfacimento di una domanda interna di energia, e "filiera lunga", in prevalenza proiettata a rifornire i mercati internazionali a loro volta controllati da società a carattere multinazionale; un'ulteriore polarità è quella che si realizza fra un modello agri-energetico finalizzato all'inclusione produttiva delle aree agricole a progressiva marginalizzazione e quello orientato ad una conversione e sfruttamento intensivo delle aree già destinate a produzioni alimentari, che a sua volta aggrava il conflitto fra agricoltura "food" e "non food"; all'interno della filiera agri-energetica, inoltre, è del tutto evidente il rapporto



dialettico che si instaura fra la componente associata al settore agricolo (produzione della materia prima) e quella connessa al settore industriale (conversione e generazione energetica).

Tutte le polarità precedentemente individuate sono però riconducibili od assimilabili a due differenti “visioni” territoriali, quella di una produzione centralizzata dell’energia e quella, all’opposto, di una generazione distribuita e territorialmente diffusa.

#### 4.1 Il dualismo fra la filiera “lunga” e quella “corta”

In termini del tutto concettuali la differenza fra catena “lunga” e “corta” si concretizza solo in relazione al numero degli operatori di filiera che vi prendono parte e sull’articolazione produttiva più o meno complessa della filiera medesima. Spesso, però, a tale concetto se ne associa un altro, ossia quello relativo all’estensione spaziale della filiera ed al suo sviluppo geografico più o meno ampio; le catene lunghe, quindi, possono contraddistinguere (sebbene non necessariamente) filiere produttive che coinvolgono scambi commerciali fra operatori fisicamente assai distanti fra loro, per cui si rendono necessari trasporti anche di lungo tratto in modo da consentire il conferimento delle materia prima dal luogo di produzione al luogo di conversione energetica, per poi procedere alla distribuzione in senso contrario dell’energia così ottenuta, dal luogo di generazione ai punti di utilizzazione. È del tutto evidente che questo modello energetico, pur economicamente valido in considerazione dei livelli di prezzo concorrenziali che vigono sullo scenario internazionale di mercato, costringe a notevoli perdite d’efficienza (una quota parte dell’energia prodotta è persa nei processi di trasferimento e distribuzione), ciò che determina impatti ambientali (non solo mancato risparmio di energia fossile ma anche emissioni di CO<sub>2</sub> e di gas clima-alteranti) ed una forte limitazione della valenza ambientale a cui pure questa attività costantemente si richiama. Da qui la necessità di inserire nella contabilità complessiva delle filiere agro-energetiche anche il bilancio dell’energia, quello delle emissioni nonché l’inventario e la conseguente stima degli impatti che possono essere esercitati sui comparti ambientali quali suolo, acqua ed atmosfera attraverso l’esecuzione di un’accurata “analisi del ciclo di vita” dei bio-combustibili e, più in

generale, dell’energia ottenuta attraverso fonti rinnovabili.

Le differenze fra questi due modelli contrapposti di generazione dell’energia da fonti rinnovabili chiamano in causa anche le notevoli differenze rispetto al modello complessivo che su scala territoriale attiene all’impiego dell’energia. Infatti, necessariamente la “filiera corta”, nel suo stesso esplicitarsi, determina una stretta e prossimale associazione fra produzione ed uso d’energia, ciò che soddisfa pienamente i criteri di un modello “distribuito”, ossia territorialmente diffuso, a carattere di “rete”, in grado di contraddistinguersi per un numero tendenzialmente elevato di piccoli impianti, aventi cioè una taglia di potenza relativamente modesta, ma ciò nonostante in grado di servire efficacemente una pluralità di utenze le quali, in tal modo, si svincolano sempre più dalla dipendenza da parte di una rete distributiva unica a rifornimento centralizzato.

Tale dimensione “locale” della generazione in piccola scala ha anche un’altra essenziale conseguenza: la necessità di vincolare strettamente ed inflessibilmente le possibilità di generazione energetica alle effettive disponibilità di biomasse presenti sul territorio di riferimento; ciò induce e sollecita nel “porre a sistema”, col massimo dell’efficienza, ogni possibile ed idonea materia prima (di scarto, residuale o prodotta *ad hoc*) che possa fungere da bio-combustibile, in modo da alimentare impianti spesso di differente tipologia, quindi con differenti esigenze di approvvigionamento, condizione questa che massimizza le possibilità d’impiego dei materiali medesimi. Questo carattere di “duttilità” della micro-generazione distribuita costituisce un ulteriore fattore di notevole rilevanza a cui andrebbe attribuita attenzione maggiore.

Una “filiera lunga” è in grado di sostenere ed attutire i costi connessi alle diverse fasi di trasformazione che hanno luogo nel corso della catena produttiva (ciascuna fase essendo espletata da differenti operatori) solo ed unicamente attraverso un cospicuo aumento della materia prima lavorata e dell’energia complessivamente prodotta (ossia: a fronte di un ricavo unitario assai modesto è necessario un fatturato assai cospicuo per pervenire a livelli di guadagno complessivo giudicati adeguati). Quindi, il volume o la dimensione dell’attività produttiva, che in certi casi può condurre al gigantismo

impiantistico, è dettato dalla necessità di doverci sistematicamente confrontare (e conformare) ad uno scenario internazionale dove il prezzo della materia prima come quello dell'energia è condizionato da quei soggetti imprenditoriali fortemente competitivi che, pertanto, sono in grado di formulare prezzi tendenzialmente ridotti, difficilmente remunerativi in relazione ad un mercato di tipo locale; ciò costringe ad un incremento notevole delle quantità scambiate e ad un'apertura (od "allungamento") della filiera per instaurare rapporti di scambio con i fornitori che possono offrire condizioni più convenienti di acquisto della materia prima.

#### 4.2 Conflitto fra agricoltura "food" e "non-food"

Uno scenario fortemente globalizzato (come quello precedentemente descritto) accentua però il rischio che, in ambito internazionale, si determinino condizioni di forte squilibrio, sfruttamento, povertà, degrado ambientale, a carico dei paesi economicamente più deboli, così come appare ormai evidente in base a numerosi ed allarmanti rapporti di organismi sovranazionali (FAO, 2007; UN, 2007; GRAIN, 2007; Worldwatch Inst., 2007; CEO, 2007; Nyberg e Raney, 2006).

La recrudescenza di fenomeni socio-economici quali carestia e fame, a seguito dell'aumento dei prezzi dei prodotti cerealicoli, base alimentare delle popolazioni povere del mondo, in prevalenza dovuti alla destinazione energetica e non più alimentare assegnata alle produzioni agricole, nonché alla riduzione delle superfici destinate a coltivazioni alimentari per destinarle alla produzione di biocarburanti, è manifestazione evidente di questi ultimi anni.

La "catena corta" si sottrae, almeno in teoria, ad ogni confronto competitivo rispetto al prezzo della materia prima e concentra gli sforzi produttivi non tanto su di un prodotto destinato alla vendita quanto su di un bene destinato al consumo diretto; conseguentemente, tale filiera può dimostrarsi economicamente conveniente allorché si paragoni il prezzo unitario dell'energia acquisita sul mercato esterno con il costo derivante dal processo interno all'azienda od al consorzio di aziende; se il secondo è inferiore al primo la filiera ha ragione di esistere e contribuisce positivamente al bilancio aziendale in ragione dei mancati costi che essa determina (ossia i costi che non occorre più soste-

tere in quanto soddisfatti al proprio interno).

Un dibattito particolarmente acceso, che è andato crescendo in intensità in questi ultimi anni, è quello relativo alla conflittualità che si verrebbe a generare fra destinazione alimentare e non alimentare delle produzioni ottenute dai suoli agrari ed il rischio che ciò implicherebbe con riguardo alla sovranità/sicurezza alimentare delle popolazioni, specie quelle più povere (Dufey, 2007; Schmidhuber, 2007; UN, 2007; OECD-FAO, 2007). La possibilità di indirizzare alcune colture agrarie di larga coltivazione mondiale (soia, mais, canna da zucchero, ecc.) secondo plurime destinazioni d'uso (alimentazione umana, mangimistica animale o produzione di bio-carburanti) determina una forte dinamicità di mercato; è peraltro evidente che, in regime di apprezzamento dell'energia, si assista ad una tendenziale, privilegiata destinazione energetica di queste produzioni agricole. La suddetta condizione determina un aumento dei prezzi cerealicoli, una rarefazione delle scorte alimentari ed ingenera uno stato diffuso di crisi alimentare.

È però importante evidenziare che il problema, nelle sue cause più profonde, non è prioritariamente determinato dall'espansione delle bio-energie, quanto da un mercato agro-alimentare completamente globalizzato, liberalizzato e concorrenziale (Colombo, 2002). Specie nei paesi più poveri, questa condizione ha di fatto annichilito il settore agricolo di piccola scala, destinato alla produzione di alimento primario per la popolazione locale residente, stimolando invece l'estensione di coltivazioni indirizzate alle produzioni per l'*export*, in nome di un presunto vantaggio "comparato" (in ragione del quale sarebbe preferibile restringere la gamma produttiva alle più remunerative colture da esportazione e con il ricavato acquisire le risorse alimentari primarie). L'attività agricola rivolta al mercato globale necessita di grandi estensioni di territorio e si intensifica in termini di capitali e tecnologie impiegati, favorendo la concentrazione di terre e risorse, così colpendo la popolazione rurale che rischia l'estromissione completa dal circuito economico. A ciò si aggiunga la sistematica azione di *dumping* esercitata sul prezzo delle *commodities* alimentari da parte di Stati Uniti ed Europa, anche in concorrenza fra loro, che ha fortemente condizionato la capacità competitiva dei Paesi in via di

sviluppo. Lo scenario si complica ulteriormente oggi, allorché Paesi in rapida espansione economica (e demografica) accedono a consumi fino a poco tempo fa notevolmente ristretti.

### **5. Valenza agro-ecologica dell'energia da biomasse**

Allorché la discussione riguardo le bio-energie e le filiere agri-energetiche si incentri esclusivamente sulla necessità di fronteggiare il progressivo aumento del prezzo del greggio e la crescente scarsità nelle disponibilità mondiali di fonti energetiche di origine fossile, si rischia di assegnare ad esse solo ed unicamente un ruolo di bene "integrativo" o "sostitutivo", senza cogliere la pluralità degli altri fondamentali aspetti che sono strettamente associati all'impiego di energia da fonti rinnovabili. In altri termini, le bio-energie non debbono essere meramente interpretate come una fonte addizionale di energia al fine di sostenere i crescenti consumi mondiali. Tali nuove forme di produzione energetica, invece, per la natura delle risorse utilizzate, per il forte legame che esse determinano a livello territoriale, per la valenza ecologica che possono esprimere, per il modello di produzione e consumo di energia che esse veicolano, costituiscono un tassello prezioso per un progressivo superamento del sistema energetico attualmente dominante, essenzialmente contraddistinto da ridotta efficienza e centralizzazione produttiva.

Le colture a destinazione energetica sono finalizzate a soddisfare esigenze in parte differenti rispetto alle convenzionali colture alimentari. Esse, infatti, debbono in primo luogo essere ottimizzate con riguardo al contenuto energetico che le caratterizza piuttosto che alla produzione alimentare. La gamma di colture potenzialmente impiegabili è comunque assai ampia e comprende le stesse colture a destinazione alimentare o foraggera, delle quali semplicemente viene ad essere modificata la destinazione del prodotto (nonché alcune tecniche agronomiche di coltivazione che ne esaltino tale prerogativa), così come colture erbacee poliennali (abituamente non inserite nei nostri sistemi colturali) o colture arboree a ciclo breve e rapida ceduzione (la cosiddetta "short rotation forestry") od ancora sistemi foraggieri a doppio ciclo di coltivazione annuo.

Occorre pertanto identificare un certo numero di criteri ambientali ed ecologici in grado di interpretare differenti tipologie di pressione od impatto esercitato sull'ambiente (Palchetti e Vazzana, 2006; Campiglia et al., 2006; Mughini et al., 2006); questi impatti potrebbero derivare, almeno in termini potenziali, da un'incontrollata od inappropriata diffusione di tali colture da energia su ampie superfici agrarie precedentemente a differente utilizzazione. In senso diametralmente opposto, è anche utile sottolineare, lì dove presenti e ritenuti di una certa rilevanza, i vantaggi ambientali connessi ad un'oculata scelta delle colture da energia e l'opportunità che un loro adeguato inserimento aziendale possa apportare sensibili miglioramenti ambientali e condurre ad un'utilizzazione più equilibrata delle risorse agro-ecologiche (acqua, suolo, diversità biologica, ecc.) del territorio.

Le odierne pratiche agronomiche, in rapporto al contesto ambientale in cui sono applicate ed alle modalità della loro realizzazione, possono esercitare un effetto che può ritenersi negativo, in alcune circostanze, e positivo in altre. Per questa ragione è di assoluta importanza che ogni processo produttivo agrario finalizzato all'incremento della disponibilità bioenergetica del territorio punti, contestualmente, a non esacerbare i delicati rapporti con l'ambiente e gli equilibri ecologici ad esso connessi.

Sono da temere, in particolare, spinte produttivistiche esasperate che conducano ad una ulteriore intensificazione dei processi produttivi agrari su superfici sempre più vaste, in grado di determinare una profonda modificazione del contesto rurale. Tale tendenza, se generalizzata, potrebbe produrre una radicale riconversione delle superfici agrarie ed un progressivo passaggio da forme di utilizzazione estensiva, spesso esercitate su aree ad elevato valore naturalistico, a forme più intensive di sfruttamento dei suoli. Costituiscono una grave minaccia tutte quelle riconversioni che implicano il passaggio da un regime "sodivo" ad un regime "arativo" del suolo ed in particolare il dissodamento di praterie permanenti la cui composizione floristica assume un significato naturalistico di assoluta rilevanza. Analoga preoccupazione può derivare da un incontrollato inserimento di specie alloctone in contesti ambientali particolarmente delicati e vulnerabili, così come la scelta di una gamma di colture da energia complessivamente non adeguata al contesto ambientale di

riferimento. Più nel dettaglio, è possibile individuare alcuni comparti ambientali (suoli, acque, componente biologica nel suo insieme, ecc.) oggetto di potenziale minaccia, così come alcuni processi strettamente connessi alla gestione agricola che possono indurre fenomeni di degrado o di alterazione più o meno profonda a carico degli standard di qualità ambientale (WWF, 2006; RIRDC, 2005; EEA-JRC, 2006; EEA, 2006; LUC, 2007). Fra i processi ritenuti di preminente rilevanza riconosciamo: erosione e compattazione dei suoli, lisciviazione dei nutrienti, deriva e dispersione dei pesticidi, sovrasfruttamento delle falde idriche, rarefazione dell'agrodiversità e della biodiversità.

Una spinta specializzazione colturale induce processi d'intensificazione che, in generale, accentuano gli effetti di degrado ambientale (inquinamento) ed intensificano i fenomeni di dissesto idro-geologico. In conseguenza di una drastica semplificazione dei sistemi aziendali di coltivazione si determina una condizione di ridotta diversità delle specie coltivate; ciò si associa ad una progressiva rarefazione di habitat naturali o semi-naturali e delle specie selvatiche che trovano negli ambienti coltivati le condizioni ideali d'insediamento, più di tutto nell'ambito di quei coltivi a carattere estensivo, quali prati permanenti, foraggiere poliennali, nonché strutture ed elementi di diversificazione paesaggistica come siepi, filari, alberate, sistemi macchia-radura, ecc. Questo fenomeno di rarefazione ecologica determina anche una semplificazione di tipo paesaggistico che risulta strettamente associata ad una progressiva limitazione funzionale dei processi ecologici e ad un depauperamento della flora e della fauna associata agli ambienti agricoli tradizionali. Di contro, un aumento della diversificazione colturale e l'introduzione di nuovi elementi strutturali di diversificazione paesaggistica può costituire un fattore benefico per la biodiversità, particolarmente in sistemi agricoli intensivi. Una maggiore varietà della copertura vegetale, infatti, può favorire il realizzarsi di una pluralità di habitat idonei a specie appartenenti a diversi *taxa*. Alcune colture a destinazione energetica (in particolare le specie pluriennali e quelle arboree a rapida ceduzione) possono contribuire significativamente alla diversificazione del paesaggio e degli habitat ed alla salvaguardia ambientale (Bonari et al., 2004).

## 6. Valutazione ambientale delle agri-energie attraverso il Life Cycle Assessment

Numerosi sono gli aspetti ambientali che le bioenergie debbono soddisfare affinché possa essere attivamente promosso il loro utilizzo e dunque incentivata la loro produzione. In primo luogo, l'impiego delle biomasse presupporrebbe una completa "neutralità carbonica", ossia un perfetto bilanciamento fra le emissioni di gas-serra conseguenti alla combustione delle biomasse e l'anidride carbonica assimilata con la fotosintesi durante la crescita vegetale. Questa presunta "neutralità" non può dirsi rispettata allorché tali bio-energie siano prodotte facendo largo impiego di input energetici di origine fossile (fertilizzanti, macchine agricole, trasporto, energia spesa nel processo di condizionamento e conversione, ecc.).

Ne consegue che il grado di "sostenibilità" di ciascuna delle differenti forme di bio-energia può essere convenientemente stabilito solo facendo ricorso ad una puntuale e minuziosa determinazione del "ciclo di vita" del prodotto energetico ottenuto (procedura LCA, Life Cycle Assessment), ossia riferendosi ad un'analisi condotta sull'intera filiera produttiva e sui modi d'impiego dell'energia così generata (Gasol et al., 2007; Cosentino et al., 2006; IFEU, 2000; Kaltschmitt et al., 1997; Heller et al., 2003; Hanegraaf et al., 1998).

In termini del tutto generali, ma assai indicativi, si suole riconoscere un'effettiva valenza ambientale alle bio-energie, ossia una reale efficacia nel mitigare l'effetto serra, nel caso in cui l'energia generata dai bio-combustibili sia significativamente superiore rispetto a quella spesa per ottenerli. Ciò implica che il rapporto energetico fra energia prodotta ed energia spesa durante il processo (*energy ratio*) debba essere il più possibile elevato (comunque superiore all'unità). Con riferimento alla benzina ed al diesel di origine fossile, il rapporto energetico è compreso, in genere, fra 0,7 e 0,9; nel caso del bio-etanolo (quello ottenuto dal mais), invece, tale rapporto si aggira intorno ad 1,3 e sale significativamente a 3-4 nei riguardi del bio-diesel; netta è dunque la superiorità ambientale del bio-diesel (ottenuto da soia) rispetto al bio-etanolo (ottenuto da mais), come confermato, fra gli altri, anche da Hill et al. (2006). La produzione di bio-etanolo a partire da compo-

menti cellulosiche (bio-etanolo detto di “seconda generazione”) consente di conseguire un netto miglioramento dell’efficienza energetica, pervenendo a dei rapporti energetici pari a circa 10 (Wald, 2007; Wyman, 2007); valori simili od ancora più elevati si ottengono dall’impiego di biomasse ligno-cellulosiche nel processo di combustione, fino a valori intorno a 20 nel caso di utilizzazione del legname da esbosco (Titius, 2007; Wald, 2007).

Se, pertanto, la capacità di ridurre le emissioni clima-alteranti venisse riconosciuta come uno dei criteri essenziali di vantaggio delle fonti rinnovabili rispetto a quelle fossili, ne conseguirebbe che, fra le differenti possibilità di generazione energetica a partire dalle biomasse, priorità assoluta dovrebbe essere assegnata a quelle forme o tecnologie di generazione che fossero in grado di contribuire maggiormente a tale riduzione e che siano, quindi, le più efficienti da questo punto di vista. Tale aspetto di valutazione comparativa dell’efficienza ascrivibile a ciascuna tecnologia di conversione energetica è talmente rilevante da suggerire l’ipotesi che gli incentivi alle bio-energie debbano essere strettamente commisurati a questo importante parametro. Solo l’instaurarsi di un tale meccanismo competitivo, incentrato nello stabilire un costo emissivo crescente per ogni unità di CO<sub>2</sub>-equivalente rilasciata in atmosfera, può costituire la premessa per conseguire risultati significativi e celeri. A tal fine, pertanto, occorre:

Operare il calcolo del bilancio energetico e dei gas serra complessivamente emessi in atmosfera a fronte di quelli evitati con riferimento al complesso della filiera bio-energetica; sulla scorta di tali risultanze, prediligere processi e tecnologie che possano conseguire il maggior rapporto di sostituzione dei combustibili fossili ed il massimo ritorno in termini di contenimento dell’effetto serra;

Eseguire una valutazione integrale delle filiere con riferimento ad una pluralità di categorie d’impatto ambientale, secondo i canoni della procedura Life Cycle Assessment; a tal riguardo, rilevanza assumono specifiche categorie d’impatto che attengono, ad esempio, ai processi di eutrofizzazione, acidificazione, rarefazione della fascia troposferica di ozono, eco-tossicità e tossicità nei riguardi dell’uomo; anche in questo caso, in rapporto alla ponderazione che si vorrà attribuire a ciascuna categoria d’impatto,

si rende possibile procedere alla selezione delle tecnologie bio-energetiche che, in termini comparativi, si ritengono meno dannose all’ambiente ed alla salute dell’uomo.

### 6.1 Il dilemma dei bio-carburanti

Con riferimento al settore dei trasporti, particolare enfasi viene assegnata all’opportunità d’impiego delle biomasse agricole per la produzione di bio-carburanti (liquidi), in grado di sostituire (oppure più semplicemente miscelarsi secondo proporzioni variabili) a quelli di origine fossile. In Italia, il 31% dei consumi energetici complessivi è ascrivibile al settore dei trasporti e, di questi, il trasporto su strada ne assorbe circa il 95% (ENEA, 2007).

Il bio-etanolo è il bio-carburante più diffuso ed assomma a circa il 94% del totale su scala mondiale. Circa il 60% deriva dalla canna da zucchero ed il rimanente 40% da altre colture (mais in primo luogo). Il Brasile, come è noto, realizza le esportazioni più consistenti, detenendo circa la metà del rifornimento mondiale. Sullo scenario economico internazionale il bio-etanolo prodotto in Brasile risulta assai più competitivo rispetto a quello statunitense, così come quest’ultimo rispetto a quello europeo (OECD, 2005). Particolarmente riguardo all’efficienza energetica ed al grado di sostituzione dei combustibili fossili, il confronto è impari (almeno allo stato attuale delle condizioni).

Diversamente, il biodiesel trova in Europa l’area più importante di produzione e consumo; a fronte, però, di una elevata capacità industriale di trasformare gli oli in biodiesel, sussiste il limite di una modesta produzione di materia prima (a partire da semi oleaginosi o proteo-oleaginosi) che non può incidere significativamente rispetto ai consumi di carburante registrati sul territorio europeo, anche ipotizzando conversioni agro-energetiche su estese superfici a seminativo oggi diversamente coltivate. Ciò espone, inevitabilmente, alla necessità di procedere all’importazione di oli acquisiti sul mercato internazionale, particolarmente quelli di origine tropicale e sub-tropicale. Il mercato degli oli e delle materie grasse è, infatti, in rapidissima espansione e la domanda complessiva per queste materie prime aumenta significativamente (Schmidhuber, 2007). Questa condizione genera, a sua volta, una notevole espansione delle superfici coltivate, ad esempio, a soia o

quelle investite a piantagioni di palma o di jatropha; ciò suscita serie preoccupazioni dal punto di vista ecologico in conseguenza di una generale intensificazione dei metodi produttivi, degli interventi di disboscamento realizzati per far spazio alle coltivazioni, della conversione di superfici agricole destinate a coltivazioni alimentari a colture energetiche. Ne consegue che la crescita progressiva del mercato internazionale del biodiesel dovrebbe suggerire un atteggiamento assai prudente e valutazioni critiche in merito ai suddetti aspetti cruciali della filiera.

Nello specifico, occorrerebbe considerare che i bio-carburanti ottenuti da processi intensivi di coltivazione evidenziano un'efficienza energetica assai ridotta e, di conseguenza, potrebbero essere considerati un prodotto sostitutivo dei carburanti fossili solo temporaneamente, ossia nell'arco di tempo necessario a conseguire nuove e più evolute soluzioni tecnologiche (miglioramenti della produttività e passaggio ai biocombustibili di seconda generazione). In particolare, vi è l'indicazione (analizzando le risultanze di numerosi studi LCA) che la produzione di bioetanolo e di biodiesel possa determinare un rapporto quasi paritario (in alcuni casi inferiore, in altri di poco superiore all'unità) fra energia guadagnata ed energia spesa (Pimentel, 2003; Pimentel e Patzek, 2005; Farrell, 2006; Hill, 2006). Il bilancio della CO<sub>2</sub> verrebbe ulteriormente aggravato in considerazione che lo stock di carbonio "sequestrato" (ossia trattenuto) dal suolo, in forma di sostanza organica, è progressivamente rilasciato in atmosfera in conseguenza di uno sfruttamento intensivo della fertilità del terreno agrario. Particolarmente preoccupante, con riferimento all'effetto serra ed alla riduzione dell'ozono stratosferico, è il rilascio di N<sub>2</sub>O dai suoli agrari come conseguenza degli apporti fertilizzanti a base di azoto; secondo alcuni autori (Crutzen et al., 2007), l'intensificazione colturale finalizzata all'esaltazione dei livelli produttivi delle colture da cui derivare i bio-carburanti condurrebbe ad effetti del tutto controproducenti in termini di azione clima-alterante.

Una particolare possibilità d'impiego degli oli è quella di utilizzarli tal quali invece che indirizzarli verso il processo di transesterificazione (necessario per la conversione in biodiesel); ciò implica un'opportuna ma lieve modifica di alcune caratteristiche costruttive del motore.

L'assenza di un ulteriore ed aggiuntivo processo industriale migliora sensibilmente il bilancio ambientale della filiera. Pertanto, questa tipologia di soluzione manifesta buone potenzialità di riuscita (sia economica che ambientale), ancora una volta, nell'ambito di filiere corte, realizzate attraverso una stretta integrazione agro-energetica, avendo definito un bacino d'impiego su scala strettamente locale (autoconsumo aziendale per le trattrici agricole, approvvigionamento di piccole flotte di autobus a scala cittadina, elettrificazione rurale a mezzo di generatori, ecc.).

Non bisogna inoltre sottovalutare la dimensione progressivamente crescente che assume l'impiego diretto degli oli come combustibile per la generazione elettrica. Ciò costituisce un fattore ulteriore di notevole perplessità in quanto, in aggravio alla ridotta efficienza energetica evidenziata dalla filiera del biodiesel, in parte giustificabile con la necessità di ottenere un prodotto espressamente finalizzato all'autotrazione, in quest'ultimo caso la finalità del processo di conversione è invece quella di ottenere un prodotto energetico (elettricità) che viene più convenientemente conseguito attraverso l'impiego di altre tecnologie incentrate su fonti rinnovabili.

Nonostante i limiti manifestati dai bio-carburanti, pressante è la necessità di fornire una soluzione che possa alleviare la notevole incidenza energetica oggi attribuita al traffico veicolare (trasporti urbani ed extra-urbani, mobilità di persone e merci). Probabilmente per il futuro si potrebbero prospettare soluzioni radicalmente differenti rispetto a quelle oggi dominanti, le quali facciano appello a nuove tipologie di vettori energetici (per esempio l'impiego di celle a combustibile incentrate sulla tecnologia dell'idrogeno); tutto ciò, è evidente, mette radicalmente in discussione l'assetto odierno del mercato automobilistico (Rifkin, 2002).

## 6.2 Calore ed elettricità

Con riferimento ad un orizzonte temporale di breve e medio periodo, le forme di generazione d'energia da biomasse che meglio soddisfano i requisiti d'efficienza nonché quelli a carattere ambientale sono quelle incentrate sulla produzione di calore ed elettricità ottenuti dalla combustione di biomasse ligno-cellulosiche o da biogas; da queste tecnologie, infatti, si conseguono i risultati più incoraggianti in termini di sostituzione di energia fossile e riduzione del-

le emissioni clima-alteranti. Dalle molteplici valutazioni LCA eseguite, risulta comunque confermato lo svantaggio generale dei bio-combustibili rispetto agli omologhi fossili nei riguardi di alcune categorie d'impatto (acidificazione dell'atmosfera, eutrofizzazione delle acque, rarefazione dell'ozono stratosferico). Come, ad esempio, affermato da Cosentino (2006); ciò è da addebitarsi alle operazioni colturali le quali prevedono l'impiego di macchine ed attrezzi nonché l'uso di concimi minerali, ecc. Ne è confermata il fatto che nelle tesi sperimentali a ridotti input agrotecnici, l'incidenza della fase agricola si contrae, in alcuni casi anche sensibilmente, riducendo pertanto l'impatto complessivo delle categorie sopra citate. Gli impatti ascrivibili ad altre categorie (ecotossicità, tossicità umana, ozono fotochimico) non si discostano, in genere, da quelli attribuibili ai corrispettivi combustibili fossili.

Sia riguardo la generazione di calore che di elettricità (preferibilmente congiunta mediante cogenerazione), i residui agricoli o forestali, gli scarti agro-industriali, nonché alcune colture energetiche dedicate possono risultare particolarmente idonei ad un impiego su scala territoriale, purché adeguatamente pianificato nell'approvvigionamento.

La digestione anaerobica manifesta elevate capacità di produzione energetica, superiori alle tecnologie precedenti sia in termini lordi che netti (ossia allorché vengano dedotti i costi energetici connessi all'espletamento del processo produttivo). La produttività è assai interessante anche in riferimento all'energia prodotta per superficie unitaria di coltivazione. In particolare, in accordo con Plank (2006), è possibile verificare che il rendimento lordo (in litri equivalenti di carburante per ettaro) è pari a 4.977 in relazione al biogas, 4.179 per l'etanolo ottenuto dalla canna da zucchero (in Brasile), 4.054 nel caso del bioetanolo da barbabietola (in Europa), 3.907 con riferimento al BtL (Biomass to Liquid, biocarburante liquido di seconda generazione ottenuto tramite sintesi chimica), 1.660 per il bioetanolo ottenuto da mais (in USA) ed infine 1.408 per il biodiesel da colza. Il quadro complessivo risulta ancora più evidente, accentuando i meriti del biogas, allorché ci si riferisca al guadagno energetico netto (espresso, ad esempio, in kWh/ha). L'ottenimento di biogas a partire da biomasse costituite da insilato di mais

e sorgo od altre specie a carattere foraggiero determina una produzione indicativamente variabile fra 42 e 62 mila kWh/ha, a raffronto dei 33,6 mila kWh/ha corrispondenti al biocarburante BtL o ai 24,4 mila kWh/ha relativi al bioetanolo ottenuto da barbabietola da zucchero (Plank, 2006).

La digestione anaerobica è una tecnologia relativamente semplice, efficace, ormai consolidata, strettamente connessa alla gestione agricola e/o zootecnica dell'azienda agraria, capace di valorizzare biomasse umide di differente origine, sia colture dedicate che residui o scarti. In particolare, è opportuno segnalare che il "digestato" (ossia ciò che residua dal processo di digestione anaerobica) costituisce materiale organico assai utile in qualità di apporto fertilizzante (per una valenza concimante ed insieme ammendante) da destinare a quei medesimi terreni da cui si è ottenuta la biomassa per l'approvvigionamento dell'impianto. Ciò, in termini d'impiego ecologico delle risorse, indica un'efficiente chiusura del ciclo della materia con restituzione al suolo agrario di quegli stessi elementi nutritivi utilizzati dalla colture nel corso del loro accrescimento ("neutralità" del bilancio non solo carbonico ma anche minerale).

## 7. Un modello "locale" d'agricoltura

In merito alla contrapposizione fra filiera corta e lunga, occorre aggiungere un'ultima considerazione; differentemente da altri Stati (prevalentemente extra-europei, in primo luogo USA, Canada, Brasile, Australia, ecc.), la nostra agricoltura (nazionale ma, in genere, europea) si contraddistingue per un assetto strutturale incentrato su aziende di modesta dimensione, spesso parcellizzate e territorialmente disperse, a conduzione diretta e ad elevata richiesta di lavoro, nonché contraddistinte da un livello d'intensificazione generalmente elevato. L'ampia variabilità orografica e climatica e la ridotta disponibilità di superfici agrarie, costantemente aggredite dall'espansione urbana ed infrastrutturale, creano le condizioni per realizzare un modello di agricoltura assai diversificato nelle sue produzioni, piuttosto che un modello ad estrema specializzazione colturale. Queste considerazioni pongono in evidenza la necessità di orientare strategicamente il nostro modello pro-

duttivo agricolo verso produzioni di qualità, particolarmente di tipo orto-frutticolo, con tratti di spiccata vocazionalità locale, produzioni tipiche di difficile standardizzazione e di incondizionato riconoscimento geografico.

L'ammontare complessivo della superficie agricola nazionale, inoltre, non può oggettivamente consentire il soddisfacimento delle esigenze interne di energia rinnovabile, per esempio stimate con riferimento ai bio-carburanti destinati all'autotrazione (biodiesel e bioetanolo).

Ciò vale anche con riferimento all'Europa a 25 membri. L'Unione Europea si è posta l'obiettivo di sostituire il 5,75% dei carburanti fossili da trasporto con i biocarburanti entro il 2010; considerando l'attuale produzione agricola media europea, sarebbe necessario destinare alle colture bioenergetiche tra il 14 ed il 27% della SAU europea, in relazione alla tipologia di carburante ed alla specie coltivata (Kavalov, 2004). I volumi richiesti per conseguire l'obiettivo prefissato relativamente al biodiesel sarebbero dunque corrispondenti al 192% della produzione complessiva di colza (dato del 2005) od altresì il 14% della produzione mondiale (EU, 2006). Saremmo quindi comunque dipendenti da un prevalente rifornimento estero di carburanti, sebbene di origine rinnovabile piuttosto che fossile.

Questa considerazione, di per sé incontrovertibile, dovrebbe suggerire l'opportunità di indirizzare il nostro modello produttivo agri-energetico secondo strategie differenti che non siano, semplicisticamente, quelle della massimizzazione delle produzioni energetiche, obiettivamente al di fuori della nostra portata in raffronto al potenziale produttivo di altre nazioni.

