

# Biodiversità della “seedbank” di fitocenosi spontanee nella coltura del farro (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schübler) in agroecosistemi della Garfagnana (Lucca)

Stefano Benvenuti\*, Loddo Donato, Macchia Mario

Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema, Università di Pisa  
Via San Michele degli Scalzi 2, 56124 Pisa

Data di presentazione: 30 novembre 2006

Data di accettazione: 6 maggio 2007

---

## Riassunto

Le fitocenosi degli agroecosistemi gestiti convenzionalmente hanno subito, ormai da alcuni decenni, una forte contrazione nel numero di specie presenti nelle varie colture. Tale contrazione floristica risulta tanto più marcata quanto più è risultato elevato l'impatto agronomico esercitato. La presente sperimentazione nasce dall'ipotesi che le oasi agro-ecologiche, gestite con le antiche agrotecniche, siano accompagnate da una elevata biodiversità. Il criterio di indagine è stato quello di effettuare non solamente analisi floristiche della flora “reale” ma anche della “seedbank” dal momento che i semi accumulatisi nel suolo riassumono fedelmente le fitocenosi verificatesi di un ampio arco di tempo. Negli agroecosistemi sperimentati, scelti per la tipica coltivazione del farro, è stata osservata una elevata diversità floristica, soprattutto di terofite, sia a livello di flora “reale” che “potenziale”. In entrambi i casi le varie specie sono risultate contraddistinte da densità relative decisamente basse a conferma che nessuna specie è risultata dominante probabilmente a causa dell'elevata gamma di interazioni sia di tipo competitivo che allelopatico. Scarse sono risultate le graminacee rilevate a livello di seme in quanto tipicamente poco adatte ad accumulare una seedbank persistente. Di particolare interesse è risultato il ritrovamento di *Agrostemma githago* e *Centaurea cyanus* specie che risultano ormai pressoché scomparse, da molti anni, dal paesaggio agricolo delle aree gestite con sistemi colturali di tipo “convenzionale”. La seedbank è risultata distribuita omogeneamente nei due profili di suolo campionato (0-15 e 15-30 cm) confermando come l'aratura tenda ad interrare uniformemente i semi annualmente prodotti. L'intero profilo esaminato (0-30 cm) ha mostrato quantitativi simili a quelli rilevati in sistemi colturali di tipo “biologico” (da 12.000 a 47.000 semi m<sup>-2</sup>) ma formata anche da specie di scarsa nocività agronomica in quanto poco competitive come nel caso di alcune caryophyllacee (*Silene noctiflora* e *S. alba*), boraginacee (*Myosotis arvensis* ed *Echium vulgare*) e campanulacee (*Legousia speculum-veneris*). Sono state poi discusse le ripercussioni agronomiche ed ecologiche di queste fitocenosi delle quali alcune specie potrebbero divenire persino una risorsa non solamente nella tutela della biodiversità ma anche del paesaggio. In pratica è stata confermata l'ipotesi che le antiche fitocenosi siano ancora presenti in oasi agro-ecologiche nelle quali l'impatto agronomico risulta di tipo ecologicamente sostenibile. Infine viene evidenziato come tali ambienti assumono un ruolo cruciale non solamente nella conservazione della biodiversità *in situ* ma anche come germoplasma da utilizzare *ex situ* per interventi di ripristino ecologico di aree degradate.

*Parole chiave:* biodiversità, banca seme, erosione genetica, farro, infestanti.

## Summary

WEED SEEDBANK BIODIVERSITY IN EMMER WHEAT (*TRITICUM DICOCCUM* (SCHRANK) SCHÜBLER) IN A MOUNTAINOUS AGRO-ECOLOGICAL OASIS (GARFAGNANA, TUSCANY)

Phytocoenoses of conventional agroecosystems are subjected, already from several decades, to the reduction of the weed species present in the various crops. Such floristic decreasing is directly proportional to intensity of the agronomic impact. The present work is born from the hypothesis that the agro-ecological oases, managed with the ancient agrotechniques, are linked by an high degree of plant biodiversity. In this perspective it was carried out not only an analysis of the field emerged weeds, but even an evaluation of the seedbank since this one synthesizes the

\* Autore corrispondente: indirizzo e-mail: Sbenve@agr.unipi.it

weed flora of a wider period. In the experimental agroecosystems, selected due to the typical Emmer wheat presence, an high degree of weed species diversity was observed, above all of terophytes, in the emerged flora as well in the seedbank. In both cases relative densities of each species were found low and without any weed dominance. Probably it occurs as a function of the high degree of competitive and allelopathic interactions. Almost scarce was the presence of exhumed seeds of graminaceae virtually due to their inability to store in the soil a persistent seedbank. Of particular importance it was the discovery of two rare species such as *Agrostemma githago* and *Centaurea cyanus* disappeared from many years by the landscape of “conventional” agricultural systems. The seedbank was found uniformly distributed in both sampled soil layers (0-15 and 15-30 cm) confirming that plowing induced an uniform burial of the annually produced seeds. The total examined soil profile (0-30 cm) showed a quantitative seedbank similar to those already found in “biological” agricultural systems (from 12.000 to 47.000 seeds m<sup>-2</sup>). However it was qualitatively formed even from several weed species of negligible agronomic impact as a function of their scarce competitiveness like in the case of some caryophyllaceae (*Silene noctiflora* and *S.alba*), boraginaceae (*Myosotis arvensis* and *Echium vulgare*) and campanulaceae (*Legousia speculum-veneris*). Finally both agronomic and ecological involvements of this weed complexity were discussed. This complexity was retained of crucial importance not only regards to the biodiversity conservation but even for their role in the landscape ecology. In synthesis, it has been confirmed the hypothesis that the ancient phytocoenoses are still present but only in these ecological oases in which the agronomic impact was ecologically sustainable. In conclusion, it was stressed the crucial role of these agro-ecological oases not only with the aim of the *in situ* biodiversity conservation, but even as *ex situ* germoplasma source to use in the perspective of ecological restoration of degraded areas.

*Key-word:* biodiversity, Emmer wheat, genetic erosion, seedbank, weeds.

