



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

## FLORE

# Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **La valutazione dell'agricoltura biologica: un modello aziendale economico-ambientale**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

La valutazione dell'agricoltura biologica: un modello aziendale economico-ambientale / L.Omodei Zorini; G.C.Pacini. - In: AESTIMUM. - ISSN 1592-6117. - STAMPA. - 44(2004), pp. 25-47.

*Availability:*

This version is available at: 2158/383957 since:

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

(Article begins on next page)

Luigi Omodei Zorini<sup>1\*</sup>  
Cesare Pacini<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Economia Agraria  
e delle Risorse del Territorio  
Università degli Studi di Firenze  
e-mail: lozorini@ECON.AGR.  
UNIFI.IT

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze Agro-  
nomiche e Gestione del Territorio  
Agroforestale  
Università degli Studi di Firenze  
e-mail: cesare.pacini@unifi.it

Parole chiave: *valutazione  
sostenibilità; agricoltura biologica;  
multifunzionalità; modello aziendale*  
Codice di classificazione  
argomento JEL

## La valutazione dell'agricoltura biologica: un modello aziendale economico-ambientale\*

Sempre più la PAC pone il problema di favorire lo sviluppo di un settore agricolo realmente multifunzionale, sostenibile e competitivo. Il lavoro presentato fornisce un contributo metodologico per facilitare la valutazione in termini monetari della compensazione da attribuire, agli agricoltori con produzioni di tipo biologico, per i servizi ambientali, al fine di assicurare loro il mantenimento della competitività. La ricerca ha posto a confronto, attraverso l'uso di un modello di Programmazione Lineare Parametrica, due simulazioni relative ai sistemi di produzione "convenzionale" e "biologico" in una azienda con allevamento di bovini da latte. Si è studiato l'andamento dei costi marginali dei servizi ambientali in funzione del decremento dell'impatto ambientale degli inquinanti azotati, del consumo di energia e dell'erosione del suolo.

---

### 1. Inquadramento del problema

I problemi interni alla UE in relazione alla sostenibilità economica ed ambientale della PAC e l'esigenza di ridurre il sostegno al settore imposta dall'apertura ai mercati internazionali, spingono verso l'individuazione di modelli di politica compatibili con il nuovo contesto economico-sociale, caratterizzato dall'internazionalizzazione dei mercati, ma anche da un'elevata disponibilità di reddito pro-capite, da una più alta formazione culturale e da una crescente consapevolezza su impatti e relazioni che l'agricoltura sviluppa nei confronti dell'ambiente e delle società.

La revisione della PAC, iniziata già alla fine degli anni '80, trova in Agenda 2000 un pieno rafforzamento attraverso la valorizzazione della sostenibilità fra i principali obiettivi per le iniziative di politica comune: "L'integrazione di obiettivi ambientali nella Pac e la promozione del ruolo degli agricoltori nella gestione delle risorse naturali e nella conservazione del paesaggio rappresentano obiettivi sempre più importanti per tale politica" (Commissione Europea, 1998). L'agricoltura non è percepita, quindi, esclusivamente come settore dedito alla produzione di derrate alimentari ma assume un ruolo più ampio che ne esalta le profonde

---

\* Gli autori ringraziano i Lettori della Rivista per le utili osservazioni formulate. Com'è ovvio la responsabilità dello scritto ed, in particolare, di eventuali errori è degli autori. Tuttavia, nella sua stesura, i Paragrafi 1, 2, 3, 4 e 6 sono da attribuire a Luigi Omodei-Zorini, il Paragrafo 5 e l'Appendice a Cesare Pacini.

relazioni con l'ambiente fisico ed antropico nel generare sistemi locali altamente diversificati e nell'assicurare salubrità ambientale.

L'agricoltura come settore multifunzionale assume da questo momento un'importanza strategica nella nuova filosofia di intervento, che "intende favorire lo sviluppo di un settore agricolo realmente multifunzionale, sostenibile e competitivo, capace di garantire l'avvenire anche delle regioni rurali più fragili" (Agenda 2000). Con Agenda 2000 la PAC sembra voler definitivamente superare la logica produttivistica che ne ha animato l'intervento nei decenni precedenti, per guardare alla complessità del settore nelle sue diversità di funzioni ed ambienti. In questo senso la visione dell'intervento in agricoltura supera la logica del sostegno ai redditi agricoli attraverso il controllo dei prezzi alla produzione per spostarsi verso un'ottica di multifunzionalità secondo la quale agli agricoltori vengono riconosciute funzioni di interesse collettivo che riguardano la produzione di beni sociali non commercializzabili e che integrano quella di produzione di beni destinati al mercato o all'autoconsumo. L'azione di politica interviene quindi nella riduzione dei fallimenti di mercato in presenza di non commodities output, a cui viene attribuita una utilità economica e sociale e non nella protezione del settore dagli effetti della competizione inter ed infra-settoriale. La piena realizzazione di una simile filosofia di intervento è subordinata quindi ad una attenta conoscenza dei beni e servizi che l'agricoltura assicura in maniera congiunta alla produzione primaria. Diventa perciò necessario analizzare le componenti della multifunzionalità con particolare riferimento alle relazioni ambientali in cui questa si origina e riflette. L'ambiente naturale nella sua dimensione territoriale risulta essere un elemento complementare e determinante nel definire la natura delle funzioni svolte dal settore. L'ambiente nelle sue diversità e specificità locali deve quindi necessariamente costituire il riferimento per l'analisi delle funzioni sociali svolte dall'agricoltura. La natura ed il valore delle diverse relazioni tra agricoltura ed ambiente assumono quindi una connotazione territoriale in cui risultano determinanti le specificità locali. L'analisi delle relazioni tra agricoltura ed ambiente deve quindi essere effettuata nella consapevolezza che nei diversi contesti naturali e sociali le interrelazioni possono realizzarsi secondo modalità molto diverse e con effetti molto variabili (Casini e Menghini, 1997).

La Commissione Europea ha avviato azioni concrete destinate a favorire la convergenza tra politiche agricole e politiche ambientali. Nella comunicazione "Orientamenti per un'agricoltura sostenibile" del 1999, ha enunciato il principio, implementato attraverso Agenda 2000, della "cross compliance", secondo cui gli aiuti finanziari di qualsiasi tipo sono vincolati all'impegno da parte degli agricoltori a rispettare standard minimi di gestione ambientale, e della pubblica utilità dei servizi ambientali dell'agricoltura, secondo cui le pratiche agro-ambientali migliorative rispetto agli standard minimi devono essere remunerate dalla collettività. (Brunori *et al.*, 2000).

Uno dei concetti innovativi della nuova Politica Agricola Comunitaria riguarda quindi il principio di "buona pratica agricola", in base al quale, come esigenza minima, i conduttori agricoli devono ottemperare alle leggi vincolanti relative all'uso dei prodotti fitoiatrici, all'applicazione di fertilizzanti chimici, all'impiego

delle risorse idriche, e, ove necessario, devono seguire gli orientamenti nazionali o regionali inerenti alla buona pratica agricola. Esempio, in tal senso, è quello relativo al rispetto delle norme del Codice di Buona Pratica Agricola previsto dalla Direttiva Nitrati (Direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole) e diventato norma nazionale italiana con il Decreto Ministeriale del 19 aprile 1999. Nondimeno, quando la società chiedi ai conduttori agricoli di perseguire obiettivi ambientali che vadano al di là della "buona pratica agricola" e come risultato, il conduttore agricolo si trova a sostenere dei costi o a rinunciare a dei redditi, la società deve prevedere un pagamento per questo servizio ambientale (ARSIA, 2000).

Nella comunicazione "Indicatori agro-ambientali" (COM 20 (2000) def) la Commissione ha definito alcune linee guida per la valutazione dell'impatto ambientale delle politiche agricole, che costituisce un punto fondamentale della programmazione di cui al reg. 1257/99 sullo sviluppo rurale.

Impostare una metodologia di audit aziendale per il settore agricolo vuol dire non solo dimostrare la sostenibilità economica ed ambientale della gestione aziendale a livello di singoli territori caratterizzati da specifiche sensibilità ambientali e quindi il rispetto dei requisiti minimi delle norme in materia di ambiente, di quelle riguardanti la sicurezza alimentare, la salute e benessere degli animali la qualità sociale e sicurezza del lavoro, ma anche verificare il raggiungimento di eventuali obiettivi superiori ai requisiti minimi stessi. Ciò può consentire una diversificazione territoriale e di intensità di intervento nell'applicazione delle misure di politica agro-ambientale.

Il tema della qualità e sicurezza alimentare ricopre oggi una posizione centrale nella responsabilità che hanno le imprese agricole nei confronti dei consumatori. L'aumento della sensibilità dei cittadini su questo tema ha corrisposto l'avvio di una profonda riflessione sulle politiche messe finora in atto. La pubblicazione del "libro bianco" della Commissione Europea sulla sicurezza alimentare sancisce che la sicurezza alimentare deve basarsi su un approccio "completo ed integrato" che significa il fatto di dover considerare l'intera catena alimentare "dai campi alla tavola", quindi tutti i settori della catena alimentare stessa, compresa la produzione dei mangimi, la produzione primaria, la lavorazione degli alimenti, l'immagazzinamento, il trasporto e la vendita al dettaglio.