Da quanto finora osservato, risulta abbastanza comprensibile l'opportunità di concepire la produzione agri-energetica piuttosto come integrazione e complementazione delle produzioni agricole, al fine di conseguire una pluralità di vantaggi strettamente associati ad un equilibrato sviluppo delle agri-energie: in primo luogo un'adequata diversificazione colturale, utile nella gestione agronomica delle aziende e benefica per le condizioni di fertilità del suolo; inoltre, un'interessante integrazione di reddito agrario a seguito della differenziazione produttiva; favorire la copertura delle esigenze energetiche aziendali, indirizzando il *surplus* all'erogazione elettrica o di calore ad una rete distributiva

esterna all'azienda. Un consumo energetico diretto, comunque prossimo al punto di generazione, svincola dai condizionamenti del mercato globalizzato dell'energia e pone le condizioni per un'effettiva utilizzazione energetica anche allorché il regime dei prezzi vigenti sul mercato nazionale od internazionale non risultasse sufficientemente remunerativo. Ciò avviene in considerazione della ridotta estensione della filiera che, essendo a prevalente od esclusiva identificazione agricola, consentirebbe di far maturare al suo interno il valore aggiunto conseguente alla generazione dell'energia.

## 8. A che prezzo gli incentivi?

Il sostegno all'acquisto degli impianti e gli incentivi alla vendita di energia rinnovabile andrebbero attentamente valutati nei loro riflessi, diretti ed indiretti, sul comparto agricolo e in relazione alle ripercussioni che si possono generare sulle dinamiche dell'uso del suolo e, più in generale, dello sviluppo del territorio rurale. Potrebbero avere origine, infatti, profonde sprequazioni, in termini di vantaggio economico, fra investimenti alternativi, col rischio di porre in essere contraddizioni assai accentuate nei riguardi di una pluralità d'interventi finalizzati allo sviluppo rurale, come ad esempio quelli messi in atto con i PSR regionali. La soverchiante convenienza economica connessa alla produzione di energia elettrica (attraverso la realizzazione di impianti eolici ed anche fotovoltaici), rispetto alle più modeste (spesso incerte) possibilità di reddito offerte dall'esercizio agricolo (anche nelle sue forme tecnicamente più evolute), determina, nei casi peggiori, una dismissione dell'azienda e la vendita dei terreni, nelle circostanze più favorevoli una loro parziale cessione. Da un punto di vista agro-ambientale ciò predispone alla perdita dei terreni più fertili, spesso quelli di pianura ed origine alluvionale, generando inoltre una grave interferenza sul ciclo idrologico, una maggiore esposizione ai rischi di ruscellamento, erosione, compattamento, ecc.

Occorre quindi chiedersi se il *trend* che viene oggi a prefigurarsi, sebbene favorevole all'acquisizione di energia rinnovabile ed economicamente vantaggioso per le imprese (ma promosso dallo Stato a mezzo di incentivi e soste-



gno ai prezzi di vendita dell'energia), sia congruente con le ingenti risorse messe in campo proprio con il PSR, che punta ad una qualificazione della nostra agricoltura, all'aumento della sua capacità di competizione sui mercati extra-europei, all'ottenimento di produzioni di eccellenza ed al permanere degli imprenditori nel settore agricolo. Il mercato ovviamente si orienta verso gli investimenti più remunerativi, per cui se il profitto che consegue dal produrre energia rinnovabile risulta superiore a quello derivante dall'esercizio agricolo, si produrrà e si venderà prevalentemente energia piuttosto che prodotti agricoli. Allo stesso modo, se acquisire olio d'importazione (di palma o jatropha) per destinarlo alla generazione elettrica risulta più conveniente che impiegare olio di produzione locale, nasceranno e si moltiplicheranno impianti alimentati con i primi e non con i secondi. Di certo non si intende contraddire questo assunto basilare del mercato, occorre però operare un bilancio complessivo dei vantaggi e degli svantaggi che possono derivare non tanto al singolo imprenditore quanto alla collettività nel suo complesso a seguito di una scelta così impostata, considerando che (almeno allo stato attuale) le condizioni di vantaggio e di competitività sono esclusivamente determinate dagli incentivi pubblici all'installazione degli impianti od alla vendita dell'energia da essi prodotta.

### **9. Pianificare l'uso del suolo agricolo**

Se pianificata nel modo più opportuno ed adeguatamente gestita, la produzione di energia da biomasse può risultare assai utile nel promuovere uno sviluppo rurale auto-centrato, promosso dal basso e non imposto a mezzo di modelli esogeni, secondo soluzioni calibrate rispetto alle esigenze reali della popolazione (sia sul fronte dei produttori che dei consumatori); tale modello, modulato nei suoi risvolti più direttamente applicativi, può risultare idoneo tanto per i Paesi in via di sviluppo che per quelli economicamente più avanzati. La bio-energia può stimolare nuova occupazione, un indotto di diversificate attività economiche, condizioni di vantaggio ambientale ed un sensibile miglioramento della qualità della vita, allorché essa sia determinata, gestita e condotta su scala locale (bio-regionale) ed allorché il valore aggiunto generato dal processo produttivo

sia localmente intercettato ed impiegato in chiave di sviluppo territoriale. Questa è la condizione critica ed essenziale rispetto alla quale ogni ipotesi di realizzazione agri-energetica deve necessariamente misurarsi.

Per poter pianificare lo sviluppo territoriale nel settore agri-energetico conseguendo una competitività analoga a quella oggi raggiunta da altre fonti rinnovabili è indispensabile un'analisi spaziale su larga scala, che consideri la dispersione delle risorse, le condizioni pedoclimatiche e geomorfologiche del territorio, la competitività delle colture energetiche rispetto alle colture tradizionali, a destinazione alimentare, nonché il possibile rischio connesso ad una loro prevedibile espansione in aree ad agricoltura estensiva con il conseguente impatto che da ciò potrebbe derivare nei riguardi di ambienti naturali e seminaturali e le possibili limitazioni della biodiversità. I Sistemi Informativi Geografici (GIS) rappresentano oggi il migliore strumento disponibile per la gestione e l'analisi spaziale delle risorse territoriali e per la creazione di "sistemi di supporto alle decisioni". L'approccio basato sui GIS si delinea come uno tra quelli maggiormente appropriati per una corretta pianificazione di sistemi e processi di valorizzazione delle biomasse agro-forestali; tale approccio, infatti, consente di quantificare nel modo più corretto l'effettivo ammontare delle risorse impiegabili nella generazione d'energia a seconda della differente natura e qualità delle biomasse coinvolte, ottimizzando inoltre la scelta e la collocazione geografica di ogni segmento di cui si compone la filiera agri-energetica, secondo criteri di opportunità, adeguatezza ed economicità (Sabbatini et al., 2004; Teneirelli e Monteleone, 2007 e 2008).

### **10. Valorizzazione energetica integrale delle biomasse**

Un ulteriore aspetto dualistico relativo al settore delle agro-energie è quello che si riferisce alla natura delle biomasse impiegate nella conversione energetica che possono essere, rispettivamente, biomasse residuali o di scarto o, all'opposto, biomasse ottenute da colture dedicate. Del tutto evidente è la convenienza a rivolgersi prioritariamente all'impiego di materia prima di scarto, ciò per un duplice vantaggio: a)

il suo valore economico è assai modesto, nullo o (in particolari circostanze) addirittura negativo (allorché siano previsti costi di smaltimento); b) vengono evitati gli impatti conseguenti allo smaltimento, ordinario o straordinario, dei suddetti materiali di rifiuto. In alternativa, si può operare la scelta di utilizzare colture agrarie dedicate; in tal caso il vantaggio consiste in una produttività di materia prima significativamente più elevata per unità di superficie agraria.

Strettamente connesso a questa concezione di utilizzo plurimo ed integrale delle materie prime di origine agricola è il concetto di *bio-refinery*, attraverso cui la cosiddetta agricoltura “non-food” perviene ad un’integrazione pressoché completa con il settore industriale, non solo con riferimento alla produzione di energia ma anche di materie prime e composti chimici utili in numerosi processi industriali (oli minerali, vernici, solventi, polimeri e materiali plastici di origine vegetale, ecc.). Questa stretta integrazione consente di conseguire efficienze trasformative assai elevate in quanto un medesimo prodotto agricolo può dar luogo ad un’ampia gamma di prodotti finali, mantenendosi comunque invariati i costi relativi alla sua produzione. In tal modo la strutturazione a “filiera” dei processi produttivi si articola, si ramifica e diviene assai più complessa, venendo così a definire una configurazione “reticolare”. La possibilità di utilizzazione plurima ed integrale del contenuto energetico delle piante agrarie risiede nella capacità di riuscire ad impiegare la maggior parte delle sue componenti biologiche strutturali; così, ai fini dell’ottenimento di bio-carburanti, sarebbe utile poter utilizzare non soltanto la componente zuccherina o quella oleaginosa ma anche quella frazione, del tutto prevalente nelle piante, costituita da cellulose ed emicellulose (essendo le lignine destinabili solo alla combustione od al compostaggio). Processi chimici e biochimici altamente innovativi consentono oggi di attaccare e demolire queste molecole complesse, di natura polimerica, convertendole così nei consueti bio-carburanti impiegabili per l’autotrazione. A tal riguardo, si parla dei cosiddetti *carburanti di seconda generazione*, ossia quelli ottenuti impiegando queste tecnologie innovative; essi rappresentano un prodotto di estremo interesse al fine di ampliare le disponibilità energetiche destinate a sostituire i consumi di benzina e diesel per autotrazione.

## 11. Conclusioni

Le considerazioni svolte nel presente lavoro chiamano in causa la visione di uno sviluppo locale auto-sostenibile, incentrato sul concetto di “capacità portante”, ossia equilibrato approvvigionamento delle biomasse rispetto alle effettive disponibilità territoriali. È questa la condizione (certo non esclusiva e di per sé sufficiente) affinché lo sviluppo delle agri-energie possa avvenire in sintonia con i necessari requisiti di rispetto della rigenerazione delle risorse agro-ecologiche, di ridotto impatto ambientale, di salvaguardia della biodiversità, ecc. La dimensione “locale” delle filiere agro-energetiche determina che lo sviluppo delle bio-energie non si realizzi a scapito dell’ambiente o, contestualmente, a danno delle altre filiere produttive agricole (per esempio quelle a destinazione alimentare), sottraendo superficie coltivabile, risorse ed investimenti. Il progetto locale e di piccola scala non risulta invasivo ma si armonizza con le attività pre-esistenti instaurando una crescita equilibrata, consapevole dei vincoli e delle limitazioni territoriali, ed allo stesso tempo costituisce un’opportunità per porre a sistema una pluralità di obiettivi di più ampia portata agro-ambientale: gestione sostenibile del patrimonio forestale; valorizzazione energetica degli scarti, dei residui e dei sottoprodotti delle colture agrarie, nonché procedure adeguate di gestione e valorizzazione dei reflui zootecnici o di altri reflui agro-industriali; diversificazione degli ordamenti produttivi agrari mediante l’inserimento di colture energetiche in grado di svolgere un’azione positiva in qualità di colture da rinnovo (se annuali) od instaurare un regime “sodivo” (assenza di lavorazioni del suolo e quindi recupero della fertilità) nel caso di colture poliennali. Ciò è di estrema rilevanza al fine di esaltare le vocazioni territoriali e sollecitare effetti ambientali virtuosi che, lungi dal provocare impatto, inaridimento dei suoli, perdita di biodiversità, ecc. stimolino i processi opposti. Si tratta, pertanto, di affermare il valore di una agricoltura produttiva ma diversificata e varia, condotta secondo criteri di sostenibilità ecologica e compatibilità ambientale, in grado di coniugare (nel modo in cui essa si esplica in rapporto all’ambiente ed al contesto sociale in cui è inserita) tutte le espressioni della multifunzionalità, nel cui novero certamente si riconoscono anche

le agri-energie, aspetto certamente importante ed innovativo ma che non può divenire totalizzante ed ossessivo.

Occorre riflettere, quindi, sul particolare modello di sviluppo e sull'assetto del territorio che i differenti modi d'implementare le agri-energie potrebbero promuovere o favorire. Occorre cioè affrontare, con la necessaria determinazione e chiarezza, l'esigenza di conseguire una visione generale e complessiva dello sviluppo territoriale, particolarmente con riferimento ai rapporti fra settore energetico e quello agrario. Infatti, avendo affermato che è utile e necessario ampliare le nostre disponibilità di energia alternativa al petrolio od al carbone, ciò non può avvenire in modo indiscriminato o sommario. Il valore delle agri-energie, infatti, non può essere espresso, semplicisticamente, dalla *quantità* di energia che viene prodotta quanto, piuttosto, dall'effettivo miglioramento della *qualità* della vita, in termini di un set articolato d'indicatori. In termini ancor più espliciti, è assolutamente determinante il *modo* attraverso cui l'energia rinnovabile di origine agricola e forestale viene prodotta oltre che l'ammontare della sua produzione.

## Bibliografia

- Biofuelwatch 2007. Agrofueels: towards a reality check in nine key areas. April 2007.
- Bonari E., Galli M., Piccioni E. 2004. Le funzioni agro ecologiche delle colture "dedicate" ad uso energetico. In: Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm. Quaderno ARSIA, 6:89-92.
- Campiglia E., Mancinelli R., Caporali F., Di Felice V. 2006. Le biomasse da energia: prospettive future e sostenibilità ecologica. Atti del Convegno "Colture a scopo energetico e ambiente". APAT, 5 ottobre 2006, Roma, 88-98.
- CEO – Corporate Europe Observatory, 2007. The EU's agrofueel folly: policy capture by corporate interests. Briefing paper, June 2007.
- Colombo L. 2002. Fame. Produzione di cibo e sovranità alimentare. Jaca book SpA, Milano.
- Cosentino S. 2006. Aspetti agronomici, energetici ed ambientali delle colture da biomassa per energia per gli ambienti italiani. Atti del Workshop "L'agricoltura per l'energia rinnovabile: i futuri scenari", 23-24 Novembre 2006. AISSA, Regione Basilicata e Università degli Studi della Basilicata, 57-64.
- Crutzen P.J., Mosier A.R., Smith K.A., Winiwater W. 2007. N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmospheric, Chemistry and Physics Discussion, 7:11191-11205.
- Dufey A. 2007. International trade in biofuels: good for development? And good for environment? International Institute for Environment and Development (IIED), London.
- EEA – European Environmental Agency, 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report, n. 7, 2006. Copenhagen, Denmark.
- EEA-JRC (European Environmental Agency – Joint Research Centre), 2006. Sustainable bioenergy cropping systems for the Mediterranean. Proceeding of the expert consultation. Madrid, 9-10 February, 2006. Summary Report.
- ENEA, 2007. Rapporto energia e ambiente 2006. Vol. 1.
- EU, 2006. Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Research carried out jointly by JRC/IES, CONCAWE and EUCAR. WELL-TO-TANK Report Version 2b, May 2006.
- FAO, 2007. Crop prospects and food situation. N. 3 Rome, May.
- Farrell A.E., Plevin R.J., Turner B.T., Jones A.D., O'Hare M., Kammen D.M. 2006. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. Science, 311:506-508.
- Gasol C.M., Gabarrell X., Anto A., Rigola M., Carrasco J., Ciria P., Solano M.L., Rieradevall J. 2007. Life cycle assessment of a *Brassica carinata* bioenergy cropping system in southern Europe. Biomass and Energy, 31:543-555.
- GRAIN, 2007. Stop the agrofueel craze! Seedling. Agrofueels special issue. July, 2-9.
- Hanegraaf M.C., Biewing E.E., van der Bijl G. 1998. Assessing the ecological and economic sustainability of energy crops. Biomass and Bioenergy, 15:345-355.
- Heller M.C., Keoleian G.A., Volk T.A. 2003. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. Biomass and Energy, 25:147-165.
- Hill J., Nelson E., Tilman D., Polasky S., Tiffany D. 2006. Environmental, economic and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. PNAS, 103, 30:11206-11210.
- IFEU – Institute for Energy and Environmental Research, (and many other institutes), 2000. Bioenergy for Europe. Which ones fit best? A comparative analysis for the Community. Final report. Research funded in part by the European Commission in the framework of the FAI V Programme.
- Kaltschmitt M., Reinhardt G.A., Stelzer T. 1997. Life cycle analysis of biofuels under different environmental aspects. Biomass and Bioenergy, 12:121-134.
- Kavalov B. 2004. Biofuel potential in the EU. Joint Research Centre (JRC) and Institute for Prospective Technological Science (IPTS). Commissioned by the European Communities. Report EUR 21012 EN.

- LUC – Land Use Consultant, 2007. Bioenergy: environmental impact and best practice. Final report. Bristol, UK.
- Mughini G., Gras M., Facciotto G., Bergante S. 2006. Le colture da biomassa ligno-cellulosica: contributo al mantenimento della biodiversità. Atti del Convegno “Colture a scopo energetico e ambiente”. APAT, Roma, 5 ottobre 2006, 43-48.
- Nyberg J., Raney T. 2006. Food security and bioenergy. Concept note. Draft of the First FAO Technical Consultation on Bioenergy and Food Security. Rome, April 2007.
- OECD, 2005. Agricultural market impacts of the future growth in the production of biofuels. DOC AGR/CA/APM/(2005)24/Final, Paris, FR.
- OECD-FAO, 2007. Agricultural outlook 2007-2016.
- Palchetti E., Vazzana C. 2006. Le colture da energia: prospettive future e loro sostenibilità nei sistemi aziendali. Atti del Convegno “Colture a scopo energetico e ambiente”. APAT, Roma, 5 ottobre 2006, 77-87.
- Pimentel D. 2003. Ethanol fuels: Energy balance, economics and environmental impacts are negative. National Resources Research, 12, 2:127-134.
- Pimentel D., Patzek T.W. 2005. Ethanol production using corn, switchgrass and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. National Resources Research, 14, 1:65-76.
- Plank D.I.J. 2006. Fluid biofuel and biogas. Proceeding of the International Conference on “Sustainable Bioenergy – Challenges and Opportunities”, 12-13 October 2006, Bonn, Germany. German NGO Forum Environment & Development/ United Nations Foundation.
- Rifkin J. 2002. Economia all'idrogeno. Mondadori, Milano.
- RIRDC – Rural Industries and Development Corporation, 2005. Sustainability guide for bioenergy: a scoping study. RIRDC publication n. 5/190, Canberra, Australia.
- Sabbatini T., Villani R., Faini A., Bonari E. 2004. Analisi territoriale delle colture da energia in Toscana. In: Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm. Quaderno ARSIA, 6/2004, 93-116.
- Schmidhuber J. 2007. Biofuels: an emerging threat to Europe's food security? Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: a longer-term perspective. Notre – Europe policy paper, n. 27.
- Tenerelli P., Monteleone M. 2007. Land planning for sustainable bioenergy production: an application to the Capitanata district (South Italy). Proceeding of the MACE (Modern Agriculture in Central and Eastern Europe) International Conference, 17-18 January 2007, Berlin, Germany.
- Tenerelli P., Monteleone M. 2008. A combined land-crop multicriteria evaluation for agro-energy planning. Proceeding of the 16<sup>th</sup> Biomass Conference, 2-6 June 2008, Valencia, Spain.
- Titius B. 2007. The sustainability of bioenergy: some questions in search of answers. Canadian Forest Service and Pacific Forest Centre.
- UN, 2007. Sustainable bioenergy: a framework for decision makers. UN-Energy, New York, USA.
- Wald M. 2007. Is ethanol for the long haul? Scientific American, 296, 1:42-49.
- Worldwatch Institute, 2007. Biofuels for transportation: global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21<sup>st</sup> century. London, UK.
- WWF-Germany, 2006. Sustainability standards for bioenergy. Frankfurt am Main, Germany.
- Wyman C.E. 2007. What is (and is not) vital to advancing cellulosic ethanol. Trends in Biotechnology, 25, 4:153-157.

# Risorse energetiche tradizionali ed innovative dalle attività microbiche nel sistema agroindustriale

Roberto De Philippis\*, Massimo Vincenzini

*Dipartimento di Biotecnologie Agrarie, Università di Firenze  
Piazzale delle Cascine 24, 50144 Firenze*

Società Italiana di Microbiologia Agraria, Alimentare e Ambientale

---

## Riassunto

I processi microbici che consentono di ottenere energia dalle biomasse vegetali e dai residui del sistema agroindustriale permettono di sfruttare fonti energetiche ampiamente disponibili e rinnovabili in processi che si possono considerare a bilancio zero per quanto riguarda la fissazione e l'emissione di anidride carbonica. Tali processi sono ad un diverso grado di maturazione tecnologica: accanto a processi ormai maturi, quali quelli che portano alla produzione di etanolo e di biogas, ve ne sono altri che si trovano in fase avanzata di ricerca, come quelli che portano alla produzione microbiologica di idrogeno. Dal punto di vista delle prospettive future, è proprio quest'ultimo prodotto ad avere suscitato, in anni recenti, una crescente attenzione a causa delle sue promettenti caratteristiche di impiego. L'idrogeno, infatti, è un gas caratterizzato da un alto potere calorifico e la sua utilizzazione, sia in combustione diretta che tramite celle a combustibile, consente di ottenere energia senza il contemporaneo rilascio di gas inquinanti.

Nella rassegna sono presentate le attività condotte dai gruppi di ricerca afferenti alla Società Italiana di Microbiologia Agraria, Alimentare e Ambientale (SIMTREA) impegnati nel settore, con particolare riferimento agli studi in corso sulla produzione di biogas e di idrogeno a partire da residui dell'agroindustria.

*Parole chiave:* biogas, bioidrogeno, recupero energetico, residui vegetali, agroindustria, fonti energetiche rinnovabili.

## Summary

### NEW AND TRADITIONAL ENERGY RESOURCES FROM MICROBIAL ACTIVITIES IN THE AGROINDUSTRIAL SYSTEM

Microbial processes leading to the production of energy from vegetable biomasses and from residues of the agroindustry make possible the exploitation of widely available and renewable energy sources which can be considered at zero balance with regard to CO<sub>2</sub> fixation and emission. These processes show a different level of technological maturity: some of them, like the production of bioethanol or biogas, are well established and diffused processes, while others, like hydrogen production, are in the phase of advanced research. Considering the future prospects, the latter process is the most promising owing to the high calorific value of hydrogen and the absence of polluting emissions when H<sub>2</sub> is used for combustions or for the production of electricity with fuel cells. In this review, the research activities carried out, in the field of biogas and hydrogen production, by research groups belonging to the Italian Society for Agricultural, Environmental and Food Microbiology (SIMTREA) are presented.

*Key-words:* biogas, biohydrogen, energy recovery, vegetable residues, agroindustry, renewable energy resources.

\* Autore corrispondente: tel.: +39 055 3288284; fax: +39 055 3288272. Indirizzo e-mail: roberto.dephilippis@unifi.it

## Introduzione

Oltre l'80% dell'energia primaria prodotta e consumata ogni anno dagli oltre sei miliardi di esseri umani che vivono sul nostro pianeta è ottenuta utilizzando combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale) (fig. 1). Secondo le proiezioni dei consumi di energia primaria ottenuta da fonti di natura fossile, nei prossimi anni è atteso un incremento dei consumi superiore al 50% rispetto ai valori di inizio millennio, con un aumento quasi proporzionale delle emissioni annue di anidride carbonica, che passerebbero dai circa 20 miliardi di tonnellate del 1990 ai circa 40 miliardi di tonnellate del 2030 (IEA, 2006). Le conseguenze di queste scelte di politica energetica sarebbero quindi la riduzione delle riserve di fonti energetiche non rinnovabili, quali sono i combustibili fossili, e l'emissione nell'atmosfera di grandi quantità di gas inquinanti, tra i quali l'anidride carbonica, che è uno dei gas causa dell'effetto serra e del conseguente aumento della temperatura del pianeta. A queste problematiche di natura ambientale occorre aggiungere quelle di natura politica legate alla necessità, sempre più vincolante per la stabilità politico-economica delle singole Nazioni, di avere accesso a fonti energetiche sicure, la cui disponibilità a prezzi sostenibili dai sistemi economici non sia legata né a fattori fisici (esaurimento delle fonti stesse, interruzioni nella produzione ecc.) né a fattori economici (variabilità dei prezzi, pressioni speculative ecc.) (Costantini et al., 2007).

Alla luce di queste considerazioni, lo sfruttamento di risorse energetiche rinnovabili, quali sono quelle derivabili dal sistema agroindustriale, può assumere una notevole importanza, sia dal punto di vista economico che dal punto di vista ambientale. Infatti, i vari processi che consentono di ottenere energia dalle biomasse vegetali e dai residui del sistema agroindustriale permettono lo sfruttamento di fonti energetiche ampiamente disponibili e rinnovabili in processi che si possono considerare a bilancio zero per quanto riguarda la fissazione e l'emissione di anidride carbonica. In questa direzione sono quindi orientate molte delle ricerche attualmente in corso sia a livello nazionale che internazionale, indirizzate ad individuare e a sperimentare processi che portino al recupero effi-

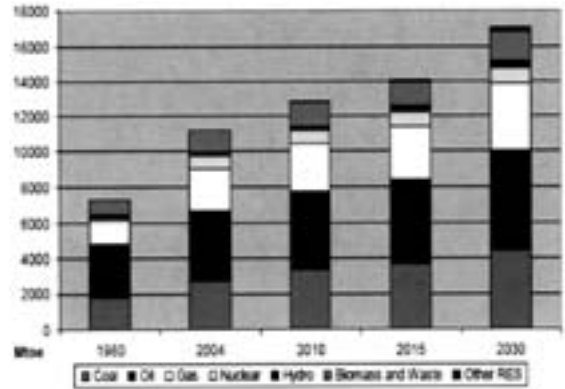


Figura 1. Richiesta energetica mondiale (fonte: World Energy Outlook 2006, International Energy Agency; Mtoe = tonnellate (x 10<sup>6</sup>) di petrolio equivalente).

Figure 1. World energy demand (source: World Energy Outlook 2006, International Energy Agency; Mtoe = metric tons (x 10<sup>6</sup>) of oil equivalent).

ciente dell'energia contenuta nei diversi tipi di residui vegetali derivanti dalle attività agroindustriali e forestali.

Alcuni dei processi più efficienti per ottenere energia dai residui vegetali vedono coinvolti specifici gruppi di microrganismi, i quali, metabolizzando i substrati vegetali per produrre energia, potere riducente e i precursori metabolici necessari a sintetizzare nuovi costituenti cellulari, liberano come prodotti di scarto etanolo, metano o idrogeno, sostanze che possono essere utilizzate dall'uomo come combustibili alternativi a quelli di origine fossile.

A tal proposito, va sottolineato come i processi di produzione di energia tramite l'impiego di microrganismi si trovino, al momento attuale, ad un diverso grado di maturazione tecnologica: infatti, accanto a processi ormai maturi quali quelli che portano alla produzione di etanolo e di biogas, ve ne sono altri che si trovano in fase avanzata di studio, come quelli che portano alla produzione di idrogeno per via microbiologica.

Scopo di questa breve rassegna è quello di dare il quadro delle ricerche attualmente in corso in Italia nell'ambito di questo settore, facendo particolare riferimento agli studi sulla produzione di biogas e di idrogeno condotti da gruppi di ricerca i cui componenti sono membri della Società Italiana di Microbiologia Agraria, Alimentare e Ambientale (SIMTREA).

### Produzione di biogas da residui del sistema agroindustriale

Il biogas, composto per il 50-80% di metano, può essere ottenuto dalla digestione anaerobica di varie tipologie di residui dell'agroindustria. Nel corso dell'ultimo decennio si è osservato un crescente interesse verso questo tipo di fonte rinnovabile di energia per ragioni sia economiche che ambientali, tanto che l'Unione Europea ha stabilito l'obiettivo ambizioso di raggiungere, entro il 2010, una produzione di biogas pari a 15 milioni di tonnellate di petrolio equivalente, corrispondente a circa il doppio della quantità ipotizzabile in base alla tendenza attuale. In Italia esistono molti impianti di digestione anaerobica per la produzione di biogas, sia presso aziende agricole sia presso le piattaforme ecologiche di depurazione delle acque. Questi impianti funzionano da anni, trattando prevalentemente liquami zootecnici o fanghi di risulta della depurazione delle acque. Recentemente, sono in fase di studio nuove proposte tecnologiche che riguardano soprattutto la tipologia della materia prima da utilizzare per alimentare gli impianti. Oltre alle biomasse tradizionali, infatti, si sta iniziando a utilizzare biomassa vegetale sia tal quale che opportunamente mescolata con deiezioni zootecniche, fanghi di risulta della depurazione delle acque o residui di industrie agroalimentari.

Nei digestori anaerobici, la produzione di biogas avviene come fase finale di un processo microbico complesso, articolato in più fasi, alle

quali partecipano gruppi microbici diversi (fig. 2). La complessità del processo è dovuta all'incapacità dei microrganismi produttori di metano (metanogeni) di degradare molecole organiche complesse per produrre  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ; infatti, una delle principali caratteristiche fisiologiche dei metanogeni, microrganismi procarioti appartenenti al Dominio degli Archea, è l'estrema specializzazione metabolica, che li rende capaci di utilizzare solo uno o due tipi di substrati, in genere composti organici ad un solo atomo di carbonio. A causa di ciò, i metanogeni dipendono, nella maggior parte degli ambienti in cui vivono, dalla presenza di idonei substrati prodotti dalle attività metaboliche di altri microrganismi.

Nell'ambito dei gruppi di ricerca i cui membri sono soci della SIMTREA, gli studi sui metanogeni sono stati condotti prevalentemente dal gruppo afferente al Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali dell'Università di Bologna, che ha caratterizzato filogeneticamente ceppi di batteri metanogeni isolati da vari ambienti arrivando, in alcuni casi, alla descrizione di nuove specie (Biavati et al., 1988; 1992; Ferrari et al., 1994). Più recentemente, gli studi sono proseguiti con l'isolamento e la caratterizzazione filogenetica di ceppi di metanogeni provenienti da digestori anaerobici sperimentali e da discariche di rifiuti solidi urbani. Gli studi condotti hanno portato all'individuazione di un certo numero di ceppi mesofili e termofili, appartenenti a sei generi diversi di metanogeni (B. Biavati, comunicazione personale).

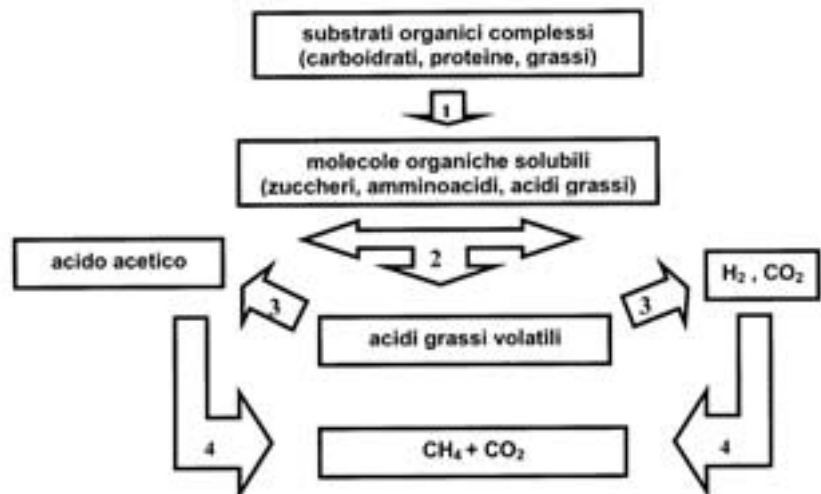
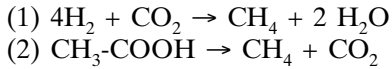


Figura 2. Schema del processo di digestione anaerobica: (1) fase di idrolisi, (2) fase di fermentazione (acidogenesi), (3) fase di acetogenesi, (4) fase di metanogenesi.

Figure 2. Outline of the process of anaerobic digestion: (1) hydrolysis, (2) fermentation (acidogenesis), (3) acetogenesis, (4) methanogenesis.

Come già accennato, le caratteristiche metaboliche dei metanogeni sono tali che le prime fasi della digestione anaerobica (idrolisi delle molecole complesse, fermentazione acidogenica, fermentazione acetogenica) sono condotte da una microflora anaerobica non costituita da metanogeni, i quali invece intervengono soltanto nell'ultima fase (metanogenesi), producendo metano a partire da substrati formati nelle fasi precedenti, secondo le due reazioni sotto riportate:



Nel caso della reazione (1), si può osservare come il metano si formi a partire dall'idrogeno con un forte spreco energetico. Infatti soltanto il 50% dell'idrogeno prodotto durante le precedenti fasi di fermentazione viene convertito in metano, mentre l'altro 50% viene trasformato in acqua. Sulla scorta di questa osservazione, i gruppi di ricerca coordinati dal professor Giancarlo Ranalli, afferente al Dipartimento di Scienze e Tecnologie per Ambiente ed il Territorio dell'Università degli Studi del Molise, e dalla professoressa Claudia Sorlini, afferente al Dipartimento di Scienze e Tecnologie Alimentari e Microbiologiche dell'Università degli Studi di Milano, hanno avviato una serie di ricerche volte a valutare la fattibilità di un processo di digestione anaerobica in cui viene disaccoppiata la produzione di idrogeno dalla sintesi di metano. Il vantaggio di operare in tal senso è duplice: (a) si può recuperare energia sotto forma di idrogeno, anziché di metano, in tempi ridotti (3-7 giorni); (b) si può recuperare una quantità di energia decisamente maggiore di quanta se ne otterrebbe se venisse recuperato il solo metano, considerando anche che il potere calorifico dell'idrogeno è circa due volte e mezzo quello del metano (119,9 MJ/Kg contro 50,0 MJ/Kg). I vantaggi dell'impianto bifase rispetto allo stadio singolo sono i seguenti: per il reattore 1 (Fase di Idrolisi, produzione di idrogeno), i minori costi di investimento per la costruzione del reattore per effetto dei tempi ridotti di fermentazione e un incremento della resa in idrogeno di circa il 30% per effetto del suo rapido strippaggio, ottenuto con un'apposita pompa. Per la fase di metanazione del reattore 2 i vantaggi sono: una miglior condizione di formazione di  $\text{CH}_4$  per effetto della minor acidificazione del fermentato dovuta al-

la rimozione di  $\text{H}^+$  sottoforma di  $\text{H}_2$ , una maggior stabilità del processo conseguente alla sua separazione in due stadi e la produzione di biogas più ricco in  $\text{CH}_4$  perché ottenuto dalla conversione di acidi organici (G. Ranalli e C. Sorlini, comunicazione personale).