## 1. Introduzione

L'antico approccio agronomico orientato verso una pressoché totale eliminazione delle malerbe dai vari agroecosistemi è stato progressivamente sostituito, negli ultimi decenni, dall'obiettivo di mantenere nel tempo fitocenosi spontanee quantitativamente basse ma qualitativamente diversificate. È infatti la complessità botanica delle varie associazioni floristiche che tende a generare una scarsa aggressività nei confronti della coltura (Hyvonen e Salonen, 2001; Benvenuti et al., 2005). Il mantenimento di queste contenute ma complesse comunità vegetali sembra infatti garantire una sostenibilità agronomica delle misure “preventive” e “curative” mirate alla gestione eco-compatibile delle varie dinamiche di infestazione. Recentemente sono stati persino creati al riguardo modelli matematici in grado di simulare la dinamica della biodiversità floristica in funzione della gestione agronomica effettuata (Storkey e Cussans, 2007). Purtroppo, la diffusa “convenzionalità” nella gestione di agrotecniche, spesso basate su ripetuti ed eccessivi impatti sulla vegetazione spontanea, ha progressivamente determinato una forte contrazione del numero di specie presenti (Marshall et al., 2003; Albrecht, 2003; Aude et al., 2003). Molte delle antiche malerbe risultano infatti solamente un lontano ricordo del paesaggio agricolo di un tempo dal momento che ormai, alcune di esse, sono divenute rare e

talvolta pressoché estinte (Altieri, 1999, Altieri e Letorneau 1982; Altieri e Nicholls, 2002, Hyvonen e Salonen, 2001, Benvenuti et al., 2005). Parallelemente a queste considerazioni agronomiche sul ruolo della biodiversità floristica nell'agroecosistema, si sono recentemente aggiunte anche considerazioni legate alla conservazione delle risorse genetiche che, sebbene ritenute un prezioso patrimonio dell'umanità, sono sempre più minacciate da eccessive antropizzazioni sia degli agroecosistemi che degli ecosistemi naturali. In questo ambito, la comunità scientifica internazionale ha recentemente dichiarato che la salvaguardia della biodiversità animale e vegetale sono un obiettivo primario a livello mondiale tanto che risulta di crescente interesse lo studio di strategie di sostenibilità ecologica ed economica nella gestione delle risorse biologiche del pianeta (Drechsler e Wätzold, 2007). Questa decisione scaturisce dall'individuazione di un allarmante fenomeno di erosione genica che colpisce la totalità degli ecosistemi planetari. Per quanto riguarda l'agroecosistema, il sopracitato fenomeno di riduzione della complessità delle fitocenosi spontanee è un fenomeno purtroppo in crescita nelle varie parti del mondo (Albrecht, 1995; Sutcliffe e Kay, 1999; Hietala-Koivu et al., 2003). D'altra parte, essendo la maggior parte delle specie infestanti definibili “antropofite”, in quanto tipicamente associate ai disturbi agro-

nomici esercitati dall'uomo, ne consegue che alcune associazioni floristiche abbiano il loro tipico areale di diffusione proprio all'interno dell'agroecosistema. Questo ultimo assume quindi un ruolo cruciale nella salvaguardia di quelle specie che, paradossalmente, affidano le proprie chances di sopravvivenza proprio alla pressione agronomica esercitata. Come sopra accennato, l'applicazione di agrotecniche convenzionali, spesso eccessive e quindi ecologicamente "non sostenibili" ha determinato una forte contrazione floristica causata non solamente dal diserbo chimico ma anche da operazioni colturali. Mentre l'effetto del diserbo chimico sulle comunità vegetali appare scontato, risulta opportuno sottolineare come anche la fertilizzazione risulti un fattore in grado di esaltare la crescita delle specie più aggressive. Le specie meno competitive tendono infatti al declino in quanto le interazioni che si verificano tra i vari individui delle fitocenosi tendono ad avvantaggiare le specie a più rapida crescita e, conseguentemente, più difficilmente controllabili (Hyvonen e Salonen, 2001; Blomqvist et al., 2002; Pysek et al., 2005).

Lo scopo della presente sperimentazione scaturisce dall'ipotesi che vi siano ancora delle oasi agro-ecologiche nelle quali l'isolamento geografico possa avere determinato condizioni di conservazione delle tradizioni agronomiche e quindi il mantenimento delle pressoché scomparse fitocenosi. A tal fine la scelta dell'ambiente di sperimentazione è ricaduto in un'oasi agro-ecologica della Garfagnana (LU), area montana e pedemontana situata nel nord-ovest della Toscana; (44°7' Nord, 10°35' Est) in quanto l'agricoltura di queste aree è da secoli basata su antiche tradizioni agronomiche assolutamente prive delle innovazioni adottate nei sistemi colturali "convenzionali". Per raggiungere questo obiettivo è stata impostata una metodologia di ricerca che ha previsto l'analisi della seedbank, cioè della flora potenziale presente nel terreno dal momento che essa riassume fedelmente le pregresse fitocenosi accumulate, a livello di seme, in un ampio arco temporale.

## 2. Materiali e metodi

### Generalità

La scelta della realtà agronomica oggetto di studio è ricaduta sui tipici avvicendamenti cereali-

colo-zootecnici basati su regolari successioni di Farro (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schübler) della Garfagnana (zona settentrionale montagnosa della provincia di Lucca, Toscana) con colture prative. Tale realtà agronomica è caratterizzata dall'interazione di tre diversi fattori: 1) gestione a mosaico dell'agroecosistema con gli ecosistemi circostanti (basati su boschi naturali, castagneti, seminativi e pascoli, ecc.); 2) l'adozione di una agrotecnica eco-compatibile ispirata al mantenimento delle pratiche agronomiche tradizionali (nessun utilizzo di fitofarmaci e concimi chimici, uso del letame, avvicendamenti con colture poliennali foraggere, scarsa pulizia della semente); 3) la presenza di una coltura, il Farro, coltivata da secoli nella zona utilizzando tradizionalmente il medesimo germoplasma a spiccata rusticità. Tale prodotto è stato recentemente valorizzato attraverso la certificazione IGP "Farro della Garfagnana". Tale area montagnosa (le altitudini degli agroecosistemi selezionati oscilla tra i 300 e gli 800 metri di quota) è caratterizzata da un microclima ad elevata piovosità (1100-1300 mm annui), da una forte escursione termica giornaliera e stagionale (temperature medie estive comprese tra i 30 ed i 15 °C, temperature medie invernali tra i 10 ed i -5 °C). Questo peculiare andamento climatico, assieme all'evoluzione storica della presenza umana in questo territorio, ha determinato l'attuale conformazione paesaggistica della Garfagnana con la presenza a "mosaico" di ecosistemi naturali e coltivati quali boschi di latifoglie e conifere, castagneti, pascoli, seminativi. Dal punto di vista pedologico i suoli delle aree oggetto di sperimentazione sono tendenzialmente acidi o subacidi, a tessitura prevalentemente sabbiosa con elevato scheletro, poco profondi e generalmente poveri in termini di fertilità agronomica.

