



RegioneLombardia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MILANO



Gestione dell'azoto sostenibile a scala aziendale

Itinerari tecnici - Progetto GAZOSA

Quaderni della ricerca



n. 94 - ottobre 2008

Sperimentazione condotta nell'ambito del progetto GAZOSA
“Gestione dell'azoto sostenibile a scala aziendale” finanziato da Direzione Generale Agricoltura
e Direzione Generale Reti e Servizi di Pubblica Utilità e Sviluppo Sostenibile

A cura di:

Marco Acutis¹; Luca Bechini¹; Mattia Fumagalli¹; Alessia Perego¹; Marco Carozzi¹; Ettore Bernardoni¹
Stefano Brenna²; Marco Pastori²
Fabrizio Mazzetto³
Guido Sali⁴
Francesco Vidotto⁵

Foto a cura di:

Archivio fotografico ERSAF - DGA

Per informazioni:

Regione Lombardia – Direzione Generale Agricoltura
Struttura Ricerca e Innovazione Tecnologica
Via Pola, 12 – 20124 Milano
Tel. 02/6765537 – Fax 02/67652576
e-mail: agri_ricerca@regione.lombardia.it

Referenti:

Gianpaolo Bertoncini - tel. 02/67652524
e-mail: gianpaolo_bertoncini@regione.lombardia.it

Marisa Meda tel. – tel. 02/67658037
e-mail: marisa_meda@regione.lombardia.it

con la collaborazione di

Marco Castelnuovo - Fondazione Minoprio

ERSAF

Dipartimento dei Servizi all'Agricoltura
Struttura Sviluppo Rurale, Suoli e Supporto alla Filiera Vitivinicola
Tel. 02 674 041 – fax 02 674 04 299
e-mail: info@ersaf.lombardia.it

¹ Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Produzione Vegetale

² ERSAF – Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste della Lombardia

³ Università degli Studi di Milano – Istituto di Ingegneria Agraria

⁴ Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Economia e Politica Agraria Agro-alimentare e Ambientale

⁵ Università degli Studi di Torino – Dipartimento di agronomia, selvicoltura e gestione del territorio

Foto a cura di:

Archivio fotografico ERSAF - DGA



Regione Lombardia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MILANO

Gestione dell'azoto sostenibile a scala aziendale *Itinerari tecnici - Progetto GAZOSA*



Quaderni della ricerca
n. 94 - ottobre 2008

Sommario

	pagina
1 Introduzione	5
2 Metodologia	7
2.1 Il metodo di lavoro in breve	7
2.2 Individuazione degli areali e delle aziende	7
2.3 Definizione degli indicatori e degli strumenti	12
2.4 Messa a punto del questionario	12
2.5 Conduzione delle interviste agli agricoltori	13
2.6 Inserimento dei dati in un <i>database</i>	13
2.7 Elaborazioni dei dati	14
2.8 Definizione di scenari alternativi	21
2.9 Presentazione dei risultati	21
2.10 Discussione	22
2.11 Conclusioni	22
Bibliografia	30
ALLEGATO - Itinerari Tecnici	30
Tipologia 1 – “Media Pianura / Lodigiano” Indirizzo Zootecnico	32
Tipologia 2 – “Alta Pianura / Nord Milano” Indirizzo zootecnico	35
Tipologia 3 – “Bassa Pianura / Mantovano” Indirizzo Zootecnico	39
Tipologia 4 – “Alta Pianura / Bergamasca” Indirizzo Zootecnico	42
Tipologia 5 – “Bassa Pianura / Cremasco” Indirizzo Cerealicolo	46
Tipologia 6 – “Media Pianura / Lodigiano” Indirizzo cerealicolo	49
Tipologia 7 – “Pianura Oltrepò Pavese” Indirizzo Cerealicolo	52

Presentazione



Con questo “Quaderno della Ricerca” si rendono disponibili i risultati della ricerca realizzata nell’ambito del progetto GAZOSA, sostenuto dalle Direzioni Generali “Agricoltura” e “Reti e Servizi di Pubblica Utilità e Sviluppo Sostenibile” della Regione Lombardia e coordinato dall’Ente Regionale per i Servizi all’Agricoltura e alle Foreste. L’iniziativa si inquadra nella strategia della Regione di dotarsi di conoscenze e strumenti per dare risposte concrete al mondo produttivo e, più in generale, ai cittadini, così da ri-

spettare gli impegni e assunti in sede di Unione Europea in tema di sostenibilità ambientale e protezione del suolo e delle risorse idriche.

La ricerca ha permesso di mettere a punto una metodologia per la valutazione di alternative gestionali e agronomiche che consente l’individuazione di pratiche agronomiche in grado di ridurre l’impatto ambientale dell’attività agricola, e, al tempo stesso, di conservarne i livelli produttivi.

Infatti, sono individuate alcune alternative gestionali adottabili da una serie di tipologie aziendali lombarde ad indirizzo zootecnico e/o cerealicolo zootecnico, che costituiscono un primo riferimento tecnico per gli imprenditori agricoli lombardi.

Gli approfondimenti sono in particolare rivolti alla problematica relativa alla gestione dell’azoto, che anche alla luce della direttiva “Nitrati” (91/676/CEE), richiede sempre più una più razionale gestione degli effluenti di allevamento e dei fertilizzanti azotati in genere. Questo per fornire un contributo per orientare il mondo dell’agricoltura alla scelta di diverse alternative gestionali per una gestione più efficiente e quindi sostenibile dell’azoto nelle aziende agricole.

Siamo certi che anche questo contributo consentirà la sostenibilità ambientale del sistema agricolo lombardo che richiede sempre maggiori conoscenze e strumenti in grado di misurare l’impatto che tali attività hanno sull’ambiente.

Massimo Buscemi

Assessore alle Reti e Servizi
di Pubblica Utilità e Sviluppo Sostenibile
Regione Lombardia

Luca Daniel Ferrazzi

Assessore all’Agricoltura
Regione Lombardia

1. Introduzione

La politica agricola europea nel corso degli ultimi anni si è orientata verso la promozione di un'agricoltura sostenibile, che si traduce concretamente nel perseguire tre obiettivi fondamentali:

1. ecologico: promozione delle buone pratiche a tutela ambientale e creazione di servizi per la conservazione degli habitat, della biodiversità e del paesaggio;
2. economico: aumentare la redditività e la competitività del settore agricolo;
3. sociale: fornire alle zone rurali opportunità di sviluppo economico e di miglioramento delle condizioni di vita.

La sostenibilità del sistema agricolo richiede quindi di far coesistere gli interessi aziendali e la conservazione di un ambiente ecologicamente equilibrato. Questo compromesso è raggiungibile tramite l'adozione di pratiche agronomiche e soluzioni gestionali a ridotto impatto ambientale in grado di garantire un oculato impiego di fattori produttivi, garantendo al tempo stesso un livello produttivo economicamente sostenibile.

Questa problematica investe oggi in Lombardia in particolare il settore zootecnico che si trova a dover fare i conti con gli elevati quantitativi di azoto rilasciati nell'ambiente dagli allevamenti.

Il rispetto degli obblighi imposti agli allevatori dalla "direttiva nitrati" (91/676/CE) allo scopo di ridurre l'inquinamento da composti azotati delle acque costringe le aziende zootecniche, in particolare nelle zone designate vulnerabili e ad alto carico zootecnico, a reimpostare la gestione dell'azoto razionalizzandone trattamento e utilizzazione.

Le risposte possibili, a tale proposito, sono varie e dipendono da molteplici fattori: caratteristiche dei suoli e dell'ambiente, ordinamenti colturali, disponibilità di terreni, tipo, dimensione ed organizzazione dell'allevamento, densità della zootecnia nel territorio circostante, ecc.