La sicurezza degli alimenti è ovviamente il presupposto di base della qualità, essa costituisce pertanto un elemento obbligatorio. Lo stesso vale per il rispetto delle norme giuridiche in materia di ambiente e di benessere degli animali, in quanto, indipendentemente dalle caratteristiche dei prodotti, tali norme si rapportano alla protezione delle risorse naturali o ad esigenze di ordine etico.

Se la consapevolezza della qualità ambientale e della sicurezza alimentare, sono ormai consolidate nel patrimonio culturale di molte imprese, la coscienza sociale non lo è ancora, ma sta cominciando a divenire una discriminante nelle scelte dei consumatori. Il termine coscienza sociale è da intendersi come ottemperanza di requisiti minimi nel sistema del lavoro aziendale, come il rispetto dei diritti umani, e degli aspetti legati alla salute, sicurezza e pari opportunità. Un'impresa dispone di diverse modalità per comunicare ai clienti, ai dipendenti e al pubblico

le politiche, le strategie, i sistemi di operare sul mercato, le caratteristiche dei propri prodotti e delle attività che intende perseguire. D'altra parte, la scelta dei consumatori appare vincolata non solo alla valutazione del rapporto costo/beneficio del prodotto o servizio offerto, ma anche agli impatti ambientali e sociali che caratterizzano l'attività produttiva. Esistono numerosi standard ritenuti particolarmente significativi per valutare il comportamento sociale di un'impresa, sviluppati da autorevoli istituti od organizzazioni internazionali. In generale, si tratta di iniziative piuttosto recenti, ancora in fase di sperimentazione, e quindi soggette a modifiche o correzioni come la SA 8000 (Social Accountabiliy 8000).

Nel corso degli ultimi anni è andata maturando in molti paesi occidentali la consapevolezza dell'inefficacia di un approccio alle politiche ambientali basato sostanzialmente su misure vincolistiche, coercitive e/o repressive. L'aspetto per cui questo approccio è più debole è legato al fatto che esso agisce solo superficialmente sugli attori di cui si vuole orientare il comportamento, e in particolare sulla minaccia di sanzioni. Questo comporta una continua tensione in direzione della trasgressione e una conseguente crescita dei costi per il controllo e la repressione.

Sulla base di questa consapevolezza, si è andato sviluppando in molti paesi occidentali un approccio all'intervento pubblico che, piuttosto che agire attraverso misure coercitive o repressive, cerca di "controllare a distanza", agendo maggiormente sulle premesse dell'azione (la conoscenza, la motivazione) piuttosto che sull'azione stessa.

L'evoluzione della domanda del consumatore avviene su due fronti della qualità del prodotto: quello ambientale (ad esempio i prodotti biologici) e quello della tipicità (prodotti tipici censiti dalle Regioni). Contestualmente si diffonde la presenza di marchi (ad esempio quelli di origine protetta) che nascono da un'esigenza commerciale di difendere certi prodotti rurali, ma in realtà coinvolgono altri aspetti della tutela del consumatore e del paesaggio. È evidente che stabilire un "disciplinare di produzione" legato alla costruzione di un marchio, che implica una serie di regole che devono essere osservate nella produzione e trasformazione di un prodotto, implica un'autoregolamentazione che favorisce la permanenza di produzioni di nicchia, la difesa di patrimoni genetici locali, la conservazione dei paesaggi rurali.

La problematica della qualità dei prodotti può essere affrontata da punti di vista diversi: le componenti del prodotto, la sua conservazione e le caratteristiche organolettiche. Queste componenti sono il risultato complesso delle materie prime utilizzate, delle modalità di produzione, del luogo di conservazione, del tipo di confezione ed infine della preparazione per il consumo. La qualità risulta, infine, anche legata alla gestione ambientale delle risorse, ad esempio l'utilizzo di sostanze chimiche di sintesi nelle coltivazioni o nei processi di lavorazione, condizionano la tutela della salute.

Nell'ottica delle recenti discussioni nell'UE sulla necessità di conversione dell'agricoltura verso l'estensivizzazione e la sostenibilità, è cresciuta sempre più la domanda sulla sostenibilità economica di tali metodi e su come si possa valutare in termini quantitativi il beneficio sociale (salvaguardia e valorizzazione del trinomio ambiente-natura-paesaggio) ad essi connesso. D'altro canto, la diversità di habitat

e paesaggi di valore, è il risultato della lunga gestione agricola dei secoli passati. Ne consegue che ci si dovrebbe avvicinare all'agricoltura adottando un approccio sistemico. Il metodo di produzione che più minimizza gli impatti e che punta in modo prioritario al mantenimento e all'incremento delle funzioni ambientali positive dell'agricoltura, è l'agricoltura biologica il cui standard produttivo è regolato da una visione olistica e quindi sistemica, e dove la gestione ambientale e del valore estetico e ricreativo del paesaggio agrario, sono considerati prioritari.

Nel presente articolo vengono presentati un metodo per la valutazione di esternalità ambientali da agricoltura e i risultati della sua applicazione ad un caso di studio di agricoltura biologica. L'approccio sistemico e gli strumenti di studio forniti da diverse discipline<sup>1</sup> hanno reso possibile un'analisi integrata dei sistemi che compongono la realtà oggetto di studio: (1) il sistema socioeconomico, che produce le scelte di pianificazione e di politica economica; (2) il sistema produttivo, che è stato analizzato nella sua dimensione aziendale; (3) l'ecosistema territoriale, sia in quanto sorgente di risorse che in quanto "pozzo" (sink) di output inquinanti.

Da un punto di vista strettamente ambientale, oltre alla gestione dell'energia nel sistema produttivo aziendale, ci siamo occupati della dinamica dell'azoto nell'agroecosistema e dell'erosione del suolo. L'azienda oggetto di studio, infatti, oltre ad essere un'azienda a produzione zootecnica e pertanto naturalmente soggetta al pericolo di inquinamento da sostanze azotate, sorge in una zona montuosa che risulta particolarmente esposta al problema dell'erosione dei suoli.

## 2. Obiettivi e metodi

L'obiettivo è stato quello di mettere a punto e testare un metodo di analisi e quantificazione del costo di produzione dei servizi ambientali connesso alla conversione da sistema di produzione "convenzionale" a "biologico", (espresso in termini di diminuzione di reddito) che fornisca le conoscenze necessarie a individuare e quantificare il differenziale economico esistente tra interesse privato e interesse pubblico. Ciò potrà consentire di meglio calibrare gli interventi pubblici (come quelli del regolamento 2078/92 e dei successivi Piani di sviluppo rurale) in grado di promuovere un comportamento dei privati che sia coerente con i principi di sostenibilità globale.

Lo strumento sperimentale di cui ci siamo serviti per questa ricerca consiste in un modello matematico di Economia Ambientale nel quale ad un modello tradizionale di programmazione lineare applicato per l'ottimizzazione del reddito sono

---

<sup>1</sup> I risultati che presenteremo in questa pubblicazione sono stati ottenuti tramite un lavoro di *équipe* al quale hanno partecipato professori, ricercatori e studenti appartenenti a diversi dipartimenti della Università degli Studi di Firenze, in particolare al Dipartimento di Economia Agraria e delle Risorse Territoriali, al Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agro-forestale ed al Dipartimento di Meccanica e Meccanizzazione Agricola e Forestale

state aggiunte numerose "attività" (o "processi") e vincoli relativi alla minimizzazione dell'impatto ambientale rispetto alle variabili ritenute più rilevanti in termini di fragilità dell'ecosistema nel quale si svolgono i processi produttivi dell'azienda, ed in particolare il bilancio energetico, il ciclo dell'azoto nell'agroecosistema e l'erosione del suolo. Per le sue caratteristiche, infatti, riteniamo che un simile strumento si adatti a pieno all'impostazione epistemologica multidisciplinare che è stata data a questo studio, consentendo al contempo di sviluppare oltre che una forma descrittiva/esplicativa (positiva) anche una forma prescrittiva (normativa) dei risultati ottenuti.

Si tratta di una prima fase della ricerca, quella della messa a punto del metodo che, una volta collaudato su di una azienda pilota, verrà poi esteso a numerose aziende rappresentative delle varie tipologie esistenti. Ciò potrà consentire di mettere meglio a punto i programmi di incentivazione nazionali e comunitari per la diffusione di ordinamenti e tecniche a basso impatto anche per aziende di piccole dimensioni che non hanno a disposizione dati approfonditi e per le quali non sono economicamente sostenibili le spese richieste da analisi chimiche ad hoc (Deffontaines *et al.*, 1993).

L'interesse per le questioni di compatibilità tra la sostenibilità sociale, economica ed ambientale è conseguenza della scelta della forma di conduzione, cooperativa di conduzione terreni, che ha tra gli scopi principali quello di creare opportunità di lavoro.