### Agroecosistemi selezionati

Nella fase iniziale di impostazione di questa ricerca sono stati individuati nel territorio sopra descritto otto appezzamenti con caratteristiche simili in termini di gestione agronomica ed ecologica. Tali aree oggetto di sperimentazione (ricadenti in vari comuni limitrofi) sono state contrassegnate con nomi corrispondenti alle denominazioni delle varie località: Montia, Cannoni, Scorticata, Aia Vecchia, Butia (ricadenti nel comune di Camporgiano), Caprignana (comune

di San Romano), Pieve Fosciana e Piazza al Serchio (appartenenti ai comuni con la medesima denominazione). Come già accennato il criterio della selezione di queste aree è scaturita dall'omogeneità e rappresentatività di avvicendamenti colturali che hanno ospitato da diversi decenni la coltura del Farro. L'agrotecnica con cui erano gestiti questi appezzamenti era molto simile e rispecchiava il disciplinare di produzione dell'IGP "Farro della Garfagnana" ([www.cm-garfagnana.lu.it:8081/CMG/agricoltura/farroigp.html](http://www.cm-garfagnana.lu.it:8081/CMG/agricoltura/farroigp.html)): nessun ricorso a fitofarmaci; distribuzione dei soli concimi organici; lavorazioni autunnali del terreno costituite da un'aratura di media profondità (30-35 cm) seguita da una o due erpicature; semina autunnale con seme "vestito" ricorrendo solamente a semente locale; avvicendamento del cereale con colture foraggere poliennali tipicamente prati-pascoli polifiti.

#### *Analisi seed bank*

Allo scopo di campionare i semi presenti nel suolo sono state prelevate delle carote di terreno del diametro di 4 cm. Il prelievo, avvenuto in marzo durante la levata della coltura, è stato effettuato mediante una sonda metallica in grado di prelevare campioni di suolo dal profilo desiderato: superficiale (0-15 cm) e profondo (15-30 cm). Da ogni parcella sperimentale appartenente alle varie località selezionate sono stati effettuati 30 prelievi seguendo uno schema a randomizzazione completa. I campioni sono stati poi sottoposti ad essiccazione in modo da prevenire germinazioni prima delle operazioni di estrazione dei semi. Questa ultima fase è stata effettuata secondo una metodologia già adottata (Benvenuti et al., 2000) che ha previsto la dispersione dei colloidi terrosi ponendo i campioni per 10 ore in una soluzione salina di esametafosfato di sodio ( $5 \text{ g}^{-1}$ ). I campioni sono poi stati inseriti in un apposito tubo metallico equipaggiato di una capsula rivestita di rete metallica (maglie di  $250 \mu\text{m}$ ). Tale dispositivo, sottoposto a getto idrico di una comune idropulitrice (a getto ad intensità regolabile), risulta in grado di lasciar passare le particelle terrose trattenendo i soli semi unitamente ad altri residui vegetali ed allo scheletro del suolo. Il materiale estratto è stato poi seccato e trasferito in capsule Petri per la separazione dei semi e per la successiva identificazione. A tal fine sono state utilizzate delle lenti di ingrandimento (8X)

equipaggiate da neon circolari e, nei casi di semi di piccole dimensioni, di un microscopio ottico (40X). Nei casi di terreni particolarmente ricchi di scheletro la separazione dei semi è stata agevolata facendo galleggiare i semi in soluzioni saline sature di ioduro di sodio in quanto caratterizzata da elevata densità (circa  $1,7 \text{ g/cm}^3$ ) secondo una metodologia già utilizzata nei casi di specie dai semi estremamente piccoli (Benvenuti et al., 2004).

#### *Analisi flora emersa*

Il censimento della flora emersa è stato effettuato durante la fase di spigatura del farro (giugno) in quanto tale periodo corrisponde al "picco" di fioritura delle varie fitocenosi presenti facilitando così l'identificazione delle varie specie. L'analisi floristica è stata effettuata utilizzando il cosiddetto metodo "Braun-Blanquet" (Braun-Blanquet 1964), basato su una doppia stima contemporanea dell'abbondanza (numero di piante su unità di superficie) e della dominanza (percentuale di superficie coperta) di ogni singola popolazione presente nelle varie parcelle.

#### *Analisi statistica*

I dati della seedbank sono stati elaborati in termini di densità relativa % di ogni specie all'interno dell'intera fitocenosi rilevata. Sono stati poi raggruppati in funzione della loro famiglia botanica e/o gruppo biologico (Raunkiaer, 1905). I dati relativi alle 2 profondità sperimentate sono stati poi sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) utilizzando lo Student-Newman-Keuls LSD test ( $P < 0.05$ ) per la separazione delle medie.

### **Risultati e Discussione**

La figura 1 illustra il quantitativo di semi complessivamente rilevati da strati superficiali e profondi del suolo. Come si può osservare il numero di semi oscilla da circa 12.000 semi  $\text{m}^{-2}$  (località Piazza al Serchio) ad oltre 47.000 semi  $\text{m}^{-2}$  (località Pieve Fosciana) con una media di circa 28.000 semi  $\text{m}^{-2}$ . Risulta opportuno evidenziare come questi valori siano numericamente simili quelli riportati in letteratura per sistemi colturali ispirati alla compatibilità ambientale (Benvenuti et al., 2000; Benvenuti e Macchia, 2004) e, come da aspettative, superiori

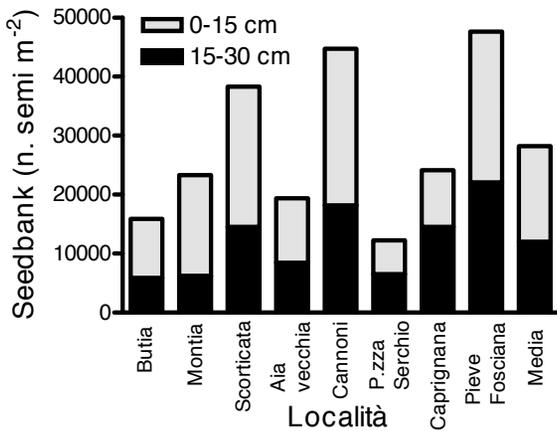


Figura 1. Entità delle seedbank complessive (semi m<sup>-2</sup>), suddivise in superficiali (0-15 cm) e profonde (15-30 cm), rilevate nelle varie località sperimentate.