### **Produzione di idrogeno da residui del sistema agroindustriale**

Il grande interesse recentemente sviluppatosi nei confronti dell'uso dell'idrogeno come vettore energetico trae origine non soltanto dalla possibilità di utilizzare questo gas per produrre energia senza la contemporanea emissione di sostanze inquinanti nell'atmosfera ma anche dalla possibilità di utilizzare, per la sua produzione, fonti rinnovabili di energia in alternativa ai combustibili fossili. In particolare, la produzione di idrogeno per via microbiologica, sfruttando cioè specifici processi metabolici di microrganismi di diversa natura che portano alla produzione di idrogeno, è stata fatta oggetto di studio da parte di molti gruppi di ricerca a livello internazionale. La messa a punto di sistemi biologici di produzione di idrogeno presenta, infatti, interessanti vantaggi rispetto alle tecniche termochimiche ed elettrochimiche attualmente in uso o allo studio e può contribuire efficacemente a stimolare e favorire il passaggio da un'economia basata quasi esclusivamente sull'uso di combustibili fossili ad un'economia basata sull'idrogeno come vettore energetico, riducendo al tempo stesso le emissioni di gas serra secondo le direttive del protocollo di Kyoto. In aggiunta a questo peraltro non trascurabile aspetto, la produzione biologica di idrogeno può avvenire anche utilizzando fonti di energia rinnovabili quali scarti di natura organica (rifiuti vegetali, sottoprodotti di industrie alimentari ecc.) operando a temperatura ambiente e pressione atmosferica, secondo un processo a basso impatto ambientale.

Nell'ambito dei soci della SIMTREA, studi sulla produzione microbiologica di idrogeno sono stati condotti prevalentemente dal gruppo di ricerca afferente al Dipartimento di Biotecnologie Agrarie dell'Università di Firenze, che ha studiato in particolare la produzione fotoeterotrofa di idrogeno condotta dai batteri fotosintetici rossi non sulfurei (BRNS) (Vincenzini et al.,





Figura 3. Fotobioreattore utilizzato per la produzione di idrogeno con batteri fotosintetici rossi non sulfurei in coltura su fermentato da residui vegetali (De Philippis et al., 2007).

Figure 3. Photobioreactor utilized for hydrogen production with photosynthetic purple non sulfur bacteria cultivated on the fermentation product obtained from vegetable residues (De Philippis et al., 2007).

1982a; 1982b; 1985; 1986; 1989; 1997; De Philippis et al., 2005; De Philippis e Vincenzini, 2007; De Philippis et al., 2007).

I BRNS sono comunemente annoverati in

letteratura tra i microrganismi più promettenti per quanto riguarda la produzione fotobiologica di idrogeno. Il loro impiego nella produzione di questo gas presenta infatti alcuni significativi vantaggi rispetto all'utilizzazione di altri gruppi microbici, dal momento che i BRNS sono caratterizzati da un'alta resa teorica di conversione substrato-idrogeno e, in virtù della loro grande versatilità metabolica, sono in grado di produrre idrogeno a partire da molti tipi diversi di substrati organici, ivi incluse acque reflue di origine industriale o substrati derivanti dalla fermentazione di scarti vegetali di varia origine. La produzione di idrogeno da parte dei BRNS è prevalentemente dovuta all'attività di un complesso enzimatico, chiamato nitrogenasi, il quale, in una reazione fortemente dipendente dalla fotosintesi per il rifornimento di ATP e  $\text{NADH}_2$ , riduce i protoni ad idrogeno molecolare; la nitrogenasi è in grado di catalizzare questa reazione soltanto in assenza di ossigeno e di ione ammonio (De Philippis et al., 2005; De Philippis e Vincenzini, 2007).

Recentemente, sono stati ottenuti risultati molto interessanti sperimentando, in un fotobioreattore da 11 litri di capacità (fig. 3), un processo a due stadi (fig. 4), in cui nel primo stadio è stata condotta la fermentazione di residui vegetali, effettuata dalla microflora autoctona presente sui residui stessi, che ha portato alla produzione di un fermentato ricco in acido lattico e acetico. In questa fase, a partire da una quantità di residui vegetali pari a  $1 \text{ Kg L}^{-1}$ , è stato ottenuto un fermentato contenente  $10\text{-}12 \text{ g L}^{-1}$  di acido lattico e  $1,5\text{-}2 \text{ g L}^{-1}$  di acido acetico. Nel secondo stadio, i BRNS sono stati inoculati nel fermentato e hanno prodotto idroge-

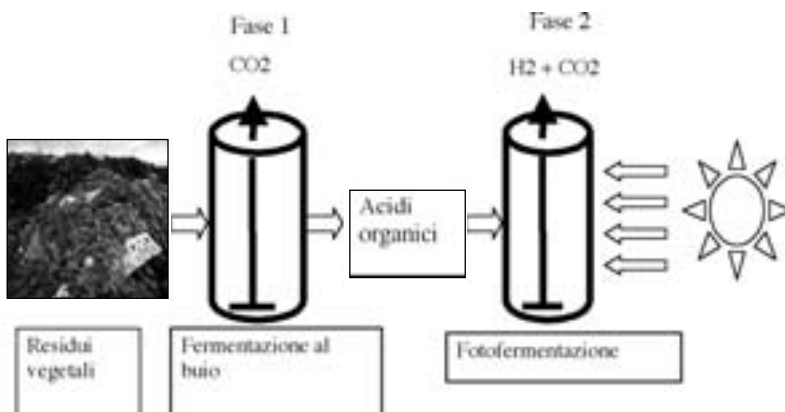


Figura 4. Schema del processo a due stadi di produzione di idrogeno con batteri fotosintetici rossi non sulfurei a partire da residui vegetali.

Figure 4. Outline of the two-stage process for hydrogen production with photosynthetic purple non sulfur bacteria utilizing vegetable residues.

no per circa cinque giorni, fino all'esaurimento degli acidi in esso contenuti, ad un tasso medio di circa  $10 \text{ ml H}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$  e con un tasso massimo, durato 24 ore, di circa  $17\text{-}18 \text{ ml H}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . È stata anche dimostrata sperimentalmente la possibilità di utilizzare direttamente l'idrogeno prodotto dai BNRS nel fermentatore per alimentare una cella a combustibile di nuova concezione, ottenendo energia elettrica con una densità di  $60 \text{ mW cm}^{-2}$  (De Philippis et al., 2007). Gli ottimi risultati ottenuti hanno stimolato un ulteriore approfondimento delle ricerche, attualmente in corso, al fine di giungere ad ottimizzare le varie fasi del processo e di validare quest'ultimo in un impianto semipilota dimostrativo.

## Conclusioni

Le ricerche attualmente in corso in Italia nel settore della produzione di energia per via microbiologica a partire dai residui del sistema agroindustriale sono orientate a saggiare sperimentalmente la fattibilità di processi che ottimizzino la resa in idrogeno del tradizionale processo di digestione anaerobica o che consentano il recupero energetico, sempre sotto forma di idrogeno, di residui di fermentazione dei vegetali. Questi studi si collocano, quindi, a pieno titolo nei settori di punta della ricerca internazionale per quanto riguarda lo sfruttamento di risorse rinnovabili per la produzione di energia in forma non inquinante, e possono dare un contributo alla soluzione di due problemi di fondamentale importanza per le società avanzate quali lo sviluppo di un vettore energetico ricavabile da fonti non fossili e rinnovabili e la diminuzione della quantità di rifiuti organici da avviare agli impianti di smaltimento.

## Ringraziamenti

Le ricerche condotte presso il Dipartimento di Biotecnologie agrarie sono state svolte nell'ambito del Programma strategico "Nuovi sistemi di produzione e gestione dell'energia" (finanziamento fondi FISR del Ministero dell'Università e della Ricerca), del Progetto Firenze Hydrolab (finanziamento Ente Cassa di Risparmio di Firenze), e del Programma Ricerca per l'Ambiente - PRAA 2004-2006 (finanziamento Regione Toscana).

## Bibliografia

- Biavati B., Sgorbati B., Palenzona D. 1992. Plasmid DNA from methanogenic bacteria. *Curr. Microbiol.*, 24:285-287.
- Biavati B., Vasta M., Ferry J.G. 1988. Isolation and characterization of *Methanospaera cunicoli* sp. nov. *Appl. Environ. Microbiol.*, 54:768-771.
- Costantini V., Graceva F., Markandya A., Vicini G. 2007. Security of energy supply. Comparing scenarios from a European perspective. *Energy Policy*, 35:210-226.
- De Philippis R., Bianchi L., Mannelli F. 2005. Photobiological hydrogen production by two *Rhodospseudomonas palustris* strains. In: Valdès A., Spazzafumo G. (eds.): *Hydrogen Power Theoretical and Engineering Solutions*. Proceedings of VI Hypothesis - International Symposium, 8-12 May, Habana, Cuba, 336-341.
- De Philippis R., Vincenzini M. 2007. Produzione fotobiologica di idrogeno: stato dell'arte e prospettive di ricerca. In: Bordin A. (ed.): *Biocombustibili e biocarburanti*, 239-253. IPSOA - Wolters Kluwer Italia, Milano.
- De Philippis R., Bianchi L., Colica G., Bianchini C., Peruzzini M., Vizza F. 2007. From vegetable residues to hydrogen and electric power: feasibility of a two step process operating with purple non sulfur bacteria. *J. Biotechnol.*, 131S:S122-S123.
- Ferrari A., Brusa T., Rutili A., Canzi E., Biavati B. 1994. Isolation and characterization of *Methanobrevibacter oralis* sp. nov. *Curr. Microbiol.*, 29:7-12.
- International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook 2006*. <http://www.iea.org/>
- Vincenzini M., Materassi R., Tredici M.R., Florenzano G. 1982a. Hydrogen production by immobilized cells - I. Light dependent dissimilation of organic substances by *Rhodospseudomonas palustris*. *Int. J. Hydrogen Energy*, 7:231-236.
- Vincenzini M., Materassi R., Tredici M.R., Florenzano G. 1982b. Hydrogen production by immobilized cells - II.  $\text{H}_2$ -photoevolution and waste-water treatment by agar-entrapped cells of *Rhodospseudomonas palustris* and *Rhodospirillum molischianum*. *Int. J. Hydrogen Energy*, 7:725-728.
- Vincenzini M., Materassi R., Sili C., Balloni W. 1985. Evidence for a hydrogenase dependent  $\text{H}_2$ -producing activity in *Rhodospseudomonas palustris*. *Ann. Microbiol.*, 35:155-164.
- Vincenzini M., Materassi R., Sili C., Florenzano G. 1986. Hydrogen production by immobilized cells. III. Prolonged and stable  $\text{H}_2$  photoevolution by *Rhodospseudomonas palustris* in light-dark cycles. *Int. J. Hydrogen Energy*, 11:623-626.
- Vincenzini M., Tassinato G., Materassi R. 1989. Bioreattore a flusso verticale per cellule immobilizzate di microrganismi fotosintetici. Brevetto italiano No. 9368 A/89.
- Vincenzini M., Marchini A., Ena A., De Philippis R. 1997.  $\text{H}_2$  and poly- $\beta$ -hydroxybutyrate, two alternative chemicals from purple non sulfur bacteria. *Biotechnol. Letters*, 19:759-762.

# Innovazioni impiantistiche per la produzione e valorizzazione dell'olio di oliva nel rispetto dell'ambiente

Paolo Amirante<sup>\*1</sup>, Maria Lisa Clodoveo<sup>1</sup>, Alessandro Leone<sup>2</sup>, Antonia Tamborrino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Progettazione e Gestione dei Sistemi Agro-Zootecnici e Forestali, Università di Bari  
Via Amendola 165/a, 70126 Bari

<sup>2</sup>Dipartimento di Scienze delle Produzioni e dell'Innovazione nei Sistemi Agro-alimentari Mediterranei,  
Università di Foggia,  
Via Napoli 25, 71100 Foggia

Associazione Italiana di Ingegneria Agraria

---

## Riassunto

Le innovazioni tecnologiche degli impianti agroalimentari sono sempre più rivolte alla valorizzazione delle caratteristiche qualitative del prodotto elaborato nel rispetto dell'ambiente. La domanda dei consumatori registra, infatti, un progressivo interesse verso prodotti ad elevato valore edonistico, nutrizionale e salutistico. Le ragioni di questo fenomeno sono riconducibili essenzialmente al fatto che la scienza medica ha da tempo evidenziato gli effetti salutistici della dieta, con particolare riguardo a quella dei Paesi del Mediterraneo. Particolare attenzione viene, inoltre, rivolta alla tipicità delle produzioni, oltre, che al soddisfacimento delle caratteristiche di genuinità e di salubrità, che devono inquadrarsi prioritariamente con le condizioni pedoclimatiche ed agronomiche dei luoghi di produzione, in modo da rendere le caratteristiche dell'alimento differenziabili anche all'interno dello stesso areale produttivo, con l'esigenza di fornire la certezza della genuinità del prodotto finito, tendendo a favorire la produzioni in filiere corte, in cui all'interno della stessa azienda agricola si possa chiudere il ciclo di processo. Il sistema produttivo, oltre a garantire elementi di elevata qualità e ad alto valore aggiunto, deve consentire la certezza della tracciabilità di filiera, anche in areali relativamente estesi. L'attività di ricerca deve essere necessariamente interdisciplinare, in collaborazione con gli altri settori disciplinari e con le industrie costruttrici degli impianti, incentrando l'attenzione, da un lato sulle caratteristiche del prodotto e dall'altro sugli impianti innovativi, con l'introduzione dei nuovi sistemi di lavorazione nel rispetto dell'ambiente. La ricerca deve, pertanto, interfacciarsi con il territorio, in quanto, la progettazione di un impianto deve tener conto di tutta una serie di competenze che riguardano: la tutela ambientale, la sicurezza del lavoro, l'igiene della produzione, la tecnologia di processo, la tecnica impiantistica, l'ergonomia, la tecnica gestionale, l'urbanistica, gli aspetti edilizi, il marketing e la gestione finanziaria dell'attività produttiva. La normativa da applicarsi, ancorché in parte ancora ignorata, è ampia e di non semplice lettura interpretativa. Pertanto, la ricerca deve definire le caratteristiche degli impianti anche in una logica di successiva progettazione del singolo manufatto. In definitiva, l'impianto agroalimentare, normalmente collocato nelle aziende agricole o in prossimità delle stesse, oltre alla funzione economico-produttiva deve avere una funzione sociale ed ambientale che possa sottolineare una cultura di convivenza ecologica millenaria nel rispetto delle esigenze economiche del produttore.

*Parole chiave:* impianti di estrazione di olio di olive, frangitori, decanter, gramolazione, fenoli totali, componenti volatili, scambio termico.

## Summary

### INNOVATION IN OLIVE OIL PROCESSING PLANTS TO PRODUCE AN EXCELLENT OLIVE OIL AND TO REDUCE ENVIRONMENTAL IMPACT

The focus of technological innovations in agro-industrial plants has been more and more on promoting of quality aspects of the final product with the environment in mind. The consumer demand, in fact, indicates an increasing interest towards a product with high hedonistic, nutritional and health value. The reasons for this phenomenon are mostly due to the fact that medical science has demonstrated the benefits of a healthy diet, especially those benefits from a diet from Mediterranean countries. Thereby, particular attention is given to both the typical aspects of the production line and the health and authenticity requirements which must, above all, conform to the pedo-climatic

\* Autore corrispondente: tel.: +39 080 5443015; fax: +39 080 5443015. Indirizzo e-mail: paolo.amirante@agr.uniba.it

matic and agronomical conditions of the production area in order to differentiate the product, even from those found in the same production area. This, to assure the authenticity of the final product and therefore preference is given to the short production line where the whole production line can be carried out in the agricultural farm itself. The production system guarantees the elements necessary for high quality, with high value added, as well as assuring that the production line is traceable, even in relatively large extended areas. The research activities therefore must be in contact with other academic fields, collaborate with similar sectors and with plant manufacturers. Thereby concentrating on the one hand on the characteristics of the product, on the other hand on innovative plants and introducing new production systems that respect the environment. The research must therefore interface with the territory, in as much as, the developing of a plant must consider a series of matters such as: the environment, safety of the workers, hygiene standards of the product, process technology, plant technology, ergonomics, management techniques, town planning, building aspects, marketing and the financial aspects of the production line. The many laws that apply are partly non addressed and not easy to interpret. However, researches must define the characteristics of the plants, even if it consists of a step-by-step description of the manufacturing of a single plant. In conclusion, the agro-industrial plant which is usually found in agricultural farms or in the vicinity needs to have, besides an economic-productive function, also a social and environmental function in order to create a cohabitation between the more than a thousand year old environmental conditions and the economic demands of the producer.

*Key-words:* olive oil processing technology, crusher, decanter, malaxation, total phenols, volatile compounds, exchange heat.

## 1. Introduzione

Nel caso specifico della produzione dell'olio extra vergine di oliva, l'evoluzione della domanda alimentare richiede l'utilizzazione di impianti di estrazione sofisticati, che oltre a risolvere l'obiettivo di ottimizzare le rese di estrazione, devono tendere ad esaltare le caratteristiche qualitative del prodotto finale (Amirante P. et al., 2005a; Caruso et al., 1999; Amirante P. et al., 2005b; Saitta et al., 2000).

Pertanto, le industrie costruttrici di impianti e la ricerca scientifica devono tendere alla messa a punto di impianti che utilizzino tecnologie delicate con sistemi di lavorazione che siano anche flessibili, in modo da fornire oli robusti, cioè ricchi di sostanze che esaltino il gusto dell'amaro e del piccante (e cioè composti antiossidanti), ma che anche consentano di ottenere oli a bassa acidità e ricchi di composti aromatici (Baccioni, 2003; Amirante P. et al., 2006).

Gli impianti devono, quindi, essere dotati di diversi sistemi di frangitura e di gramolazione, anche sotto atmosfera inerte, e che abbiano la possibilità di lavorare con temperature e tempi di gramolazione controllati e con ridotte aggiunte di acqua e con la possibilità di essere dotati di sistema di acquisizione dei dati di lavorazione dell'olio, al fine di definirne la tracciabilità.

L'attività di ricerca interdisciplinare, svolta dalla Sezione Meccanica del Dipartimento PRO.GE.SA, in collaborazione con le industrie costruttrici di impianti oleari, ha permesso di

esaminare l'influenza dell'innovazione tecnologica sulla qualità dell'olio, incentrando l'attenzione, da un lato sulle caratteristiche reologiche delle olive e delle paste olearie e dall'altro sugli impianti innovativi, con l'introduzione dei nuovi sistemi di frangitura delle olive, nonché con sistemi di gramolazione controllata, come tempi, temperatura e superfici di scambio termico, sotto atmosfera d'aria o di gas inerti (Amirante P. et al., 2002; Amirante P. et al., 2005c; Amirante R. et al., 1998; Angerosa, 2000;).

Inoltre, sono stati messi a punto nuovi estrattori centrifughi a risparmio d'acqua, a  $\Delta n$  variabile e a cono corto (Amirante R. et al., 1999), nonché impianti di piccole dimensioni che possano essere utilizzati anche nell'ambito delle aziende agricole (Amirante P. et al., 2005).

La presente nota ha avuto lo scopo di valutare l'evoluzione della tecnologia impiantistica a partire dall'introduzione della prima linea continua, fino alle più moderne tecnologie che consentono di ottimizzare la qualità dell'olio extravergine di oliva.

## 2. Evoluzione tecnologica degli impianti di estrazione olearia

L'evoluzione della tecnologia di estrazione verso sistemi di lavorazione che eseguano il processo in modo automatico e senza il diretto intervento dell'uomo ha determinato una riduzione sensibile dell'impiego degli impianti a

pressione, che richiedono molta manodopera, per cui attualmente si tende ad utilizzare soltanto gli impianti continui che puntino all'utilizzo del sistema centrifugo per la separazione delle fasi (Amirante R. et al., 1998).

Il brevetto dell'utilizzo del decanter per l'estrazione centrifuga, presentato dall'Alfa Laval, per quanto riguarda il settore specifico dell'olio di oliva, nel 1962 ma approvato in Italia nel 1964, aveva per oggetto il "Sistema a funzionamento continuo per recuperare olio da una pasta costituita da sostanze vegetali finemente suddivise", e non prevedeva l'aggiunta di acqua di processo, ma l'eventuale riciclo delle acque vegetali; infatti, l'estrattore centrifugo è nato come macchina per separare per via centrifuga un solido da un liquido; tuttavia nella applicazione al settore oleario, durante le prime prove svolte in Toscana nella campagna olearia 1963-64 presso il frantoio Gonnelli (località Cascia Reggello in provincia di Firenze), sorse l'esigenza di aggiungere dell'acqua nella introduzione della pasta nel decanter (Amirante P., 1995).

L'applicazione del primo impianto continuo, attraverso la ricerca di campo, è stata sviluppata tenendo conto dei seguenti aspetti tecnologici:

- l'impianto doveva simulare il funzionamento dell'impianto a pressione e quindi non era previsto l'uso di aggiunta di acqua al decanter;
- la pasta olearia dopo la frangitura veniva scaricata nel cono di spiaggiatura e l'olio doveva scivolare nel piccolo tamburo (fig. 1);
- le rese dovevano essere accettabili e cioè simili a quelle conseguibili con l'impianto a pressione.

Pertanto, dopo qualche anno nel 1967, con l'aggiunta di acqua pari al 50-60% del peso delle olive, vennero commercializzati i primi impianti centrifughi continui (Amirante P. et al., 1995a).

Il passaggio dagli impianti a pressione a quelli continui, se da un lato risolveva il problema della manodopera e garantiva una maggiore igienicità al processo, tuttavia incrementava la produzione di acque di vegetazione da valori di circa 40-60 kg/100 kg di olive a valori di 80-120 kg/100 kg di olive, oltre ad incrementare l'umidità della sansa che passava dal 24-30% al 48-54% (Amirante P. et al., 1995b).

Tuttavia il processo continuo di estrazione si diffuse rapidamente, in quanto consentiva di



Figura 1. Decanter di prima generazione, con lungo cono di spiaggiatura e cilindro di piccole dimensioni.

Figure 1. Decanter of first generation with long cones for drainage cone and with cylinders of small dimensions.

conseguire un notevole vantaggio economico, rappresentato dall'eliminazione dei fiscoli (che essendo elementi notevolmente soggetti ad usura influiscono negativamente sui costi di estrazione) e delle operazioni di carico e scarico delle pile con conseguente risparmio di tempo.

Un ulteriore vantaggio è rappresentato dal fatto che la lavorazione a ciclo continuo elimina completamente la manipolazione da parte di operatori nelle fasi intermedie e riduce notevolmente l'impiego di manodopera, tanto che l'impianto può essere controllato anche da un solo operatore.

La necessità di contenere i consumi idrici per ridurre lo scarico delle acque reflue, la possibilità di migliorare la qualità dell'olio d'oliva, eliminando, nell'estrazione olearia, l'aggiunta di acqua di processo, nonché la notevole variabilità nel rapporto tra fase solida e fasi liquide (acqua ed olio) riscontrabile in lavorazione, hanno determinato l'esigenza di approfondire lo studio dei parametri costruttivi e funzionali dei decanter, al fine di ottimizzarne il funzionamento attraverso un più razionale dimensionamento costruttivo e fornire agli operatori del settore gli strumenti per migliorare il controllo e la gestione dei parametri operativi durante la fase di estrazione.

Per circa dieci anni le ditte costruttrici si impegnarono a modificare il nuovo impianto nelle diverse operazioni unitarie, ma principalmente ad ottimizzare l'estrazione centrifuga.

## 2.1 Studio teorico del decanter

Lo studio teorico della estrazione centrifuga è stato impostato sulla valutazione delle prestazioni delle macchine in relazione ai seguenti parametri:

- volume utile della centrifuga,
- geometria (profili) e materiali impiegati nella costruzione del decanter,
- velocità angolare,
- portata della pompa di alimentazione,
- caratteristiche reologiche della pasta,
- caratteristiche geometriche delle particelle da separare.

L'espressione analitica del moto relativo tra fluidi e particelle solide è stata ricavata come segue:

$$Q_s = 2 \cdot \frac{D_{50}^2 (\rho_s - \rho_l) g K_c}{18\mu} \cdot \frac{\pi (R_1^2 - R_2^2) L \omega^2}{g \ln \left( \frac{2R_2^2}{R_1^2 + R_2^2} \right)}$$

in cui, una particella solida di massa volumica  $\rho_s$  e volume  $V_s$ , sospesa in un liquido di massa volumica  $\rho_l$  e viscosità  $\mu_s$ , immessa in un campo centrifugo (corrispondente ad una velocità angolare  $\omega$  che si assume ovunque costante e pari alla velocità di rotazione del rotore e ad una distanza  $r$  dall'asse di rotazione) è soggetta alle azioni dinamiche dell'estrattore (Amirante e Catalano, 1993).

Il valore della portata del decanter è sintetizzato nella formula:

$$Q_s = 2v_{sg} \Sigma$$

in cui:

- il primo termine è la velocità di sedimentazione naturale  $v_{sg}$ , data dalla formula:

$$v_{sg} = D_{50}^2 \frac{(\rho_s - \rho_l) g}{18\mu}$$

- il secondo termine  $\Sigma$  è stato denominato "coefficiente dinamico di produttività", in quanto, fissate le condizioni standard di sedimentazione ( $t_r = t_s$ ), che rappresentano rispettivamente il tempo di ritenzione, espresso dalla seguente formula:

$$t_r = \frac{V}{Q} = \frac{V}{Q_s + Q_c}$$

e il tempo di sedimentazione nel decanter espresso da

$$t_s = \frac{18\mu \ln \left( \frac{2R_2^2}{R_1^2 + R_2^2} \right)}{2D_p^2 (\rho_s - \rho_l) K_c \omega^2}$$

Pertanto, il  $\Sigma$  rappresenta la grandezza, funzione delle caratteristiche cinetiche e geometriche del decanter, che determina la portata da richiedere alla pompa di alimentazione.

In definitiva, macchine che hanno lo stesso "coefficiente dinamico di produttività" ( $\Sigma$ ) dovrebbero lavorare con prestazioni capacitive uguali.

In base alle formule precedenti, per due differenti decanter con uguale capacità di lavorazione, si ottiene quindi:

$$\frac{V_1}{\Sigma_1} = \frac{V_2}{\Sigma_2} = \text{cost} = H_c$$

Pertanto,  $H_c$  è un indice che caratterizza in modo univoco la funzionalità della macchina; infatti all'aumentare di  $H_c$  aumenta il tempo necessario a completare la sedimentazione senza modifica alcuna nella qualità ottenibile. Tale parametro funzionale viene da noi denominato "altezza efficace di sedimentazione" (Amirante e Catalano, 1993).

## 3. Innovazioni costruttive dei frangitori e dei decanter a risparmio d'acqua e VDP

Successivamente, a partire dalla fine degli anni '75-80 iniziarono ad introdursi nuove tecnologie e cioè:

- prototipi di frangitori meccanici (brevetti di frangitori e molitori continui 1975-78);
- prima macchina denocciolatrice (1982);
- decanter a risparmio d'acqua (1992);
- primo decanter a giri differenziali variabili (1992) e sistemi di lavorazione a 2 e 3 fasi e a paste snocciolate;
- impianti automatici con gramole confinate (2003);
- impianti tecnologicamente avanzati per filiera corta (2004).

Analizzando sinteticamente gli effetti positivi di tali innovazioni sulle prestazioni degli impianti è possibile evidenziare quanto segue.

Le prove di confronto dei tre diversi sistemi di frangitura (frangitore a martelli, frangitore a dischi e molazza con finitore, cfr. fig. 2) consentono di verificare che si ottengono i seguenti risultati:

- una distribuzione di particelle di maggiori dimensioni e minor riscaldamento della pasta con il frangitore a dischi (curva A);
- una granulometria più fine, con possibili

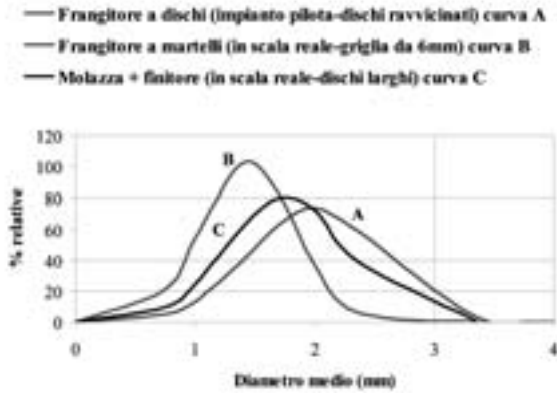


Figura 2. Distribuzione dimensionale dei frammenti di noccioline ottenuti con diversi sistemi di frangitura.

Figure 2. Distribution according to dimension of the pit fragments obtained from different crushing systems.

riscaldi per il frangitore a martelli (curva B);  
 – una granulometria maggiore ma più distribuita nelle diverse dimensioni per il sistema di frantumazione molazza+finitore, con minor riscaldamento, ma con maggiori tempi frantumazione e possibili ossidazioni (curva C) (Amirante e Catalano, 2000).

Le successive ricerche eseguite correlando le applicazioni dei nuovi sistemi di frangitura, con le nuove tecnologie a risparmio d'acqua e con un più corretto sistema di regolazione dei tempi e temperature di gramolazione hanno consentito di conseguire i seguenti risultati.

Gli incrementi della temperatura e della durata della gramolazione in termini contenuti, determinano un aumento della resa di estrazione in olio, qualunque sia il sistema di frantumazione delle olive impiegato.

Da numerose ricerche sperimentali svolte negli ultimi anni dal Dipartimento PRO.GE.SA, si evince che, all'aumentare della temperatura della pasta, in termini contenuti, si riduce la sua viscosità facilitando la successiva separazione delle fasi liquide mediante centrifugazione; tali effetti sono in genere mitigati se non risulta ben predisposto lo scambio termico. Inoltre, un prolungato tempo di gramolazione potrebbe favorire l'ossidazione dell'olio e la sua emulsione.

La riduzione della viscosità è, inoltre, ottenibile, dopo la gramolazione, attraverso una opportuna diluizione della pasta.

Tuttavia, oltre certi valori (50% circa) del contenuto totale di acqua nella pasta (fig. 3),

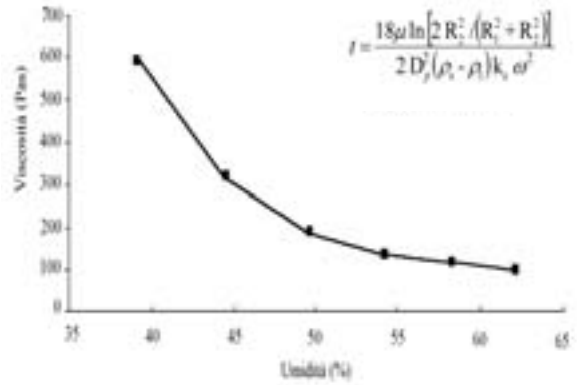


Figura 3. Andamento della viscosità della pasta olearia in funzione del suo contenuto in acqua.

Figure 3. The viscosity curve of the oil paste in function of its water content.

non si riscontrano variazioni importanti nel valore della viscosità; per contro, un eccesso di acqua aggiunta certamente comporta un peggioramento della qualità dell'olio estratto, conseguendo peraltro perdite di resa già da valori dell'aggiunta d'acqua pari al 30% (fig. 4) (Amirante R. et al., 1998).

Inoltre, anche gli incrementi eccessivi di temperatura e di durata dell'operazione di gramolazione influiscono negativamente sul tenore degli antiossidanti naturali presenti negli oli di oliva prodotti.

Infatti, l'incremento della temperatura di gramolazione determina, inizialmente, l'aumento del contenuto di fenoli dell'olio, le cui carat-

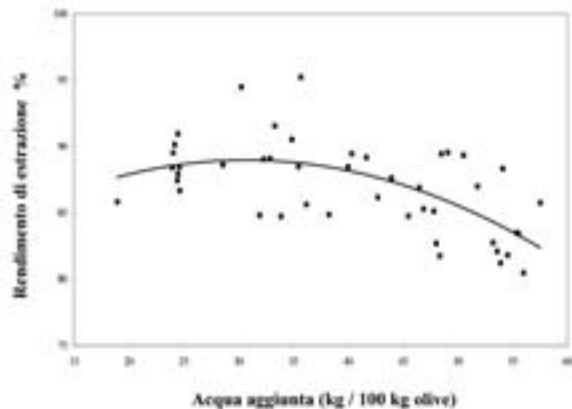


Figura 4. Influenza dell'aggiunta d'acqua sulla resa dell'olio estratto.

Figure 4. The influence of added water on the extracted oil yield.

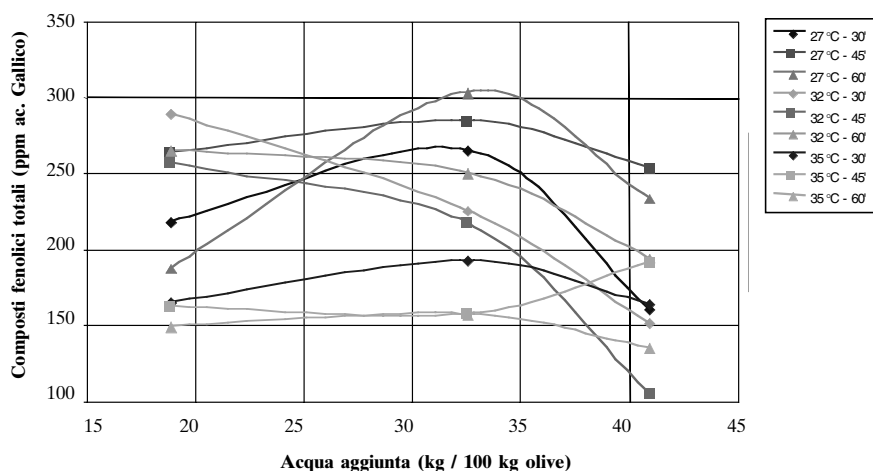


Figura 5. Influenza dell'aggiunta di acqua e dei parametri di gramolazione sulla qualità dell'olio estratto.

Figure 5. The influence of added water and the malaxation parameters on the quality of the extracted oil.

teristiche organolettiche, tuttavia, possono essere negativamente influenzate da valori troppo elevati (superiori a 30-35 °C) del parametro in esame (fig. 5).