In linea generale ci si può aspettare che le soluzioni più adatte siano prevalentemente di tipo gestionale nelle zone dove la redistribuzione degli effluenti sul territorio può essere sufficiente a riequilibrare i carichi di azoto, mentre, dove ciò non risulta possibile, divenga necessario prevedere tecnologie per separare l'azoto, da trasportare successivamente in altre aree non zootecniche o da rimuovere liberandolo in atmosfera.

Non deve tuttavia essere dimenticato che, qualsiasi sia la scelta organizzativa e tecnologica adottata, per una gestione sostenibile dell'azoto gli aspetti agronomici – e quindi quantità, modalità e tempistica della distribuzione degli effluenti e dei fertilizzanti sui terreni, scelta e rotazione delle colture – restano determinanti. E' infatti noto che perdite di nitrati possono verificarsi anche in presenza di input azotati relativamente ridotti e che, viceversa, se le pratiche di fertilizzazione sono razionali e i terreni vengono occupati costantemente con colture ad alto assorbimento, anche in presenza di apporti consistenti la lisciviazione e/o il dilavamento superficiale possono essere controllati e contenuti entro limiti fisiologici. Pertanto, in assenza di razionalizzazione della fertilizzazione e ottimizzazione degli ordinamenti colturali anche i processi di sostituzione dell'azoto organico con azoto minerale indotti dall'applicazione della direttiva 91/676/CE rischiano di risultare poco efficaci sul rilascio di nitrati dalla zona radicale ed in definitiva sul miglioramento della qualità delle acque di falda e di superficie.

Queste indicazioni hanno peraltro una valenza generale e per produrre risultati concreti e diffusi necessitano di essere studiate e modulate, e poi naturalmente anche essere attuate e monitorate, nelle singole specifiche situazioni aziendali.

A tal fine la disponibilità di criteri metodologici e di strumenti tecnico-scientifici per confrontare in modo oggettivo – e quindi trasparente, basato su dati misurabili e ripetibile - gli effetti sull'ambiente di differenti possibili scelte gestionali diviene indispensabile. Nel caso della Lombardia lo sviluppo di tale approccio all'analisi della sostenibilità dei sistemi colturali agro-zootecnici è facilitato dalla disponibilità di un modello di simulazione, ARMOSA, che è già stato calibrato e validato per le diverse condizioni pedoclimatiche della pianura regionale nell'ambito di un precedente progetto di ricerca finanziato dalla Direzione Generale Agricoltura della Regione.

E' dunque in questo contesto che si inserisce il progetto GAZOSA ("Gestione AZOto Sostenibile a livello Aziendale"), promosso per ipotizzare itinerari tecnici e strategie agronomiche alternative alle attuali gestioni aziendali, che consentano di ridurre l'impatto ambientale dell'attività agricola, e, al tempo stesso, di conservare i livelli produttivi attuali. Con il progetto GAZOSA si è voluto affrontare in particolare il problema relativo alla gestione dell'azoto in agricoltura, elemento fondamentale per la crescita e la produzione delle piante, apportato con la concimazione mediante reflui zootecnici e/o fertilizzanti minerali. L'inquinamento da nitrati delle acque costituisce un pericolo potenzialmente importante sia per la salute umana sia per la qualità dell'ambiente naturale. L'azoto in forma nitrica, infatti, può essere allontanato dal sistema suolo-pianta per mezzo dell'acqua di percolazione che si muove verso strati di suolo sempre più profondi, fino a raggiungere eventualmente l'acquifero superficiale, con effetti negativi sulla qualità della risorsa acqua. L'effettiva perdita di nitrati è determinata dalla loro concentrazione nel suolo, che a sua volta dipende dalle colture e dalle agrotecniche adottate (in particolare dalla concimazione), le quali interagiscono con le caratteristiche del suolo (tessitura, struttura, attività microbiologica, ecc.) e con le condizioni meteorologiche.

A tal proposito il presente studio si rivolge ad una serie di tipologie aziendali lombarde ad indirizzo zootecnico o cerealicolo-zootecnico che si differenziano per il contesto pedo – climatico, per la gestione aziendale, per le colture praticate e le relative agrotecniche, e infine per la tipologia di allevamento e la gestione della stalla.

La scelta di diversificare il più possibile il campo di studio considerando differenti realtà aziendali nasce dalla convinzione che per poter affrontare il problema dell'azoto in agricoltura con maggiore efficacia, fornendo itinerari tecnici alternativi e sostenibili, sia necessario considerare l'intera gamma di variabili e fattori che entrano in gioco, tanto di tipo ambientale come economico, energetico ed agronomico.

Al momento sono state analizzate solo aziende con bovini per facilitare il confronto degli itinerari, ma è facilmente ipotizzabile l'applicazione della medesima metodologia di studio ad altre realtà aziendali e in particolare ad aziende suinicole.

I casi studiati nel progetto corrispondono comunque ad aziende reali, collocate in territori diversi della pianura lombarda per caratteri distintivi e vulnerabilità ambientale e rappresentative, per quanto è stato possibile, di ordinamenti produttivi diffusi.

I risultati ottenuti dal confronto tra gli itinerari tecnici analizzati in ciascuna di tali realtà forniscono pertanto indicazioni già di per sé utilizzabili da altre aziende, zootecniche e non, simili per organizzazione della produzione, che siano interessate nei medesimi contesti territoriali a rivedere l'impostazione della gestione agronomica degli effluenti di allevamento e della fertilizzazione azotata in genere.

La metodologia di analisi e di ricerca di soluzioni effettivamente attuabili sviluppata nel corso del progetto GAZOSA è in ogni caso estendibile a tutte le aziende e può essere riproposta in futuro per l'approfondi-

mento dei singoli casi specifici in programmi di consulenza tecnica. Nel tempo, l'aumentare delle situazioni aziendali analizzate e i riscontri derivanti dall'applicazione reale degli itinerari alternativi possono infatti innescare un processo di continua verifica e quindi di progressivo perfezionamento delle valutazioni che è importante per un'efficace e duratura valorizzazione dei risultati ottenuti.

Lo studio di una casistica più ampia di aziende e di scenari potenzialmente applicabili nelle diverse realtà agricole della pianura padana può inoltre dare un contributo di rilievo alla identificazione di soluzioni gestionali che non siano di pregiudizio alla perdita di nitrati dai terreni agricoli, da inserire ad esempio nel contesto di una eventuale futura richiesta di deroga al limite dei 170 kg/ha di azoto da effluenti zootecnici imposto dalla "direttiva nitrati" per le zone vulnerabili.

Il progetto ha visto la collaborazione di un gruppo di esperti di ERSAF, Università degli Studi di Milano e Università degli Studi di Torino, con competenze diversificate che sono state integrate per lo svolgimento delle attività previste.