Figure 1. Amount of the overall seedbanks (seeds m<sup>-2</sup>), divided into superficial (0-15 cm) and deep (15-30 cm), collected in the different studied sites.

ri a quelli rilevati in agroecosistemi convenzionali sia in Italia (Barberi et al., 1998; Benvenuti et al., 2000) che in altre parti del mondo (Forcella e Lindstrom, 1988; Garcia, 1995; Mulgeta e Stoltenberg 1997). Tale seedbank è risultata uniformemente distribuita nei due profili di suolo esplorati dal momento che le rispettive medie non hanno mostrato alcuna significatività all'analisi della varianza ( $p < 0.05$ ). Ciò conferma come l'aratura tenda a diluire uniformemente i semi in tutto il profilo arato come già rilevato in analoghe sperimentazioni (Forcella e Lindstrom, 1988). D'altra parte una gestione agronomica delle malerbe senza il ricorso al mezzo erbicida difficilmente avrebbe portato ad una sostenibilità nel tempo delle varie fitocenosi infestanti dal momento che le lavorazioni ridotte, comportando un accumulo dei semi nello strato superficiale (Ghersa e Martinez-Ghersa, 2000; Goshesh e Al-Hajaj, 2004), tendono a favorire la dinamica di germinazione ed emergenza della seedbank. Sotto un profilo qualitativo, la composizione floristica di semi interrati è risultata estremamente diversificata dal momento che nessuna famiglia botanica è risultata predominante come mostrato nella figura 2. Infatti, nessuna di queste raggiunge il 20% della complessiva densità relativa che è risultata così composta: *polygonaceae* 19,3%; *chenopodiaceae* 16,8%; *caryophyllaceae* 15,9%; *fabaceae*

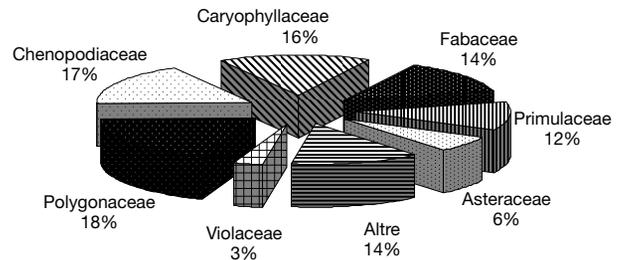


Figura 2. Densità relativa della seedbank (complessiva delle varie località sperimentate), raggruppata in funzione delle famiglie botaniche di appartenenza.

Figure 2. Relative density of the seedbank (comprehensive of the different studied sites), gathered as a function of the botanic family it belongs to.

13,5%; *primulaceae* 11,5%; *asteraceae* 6,2%; *violaceae* 3%, mentre il rimanente 13,8% è costituito da specie meno diffuse (*apiaceae*, *lamiaceae*, *asteraceae*, *euphorbiaceae*, *scrofulariaceae*, ecc.). La maggior parte di questa "flora potenziale" è risultata appartenente al gruppo biologico delle terofite (87%) mentre il rimanente 13% è risultata avere ciclo biologico perenne (emicriptofite e geofite 9 e 4% rispettivamente) come illustrato nella figura 3. Ciò conferma come i disturbi agronomici, anche di tipo "non chimico", tendano a selezionare una flora prevalentemente terofita. L'annualità risulta infatti la tipica strategia di sopravvivenza in quanto il seme appare l'organo della pianta meglio in grado di risultare "resiliente" all'impatto agrono-

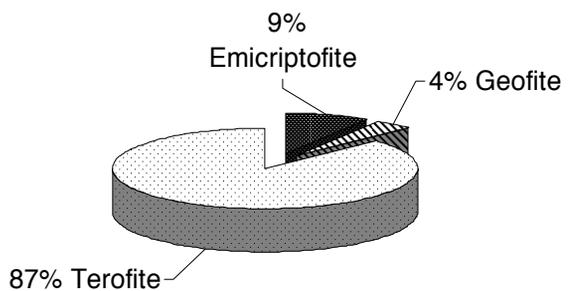


Figura 3. Densità relativa della seedbank (complessiva delle varie località sperimentate), raggruppata in funzione della classificazione di Raunkiaer (1905) nei rispettivi gruppi biologici: terofite, emicriptofite e geofite.

Figure 3. Relative density of the seedbank (comprehensive of the different studied sites), gathered as a function of the Raunkier's classification (1905) in the respective biological groups: therophytes, hemicryptophytes and geophytes.

mico esercitato. In questo ambito le lavorazioni del suolo appaiono giocare un ruolo cruciale dal momento che tendono a distribuire i vari organi della pianta, anche in grado di riproduzione vegetativa, a profondità di scarsa probabilità di persistenza. In effetti gran parte delle terofite infestanti sono considerate, sotto un profilo ecologico, una “successione secondaria” di ecosistemi ciclicamente disturbati (Numata, 1982).

La tabella 1 illustra l'intera fitocenosi rilevata a livello di seme e consente una discussione più dettagliata dei risultati ottenuti. Nel complesso sono state identificate ben 54 specie evidenziando così l'elevato grado di biodiversità floristica già discusso. In particolare va segnalata la presenza in alcune località di due specie ritenute a rischio di estinzione, come *Centaurea cyanus* (Albrecht, 1995) e *Silene noctiflora* (Sutcliffe e Kay, 1999), rispettivamente appartenenti alle famiglie delle *asteraceae* e delle *caryophyllaceae*. Diffuse in tutte le stazioni sono inoltre risultate specie come *Anagallis arvensis*, *Chenopodium* spp. e *Rumex crispus*. Tuttavia, il dato di notevole interesse floristico risulta dovuto alla diffusa presenza di alcune specie di ormai rara e/o scarsa diffusione negli agroecosistemi convenzionali come *Anthemis cotula* (*asteraceae*), *Legousia speculum veneris* (*campanulaceae*), *Echium vulgare* e *Myosotis arvensis* (*boraginaceae*), *Kichxia spuria* (*scrofulariaceae*), *Ranunculus* spp. (*ranunculaceae*) e *Viola tricolor* (*violaceae*). Da notare è inoltre la presenza, seppur modesta, di un certo numero di specie appartenenti alla famiglia botanica delle leguminose, tipicamente presenti nei miscugli delle colture foraggere avvicendate alla coltura del farro come *Lathyrus* spp., *Lotus corniculatus*, *Melilotus* spp., *Vicia* spp. *Trifolium incarnatum* e *T. pratense*. In pratica, la coltivazione di questi miscugli di specie foraggere appare aver contribuito ad incrementare la complessità floristica della seedbank dal momento che molti semi di queste specie, caratterizzati da dormienza fisica (Benvenuti, 1995), tendono ad accumularsi nel suolo. In altre parole questa complessità botanica dei miscugli di foraggere inseriti negli avvicendamenti colturali hanno riflesso questa diversità floristica anche nella seedbank del suolo. Per quanto ciò possa non comportare evidenti vantaggi agronomici, tuttavia questa quota aggiuntiva di specie può contribuire ad incrementare quel livello di interazioni allelopatiche,