L'azienda alla quale è stato applicato il modello di Economia Ambientale è situata in un'area posta a nord di Firenze, che dal punto di vista socioeconomico può essere definita "marginale" ma che presenta un alto valore ambientale in termini di risorse naturali. Il 90% del territorio è compreso in una fascia altimetrica che va dai 300 agli 800 m. La media annua delle temperature è di 13,4 °C con una temperatura minima delle temperature medie mensili di 4,2 °C ed una temperatura massima delle temperature medie mensili di 23,0 °C. Le precipitazioni medie annue si aggirano intorno ai 1047 mm. Date le condizioni climatiche e morfologiche, essa risulta essere una zona particolarmente soggetta all'erosione dei suoli.

L'azienda, recentemente convertita dal metodo di produzione convenzionale a quello biologico, può essere considerata azienda rappresentativa delle aziende con analogo ordinamento produttivo nel territorio della montagna appenninica tosco-emiliana, sia in quanto ad estensione (362 ha, di cui 166 di Superficie Agraria Utile) che in quanto a varietà di colture (mais, prato polifita, medica, favino, orzo, loiessa) che per i fattori pedo-climatici, assai simili a quelli del resto della zona. L'allevamento di vacche Frisone è composto da circa 330 capi (vacche in lattazione, vacche in asciutta, manze, manzette e vitelle), la produzione media annua per capo è di 7550 kg di latte.

I terreni aziendali sono tendenzialmente argillosi o comunque presentano una distribuzione equilibrata delle componenti argillose, limose e sabbiose.

L'interesse per le questioni di sostenibilità sociale è dimostrato in azienda dalla scelta della forma di conduzione "cooperativa di conduzione terreni", con soci salariati, che ha come scopo principale quello di creare opportunità di lavoro con redditi "comparabili".

### 3. La struttura generale del modello

Il modello presentato in questo articolo è stato sviluppato prendendo spunto dalla metodologia approntata in Olanda per la costruzione di modelli di Economia Ambientale (Berentsen e Giesen, 1994). Durante lo svolgimento della ricerca, per l'impostazione del modello è stato necessario definire una serie di coefficienti tecnici sulla base delle caratteristiche pedoclimatiche dell'area, della rotazione scelta e delle tecniche colturali applicate; particolare attenzione è stata rivolta alla parametrizzazione di alcune importanti variabili ambientali quali l'energia non riproducibile consumata, il bilancio dell'azoto a livello aziendale e l'erosione del suolo<sup>2</sup>.

I parametri ed i coefficienti utilizzati provengono per la grande maggioranza da ricerche dirette eseguite nelle aree di studio, in qualche caso sono stati utilizzati risultati di ricerche reperiti in letteratura e relativi a situazioni pedoclimatiche analoghe a quelle dell'azienda oggetto di studio. In ogni caso si tratta di valori medi di variabili che possono presentare distribuzioni anche ampie. Ciò corrisponde alla necessità di mettere a punto un metodo che abbia una valenza territoriale e non rispetto a casi particolari.

Al modello matematico è stato applicato il metodo della programmazione lineare nelle sue varianti semplice e parametrica. Esso è stato applicato a due diverse simulazioni del modello aziendale: quella biologica (34 variabili, 54 vincoli e righe di contabilità), riferita alla situazione attuale dell'azienda, e quella convenzionale (34 variabili, 46 vincoli e righe di contabilità), riferita alla situazione precedente alla conversione dal metodo di produzione convenzionale al biologico.

La funzione obiettivo del modello è rappresentata dal reddito lordo aziendale, ottenuto dalla sommatoria dei redditi lordi relativi ai singoli processi produttivi. La massimizzazione della funzione obiettivo produce delle indicazioni sia di carattere prescrittivo, per quanto riguarda le scelte dell'imprenditore, sia di carattere descrittivo, utilizzabili per la valutazione degli interventi di politica ambientale. Per quanto riguarda il reddito lordo/capo della categoria di allevamento vacche in lattazione, la differenza tra i coefficienti delle due versioni è determinata esclusivamente dal differenziale positivo che il prezzo del latte biologico riesce a spuntare sul mercato. Il prezzo del latte biologico così come è stato pattuito con la Centrale del Latte di Firenze, Pisa e Pistoia è di 940 L/kg, mentre il prezzo del latte convenzionale ammonta a 820 L/kg.

In più, nel modello sono state introdotte le variabili ambientali in aggiunta ai canonici processi produttivi delle colture e degli allevamenti (tab. 1). La funzione obiettivo è sottoposta a quattro categorie di vincoli. I vincoli tradizionali sono rappresentati da equazioni e disequazioni il cui termine noto indica la quantità massima disponibile di un fattore produttivo (per le risorse limitanti), un precetto di carattere tecnico-organizzativo (per i vincoli tecnici), una imposizione normativa

---

<sup>2</sup>I colleghi agronomi si sono occupati dell'elaborazione dei coefficienti relativi al ciclo dell'azoto e all'erosione del suolo, mentre ingegneri della Facoltà di Agraria di Firenze hanno prodotto i parametri energetici.



Tabella 1  
Variabili ambientali.

---

|   |
|---|
| Produzione deiezioni (kgN)  |
| Letame prodotto disponibile per la distribuzione (kgN)                |
| Liquame prodotto disponibile per la distribuzione in superficie (kgN) |
| Deposizione azoto (kgN)   |
| Perdite di azoto per volatilizzazione (kgN)                           |
| Denitrificazione (kgN)  |
| Extraporzione di azoto nel suolo (kgN)                                |
| Percolazione reale di azoto (kgN)                                     |
| Percolazione potenziale di base di azoto (kgN)                        |
| Percolazione di azoto da fertilizzanti (kgN)                          |
| Energia non riproducibile consumata (Gj)                              |
| Erosione del suolo (t)  |
| Trasporto di inquinanti azotati per scorrimento superficiale (kgN)    |

---

(per i vincoli contrattuali e legali). Allo stesso modo di quanto fatto per la funzione obiettivo, sono stati poi inseriti i vincoli e le righe di contabilità ambientale. Il dettaglio della costruzione della parte ambientale del modello è riportato in appendice.

#### 4. I risultati tecnico-economici dell'applicazione e la definizione della politica ambientale<sup>3</sup>

I risultati tecnico-economici dell'applicazione sono stati riportati in tab. 3.

##### *Livelli di attivazione delle colture, degli alimenti e della paglia acquistati*

Per la versione biologica tali livelli sono determinati nella misura del 70% dai piani rotazionali effettivamente applicati in azienda. Tale percentuale è stata attribuita in funzione del grado di libertà concesso al sistema delle rotazioni. Vi è una grossa differenza tra l'ordinamento colturale della versione biologica e quello convenzionale. Essa dipende, oltre che dall'assenza di qualsiasi vincolo rotazionale nella versione convenzionale, anche dai vincoli imposti dalla Legge Regionale (Toscana) n. 54/95<sup>4</sup> sulla zootecnia biologica, in modo particolare da quello sugli alimenti a fibra lunga che risulta limitante ai fini dell'ottimizzazione della funzione obiettivo. Tramite l'imposizione di limiti sull'acquisto di alimenti e sull'acquisto di paglia si è indotto un ordinamento colturale che rende possibile il decremento degli alimenti acquistati dell'80% e quindi realizza in notevole misura uno degli obiettivi tecnico-organizzativi che la cooperativa si è prefissa. Per l'acquisto di paglia il decremento è del 69%. Nella versione convenzionale del modello la somma

<sup>3</sup> Tutti i valori monetari verranno riportati in lire in quanto l'indagine ha utilizzato dati riferiti al periodo immediatamente precedente all'entrata in vigore dell'euro.

<sup>4</sup> Nei contenuti tale legge è comparabile al regolamento comunitario 1804/99, che la ha sostituita.

Tabella 3  
Livelli di attivazione delle variabili tecniche ed economiche.

|   | Biologico   | Convenzionale |
|---|-------------|---------------|
| Orzo (ha)   | 18          | 0             |
| Set-aside (ha)  | 13          | 14            |
| Prato Polifita (ha)   | 18          | 0             |
| Mais non irriguo (insilato) (ha)                                      | 40          | 90            |
| Mais irriguo da granella (ha)   | 7           | 0             |
| Loiessa + silomais irriguo (ha)                                       | 8           | 0             |
| Erba medica (ha)  | 43          | 10            |
| Favino/pisello proteico (ha)  | 15 (favino) | –             |
| Grano tenero (ha)   | –           | 49            |
| Acquisto soia integrale (t)   | 15          | 0             |
| Acquisto glutine di mais (t)  | 15          | 0             |
| Acquisto pannello di lino (t)   | 15          | 58            |
| Acquisto paglia (t)   | 86          | 0             |
| Vacche in lattazione (capi)   | 140         | 150           |
| Vacche in asciutta (capi)   | 28          | 30            |
| Manze (capi)  | 60          | 65            |
| Manzette (capi)   | 49          | 53            |
| Vitelle (capi)  | 49          | 53            |
| Vitelli maschi (capi)   | 55          | 59            |
| Vendita latte (q)   | 10544       | 11325         |
| Vendita vitelli maschi (capi)   | 55          | 59            |
| Letame distribuito (t)  | 659         | 733           |
| Liquame distribuito (t)   | 5192        | 5549          |
| Funzione Obiettivo – Reddito lordo (milioni di Lire)                  | 967,438     | 968,331       |
| R.l. biologico con prezzo del latte di 820 L/kg                       | 840,905     | –             |
| R.l.conv. con risultati ambientali parificati alla versione biologica | –           | 844,512       |

totale dei livelli di attivazione degli alimenti acquistati è lievemente maggiore del valore ottenuto per la versione biologica. L'acquisto di paglia è nullo in virtù del grande quantitativo di paglia prodotto dalla coltura del grano tenero.