2. Metodologia

2.1 Il metodo di lavoro in breve

Allo scopo di individuare le aziende agricole nelle quali effettuare le indagini previste dal progetto, si è deciso di classificare il territorio lombardo di pianura in areali omogenei, all'interno dei quali sono poi state scelte sette aziende disposte a collaborare per la raccolta dati. Successivamente, dopo avere scelto gli indicatori e i modelli da utilizzare per la valutazione agronomica, ambientale ed economica delle performance aziendali, è stato messo a punto un questionario atto a raccogliere i dati necessari (risorse disponibili, agrotecniche praticate, razioni degli animali allevati). Questi dati sono stati acquisiti tramite interviste effettuate ai conduttori aziendali. Dopo avere effettuato un controllo di qualità sui dati ottenuti ed avere eventualmente condotto ulteriori verifiche con gli intervistati, i dati sono stati inseriti in una banca dati e utilizzati per le successive elaborazioni. Queste sono consistite nel calcolo di indicatori agro-ecologici, malerbologici ed economici per la caratterizzazione della sostenibilità delle attività agricole relativamente a diversi aspetti (uso dei nutrienti, gestione della flora infestante, consumi di energia, costi e ricavi economici). Inoltre, sono stati applicati il modello di simulazione agronomico ARMOSA e un modello di simulazione della meccanizzazione per effettuare stime dei processi relativi alle dinamiche dell'azoto nel sistema suolo-coltura e dei consumi di combustibile e delle capacità di lavoro dei cantieri di meccanizzazione. Infine, per migliorare la gestione dell'azoto praticata in azienda, sono stati ipotizzati alcuni scenari alternativi volti alla riduzione delle perdite di azoto, cercando di salvaguardare la convenienza economica, la fattibilità agronomica e l'adeguatezza del sistema foraggero.

2.2 Individuazione degli areali e delle aziende

Gli areali all'interno dei quali sono state selezionate le aziende agricole successivamente sottoposte ad indagine sono stati definiti mediante analisi della cartografia pedologica, dei pedopaesaggi e climatica, dell'uso del suolo e dell'assetto territoriale agricolo della pianura e mediante l'applicazione di tecniche statistiche di analisi multivariata.

Dall'analisi dei database regionali sono state estratte diverse variabili; le seguenti sono state scelte per la successiva analisi multivariata: classe di pietrosità totale; classe di permeabilità; classe di drenaggio; coltura dominante; precipitazioni medie annuali; temperatura media annuale dell'aria; temperatura minima annuale; evapotraspirazione di riferimento ET_0 (media della sommatoria annuale); pH in acqua del primo orizzonte di suolo; contenuto in carbonio organico del primo orizzonte di suolo; profondità utile del suolo; profondità di falda; diametro medio delle particelle della terra fine del primo orizzonte di suolo, calcolata in base al contenuto in sabbia, limo e argilla; percentuale della SAU (Superficie Agraria Utile) del poligono irrigata per aspersione; percentuale della SAU del poligono irrigata per scorrimento; percentuale della SAU del poligono irrigata per sommersione; carico di azoto medio del poligono (media per unità di SAU). I dati relativi alla percentuale di SAU irrigata e quelli relativi al carico di azoto derivano da elaborazioni dei dati ISTAT – Censimento dell'Agricoltura 2000. I dati di uso del suolo sono stati derivati dalla banca dati SIARL (2003), ed elaborati in classi di uso riaggregate: barbabietola, mais, foraggiere, frutticole, olivo, orticole, sementi, altri cereali, terreni a riposo, vite, boschi, riso.

L'unità spaziale di riferimento per i dati pedo-climatici è un poligono, di forma e dimensione variabile nei diversi punti della pianura lombarda, per il quale sono omogenee le proprietà pedologiche e climatiche: tali poligoni sono infatti ottenuti dall'intersezione (alla scala 1 : 250.000) della carta pedologica e dalla carta degli areali climatici. I poligoni individuati sono 1.087: la loro estensione varia da un minimo di 64 ha ad un massimo di 18.228 ha, con una media di 1.242 ha (la mediana è 641 ha). Dalla successiva analisi sono stati preventivamente esclusi i poligoni non agricoli (definiti come quelli in cui la SAU rappresenta meno del 20% della superficie totale del poligono). Le profondità di falda sono state ricodificate assegnando il valore di 3 m ai poligoni per i quali la profondità non era indicata nel database pedologico. I dati sono stati utilizzati per effettuare un'analisi "two step cluster", (SPSS, 2001) una tecnica di analisi multivariata attraverso la quale è possibile raggruppare i dati analizzati in modo da minimizzare le differenze all'interno di ciascun gruppo e di massimizzare quelle tra i diversi gruppi, anche nel caso, come quello in esame, di descrittori qualitativi e quantitativi contemporaneamente presente. Questa procedura ha consentito, attraverso vari step, di individuare per il territorio di pianura della Lombardia otto macroaree, statisticamente considerabili omogenee in funzione delle variabili di interesse per le analisi condotte nel progetto: suoli, uso agricolo, pratiche agronomiche e irrigue, carichi zootecnici, clima, etc. I risultati (Tabella 1) mostrano una buona variabilità tra i diversi cluster individuati, e in generale si evidenzia un legame abbastanza netto con il territorio.

In particolare si possono osservare questi aspetti:

- i cluster 1 e 6 sono rappresentativi di ambienti appartenenti all'alta pianura ghiaiosa che viene suddivisa in una porzione occidentale (cluster 6) e in una orientale (cluster 1); la restante porzione di media e bassa pianura evidenzia una netta distinzione in 2 cluster occidentali (cluster 2 e 8) e di 3 cluster centro orientali (cluster 2, 5 e 7). Infine si differenzia il cluster 3, che possiamo considerare rappresentativo delle aree pianeggianti dell'Oltrepò Pavese, anche se anche alcune aree più settentrionali (terrazzi morenici) ricadono in questo gruppo;
- la piovosità è piuttosto elevata nei cluster 1 e 6 e particolarmente bassa nei cluster 2, 5 e 7, mentre le temperature sono abbastanza omogenee in tutta la pianura;
- l' ET_0 presenta valori più elevati nei cluster 2, 3 e 7, ossia nelle aree di bassa pianura cremonese e mantovana e nelle aree pianeggianti dell'Oltrepò pavese che corrispondono alle zone meno piovose della Lombardia;

- riguarda alla reazione dei suoli, si contraddistingue in modo netto solo il cluster 6 con una reazione acida; gli altri cluster si caratterizzano per suoli con reazione sub-acida o sub-alcalina, con una maggiore tendenza all'alcalino per tutte le aree più orientali (cluster 1, 2, 5 e 6);
- la fertilità dei suoli non evidenzia una particolare variabilità: valori più bassi di carbonio organico risultano nei cluster più intensamente agricoli, mentre il valore in assoluto più elevato si ritrova nel cluster 8, che corrisponde ai paesaggi delle valli fluviali dove maggiore è anche la diffusione di boschi e aree naturali;
- la falda è in genere più superficiale nei cluster 5 e 8;
- i suoli hanno tessitura più grossolana nei cluster 3 e 4 (diametro medio elevato: 0,3–0,4 mm), mentre è molto più fine nei cluster 2, 5, 6 e 7 (diametro medio di circa 0,05–0,10 mm);
- i metodi irrigui sono abbastanza diversificati sul territorio: in generale prevale l'irrigazione per aspersione nei cluster più orientali (cluster 2 e 7) e quella a scorrimento nei cluster centro occidentali (soprattutto 5 e in misura minore 4, 3 e 1);
- il carico di azoto (mediato sull'intero cluster) è relativamente elevato (60–70 kg N ha⁻¹) nei cluster che corrispondono alle aree a maggiore vocazione zootecnica, mentre è particolarmente basso nei cluster 3 ed 8.

L'osservazione delle variabili di tipo qualitativo (non riportate in tabella) indica che la pietrosità è elevata nei cluster 1 e 4, la permeabilità presenta valori centrali (uguali a 3, su una scala di 6) molto frequenti in tutti i cluster, la classe di drenaggio è elevata nei cluster 5, 7 e 8, bassa in 1 e 2, la coltura dominante è il riso nei cluster 3 e 8 (la cui stazione meteorologica di riferimento è Castello d'Agogna), e le caratteristiche vertiche sono concentrate nel cluster 7.

Tabella 1. Caratteristiche delle otto aree omogenee (cluster) identificate nel territorio lombardo di pianura (dettagli nel testo).