che, all'interno delle varie fitocenosi, che sembra acquisire il ruolo di “tampone biologico” nell'impedire il prevalere di quelle specie potenzialmente più invasive. In effetti la spiccata biodiversità della seedbank si è poi riflessa in una elevata “flora reale” (oltre 60 specie) come illustrato nella tabella 2. Spicca la presenza di specie appartenenti alla famiglia botanica delle *graminaceae* che non erano state rilevate a livello di seme. È questo il caso di *Poa trivialis* e seppur secondariamente di *Alopecurus myosuroides* e *Bromus sterilis*. Ciò conferma che le *graminaceae* non sono in grado di formare seedbank persistenti in quanto i relativi semi tendono a germinare già nei periodi autunnali (in quanto poco dormienti) tanto che la loro seedbank viene definita “transitoria” (Thompson, 1987). In altre parole pressoché tutti i semi di queste specie hanno dato luogo a germinazione a breve distanza dalla loro disseminazione con la conseguenza che nessuna di queste specie è stata poi rilevata come seme in primavera (epoca di campionamento). Spicca inoltre un'altra apparente contraddizione tra la flora “potenziale” e “reale” dovuta ad una spesso massiccia presenza di *Agrostemma githago* anche nelle località dove questa specie è risultata scarsa od assente a livello di seme. Tale incongruenza risulta spiegata dal fatto che questa specie viene inconsciamente disseminata dall'agricoltore dal momento che essa è risultata presente nella semente di farro ripulita con sistemi tradizionali (svecciatrice). Tale apparecchiatura non è infatti in grado di togliere completamente i semi dalle dimensioni piuttosto simili a quelle della specie coltivata. Una verifica del contenuto di “semi estranei” presenti nella coltura del farro ha infatti evidenziato una loro frequente presenza (dati non mostrati) nelle sementi utilizzati in tutte le località sperimentate. Ciò conferma l'ipotesi che una delle cause della rarefazione e/o scomparsa di alcune malerbe sia dovuta proprio all'evoluzione del settore sementiero in grado di assicurare un elevato grado di “purezza specifica” nelle sementi dei cereali (Sutcliffe e Kay, 1999). Tale ruolo della semente come “vettore” di semi di infestanti è stata rilevata anche nel caso di *Centaurea cyanus* che anch'essa ha dato luogo ad infestazioni, seppur moderate, spiccatamente superiori a quelle rilevate a livello di seme. Risulta quindi evidente come la tradizionale “pulizia” della semente risulta avere un

Tabella 1. Flora potenziale (seedbank) rilevata nelle 8 diverse località oggetto di sperimentazione. I valori delle singole specie sono espressi come densità relativa (%) rispetto all'intera fitocenosi.

Table 1. Seedbank detected in the 8 investigated sites. Single species values are expressed as relative density (%) compared to the whole phytocenosis.

Specie	Località							
	Cannoni	Montia	Butia	Scortifcata	Aia vecchia	Piazza al Serchio	Caprignana	Pieve Fosciana
Densità relativa seedbank (%)								
<i>Agrostemma githago</i> L.	0,1	--	--	--	--	--	--	--
<i>Anagallis arvensis</i> L.	0,8	25,2	7,4	7,3	11,8	10,7	30,5	3,4
<i>Anthemis arvensis</i> L. e <i>A. cotula</i> L.	4,1	0,2	29,8	3,6	0,5	0,9	0,2	--
<i>Avena sterilis</i> L.	--	0,7	--	--	--	--	--	--
<i>Brassica nigra</i> (L.) Koch.	--	--	--	0,1	0,3	--	--	--
<i>Cardamine hirsuta</i> L.	0,1	--	0,3	--	--	--	--	--
<i>Centaurea cyanus</i> L.	0,5	1,6	0,7	0,1	--	--	--	--
<i>Chenopodium</i> spp.	31,1	0,5	1,3	12,3	23,6	1,7	22,7	41,1
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	--	--	--	--	--	0,9	--	--
<i>Crepis</i> spp.	--	--	--	--	--	--	0,9	--
<i>Daucus carota</i> L.	0,2	0,7	12,0	3,3	0,8	--	--	--
<i>Echium vulgare</i> L.	--	--	0,7	0,4	--	--	--	--
<i>Euforbia</i> sp.	0,1	0,2	--	0,4	1,1	0,4	0,4	0,1
<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) Holub	--	--	--	--	--	--	--	9,4
<i>Fabaceae species</i> <sup>1</sup>	11,6	19,3	6,7	4,4	25,9	9,9	--	24,1
<i>Galium aparine</i> L.	--	--	0,3	0,1	--	--	2,0	--
<i>Geranium dissectum</i> L.	--	--	--	0,3	--	--	--	--
<i>Kichxia spuria</i> (L.) Dumort.	--	3,0	--	--	--	--	0,2	0,3
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	--	--	0,3	0,4	1,9	--	--	--
<i>Legousia speculum-veneris</i> (L.) Chaix	4,9	--	0,7	0,1	0,8	--	0,2	0,4
<i>Lepidium latifolium</i> L.	--	--	--	2,0	--	--	6,0	--
<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill	1,4	--	4,7	2,6	0,3	--	0,7	--
<i>Ornithogalum umbellatum</i> L.	--	--	--	--	0,3	--	--	--
<i>Papaver rhoeas</i> L.	0,4	--	--	--	--	5,2	0,7	0,3
<i>Pichris echioides</i> L.	--	--	--	--	--	0,4	0,7	--
<i>Plantago lanceolata</i> L. e <i>P. major</i> L.	--	--	1,7	--	--	--	--	--
<i>Poa trivialis</i> L.	1,5	0,2	0,7	0,1	--	2,1	--	1,0
<i>Polygonum aviculare</i> L.	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Polygonum persicaria</i> L.	0,1	--	0,4	--	--	5,2	--	1,2
<i>Portulaca oleracea</i> L.	0,1	--	--	--	--	--	--	0,4
<i>Pulicaria</i> sp.	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Ranunculus arvensis</i> L. e <i>R. bulbosus</i> L.	0,1	0,9	--	0,4	1,1	--	0,2	--
<i>Rubus</i> sp.	--	--	--	--	--	--	0,2	--
<i>Rumex crispus</i> L. e <i>R. acetosa</i> L.	12,9	38,7	14,1	3,4	15,1	7,7	26,7	14,2
<i>Salvia pratensis</i> L.	--	--	--	--	0,3	--	--	--
<i>Silene alba</i> (Miller) Krause	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>S.noctiflora</i> L.	1,5	5,9	0,7	49,0	1,4	44,2	--	0,8
<i>Sinapis arvensis</i> L.	--	--	0,3	--	--	--	1,3	0,2
<i>Solanum dulchamara</i> L.	--	--	--	--	0,3	--	--	--
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	18,2	0,2	--	--	2,7	2,1	0,2	0,3
<i>Urtica dioica</i> L.	--	0,5	--	0,3	0,3	--	--	--
<i>Valerianella</i> sp.	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Veronica hederifolia</i> L. e <i>V. persica</i> P.	4,4	0,2	--	0,1	9,3	--	--	2,5
<i>Viola tricolor</i> L.	5,2	0,7	12,4	4,0	1,4	0,4	0,7	--