L'aumento eccessivo della durata dell'operazione di gramolazione può determinare, invece, la riduzione del tenore di fenoli totali degli oli a causa della diminuzione della loro concentrazione, dovuta a fenomeni enzimatici aerobici di ossidazione e polimerizzazione, che, per la legge dell'equilibrio chimico, determinano anche la riduzione della concentrazione delle stesse sostanze negli oli (Amirante P. et al., 2000).

L'operazione di gramolazione, importante ai fini della resa in olio, deve essere opportunamente controllata, relativamente alla durata ed alla temperatura della pasta di olive, per conseguire risultati ottimali, anche sotto l'aspetto qualitativo delle produzioni olearie; pertanto, si stanno conducendo prove sperimentali con altre tecnologie per verificare una migliore efficacia del trattamento della pasta olearia attraverso un'azione congiunta di un migliore scambio termico e di una riduzione delle possibili ossidazioni, lavorando sotto un'atmosfera di gas inerte. Le suddette innovazioni tecnologiche potrebbero far rivedere le condizioni ottimali di tempi e temperatura di gramolazione.

Il decanter del tipo a risparmio d'acqua con scarico a tre fasi, dotato di sistema di regolazione della velocità differenziale coclea/tamburo, assistito da un meccanismo di controllo automatico, programmabile a diversi valori del  $\Delta n$ , consente le seguenti condizioni distinte di regolazione (Amirante P. et al., 1995):

- controllo della velocità differenziale tamburo/coclea ( $\Delta n$ );

- controllo della coppia (M) misurata sull'asse della coclea;
- controllo del rapporto  $M/\Delta n$ .

Su tale impianto, utilizzato in diverse condizioni di esercizio e con diverse varietà di olive, è stata condotta una sperimentazione dalla quale sono state tratte le seguenti considerazioni conclusive:

- all'aumentare del  $\Delta n$  è possibile aumentare l'umidità della sansa riducendo contestualmente le quantità di acque di vegetazione scaricate (fig. 6);
- esiste un valore limite massimo del  $\Delta n$ , in funzione delle caratteristiche costruttive del decanter, per cui è possibile ridurre a zero le acque di vegetazione scaricate (lavorazione a 2 fasi), ottenendo tuttavia sansa ad elevato tenore di umidità 59-62%;

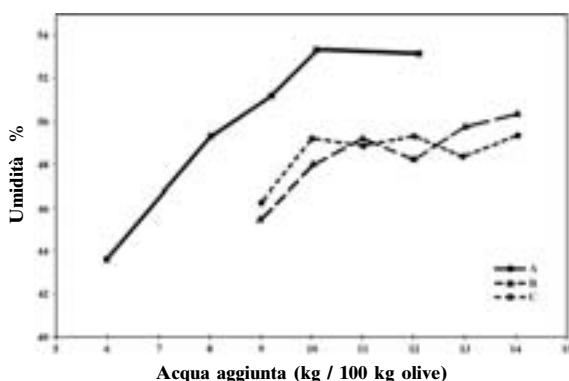


Figura 6. Andamento dell'umidità della sansa al variare del  $\Delta n$ .

Figure 6. The curve of pomace humidity to the variation of  $\Delta n$ .



- il residuo grasso delle sanse non subisce sensibili variazioni al variare del  $\Delta n$ , nel campo usualmente utilizzato per gli impianti a risparmio d'acqua ( $\Delta n$  compreso fra 9-15 giri/min) (fig. 6) (Amirante P. et al., 1995).

I decanter di vecchia generazione sono delle macchine molto rigide in termini di impiego, e gli unici parametri a disposizione degli operatori addetti all'estrazione sono limitati al controllo della portata di alimentazione della pasta e al livello di diluizione.

La messa a punto di macchine che permettono un controllo della velocità differenziale tra tamburo e coclea sulla pasta in fase di estrazione consente di ottimizzare in modo rapido e senza eseguire smontaggi le prestazioni operative della macchina e quindi di scegliere la portata di alimentazione, l'umidità della pasta, l'umidità della sansa e il volume di acqua di vegetazione che si intende produrre.

Le indicazioni fornite da uno studio teorico-sperimentale preliminare sull'estrazione centrifuga a risparmio d'acqua ha consentito di trarre importanti considerazioni sulla reale distribuzione delle dimensioni delle particelle solide e sul movimento del liquido chiarificato nella parte cilindrica del decanter.

Lo studio ha consentito di fornire indicazioni sulle modalità di regolazione dei parametri di funzionamento del decanter, in modo tale che lo spessore dell'acqua, che si interpone tra l'anello di olio e la sansa, sia tale da superare il limite di inversione del profilo delle velocità (fig. 7) (Amirante e Formato, 2003).

Tale aspetto, ha suggerito una analisi più accurata della zona del decanter coincidente con il cono di spiaggiatura al fine di ottenere una riduzione della quantità di olio presente nella sansa vergine prodotta.

Infatti, si è proceduto alla introduzione di barriere in prossimità della bocca di scarico del decanter, all'utilizzo di coclee a velocità variabile ed al miglioramento del profilo del cono di spiaggiatura; il tutto al fine di produrre un effetto aggiuntivo di separazione delle fasi liquide dalla matrice solida

I risultati di questo studio hanno permesso la messa a punto di una nuova serie di decanter con queste innovazioni costruttive, che, convengono un'ampia possibilità di regolazione delle condizioni di lavorazione, agendo sui seguenti parametri:

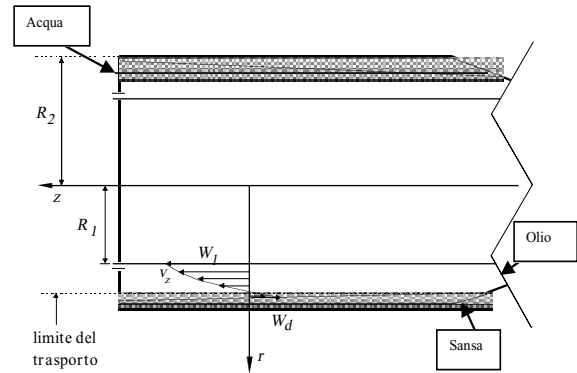


Figura 7. Profilo delle velocità delle diverse fasi all'interno del decanter.

Figure 7. Speed profile of the different phases inside of the decanter.

- volumi di acqua di processo e portata della pasta olearia;
- posizione ottimale del tubo di scarico della pasta all'interno del decanter;
- velocità differenziale della coclea rispetto al tamburo;
- livelli di scarico dell'acqua e dell'olio.

In tali decanter innovativi il rendimento di estrazione espresso come rapporto tra il grasso estratto nel processo produttivo e quello contenuto nelle olive, risulta essere sempre elevato, specie a bassa diluizione delle paste olearie.

Infatti, la modifica del profilo della coclea insieme agli accorgimenti costruttivi connessi, eseguiti sul cono di spiaggiatura (VDP-decanter con cono "stretto" a pressione dinamica variabile), permette di ridurre sensibilmente le perdite di grasso nella sansa, rispetto ai decanter di precedente costruzione, migliorando così il rendimento di estrazione (fig. 8) (Amirante R. et al., 1999).

L'effetto congiunto di tale modifica costruttiva, con la possibilità di regolare la velocità differenziale coclea/tamburo, utilizzando un rotismo epicicloidale compensatore, consente di ottenere le migliori prestazioni del decanter con basse diluizioni della pasta olearia (10-15 litri di acqua aggiunta per 100 kg di olive).

Inoltre la possibilità di ottenere elevati rendimenti, a bassa diluizione della pasta olearia, riducendo così l'acqua di processo aggiunta, consente di migliorare sensibilmente le caratteristiche qualitative dell'olio che, in tali condizioni operative, consegue un tenore più elevato di componenti minori.

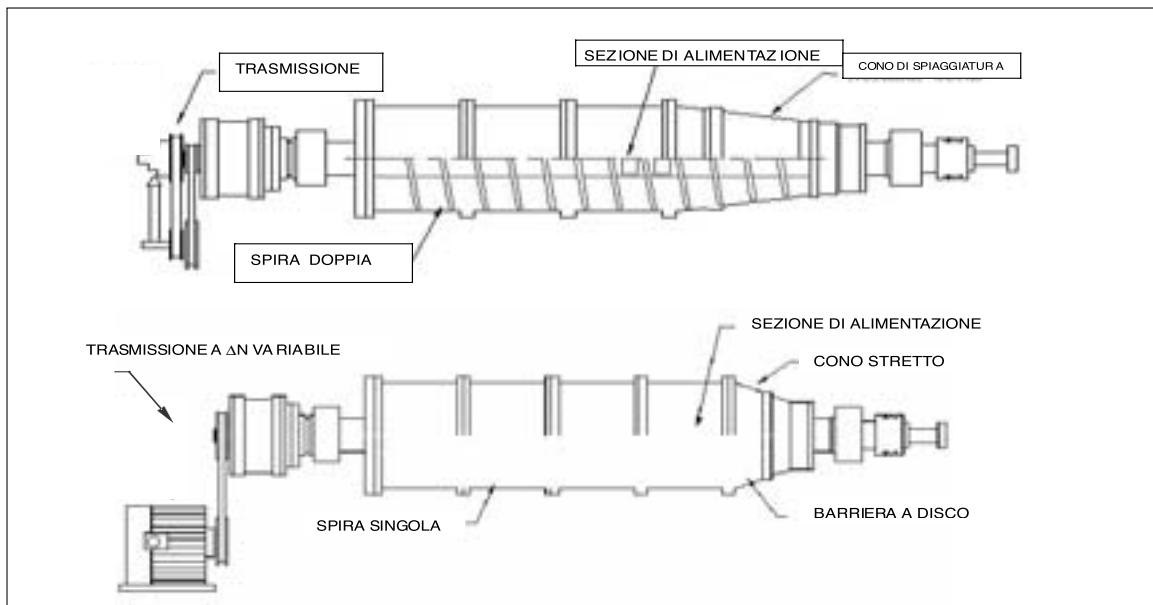


Figura 8. Decanter di vecchia concezione dove si può notare l'assenza del rotismo epicicloidale compensatore a controllo automatico, la spirale doppia, il punto di alimentazione della pasta quasi centrale e l'assenza di barriera per la dinamica compressione della pasta (sopra). VDP-decanter UVNX X20 in cui sono presenti le seguenti soluzioni costruttive innovative: velocità variabile della coclea con rotismo epicicloidale compensatore a controllo automatico, aumento del passo delle spirale, punto di alimentazione (sotto).

Figure 8. Old style decanter without the following construction details: epicyclic train system compensator with automatic control, double coil, the almost central positioning of the paste feeding point and the barrier for the paste dynamic compression (above). VDP-decanter UVNX X20 in which are present the following innovative construction details: variable speed of the cochlea with epicyclic train system compensator with automatic control, increase of the coil pitch, feeding point (under).

Il più ampio sistema di regolazione installato su questi decanter di terza generazione consente di ottenere risultati migliori al variare del rapporto tra le fasi liquide e quelle solide, ottimizzando, quindi, in modo rapido e senza eseguire smontaggi, le prestazioni operative, in rapporto alle caratteristiche reologiche della pasta olearia.

Inoltre, questi decanter consentono di ottenere prestazioni più elevate in un intervallo di portata della pasta più ampio rispetto ai valori indicati dalla ditta costruttrice, in quanto, a portate più elevate, aumentando la velocità differenziale coclea/tamburo, si rende possibile utilizzare sempre tutto il tamburo per una migliore separazione delle fasi liquide e delle frazioni minute della polpa, incrementando peraltro il tempo di residenza delle fasi liquide nel decanter.

Considerato che l'automatismo di comando della velocità differenziale, di cui dispone il decanter, consente di scegliere il valore ottimale

del  $\Delta n$  al variare della portata, a costanti caratteristiche reologiche della pasta (bassa o alta diluizione e grado di invaiatura delle olive), nelle figure 9 e 10 si sono riportati, estrapolandoli dai corrispondenti diagrammi generali, i valori ottimali del rendimento di estrazione al variare della portata.

La curva di correlazione tracciata nel diagramma di figura 9, riferita al decanter modello X20 sperimentato, evidenzia che in un intervallo di portata molto ampio (1800-2800 kg/h), agendo sul  $\Delta n$  si possono ottenere rendimenti elevati, superiori a quelli delle macchine non dotate di tale dispositivo, e pressoché costanti (Amirante R. et al., 1999).

La curva tracciata a media diluizione (fig. 10) evidenzia valori accettabili del rendimento per portate tra 1600 e 2800 kg/h, ma con sensibili riduzioni del rendimento per portate più elevate. Quindi è possibile affermare che l'effetto congiunto, di maggiore diluizione e maggiore portata, costituisce di fatto un incremento com-

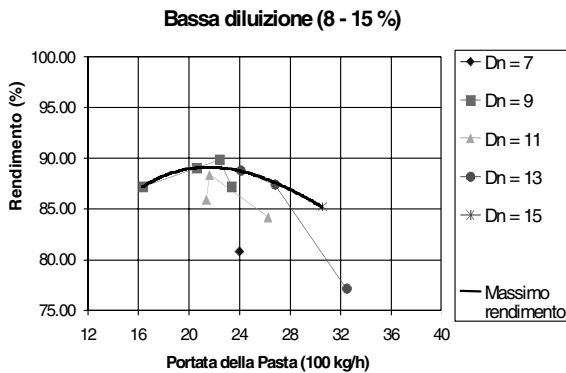


Figura 9. Andamento del rendimento di estrazione nelle prove effettuate sul decanter X20, in funzione della portata della pasta olearia per bassi valori della diluizione della pasta e per diversi valori del  $\Delta n$ .

Figure 9. The extraction performance curve in trials when decanter X20 was used in function of the ranges of oil paste for low values of paste dilution and for different values of  $\Delta n$ .

plessivo della portata totale e ciò agisce negativamente sulle prestazioni della macchina (Amirante R. et al., 1999).

Analizzando l'andamento del rendimento di estrazione in funzione della portata totale del decanter (somma della portata di pasta olearia e di quella dell'acqua di processo) per i due valori di diluizione, risulta evidente l'influenza del valore della diluizione della pasta olearia sul rendimento di estrazione; infatti, a parità di portata totale il rendimento diminuisce sensibilmente al crescere della diluizione ed esiste sempre un valore ottimale del  $\Delta n$  che consente di ottenere rendimenti sensibilmente elevati.

Inoltre, è possibile riscontrare che tali rendimenti raggiungono valori superiori all'85%, non facilmente ottenibili con altri decanter di precedente concezione costruttiva, mantenendo bassa la diluizione e regolando il  $\Delta n$  in un intervallo di valori compresi tra 9 e 13 giri/min, in funzione della portata della pasta al decanter che, per il modello sperimentato, può variare nell'intervallo 2000-2700 kg/h, superando la capacità massima di lavorazione garantita dalla ditta costruttrice.

Ai fini di una migliore gestione del processo non va trascurato l'aspetto delle riduzioni dei volumi delle acque di vegetazione prodotte.

Dall'esame dei grafici si riscontra altresì che le acque di vegetazione prodotte lavorando a basse diluizioni della pasta, sono contenute in

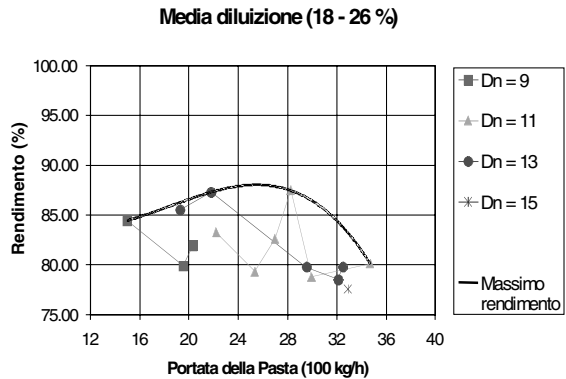


Figura 10. Andamento del rendimento di estrazione nelle prove effettuate sul decanter X20, in funzione della portata della pasta olearia per valori medi della diluizione della pasta e per diversi valori del  $\Delta n$ .

Figure 10. The extraction performance curve in trials when decanter X20 was used in function of the ranges of oil paste for low values of paste dilution and for different values of  $\Delta n$ .

valori del 30% (30 kg di acque di vegetazione/100 kg di olive), mantenendo l'umidità della sansa in termini del 50% circa (Amirante R. et al., 1999).

In conclusione, quindi, con le suddette innovazioni tecnologiche è possibile aumentare le rese di estrazione e le capacità di lavorazione a parità di lunghezza del tamburo, riducendo le acque di vegetazione e consentendo altresì di prevedere miglioramenti della qualità dell'olio estratto per la minore quantità di acqua di processo immessa nel decanter.

Dall'analisi delle figure 9 e 10 si possono trarre le seguenti ulteriori considerazioni:

- esiste sempre un valore di  $\Delta n$  che rende significativamente elevato il valore del rendimento per qualunque condizione di lavorazione delle olive (portata della pasta e sua diluizione);
- il  $\Delta n$  ottimale risulta crescente con la portata della pasta, sia in termini di rendimento che di grasso residuo nelle sansa per basse diluizioni, mentre per le medie diluizioni risulta, in genere, più conveniente utilizzare valori di  $\Delta n$  più elevati, in quanto la percentuale di acqua di processo aggiunta alla pasta influenza in modo significativo il valore della portata totale del decanter;
- le migliori condizioni operative, con rendimenti compresi nell'intervallo 85-90%, risultano quelle corrispondenti alle basse dilui-

zioni con portate della pasta che possono raggiungere valori elevati, anche leggermente superiori a 2500 kg/h e, comunque, nell'intervallo 2000-2500 kg/h.

L'impiego di decanter VDP con  $\Delta n$  variabile e del decanter a risparmio d'acqua ha consentito di proporre impianti innovativi con snocciolatrici ed altri sistemi di frangitura montati in parallelo.

Lo studio comparativo delle caratteristiche reologiche di paste di oliva ottenute con diversi sistemi di frantumazione, sia tradizionali, quali frangitore a martelli, molazza e frangitore a dischi dentati, che innovativi come la snocciolatrice, ha fornito utili indicazioni sugli aspetti costruttivi della macchina snocciolatrice, nonché precise indicazioni sui parametri di regolazione delle singole operazioni elementari del processo di estrazione.

La nuova filosofia dell'innovazione tecnologica nell'estrazione olearia è, quindi, indirizzata all'incremento della qualità dell'olio estratto, incrementando il contenuto in componenti minori, migliorando gli aspetti edonistiche, nutrizionali e salutistiche dell'olio prodotto.

Valutando il contenuto medio dei fenoli totali negli oli ottenuti con la tecnica della denocciolatura, si evidenzia una quantità superiore di circa del 10% rispetto all'utilizzo in fase di preparazione della pasta del frangitore. I risultati ottenuti impiegando la denocciolatrice confermano quindi, ciò che era già stato evidenziato in precedenti ricerche condotte dagli autori (Amirante P. et al., 2001; Amirante P. et al., 2002).

Come spiegato da Salas, Williams, Sanchez e Harwood nel 1999 il contenuto in fenoli negli oli estratti, impiegando la denocciolatrice, è maggiore rispetto alle tecnologie che prevedono la frantumazione dell'oliva intera, in quanto, insieme al nocciolo, vengono allontanati la maggior parte degli enzimi ossidoreduttasici localizzati soprattutto nella mandorla.

#### **4. Innovazioni costruttive per le lavorazioni flessibili nella filiera corta**

Le suddette innovazioni hanno consentito di rendere disponibili impianti flessibili con possibilità di montare sistemi alternativi di frangitura, gramolazione ed estrazione a due o tre fasi,

anche attraverso l'uso di sensori e relative schede di acquisizione dei dati, che consentono di monitorare e registrare su computer le modalità di estrazione, rendendo così possibile la tracciabilità del processo e di lavorare anche all'interno di aziende agricole, realizzando così processi di lavorazione a filiera corta.

Da questa ricerca è scaturito il primo prototipo di impianto, denominato OLIVER 500 (fig. 11), progettato e realizzato per consentire anche alle piccole e medie aziende olivicole di avere un proprio frantoio con il quale ottenere un prodotto di eccellenza, grazie alla dotazione di soluzioni impiantistiche di elevata tecnologia.

In tali condizioni produttive, le olive, fresche di raccolta, possono essere lavorate nell'impianto con alternative di processo e differenziazioni tecnologiche in grado di ottenere l'olio con le caratteristiche richieste. Questo impianto è dotato di due diversi sistemi di frantumazione delle olive (frangitore a dischi e denocciolatrice) e tre diversi sistemi di gramolazione (con esposizione all'aria, gramola confinata e sotto atmosfera di gas inerte), pertanto, con una preparazione della pasta più o meno delicata e variando la composizione dell'atmosfera dello spazio di testa della gramola, è possibile bilanciare la sintesi degli aromi con l'integrità del patrimonio antiossidante dell'olio. L'impianto è completato con un decanter dotato delle più recenti innovazioni tecnologiche e, lavorando a due fasi, con la successiva pulizia dell'olio con un separatore appositamente progettato, consente di ottenere un olio di elevata qualità, liberando l'a-



Figura 11. Impianto Alfa Laval OLIVER 500.

Figure 11. Alfa Laval OLIVER 500 plant.

zienda agricola dal problema di gestione delle acque si vegetazione.

Lo scopo del presente lavoro è stato quello di valutare le prestazioni del prototipo del mini decanter attraverso un confronto con un decanter industriale della serie X32. Le prove sono state condotte sia sulle paste integrali, utilizzando la molazza inserita nella linea di produzione della serie X32, sia sulle paste denocciolate. Dopo aver confrontato le rese in olio, in prove successive, è stata valutata l'influenza del sistema di frangitura e delle condizioni di gramolazione sulla qualità degli oli. Grazie alla ampia flessibilità della gramola in dotazione al mini frantoio è stata testata l'influenza della composizione dell'atmosfera a contatto con la pasta olearia. Sugli oli ottenuti sono stati valutati oltre ai parametri convenzionali, utilizzati per la classificazione merceologica (acidità, numero perossidi, assorbimento specifico nell'ultravioletto), anche la quantità di fenoli, responsabili delle proprietà antiossidanti dell'olio, e la quantità di composti volatili, che conferiscono al prodotto gli aromi gradevoli tipici di verde, fruttato ed erba appena tagliata.

#### *4.1 Scelta del sistema di frangitura: effetti sulla qualità dell'olio*

La presenza dei fenoli negli oli e la generazione dei composti volatili attraverso le reazioni di ossidazione degli acidi grassi polinsaturi sono aspetti fortemente condizionati dal sistema di frangitura delle olive. Nessun sistema di frangitura può essere considerato migliore di un altro, ma ciascuno determina effetti sul prodotto, positivi o negativi, in funzione della cultivar utilizzata.

Quando la drupa viene frantumata, i tessuti vegetali vengono lacerati, i compartimenti cellulari distrutti, quindi gli enzimi e i substrati che nella drupa integra erano confinati in spazi distinti si incontrano innescando le reazioni desiderate o indesiderate.

Nel caso dei composti fenolici, la frangitura libera gli enzimi quali le polifenolossidasi e le perossidasi che ossidano i fenoli riducendone la concentrazione nel prodotto finito. Nell'attività di ricerca svolta sono stati confrontati gli effetti della molazza e della denocciolatrice sulla quantità di fenoli presenti negli oli estratti. Al fine di escludere l'influenza dei fenomeni ossidativi che possono avvenire in fase di gramola-

zione, le prove sono state condotte saturando lo spazio di testa della gramola con azoto; ciò in quanto gli enzimi polifenolossidasi e perossidasi necessitano della presenza dell'ossigeno, che costituisce uno dei substrati della reazione. Per quanto riguarda i campioni estratti utilizzando la molazza, gli oli di Coratina presentavano un contenuto medio in fenoli pari a  $386 \pm 27$  ppm, mentre gli oli di Peranzana presentavano un contenuto medio in fenoli pari a  $278 \pm 36$  ppm. I campioni estratti utilizzando la denocciolatrice, per gli oli di Coratina, presentavano un contenuto medio in fenoli pari a  $463 \pm 29$  ppm, mentre per gli oli di Peranzana, presentavano un contenuto medio in fenoli pari a  $313 \pm 23$  ppm. Il contenuto in fenoli è maggiore negli oli estratti impiegando la denocciolatrice in quanto, insieme al nocciolo, vengono allontanati la maggior parte degli enzimi ossidoreduttasici localizzati soprattutto nella mandorla (Sala et al., 1999).

La frangitura mediante molazza, al contrario, favorisce l'ossidazione dei fenoli in quanto consiste in una lunga operazione di schiacciamento e rimescolamento delle drupe che espone un'ampia superficie della pasta olearia neoformata all'aria. In note precedenti gli autori hanno invece riportato i risultati di confronto tra la molazza e il frangitore a martelli: anche nel caso degli oli estratti con il frangitore si ha un contenuto in fenoli superiore rispetto agli oli ottenuti con la molazza, tuttavia in questo caso oltre all'aspetto riconducibile ad una minore esposizione all'ossigeno della pasta in fase di frangitura, c'è da considerare il danno termico che inattiva i pool enzimatici (sia gli enzimi con azione negativa che positiva); la pasta olearia, infatti, subisce un notevole riscaldamento dovuto alla grande energia rotazionale dei martelli che si converte in energia termica.

In generale, si può suggerire l'utilizzo della molazza qualora si lavorino cultivar molto ricche in fenoli che conferiscono all'olio un sapore eccessivamente amaro e piccante; questa scelta tecnologica consente di arrotondare il gusto dell'olio. Una frangitura più delicata del frangitore a martelli può essere ottenuta con il frangitore a dischi di cui è dotato anche il mini impianto. Se l'obiettivo è ottenere oli più armonici e più stabili nel tempo una soluzione conveniente è la denocciolatrice in quanto consente l'allontanamento, insieme alla mandorla, degli

enzimi responsabili dell'ossidazione dei fenoli e contemporaneamente, poiché non riscalda la pasta, preserva gli enzimi della via metabolica della lipossigenasi che vengono danneggiati dal calore. È chiaro che operando questa scelta tecnologica si deve tener conto delle lievi perdite di resa che possono essere però compensate da un elevato valore aggiunto del prodotto.

#### 4.2 Scelta del sistema di gramolazione: effetti sulla qualità dell'olio

La fase cruciale del processo di trasformazione, nella quale si può creare o distruggere la qualità, è la gramolazione, in quanto costituisce il momento in cui le reazioni enzimatiche avvengono con più facilità grazie ai tempi di impastamento ed alle temperature relativamente blande di riscaldamento della pasta di olive. Questa fase è anche decisiva per l'innalzamento delle rese che rappresenta sempre l'obiettivo più importante dall'attuale punto di vista dei produttori.

Durante la suddetta operazione si realizzano le condizioni che favoriscono lo svolgimento di diverse reazioni enzimatiche in concomitanza con variazioni notevoli delle proprietà reologiche della pasta olearia. La fase che precede la gramolazione, quindi la fase di frangitura, e quella che la segue, la separazione centrifuga, possono esaltare o ridurre gli effetti della gramolazione stessa.

L'attività di ricerca sviluppata ha avuto lo scopo di verificare l'influenza delle diverse condizioni operative sulla componente fenolica e sui composti volatili in particolare testando l'influenza della composizione dell'atmosfera a contatto con la pasta di olive in fase di gramolazione.

L'impianto dotato di gramola ermetica, è stato testato, in una prima fase, mantenendo la gramola aperta. Le successive ricerche sono state condotte chiudendo la gramola ermeticamente, mentre l'ultima fase della sperimentazione ha richiesto la saturazione dello spazio di testa mediante l'immissione di azoto. I risultati conseguiti possono essere così riassunti.

Quando la gramola è stata mantenuta aperta i campioni di olio analizzati mostravano per la cultivar Coratina un contenuto medio in fenoli di  $269 \pm 37$  ppm, mentre per la cv Peranzana un contenuto medio pari a  $181 \pm 23$  ppm. Gli oli estratti da paste denocciolate presenta-

vano rispettivamente  $307 \pm 21$  ppm per la cv Coratina e  $206 \pm 35$  ppm per la cv Peranzana. Tali valori erano inferiori di circa il 30 % rispetto ai risultati ottenuti con la gramola confinata e di circa il 40% rispetto agli oli ottenuti in atmosfera controllata.

Per quanto riguarda l'andamento dei componenti volatili, possiamo concludere che il quantitativo minore è stato riscontrato negli oli estratti dalla pasta di olive lavorata in gramola aperta rispetto alle altre due condizioni sperimentali. Tale effetto può essere ricondotto ad una fuga dei composti volatili neo formati nell'ambiente. Gli oli ottenuti con una gramolazione in atmosfera controllata, cioè in assenza di ossigeno, presentavano un profilo aromatico più povero sia nella quantità che nella qualità dei composti volatili. Tale risultato può essere spiegato alla luce del fatto che la sintesi dei composti volatili caratteristici dell'olio di oliva richiede la presenza di ossigeno.

Una prova supplementare ha riguardato il monitoraggio della concentrazione di ossigeno all'interno della gramola ermeticamente chiusa. Come è possibile osservare dalla figura 12, la concentrazione di ossigeno durante la gramolazione decresce progressivamente perché viene utilizzato dai sistemi enzimatici.

Monitorando il valore del numero di perossidi dell'olio estratto a tempi crescenti di gramolazione non si osserva una variazione significativa di questo parametro. Questo dato può essere spiegato alla luce del fatto che la lipossigenasi catalizza in una prima fase l'ossidazione dell'acido grasso polinsaturo nel corrispondente idroperossido; in una seconda fase l'enzi-

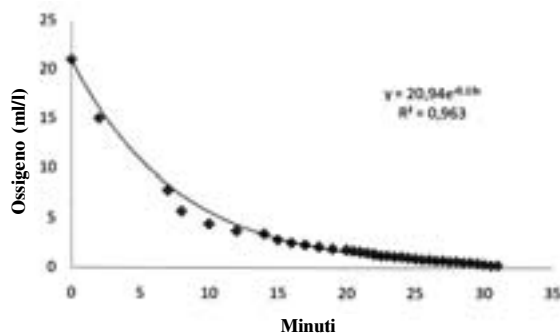


Figura 12. Concentrazione di ossigeno monitorato all'interno della gramola ermetica durante il rimescolamento della pasta olearia.

Figure 12. Oxygen concentration monitored inside of hermetic malaxer during heating of oil paste.

ma idroperossido liasi spezza l'idroperossido precedentemente ottenuto in due parti, producendo un aldeide volatile e un ossiacido non volatile (Salas e Sanchez, 1999). Il numero di perossidi probabilmente non aumenta in quanto l'idroperossido liasi possiede un'attività molto più elevata della lipossigenasi e quindi riesce a consumare immediatamente gli idroperossidi neoformati. Questa ipotesi è stata già dimostrata sulle cultivar Leccino (Commessatti, 2005). Ciò significa che l'ossigeno viene sequestrato con molta rapidità dagli enzimi che ossidano i fenoli e producono aromi e non si rende disponibile per la reazione di autossidazione degli acidi grassi.

I vantaggi conseguiti dall'utilizzo della gramola ermetica riguardano sia la componente fenolica che aromatica; da un lato gli enzimi che determinano la degradazione ossidativa dei fenoli vengono progressivamente inibiti dalla diminuzione della concentrazione di ossigeno; dall'altro i composti volatili di neoformazione che si originano dal pathway della lipossigenasi vengono confinati nella gramola e non si disperdono nell'ambiente circostante come nel caso delle gramole aperte. Saturando, invece, lo spazio di testa della gramola con azoto vengono inibiti gli enzimi che determinano la degradazione ossidativa dei fenoli, ma l'olio ottenuto risulta meno ricco di aromi poiché viene a mancare l'ossigeno che è uno dei substrati della lipossigenasi (Amirante P. et al., 2005).

#### 4.3 Prestazioni funzionali dell'impianto per filiera corta

Al fine di verificare il reale stato di funzionamento dell'impianto sono state effettuate prove sperimentali di confronto tra il mini decanter OLIVER 500 e il decanter industriale modello X32. Entrambi i decanter sono stati testati utilizzando paste integrali e paste denocciolate. Note scientifiche precedenti hanno già dimostrato sui decanter industriali che, per ogni valore di  $\Delta n$  esiste un valore di portata che consente di ottenere la massima resa (Amirante P. et al., 2000; Amirante P. et al., 2002). Prove analoghe sono state condotte sul mini decanter al fine di valutare come varia la resa di estrazione in olio al variare della portata della pasta olearia in ingresso nella centrifuga. Lo scopo di tali prove è dunque l'individuazione della portata ottimale di lavorazione del decanter. Le

prove condotte in un triennio su paste integrali hanno mostrato che le portate che sono molto influenzate dalle caratteristiche delle olive.

Infatti, nelle prove eseguite sulle varietà Coratina e Peranzana, i valori delle capacità di lavorazione sono variati, per lavorazioni eseguite su paste integrali da 360 a 760 kg/h ed hanno mostrato che il mini impianto garantisce rese paragonabili a quelle di un impianto industriale.

Nelle prove eseguite su varietà difficili, Ogliarola salentina e Cellina di Nardò, i valori delle capacità di lavorazione per prove condotte su paste integrali hanno consentito di ottenere portate variabili da 360 a 460 kg/h, riscontrando, altresì, che il mini impianto garantisce rese paragonabili a quelle di un impianto industriale. La portata del mini decanter con paste integrali ha conseguito valore lievemente inferiori di circa il 10%.

## 5. Conclusioni

La ricerca sviluppata dalla sezione meccanica del Dipartimento PRO.GE.SA in collaborazione con le ditte costruttrici di impianti di estrazione, ha consentito la messa a punto di tecnologie di estrazione innovative che tendono all'utilizzo di impianti sia di piccole dimensioni per filiere corte, sia di sempre maggiori capacità di lavorazione, non inferiori a 2-5 t/h per filiere destinate alla produzione di oli standard, con sistemi di regolazione dei parametri di processo molto flessibili, che possano anche consentire l'automazione dei sistemi di regolazione del processo.

La valutazione disgiunta delle operazioni elementari che definiscono il processo di estrazione ha consentito di constatare l'esigenza di monitorare in modo continuo le operazioni di frangitura, di gramolazione e di estrazione; tuttavia è opportuno puntare a sistemi di frangitura che riducano la ruvidezza delle paste e su tempi e temperature di gramolazioni in limiti contenuti e tali da non favorire i processi di ossidazione dell'olio; inoltre, nella estrazione con decanter è indispensabile ridurre l'acqua di processo aggiunta e utilizzare estrattori che consentano una adeguata regolazione dei parametri di processo.