Cluster	Precip. (e numero di poligoni)		Temp. (mm anno ⁻¹)		Temp. media (°C)		E _{T0} minima (°C)		pH (mm anno ⁻¹)		C organico (%)		Prof. utile (cm)		Prof. falda (cm)		Diametro medio particelle suolo (mm)		% SAU asperzione		% SAU scorrimento		% SAU sommersione		Carico di azoto (kg N ha ⁻¹)	
	m	ds	m	ds	m	ds	m	ds	m	ds	m	ds	m	ds	m	ds	m	ds	m	ds	m	ds	m	ds	m	ds
1 (121)	1013	114	13.8	0.8	9.0	0.9	1038	73	7.8	0.7	1.7	0.4	101	29	300	0	0.148	0.072	6	8	31	25	0	1	63	32
2 (131)	696	83	13.1	0.6	7.9	0.8	1121	36	7.9	0.7	1.2	0.3	147	47	284	41	0.103	0.071	27	24	29	28	0	1	62	32
3 (111)	887	129	14.0	0.6	8.8	1.1	1119	95	7.2	0.7	0.9	0.5	118	58	250	77	0.314	0.211	3	4	33	16	35	22	18	15
4 (118)	893	226	13.5	0.8	8.5	1.2	1058	103	7.6	0.9	1.8	1.2	81	54	244	93	0.408	0.200	10	16	34	27	2	8	61	34
5 (133)	765	84	13.1	0.7	7.9	1.1	1103	57	8.0	0.5	1.4	0.5	114	36	148	60	0.086	0.064	12	16	56	20	1	4	68	28
6 (82)	1150	120	13.5	0.3	8.7	0.5	1024	90	6.3	1.0	1.6	0.8	166	51	296	24	0.081	0.074	2	3	5	12	0	0	34	22
7 (153)	700	122	13.6	0.4	8.3	0.6	1125	63	8.4	0.3	1.3	0.3	125	57	217	91	0.030	0.025	33	25	5	10	0	1	39	36
8 (122)	920	189	13.9	0.7	8.6	1.1	1122	106	7.1	0.8	3.5	3.9	77	24	118	95	0.187	0.154	3	5	31	22	32	30	28	32
Combinati	858	198	13.5	0.7	8.4	1.0	1093	87	7.6	0.9	1.7	1.7	115	53	228	94	0.165	0.173	13	20	28	26	9	19	48	35

m = media, ds = deviazione standard

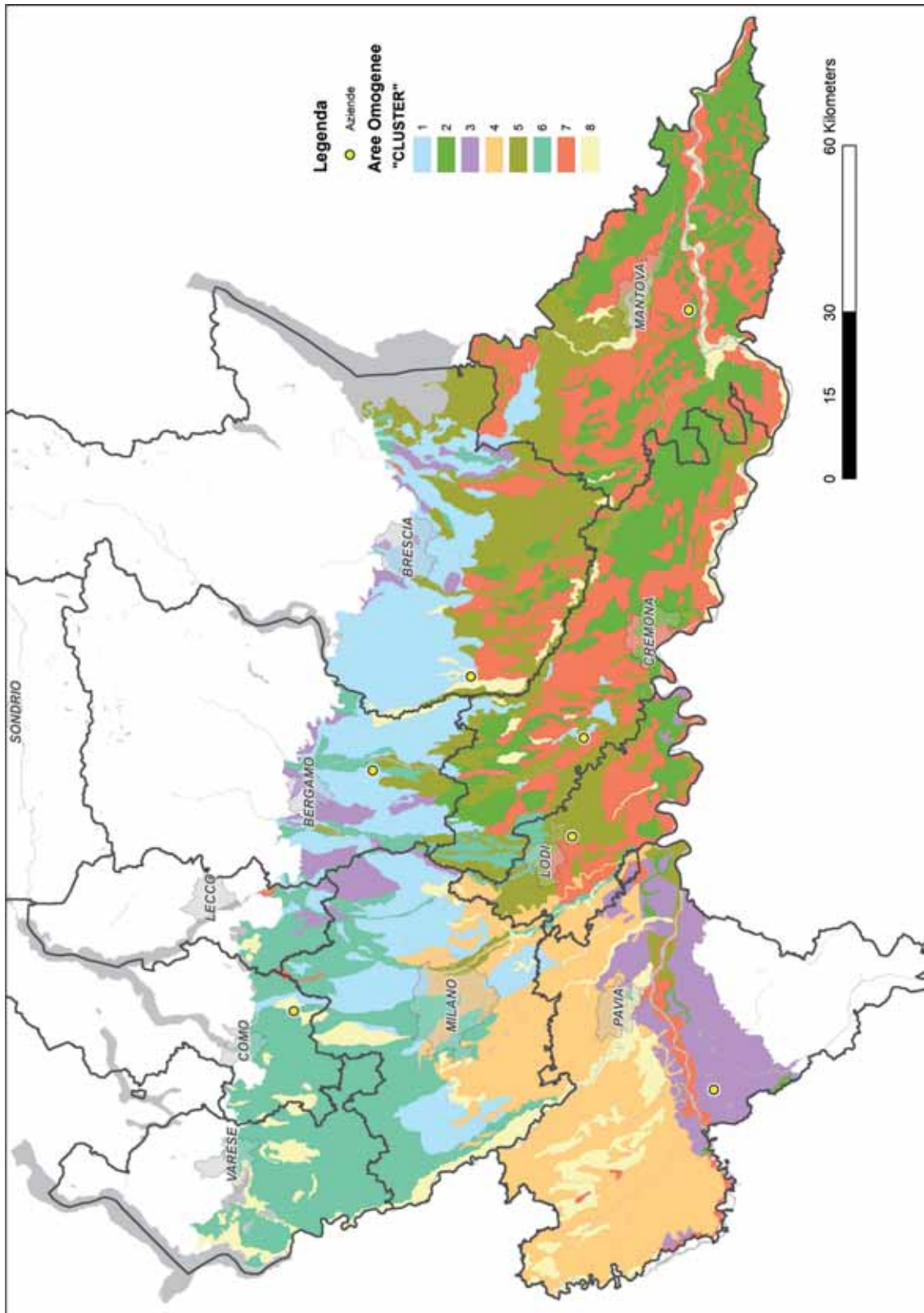


Figura 1. Localizzazione dei cluster (aree omogenee) nella pianura lombarda, usati per l'indagine condotta nel progetto GAZOSA.

Tabella 2. Caratteristiche delle aziende monitorate nel progetto.

Cluser	Indirizzo produttivo	SAU (ha)	Ripartizione colturale della SAU (%)					Tipo allevamento	Carico zootecnico (t p.v. ha-1)	Carico di azoto da reflui zootecnici (+ extra aziendale) (kg N ha-1)
			Seminativi non foraggeri	Erbai	Prati	Set aside	Altro			
1	Zootecnico	40	0	79	12	9	0	Bovini da latte	3.1	320
2	Zootecnico	95	33	19	14	4	0	Bovini da latte	1.35	170 (+70)
5	Zootecnico	171	44	43	11	2	0	Bovini da latte	1	140
5	Cerealicolo	420	88	0	0	12	0		Uso fanghi di depurazione	
7	Cerealicolo	20	0	100	0	0	0		Uso di digestato	
6	Zootecnico	50	0	40	60	0	0	Bovini da latte	1	110
3	Cerealicolo Bieticolo	145	32	0	24	7	27		Solo concimazione minerale	

Nelle aree omogenee è stata infine individuata un'azienda, rappresentativa per tipologia di suolo, carico zootecnico, gestione e uso del suolo. In tal modo è stato possibile effettuare le valutazioni della sostenibilità in zone diverse della pianura lombarda. Il primo criterio di selezione dell'azienda è stato evidentemente quello dell'appartenenza al cluster, di essere rappresentativa dell'ordinarietà nell'ambiente ed inoltre di essere caratterizzata da dimensioni e gestione tali da garantire un reddito adeguato all'imprenditore agricolo. Il secondo criterio è stato quello di cercare di ottenere una certa variabilità gestionale; in particolare, sono state coinvolte aziende sia con che senza allevamenti. Il terzo criterio è stato quello della disponibilità dell'imprenditore agricolo: infatti, data l'elevata richiesta di tempo necessaria per fornire le informazioni richieste, non tutti gli agricoltori contattati hanno accettato di aderire al progetto di lavoro proposto. In Tabella 2 sono presentate le aziende agricole coinvolte nel progetto, evidenziandone le caratteristiche principali.