<sup>1</sup> *Lathyrus* spp., *Lotus corniculatus* L., *Medicago sativa* L., *Melilotus* spp., *Onobrychis viciaefolia* Scop., *Trifolium incarnatum* L., *T. pratense*, *Vicia cracca* L. e *V. sativa* L.

ruolo cruciale nella dinamica di sopravvivenza di queste due specie praticamente scomparse dai vari agroecosistemi gestiti con sistemi colturali di tipo convenzionale. Comunque, l'ab-

bondanza di specie caratterizzate da semi piccoli (*Legousia speculum veneris*, *Viola tricolor*, *Papaver rhoeas*, ecc.) e quindi non più presenti nella semente della coltura, suggerisce che la

Tabella 2. Flora reale stimata con il metodo Braun-Blanquet (Braun-Blanquet 1964). I coefficienti indicano il grado di ricoprimento delle materalbe (da 1 a 5) mentre i segni + indicano presenze estremamente basse definibili come "tracce".

Table 2. Plant species composition according to the Braun-Blanquet method (Braun-Blanquet, 1964). Coefficient point out the degree of weed covering (from 1. to 5.0) while the signs + indicate very low presence defined as "traces".

Specie	Località							
	Cannoni	Montia	Butia	Scortifcata	Aia vecchia	Piazza al Serchio	Caprignana	Pieve Fosciana
Grado di ricoprimento								
<i>Achillea millefolium</i> L.	1	+	+	--	--	--	--	--
<i>Agrostemma githago</i> L.	2	--	+	1	1	--	--	--
<i>Allium vineale</i> L.	--	--	--	+	--	--	--	+
<i>Alopecurus myosuroides</i> Hudson	--	--	--	+	--	--	--	+
<i>Anagallis arvensis</i> L. e <i>A. foemina</i> Miller	--	2	--	--	--	1	+	--
<i>Anthemis arvensis</i> L. e <i>A. cotula</i> L.	2	+	--	2	1	1	--	--
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	--	--	--	--	--	--	--	1
<i>Avena sterilis</i> L.	--	--	--	--	--	+	+	--
<i>Bromus sterilis</i> L.	+	--	1	--	--	--	--	--
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medicus	+	--	--	--	+	--	--	--
<i>Centaurea cyanus</i> L.	2	+	1	2	1	+	--	--
<i>Chenopodium</i> spp.	--	2	--	--	--	+	--	2
<i>Cichorium intybus</i> L.	--	--	--	--	--	--	+	--
<i>Cirsium arvensis</i> (L.) Scop.	--	--	--	+	--	--	--	+
<i>Consolida regalis</i> S.F. Gray	--	--	--	--	--	--	+	--
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	--	--	--	1	--	2	+	+
<i>Dactylis glomerata</i> L.	--	--	--	--	1	--	--	--
<i>Daucus carota</i> L.	+	1	--	2	1	--	--	--
<i>Diptotaxis erucoides</i> (L.) DC.	--	--	--	+	--	--	--	--
<i>Euforbia</i> spp.	--	--	--	--	--	--	+	--
<i>Eupatorium cannabinum</i> L.	--	--	--	--	--	--	--	+
Fabaceae species <sup>1</sup>	1	1	2	1	1	1	+	+
<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) Holub	+	--	--	--	--	+	1	3
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	1	--	2	+	--	--	--	--
<i>Galium aparine</i> L.	+	--	--	1	--	--	+	+
<i>Geranium dissectum</i> L.	--	--	--	+	--	--	--	--
<i>Lactuca serriola</i> L.	--	+	--	--	--	--	--	--
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	+	--	--	+	--	--	--	--
<i>Legousia speculum-veneris</i> (L.) Chaix	2	--	+	1	1	--	--	--
<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill	--	+	--	1	--	--	--	--
<i>Papaver rhoeas</i> L. e <i>P. hybridum</i> L.	1	+	--	2	1	1	1	--
<i>Plantago lanceolata</i> L. e <i>P. major</i> L.	--	--	1	--	--	+	--	--
<i>Poa trivialis</i> L.	1	1	2	2	1	+	--	+
<i>Polygonum aviculare</i> L.	--	2	--	--	--	1	+	--
<i>Polygonum persicaria</i> L.	--	--	--	--	--	1	--	--
<i>Pulicaria</i> spp.	--	--	--	--	--	--	+	+
<i>Ranunculus arvensis</i> L. e <i>R. bulbosus</i> L.	--	1	+	+	1	+	+	+
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	--	--	--	--	--	--	--	+
<i>Rhinanthus</i> sp.	+	+	2	+	+	--	--	--
<i>Rumex crispus</i> L. e <i>Rumex acetosa</i> L.	+	+	1	+	+	+	--	+
<i>Silene alba</i> (Miller) Kr. e <i>S. noctiflora</i> L.	--	+	--	--	--	--	+	+
<i>Sinapis arvensis</i> L.	--	--	+	--	--	--	--	+
<i>Solanum dulcamara</i> L.	--	--	--	--	--	--	+	--
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	--	--	--	--	--	+	--	--
<i>Stachys annua</i> (L.) L.	--	--	1	--	--	1	+	--
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	1	2	--	--	+	--	--	--
<i>Taraxacum officinale</i> Weber	--	--	+	--	--	--	--	--
<i>Thlaspi arvense</i> L.	--	--	--	--	--	+	--	--
<i>Trifolium repens</i> L.	--	--	1	--	--	--	--	--
<i>Valerianaella</i> sp.	--	--	--	+	--	--	--	--
<i>Veronica hederifolia</i> L.	--	+	--	--	+	--	--	--
<i>Viola tricolor</i> L.	1	2	+	2	1	+	--	--