L'estrazione dell'olio extravergine di oliva da paste snocciolate, di cui si è, anche, riferito nella presente nota, consente attualmente di es-

sere eseguita con impianti in scala reale con portate 2-2.5 t/h che garantiscono una qualità dell'olio decisamente elevata.

La ricerca, svolta nelle recenti campagne olearie, ha fornito utili indicazioni sugli aspetti costruttivi della macchina denocciolatrice, nonché precise indicazioni sui parametri di regolazione delle singole operazioni elementari del processo di estrazione.

Inoltre, si è riscontrata una buona efficienza dell'impianto con rese di estrazione ottimali, anche in relazione al differente bilancio di massa ed alle modificate caratteristiche reologiche della pasta olearia ottenuta con la macchina denocciolatrice.

La nuova filosofia dell'innovazione tecnologica nell'estrazione olearia è, quindi, indirizzata all'incremento della qualità dell'olio estratto, riducendo la degradazione dei trigliceridi ed incrementando il contenuto in componenti minori nell'olio, al fine di preservare le sue caratteristiche chimico-fisiche, migliorandone le qualità edonistiche, nutrizionali e salutistiche.

Il proseguimento delle attività di ricerca eseguite congiuntamente a ditte costruttrici e ai produttori sarà indirizzato alla modifica di alcune operazioni elementari per aumentare l'estrazione di quei componenti minori che contribuiscono a caratterizzare la qualità dell'olio estratto e alla messa a punto di impianti di piccole dimensioni dotati sistemi di lavorazione tecnologicamente avanzati e flessibili destinati alla produzione di oli di alta gamma e di areali produttivi ben definiti, garantendo una sicura rintracciabilità della zona di produzione dell'olio.

## Bibliografia

- Amirante P., Catalano P. 1993. Analisi teorica e sperimentale dell'estrazione dell'olio di oliva per centrifugazione. *Rivista Italiana Sostanze Grasse*, LXX:329-336.
- Amirante P. 1995. Qualità, produttività e ambiente: aspetti inscindibili della nuova tecnologia olearia. Atti del Convegno di studi "Il vino e l'olio: la meccanizzazione, l'imprenditorialità ed il mercato", 20-23 giugno 1995, Trapani.
- Amirante P., Colelli G., Greco L. 1995a. Valutazione degli aspetti produttivi e qualitativi degli impianti di estrazione olearia in provincia di Lecce. Seminario di studio della II e VI Sezione Tecnica dell'AIIA. Selva di Fasano.

- Amirante P., Di Renzo G.C., Colelli G. 1995b. Estrazione centrifuga con controllo in continuo dei parametri operativi. Atti del Convegno di Studi "Il vino e l'olio: la meccanizzazione, l'imprenditorialità ed il mercato", 20-23 giugno 1995, Trapani.
- Amirante P., Baccioni L., Clodoveo M.L. 2000. La qualità degli oli vergini in funzione delle macchine utilizzate per la preparazione della pasta di olive. *Rivista Imbottigliamento*, 1/2000.
- Amirante P., Catalano P., Amirante R., Montel G.L., Dugo G., Lo Turco V., Baccioni L., Fazio D., Mattei A., Marotta F. 2001. Estrazione da paste snocciolate. *Olio & Olio*, 4:48-58.
- Amirante P., Catalano P., Amirante R., Clodoveo M.L., Montel G.L., Leone A., Baccioni L. 2002. Prove sperimentali di estrazione di oli extravergini di oliva da paste snocciolate. *Olio & Olio*, 5, 6:16-22.
- Amirante P., Formato A. 2003. Influenza della ricerca applicata sulla innovazione tecnologica dell'industria agro-alimentare. 16-17 ottobre 2003, Anacapri.
- Amirante P., Baccioni L., Clodoveo M.L., Dugo G., Leone A., Tamborrino A. 2005a. Prove sperimentali di estrazione olearia con un nuovo mini impianto gestibile nelle aziende agricole: un caso di filiera corta. *Olio & Olio*, 5, 6:16-22.
- Amirante P., Clodoveo M.L., Dugo G., Leone A., Tamborrino A. 2005b. "Advance technology in virgin olive oil production from traditional and de-stoned pastes: influence of the introduction of a heat exchanger on oil quality" in *Food Chemistry*. Available on line in <http://www.sciencedirect.com/>. *Food Chemistry*, 98:797-805.
- Amirante P., Clodoveo M.L., Leone A., Dugo G., Pollicino D., Lo Turco V., Tamborrino A. 2005c. Virgin olive oil from de-stoned paste: Introduction of a new decanter with short and variable dynamic pressure cone to increase olive oil yield. *EFFoST 2005 IN-TRAFOOD 2005 - Innovations in Traditional Foods Polytechnical*, 25-28 October 2005, University of Valencia, Spain, vol. II, 1183-1186.
- Amirante P., Baccioni L., Clodoveo M.L., Leone A., Tamborrino A. 2006. L'impiego delle più recenti innovazioni impiantistiche per la valorizzazione dell'olio da olivi secolari: un esempio di tutela paesaggistica a salvaguardia di un patrimonio storico e culturale. *Olive e Olio*, in stampa.
- Amirante R., Baccioni L., Catalano P. 1998. Analisi teorico-sperimentale dell'estrazione olearia a risparmio d'acqua dell'olio di oliva da paste snocciolate. Atti del Convegno Nazionale dell'AIIA, 11-12 settembre, Ancona.
- Amirante R., Baccioni L., Catalano P., Montel G.L. 1999. Nuove tecnologie per l'estrazione dell'olio di oliva: il decanter a cono corto a pressione dinamica variabile e controllo della velocità differenziale tamburo/coclea. *Rivista Italiana Sostanze Grasse*, 76:129-140.
- Amirante R., Catalano P. 2000. Fluid dynamic analysis of the solid-liquid separation process by centrifuga-



- tion. Journal of Agriculture Engineering Research, 77, 2:193-201.
- Angerosa F., Mostallino R., Basti C., Vito R. 2000. Virgin olive oil odour notes: their relationships with volatile compounds from the lipoxygenase pathway and secoiridoid compounds. Food Chemistry, 68, 3:283-287.
- Baccioni L. 2003. Alcune riflessioni sulle filiere olivicole di competitività di costo e di premio di prezzo. Atti della Giornata di Studio: Innovazione tecnologica e qualità dell'olio extra vergine di oliva. Foggia, 1-6.
- Caruso D., Berra B., Giovanini F., Cortesi N., Fedeli E., Galli G. 1999. Effect of virgin olive oil phenolic compounds on in vitro oxidation of human low density lipoproteins. Nutrition Metabolism and Cardiovascular Diseases, 9:102-107.
- Commessatti A. 2005. Le caratteristiche organolettiche dell'olio di oliva. Notiziario ERSA, vol. 2, 17-19.
- Saitta M., Lo Curto S., Di Bella F., Salvo F., Dugo G. 2000. Identificazione di composti fenolici in oli di oliva mediante G. HRGC-MS/MS. Atti del IV Congresso Nazionale di Chimica degli Alimenti, 28-30 giugno 2000, Ferrara, 21.
- Salas J.J., Sanchez J. 1999. Hydroperoxide lyase from olive (*Olea europaea*) fruits. Plant science, 143:19-26.
- Salas J.J., Williams M., Harwood J.L., Sanchez J. 1999. Lipoxygenase Activity in Olive (*Olea europaea*). Fruit Journal of American Oil Chemist's Society, 10:1163-1168.



# Alimenti e salute – Il contributo dell’Economia agro-alimentare

Franco Baraldi, Maurizio Canavari, Domenico Regazzi\*, Roberta Spadoni

Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna  
Viale G. Fanin 50, 40127, Bologna

Società Italiana di Economia Agro-alimentare

---

## Riassunto

L'analisi del rapporto tra alimentazione e salute secondo le dimensioni innovazione, sicurezza e benessere viene svolta considerando la prospettiva degli economisti agro-alimentari. Relazioni e significati sono affrontati definendo quindi coerentemente il campo di osservazione e le scelte adottate. Lo strumento utilizzato per l'indagine è un'originale analisi quali-quantitativa dei contributi degli economisti italiani (pubblicazioni, convegni) inerenti all'ambito di studio. In particolare si sono esaminati i contributi pubblicati in alcune delle principali riviste italiane del settore, i convegni organizzati a livello nazionale ed europeo dalle principali società scientifiche. Si propone una classificazione coerente con l'analisi, temporalmente limitata agli ultimi 8 anni. Tale classificazione diviene il database strumentale allo studio. La classificazione adottata per l'analisi dei contributi di ricerca si è avvalsa di ricerche analoghe svolte in ambito internazionale. Dalla lettura di tali studi è stato possibile elaborare e definire un modello di riferimento originale, funzionale agli obiettivi della relazione. Dall'analisi del database scaturiscono informazioni multiple relative: alla tipologia di indagini svolte (*case study*, bibliografiche, settoriali, ecc.), ai filoni di ricerca maggiormente percorsi (ambito produttivo, fase al dettaglio, fase al consumo, ecc.), alla tipologia di metodologie adottate (quantitative, qualitative, ecc.) e alla loro classificazione, al destinatario della ricerca (ricerca pura, decisore pubblico, imprese, ecc.). I risultati sono espressi secondo differenti approcci e strumenti considerando anche le possibili variabili esogene presenti nella realtà. L'analisi ha permesso di individuare quali sono gli ambiti di ricerca che interessano il rapporto tra alimenti e salute nei quali sono maggiormente coinvolti gli economisti agro-alimentari. Inoltre, è stato possibile descrivere quali, a nostro avviso, sono, potrebbero, o dovrebbero essere gli sviluppi delle ricerche in materia, evidenziando i limiti e le prospettive.

*Parole chiave:* alimenti, salute, ricerca, economia agro-alimentare, analisi qualitativa.

## Summary

### FOOD AND HEALTH-CONTRIBUTE OF AGRI-FOOD ECONOMICS

The analysis of the relationship between food and health in a context of innovation, safety and welfare is carried out considering the view of agri-food economists. Relationships and meanings are addressed defining by the scope of observation and choices. We adopt a qualitative and quantitative analysis of the scientific contributions of Italian economists (publications, conferences, etc.) in this field. In particular we have examined the contributions published in some of the main Italian journals and the conferences organized in Italy and in Europe from the major scientific societies. We propose a classification that is consistent with the analysis and is in the span of time 2000/2007. The classification adopted for the analysis of the contributions of research exploits similar research carried out at the international level. By reading these studies we were able to process and define a model to interpret findings of the previous literature. An analysis of database information is useful to study: the type of investigation (case study, bibliographic, sectorial, generic, etc.) the branches of more diffused research (field production, retail, consumption, etc.), the types of adopted methodologies (quantitative, qualitative, etc.), the involvement among research groups (universities, public and private institutions, involvement of foreign researchers, etc.), the beneficiaries of research (pure research, policy makers, businesses, etc.). The results will be expressed on the basis of different approaches, tools and considering the possible exogenous variables affecting reality. The analysis will allow to identify the areas of research which involve the relationship between food and health and in which agri-food economists are more involved. In addition, we can describe the most promising areas of research which should be undertaken or strengthened. Attention will be placed also in highlighting the link between research and production in the broadest sense, to gather information about the level of its appropriateness.

*Key-words:* food, health, research, agro-food economy, qualitative analysis.

\* Autore corrispondente: tel.: +39 051 2096105; fax: +39 051 2096106. Indirizzo e-mail: domenico.regazzi@unibo.it

## 1. Contesto ed obiettivi

Il presente studio si propone, come obiettivo generale, di mettere in evidenza il contributo degli economisti agro-alimentari italiani allo sviluppo delle ricerche in materia di relazione tra alimenti e salute<sup>1</sup>. In particolare, vengono considerati quegli argomenti che possono essere ricondotti ai concetti di innovazione, di sicurezza e di benessere degli individui e degli animali. La definizione del contesto è in questo caso particolarmente utile e sviluppata, perché strumentale alla condivisione dei percorsi logici fondanti le scelte metodologiche adottate e al dominio dell'oggetto di ricerca.

Il termine alimento, che deriva dal latino *alo* "faccio crescere", oltre ad indicare sostanze che rispondono ai bisogni di sostentamento biologico, ha acquisito, ove queste esigenze primarie siano superate, ulteriori significati di tipo culturale e simbolico. L'alimentazione è quindi fondamentale per la salute e strettamente connessa con lo sviluppo di tutti gli aspetti fisici, emotivi, mentali e spirituali dell'uomo. Infatti, anche la parola dieta significa (dal greco) "modo di vivere", ed in particolare "stile di vita confacente alla salute". Il significato oggi generalmente accettato del termine salute come "stato di completo benessere fisico, psichico e sociale e non semplice assenza di malattia" (OMS), chiarisce ulteriormente che occuparsi di alimenti significa anche studiare gli effetti che essi hanno sulla salute; essa può quindi essere intesa come un'insieme di fabbisogni da soddisfare, anche molto diversi tra loro. Il rapporto tra alimenti e salute verrà qui analizzato considerando i tre ambiti dell'innovazione, sicurezza e benessere. Anche in questo caso è molto utile richiamare il significato di tali parole. Se per innovazione la comprensione risulta immediata e condivisibile, si ritiene sia necessario specificare a quale accezione di sicurezza alimentare si fa riferimento e chiarire l'interpretazione del termine benessere. La sicurezza alimentare viene spesso considerata una definizione ambigua essendo usata sia per indicare la sicurezza igienico-sanitaria degli alimenti (*Food Safety*), sia la sicurezza della disponibilità di alimenti per la popolazione o che approvvigionamenti non vengano volontariamente contaminati a fini terroristici (*Food Security*); si è scelto di considerare entrambi i significati. Il benessere viene defini-

to come "stato emotivo, mentale, fisico, sociale e spirituale di ben-essere che consente alle persone di raggiungere e mantenere il loro potenziale personale nella società" (European Observatory on Health Systems and Policies, 2001). Dall'accezione che faceva coincidere il benessere con la salute (assenza di patologie), nel tempo si sono coinvolti tutti gli aspetti dell'essere (fisico, emotivo, mentale, sociale e spirituale). Il concetto di "ben-essere" è in continua evoluzione perché legato all'attuale livello di soddisfacimento dei bisogni e dall'emergenza di nuove esigenze.

L'analisi del rapporto tra alimenti e salute da un punto di vista economico ha insito nella sua definizione i concetti di allocazione delle risorse, scelta e massimizzazione della soddisfazione. È quindi particolarmente complessa in quanto coinvolge non solo le ripercussioni delle scelte degli aspetti tecnologici e produttivi, ma anche quelle relative alle politiche, all'ambito sociale e al comportamento degli individui.

Pur considerando tale complessità, il nostro raggio d'azione è limitato ad un ambito specifico: oggetto d'indagine è il sistema agro-alimentare nelle sue diverse fasi di produzione, trasformazione/commercializzazione e consumo e le analisi in materia che considerano principalmente il rapporto tra alimenti e salute. In tali analisi, gli studi possono riguardare gli effetti delle scelte operate dai soggetti interessati, considerando le specificità proprie delle fasi suddette: nella fase alla produzione il concetto di scelta è evidente nel momento in cui, sia a livello micro che macro, ci si pongono le domande come "cosa produrre? Come produrre? Quale impatto avranno tali scelte sull'ambiente?, ecc."; nella fase successiva della trasformazione si evidenziano le implicazioni relative a scelte sul quando e sul come (ad es. la scelta delle tecnologie da adottare deve passare attraverso un'analisi dei costi e delle alternative, oppure tutte le scelte conseguenti alle analisi di

---

<sup>1</sup> La scelta di considerare solo i contributi degli economisti agroalimentari italiani è stata dettata dalle motivazioni per cui lo studio è stato effettuato: evidenziare lo stato dell'arte delle attività delle Società socie dell'AISSA (Associazione Italiana Società Scientifiche Agrarie) e limitare lo studio al loro ruolo nello sviluppo delle ricerche in materia.

mercato). Per quanto riguarda la commercializzazione, potrebbero interessare le implicazioni dell'adozione di regole specifiche sia nel mercato interno, sia per l'*import/export*; nella fase al consumo, sono evidenti le scelte relative agli aspetti nutrizionali, gustativi e alla salubrità dei prodotti, alla loro modalità di conservazione, al sistema di comunicazione e di diffusione delle informazioni, alle ripercussioni sociali e psicologiche delle scelte del consumatore ed infine all'analisi della soddisfazione.

Oltre a considerare le diverse fasi del sistema agro-alimentare, l'analisi del rapporto alimenti e salute deve valutare gli effetti del condizionamento di altre variabili come il tempo, la tipologia d'effetto e l'evoluzione della comunicazione. La variabile *temporale* genera effetti sul cambiamento degli aspetti economici e sociali e sull'evoluzione di concetti, come quello di salute (da mancanza di malattie a tutela complessiva dell'uomo e prevenzione) e nelle percezioni ad essi associate; inoltre nel tempo si possono verificare eventi "traumatici" che alterano, da quel momento la situazione precedente (ad es. lo scandalo del vino al metanolo nel 1986 modificò profondamente il mercato vitivinicolo italiano; la BSE, cd. malattia della "mucca pazza", dieci anni più tardi provocò cambiamenti nelle scelte d'acquisto dei consumatori e di conseguenza dell'intero sistema produttivo). Le analisi devono tenere in considerazione che le modalità di produzione e le caratteristiche degli alimenti possono avere un *effetto* diretto sulla salute (ad es. salubrità del prodotto ed elementi che la tutelano) ed altre invece hanno influenza indiretta, ad esempio sull'ambiente. *La generazione, lo sviluppo e la gestione delle informazioni e della comunicazione* influenzano pesantemente gli effetti delle scelte e degli eventi, soprattutto nell'attuale periodo storico che ha registrato il consolidarsi della società della conoscenza e dello sviluppo delle ICT (Information and Communication Technologies), con tutte le conseguenze positive e negative che ne derivano.

La complessità della materia richiede a chi si occupa di fare ricerca in tali ambiti di rispondere in modo adeguato alla richiesta di comprensione dei fenomeni passati, in atto e futuri, legati al continuo evolversi delle implicazioni tra alimenti e salute. Queste esigenze vedono gli economisti agroalimentari impegnati a consolidare il loro ruolo di "ricercatori" abitua-

ti da sempre a confrontarsi con gli operatori del settore e a fare i conti con una inevitabile e necessaria contaminazione con discipline molto diverse tra loro. Per fornire alcune indicazioni sull'evoluzione delle scelte di ricerca operate dagli economisti, ovviamente influenzate anche da fattori esogeni al mondo della ricerca, il presente contributo ha come obiettivo specifico di presentare un'analisi preliminare dei contributi pubblicati dagli economisti agroalimentari su argomenti connessi al rapporto tra alimenti e salute per fare il punto sulla ricerca e fornire la base ad ulteriori approfondimenti.

La vastità degli approcci possibili e la complessità dell'analisi richiedono la definizione dei confini entro i quali tale studio si colloca, descrivendo coerentemente il campo di osservazione e le scelte adottate per non rischiare di apparire troppo parziali e superficiali.

## 2. Materiali e metodi

Lo strumento utilizzato per l'indagine è un'analisi bibliografica degli articoli pubblicati dagli economisti agroalimentari italiani nelle principali destinazioni editoriali per il settore ed inerenti all'ambito di ricerca in oggetto. In particolare si sono esaminati i contributi pubblicati su riviste italiane del settore e negli atti di convegni organizzati a livello nazionale ed europeo dalle principali società scientifiche italiane ed europee.

Si è deciso di limitare temporalmente l'analisi al periodo 2000-2007. Per la scelta delle collocazioni editoriali, sono state considerate le informazioni contenute nel documento redatto dal gruppo "Valutazione della didattica" della SIDEA - Società Italiana di Economia Agraria (2007). In tale documento è riportata una lista puntuale e completa delle riviste scientifiche su cui gli economisti agrari, italiani e non, hanno pubblicato negli ultimi periodi, contenente ben 151 riviste. In tale documento si mette in evidenza l'elevato potenziale di sbocchi per la divulgazione ma si registra anche che nella realtà gli economisti agrari concentrano la diffusione dei loro lavori solo su poche riviste. È per questa ragione che si è scelto di limitare l'analisi alle riviste, e agli articoli, in esse contenuti, che rispondessero ai seguenti requisiti:

- fossero il punto di riferimento all'interno della comunità scientifica di appartenenza italiana. In accordo con il gruppo che ha redatto il documento SIDEA, si è verificato che esistono due riviste che per tradizione rispondono a tale esigenza: la Rivista di Economia Agraria e quella di Economia Agro-alimentare. Quest'ultima, in particolare, è espressione della SIEA – Società Italiana di Economia Agro-alimentare;
- interpretassero la specificità dell'argomento del presente lavoro. Non sono state esaminate quelle riviste il cui fine si realizza sostanzialmente nella collezione di contributi incentrati principalmente od esclusivamente sul settore primario, degli aspetti istituzionali, politici o legislativi;
- assicurassero la presenza di *referee*, garanti del valore scientifico dei contributi;
- presentassero tra gli autori dei singoli contributi un economista agrario o agro-alimentare italiano.

Alle riviste si sono poi aggiunti gli atti di convegni pubblicati.

Al termine di questo processo di selezione si sono scelte le seguenti fonti: Rivista di Economia Agraria; Rivista di Economia Agro-alimentare; New Medit: Mediterranean Journal of Economics; atti di seminari e convegni SIDEA, SIEA, EAAE (European Association of Agricultural Economists).

La classificazione adottata per l'analisi dei contributi di ricerca si è basata su studi analoghi svolti in ambito nazionale (Casati, 2004; Cannata, 2001) e internazionale (Snow, Thomas, 1994; Martinez-Alcazar et al, 2008) ed è stato possibile elaborare e definire uno schema di riferimento originale, funzionale agli obiettivi della relazione.

Per non limitare ad un livello superficiale la classificazione dei contributi si è avvertita l'esigenza di adottare un criterio d'analisi che permettesse il superamento di un giudizio meramente soggettivo delle teorie/metodologie adottate nei contributi analizzati. Si è scelto di usare ed adattare (gli obiettivi sono diversi) la matrice proposta da Snow C.C. e Thomas J.B. (1994) per gli studi in Strategia Aziendale. In via originale, la matrice (tab. 1) è stata utilizzata per classificare, attraverso un codice di riferimento, i lavori in funzione del loro obiettivo (indicato con i numeri 1, 2 e 3 per indicare rispettivamente: descrittivo, esplicativo, predittivo) e del grado di sviluppo della teoria proposta e della metodologia adottata (rappresentate dalla lettera S). Ad ogni contributo i singoli autori della ricerca hanno assegnato il codice di riferimento, che è stato successivamente confrontato e discusso, pervenendo all'attribuzione definitiva della collocazione nella matrice.

La caratterizzazione degli articoli, oltre a basarsi su un primo livello di suddivisione presente nella Matrice di Snow e Thomas e riconducibile alla definizione delle ricerche in esplorative, descrittive, e confermate di ipotesi (Aaker et al., 1995), ha considerato nello specifico il metodo di indagine e conseguentemente di raccolta ed elaborazione dei dati: qualitativo, quantitativo, misto o quali-quantitativo. A questo secondo livello di classificazione è possibile definire un maggior dettaglio: le quantitative possono essere distinte in monovariate o multivariate. Le esplorative e descrittive possono essere essenzialmente ricondotte alla "costruzione della teoria/metodologia" descritte nella Matrice di Snow e Thomas. Le confermate di ipotesi attengono invece al *theory testing*. Per il

Tabella 1. Matrice per la classificazione dei contributi in base alla metodologia/teoria applicata (fonte: adattato da Snow, Thomas, 1994; Martin-Alcazar et al., 2008).

Table 1. Contribute classification matrix according to applied methodology/theory (source: adapted from Snow, Thomas, 1994; Martin-Alcazar et al., 2008).

	Descrittivo	Esplicativo	Predittivo
Costruire metodologie/teorie	S1P1-identificare elementi chiave e variabili	S1P2 stabilire le relazioni tra le variabili e gli elementi chiave	S1P3-campo di dominio
Testare metodologie/teorie	S2P1-sviluppo e validazione elementi e variabili	S2P2-documentare le relazioni tra variabili testando le ipotesi	S2PE-testare teorie/metodologie concorrenti

*theory testing* sono generalmente necessarie metodologie quantitative multivariate che permettono anche di verificare statisticamente la validità dell'analisi. Per le tipologie riconducibili al *theory building* possono essere usati tutti i metodi, dai qualitativi ai quantitativi multivariati (Fabbris, 1997).

Si evidenzia però che ogni classificazione, per quanto chiara e condivisibile, incontra sempre dei problemi nella fase di classamento degli oggetti: ci sono sempre sovrapposizioni e possibilità di assegnazione multipla nelle classi, quasi mai i gruppi individuati hanno la proprietà dell'esclusività e della completezza. Tale limite non è totalmente superabile, quindi nel presente lavoro si è proceduto ad una classificazione eseguita prima separatamente poi condivisa da più ricercatori, per limitare nei casi più controversi la soggettività dell'attribuzione.

La numerosità degli argomenti che possono essere ricondotti al legame tra alimenti e salute ha stimolato la ricerca di macroaree per la classificazione dei temi di ricerca, temi che possono riguardare la produzione, la trasformazione e il consumo. Tali aree sono state definite in relazione alla più o meno diretta influenza delle scelte alimentari e di produzione, sulla salute e quindi sul benessere. In particolare si sono ricondotti i possibili argomenti alla tipologia di bisogni coinvolta, considerando le classificazioni proposte da Maslow e da Murray (Maslow, 1954 e Murray, 1938). Del primo gruppo (Area 1), in cui l'argomento d'analisi è legato ai bisogni primari (Murray) o ai bisogni fisiologici e di sicurezza (Maslow), fanno parte le ricerche relative ai prodotti biologici, agli organismi geneticamente modificati, alle scelte varietali, alla tracciabilità degli alimenti, alla certificazione covente e volontaria, all'etichettatura, alle diete alimentari, ai controlli, e alle politiche in materia. Nel secondo gruppo (Area 2), rappresentato da argomenti che coinvolgono i bisogni secondari (Murray) o di appartenenza, stima e autorealizzazione (Maslow), sono stati inseriti temi quali: il benessere animale, i prodotti DOP e IGP, i prodotti di IV e V gamma, l'agriturismo, l'enogastronomia, l'analisi sulla soddisfazione del consumatore.

Infine, per quanto concerne le ricadute, si è voluto mettere in evidenza chi potenzialmente potrebbero essere gli utilizzatori delle informazioni che scaturiscono dagli studi oggetto d'in-

dagine, considerando enti di ricerca, il decisore pubblico, le imprese, ecc.

L'analisi ha interessato anche altre informazioni relative: alla tipologia di indagini svolte (*case study*, bibliografiche, settoriali, ecc.), ai filoni di ricerca maggiormente percorsi (ambito produttivo, fase al dettaglio, fase al consumo, ecc.), al coinvolgimento tra gruppi di ricerca (facenti parte di strutture universitarie, enti di ricerca pubblici e privati, diversità delle sedi, coinvolgimento di ricercatori stranieri, ecc.).

La classificazione sopradescritta è stata applicata agli articoli censiti nelle fonti prescelte, dando origine alla banca dati strumentale allo studio, costituita da 13 variabili:

1. *Anno di pubblicazione* o di svolgimento del seminario/congresso.
2. *Tipo di pubblicazione* (articolo su rivista, atti di seminari/convegni, ecc.).
3. *Multidisciplinarietà*, in funzione delle discipline coinvolte.
4. *Collaborazione tra ricercatori italiani e stranieri* (localizzazione dell'università o ente di appartenenza).
5. *Lingua* in cui è scritto il contributo.
6. *Metodologia/teoria applicata* classificata attraverso la Matrice di Snow e Thomas (MST).
7. *Area d'indagine* considerata (locale, nazionale, universale).
8. *Fonte dati* utilizzata (bibliografica, *case study*, interviste, ecc.).
9. *Tipologia d'analisi dati* (qualitativa o quantitativa).
10. *Aree ricerca* (Area 1 e Area 2).
11. *Parole chiave* (innovazione, sicurezza, benessere).
12. *Segmento filiera* oggetto d'indagine (produzione, trasformazione, consumo, ecc.).
13. *Ricadute* dei contributi di ricerca.

#### 4. Risultati

I contributi accolti come rilevanti (sulla base delle scelte effettuate, strumentali all'obiettivo dell'indagine) sono risultati 178, pari a quasi l'8% delle 2.277 pubblicazioni analizzate; essi risultano distribuiti in maniera non particolarmente uniforme negli anni considerati, variando dal 5,6% del totale degli articoli nel 2007 al 20,8% del totale nel 2003. Ciò limita la significatività dei dati relativi all'evoluzione delle va-

riabili; solo l'analisi di due variabili (segmento della filiera e metodologia/teoria applicata), è apparsa meno condizionata da tale limite anche perché supportata da altre analisi di contesto.

Il 47% degli articoli è stato pubblicato sulle riviste, mentre il restante 43% proviene da atti di convegni nazionali ed internazionali. Dei 178 articoli, il 32% è scritto in lingua inglese, anche se solo il 4% coinvolge ricercatori provenienti da università o enti di ricerca italiani e stranieri. Oltre a queste informazioni che caratterizzano i contributi analizzati, l'analisi delle variabili e le relazioni tra loro esistenti hanno permesso di raggruppare i risultati in cinque evidenze, ognuna caratterizzata da una "considerazione" guida. La prima è lo *spostamento dell'interesse dei ricercatori verso studi che coinvolgono fasi ben definite della filiera* (fig. 1). Ciò può essere spiegato dall'aumento della complessità delle relazioni di filiera che determina una specializzazione delle analisi e dalla presenza di forze polarizzanti concentrate a valle della filiera (importante ruolo della Grande Distribuzione Organizzata). Questo spostamento verso le fasi a valle della filiera si ritiene sia dovuto anche all'oggettivo scarso interesse delle imprese della produzione a collaborare o finanziare ricerche agli economisti agro-alimentari, in conseguenza forse anche della difficile definizione del loro ruolo da parte degli operatori. Inoltre, si ritiene che anche la prevalenza dell'approccio monodisciplinare (tab. 2), ed in particolare le scarse occasioni di collaborazione con ricercatori che si occupano principalmente de-

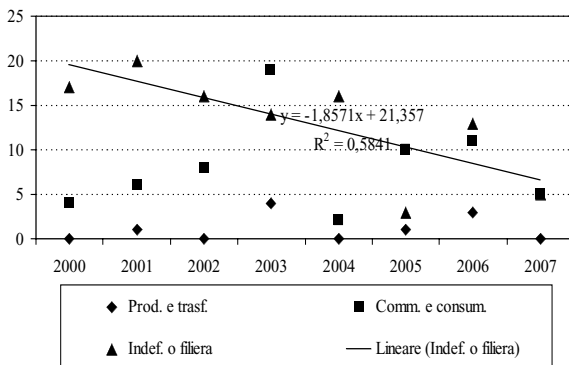


Figura 1. Evoluzione della variabile "Segmento di filiera" (n. articoli - anni 2000-2007) (fonte: ns. elaborazione).

Figure 1. Trend of variable "chain segment" (articles count - years 2000-2007) (source: our elaboration).

Tabella 2. Distribuzione della variabile "Multidisciplinarietà" (% sul totale) (fonte: ns. elaborazione).

Table 2. Variable "multidisciplinarity" distribution (% of total) (source: our elaboration).

Tipologia approccio	%
monodisciplinare	92,7
multidisciplinare	7,3

gli aspetti produttivi, possa rappresentare un fattore per spiegare la realtà evidenziata.

Il secondo tema è la *prevalenza di analisi di tipo qualitativo* (tab. 3). La principale motivazione che può giustificare tale dato può essere ricondotta ad una fase di sviluppo dell'argomento (relazione tra alimento e salute) all'interno del mondo scientifico di riferimento che attualmente è ancora esplorativa/pionieristica e generalmente limitata anche a livello di aree d'indagine (tab. 4). Si può quindi affermare che vi è un ritardo, rispetto ad altri ambiti di ricerca (tecnologico e sociale), nell'attenzione prestata dagli economisti agro-alimentari e dagli enti che orientano la ricerca economica a tali argomenti. Anche in questo caso la difficile collaborazione per studi approfonditi con le imprese sia della fase primaria (che manifestano maggior interesse verso gli studi relativi agli aspetti tecnici, rispetto a quelli economici), sia nella fase di trasformazione (molte imprese del settore agro-alimentare mostrano una scarsa

Tabella 3. Distribuzione della variabile "tipologia d'analisi dati" (% sul totale) (fonte: ns. elaborazione).

Table 3. Variable "data analysis type" distribution (% of total) (source: our elaboration).

Tipologia di analisi dei dati	%
Qualitativa	51,1
Mix	41,6
Quantitativa	7,3

Tabella 4. Distribuzione della variabile "Area d'indagine" (% sul totale) (fonte: ns. elaborazione).

Table 4. Variable "Study area" distribution (% of total).

Area d'indagine	%
Locale	42,1
Nazionale	37,1
Universale	20,8



Tabella 5. Distribuzione della variabile “Fonte dati” (% sul totale) (fonte: ns. elaborazione).

Table 5. Variable “Data Source” distribution (% of total) (source: our elaboration).

Fonte	%
Intervista	43,8
Bibliografia	28,6
Case study	19,7
Data base	7,9

propensione ad adottare strategie di R&S e quando le adottano hanno spesso analisti interni e temono la diffusione di dati economici ritenuti sensibili) (tab. 5) può aiutare a motivare i risultati ottenuti dall’indagine.

Da un punto di vista squisitamente scientifico, l’analisi del *trend dell’adozione delle diverse teorie/metodologie*, pone in evidenza una tendenza al decremento, anche se al limite della significatività, degli studi che adottano un approccio prettamente discorsivo (fig. 2).