2.3 Definizione degli indicatori e degli strumenti

Per caratterizzare la sostenibilità delle attività agricole sono stati presi in considerazione aspetti relativi a diversi comparti. Prima di effettuare le visite in azienda sono quindi stati definiti vari indicatori e strumenti di calcolo, che sono stati poi utilizzati per l'analisi dei dati. Indicatori e modelli saranno descritti in dettaglio più avanti. In sintesi, si è voluto caratterizzare:

- l'uso dell'azoto tramite bilanci di massa condotti a scala aziendale e di campo;
- la dinamica dell'acqua e dell'azoto nel sistema suolo-coltura tramite un modello matematico di simulazione dei sistemi colturali;
- la capacità di lavoro per ogni operazione colturale e i corrispondenti consumi di lubrificanti e combustibili, tramite un modello di meccanizzazione;
- i consumi diretti e indiretti di energia da carburanti;
- le modalità di gestione delle malerbe ed i possibili rischi di sviluppo di quadri malerbologici "difficili";
- la tossicità dei principi attivi contenuti nei fitofarmaci impiegati;
- la redditività economica.

Gli indicatori associati sono stati utilizzati per valutare la gestione attuale e confrontarla con gli scenari migliorativi messi a punto dal gruppo di lavoro.

2.4 Messa a punto del questionario

Tutte le informazioni sono state reperite attraverso visite periodiche presso gli agricoltori, ai quali è stato sottoposto un questionario per il rilievo dei dati aziendali. In questo modo è stato possibile ottenere dati di qualità necessari al calcolo degli indicatori e all'applicazione dei modelli.

Ogni azienda è stata caratterizzata in termini di risorse e impiego delle stesse nelle operazioni di gestione delle colture e degli animali in allevamento. Le risorse (terreni e macchine agricole) sono state censite raccogliendo le informazioni relative a: appezzamenti coltivati, loro collocazione geografica, loro aggregazione in UPA ("Unità di Paesaggio Aziendale"), marca, modello e potenza delle trattrici e delle macchine semoventi, tipo e dimensione operativa delle macchine operatrici.

Per quanto riguarda la gestione delle produzioni vegetali, sono state raccolte informazioni riguardanti le colture presenti e gli avvicendamenti praticati, le produzioni ottenute e le agrotecniche (lavorazioni, semina, concimazioni, diserbo, irrigazioni, raccolta, essiccazione, trasporto). Per ogni operazione colturale sono state registrate le dosi di eventuali fattori impiegati (sementi, concimi, fitofarmaci), le epoche e le

modalità di esecuzione, gli accoppiamenti tra trattrici e operatrici impiegate, e i costi dei fattori produttivi e dei prodotti ottenuti.

Per l'allevamento sono state censite la composizione della stalla e la razione media. Entrambe le informazioni sono state raccolte raggruppando gli animali in categorie omogenee per età o peso (es. vitelli, manze, vacche in lattazione, vacche in asciutta, ecc.).

Infine, sono stati registrati tutti i flussi di materiali acquistati e ceduti dall'azienda (concimi, alimenti per il bestiame, lettiere, latte, prodotti vegetali, animali).

2.5 Conduzione delle interviste agli agricoltori

Come già accennato, i dati sono stati raccolti tramite interviste periodiche con gli agricoltori nel periodo 2006–2008. Il questionario non è stato compilato direttamente dall'agricoltore, ma dal ricercatore che ha condotto l'intervista. Questo ha assicurato che i dati ottenuti fossero effettivamente quelli richiesti, perché gli eventuali dubbi sul significato e l'utilizzo dei dati oggetto dell'intervista potevano essere fugati immediatamente. Inoltre, le interviste sono sempre state condotte dalla medesima persona in tutte le aziende, assicurando omogeneità di compilazione dei questionari. Infine, poiché la persona che ha condotto le interviste era direttamente coinvolta nell'impostazione della ricerca e nella successiva analisi dei dati, è stata assicurata anche l'adeguatezza dei dati raccolti per l'uso che era stato pianificato.

Tutte le informazioni raccolte con il questionario rappresentano il comportamento medio dell'agricoltore e non riflettono quindi la particolarità di una specifica annata. Questo è stato deciso allo scopo di ottenere una descrizione dell'azienda il più possibile rappresentativa di un periodo medio-lungo, ed evitare di ottenere dati relativi a condizioni particolarmente lontane dalla "normalità", come potrebbero per esempio essere quelle particolarmente siccitose o con elevata presenza di patogeni, o viceversa con ottimale distribuzione delle precipitazioni.

2.6 Inserimento dei dati in un *database*

Tutti i dati raccolti sono stati subito inseriti in una serie di fogli elettronici. Questo ha consentito una fruibilità immediata delle informazioni raccolte per gli scopi più diversi, senza dover affrontare subito le complicazioni di un *database* relazionale, che è stato invece sviluppato in un secondo tempo. L'organizzazione dei dati in un *database* ha consentito di ottenere una maggiore strutturazione dell'informazione, necessaria sia per le applicazioni modellistiche, sia per la condivisione dei dati all'interno del gruppo di lavoro, che comprendeva competenze diverse.

Le principali entità che compongono il *database* sono in ordine gerarchico decrescente: l'azienda, lo scenario, l'UPA e l'itinerario tecnico; in tal senso ad ogni azienda possono essere associati da 1 a n scenari di riferimento (il primo può ad esempio essere lo scenario di gestione attuale dell'azienda), ogni scenario è quindi caratterizzato in funzione delle UPA aziendali e degli itinerari tecnici con cui sono gestite. Con il termine scenario si intende quindi una modalità con cui, all'interno dell'azienda, le varie risorse disponibili (terreni, macchine, impianti, manodopera fissa) sono organizzate in una o più attività produttive. Diversi scenari rappresentano quindi possibilità alternative di gestione dell'azienda in esame, raggiungibili senza modificare la disponibilità delle risorse, ma facendo variare, se necessario, il riparto colturale, l'agrotecnica, e quindi i fattori produttivi impiegati (combustibili, concimi, fitofarmaci, ecc.). Ogni azienda agricola studiata in GAZOSA è stata fotografata in quello che è stato definito lo scenario "attuale" o "reale". Come si dirà meglio più avanti, per ogni azienda sono anche stati definiti degli scenari "alternativi". Questi costituiscono delle modalità di gestione della medesima azienda che hanno l'obiettivo di

migliorare *in primis* la gestione dell'azoto e allo stesso tempo di mantenere agli stessi livelli (o migliorare) anche altri aspetti, quali l'uso dell'energia fossile, la gestione delle malerbe, e la redditività economica. Per ogni scenario (ad esempio lo scenario di gestione attuale), l'insieme dei terreni dell'azienda è rappresentato tramite un certo numero di UPA. Queste rappresentano aree omogenee per la gestione attuale e passata (avvicendamento, concimazioni, lavorazioni, ecc.) e per la tipologia pedologica. Di conseguenza, tutti gli appezzamenti che afferiscono ad una medesima UPA possono essere trattati in modo omogeneo nella raccolta dati e nelle successive elaborazioni. Per finire, in ogni UPA sono coltivate in rotazione una o più colture. Per ognuna, è stato definito un "itinerario tecnico", costituito dall'elenco delle operazioni colturali effettuate da prima della semina (es. aratura, ripuntatura, distribuzione liquami) fino a dopo la raccolta (es. trasporto del prodotto, essiccazione). Nella generalità dei casi, un'UPA contiene più di un "itinerario tecnico", perché più colture possono essere coltivate in ogni UPA, sia in sistemi intensivi di doppia coltura (es. monosuccessione di loiessa e mais da trinciato) che in avvicendamenti con diverse colture principali che si succedono. Viceversa, nel caso delle monosuccessioni è presente solo un itinerario tecnico per ogni UPA.