<sup>1</sup> *Lathyrus* spp., *Lotus corniculatus* L., *Medicago sativa* L., *Melilotus* spp., *Onobrychis viciaefolia* Scop., *Trifolium incarnatum* L., *T. pratense*, *Vicia cracca* L. e *V. sativa* L.

complessità della fitocenosi sia il frutto di una vasta gamma di disturbi agronomici. In altre parole, la mancanza di un marcato disturbo agronomico, come il diserbo chimico, sembra avere evitato la contrazione della composizione floristica verso fitocenosi aggressive. È infatti sorprendente che alcune delle più temute malerbe appartenenti alle famiglie botaniche delle *graminaceae* (*Avena sterilis* ed *Alopecurus myosuroides*), *brassicaceae* (*Sinapis arvensis* e *Raphanus raphanistrum*) e *polygonaceae* (*Rumex crispus*, *Polygonum spp.*) siano presenti ma in bassi quantitativi in quanto la loro aggressività sembra trovare ostacolo nella complessa gamma di interazioni competitive ed allelopatiche della ampiamente diversificata cenosi vegetale. Da non sottovalutare è inoltre l'effetto sulla complessità floristica di una diversificazione nell'uso del territorio agricolo che risulta gestito a mosaico all'interno di un ambiente molto variegato con boschi e aree semi-naturali. È infatti stato recentemente dimostrato (Devlaeminck et al., 2005; Gabriel et al., 2004; Le Coeur et al., 2002) che questo ultimo aspetto influisce notevolmente sulla biodiversità animale e vegetale, poiché le aree naturali confinanti con gli agroecosistemi sono un importante rifugio per molteplici organismi viventi e questa convinzione ha portato allo sviluppo di tecniche di salvaguardi della biodiversità come i "field margins" o le "unsprayed crop edges" (Marshall e Moenen, 2002).

Una ulteriore causa di non perfetta coincidenza tra flora "reale" e "potenziale" appare dovuta alle spiccate caratteristiche di dormienza sia "primaria" che "secondaria" (Benvenuti, 1995) dei semi di molte malerbe. Il fatto che alcune specie siano state rilevate solamente a livello di seme e non come vegetazione attiva risulta infatti spiegabile dalla tipica dormienza dei semi di alcune specie che possono "scompare" per alcuni anni come flora attiva per poi trovare a distanza di tempo le condizioni ecologiche ottimali per perdere la dormienza e germinare (Benech-Arnold et al., 2000).

#### **4. Conclusioni**

Le doppie analisi effettuate (flora potenziale e reale) hanno confermato l'ipotesi che gli agroecosistemi nei quali sono sopravvissute le anti-

che pratiche agronomiche sono contraddistinti da un elevato grado di biodiversità floristica. Tale complessità vegetale sembra comportarsi come una sorta di "tampone biologico" che impedisce alle specie più aggressive di prendere il sopravvento sulle altre. In altre parole, tali agroecosistemi imperniati sulle antiche pratiche agronomiche sono risultati contraddistinti da una sostenibilità ecologica sotto un profilo malerbologico, come già rilevato in altre condizioni agroecologiche (Geowitt et al., 2003), dal momento che le fitocenosi risultano equilibrate non essendo dominate dalle specie a maggiore aggressività. Risulta infatti sorprendente rilevare che alcune delle malerbe più aggressive, seppur presenti sia a livello di seme che di flora attiva, abbiano una scarsa incidenza nella fitocenosi complessiva. Questo fenomeno appare dovuto ad una complessa gamma di interazioni sia di tipo competitivo che allelopatico oltre che da una scarsa selettività della pressione agronomica esercitata. La scarsa fertilità del substrato, unitamente alla provenienza non chimica dei fertilizzanti azotati (letame e leguminose foraggere avvicendate al farro) sembrano inoltre coinvolte nell'impedire una rapida colonizzazione da parte delle specie più aggressive della "nicchia ecologica" a disposizione. A questo proposito risulta opportuno sottolineare l'importanza della "rusticità" della coltura del farro il cui potenziale allelopatico non è mai stato "sacrificato" in programmi di miglioramento genetico indirizzato esclusivamente all'incremento quantitativo delle produzioni granellari. Un ulteriore fattore di complessità floristica, soprattutto per quanto riguarda le specie rare o pressoché estinte, è risultato conferito dalla semente della coltura. Essa non essendo completamente stata ripulita dai semi delle malerbe assume un ruolo cruciale nel consentire la diffusione di alcune specie che risultano sopravvivere grazie alla disseminazione "antropocora" dal momento che è l'agricoltore che risulta il prevalente "vettore" di movimentazione del seme nell'agroecosistema. Non tutte le specie riescono infatti a persistere a livello di seedbank a causa della scarsa dormienza e longevità dei propri semi. Di estremo interesse è risultata al riguardo la diffusa presenza di specie rare (*Agrostemma githago* L., *Centaurea cyanus* L., *Silene noctiflora* L.) od in forte diminuzione (*Legousia speculum veneris*,