In merito alla distribuzione dei contributi di ricerca considerati in funzione dell’area di ricerca (bisogni) coinvolta, si è incrociato il dato con la suddivisione in base ai tre concetti di riferimento che esprimono il rapporto tra alimenti e salute (innovazione, sicurezza e benessere). Il risultato mostra una *prevalenza di analisi che hanno come interesse la sfera benessere*, ovviamente soprattutto nell’Area 2 (fig. 3). Si può affermare che questo rappresenti un nuovo approccio degli economisti agroalimentari che ampliano il loro campo di analisi; ciò comporta

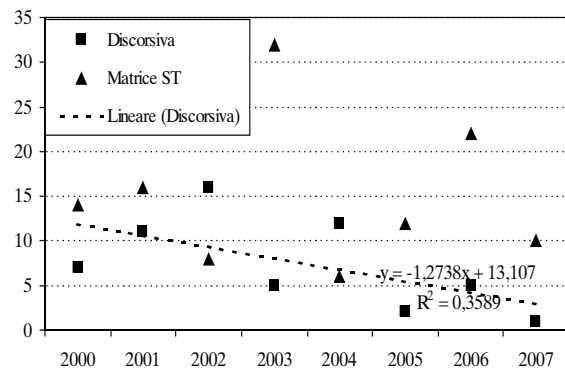


Figura 2. Evoluzione della variabile “Metodologia/teoria applicata” (n. articoli – anni 2000-2007) (fonte: ns. elaborazione).

Figure 2. Trend of variable “Methodology/theory applied” (articles count – years 2000-2007).

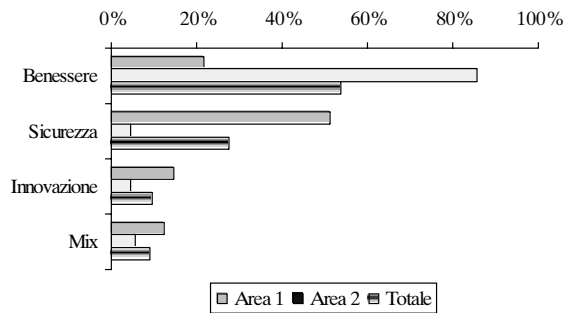


Figura 3. Distribuzione delle variabili “Aree ricerca” e “Parole chiave” (%) (fonte: ns. elaborazione).

Figure 3. Variable “Study area” and “Key words” distribution (%) (source: our elaboration).

la necessità di creare rapporti e sinergie con soggetti che operano in ambiti specifici (più tecnici o più psico-sociali) e lo studio e l’applicazione di metodologie adeguate. Inoltre, si modifica l’accesso alle informazioni, che dovranno essere sempre più specifiche e complesse, e l’utilizzo e le modalità di diffusione dei dati ottenuti.

Infine, l’ultimo tema che scaturisce dall’analisi è la *variabilità degli utilizzatori delle ricerche*, che si manifesta in una mancanza di committenti ben individuabili (per oltre il 90% delle pubblicazioni considerate il risultato delle ricerche non è indirizzato ad un soggetto in modo esclusivo). Probabilmente tale risultato è dovuto al coinvolgimento in discipline che non hanno contorni precisi e all’attuale assenza di gruppi di ricerca che se ne occupano in modo principale e che generano un network in cui siano ben definiti i ruoli dei soggetti che ne fanno parte.

## 5. Conclusion

L’analisi ha permesso di fornire alcune indicazioni sugli ambiti di ricerca che interessano il rapporto tra alimenti e salute nei quali sono maggiormente coinvolti gli economisti agro-alimentari. Si può affermare che tali ambiti di ricerca siano ancora da esplorare sia in profondità sia in ampiezza. Risulta fondamentale capire se il ritardo evidenziato sia da porre in relazione alla semplice mancanza di interesse da parte dei ricercatori e/o dalla difficile collocazione editoriale, che ne limita la diffusione, e/o da una ancora ridotta valutazione da parte del mondo scientifico “tradizionale”, che riduce gli ambi-

ti di interesse. Si ritiene che, se esiste la volontà di recuperare il ritardo rispetto ad altre aree della ricerca, ciò potrà avvenire attraverso un incremento delle collaborazioni multidisciplinari, una maggiore attenzione verso le ricerche applicative – in particolare mirate alla riduzione del *gap* tra accademia e mondo produttivo – da sempre carattere distintivo degli economisti agro-alimentari e con un aumento dei contributi in lingua inglese prodromici all'internazionalizzazione della ricerca.

L'interesse per gli argomenti oggetto d'indagine può essere stimolato anche dalle nuove prospettive aperte dai finanziamenti alla ricerca dell'UE come il VII Programma Quadro e le Piattaforme Tecnologiche Europee quali "Food for Life", "Plant for the future" e "Animal Welfare".

## References

- Aaker D., Kumar V., Day G. 1995. Marketing Research, 8<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons.
- Cannata G. 2001. Le nuove frontiere della ricerca: problemi etici ed economici. In: Pirazzoli C. (ed.): Innovazione e ricerca nell'agricoltura italiana. Atti del XXXVII Convegno SIDEA, 25-51. Avenue Media, Bologna.
- Casati D. 2004. Le caratteristiche della ricerca nel campo della politica agro-alimentare. Rivista di Economia agraria, 4:309-326.
- Commissione delle Comunità Europee. 2007. Libro Bianco - Un impegno comune per la salute: Approccio strategico dell'UE per il periodo 2008-2013.
- European Observatory on Health Systems and Policies. Report 2001, 2002, 2005.
- Fabbris L. 1997. Statistica multivariata – analisi esplorativa dei dati. McGraw-Hill, Milano.
- Martin-Alcazar F., Romero-Fernandez P.M., Sanchez-Gardey G. 2008. Human Research Management as a Field of Research. British Journal of Management, 19:103-119.
- Maslow A.H. 1954. Motivation and personality. Harper & Row, New York.
- Murray H.A. 1938. Proposals for a theory of personality. In: Murray H.A. et al. (eds): Explorations in personality: A clinical and experimental study of fifty men of college age. Oxford University Press, New York.
- Snow C.C., Thomas J.B. 1994. Field Research Methods in Strategic Management: Contributions to Theory Building and Testing. Journal of Management Studies, 31:457-480.

# Ruolo delle sostanze antiossidanti negli alimenti

Giuseppe Gambacorta<sup>1,2\*</sup>, Antonietta Baiano<sup>1,2</sup>, Maria Assunta Previtani<sup>1</sup>,  
Carmela Terracone<sup>1</sup>, Ennio La Notte<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze degli Alimenti, Università di Foggia  
Via Napoli 25, 71100 Foggia

<sup>2</sup>Istituto per la Ricerca e le Applicazioni Biotecnologiche per la Sicurezza e la Valorizzazione dei Prodotti  
Tipici e di Qualità  
Università di Foggia, Via Napoli 52, 71100 Foggia

Società Italiana di Scienze e Tecnologie degli Alimenti

---

## Riassunto

Gli antiossidanti sono sostanze presenti in basse concentrazioni negli alimenti, capaci di proteggere i substrati ossidabili e di contrastare gli effetti negativi che le specie reattive dell'ossigeno (ROS) esercitano sull'organismo (riduzione del rischio di contrarre patologie cardiovascolari, cancro e malattie degenerative che accelerano i processi d'invecchiamento). L'ossidazione dei lipidi contenuti in un alimento è una degradazione a carico degli acidi grassi insaturi i quali reagiscono con l'ossigeno, per autoossidazione chimica, azione delle lipossigenasi, fotossidazione ed altri meccanismi. L'autoossidazione è il processo di ossidazione più importante e si sviluppa in tre diverse fasi (iniziatazione, propagazione e terminazione) portando alla produzione di idroperossidi. Questi ultimi possono decomporsi e formare composti a basso peso molecolare quali alcol, aldeidi, chetoni, acidi e altri composti meno reattivi che influenzano negativamente qualità, valore nutrizionale e shelf life dei prodotti.

Gli antiossidanti agiscono con meccanismi differenti e a differenti livelli nella sequenza ossidativa che coinvolge le molecole lipidiche. Essi possono ridurre la concentrazione di ossigeno, intercettare l'ossigeno singoletto, rallentare la fase di iniziatazione dell'autoossidazione bloccando i radicali liberi, interrompere la fase della reazione a catena prevenendo la continua sottrazione di idrogeno dal substrato e decomporre i prodotti primari di ossidazione in composti non radicalici. Nel presente lavoro sono riportati i risultati di due casi studio relativi alla frazione fenolica di oli vergini di oliva e di vini rossi prodotti in Puglia e alla loro potenziale attività antiossidante. Gli oli sono stati estratti con un impianto continuo a due fasi da olive provenienti da Cerignola e Torremaggiore, Foggia. I risultati hanno mostrato una diversa composizione fenolica tra gli oli e una stretta correlazione lineare tra contenuto fenolico ed attività antiossidante. I vini sono stati prodotti da uve della cv Primitivo, raccolte alla maturazione tecnologica da un vigneto di Manduria in provincia di Taranto, con l'applicazione di nove differenti tecniche di macerazione. I risultati hanno mostrato che l'aggiunta di coadiuvanti tannici di bucce e di vinaccioli al pigiadiraspato e la tecnica del salasso comportano una maggiore concentrazione fenolica nei vini. Infine, tra i metodi utilizzati per la determinazione dell'attività antiossidante, quello del  $\beta$ -carotene sembra essere il più efficace.

*Parole chiave:* olio vergine di oliva, ossidazione lipidica, polifenoli, sostanze antiossidanti, vino.

## Summary

### ROLE OF ANTIOXIDANT SUBSTANCES IN FOODS

Antioxidants are compounds present in food at low concentrations and able to both protect oxidable substrates and counterbalance the negative effects that the reactive oxygen species (ROS) cause in the human body (reduction of the risk to develop cardiovascular pathologies, cancer and degenerative diseases that accelerate the aging processes). In foods, lipid oxidation is a degradation regarding the unsaturated fatty acids that react with oxygen through several mechanisms such as chemical autoxidation, action of lipoxigenases, photoxidation, and others. Autoxidation is the main oxidation process and proceed via initiation, propagation, and termination steps leading to the hydroperoxide formation. Hydroperoxides could degraded into low molecular weigh compounds such as alcohols, aldehydes, ketons, acids and other low reactive compounds that negatively influence quality, nutritional va-

\* Autore corrispondente: tel./fax: +39 0881 589243. Indirizzo e-mail: giusgambacorta@unifg.it

lue and shelf life of foods. Antioxidants are known to act at different levels of the lipid oxidation. They may act in several ways: they can decrease the oxygen concentration, intercept the singlet oxygen, slow the initiation step by scavenging the first free radicals, break the reaction chain to prevent the hydrogen subtraction, and decompose primary products of oxidation into non-radical products. This work reports the results of two studies on the phenolic fraction and potential antioxidant activity of virgin olive oils and red wines produced in Apulia region. Oils were extracted from olives produced at Cerignola and Torremaggiore using a two phase continuous system. Results showed a different phenolic composition of the oils and a good linear correlation between phenolic content and antioxidant activity. Wines were produced from *Primitivo* grapes pickled at the so-called technological maturity in a vineyard located at Manduria (Taranto). Nine different maceration techniques were applied. Results showed that the addition of tannins from skins and seeds and the saignée allowed to obtain high phenolic concentrations in wines. Among the methods used to assess the antioxidant activity,  $\beta$ -carotene seems to be effective.

*Key-words:* virgin olive oil, lipid oxidation, polyphenols, antioxidant compounds, wine.

## 1. Introduzione

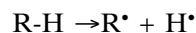
Gli antiossidanti sono sostanze presenti in basse concentrazioni negli alimenti e nel corpo in grado di diminuire drasticamente o prevenire i processi di ossidazione a carico di substrati ossidabili (Aruoma, 1994). Le industrie alimentari pongono in commercio alimenti contenenti sostanze antiossidanti al fine di prevenire il deterioramento qualitativo dei prodotti, mantenere il loro valore nutrizionale ed aumentare la *shelf life*. Gli antiossidanti hanno un particolare interesse dal punto di vista salutistico per la protezione che offrono nel contrastare gli effetti negativi delle specie reattive dell'ossigeno che portano a malattie degenerative. Gli antiossidanti agiscono a differenti livelli nella sequenza di ossidazione che coinvolge le molecole lipidiche intervenendo nel ridurre la concentrazione di ossigeno, intercettare l'ossigeno singoletto, prevenire la fase di iniziazione dell'autossidazione bloccando i radicali liberi legandosi ai catalizzatori ionici metallici, decomporre i prodotti primari a composti non radicalici e interrompere la fase della reazione a catena prevenendo la continua sottrazione di idrogeno dal substrato. Naturalmente il processo di ossidazione dei lipidi dipende anche dalla composizione in acidi grassi (grado di insaturazione), dalla presenza di pro-ossidanti e dalle condizioni di conservazione dell'alimento. Gli antiossidanti naturali assunti giornalmente con la dieta comprendono composti fenolici e polifenolici, chelanti, vitamine ed enzimi antiossidanti come carotenoidi e carnosina. L'inserimento nella dieta di prodotti vegetali ricchi in sostanze antiossidanti comporta degli indubbi benefici nutrizionali per

la diminuzione del rischio di molte malattie quali cardiovascolari, cancro, cataratte e altre degenerative che portano a processi d'invecchiamento (Shahidi, 1997).

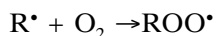
## 2. Ossidazione lipidica

L'ossidazione dei lipidi contenuti in un alimento è una degradazione a carico degli acidi grassi insaturi presenti nei gliceridi del grasso, i quali reagiscono con l'ossigeno atmosferico, per autossidazione chimica, azione delle lipossigenasi, fotossidazione, ecc. L'autossidazione è il processo di ossidazione più importante dei grassi e si sviluppa in tre diverse fasi: iniziazione, propagazione e terminazione. Nella fase di iniziazione, si ha la formazione di un radicale dell'acido grasso insaturo, in seguito alla perdita di un radicale  $H^\bullet$ , a livello del carbonio in posizione  $\alpha$  rispetto al doppio legame. Questa preferenza del sito di radicalizzazione è dovuta alla vicinanza del doppio legame che rende più labile il legame C-H, probabilmente a causa della formazione di un sistema di risonanza che coinvolge gli elettroni del doppio legame e rende "stabile" il radicale dell'acido grasso. Pertanto la suscettibilità di un olio o grasso all'autossidazione aumenta all'aumentare del numero di insaturazione.

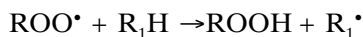
Il distacco del radicale  $H^\bullet$  è catalizzato dalla presenza di metalli, luce o calore ed avviene secondo la seguente reazione:



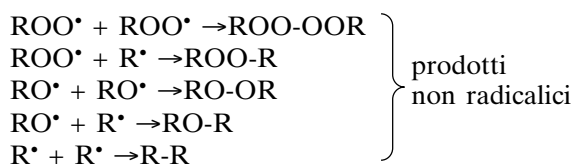
Il radicale  $R^\bullet$  reagisce con l' $O_2$  dell'aria formando un radicale idroperossido:



Questo radicale è instabile e reagisce con un'altra molecola di acido grasso insaturo formando l'idroperossido e un nuovo radicale dell'acido grasso:

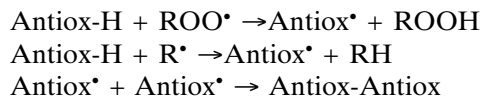


La formazione degli idroperossidi una volta iniziata procede secondo una reazione a catena (propagazione), facendo aumentare il numero di perossidi presenti nel grasso. La fase di terminazione avviene quando due molecole radicaliche reagiscono tra loro dando luogo a prodotti non radicalici:



Gli idroperossidi costituiscono i prodotti primari dell'ossidazione degli acidi grassi insaturi e sono composti inodori ed insapori. La loro presenza indica l'inizio del processo di ossidazione che continua mediante una serie di reazioni portando ad aldeidi, chetoni, acidi e idrocarburi, principali responsabili di odori e sapori di "rancido" e di "vecchio" che abbassano la *shelf-life* e il valore nutrizionale e commerciale del prodotto. Inoltre, gli idroperossidi possono prendere anche una via diversa, infatti reagendo di nuovo con l'ossigeno formano prodotti secondari quali epossiperossidi, chetoidroperossidi, perossidi ciclici e idroperossidi biciclici che potrebbero influenzare negativamente le caratteristiche sensoriali e salutistiche dei prodotti alimentari.

Gli alimenti possono contenere sostanze antiossidanti che sono in grado di bloccare la reazione di ossidazione al livello iniziale, limitando la propagazione secondo le seguenti reazioni:



Questi comportano l'inattivazione di proossidanti nel mezzo, come ad esempio con il meccanismo di *scavenging* dell'ossigeno singoletto o chelatori degli ioni metallici. Queste reazioni portano a ritardare l'inizio dell'ossidazione e ad allungare il periodo di induzione. Gli antiossi-

danti possono anche donare un atomo di idrogeno o un elettrone ai radicali prodotti dagli acidi grassi insaturi stabilizzando la sostanza grassa dell'alimento dai processi ossidativi.

### 3. Implicazioni salutistiche dei prodotti di ossidazione

I radicali liberi possono comportare nell'organismo una serie di malattie e di danni a carico di vari tessuti e processi di invecchiamento. Gli ossidanti e i radicali che influenzano varie malattie sono specie molto reattive formate da ossigeno tripletto, acqua e molecole lipidiche insature. Pertanto, la perossidazione lipidica rappresenta un problema non solo per gli oli edibili e l'industria alimentare ma anche per l'organismo. Un eccesso di produzione di specie radicaliche dell'ossigeno, in particolare di radicali idrossilici, possono interessare le membrane cellulari lipidiche e produrre perossidi e specie reattive dell'ossigeno (ROS) che sono legati a una serie di malattie che provocano l'accelerazione dei processi d'invecchiamento (fig. 1).

È ben noto che la malonaldeide (MDA) e la 4-idrossinonenale (4-HN) interagiscono con componenti biologici e con quelli contenuti negli alimenti come proteine, amminoacidi, ammine e DNA. Queste reazioni sono implicate in processi di invecchiamento, mutagenesi e carcinogenesi nel corpo (Crawford, 1967; Basu et al., 1984; Fujimoto et al., 1984), mentre negli alimenti influenzano negativamente l'aroma, la struttura e il colore. Inoltre, questi composti abbassano il valore nutrizionale dei prodotti per la distruzione degli acidi grassi essenziali e delle vitamine liposolubili e per la loro tossicità. Al fine di controllare i negativi effetti della rancidità è raccomandato l'aggiunta di antiossidanti

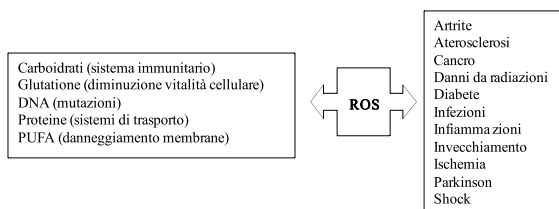


Figura 1. Substrati di azione dei ROS e implicazioni salutistiche.

Figure 1. Substrates of ROS action and health implications.

negli alimenti. Inoltre, il consumo di antiossidanti negli alimenti o come integratori nella dieta può essere consigliata al fine di contrastare le cause primarie di aterosclerosi, cancro e malattie degenerative d'invecchiamento.

#### 4. Antiossidanti naturali

Le piante sono ricche in sostanze antiossidanti quali tocoferoli, vitamina C, carotenoidi e composti fenolici. Nelle piante i fenoli hanno la funzione di "riparare" le lesioni dei tessuti provocate da eventi fisici o da agenti patogeni mediante reazioni di ossidazione e combinazione con proteine ed altri componenti a costituire una specie di barriera protettiva. Inoltre, i polifenoli con le loro caratteristiche di amaro e pungente scoraggiano l'attacco di insetti ed animali superiori come erbivori ed uccelli. I prodotti intermedi della fotosintesi possono produrre anche alti livelli di ossigeno, radicali liberi e di ROS, pertanto, le piante utilizzano una miriade di composti antiossidanti per assicurare la loro sopravvivenza. Molti di questi composti hanno una similitudine nella struttura molecolare in quanto presentano almeno un anello aromatico e un gruppo idrossilico.

Questi composti comprendono acidi fenolici, flavonoidi e isoflavoni, esteri gallati (tannini idrolizzabili), lignani, cumarine, stilbeni, flavononi e proantocianidine oligomere. Questi composti producono una serie di sostanze antiossidanti che, agendo con meccanismi diversi, costituiscono un sistema di difesa contro l'attacco dei radicali liberi. La tabella 1 riporta una lista di alcuni antiossidanti naturali e la loro matrice di provenienza (Shahidi, 1997). Gli antiossi-

danti naturali più conosciuti e più importanti per l'industria alimentare e per la salute umana sono i tocoferoli, vitamina C e carotenoidi (Packer, 1996). Erbe e spezie quali rosmarino, origano, aglio, peperoncino ed altre e i loro estratti hanno mostrato la capacità di estendere la shelf life di vari alimenti (Shahidi et al., 1995; Gambacorta et al., 2007). Sono stati identificati principi attivi e sostanze antiossidanti di composti naturali del rosmarino, crusca del riso, tè verde, semi di sesamo, semi di canola e ginger (Wu et al., 1982; Ramarathnam et al., 1989; Amarowicz e Shahidi, 1996; Fukuda et al., 1985; Wanasundara et al., 1994; Jitoe et al., 1992; Kasuga et al., 1988). Alcuni di questi estratti ricavati dal rosmarino e dal tè sono miscelati con tocoferoli e con palmitato ascorbico e commercializzati con successo in Europa, Giappone e Nord America, nonostante il maggior costo rispetto agli additivi sintetici. Anche certi oli vegetali, come ad esempio l'olio vergine di oliva, contengono sostanze antiossidanti e fungono da protezione contro i processi di ossidazione se aggiunti ad altri oli o ad alimenti ricchi di grasso. Inoltre, diversi vegetali come il ravanella, senape, rapa, cavolo e cipolla presentano un moderato effetto stabilizzante nei confronti dei lipidi alimentari. Studi epidemiologici e clinici hanno provato che gli antiossidanti fenolici presenti nei cereali, frutta e vegetali sono i principali fattori che contribuiscono a ridurre significativamente l'incidenza di malattie croniche e degenerative nelle popolazioni che seguono una dieta ricca di questi alimenti. Gli esperti del settore consigliano un'assunzione di 5 volte al giorno di alimenti a base di cereali e verdura.

Tabella 1. Composti antiossidanti e matrice di provenienza.

Table 1. Antioxidant compounds and source.

Composti antiossidanti	Matrice di provenienza
Vitamina E (tocoferoli e tocotrienoli)	Oli di semi, olio di palma, nocciola, uova, prodotti caseari, cariossidi di grano, vegetali, cereali, margarine, ecc.
Vitamina C	Frutti e vegetali, uva, agrumi, germogli, peperone verde, patate, ecc.
Carotenoidi	Vegetali a foglia scura, carote, patate dolci, pomodori, albicocche, agrumi, cavolo verde, rape verdi, olio di palma, ecc.
Flavonoidi/isoflavoni	Frutti e vegetali, oli di semi, uva, melanzane, peperoni, agrumi, pomodori, ecc.
Acidi fenolici e derivati fenolici	Oli di semi, oli vergini di oliva, cereali, ecc.
Catechine	Tè verde, uva, oli di semi, ecc.
Estratti	Estratti da tè verde, rosmarino, salvia, chiodi di garofano, origano, timo, avena, crusca di riso, ecc.

## 5. Azione degli antiossidanti

Un “antiossidante ideale” deve possedere delle appropriate caratteristiche se deve essere aggiunto agli alimenti. Esso deve: (a) essere sicuro; (b) non impartire colore, odore e gusto; (c) essere efficace a basse concentrazioni; (d) rimanere dopo il processo di produzione dell’alimento; (e) essere stabile nel prodotto finito; (f) essere solubile nella fase lipidica; (g) essere facilmente disponibile a basso costo; (h) essere “naturale”, in modo da riportarlo in etichetta, ed attrarre il consumatore (Cuppert et al., 1997). È stato generalmente mostrato che i composti antiossidanti derivanti dalle piante sono fenoli classificabili nei seguenti composti: tocoferoli, carotenoidi, acidi fenolici (derivati degli acidi benzoico e cinnamico), flavonoidi e diterpeni.

### 5.1 Tocoferoli

I tocoferoli possono agire come antiossidanti mediante due meccanismi quali donatore o accettore di elettrone in seguito alla rottura della catena. Il meccanismo di accettore di elettrone comprende lo *scavenging* o *quencing* dell’ossigeno singoletto (Scott, 1985). Nel meccanismo di donatore di elettrone i tocoferoli competono con gli acidi grassi insaturi per i radicali perossidici ( $\text{ROO}^\bullet$ ), riducendo la formazione del radicale dell’acido grasso ( $\text{R}^\bullet$ ) che avviene quando il  $\text{ROO}^\bullet$  reagisce con un  $\text{RH}$ , rallentando la fase di propagazione dell’autossidazione. I tocoferoli possono effettivamente competere con il  $\text{RH}$  per il  $\text{ROO}^\bullet$  mediante un pronto trasferimento di un atomo di idrogeno al radicale idroperossidico formando l’idroperossido (Frankel, 1991) e convertendosi prima in prodotti radicalici intermedi (semi-chinoni) e successivamente in un prodotto finale non radicalico più stabile (tocoferil chinone) (fig. 2).

Il tocoferil chinone e il semichinone possono reagire con il radicale dell’acido grasso  $\text{R}^\bullet$ , competendo con l’ossigeno tripletto, a ricostituire l’acido grasso ( $\text{RH}$ ) e rallentando la fase di propagazione a catena dell’autossidazione. Poiché a pressione atmosferica la reazione tra il radicale  $\text{R}^\bullet$  e l’ossigeno tripletto è maggiormente favorita rispetto a quella tra l’ossigeno del chinone e il radicale  $\text{R}^\bullet$ , questo tipo di attività antiossidante (AA) esercitata dai tocoferoli avviene principalmente in sistemi biologici o

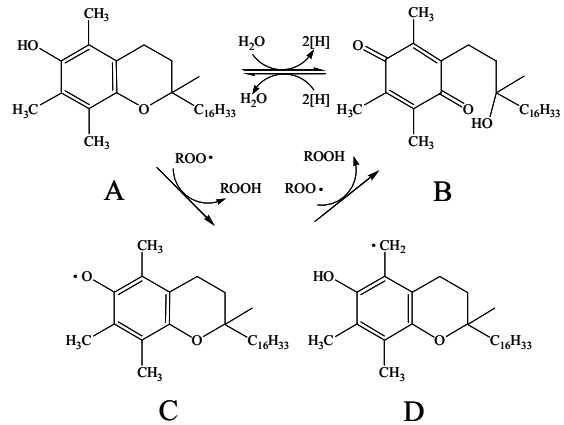


Figura 2. Ossidazione dell’ $\alpha$ -tocoferolo (A) ad  $\alpha$ -tocoferil chinone (B) attraverso gli intermedi semi-chinonici (C, D).

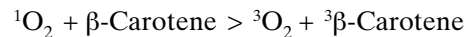
Figure 2. (A)  $\alpha$ -tocopherol oxidation to (B)  $\alpha$ -tocopheryl quinone through semi-quinone intermediates (C, D).

in sistemi caratterizzati da basse concentrazioni di ossigeno (Frankel, 1991).

I tocoferoli possono controllare i processi di ossidazione agendo anche sull’ossigeno singoletto. L’abilità di “oxygen-scavenging” dei tocoferoli avviene attraverso due meccanismi: spegnimento (quencing) dell’ossigeno singoletto (fig. 3; Clough et al., 1979) e reazione irreversibile con l’ossigeno singoletto a formare una serie di prodotti (fig. 4; Grams et al., 1972).

### 5.2 Caroteni

I caroteni, ed in particolare il  $\beta$ -carotene, sono efficaci a “spegnere” l’ossigeno singoletto secondo la seguente reazione:



La velocità di *quencing* è dovuta al numero di doppi legami coniugati che consente la deloca-

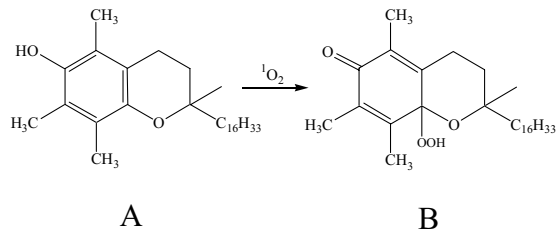


Figura 3. Reazione dell’ $\alpha$ -tocoferolo (A) con l’ossigeno singoletto a dare l’idroperossidienone (B).

Figure 3. Reaction of (A)  $\alpha$ -tocopherol with singlet oxygen to give (B) hydroperoxydienone.

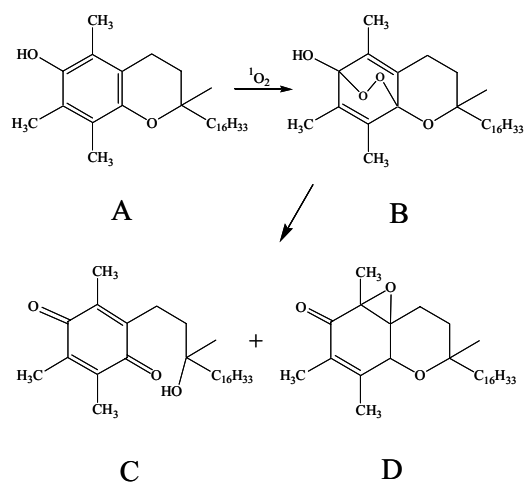


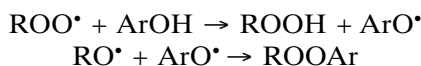
Figura 4. Reazione dell' $\alpha$ -tocoferolo (A) con l'ossigeno singoletto a dare l' $\alpha$ -tocoferil chinone (C) ed il chinone epossido (D) attraverso l' $\alpha$ -tocoferil endoperossido (B).

Figure 4. Reaction of (A)  $\alpha$ -tocopherol with singlet oxygen to give (C)  $\alpha$ -tocopheryl quinone and (D) quinone epoxide through (B)  $\alpha$ -tocopherol endoperoxide.

lizzazione degli elettroni spaiati provenienti dall'ossigeno singoletto nella catena (Foote et al., 1970). Pertanto, l'AA dei carotenoidi è dovuta ai loro sistemi polienici coniugati in grado di delocalizzare gli elettroni spaiati delle specie radicaliche libere e perossidiche (Burton e Ingold, 1984; Terao, 1989).

### 5.3 Acidi fenolici

Gli acidi fenolici possiedono AA. Gli ortodifenoli come caffeico, idrossitirosolo e oleuropeina presentano una forte AA rispetto a quella di acidi fenolici con meno impedimento sterico come il tirosolo (Chimi et al., 1991). I derivati dell'acido cinnamico (caffeico, ferulico, sinapico e p-cumarico) presentano una maggiore AA rispetto ai derivati dell'acido benzoico (p-idrossibenzoico, vanillico, siringico e 3,4-diidrossibenzoico) (Marinova et al., 1994). Gli antiossidanti fenolici agiscono inibendo l'ossidazione lipidica mediante cattura del radicale perossido secondo due meccanismi:



Nel primo meccanismo il radicale idroperossido  $ROO\cdot$  sottrae un idrogeno radicalico dall'antiossidante a dare un radicale aromatico  $ArO\cdot$  e l'idroperossido  $ROOH$ . Nel secondo

meccanismo i due radicali si combinano formando un dimero non radicalico. I fenoli caratterizzati da impedimento sterico presentano una maggiore AA poiché la velocità delle reazioni che portano alla produzione di specie non radicaliche è superiore rispetto a quelle che portano alla produzione di radicali. Al contrario, la mancanza di impedimento sterico favorisce la produzione di radicali riducendo, conseguentemente, l'AA dei fenoli (Chimi et al., 1991). Le molecole contenenti almeno due gruppi fenolici idrossilici vicinali presentano un'alta AA. Inoltre, la presenza nella molecola di un gruppo carbonile, come un acido aromatico, un estere o un lattone, aumenta l'AA. Infine, l'impedimento sterico di un idrossile fenolico da parte di un gruppo inerte, come ad esempio un metossile in posizione vicinale, aumenta l'AA.

### 5.4 Flavonoidi

I flavonoidi sono una grande classe di composti, ubiquitari nelle piante e abitualmente presenti come glucosidi e, a volte, come agliconi. Essi contengono diversi gruppi idrossilici fenolici attaccati agli anelli della struttura (A, B e C). Le variazioni strutturali all'interno degli anelli determinano la classificazione dei flavonoidi in diverse famiglie. I flavonoidi esplicano l'azione antiossidante agendo come donatori di idrogeno o chelando i metalli. La posizione e il numero degli idrossili sugli anelli influenza la loro AA: a) la presenza di un gruppo OH in posizione orto nell'anello B determina una forte AA; b) la sostituzione di un gruppo OH in posizione orto nell'anello B conferisce una minore AA, ma se accompagnata da un addizionale gruppo OH in posizione para determina un aumento dell'attività; c) la presenza di due gruppi OH vicinali (o-diidrossilati) nell'anello B contribuisce all'AA (3',4'-diidrossile); d) la presenza di due gruppi OH in posizione meta nell'anello A contribuisce all'AA (meta 5,7-diidrossile). Inoltre, la presenza di un doppio legame tra i carboni 2 e 3 dell'anello C contribuisce all'AA. Gli agliconi presentano una maggiore AA dei corrispondenti glucosilati per la mancanza di un gruppo OH in posizione 3 nell'anello C (Das e Pereira, 1990). I flavonoidi intervengono nel controllo dell'ossidazione dei lipidi mediante la chelazione di ioni metallici (rame). Questo intervento dipende da alcune condizioni: a) le molecole devono avere più gruppi



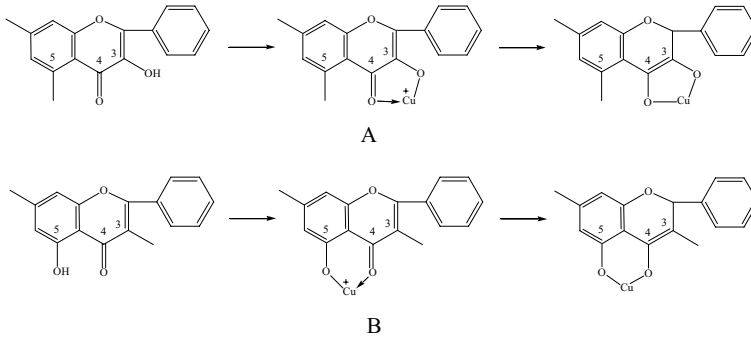


Figura 5. Meccanismo di chelazione di flavanoni (A) e flavoni (B).