2.7 Elaborazione dei dati

Per ogni azienda sono state condotte diverse elaborazioni volte a quantificare la sostenibilità e a supportare la definizione di scenari alternativi di gestione.

Definizione di valori mancanti

Innanzitutto si è proceduto con ulteriori visite e accertamenti aziendali per verificare dati che non rientrano negli intervalli più comunemente osservati o non coerenti tra loro. Successivamente si sono assegnati valori a variabili che non era stato possibile acquisire in azienda. Ad esempio, nessun agricoltore è stato in grado di quantificare le produzioni delle colture non vendute esternamente all'azienda (tipicamente le foraggere reimpiagate) e i volumi di adacquamento, che sono stati quindi stimati sulla base del sistema irriguo e dell'impiantistica aziendale. In altri casi, è stato necessario riverificare gli accoppiamenti tra trattrice e operatrice per renderli più aderenti alla realtà della specifica operazione considerata. Si sono anche identificate le modalità operative adottate in azienda, ma non rappresentative della gestione di riferimento dell'areale, al fine di estendere maggiormente la rappresentatività dell'azienda stessa.

Parametri bibliografici

Successivamente è stato condotto un lavoro di rassegna della letteratura scientifica esistente, allo scopo di selezionare i valori adeguati per i parametri di calcolo degli indicatori selezionati. Sono stati quindi scelti: le concentrazioni medie di azoto delle colture praticate, gli equivalenti energetici di tutti i fattori produttivi impiegati, i parametri per le valutazioni eco-tossicologiche, i prezzi dei fattori e delle risorse. In particolare per quanto riguarda i prezzi dei beni e servizi acquistati dall'azienda si è proceduto alla verifica dei valori dichiarati e, in alcuni casi, ad uniformarli sulla base dei prezzi medi dell'area di riferimento.

Scale di lavoro

Prima di iniziare i calcoli veri e propri, infine, il gruppo di lavoro ha preparato un duplice schema per l'analisi dei dati raccolti. Prima di illustrarlo, va ricordato che l'uso del suolo ha una variabilità temporale (a causa del fatto che diverse colture si avvicendano su ogni UPA) e spaziale (dovuta alle variazioni esistenti tra le UPA in ogni singolo anno). Per ogni anno, quindi, si potrà scattare una fotografia del riparto col-

turale effettivo di tutta l'azienda, dovuto al procedere delle rotazioni colturali sulle diverse UPA. Poiché l'agricoltore tende a non coltivare contemporaneamente la medesima specie su tutta la superficie aziendale, allo scopo di semplificare alcune elaborazioni si è identificato un riparto colturale aziendale medio, ipotizzando che questo non cambi sostanzialmente tra anno e anno (mentre ogni anno variano ovviamente le allocazioni delle colture alle singole UPA).

Le elaborazioni basate sugli indicatori e sul modello di meccanizzazione sono state quindi condotte alla scala di itinerario tecnico su una "fotografia" dell'azienda, che è il riparto colturale medio. Di conseguenza, a questa scala di lavoro non si considera, per semplicità, la variabilità temporale. Ad ogni UPA, quindi, è assegnata una delle colture della rotazione (o una coppia di colture per i sistemi di doppia coltura) che copre un arco temporale di non più di 12 mesi. Il riparto colturale medio è ottenuto dalla somma delle superfici destinate alle diverse colture per tutte le UPA dell'azienda.

Dall'altro lato, le elaborazioni con il modello di simulazione agronomica, che hanno una base chimica, fisica e biologica, sono state condotte a livello di UPA a scala giornaliera per un lungo periodo di tempo. In questo caso, più itinerari tecnici (ovvero gestioni agronomiche di colture in avvicendamento) sono stati simulati in sequenza per determinare l'effetto di lungo periodo della gestione simulata. Questa scelta ha lo scopo di considerare la variabilità meteorologica e consente di ottenere informazioni simulate sul sistema colturale per ogni singola annata meteorologica considerata, includendo quindi periodi diversi dal punto di vista delle precipitazioni e delle temperature. Il risultato è che il modello agronomico aiuta a quantificare la variabilità delle stime di produzione areica e di bilancio dell'azoto dovuta al tempo atmosferico. Il modello agronomico, inoltre, fornisce una stima, basata su processi, delle perdite di azoto dal sistema.

Indicatori e modelli agronomici

Gli indicatori agronomici utilizzati sono il bilancio dell'azoto a scala aziendale e a scala colturale. (Simon et al., 2000, vanBeek et al., 2003; Bassanino et al., 2007; Van der Werf et al., 2007). Per semplicità, in queste schede è presentato solo il secondo: il bilancio dell'azoto a scala colturale (o bilancio di superficie dell'azoto o "soil surface balance") (Bechini e Castoldi, 2006; Sieling e Kage, 2006; Salo e Turtola, 2006) che consiste nel valutare l'azoto che entra attraverso la superficie del suolo e ne esce mediante assorbimento colturale. L'approccio prevede il confronto tra i flussi di azoto che entrano verso la superficie mediante le concimazioni organiche, le concimazioni minerali, i residui della coltura precedente, l'azotofissazione, le deposizioni atmosferiche, le irrigazioni, e i flussi di azoto in uscita dal terreno (rappresentate con questa metodica dalle sole asportazioni colturali). Le concimazioni sia organiche sia minerali sono considerate al lordo delle perdite: non sono quindi considerati i coefficienti di efficienza legati a periodo e modalità di distribuzione e al tipo di coltura nel caso di reflui zootecnici (tutto ciò che viene apportato con le concimazioni è disponibile per la coltura). In questo modo si valuta un eventuale deficit o surplus di azoto senza conoscere gli ulteriori flussi in cui l'azoto è coinvolto all'interno del sistema suolo-coltura. Una differenza positiva tra input e output di azoto può significare che è fornito più azoto di quanto sia effettivamente necessario, con possibile rischio ambientale, mentre una differenza negativa corrisponde ad un impoverimento del suolo. Tuttavia, va sottolineato che un bilancio positivo non indica sempre un comportamento inadeguato da parte dell'agricoltore per almeno due ragioni. La prima è che tutti i calcoli di questo tipo sono condotti con dati molto incerti (a partire da quelli raccolti in azienda fino ai coefficienti bibliografici inseriti successivamente nel processo di elaborazione). La seconda ragione è che alcune perdite di N sono inevitabili, e strettamente connesse alla pratica della concimazione: quando assegniamo un'efficienza apparente anche elevata (es. 80%) all'azoto applicato con un concime minerale, ipotizziamo

comunque che il restante 20% sia perso (per volatilizzazione dell'ammoniaca, denitrificazione o runoff) o immobilizzato nel suolo. Il punto cruciale è che questo 20% non è il risultato di un comportamento tecnicamente scorretto da parte dell'agricoltore, ma un'inefficienza pressoché ineliminabile. Di conseguenza, occorre che il surplus sia rilevante (cioè che le efficienze apparenti siano basse, e quindi migliorabili) per indicare che il sistema è gestito in maniera rischiosa e scorretta (Grignani et al., 2003, Oborn et al., 2003, Oenema et al., 2003).