#### *Livelli di attivazione delle attività di allevamento*

A causa dei vincoli di collegamento (*tie rows*) tra le differenti categorie di bestiame, essi dipendono tutti da quello relativo all'attività vacche in lattazione e quindi verranno fatti i necessari raffronti in relazione a questo. Nella versione biologica la capacità di stalla dell'azienda non viene saturata, le risorse limitanti per un'ulteriore espansione della mandria e, di conseguenza, del reddito, sono costituite dagli alimenti e, quindi, in ultima analisi, dal fattore produttivo terra che ne permette la produzione. Dai risultati dell'applicazione si può notare che la sommatoria degli ettari di terra coltivata raggiunge il massimo della risorsa disponibile e che le colture e gli alimenti acquistati offrono una quantità di proteina grezza e sostanza secca appena sufficiente a soddisfare i minimi fabbisogni alimentari della mandria.

Nella versione convenzionale le risorse limitanti aumentano: oltre a quelle menzionate per la versione biologica (a parte la sostanza secca), si aggiungono la capacità di stalla e, soprattutto, la disponibilità di manodopera, che è insufficiente nel primo quadrimestre. Per quanto riguarda le risorse di letame e liquame, in tutte e due le simulazioni la loro disponibilità potenziale di azoto è ampiamente superiore ai fabbisogni culturali. Da questa osservazione e stante il fatto che per non incorrere in eccessivi costi di smaltimento la totalità del letame e del liquame prodotti in azienda deve comunque essere distribuita sulla superficie aziendale, consegue la particolare attenzione dedicata alle problematiche di una gestione eco-compatibile di queste materie.

### *Reddito lordo*

Per quanto riguarda la funzione obiettivo del reddito lordo, ci si limita a notare che il livello raggiunto da essa nelle due simulazioni è sostanzialmente coincidente. Da quanto risulta l'azienda è riuscita a mantenere, dopo la conversione, lo stesso livello di reddito lordo che avrebbe ottenuto se l'azienda fosse stata condotta con i metodi di produzione convenzionali usati prima della conversione. Ciò è possibile grazie al maggior prezzo del latte spuntato in quanto produzione biologica e che consente di considerare positivo il giudizio sulla sostenibilità economica del metodo.

Da quanto detto in precedenza appare evidente che il successo economico dell'azienda dipende in modo determinante dal maggior prezzo che il latte "biologico" è in grado di spuntare sul mercato. Questa produzione si presenta sul mercato come produzione "elitaria", rivolta ad una particolare nicchia di mercato motivata più da posizioni ideologiche che non da differenze qualitative percepibili. Ciò costituisce sicuramente un motivo di soddisfazione per la capacità di marketing dimostrata da chi conduce l'azienda, ma, se si considera il settore delle produzioni biologiche nella sua globalità, il fatto di produrre esclusivamente per una nicchia di mercato composta da consumatori disposti a pagare di più per usufruire di prodotti qualitativamente superiori, si rivela un vero e proprio fattore limitante alla diffusione del metodo biologico su vasta scala e, pertanto, delle esternalità positive ad esso connesse.

Il prezzo del latte biologico che viene liquidato dalla Centrale del Latte di Firenze è di 940 Lire/kg, mentre quello medio pagato ai produttori di latte convenzionale, è di 820 Lire/kg; ciò vuol dire che la Centrale del Latte è disposta a pagare per il latte biologico il 13% in più di quello convenzionale. Pare ragionevole ritenere (ma un'indagine di mercato potrebbe chiarire meglio questo aspetto) che data la scarsa percepibilità della differenza qualitativa, la domanda disposta a pagare questo extraprezzo avrà dimensioni quantitativamente limitate e, di conseguenza, basterà una quantità di offerta relativamente limitata per saturare il mercato del latte biologico in Toscana.

Questa situazione produce delle resistenze alla diffusione del metodo biologico. Se si volesse mettere in atto una politica ambientale che permettesse il superamento di queste resistenze e la maggior diffusione possibile dei metodi di pro-

duzione eco-compatibili, occorrerebbe prevedere il pagamento di un prezzo del latte biologico pari a quello del latte convenzionale e l'erogazione di un contributo quale prezzo per i servizi ambientali e salutistici prodotti. L'ammontare di tale contributo è stato stimato pari alla differenza di reddito tra l'attuale livello ed il livello di reddito nell'ipotesi che il prezzo scendesse a 820 Lire/kg. La differenza tra i due redditi può essere considerata una stima accettabile del costo di produzione dei servizi ambientali e salutistici erogati dall'azienda.

Tale costo complessivo è stato poi disaggregato tra le tre componenti ambientali attraverso una serie di confronti tra i risultati economici simulati imponendo alla versione convenzionale uno ad uno vincoli di carattere ambientale ottenuti dai risultati della versione biologica. Il risultato di questa stima ha portato alla valutazione di un costo medio di Lire 10.946 per ogni kg di azoto in meno disperso nell'ambiente, di Lire 12.701 per ogni GJ di energia non riproducibile risparmiata e di Lire 6.299 per ogni tonnellata in meno di suolo eroso. È poi stato studiato l'andamento dei costi di produzione delle esternalità ambientali nei confronti della diminuzione dei singoli agenti inquinanti tramite la programmazione lineare parametrica. In fig. 2 sono presentati i grafici che descrivono i risultati ottenuti tramite l'applicazione della Programmazione Lineare parametrica. Dai grafici si evince che la diminuzione del reddito lordo (ovvero il costo di produzione unitario del servizio ambientale) diventa via via più rilevante all'aumentare dell'abbattimento dell'impatto ambientale. Nel caso dell'erosione del suolo si può notare che il reddito lordo della versione convenzionale del modello resta pressoché invariato fino ad un decremento dell'erosione del suolo pari al 60% del decremento totale ottenuto con la versione biologica. Ciò significa che in certa misura è possibile, anche per il convenzionale, diminuire l'erosione del suolo senza incidere in maniera rilevante sul reddito lordo aziendale.

Se si paragonano i pagamenti di supporto al reddito dei seminativi che l'azienda riceverebbe in regime convenzionale (751.225 Lire/ha•anno) alla somma degli stessi più i pagamenti previsti dalle misure agro-ambientali ottenuti in regime biologico (769.539 Lire/ha•anno), si può notare come tali valori siano, a causa del diverso ordinamento colturale, sostanzialmente uguali tra loro. Allora, non si può certo affermare che la politica agro-ambientale regionale ed europea, applicata nel momento dell'indagine alle realtà simili a quella esaminata, generasse un effetto promotore per le produzioni eco-compatibili.

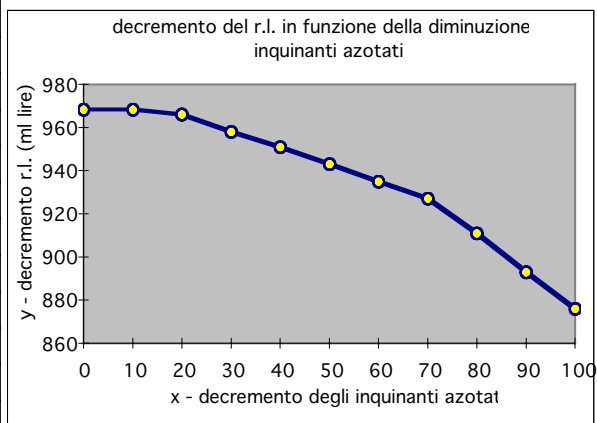
## 5. Risultati ambientali e discussione

I risultati ambientali dell'applicazione sono riportati in tab. 4.