Figure 5. Chelating mechanism for (A) flavanones and (B) flavones.

idrossilici (una configurazione 3',4'-diidrossi conferisce una forte AA); b) le molecole devono avere un gruppo carbonile in posizione 4; c) le molecole devono avere un gruppo idrossile in posizione 3 e/o 5 (Hudson e Lewis, 1983). La contemporanea presenza del gruppo carbonile in 4 e del gruppo ossidrilico in 3 o 5 conferisce azione chelante nei confronti dello ione rame (fig. 4) (Dziedzic e Hudson, 1984).

L'azione chelante nei confronti dei metalli si ha anche per gli orto-difenoli (posizione 3',4' dell'anello B dei gruppi idrossilici).

## 6. Caratterizzazione della frazione fenolica e valutazione dell'attività antiossidante di oli vergini di oliva monovarietali del territorio Dauno

### 6.1 Introduzione

La frazione fenolica ha un impatto positivo sulle caratteristiche qualitative dell'olio vergine di oliva e il contenuto è subordinato a diversi fattori: cultivar, tecniche agronomiche, grado di maturazione delle olive, tecnologie di estrazione e tempi e modalità di conservazione dell'olio. Inoltre, i fenoli sono dei potenti antiossidanti fungendo da chelanti degli ioni metallici (es. Cu<sup>2+</sup>) e da radical scavenger interrompendo la reazione a catena della perossidazione lipidica. Alcuni composti fenolici, come l'oleuropeina, aumentano la produzione di ossido nitrico (fattore di rilassamento vascolare), mentre altri, come il tirosolo, inibiscono la formazione di ossisteroli e la perossidazione della componente lipidica delle LDL, bloccando la genesi di malattie cardiovascolari (Visioli et al., 2002). È inoltre ormai accertato che i polifenoli, ed in particolare gli orto-difenoli, apportano il maggiore contributo alla stabilità ossidativa nell'olio di

oliva vergine (Aparicio et al., 1999), e studi condotti sulla sua shelf-life hanno dimostrato un cambiamento della composizione fenolica nel tempo (Cinquanta et al., 1997). Non meno importante è il contributo fornito dai fenoli nella formazione del gusto tipico dell'olio vergine di oliva, con le sfumature di "amaro" e "piccante" dovute principalmente ai derivati dell'oleuropeina e del ligstroside (Visioli et al., 1998; Andrewes et al., 2003).

In questo lavoro si riportano alcuni risultati di uno studio condotto sul profilo fenolico e potere antiossidante di alcuni oli monovarietali del territorio Dauno.

### 6.2 Materiali e metodi

Gli oli sono stati estratti da olive provenienti da due oliveti sperimentali di Cerignola (Casaliva, Cellina di Nardò, Grignano, Nociara, Ogliarola barese e Termite di Bitetto) e di Torremaggiore (Cellina di Nardò, Coratina, Frantoio, Leccino, Moraiole e Nociara). Al raggiungimento della maturazione tecnologica, le olive di ciascuna cultivar sono state raccolte a mano per brucatura e sottoposte entro le 36 ore ad estrazione meccanica dell'olio mediante un minifrantoio continuo a due fasi. I campioni di olio sono stati conservati in bottiglie di vetro da 1 litro al buio ed a temperatura ambiente fino al momento delle analisi.

*Analisi frazione fenolica.* L'estrazione dei composti fenolici è stata effettuata secondo il metodo di Montedoro et al. (1992), con opportune modifiche. Sull'estratto fenolico è stato determinato il contenuto in fenoli totali per spettrofotometria dopo reazione con il reattivo di Folin-Ciocalteu (FC), esprimendo il risultato come mg kg<sup>-1</sup> equivalenti di acido gallico. Il profilo fenolico è stato determinato sull'estratto metanoli-

co per cromatografia liquida ad alte prestazioni (HPLC) secondo il protocollo analitico utilizzato in un precedente lavoro (Gambacorta et al., 2006). L'identificazione dei composti fenolici è stata effettuata mediante confronto dei picchi con quelli di standard puri e dei tempi di ritenzione relativi riportati in letteratura (Brenes et al., 2000; Gomes-Alonso et al., 2002).

**Attività antiossidante.** L'attività antiossidante degli oli è stata determinata sottoponendo gli estratti fenolici al test dell'ABTS+/metamioglobina (Miller et al., 1993).

### 6.3 Risultati e discussione

La figura 6 mostra il profilo fenolico con l'identificazione dei picchi di uno degli oli studiati (Coratina di Torremaggiore), mentre le tabelle 1 e 2 riportano rispettivamente le composizioni fenoliche degli oli di Cerignola e Torremaggiore.

Tra le cultivar di Cerignola, la Casaliva ha presentato il più alto contenuto fenolico, seguita da Cellina di Nardò, Nociara, Grignano, Ogliarola barese e Termite di Bitetto. È stata osservata una certa variabilità nella composizione fenolica degli oli, mentre il p-HPEA-EDA è risultato il componente fenolico più abbondante in tutti gli oli. Per quanto riguarda i campioni di Torremaggiore, la Coratina ha mostrato il contenuto fenolico più alto, seguita da Nociara, Moraiolo, Frantoio, Cellina di Nardò e Leccino. Il comportamento della Coratina, cultivar notoriamente tardiva, è da ascrivere alle sue caratteristiche intrinseche e al basso indice di maturazione delle olive. Le figure 7, 8 e 9 riportano rispettivamente il contenuto fenolico determinato per spettrofotometria, l'attività an-

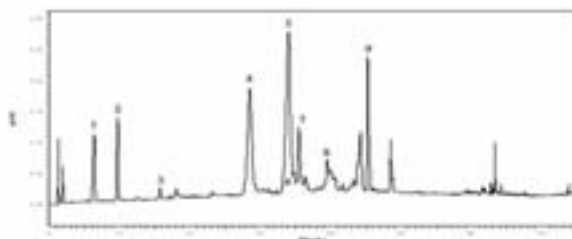


Figura 6. Profilo fenolico della Coratina: 1) idrossitirosolo, 2) tirosolo, 3) vanillina, 4) 3,4-DHPEA-EDA, 5) p-HPEA-EDA, 6) acetossi-pinoresinolo, 7) pinoresinolo, 8) 3,4-DHPEA-EA, 9) p-HPEA-EA.

Figure 6. Phenolic profile of Coratina: 1) hydroxytyrosol, 2) tyrosol, 3) vanilline, 4) 3,4-DHPEA-EDA, 5) p-HPEA-EDA, 6) acetoxy-pinoresinol, 7) pinoresinol, 8) 3,4-DHPEA-EA, 9) p-HPEA-EA.

tiossidante e la correlazione tra contenuto fenolico e attività antiossidante degli oli di Cerignola (A) e di Torremaggiore (B). Tra le cultivar di Cerignola, la Casaliva ha presentato i più alti valori del contenuto fenolico e di attività antiossidante, mentre i valori più bassi sono stati trovati per la Termite di Bitetto. Per quanto riguarda gli oli di Torremaggiore, la Coratina ha mostrato valori più alti del tenore fenolico ed attività antiossidante e la Leccino i più bassi. Per gli oli di entrambi gli oliveti la correlazione tra contenuto fenolico ed attività antiossidante è risultata buona e di tipo lineare con  $R = 0,9644$  e  $R = 0,9840$  ( $p = 0,01$ ), rispettivamente per Cerignola e Torremaggiore.

L'analisi statistica delle componenti principali (fig. 10) ha mostrato una netta distinzione tra la Casaliva di Cerignola e la Coratina di Torremaggiore dalle altre cultivar per il maggior

Tabella 2. Composizione fenolica degli oli di Cerignola ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Table 2. Phenolic composition of Cerignola oils ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Fenoli	Casaliva	Cellina di Nardò	Grignano	Nociara	Ogliarola barese	Termite di Bitetto
Idrossirosolo	78,1 ± 6,3	0,0	0,8 ± 0,1	3,0 ± 0,5	0,0	0,0
Tirosolo	63,3 ± 4,3	8,2 ± 3,2	4,7 ± 1,1	21,9 ± 1,9	7,0 ± 0,2	2,4 ± 0,1
Vanillina	4,6 ± 1,1	2,5 ± 1,2	2,5 ± 0,9	2,2 ± 0,3	2,2 ± 0,2	2,0 ± 0,1
3,4-DHPEA-EDA	22,3 ± 1,7	1,6 ± 0,3	2,6 ± 0,5	4,0 ± 0,4	0,0 ± 0,0	1,3 ± 0,2
p-HPEA-EDA	57,4 ± 4,9	79,7 ± 6,4	31,9 ± 2,9	62,0 ± 5,2	31,0 ± 2,9	18,7 ± 2,4
1-Acetossi-Pinoresinolo	2,2 ± 0,9	3,5 ± 0,6	2,0 ± 0,6	0,0	1,1 ± 0,1	1,4 ± 0,4
Pinoresinolo	37,6 ± 3,2	39,7 ± 3,2	12,8 ± 0,9	7,6 ± 0,5	10,7 ± 0,9	7,6 ± 0,3
3,4-DHPEA-EA	16,4 ± 2,8	2,3 ± 0,2	6,8 ± 0,5	0,9 ± 0,0	3,1 ± 0,3	0,4 ± 0,0
p-HPEA-EA	0,1 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,6 ± 0,0	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,4 ± 0,0
Σ Fenoli non identificati	89,6 ± 6,3	71,0 ± 5,2	64,0 ± 4,2	63,3 ± 6,1	66,5 ± 5,6	63,5 ± 6,2
Σ Fenoli	371,6 ± 22,1	208,7 ± 15,2	128,7 ± 11,6	165,9 ± 15,2	122,7 ± 19,1	98,7 ± 8,2

Tabella 3. Composizione fenolica degli oli di Torremaggiore (mg kg<sup>-1</sup>).

Table 3. Phenolic composition of Torremaggiore oils (mg kg<sup>-1</sup>).

Fenoli	Cellina di Nardò	Coratina	Frantoio	Leccino	Moraiolo	Nociara
Idrossitirosole	2,1 ± 0,2	19,1 ± 1,9	0,7 ± 0,1	0,0	0,0	1,0 ± 0,0
Tirosole	9,1 ± 1,0	20,6 ± 2,0	4,1 ± 0,3	8,1 ± 0,2	4,2 ± 0,2	9,7 ± 0,6
Vanillina	1,6 ± 0,2	2,5 ± 0,3	2,6 ± 0,2	3,7 ± 0,0	3,2 ± 0,2	1,7 ± 0,2
3,4-DHPEA-EDA	10,3 ± 1,0	78,2 ± 7,4	0,6 ± 0,2	0,5 ± 0,0	0,6 ± 0,0	25,1 ± 1,2
p-HPEA-EDA	43,4 ± 2,8	115,1 ± 10,2	8,5 ± 1,6	16,0 ± 1,2	22,0 ± 1,9	91,5 ± 6,3
1-Acetossi-Pinoresinolo	2,4 ± 0,6	6,4 ± 1,2	2,9 ± 0,0	2,3 ± 0,2	3,7 ± 0,5	0,0
Pinoresinolo	56,8 ± 3,8	23,2 ± 1,9	73,4 ± 6,2	4,1 ± 0,6	86,2 ± 5,6	38,4 ± 2,9
3,4-DHPEA-EA	0,5 ± 0,0	14,5 ± 1,1	3,1 ± 0,3	3,1 ± 0,3	4,0 ± 0,2	2,6 ± 0,3
p-HPEA-EA	0,3 ± 0,0	36,2 ± 2,6	14,9 ± 1,2	7,5 ± 0,4	21,2 ± 2,3	3,8 ± 0,2
ΣFenoli non identificati	56,2 ± 6,2	122,0 ± 9,9	109,7 ± 9,6	104,9 ± 6,8	99,9 ± 7,8	79,4 ± 6,3
ΣFenoli	182,7 ± 15,2	437,8 ± 16,3	220,5 ± 21,0	150,2 ± 9,3	245,0 ± 22,1	253,2 ± 19,3

contenuto fenolico e la più elevata attività antiossidante. Queste due cv si sono invece distinte tra loro per la diversa composizione fenolica.

#### 6.4 Conclusioni

Gli oli dei due campi sperimentali hanno mostrato una grande variabilità nel contenuto e nel profilo fenolico. La Casaliva, tra le cultivar di Cerignola, e la Coratina, tra quelle di Torre-

maggiore, hanno presentato il maggior contenuto in fenoli totali e sono risultate ricche in idrossitirosole, tirosole, 3,4-DHPEA-EDA e p-HPEA-EDA. Invece, la Termite di Bitetto di Cerignola e la Leccino di Torremaggiore hanno presentato i più bassi contenuti in fenoli e più ricchi in p-HPEA-EDA. È stata riscontrata una buona correlazione lineare tra il contenuto fe-

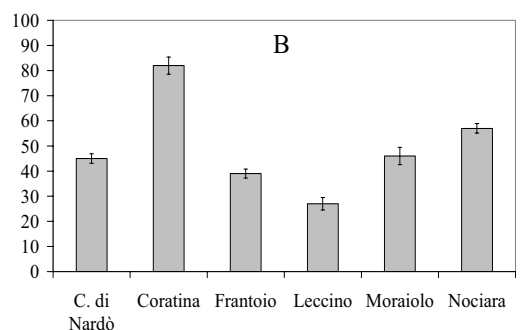
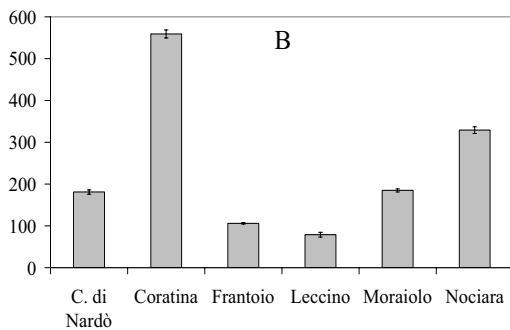
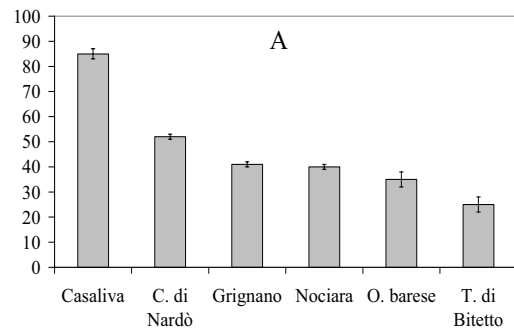
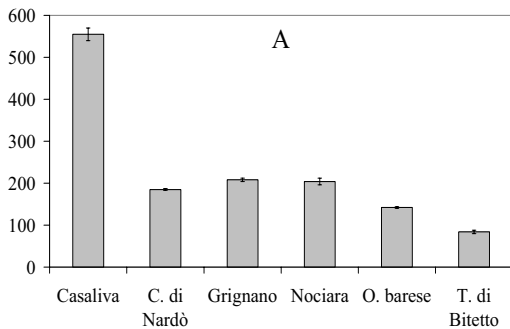


Figura 7. Contenuto fenolico totale degli oli di Cerignola (A) e Torremaggiore (B) (mg kg<sup>-1</sup>).

Figure 7. Total phenolic content of (A) Cerignola and (B) Torremaggiore oils (mg kg<sup>-1</sup>).

Figura 8. Attività antiossidante degli oli di Cerignola (A) e Torremaggiore (B) (%).

Figure 8. Antioxidant activity of (A) Cerignola and (B) Torremaggiore oils (%).

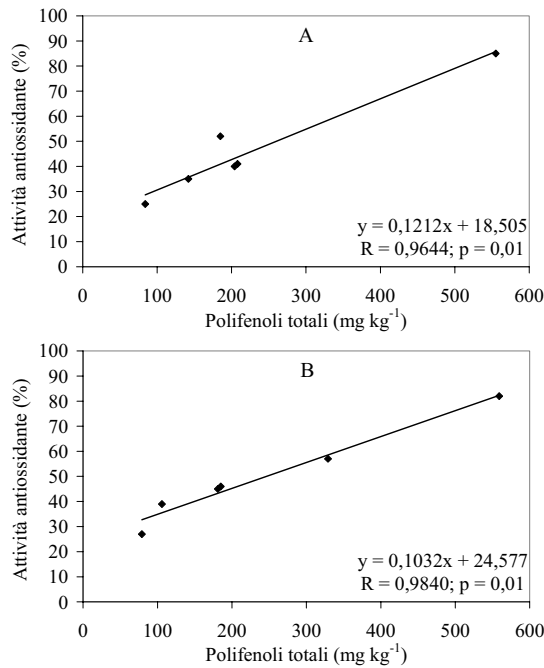


Figura 9. Correlazione tra il contenuto fenolico totale e l'attività antiossidante degli oli di Cerignola (A) e Torremaggiore (B).

Figure 9. Correlation between total phenolic content and antioxidant activity of (A) Cerignola and (B) Torremaggiore oils.

nolico degli oli e l'attività antiossidante. Poiché le sostanze fenoliche contribuiscono nella formazione del gusto degli oli vergini di oliva con le note di "amaro" e "piccante", se si vuole portare sul mercato un prodotto più "delicato" si potrebbero proporre oli derivanti da cultivar meno ricche in fenoli come la Termite di Bitetto di Cerignola e la Leccino di Torremaggiore.

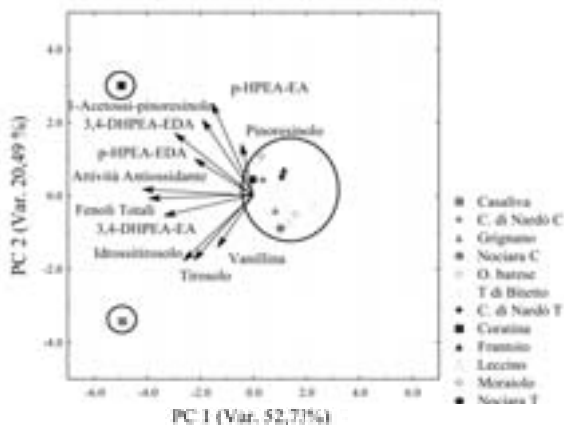


Figura 10. Analisi delle componenti principali degli oli.

Figure 10. Principal components analysis of oils.

Al contrario, se si vuole produrre un olio più "robusto" e contraddistinto da una maggiore *shelf-life*, si potrebbero utilizzare le cultivar più ricche in fenoli, come la Casaliva di Cerignola o la Coratina di Torremaggiore.

## 7. Influenza di differenti tecniche di macerazione sulla frazione fenolica e l'attività antiossidante del vino Primitivo

### 7.1 Introduzione

L'importanza dei composti fenolici è correlata alla loro attività antiossidante. Studi epidemiologici hanno dimostrato che il consumo di alimenti e bevande ricche in fenoli contribuiscono alla riduzione della mortalità dovuta a malattie cardiache (Cul et al., 2002), all'inibizione di infiammazioni croniche e trombosi (Kinsella et al., 1993) e la prevenzione di certi tipi di cancro e i benefici sono maggiori seguendo una dieta ricca in una particolare classe di fenoli quali flavonoidi (Bell et al., 2000). I composti fenolici contribuiscono alla formazione della struttura, colore e gusto del vino e rendono il prodotto idoneo all'invecchiamento. I vini rossi sono ricchi in composti fenolici semplici e complessi principalmente rappresentati da acidi fenolici, flavonoidi, catechine monomere e tannini (Katalinic et al., 2004). Composizione e contenuto fenolico dell'uva sono influenzate da diversi fattori quali varietà, terreno, tipo di allevamento, clima e grado di maturazione. Inoltre, le tecnologie di vinificazione, le pratiche enologiche e l'invecchiamento influenzano sia la composizione e il contenuto fenolico del vino che l'attività antiossidante. Per l'accertamento dell'attività antiossidante di alimenti e bevande sono disponibili diversi metodi analitici ma, in assenza di un metodo standard, la loro affidabilità dipende dalle condizioni sperimentali applicate. Il Primitivo è un tipico vitigno italiano coltivato in Puglia le cui uve vinificate in purezza danno un vino tannico e ricco in alcol, caratterizzato da un colore rosso-porpora e da un aroma speziato di frutti rossi. Il vitigno Primitivo è geneticamente simile allo Zinfandel californiano e al Plavac mali croato. Nonostante l'importanza e la diffusione del vino Primitivo, le informazioni sul suo contenuto fenolico e proprietà antiossidanti sono alquanto insufficienti. Lo scopo del presente lavoro è stato quello di valutare l'influenza di nove tecnologie di vinificazione sul

Tabella 4. Composizione fenolica dei vini (mg L<sup>-1</sup>).

Table 4. Phenolic composition of wines (mg L<sup>-1</sup>).

Campione	Polifenoli totali	Flavonoidi totali	Antociani totali	Antociani monomeri	Proantocianidine	Flavani reagenti con la vanillina
T	2008 ± 59	2226 ± 74	348 ± 24	65 ± 15	1581 ± 44	953 ± 43
D	1854 ± 47	1855 ± 34	292 ± 23	57 ± 15	987 ± 46	1082 ± 48
S	2165 ± 76	2115 ± 58	295 ± 25	87 ± 11	1610 ± 60	1293 ± 51
FR	1689 ± 37	1815 ± 36	244 ± 14	136 ± 15	1481 ± 29	1033 ± 46
ATV	2252 ± 99	2119 ± 36	245 ± 23	264 ± 53	2131 ± 51	1366 ± 55
ATVB	2291 ± 44	2046 ± 57	287 ± 21	231 ± 17	2335 ± 55	1256 ± 35
RVFM	1748 ± 36	1679 ± 35	278 ± 15	212 ± 38	2277 ± 20	1017 ± 54
CM	1598 ± 83	1712 ± 14	254 ± 14	106 ± 12	2088 ± 66	964 ± 30
MP	1698 ± 45	1938 ± 70	258 ± 15	97 ± 30	2490 ± 46	1109 ± 89

contenuto fenolico ed attività antiossidante del vino Primitivo.

### 7.2 Materiali e metodi

**Campioni.** Sono state allestite nove tesi, replicate due volte, su uve della cv Primitivo vendemmiate a maturazione tecnologica da un vigneto ubicato in agro di Manduria (Taranto, Italia) applicando le seguenti tecnologie di vinificazione: tradizionale (T), delestage (D), salasso (S), follatura ritardata (FR), aggiunta di tannini di vinaccioli (ATV), aggiunta di tannini di vinaccioli e di bucce (ATVB), riscaldamento vinacce a fine macerazione (RVFM), crio-macerazione (CM) e macerazione prolungata (MP).

**Frazione fenolica.** Il contenuto fenolico totale è stato determinato spettrofotometricamente utilizzando il reattivo di Folin-Ciocalteu (FC) (Singleton e Rossi, 1965) e con il metodo OIV (2006) esprimendo i risultati rispettivamente in mg L<sup>-1</sup> di acido gallico equivalenti e in indice polifenoli totali (IPT). Le analisi dei flavonoidi

totali, antociani totali, antociani monomeri, proantocianidine e flavani reagenti con la vanillina sono state condotte secondo le metodiche riportate da Di Stefano et al. (1989).

**Attività antiossidante.** In assenza di un metodo analitico standard accettato per i vini, la valutazione dell'attività antiossidante è stata condotta utilizzando tre diversi test: a) metodo dell'ABTS·+/metamioglobina (Miller et al., 1993); b) metodo del β-carotene (Katalinic et al., 2004; von Gadow et al., 1997) opportunamente modificato; c) metodo del DPPH (OIV n. ENO/SC-MAV/03/269, 2006).

### 7.3 Risultati e discussione

L'aggiunta dei coadiuvanti tannici in fase di macerazione quali vinaccioli (ATV) e vinaccioli + bucce (ATVB) e la tecnica del salasso ha comportato la produzione di vini con maggiore struttura fenolica (tab. 4).

I due metodi di analisi dei polifenoli totali utilizzati (FC e IPT) sono risultati entrambi va-

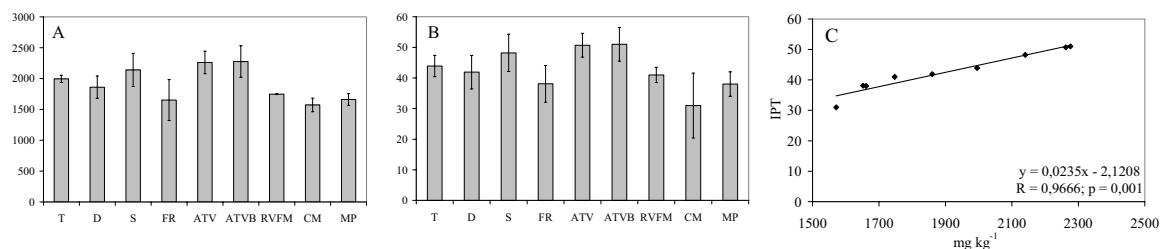


Figura 11. Contenuto fenolico totale dei vini determinati dopo reazione con Folin-Ciocalteu (A) e con il metodo OIV (B) e loro correlazione (C).

Figure 11. Total phenolic content of wines assessed (A) after reaction with Folin-Ciocalteu and (B) with OIV method, and (C) their correlation.

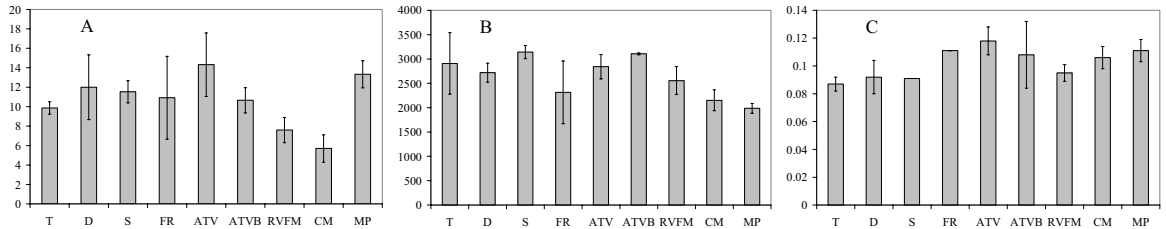


Figura 12. Attività antiossidante dei vini: metamioglobina/Abts (Attività Antiossidante %) (A),  $\beta$ -carotene (Coefficiente Attività Antiossidante) (B) e DPPH (ED50) (C).

Figure 12. Antioxidant activity of wines: (A) metamioglobin/Abts (% Antioxidant Activity), (B)  $\beta$ -carotene (Antioxidant Activity Coefficient), and (C) DPPH (ED50).

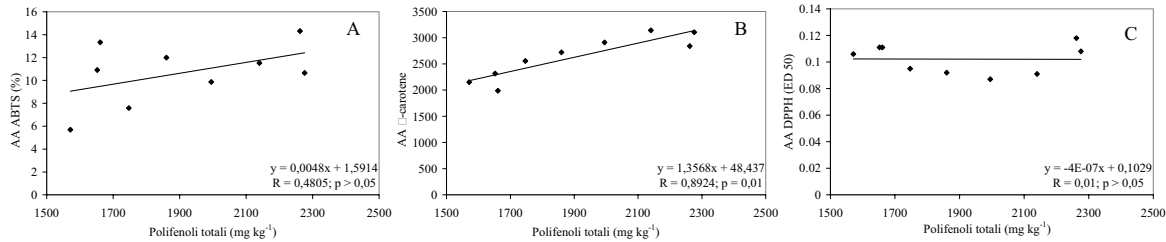


Figura 13. Correlazione tra polifenoli totali (PT) ed attività antiossidante dei vini: PT/ABTS (A), PT/ $\beta$ -carotene (B) e PT/DPPH (C).

Figure 13. Correlation between total polyphenols (TP) and antioxidant activity of wines: (A) TP/ABTS, (B) TP/ $\beta$ -carotene, and (C) TP/DPPH.

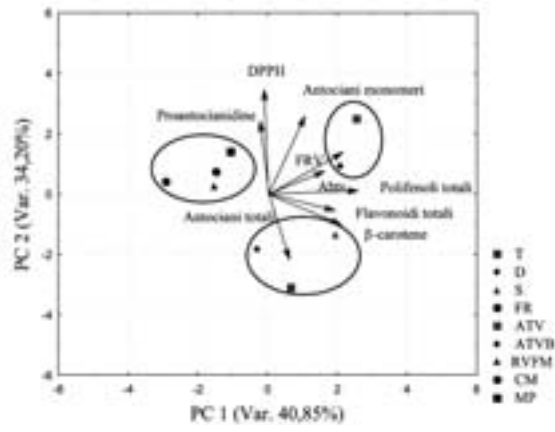


Figura 14. Analisi delle componenti principali dei vini.  
 Figure 14. Principal components analysis of wines.

lidi e tra loro ben correlati ( $R = 0,9666$ ;  $p = 0,001$ ) (fig. 11). Per quanto riguarda l'attività antiossidante (fig. 12), l'applicazione dei tre metodi ha dato risultati differenti. Tra i metodi testati quello del  $\beta$ -carotene ha mostrato la maggiore correlazione con il contenuto fenolico ( $R = 0,8924$ ;  $p = 0,01$ ) (fig. 13). Evidentemente l'attività antiossidante dei vini, come di altri

prodotti alimentari, dipende non solo dal contenuto fenolico ma anche dal tipo di fenoli.

L'analisi statistica delle componenti principali (PCA) ha consentito di raggruppare i campioni in 3 gruppi (fig. 14). Un primo gruppo è risultato costituito dai due vini ottenuti con l'aggiunta di tannini esogeni (ATV e ATVB), un secondo da quelli ottenuti con la criomacerazione (CM), riscaldamento finale delle vinacce (RVFM), follatura ritardata (FR) e macerazione prolungata (MP) e un terzo da quelli prodotti con la macerazione tradizionale (T), salasso (S) e delestage (D).

7.4 Conclusioni

La scelta della tecnica di macerazione per la produzione del vino Primitivo dipende dagli obiettivi che si vogliono perseguire. L'aggiunta di tannini di vinaccioli e/o bucce potrebbe essere raccomandata per la produzione di vini con una maggiore struttura fenolica. L'attività antiossidante di un vino non può essere prevista solo sulla base del suo contenuto fenolico. Essa dipende anche dalla specifica composizione fenolica e dal metodo analitico utilizzato. Tra i tre metodi utilizzati quello del  $\beta$ -carotene sembra

essere il più efficace nella valutazione dell'attività antiossidante del vino. Un limite di questi saggi è rappresentato dal fatto che la capacità riducente non riflette necessariamente l'efficacia antiossidante dei campioni considerati.

## Bibliografia

- Amarowicz R., Shahidi F. 1996. A rapid chromatographic method for separation of individual catechins from green tea. *Food Res. Int.*, 29:71-76.
- Andrewes P., Busch J.L.H.C., de Joode T., Groenewegen A., Alexandre H. 2003. Sensory properties of virgin olive oil polyphenols: identification of Deacetoxy-ligstroside aglycon as a key contributor to pungency. *J. Agric. Food Chem.*, 51:1415-1420.
- Aparicio R., Roda L., Albi M. A., Gutierrez F. 1999. Effect of various compounds on virgin olive oil stability measured by Rancimat. *J. Agric. Food Chem.*, 47:4150-4155.
- Aruoma O.I. 1994. Nutrition and health aspects of free radicals and antioxidants. *Food Chem. Toxic.*, 32:671-683.
- Basu A.K., Marnett L.J., Romano L.J. 1984. Dissociation of malondialdehyde mutagenicity in *Salmonella typhimurium* from its ability to induce interstrand DNA cross-links. *Mutat Res.*, 129:39-46.
- Bell J.R.C., Donovan J.L., Wong R., Waterhouse A.L., German J.B., Walzen J.R. 2000. (+)-Catechin in human plasma after ingestion of a single serving of reconstituted red wine. *Am. J. Clin. Nutr.*, 71:103-108.
- Brenes M., García A, García P, Garrido A. 2000. Rapid and complete extraction of phenols from olive oil and determination by means of a colorimetric electrode array system. *J. Agric. Food Chem.*, 48:5178-5183.
- Burton G.W., Ingold K.U. 1984. Beta-carotene: an unusual type of lipid antioxidant. *Science*, 224:569-573.
- Chimi H., Cillard J., Cillard P, Rahmani M. 1991. Peroxyl and hydroxyl radical scavenging activity of some natural phenolic antioxidants. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 68:307-312.
- Cinquanta L., Esti M., La Notte E. 1997. Evolution of phenolic compounds in virgin olive oil during storage. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 74:1259-1264.
- Clough R.L., Yee B.G., Foote C.S. 1979. Chemistry of singlet oxygen 30. The unstable primary product of tocopherols photooxidation. *J. Am. Chem. Soc.*, 101:683-686.
- Crawford D.L., Yu T.C., Sinnhuber R.O. 1967. Reaction of malonaldehyde with protein. *J. Food Sci.*, 32:332-335.
- Cul J., Juhasz B, Tosaki A. 2002. Cardioprotection with grapes. *J. Cardio. Pharm.*, 40:762-769.
- Cuppett S., Schnepf M., Hall III C. 1997. Natural Antioxidants: An Overview. In: Shahidi F.(Ed.): *Natural Antioxidants – Chemistry, Health Effects, and Applications*, 13-24. AOCS Press, Champaign, Illinois.
- Das N.P., Pereira T.A. 1990. Effects of flavonoids on thermal autoxidation of palm oil: structure activity relationship. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 67:255-258.
- Di Stefano R., Cravero M.C., Gentilizi N. 1989. Metodi per lo studio dei polifenoli dei vini. *L'Enotecnico*, 5:83-89.
- Dziedzic, S.Z., Hudson B.J.F. 1984. Phenolic acids and related compounds as antioxidants for edible oils. *Food Chemistry*, 14:45-51.
- Foote C.S., Chang Y.C., Denny R.W. 1970. Chemistry of singlet oxygen. X. Carotenoid quenching parallels biological protection. *J. Am. Chem. Soc.*, 92:5216-5218.
- Frankel E.N. 1991. Recent Advances in Lipid Oxidation. *J. Sci. Food Agric.*, 54:495-511.
- Fukuda Y., Osawa T., Namiki M., Ozaki T. 1985. Studies on Antioxidant Substances in Sesame Seed. *Agric. Biol. Chem.*, 49:301-306.
- Fujimoto K., Neff W.E., Frankel E.N. 1984. The reaction of DNA with lipid oxidation products, metals and reducing agents. *Biochim. Biophys. Acta*, 795:100-107.
- Gambacorta G., Faccia M., Pati S., Lamacchia C., Baiano A., La Notte E. 2007. Changes in the chemical and sensorial profile of extra virgin olive oils flavored with herbs and spices during storage. *J. Food Lipid*, 14:202-215.
- Gambacorta G., Previtali M.A., Pati S., Baiano A., La Notte E. 2006. Characterization of the phenolic profiles of some monovarietal extra virgin olive oils of Southern Italy. *Proceedings XXIII International Conference on Polyphenols*. Winnipeg, Manitoba, Canada, 393-394.
- Gomes-Alonso S., Salvador M.D., Fregapanè G. 2002. Phenolic compounds profile of Cornicabra virgin olive oil. *J. Agric. Food Chem.*, 50:6812-6817.
- Grams G.W., Eskin K., Ihglett G.H. 1972. Dye-sensitized photooxidation of  $\alpha$ -tocopherol. *J. Am. Chem. Soc.*, 94:866-868.
- Hudson B.J.F., Lewis J.I. 1983. Polyhydroxy flavonoid antioxidants for edible oils. Structural criteria for activity. *Food Chem.*, 10:47-55.
- Jitoe A., Masuda T., Tengah I.G.P., Suptapta D.N., Gara I.W., Nakatani N. 1992. Antioxidant activity of tropical ginger extracts and analysis of the contained curcuminoids. *J. Agric. Food Chem.*, 40:1337-1340.
- Kasuga A., Aoyagi Y., Sugahara T. 1988. Antioxidant activities of edible plants. *Nippon Shokuhin Gakkai-shi*, 35:828.
- Katalinic V., Milos M., Modun D., Music I., Boban M. 2004. Antioxidant effectiveness of selected wines in comparison with (+)-catechin. *Food Chem.*, 86:593-600.
- Kinsella J.E., Frankel E.N., German J.B., Kanner J. 1993. Possible mechanism for the protective role of antioxidants in wine and plant foods. *Food Techn.*, 47:467-469.