Il modello agronomico, invece, consente di studiare nel dettaglio i flussi in cui l'azoto è coinvolto nel sistema suolo-coltura. Il modello utilizzato in questo progetto è stato precedentemente sviluppato da Università di Milano ed ERSAF nel corso del progetto ARMOSA. Si tratta di un modello matematico di simulazione della crescita e dello sviluppo di colture erbacee, integrato con un modello di bilancio idrico e di destino del carbonio e dell'azoto nel suolo. Il modello è in grado di simulare gli effetti, anche di interazione, del clima, del suolo e della gestione agronomica (in termini di rotazione, concimazioni e irrigazioni) sulle produzioni areiche e le perdite di azoto. Si tratta quindi di uno strumento estremamente flessibile e avanzato, che consente la valutazione su base scientifica dell'interazione di processi chimici, fisici e biologici in areali pedo-climatici e agronomici anche molto differenziati. Il modello ARMOSA richiede in input i dati meteorologici giornalieri, le caratteristiche del profilo di suolo su cui si esegue la simulazione, la data di semina (con indicazione della specie) e la gestione agronomica. Questa è configurata come un elenco di operazioni (irrigazioni, concimazioni, lavorazioni), con indicazione della data della loro effettuazione, di parametri descrittivi della modalità di esecuzione (es. profondità di aratura), e della dose di acqua o azoto impiegata. Il modello fornisce, su base giornaliera, una previsione dello stadio di sviluppo e della biomassa della coltura (suddivisa nelle varie componenti: radici, fusto, foglie, organo di accumulo), e di tutte le componenti dei bilanci dell'acqua (piogge, irrigazioni, drenaggio profondo, evapotraspirazione e runoff) e dell'azoto (fertilizzazioni, mineralizzazioni, asportazione colturale, volatilizzazione di ammoniaca, lisciviazione di nitrati, denitrificazione).

Per quanto riguarda l'uso del modello, è opportuno anche sottolineare che le simulazioni sono state condotte per una durata di 50 anni, utilizzando serie meteorologiche ottenute da un generatore climatico (ClimGen) sulla base di oltre 10 anni di dati meteorologici misurati. Infatti, quando si vogliono trarre indicazioni strategiche sul comportamento del sistema suolo-coltura, le valutazioni condotte in un anno specifico non hanno che un significato molto puntuale e scarsamente generalizzabile, in quanto influenzate dall'andamento meteorologico tipico di quell'anno. Le statistiche dei risultati ottenuti su un periodo di tempo lungo, ad esempio 50 anni, consentono invece di stimare il valore medio delle variabili simulate (es. produzioni areiche, azoto lisciviato), e la loro variabilità (deviazione standard, minimo, massimo, ecc.) (Acutis et al., 2000). Per la stima delle statistiche dei risultati, sono stati esclusi i primi dieci anni (del cinquantennio simulato), un tempo considerato adeguato affinché il sistema modellistico possa raggiungere un equilibrio nei flussi della sostanza organica del suolo (Normalmente infatti nelle applicazioni modellistiche su lungo periodo è preferibile scartare i primi anni di simulazione perché il sistema necessita di entrare in equilibrio rispetto alla distribuzione della sostanza organica nel suolo).

Il modello di simulazione simula tutti i processi nel suolo che l'indicatore invece non considera. Di conseguenza, si può verificare la situazione, solo apparentemente paradossale ma in realtà perfettamente logica, che il modello simuli un aumento della lisciviazione anche se il bilancio di massa dell'azoto indica surplus in diminuzione: questo può accadere perché, cambiando la gestione agronomica, possono essere favoriti i processi di mineralizzazione rispetto a quelli di immobilizzazione e quindi l'azoto può essere più facilmente lisciviato. E' possibile anche l'effetto opposto, di un aumento del surplus di bilancio a cui il modello fa corrispondere una diminuzione della lisciviazione.

Modello di meccanizzazione

Il modello di meccanizzazione adottato deriva dalle esperienze maturate in altri ambiti di ricerca e già implementate in applicativi a diffusione commerciale (Mazzetto et al., 2005; Mazzetto et al., 2006; Bonera et al., 2007). Il modello prevede di operare con una contestualizzazione molto spinta degli ambienti di lavoro, superando in tal modo i limiti estimativi degli approcci classici che in genere si basano sulla stima di parametri specifici standard (consumi orari, in kg h^{-1} , indipendenti dal carico motore richiesto; capacità di lavoro, in ha h^{-1} , indipendenti dalle caratteristiche degli appezzamenti e dall'avvicinarsi dei turni di lavoro nel tempo). Questo approccio si articola nelle fasi che seguono.

1. Individuazione dell'accoppiamento trattore-attrezzo più probabile per l'operazione in questione, definita come "attività omologata"; la congruità e la fattibilità di ogni accoppiamento vengono preventivamente valutate – ed eventualmente corrette in base alle macchine reali effettivamente disponibili presso ogni azienda – prima di procedere con i calcoli definitivi. Il risultato di questa prima fase riguarda le prestazioni di detto accoppiamento in termini di bilancio dinamico del trattore (rendimento al gancio), indice medio di utilizzazione della potenza e consumo orario standard di combustibile (in kg h^{-1}). La condizione di lavoro standard fa riferimento ad un ipotetico appezzamento di 6 ha, di forma rettangolare, con tessitura di medio impasto, e distante 800 m dal centro aziendale.
2. Stima dei tempi di lavoro totali (TT) di ogni attività omologata svolta su ogni UPA definita col questionario aziendale (si noti che le attività omologate sono relative sia alla situazione attuale, osservata durante le interviste, sia a tutti gli scenari alternativi previsti per ogni azienda). A differenza del punto precedente, pertanto, questa stima non riguarda i contesti di lavoro standard, bensì è svolta direttamente sui contesti ambientali rilevati con le interviste. Il modello di meccanizzazione stima i tempi di lavoro totali attraverso una simulazione del lavoro svolto da ogni accoppiamento trattore-attrezzo, con un approccio compositivo del tipo: $TT = TE + TAV + TAS + TPL + TI + TR$, dove TE = tempi di lavoro effettivo delle macchine, in funzione della tipologia di macchina, come sotto specificato, TAV = tempi di svolta, TAS = tempi per il rifornimento di materiali per le macchine (concimi, sementi, fitofarmaci, etc.) o per lo scarico dei prodotti raccolti, TPL = tempi per la preparazione delle macchine su campo, TI = tempi per trasferimenti intra-aziendali, TR = perditempo generici, inclusi i tempi di ristoro. Pertanto, in definitiva, l'impianto metodologico qui adottato consente di analizzare il dettaglio dei tempi di lavoro spingendosi in ogni singola fase del lavoro stesso. In particolare, oltre al tempo totale TT, può risultare utile considerare i tempi di trasferimento TI, specie per quelle tipologie di attività che, articolandosi su serie di cicli di lavoro tra campi e centro aziendale (concimazioni, trasporti, etc.), possono risentire negativamente di combinazioni poco favorevoli tra organizzazione del lavoro e distribuzione spaziale dei vari appezzamenti (in merito, il rapporto TI/TT può essere un utile indicatore operativo).
3. Stima dei consumi di combustibile e di ogni altra forma di energia diretta (elettricità nel caso di impianti a punto fisso; lubrificanti, etc.) computati su ogni UPA reale definita dal questionario aziendale. Di fatto, ciò è svolto combinando opportunamente i risultati delle due precedenti fasi.