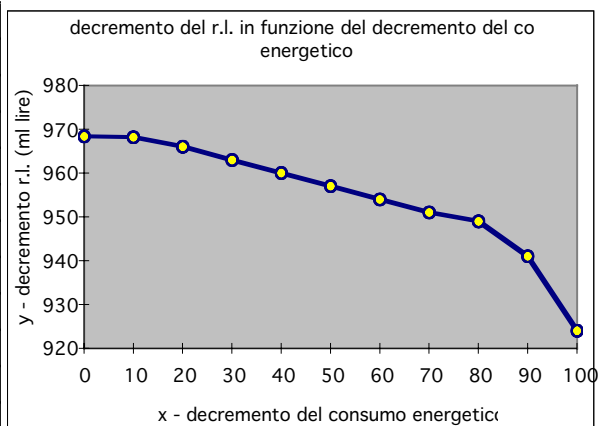
### *Input e output di azoto*

Per quanto riguarda gli input e gli output di azoto, essi rispecchiano in maniera verosimile i diversi metodi di produzione applicati nelle due simulazioni. Unica eccezione a questa affermazione è costituita dal livello di output raggiunto nella

| X   | Y       |
|-----|---------|
| 0   | 968,331 |
| 10  | 968,317 |
| 20  | 966     |
| 30  | 958     |
| 40  | 951     |
| 50  | 943     |
| 60  | 935     |
| 70  | 927     |
| 80  | 911     |
| 90  | 893     |
| 100 | 876     |



| X   | Y       |
|-----|---------|
| 0   | 968,331 |
| 10  | 968,196 |
| 20  | 966     |
| 30  | 963     |
| 40  | 960     |
| 50  | 957     |
| 60  | 954     |
| 70  | 951     |
| 80  | 949     |
| 90  | 941     |
| 100 | 924     |



| X   | Y       |
|-----|---------|
| 0   | 968,331 |
| 10  | 968,327 |
| 20  | 968,323 |
| 30  | 968,318 |
| 40  | 968,314 |
| 50  | 968,2   |
| 60  | 967,8   |
| 70  | 966,131 |
| 80  | 964,462 |
| 90  | 962,793 |
| 100 | 961,124 |

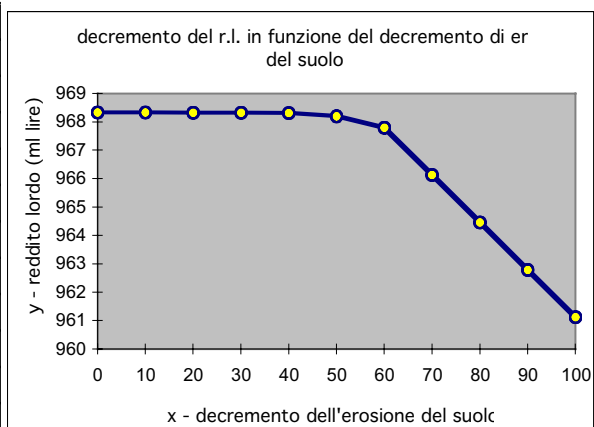


Figura 2. Andamento del reddito lordo (r.l.) in funzione delle variabili ambientali.

Tabella 4  
Risultati ambientali.

|  | Biologico | Convenzionale |
|--|-----------|---------------|
| Intensità dei capi (capi/ha)                           | 1,4       | 1,5           |
| Totale input di azoto (bilancio aziendale) (kgN/ha)    | 119       | 223           |
| Fertilizzanti (kgN/ha)                                 | 19        | 183           |
| Azotofissazione (kgN/ha)                               | 63        | 11            |
| Alimenti (kgN/ha)                                      | 19        | 20            |
| Paglia (kgN/ha)  | 9         | –             |
| Deposizione (kgN/ha)                                   | 9         | 9             |
| Totale output di azoto (bilancio aziendale) (kgN/ha)   | 41        | 69            |
| Latte (kgN/ha)   | 36        | 38            |
| Carne (kgN/ha)   | 5         | 6             |
| Grano tenero (kgN/ha)                                  | –         | 26            |
| Totale perdite di azoto (bilancio aziendale) (kgN/ha)  | 78        | 153           |
| Perdite di azoto per volatilizzazione (kgN/ha)         | 25        | 28            |
| Denitrificazione (kgN/ha)                              | 8         | 20            |
| Extraporzione di azoto nel suolo (kgN/ha)              | 24        | 38            |
| Run-off (kgN/ha)                                       | 9         | 25            |
| Percolazione reale (kgN/ha)                            | 12        | 14            |
| Percolazione da fertilizzanti (kgN/ha)                 | –         | 28            |
| EN – Efficienza di utilizzo dell'azoto (%)             | 34 %      | 31 %          |
| ENa – Efficienza di utilizzo dell'azoto acquistato (%) | 86 %      | 34 %          |
| Energia non riproducibile consumata (Gj/ha)            | 13,9      | 32,6          |
| Erosione del suolo (t/ha)                              | 10,6      | 16,7          |

versione convenzionale che, a prima vista, appare sovradimensionato rispetto agli altri valori. Ciò è determinato dalla elevata produzione di grano tenero destinato alla vendita; tale prodotto, infatti, è ottenuto con un grado di efficienza dell'utilizzo dell'azoto nettamente superiore a quello dei prodotti animali. Per lo stesso motivo il differenziale di efficienza di utilizzo dell'azoto tra le due versioni del modello presentato è poco elevato ( $\hat{A}E_N = 3\%$ ). Se però si considera l'efficienza di utilizzo del solo azoto acquistato (contenuto in fertilizzanti, alimenti e paglia), il differenziale aumenta di molto ( $\hat{A}E_{Na} = 52\%$ ). Da queste osservazioni si capisce come sia possibile che le perdite totali di azoto siano, nella versione convenzionale, quasi il doppio di quelle della versione biologica (153 e 78 kgN/ha, rispettivamente). Esse rimangono comunque su livelli moderati, se paragonate ad esempio alle corrispondenti perdite delle aziende del modello Berentsen-Giesen (264 kgN/ha) (Berentsen e Giesen, 1994) e ancor di più rispetto a dati provenienti da altre pubblicazioni; ad esempio, a quanto risulta da una pubblicazione di Aarts *et al.* (1988), le perdite che si verificano in media per le aziende olandesi situate su suoli sabbiosi ammontano a 486 kg/ha•anno che corrispondono all'85 % degli input di azoto usati nelle stesse ( $E_N = 15\%$ ).

Nel bilancio aziendale di azoto realizzato con il modello il totale delle perdite di azoto è stato suddiviso in sei voci:

- 1 Perdite di azoto per volatilizzazione. La lieve differenza tra i risultati del biologico e del convenzionale è dovuta alla maggiore produzione di deiezioni che si verifica nella seconda delle due versioni.
2. Denitrificazione. I dati sulla denitrificazione nelle tre simulazioni sono stati ottenuti come valori percentuali dei rispettivi livelli di percolazione rilevati nelle aziende e perciò subiscono l'influenza di questi.
- 3-4. Extraporzione di azoto nel suolo e run-off. Il valore dell'extraporzione di azoto nel suolo nelle due versioni del modello è stato ottenuto per differenza dalle altre voci del bilancio aziendale, è di difficile riscontro e la sua entità appare complementare con quella dell'azoto trasportato per scorrimento superficiale. Nello stesso modello Berentsen-Giesen viene presentato per queste due voci un dato unico che le accorpa. Il valore di azoto trasportato per scorrimento superficiale (run-off) calcolato per il regime convenzionale (25 kgN/ha) si avvicina a stime svolte dall'USDA (United States Department of Agriculture) nell'ambito di uno studio fatto sulla conservazione dei suoli in un'area (18 ml ha) particolarmente soggetta a fenomeni di erosione (38 kgN/ha – USDA, 1989).
- 5-6. Percolazione reale e Percolazione da fertilizzanti (solo per la versione convenzionale). La differenza tra i valori della percolazione delle due versioni del modello è quasi totalmente imputabile alla porzione di azoto percolato dipendente dalla fertilizzazione chimica di sintesi, la quale è stata presentata (ed anche calcolata) a parte proprio per render conto degli effetti legati alle differenti tecniche di concimazione.

In tutte e due le versioni i dati medi ad ettaro sono stati determinati a partire da coefficienti tecnici che si riferiscono al tipo di coltura. Tali valori sono confermati da altre pubblicazioni sulla materia. Ad esempio, il valore del coefficiente di percolazione usato per la coltura del prato polifita (5 kgN/ha) trova sufficiente rispondenza con i 10 kgN/ha reperiti su di una pubblicazione di Ryden, Ball e Garwood (1984); la differenza è imputabile al livello bassissimo di concimazioni inorganiche previste per il prato anche dalla tecnica di concimazione della versione convenzionale. Nella stessa pubblicazione si prevede un livello di percolazione per i seminativi pari a 40-80 kgN/ha (comprensivo della quota di percolato relativa all'uso di fertilizzanti); la somma dei coefficienti usati nella versione convenzionale per la determinazione della percolazione di base e da fertilizzanti (56 kgN/ha) rientra ampiamente in questa fascia di valori.

La percolazione di inquinanti azotati assieme al run-off costituiscono le perdite di azoto del sistema aziendale che più sono pericolose per l'ambiente; oltre a danni ambientali sul territorio, l'eccessiva presenza di questi inquinanti azotati nelle acque genera problematiche che riguardano più da vicino l'uomo. Ci riferiamo a patologie come la metaemoglobinemia, il cancro dell'apparato digerente e intossicazioni dovute al proliferare dei cianobatteri in acque eutrofizzate (Hanley, 1991). Per evitare simili fenomeni l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO – World Health Organisation) e la Comunità Europea hanno imposto un limite alla concentrazione dei nitrati nelle acque pari a 50 mg/l (ovvero 11 mg/l di azoto in forma nitrica).