- Marinova E.M., Yanishieva N.V. 1994. Effect of lipid unsaturation on the antioxidative activity of some phenolic acids. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 71:427-434.
- Miller N.J., Rice-Evans C., Davies M.J., Gopinathan V., Miller A. 1993. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clin. Sci.*, 84:407-412.
- Montedoro G.F., Servili M., Baldioli M., Miniati E. 1992. Simple and hydrolyzable phenolic compounds in virgin olive oil. I. Their extraction, separation and quantitative and semiquantitative evaluation by HPLC. *J. Agric. Food Chem.*, 40:1571-1576.
- OIV 2006. Progetti di Risoluzioni – Tappa 5 – Metodo n. ENO/SCMAV/03/269, Metodo rapido di valutazione del potere antiradicalico dei vini e delle acquaviti mediante l'uso di DPPH.
- OIV 2006. Progetti di Risoluzioni – Tappa 5 – Metodo n. ENO/SCMAV/04/298, Stima e quantificazione dei composti fenolici dei vini.
- Packer L. 1996. Molecular mechanisms and health effects. *Symposium International: Natural Antioxidants*. AOCS Press, Champaign, IL, 1996, 9-23.
- Ramarathnam N., Osawa T., Namiki M., Kawakishi S. 1989. Chemical studies on novel rice hull antioxidants II. Identification of isovitexin, AC-glycosyn flavonoid. *J. Agric. Food Chem.*, 37:316-319.
- Scott G. 1985. Antioxidants in vitro and in vivo. *Chem. Br.*, 21:648-653.
- Shahidi F. 1997. Natural Antioxidants: An Overview. In: Shahidi F. (ed.): *Natural Antioxidants – Chemistry, Health Effects, and Applications*, 1-11. AOCS Press, Champaign, Illinois.
- Shahidi F., Pegg R.B., Saleemi Z.O. 1995. Stabilization of meat lipids with ground spices. *J. Food Lipids*, 2:145-153.
- Singleton V.L., Rossi J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.*, 16:144-158.
- Terao J. 1989. Antioxidant activity of beta-carotene-related carotenoids in solution. *Lipids*, 24:659-661.
- Visioli F., Poli A., Galli C. 2002. Antioxidant and other biological activities of phenols from olives and olive oil. *Med. Res. Rev.*, 22:75-65.
- Visioli F., Bellosta S., Galli C. 1998. Oleuropein, the bitter principle of olives, enhances nitric oxide production by mouse macrophages. *Life Sci.*, 62:541-546.
- von Gadow A., Joubert E., Hansmann C.F. 1997. Comparison of the antioxidant activity of aspalathin with that of other plant phenols of Rooibos Tea (*Aspalathus linearis*),  $\alpha$ -tocopherol, BHT, and BHA. *J. Agric. Food Chem.*, 45:632-638.
- Wanasundara U., Amarowicz R., Shahidi F. 1994. Isolation and identification of an antioxidative component on Canola Meal. *J. Agric. Food Chem.*, 42:1285-1290.
- Wu J.W., Lee M.-T., Ho C.-T., Chang S.S. 1982. Elucidation of chemical structures of natural antioxidants isolated from rosemary. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 59:339-345.



# Difesa delle colture e sicurezza degli alimenti: considerazioni sulla filiera cereali

Pasquale Trematerra\*<sup>1</sup>, Maria Lodovica Gullino<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze Animali, Vegetali e dell'Ambiente, Università del Molise  
Via De Sanctis, 86100 Campobasso

<sup>2</sup> Agroinnova, Università di Torino  
Via Leonardo da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO)

Associazione Italiana per la Protezione delle Piante (AIPP)

---

## Riassunto

Nella protezione delle colture e dei prodotti derivati il ricorso esclusivo alla lotta chimica può essere sostituito dall'Integrated Pest Management (o IPM) che enfatizza la sinergia di più discipline e misure di intervento in una gestione complessiva, indirizzata alla prevenzione dei danni, prima del raggiungimento delle soglie economiche. Nel futuro il settore agro-alimentare dovrà applicare estesamente l'IPM, per soddisfare le richieste dei consumatori e delle loro associazioni, sempre più interessati alla sicurezza degli alimenti, riducendo l'uso di biocidi. Nel presente lavoro si riportano alcune considerazioni, sulle innovazioni tecnologiche più diffuse ed efficaci applicabili alla filiera cereali.

*Parole chiave:* difesa colture, sicurezza alimenti, filiera cereali, IPM.

## Summary

### PLANT PROTECTION AND FOOD SAFETY: NOTES ON CEREAL CHAIN

Integrated Pest Management (or IPM) is a decision-making process that prevents pest activity and infestation by combining several strategies to achieve long-term solutions. Components of an IPM program may include education, proper waste management, structural repair, maintenance, biological and mechanical control techniques, and pesticide application. These tactics should meet economic, public health and environmental goals. In this paper new methods and strategies of pest control in cereal chain are reported.

*Key-words:* plant protection, food safety, cereal chain, IPM.

## 1. Introduzione

Negli ultimi anni la difesa delle colture dagli attacchi dei parassiti animali e vegetali ha sempre più richiamato l'attenzione di tutta quanta la filiera agro-alimentare, non soltanto per le evidenti implicazioni sulle produzioni agricole ma anche, e soprattutto, per l'impatto che essa può avere sulla sicurezza degli alimenti. Si prenda in esame l'effetto positivo sulla qualità delle produzioni rivestito dalla disponibilità di mezzi di difesa chimici a sempre minore impatto ambientale, dall'impiego di metodi fisici e biologi-

ci di lotta e, più in generale, dall'adozione di strategie innovative. Le esigenze di sicurezza igienica e di elevata qualità degli alimenti hanno progressivamente assunto un rilievo primario e l'opinione pubblica ha esplicitamente evidenziato la necessità di adeguare il processo produttivo, in modo da assicurare il rispetto dell'ambiente e della salute dei consumatori.

Nel corso del tempo il concetto stesso di difesa delle colture e dei prodotti derivati ha subito una profonda evoluzione, evidenziata anche dalla terminologia adottata. Basta, infatti,

\* Autore corrispondente: tel.: + 39 0874 404655. Indirizzo e-mail: trema@unimol.it

consultare i testi di qualche decina di anni fa per assistere ad un uso molto frequente del termine lotta, in seguito attenuato in difesa e, infine, di protezione oppure nel recente management delle infestazioni o delle malattie. Ciò evidenzia una vera e propria evoluzione dei criteri di approccio, passati da una tendenza ad eliminare completamente i parassiti fino ad arrivare ad una loro gestione eco-compatibile, in modo tale da evitare il superamento delle soglie tollerabili per ciascuna coltura e contesto colturale, prodotto alimentare o comparto industriale.

La protezione delle colture e dei prodotti trasformati è evoluta, quindi, dall'impiego prevalente, se non esclusivo, di biocidi ad un concetto di protezione integrata (Integrated Pest Management o IPM), basata sull'uso combinato e razionale dei diversi mezzi disponibili mirato a massimizzare i benefici e a ridurre al minimo i relativi rischi. Ulteriori progressi, al riguardo, si avranno con l'affermarsi dell'agricoltura di precisione. I risultati conseguiti hanno consentito un graduale e complessivo miglioramento dell'intera filiera agro-alimentare contribuendo a risolvere il difficile compito di garantire l'assenza di residui dei mezzi chimici impiegati per migliorare le produzioni, ma anche quella di pericolosi contaminanti di origine naturale quali le micotossine.

In questa sede si prendono in esame alcuni aspetti riferiti alla filiera cereali, fonte alimentare per gran parte delle popolazioni nei vari continenti.

In tale contesto negli ultimi tempi a fianco di sistemi di difesa antiparassitaria tradizionali, ne sono stati messi a punto altri, innovativi e complementari, tanto che oggi il ricorso esclusivo alla lotta chimica, in molti casi, può essere sostituito dall'IPM. I punti salienti comprendono la conoscenza dei fattori che regolano i sistemi coinvolti, il monitoraggio delle popolazioni dannose, la disponibilità di dati storici, per adottare le più opportune misure di gestione delle infestazioni. Lo sviluppo e l'attuazione di programmi di IPM sono stati presi in considerazione e realizzati sia nella salvaguardia di prodotti grezzi, sia per quelli trasformati e di merci. Nel futuro il settore agro-alimentare dovrà applicare ancora più estesamente tali indirizzi, per soddisfare le maggiori richieste dei consumatori e delle loro associazioni, sempre più in-

teressati alla sicurezza degli alimenti, riducendo l'uso dei biocidi e i rischi connessi al loro impiego.

Nel caso dei parassiti vegetali, particolare attenzione va prestata non solo al contenimento dei patogeni stessi, ma anche alla prevenzione della loro contaminazione da metaboliti tossici. La presenza di micotossine nelle derrate cerealicole rappresenta, di fatto, un problema di notevole importanza, cui solo in anni recenti si è prestata la dovuta attenzione. La formazione di micotossine nelle colture infette e la loro persistenza negli alimenti e nei mangimi è, infatti, spesso associata a micotossicosi acute e croniche degli allevamenti e, direttamente o indirettamente, dell'uomo. Nei cereali le micotossine sono prodotte da funghi appartenenti ai generi *Fusarium*, *Aspergillus*, *Alternaria* e *Penicillium*, presenti in aree temperate, semi-tropicali e tropicali. Sia i cereali autunno-vernini che quelli primaverili-estivi possono essere contaminati. In presenza di condizioni favorevoli al loro sviluppo, i funghi tossigeni possono produrre micotossine in tutte le fasi della filiera cerealicola. Di particolare rilevanza, nelle nostre condizioni per i cereali sono le micotossine prodotte da specie di *Fusarium*, agenti della fusariosi della spiga. Tali micotossine sono molto resistenti ai più comuni agenti fisici, chimici e microbiologici utilizzati nell'industria agroalimentare e pertanto gli interventi di difesa si basano fondamentalmente su misure di lotta agronomica (Moretti et al., 2006).

Di seguito si riportano alcune brevi considerazioni, sulle innovazioni tecnologiche più diffuse ed efficaci che aiutano a gestire le infestazioni e le contaminazioni nella filiera cereali (Fields e White, 2002; Trematerra e Süß, 2007).

## 2. Mezzi e metodi di lotta

### 2.1 Mezzi chimici

Per la disinfestazione dei cereali, oltre che di interi edifici, possono essere utilizzati prodotti liquidi, che vengono distribuiti durante le movimentazioni, oppure sono irrorati direttamente su pareti e pavimenti, nel caso in cui la disinfestazione riguardi intere industrie.

È evidente che, quando si opera all'interno di strutture, per di più destinate alla produzione di alimenti, o ad altro, è necessario utilizza-

re principi attivi a bassa tossicità, quali i piretroidi sintetici. Le possibilità pratiche prevedono la distribuzione dei formulati sulle pareti, con uso di sostanze dall'attività protratta nel tempo, per combattere insetti annidati in anfratti o larve migranti sui muri, alla ricerca di punti ove incrisolidarsi, oppure con irrorazioni spaziali mediante termonebbiogeni o generatori di microparticelle, a freddo. Tali trattamenti sono effettuati con piretrine naturali, eventualmente attivate da butossido di piperonile, o con piretroidi sintetici, comunque caratterizzati da effetto abbattente e bassissima persistenza. Ne consegue che il risultato ottenibile è quello di uccidere insetti in volo, non nascosti; gli esiti sono limitati e la scelta di tale linea di difesa richiede la programmazione di un elevato numero di interventi. Per insetti annidati in anfratti, quali blatte e formiche, è invece possibile l'utilizzo di biocidi ad azione persistente (piretroidi, carbammati o fosfororganici) da impiegare in trattamenti localizzati, nei luoghi in cui è stata individuata, tramite un monitoraggio, la loro presenza. La lotta a tali infestanti può essere condotta con l'impiego di prodotti formulati come esche/gel. Si tratta di un metodo che richiede una maggiore professionalità da parte degli operatori perché non è necessario irrorare ampie superfici, ma è indispensabile distribuire le gocce di gel nei punti giusti e in quantità adeguata, dopo aver effettuato un'attenta analisi della situazione, riconoscendo la specie infestante, la densità della colonia, la presenza o meno di individui giovani, etc..

Se invece si passa a considerare la disinfestazione diretta di derrate, è necessario innanzi tutto evidenziare che è consentito impiegare prodotti fitosanitari liquidi solo sui cereali da immagazzinare. Si tratta di una tecnica ben nota da tempi lontani, attuata grazie all'utilizzo di apposite pompe distributrici, installate sui redler o alla base degli elevatori. Al momento si usano prodotti a base di deltametrina, dichlorvos, pirimiphos metile, sostanze caratterizzate da una protratta persistenza, che agiscono per contatto, ingestione e, in alcuni casi, anche per asfissia. È da evidenziare che nessuna di queste sostanze è in grado di eliminare tutti gli stadi vitali degli insetti eventualmente presenti, tanto più che spesso si sviluppano nelle cariossidi, come è il caso dei *Sitophilus*, di *Sitotroga cerealella* e di *Rhyzopertha dominica*. Ne consegue

che, se la persistenza non è particolarmente elevata gli adulti sfarfallano ad efficacia del trattamento ormai nulla: ciò può spiegare, in vari casi, il perpetuarsi dell'infestazione! Il larghissimo utilizzo in tutto il mondo di questi principi attivi ha portato alla selezione di ceppi di insetti resistenti; anche in Italia il fenomeno pare in via di diffusione, considerando i diversi eventi di insuccesso nell'uso di prodotti di contatto sui cereali, che vengono di mano in mano segnalati. Tra le specie coinvolte, *R. dominica* pare essere quella con più casi di resistenza. È da menzionare anche l'impiego di piretro naturale, nello stoccaggio di cereali biologici. Trattandosi di una sostanza caratterizzata dalla bassa tossicità e dall'assenza di persistenza, vengono ancor più evidenziati i limiti che si hanno nel suo utilizzo. La risposta all'insuccesso di un trattamento di contatto è spesso la ripetizione dell'intervento, aumentando la concentrazione del formulato. Ne consegue il rischio di un'elevata quantità di residui nel cereale e nei prodotti derivati, a volte superiore ai limiti di legge.

Tra i mezzi chimici innovativi, da usare per la disinfestazione degli ambienti, va annoverato il solfurilfluoride, gas fumigante sperimentato in diverse realtà pratiche. È un valido mezzo di disinfestazione dell'industria molitoria, ma il suo utilizzo deve essere affidato a personale specializzato. Il venir meno dell'uso del bromuro di metile per le disinfestazioni, ha coinvolto gli operatori del settore, alla ricerca di valide soluzioni alternative (Savigliano et al., 2006). La più immediata è stata quella che prevede l'utilizzo di idrogeno fosforato o fosfina; altri si sono rivolti agli insetticidi di contatto, con impiego di mezzi fisici per la protezione del riso brillato. Per quanto si riferisce all'uso della fosfina, è da accennare il suo utilizzo nella disinfestazione dei cereali, non più con distribuzione di compresse di fosforo di alluminio o di magnesio, ma contenuta in buste porose da mettere sulla superficie della partita, o in combinazione con anidride carbonica alimentare (E290), in grado di diffondere omogeneamente il gas tossico in tutta la massa. Il problema di ottenere un'adeguata, uniforme concentrazione in un silo è di primaria importanza per garantire l'efficacia del trattamento, evitando oltre tutto l'insorgere di ceppi resistenti. Da alcuni anni, per ottenere questo risultato, è stato messo a punto il metodo J-System; con tale tecnica, grazie ad un si-

stema di tubazioni, si preleva il gas dalla superficie della massa, per reinsufflarlo dalla base del magazzino. La fosfina ha purtroppo un'efficacia modesta nei confronti dei parassiti vegetali.

## 2.2 Mezzi fisici

**2.2.1 Polveri inerti.** Si tratta di polveri a base di farina fossile di diatomee o di zeoliti. Queste presentano una granulometria e una struttura tale da intaccare le membrane intersegmentali del corpo degli artropodi, provocando la loro morte per disidratazione, oppure per menomazioni. Sono particolarmente idonee in ambienti a bassa umidità relativa, come si verifica in un magazzino o all'interno di una massa di cereale. La maggiore efficacia delle polveri si ha a granulometria fine e uniforme, caratteristica che si riscontra soprattutto nelle farine di diatomee, rispetto a quella più grossolana, propria delle zeoliti. Al riguardo i prodotti registrati prevedono dosi d'impiego che variano da 300g a 1000g per tonnellata di cereale; la quantità consigliata, da miscelare nella massa è pari allo 0,2-0,5%. L'attività in laboratorio è ottima, ma si sono osservati dei problemi di distribuzione del prodotto su grosse masse di cereale e in locali ampi. In Australia si integrano le polveri inerti con l'aerazione o con le fumigazioni. Sono anche valide nella protezione di magazzini e cereali in precedenza trattati con gas tossici, atmosfera modificata oppure freddo, impedendo la loro reinfestazione. Di recente si sono osservati buoni risultati mescolando le diatomee con sostanze insetticide, anche IGR.

**2.2.2 Microonde.** I campi ad alta frequenza vengono da qualche tempo proposti come mezzo atto a conseguire la disinfestazione. Le frequenze adottate sono da 6,78 kHz a 2,45 GHz (di recente anche 28 GHz) con tempi di esposizione variabili in accordo con la specie infestante e altri parametri. Risultati interessanti si osservano su prodotti caratterizzati da bassa umidità, quali cereali, farine, frutta e vegetali essiccati, cacao, prodotti da erboristeria, legno.

**2.2.3 Radiazioni ionizzanti.** Le fonti sono i raggi gamma, i raggi X e gli elettroni accelerati. Tra questi i raggi gamma hanno un elevato potere di penetrazione, il loro utilizzo richiede attrezzature costose; agiscono rapidamente e consentono di trattare notevoli masse di derrate. Le radiazioni sono attive solo nei confronti degli or-

ganismi viventi e quindi possono essere impiegate anche sui prodotti finiti, già confezionati, senza il rischio di residui. Negli USA in varie situazioni pratiche si tende ad utilizzare dosaggi prossimi a 1kGy.

Dosi di 2 kGy risultano idonee anche nei confronti di microrganismi. L'efficacia del trattamento è legata alla cura che si pone a fare in modo che tutto quanto il materiale venga raggiunto dalle radiazioni. In alcuni casi sono stati messi a punto dei metodi di applicazione che prevedono di fare passare i cereali attraverso un flusso di aria. Uno dei problemi pratici che si incontra è legato alla presenza contemporanea di più parassiti, aventi una diversa sensibilità alle radiazioni. L'esposizione condiziona l'esito del trattamento, perché influenza lo stato metabolico del bersaglio.

Riferito ai cereali, pertanto, l'intervento con radiazioni ionizzanti risulta sufficientemente efficace per eliminare parassiti animali, non influenza negativamente le caratteristiche organolettiche e risulta economicamente sostenibile. In alcuni casi è stato, inoltre, osservato un effetto positivo sulla conservabilità del materiale trattato. Tale tecnica incontra però numerosi ostacoli per l'avversione dei consumatori e per l'installazione degli impianti

**2.2.4 Temperature estreme.** Le condizioni ideali di sviluppo per la gran parte degli insetti delle derrate sono 25-33 °C e 65-75% di umidità relativa. Nel caso di infestanti, la manipolazione degli habitat, e quindi dei parametri presenti, può rallentare o bloccare la loro dinamica. Più complicati, invece, sono gli interventi nei confronti di parassiti vegetali.

**Basse temperature.** Portare la temperatura al di sotto della soglia ottimale, consente di contrastare sia il deterioramento delle caratteristiche chimico-fisiche e organolettiche delle derrate, sia lo sviluppo e la diffusione degli infestanti. Le basse temperature rallentano il metabolismo degli artropodi senza devitalizzarli, per questo vengono considerate un sistema di prevenzione e contenimento delle avversità. La refrigerazione è molto diffusa nel settore cerealicolo; la bassissima conducibilità termica delle granaglie, fa sì che esse mantengano la loro temperatura pressoché inalterata, indipendentemente da quella esterna. Lo sviluppo della maggior parte degli artropodi legati ai cereali si ar-

resta a circa 18 °C. Temperature tra 15 °C e -15 °C possono uccidere tutti gli infestanti; a -18 °C i nemici delle derrate muoiono in 2-3 minuti; già in condizioni inferiori a 5 °C non sono capaci di muoversi. La mortalità è condizionata dallo stadio di sviluppo, dall'acclimatamento e dalla durata dell'esposizione. Dal punto di vista pratico, gli inconvenienti più rilevanti che presenta l'utilizzo di tale tecnica è dato dagli alti costi di gestione e dalla necessità di impianti di stoccaggio già predisposti. Le basse temperature si limitano invece a rallentare semplicemente lo sviluppo dei parassiti vegetali.

*Alte temperature.* È sufficiente aumentare i parametri ottimali di temperatura di 5 °C per ottenere l'arresto dello sviluppo nella gran parte delle specie infestanti. Per *S. oryzae*, il più alto tasso di moltiplicazione si ha a 29 °C, ma tale tendenza si annulla a 35 °C; in *R. dominica* il massimo accrescimento si ha a 34 °C, la moltiplicazione invece si arresta a 38,6°C. La durata dell'esposizione, la specie coinvolta, lo stadio interessato, l'acclimatamento, l'umidità relativa e la temperatura del prodotto influiscono sull'efficacia di tale trattamento.

L'attenzione del settore è focalizzata soprattutto sull'uso di aria calda in letti fluidi, onde elettromagnetiche ad alta frequenza, microonde e raggi infrarossi. Questi quattro metodi consentono di riscaldare in breve tempo derrate, granaglie o sfarinati, fino a 50-60 °C e raffreddarle anche con altrettanta rapidità. I dati disponibili in letteratura indicano che la maggior parte delle specie non sopravvive più di 24 ore a 40 °C; 12 ore a 45 °C; 5 minuti a 50 °C; 1 minuto a 55 °C e 30 secondi a 60 °C. Nelle operazioni pratiche di intervento occorre prestare attenzione ai materiali plastici, ai macchinari, agli eventuali impianti antincendio. Esiste il rischio che non si riesca a raggiungere la temperatura necessaria in tutti i punti dei vari ambienti, con la possibilità quindi di reinfestazioni immediate; per evitare ciò è necessario ricorrere all'ausilio di interventi insetticidi di contatto localizzati.

Il calore secco permette di ottenere solo raramente un effettivo contenimento di funghi, batteri, nematodi o virus insediati su cereali. Forme alternative di trattamento che prevedono una differente veicolazione dell'energia termica sono state messe a punto. L'impiego di vapore aerato è alla base di una tecnica di tratta-

mento sviluppata in modo commerciale in Svezia (Forsberg et al., 2002), con buoni risultati nei confronti di patogeni di cereali (Tinivella et al., 2005). Il trattamento si basa sull'effetto letale di un fascio di elettroni a bassa energia ed è stato sviluppato appena dopo il 1980 per contenere in modo particolare i patogeni del frumento.

*2.2.5 Atmosfere controllate.* Sono da ricordare l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) tal quale, oppure sotto vuoto o ad alta pressione, e l'azoto (N<sub>2</sub>). All'uso delle atmosfere controllate vengono riconosciuti diversi vantaggi, quali l'assenza di residui, la riduzione dei rischi nel corso dell'applicazione, la possibilità di impiego delle derrate subito dopo la disinfestazione. In Italia l'azoto trova applicazioni limitate, a causa della mancanza di strutture predisposte. Nella conservazione dei cereali occorre tenere l'ossigeno sotto l'1% per un periodo di 3-4 settimane, cosa possibile solamente nei magazzini a tenuta stagna. L'utilizzo della CO<sub>2</sub> risulta invece molto efficace, a condizione che siano rispettate le quantità e i tempi di esposizione. È sufficiente una concentrazione del 40-60% raggiungibile anche in magazzini non perfettamente ermetici. In merito sono stati effettuati esperimenti con l'utilizzo della CO<sub>2</sub> a bassa o ad alta pressione in autoclave. Tale operatività si può applicare però a limitati quantitativi di prodotto e richiede attrezzature molto costose. La CO<sub>2</sub> in bombole o sotto forma di ghiaccio secco può essere un ottimo coadiuvante nel caso di trattamenti con fosfina. È in commercio una formulazione in cui il principio attivo si trova in bombole, sotto forma di gas, in miscela con anidride carbonica (3% di PH<sub>3</sub> e 97% di CO<sub>2</sub>); tale sistema permette di dimezzare sia i tempi di trattamento e sia la quantità di principio attivo impiegato. Tuttavia i costi degli impianti sono molto elevati e spesso insostenibili. Tale tipo di trattamento trova, perciò, applicazioni più ricorrenti su derrate pregiate (quali ad esempio caffè, cacao, spezie, frutta essiccata etc.).

### 2.3 Lotta biologica

Il controllo biologico è ancora in fase sperimentale, tuttavia vi sono applicazioni degne di nota, che in alcuni casi hanno conseguito anche successi pratici.

*2.3.1 parassitoidi e predatori.* Oltre 50 parassitoidi e predatori sono stati trovati a carico di

circa 75 specie di artropodi dannosi. I vantaggi della lotta biologica risiedono soprattutto nell'eliminazione di contaminanti chimici, nell'efficacia e nella precisione di intervento anche in presenza di alimenti. Gli svantaggi si raggruppano nella possibile contaminazione dei prodotti finiti e nella complessità d'uso. Tra i predatori sono da ricordare gli esperimenti preliminari realizzati soprattutto con *Xylocoris flavipes* e *Lyctocoris campestris*, attivi limitatori di diverse specie infestanti, siano essi lepidotteri o coleotteri. Potenzialità di controllo biologico degli acari nocivi, si hanno soprattutto da parte del predatore *Cheyletus eruditus*.

**2.3.2 Microrganismi.** Tale protezione non offre ancora risultati diffusi e pienamente soddisfacenti. *Bacillus thuringiensis*, rispetto ai più tradizionali insetticidi, è caratterizzato da scarsissima tossicità nei confronti dei parassitoidi e dei predatori, ma la mortalità indotta negli infestanti varia seconda la specie e la concentrazione d'uso. Un discreto successo si è riscontrato nell'applicazione di un virus attivo nei confronti di *P. interpunctella*, il limite di tale microrganismo consiste nella sua estrema specificità. Le potenzialità di alcuni funghi entomopatogeni (come i micromiceti) sono state studiate in laboratorio; molta attenzione meritano ancora le formulazioni applicative. Alcuni protozoi possono invadere l'ospite per ingestione: *Nosema whitei*, trovato quale patogeno in *T. castaneum*; nei triboli sono stati rinvenuti *Adelina tribolii*, *Farinocystis tribolii* e *Lymphotropha tribolii*.

L'impiego di microrganismi capaci di limitare lo sviluppo di parassiti vegetali in grado di attaccare i cereali durante la conservazione non trova ancora applicazioni pratiche, a causa dei risultati solo parziali, e poco ripetibili, e del costo legato allo sviluppo di biofitofarmaci. Le ricerche in questo settore si sono concentrate soprattutto sull'impiego di specie di *Trichoderma* e *Clonostachys* tra i funghi, di diversi lieviti, di *Pseudomonas* e *Bacillus* tra i batteri nella concia di sementi per contenere lo sviluppo di patogeni trasmessi per seme (Tinivella et al., 2003).

## 2.4. Mezzi biotecnici

**2.4.1 feromoni.** Le trappole a feromoni vengono impiegate per rilevare sia la presenza sia la densità di eventuali parassiti. Esse risultano uti-

li anche nella definizione di aree e di settori infestati (monitoraggio). Generalmente sono molto efficaci quando la presenza di infestanti è contenuta, tanto da essere usate anche dal punto di vista qualitativo per fornire indicazioni circa l'incidenza dei danni. Il loro corretto impiego consente di razionalizzare le procedure di lotta, attraverso interventi mirati e limitati soltanto ai casi strettamente necessari. I feromoni si usano anche come lotta diretta.

**Cattura massiva,** il solo intrappolamento di una specie infestante richiede una quantità elevata di catture, in modo tale da evitare l'accoppiamento in quasi tutti gli individui presenti. Di fronte ad un'infestazione abbondante le possibilità di incontro tra i due sessi sono piuttosto frequenti e la cattura massiva risulta difficile da attuare; al contrario in situazioni più contenute la cattura può risultare incisiva e ridurre la popolazione a livelli poco significativi.

**Metodo attratticida,** il concetto su cui si basa questo metodo coinvolge un feromone e un biocida, abbinati su una superficie limitata. L'insetto target, seguendo il richiamo della fonte attrattiva finisce per poggarsi sull'area cosparsa di insetticida, oppure di un altro biocida (ad esempio un patogeno), che ne causa la morte con effetto abbattente o per contaminazione irreversibile. Tale sistema fornisce risultati simili alla cattura massiva.

**Confusione sessuale,** il meccanismo con cui può essere ottenuta la confusione è uno, o una combinazione, dei seguenti: esposizione ad un livello elevato di feromone, sino ad arrivare all'adattamento dei recettori antennali; esposizione a un livello sufficientemente alto di feromone, in grado di mascherare i richiami chimici naturali; applicazione di numerose fonti di emissione di feromone sintetico, in modo da distogliere la ricerca dei consimili. Le possibilità sono simili a quanto riportato per la cattura massiva.

## 3. Prospettive future

Nella lotta agli infestanti altre innovazioni sono state proposte e vengono già usate, oppure sono in fase di sperimentazione e sviluppo: si ricorda, ad esempio, l'induzione di sterilità mediante sostanze chimiche, l'impiego di sostanze repellenti e antifeedants, l'uso della forza cen-

trifuga negli entoleter, le applicazioni a base di ozono, il ricorso a confezioni realizzate con materiali resistenti all'aggressione.

Per quanto riguarda i parassiti vegetali, certamente la perdita del bromuro di metile ha causato problemi non irrilevanti, in quanto i fumiganti impiegati o impiegabili in sostituzione hanno una spiccata azione insetticida e una minore azione fungicida. In futuro, pertanto, maggiore attenzione andrà prestata anche alla possibile contaminazione da micotossine.

Negli ultimi anni sono state realizzate anche nuove apparecchiature utili alla stima delle popolazioni dannose, alla gestione dei fumiganti, così come di altri metodi di lotta. Un'ulteriore migliore applicazione dell'IPM deriva dallo sviluppo e messa a punto di alcuni sistemi decisionali su base informatica, in grado di valutare l'evolversi di un'infestante e la distribuzione spazio-temporale dei suoi individui, in funzione dei principali parametri ambientali (Trematerra e Sciarretta, 2005).

Tuttavia nessuna delle tecniche disponibili può da sola risolvere i problemi legati alla protezione di merci, derrate e industrie. Per ottenere risultati accettabili è necessario saper gestire di volta in volta gli ambienti in cui esse si trovano, integrando fra loro le diverse conoscenze.

## Bibliografia

- Fields P.G., White N.D.G. 2002. Alternatives to Methyl Bromide Treatments for Stored-Product and Quarantine Insects. *Ann. Rev. Entomol.*, 47:331-359.
- Forsberg G., Andersson S., Johnsson L. 2002. Evaluation of hot, humid air seed treatment in thin layers and fluidized beds for seed pathogen sanitation. *J. Plant Diseases Prot.*, 109:357-370.
- Moretti A., Logrieco A., Bottalico A. 2006. Micotossine nella filiera cerealicola. *Informatore Fitopatologico – La difesa delle piante*, 56, 2:7-13.
- Savigliano R., Minuto A., Camponogara A., Savoldelli S., Süß L., Gullino M.L. 2006. Bromuro di metile: eliminazione senza rimpianti. *Informatore Fitopatologico – La difesa delle piante*, 56, 3:31-35.
- Tinivella F., Titone P., Gullino M.L., Garibaldi A. 2003. Una moderna tecnologia di concia delle sementi per la loro utilizzazione in agricoltura biologica. *Informatore Fitopatologico – La difesa delle piante*, 53, 3:16-20.
- Trematerra P., Sciarretta A. 2005. Il contributo dell'analisi spazio-temporale alla gestione delle infestazioni in ambienti antropizzati. *Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, Rend., Anno LIII*, 135-152.
- Trematerra P., Süß L. 2007. *Prontuario di entomologia merceologica e urbana, con note morfologiche, biologiche e di gestione delle infestazioni*. Aracne Editrice, Roma.