*Anthemis cotula*, *Consolida regalis*, etc.) che sono ormai pressoché scomparse dal paesaggio agricolo che un tempo era consueto. D'altra parte essendo la sopravvivenza di queste specie (definite infatti "antropofite") legate ai tradizionali disturbi agronomici, ne consegue come l'agroecosistema rappresenti un ambiente di cruciale importanza nel mantenimento nel tempo di germoplasma di queste specie. In altre parole, un eventuale abbandono di queste oasi ecologiche, od in alternativa una loro conversione a sistemi colturali di tipo convenzionale, implicherebbe la definitiva scomparsa di queste specie dal nostro ambiente Mediterraneo. Appare inoltre opportuno sottolineare come queste oasi agro-ecologiche possano assumere un ruolo cruciale nella possibilità di reperimento di germoplasma autoctono per interventi di ripristino della biodiversità in aree floristicamente degradate come nel caso dei "field margins" (Marshall et al., 2002; Marshall e Moonen, 2002). In conclusione, si ritiene opportuno evidenziare come anche le fitocenosi spontanee possano assumere un ruolo cruciale per due aspetti agro-ambientali di nuovo interesse: tutela della biodiversità ed impatto paesaggistico di un determinato ambiente. La conservazione di queste oasi ecologiche, nonché la valorizzazione del relativo germoplasma, sono in sintesi una delle nuove sfide agronomiche che possono incrementare le opportunità di valorizzazione di ambienti marginali sia per una conservazione *in situ* della biodiversità che per una loro utilizzazione *ex situ* in programmi di ripristino ecologico di aree degradate.

### Ringraziamenti

I nostri più sentiti ringraziamenti vanno alla Comunità Montana della Garfagnana (LU) ed in particolare al signor Pierluigi Angeli e a tutti i proprietari delle Aziende Agricole coinvolte nella sperimentazione.

### Bibliografia

- Albrecht H. 1995. Changes in the arable weed flora of Germany during the last five decades. Proceeding of the 9<sup>th</sup> European Weed Research Society Symposium, Challenge for Weed Science in a changing Europe, EWRS, Budapest, 10-12, Luglio, 41-48.
- Albrecht H. 2003. Suitability of arable weeds as indicator organisms to evaluate species conservation effects of management in agricultural ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98:201-211.
- Altieri M.A., Letourneau D. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*, 1:405-430.
- Altieri M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74:19-31.
- Aude E., Tyrbik K., Bruus Pedersen M. 2003. Vegetation diversity of conventional and organic hedgerows in Denmark. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99:135-147.
- Barberi P., Cozzani A., Macchia M., Bonari E. 1998. Size and composition of the weed seed bank under different management systems for continuous maize cropping. *Weed Research*, 38:319-334.
- Benech-Arnold R.L., Sanchez R.A., Forcella F., Kruk B.C., Ghersa C.M. 2000. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research*, 67:105-122.
- Benvenuti S. 1995. Ecologia della "seed bank": aspetti fisiologici ed implicazioni agronomiche nella gestione della flora infestante. *Rivista di Agronomia*, 3:204-219.
- Benvenuti S., Loddo D., Macchia M. 2005. Biodiversità delle fitocenosi spontanee presenti nell'agroecosistema: ruolo agronomico, ambientale e paesaggistico. *Italus Hortus*, 13:400-409.
- Benvenuti S., Macchia M. 2006. Seed bank reduction after different stale seedbed techniques in organic agricultural systems, *Italian Journal of Agronomy/Rivista di Agronomia*, 1:11-21.
- Benvenuti S., Silvestri N., Bimbi V., Simonelli G., Macchia M. 2000. Valutazione della banca seme di infestanti in alcuni sistemi colturali a diverso impatto ambientale. Convegno SIRFI: "Il controllo della flora infestante: un esempio di ottimizzazione a vantaggio dell'ambiente e della produzione", Milano, 5-6 dicembre, 225-251.
- 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 / Rivista di Agronomia*, 8:17-28.
- Braun-Blanquet J., 1964. *Pflanzensoziologie*. Springer, Vienna, pp. 865.
- Devlaeminck R., Bossuyt B., Hermy M., 2005. Seed dispersal from forest into adjacent cropland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107:57-64.
- Drechsler M., Wätzold F. 2007. Ecological-economic modelling for the sustainable use and conservation of biodiversity. *Ecological Economics*, 62:203-206.
- Forcella F., Lindstrom M.J. 1988. Weed seed population in ridge and conventional tillage. *Weed Science*, 36:503-535.
- Gabriel D., Thies C., Tschardt T. 2005. Local diversity of arable weeds increases with landscape complexity.

- Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 7:85-93.
- Garcia M.A. 1995. Relationships between weed community and soil seed bank in a tropical agroecosystem. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 55:139-146.
- Ghersa C.M., Martinez-Ghersa M.A. 2000. Ecological correlates of weed seed size and persistence in the soil under different tilling systems: implications for weed management. *Field Crops Research* 67:141-148.
- Gerowitt B., Isselstein J., Marggraf R. 2003. Rewards for ecological goods requirements and perspectives for agricultural land use. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 98:541-547.
- Hietala-Koivu R., Lankoski J., Tarmi S. 2003. Loss of biodiversity and its social cost in an agricultural landscape. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 103:75-83.
- Hyvonen T., Salonen J. 2001. Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels – a six-year experiment. *Plant Ecology*, 154:73-81.
- Le Coeur D., Baudry J., Burel F., Thenail C. 2002. Why and how we should study field boundary biodiversity in an agrarian landscape context. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 89:23-40.
- Marshall E.J.P., Moonen A.C. 2002. Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 89:5-21.
- Marshall E.J.P., Brown V.K., Boatman N.D., Lutman P.J.W., Squire G.R., Ward L.K. 2003. The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research*, 43:77-89.
- Mulgeta D., Stoltenberg D.E. 1997. Seedbank characterization and emergence of a weed community in a plow system. *Weed Science*, 45:54-60.
- Numata M. 1982. Experimental studies on the early stages of secondary succession. *Journal of Plant Ecology*, 48:141-149.
- Raunkiaer C. 1905. Types biologiques pour la géographie botanique. *Bull. Acad. Sc. Danemark*, 5:347-437.
- Storkey J., Cussans J.W. 2007. Reconciling the conservation of in-field biodiversity with crop production using a simulation model of weed growth and competition. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 122:173-182.
- Sutcliffe O., Kay Q.O.N. 2000. Changes in the arable flora of central southern England since 1960s. *Biological Conservation*, 93:1-8.
- Thompson K. 1987. Seeds and seedbank. *New Phytologist*, 106 suppl.:23-34.