Purtroppo, il bilancio dei nutrienti impostato nel modello non è in grado di indicare valori di concentrazione nelle acque di percolazione. Nonostante ciò è possibile formulare alcune osservazioni sui collegamenti tra la percolazione dell'azoto e la concentrazione di nitrati nelle falde acquifere. Hanley (1991) riporta che nel Regno Unito sono stati fatti degli studi che hanno messo in correlazione queste due variabili ambientali. In particolare sono stati trovati dei limiti massimi di percolazione delle sostanze azotate che permettono di non superare il limite dei 50 mg/l. Tali limiti massimi di percolazione variano a seconda della zona: per le aree umide del nord e dell'ovest della Gran Bretagna il massimo cade nell'intervallo 35-45 kgN/ha; scende a 22-33 kgN/ha nelle Midlands, nello Yorkshire/Humberside, e nel sud-est e ancora a 11-22 kgN/ha in gran parte dell'East Anglia. Molto probabilmente questi limiti sono troppo bassi per le nostre zone ma è singolare vedere come, mentre la versione biologica del modello rispetterebbe tutti e tre i limiti, quella convenzionale sarebbe in grado di ottemperare solo a quello meno restrittivo.

#### *Energia non riproducibile consumata*

Il valore della versione biologica, che è nettamente inferiore rispetto al corrispondente del convenzionale, dipende, oltre che dal non utilizzo dei fertilizzanti chimici, dalla composizione dell'ordinamento colturale; infatti, le colture che entrano in rotazione nella versione biologica sono di gran lunga meno dispendiose dal punto di vista energetico.

#### *Erosione del suolo*

Entrambi i valori riportati in tabella potrebbero essere sovradimensionati a causa del fatto che i coefficienti tecnici usati nel modello sono stati calcolati tramite sperimentazioni svolte su di un appezzamento di terreno con una pendenza media del 14 % (Zanchi, 1988), sicuramente superiore alla media delle pendenze della Sereni. D'altra parte, la presenza di vaste aree collinari nella cooperativa (45 % della Superficie Agraria Utile), e le condizioni di minor erodibilità dei terreni del suddetto appezzamento relative alla composizione tessiturale (52 % argilla, 35 % limo e 13 % sabbia contro valori del 37 %, 34 % e 29 % per la Sereni) e al contenuto di sostanza organica (rispettivamente 2,0 % e 1,5 %) comportano un riequilibrio dei valori di erosione verso i livelli da noi determinati. Infatti, come fanno notare Giordani e Zanchi, "l'erodibilità in genere aumenta con l'incremento della frazione limosa e della sabbia molto fine e diminuisce con l'aumentare del contenuto di sostanza organica" (1995). In base a quest'ultima osservazione notiamo che, seppure sia difficile da misurare nel breve periodo, sicuramente il metodo di conduzione biologico ha prodotto un aumento del contenuto di sostanza organica nel suolo. In virtù di questo aumento vi è un decremento dell'erosione nella versione biologica che non è stato rilevato dal modello.



## 6. Conclusioni

Da tutti i risultati illustrati si può concludere che il metodo biologico nella nostra applicazione ha prodotto un livello di efficienza economica pari a quella del metodo di produzione convenzionale. Vi sono poi altre risultanze che riguardano gli aspetti più prettamente economici dell'applicazione, in particolare i costi di produzione delle esternalità ambientali fornite dalla cooperativa. I costi calcolati per la diminuzione di inquinanti azotati, per la diminuzione del consumo energetico e dell'erosione del suolo ammontano rispettivamente a 10.946 Lire/kgN, 12.701 Lire/GJ e 6.299 Lire/t.

Applicando il metodo della programmazione lineare parametrica al modello è stato possibile studiare l'andamento dei costi marginali dei servizi ambientali in funzione del decremento percentuale dell'impatto ambientale relativo agli inquinanti azotati, al consumo di energia e all'erosione del suolo. Si è così potuto notare che i costi marginali aumentano all'aumentare del decremento percentuale dell'impatto ambientale.

In relazione al secondo obiettivo si può concludere che esistono tangibili effetti ambientali positivi correlati all'utilizzo del metodo di produzione biologico. In particolare si è riscontrato un decremento della quota di inquinanti azotati dispersi nelle acque superficiali e profonde pari al 68% (7438 kgN), un decremento del consumo di energia non riproducibile pari al 57% (3053 GJ), un decremento dell'erosione del suolo pari al 37% (1007 t). Tutti questi dati sono stati calcolati tramite un'analisi comparata tra le due versioni del modello.

Relativamente al terzo obiettivo del nostro studio si può concludere che la politica agricola applicata nel periodo di indagine all'azienda studiata non ha prodotto un effetto incentivante sul metodo di produzione scelto dall'azienda. Infatti, nella simulazione biologica del modello l'azienda riceverebbe un livello di incentivazione sostanzialmente uguale a quello che otterrebbe se condotta con metodi di produzione convenzionali.

In conformità a quanto proposto da più parti del mondo scientifico si può concludere, quindi, che è ipotizzabile l'utilizzo di uno strumento di politica economica che preveda una retribuzione dei servizi ambientali forniti almeno uguale ai costi di produzione delle esternalità ambientali stesse, per la cui quantificazione questo articolo presenta una proposta di metodo.

## APPENDICE

### Gli aspetti ambientali del modello

Il gruppo delle variabili ambientali del modello è visibile in tab. 1. Esse rappresentano le tre componenti ambientali che sono state ritenute più rilevanti ai fini della ricerca ovvero il ciclo dell'azoto, l'energia non riproducibile consumata e l'erosione del suolo. Dalla tab. 1 è facile dedurre che la maggioranza delle varia-

bili ambientali scelte è rappresentata da componenti del ciclo dell'azoto. Questo è dovuto alla necessità di approfondire in modo particolare questo aspetto della gestione aziendale per l'urgenza che i problemi connessi al ciclo dell'azoto generano nel settore zootecnico. Per maggior chiarezza in fig. 1 è riportato il ciclo dell'azoto nell'agroecosistema completo di tutti i flussi dell'elemento a livello di azienda, di mandria e di suolo. Di tutte le voci prese in considerazione nella versione biologica del modello, quelle che hanno maggiore impatto ambientale sono quelle relative alla gestione del liquame, alla percolazione e allo scorrimento superficiale di azotati (run-off). Inoltre, per la versione convenzionale è stato considerato anche l'utilizzo di fertilizzanti inorganici di sintesi. L'elenco completo dei vincoli e delle righe di contabilità ambientali è riportato in tab. 2 nell'ordine con cui sono state inserite nel modello.

### *1. Fabbisogno di azoto, produzione di azoto da letame, produzione di azoto da liquame*

Tre vincoli servono ad imporre la condizione che le produzioni di liquame e letame devono essere maggiori o uguali ai fabbisogni delle colture e quindi in grado di soddisfarli. Due rappresentano vincoli di uguaglianza (tab. 2 – gruppo 1: righe di contabilità dell'azoto nel letame e nel liquame); il terzo è un vincolo di massimo sul fabbisogno di azoto (tab. 2 – gruppo 1: fabbisogno di azoto). Sia le produzioni di letame e liquame che i rispettivi fabbisogni colturali sono espressi in kgN. I due vincoli di uguaglianza in realtà sono rappresentati da due righe che servono rispettivamente al conteggio dell'azoto contenuto nel letame e nel liquame prodotti in azienda. Questi dati vengono poi trasferiti nel vincolo dei fabbisogni colturali di liquame e letame. Per quanto riguarda il vincolo del fabbisogno, esso consiste in un vero e proprio vincolo di massimo.

### *2. Bilancio dell'azoto a livello aziendale*

È questa una riga di contabilità preposta al conteggio della variabile "extraporzione di azoto nel suolo" (fig. 1). Tale valore si ottiene per differenza tra la somma degli input e la somma degli output del bilancio dell'azoto a livello aziendale, suddiviso in più bilanci relativi ai singoli sottosistemi colturali e delle produzioni zootecniche. Il gruppo degli input è costituito dai concimi organici destinati alle colture di orzo e mais non irriguo, dall'azotofissazione prodotta dalle colture simbiotiche di erba medica e favino, dall'acquisto di alimenti e paglia, dall'azotodeposizione atmosferica, dalla fertilizzazione chimica (solo nella versione convenzionale); invece gli output consistono nelle produzioni vendute di latte e carne, dall'azoto volatilizzato, denitrificato, percolato e trasportato per scorrimento superficiale. Anche l'extraporzione di azoto nel suolo viene considerata come un output del bilancio; in realtà si tratterebbe di una quota di azoto che rimane intrappolata nel suolo e quindi nel sistema aziendale. Essa entra a far parte della parte positiva del bilancio (quella appunto in uscita) perché buona parte di essa in potenza è destinata a disperdersi, nel medio e lungo periodo, verso l'ambiente circostante e perché, comunque, come variabile del sistema serve a dare una dimensione al surplus di

Tabella 2  
Vincoli e righe di contabilità ambientali.

|    |  |  |
|----|--|--|
| 1* | { Fabbisogno di azoto (vincolo) (kgN)<br>Produzione di azoto da letame (vincolo) (kgN)<br>Produzione di azoto da liquame (vincolo) (kgN) |  |
| 2  |  | Bilancio dell'azoto a livello aziendale (kgN)  |
| 3  |  | Bilancio dell'azoto a livello di mandria (kgN) |
| 4  | Bilancio dell'azoto a livello del suolo (kgN)  |  |
| 5  | Riga di contabilità della percolazione potenziale di base dell'azoto (kgN)   |  |
| 6  | Riga di contabilità della percolazione causata dai fertilizzanti chimici (kgN)   |  |
| 7  | <i>Coupling</i> tra percolazione potenziale e denitrificazione (kgN)   |  |
| 8  | <i>Coupling</i> tra percolazione potenziale e percolazione reale (kgN)   |  |
| 9  | Riga di contabilità delle sostanze inquinanti azotate trasportate per scorrimento superficiale (kgN)                                     |  |
| 10 | Emissioni di ammoniaca per volatilizzazione (kgN)  |  |
| 11 | Energia non riproducibile consumata (Gj)   |  |
| 12 | Riga di contabilità dell'erosione del suolo (t)  |  |

\* I numeri nella prima colonna contraddistinguono gruppi di vincoli o singoli vincoli la cui natura è spiegata nelle corrispondenti sezioni dell'Appendice.

input che non viene disperso nel breve periodo per volatilizzazione, percolazione, denitrificazione o scorrimento superficiale. I valori corrispondenti alle componenti del ciclo dell'azoto vengono trasferiti a questa riga dalle altre righe di calcolo del sistema. Per la formulazione di questa riga di contabilità sono stati considerati vari parametri tra i quali: i livelli di azotofissazione per la coltura di erba medica e per la coltura di favino che sono rispettivamente uguali a 165 kgN/ha (Follett, 1989) e 212 kgN/ha (Raso e Mattei Scarpaccini, 1994); una percentuale di proteina grezza nel latte pari a 3,3% (dati aziendali) e un livello di azotodeposizione uguale a 9 kgN/ha (Follett, 1989) .

### 3. Bilancio dell'azoto a livello di mandria

Riga di contabilità che serve a conteggiare il contenuto di azoto delle deiezioni (vedi fig. 1). Input: alimenti e paglia di produzione aziendale e acquistati. Output: latte, carne e deiezioni (incognita). Una delle opzioni del modello è appunto quella di calcolare il contenuto di azoto nelle deiezioni; questa caratteristica è assai importante perché tale valore è influenzato da diverse variabili e, di conseguenza, le sue misurazioni tramite analisi chimiche possono risentirne. Al contrario, il valore trovato con le elaborazioni del modello è calcolato in stretta dipendenza dal tipo di alimentazione e dal livello delle produzioni indicati dall'ottimizzazione dell'assetto aziendale. Questo valore, una volta trovato, permette di calcolare il titolo in azoto delle deiezioni. Il valore del contenuto di azoto nelle deiezioni trovato dopo l'ottimizzazione del modello, viene inserito in tutte quelle righe di contabilità e vincoli in cui compare come incognita come, ad esempio, quelli della produzione

di letame e liquame. Ne risulta un'elaborazione dei coefficienti direttamente collegata alle scelte relative all'organizzazione aziendale. Infatti, il contenuto di azoto nelle deiezioni è strettamente correlato alla razione alimentare della mandria: gli output di azoto contenuti nelle deiezioni sono calcolati sottraendo la quantità totale di azoto presente in latte e carne dagli input di azoto degli alimenti. Poiché la determinazione della razione alimentare costituisce uno dei risultati dell'ottimizzazione, all'inizio del processo iterativo di ottimizzazione non si conoscono i valori dei coefficienti relativi alla concentrazione di azoto nelle deiezioni. Il problema che ne consegue è stato risolto stimando tali parametri prima dell'ottimizzazione, controllando successivamente i risultati e correggendo nelle successive procedure di ottimizzazione i parametri stessi fintantoché questi non eguagliano i risultati. È stato realizzato in questo modo un sistema di verifica dei coefficienti tecnici e del

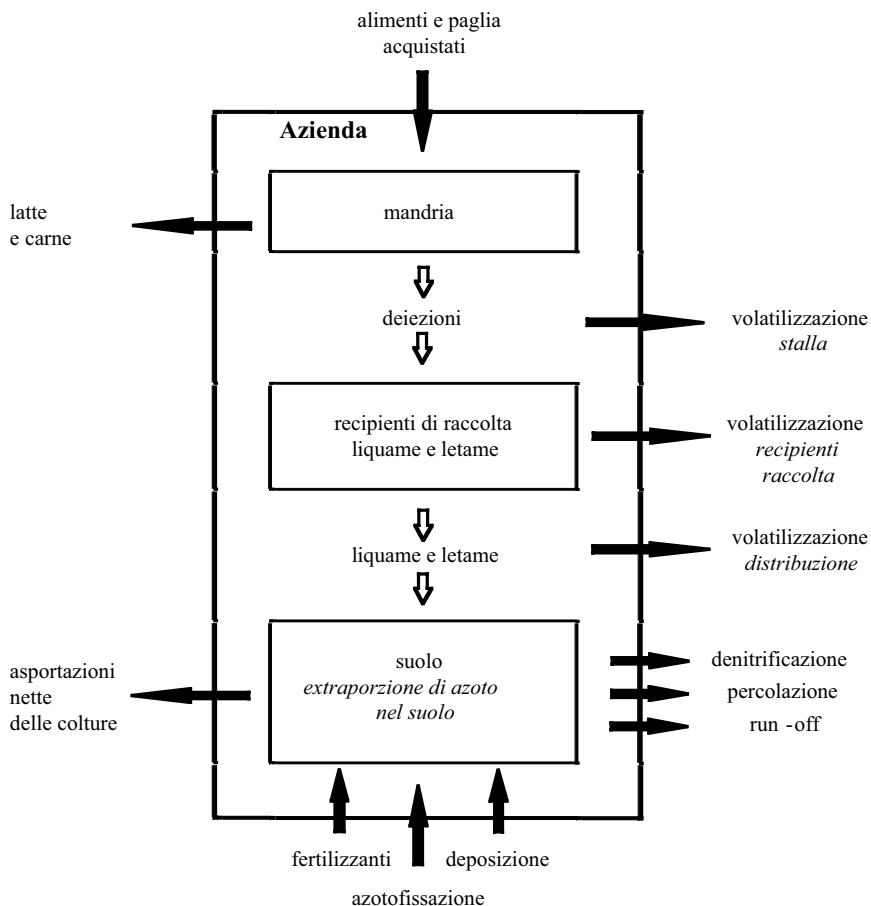


Figura 1. Ciclo dell'azoto nell'agroecosistema (modificata da Leneman *et al.*, 1993)

modello stesso. Da questo punto di vista il modello funziona anche come strumento di rilevamento dati alternativo e confrontabile alle comuni analisi chimiche svolte in azienda. Ovviamente il modello svolgerà questa funzione con un grado di approssimazione tanto più elevato quanto maggiore sarà la disponibilità di dati sperimentali per la sua validazione.

#### *4. Bilancio dell' azoto a livello del suolo*

Riga di contabilità che serve a conteggiare il trasporto di inquinanti azotati per scorrimento superficiale (vedi fig. 1). Input: azotofissazione, letame e liquame distribuiti alle singole colture, deposizione di azoto. Output: asportazioni delle singole colture, denitrificazione, extraporzione di azoto nel suolo, percolazione, trasporto di inquinanti azotati per scorrimento superficiale (incognita). La variabile incognita che viene conteggiata si riferisce a quella porzione di azoto che viene allontanata dall'agroecosistema aziendale a causa di fenomeni di scorrimento superficiale.

#### *5. Riga di contabilità della percolazione potenziale di base dell'azoto*

È una riga di contabilità che serve a conteggiare l'azoto potenzialmente percolante verso la falda in dipendenza dai livelli di attivazione delle diverse colture, considerando un livello di concimazione con fertilizzanti chimici pari a zero (ecco perché "di base"). Da questo valore potenziale, per ottenere la percolazione reale, bisogna sottrarre la quota di azoto che viene dispersa per denitrificazione. Il coefficiente dell'attività "loiessa + silomais irriguo" nasce da una elaborazione che tiene conto della importante funzione di trap crop che la loiessa esplica per l'azoto nei confronti della coltura di silomais irriguo.

#### *6. Riga di contabilità della percolazione causata dai fertilizzanti chimici*

Questa riga di contabilità naturalmente è stata inserita soltanto nella versione convenzionale. È impostata in modo analogo alla precedente, tramite essa si può conteggiare la percolazione potenziale dovuta all'utilizzo di fertilizzanti chimici di sintesi. Il coefficiente tecnico dell'attività colturale "loiessa + silomais" irriguo risulta dalla somma di quello del mais (-31 kgN/ha) con quello della loiessa (+30 kgN/ha) che tiene conto della capacità di questa coltura di funzionare da trap crop.

#### *7. Vincolo di connessione tra percolazione potenziale e denitrificazione*

Riga di contabilità che serve a conteggiare la quota di azoto denitrificato in azienda. Per mezzo di essa si connette la variabile della percolazione potenziale alla variabile della denitrificazione.

#### *8. Vincolo di connessione tra percolazione potenziale e percolazione reale*

L'impostazione di questo vincolo è complementare a quella del precedente; si conteggia la percolazione reale considerando che essa corrisponde alla quota di

percolazione potenziale non attribuita alla denitrificazione.

#### 9. Riga di contabilità delle sostanze inquinanti azotate trasportate per scorrimento superficiale

Questa riga di contabilità è parte di un sistema di verifica del modello. Essa utilizza valori medi della quota di azoto contenuta negli strati superficiali di suolo risultanti da analisi svolte su vari campioni prelevati in azienda. Il risultato finale di questa Riga di contabilità è utilizzato come verifica del corrispettivo calcolato tramite il bilancio di azoto a livello del suolo.

#### 10. Emissioni di ammoniaca per volatilizzazione

Il conteggio di questa variabile avviene moltiplicando il livello di attivazione della variabile liquame distribuito in superficie per un coefficiente tecnico che tiene conto delle perdite di N-NH<sub>3</sub> disperse dal recipiente di raccolta e durante la distribuzione, nonché del periodo di tempo che intercorre tra la distribuzione e l'interramento del liquame.

#### 11. Energia non riproducibile consumata

È una riga di contabilità che all'occorrenza può essere utilizzata come funzione obiettivo ambientale. Il valore conteggiato nel modello esprime la somma degli input energetici che sono stati utilizzati per le produzioni delle colture in azienda e per la produzione degli alimenti acquistati. Da questo computo sono stati esclusi gli input energetici delle attività di allevamento e di acquisto paglia perché per tali attività non sono riscontrabili, né a livello qualitativo né a livello quantitativo, differenze degne di nota tra i due metodi di produzione. Nella elaborazione dei coefficienti abbiamo messo in evidenza le differenze tra i due metodi. Per la determinazione dei coefficienti tecnici di questa riga di contabilità sono stati usati i seguenti dati sperimentali (Spugnoli *et al.*, 1993): 25,2; 21,7; 9,9; 41,8; 53,4; 12,6 (GJ/ha) = totale input energetici per la coltivazione rispettivamente di grano tenero, orzo, foraggiere poliennali, silomais (irriguo e non), mais da granella, foraggiere annuali; 9,7; 5,8; 17,7; 25,2; 2,7 (GJ/ha) = input energetici sotto forma di fertilizzanti utilizzati per la coltivazione rispettivamente di orzo, foraggiere poliennali, silomais (irriguo e non), mais da granella, foraggiere annuali; 0,1; 0,1; 0,3 (GJ/ha) = input energetici sotto forma di pesticidi utilizzati per la coltivazione rispettivamente di orzo, silomais (irriguo e non), mais da granella; 84; 51 (MJ/kg) = costo energetico rispettivamente di lubrificanti e benzina. Nella versione convenzionale i coefficienti sono stati elaborati dai dati appena presentati; invece i coefficienti della versione biologica sono stati ricavati sottraendo dai corrispondenti coefficienti "convenzionali" una quota di energia pari a quella utilizzata per produrre i fertilizzanti e i pesticidi che vengono solitamente somministrati con le tecniche di produzione tradizionali alle colture presenti in azienda.

#### 12. Riga di contabilità dell'erosione del suolo

Come nel caso della riga sull'energia non riproducibile consumata, anche questa riga di contabilità può essere utilizzata come funzione obiettivo ambientale. Il valore conteggiato esprime la quantità di suolo persa per ruscellamento (scorrimento) superficiale nel giro di un anno. I coefficienti tecnici utilizzati in questa riga sono stati ripresi da prove sperimentali svolte sul territorio oggetto di studio (Zanchi, 1988). Le differenze che possono verificarsi nei risultati delle due simulazioni del modello non dipendono dall'entità dei coefficienti, che sono gli stessi, ma dai livelli di attivazione delle colture, che differiscono in dipendenza dei diversi piani colturali adottati per il convenzionale e per il biologico. Infatti, nel piano colturale del biologico sono previste rotazioni che garantiscono una maggior copertura dei suoli durante l'anno, mentre il piano colturale convenzionale non è sottoposto ad alcun vincolo rotazionale e, di conseguenza, è determinato da livelli di attivazione dei processi produttivi colturali che riflettono esclusivamente la convenienza economica delle coltivazioni.

## Bibliografia

- Aarts H.F.M., Bewinga E.E., Bruin G., Edel B., e Korevaar H., (1988). *Melkvehouderij en milieu: een aanpak voor het beperken van mineralen-verliezen*, Report nr. 111. Research Station for Cattle, Sheep and Horse Husbandry. Lelystad (in Olandese, con sommario in inglese).
- ARSIA, (2000). *La contabilità ambientale in agricoltura Toscana*. Rapporto Finale Convenzione ARSIA – Associazione Ambiente Lavoro Toscana. Documento ciclostilato
- Buiatti, M., Cecchi, R., Brunori, D., Franchini, D., Omodei-Zorini, L., Saba, R., Spugnoli, P., Vazzana, C., Androni, L., Lazzarini, G., Pacini, G.C., Rovai, M., Bellini, L., Cecchi, B., Sacchetti, P., Giannini, A., Belli, B., Calistri, L., Failoni, M., e Rossi, G., (2001). *Contabilità ambientale in agricoltura – Toscana*. Il Sole 24 ORE Spa, Roma, Italia.
- Berentsen P.B.M., e Giesen G.W.J., (1994). Economic and environmental consequences of different governmental policies to reduce N losses on dairy farms. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 42-1 (1994). pp. 11-19.
- Brunori G., Rovai M., e Lazzarini G., (2000). *ARPA Toscana – La contabilità ambientale in agricoltura: un nuovo strumento per le politiche agro-ambientali*.
- Casini L., e Menghini S. (1997). Agricoltura e territorio. In: Marinelli A., e Menghini S. (a cura di) *Dallo sviluppo agricolo allo sviluppo rurale: proposte per l'agricoltura fiorentina del 2000*. Atti Conferenza Provinciale dell'Agricoltura, Firenze, 18 novembre 1996. Ed. Centro 2P. Firenze. pp. 53-71.
- Casini L., Bernetti I., e Menghini S., (1997). *Teoria delle "libertà" e metodi multicriterio per l'analisi delle condizioni di sviluppo territoriale*, Rivista di Economia Agraria, anno LII, NN. 1-2; Ed. Il Mulino, Bologna;
- Commissione Europea, (1998). *Agenda 2000* Bruxelles
- Deffontaines J.P, Benoit M., Brossier J., Chia E., Gras F., e Roux M., (1993). *Agriculture et Qualité des Aux Diagnostic et prepositions pour un périmètre de protection*. Paris. Editeurs scientifiques.
- Follett R.F., (1989). *Nitrogen management and ground water protection*. Amsterdam. Elsevier Science Publishers B.V.
- Giordani C., e Zanchi C., (1995). *Elementi di conservazione del suolo*. Bologna. Patron editore.
- Hanley N., (1991). The Economics of Nitrate Pollution Control in the UK. In: Hanley N. (a cura di) *Farming and the countryside*. Edited by N. Hanley. pp. 91-116.
- Leneman H., Giesen G.W.J., e Berentsen P.B.M., (1993). Costs of reducing nitrogen and phosphorus emissions on pig farms in the Netherlands. *Journal of Environmental Management*. Vol. 39. pp. 107-119.

- Raso E., e Mattei Scarpaccini F., (1994). *Leguminose da Granella*. Firenze, Tipografia Effemme.
- Ryden J., Ball P., e Garwood E., (1984). Nitrate leaching from grassland. *Nature*. 311. pp. 50-53.
- Spugnoli P., Baldi F., e Parenti A., (1993). L'analisi energetica per un miglior uso delle risorse nei processi agricoli. *Rivista di Ingegneria Agraria*. 4. pp. 225-233.
- USDA, (1989). *Agricultural resources: cropland, water and conservation. Situation and Outlook. Report, September 1989*. AR-16.
- Zanchi C., (1988). The cropping pattern and its role in determining erosion risk: experimental plot results from the Mugello valley (central Italy). In: *Sediment Budgets*. Porto Alegre Symposium (Brazil), December 1988. Proceedings, IAHS Publ. 174. pp. 139-146.