E' opportuno segnalare che per il calcolo dei consumi di combustibile si è cercato di tener conto anche del grado di vetustà delle motrici aziendali. Infatti, è noto che uno dei principali fattori condizionanti il consumo di un motore endotermico è rappresentato dal suo rendimento massimo, che a sua volta determina il relativo consumo specifico minimo. Tale parametro assume valori diversi a seconda: i) del tipo di motore (aspirato, turbo o intercooler), ii) della sua durata fisica accumulata (intorno alle 5000 ore è ragionevole ipotizzare cali di prestazione anche del 5-10%), iii) del carico motore.

Per quanto attiene, infine, la stima dei tempi di lavoro effettivo (TE) si sono suddivise le diverse tipologie di operatrici in sette classi funzionali a seconda delle modalità con cui le macchine stesse svolgono il lavoro principale (“effettivo”, per l’appunto) che le caratterizza. Ad ogni classe corrispondono algoritmi di calcolo diversi, in relazione al funzionamento degli utensili di lavoro principali e al comportamento cinematico delle macchine stesse sul territorio. Con riferimento alla simbologia proposta in Figura 1, tali classi funzionali sono descrivibili come segue:

- **Classe A** = operatrici la cui funzione è svolta da un fronte di lavoro destinato a processare integralmente o parzialmente una superficie sul territorio (singolo appezzamento o UPA). A seconda delle modalità con cui si determina tale fronte si individuano le seguenti sottoclassi:
 - **A1** = fronte determinato dalla larghezza di una “barra di lavoro” di varia natura (insieme di versoi, serie di lame rotanti di un erpice, barra di taglio con utensili rotanti o alternativi, etc.), di norma disposta perpendicolarmente alla direzione di avanzamento della macchina. Il lavoro procede attraverso l’esecuzione di passate adiacenti parallele, fintanto che tutta la superficie non risulta trattata. Si tratta della tipologia più diffusa tra le operatrici, comprendendo macchine quali aratri, erpici, seminatrici, falciatrici, macchine per le cure colturali, la fienagione e la raccolta;
 - **A2** = fronte di lavoro indipendente dalla taglia dell’operatrice essendo fondamentalmente determinato dal contesto ambientale in cui il lavoro deve essere svolto (es. atomizzatore in vigneto in lavoro su filari alterni);
 - **A3** = fronte ancora sostanzialmente indipendente dalla larghezza di una barra di lavoro, benché condizionato sia dalla massima capacità di processare flussi di prodotto (in t/h) sia dal contesto ambientale in cui la macchina opera (principalmente in termini di resa di prodotti, in t ha⁻¹). Rientrano in tale classe alcune importanti tipologie di attrezzature coinvolte in operazioni di raccolta (es. raccogliballatrici). In definitiva, per queste macchine quanto più alta è la resa colturale, tanto più bassa è la capacità di lavoro;
- **Classe B** = macchine i cui utensili sono adibiti al trattamento di elementi finiti, con esecuzione del lavoro effettivo per lo più ad operatrice ferma (es. fasciatrici o cavaceppi);
- **Classe C** = macchine i cui utensili sono destinati ad eseguire il lavoro lungo percorsi a sviluppo monodimensionale, di norma non riconducibili a superfici. Riguardano macchine quali gli scavafossi o le falciatrici da ripa;
- **Classe D** = macchine adibite ad attività di puro trasporto (carri rimorchio);
- **Classe X** = macchine limitate ad attività da postazione fissa (esempio: pompe per l’azionamento di impianti di irrigazione, ad azionamento sia autonomo, sia tramite p.d.p.) o relativi ad impianti fissi aziendali (essiccatoi).

Come accennato, il computo delle prestazioni di ogni macchina aziendale è subordinato alla definizione di un insieme più o meno esteso di specifiche di lavoro, valide per ogni occorrenza in esame. Tali specifiche possono riguardare: le profondità di lavoro, le dosi massiche o volumiche dei possibili fattori distribuibili (in kg ha⁻¹ o m³ ha⁻¹), le quantità di prodotti da raccogliere, confezionare o trasportare (in kg ss ha⁻¹), il possibile numero di elementi da processare per unità di superficie.

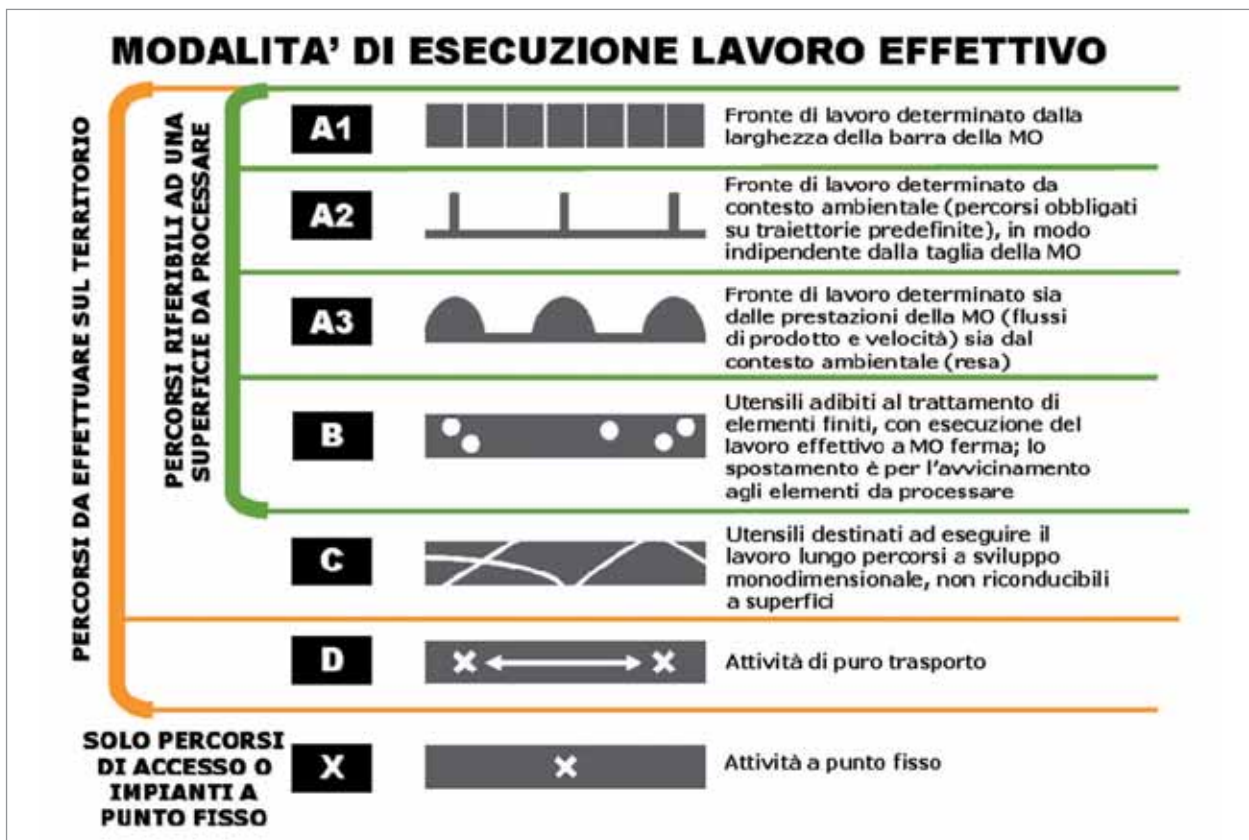


Figura 2 – Classificazione delle operatrici in base alle loro modalità di svolgimento del lavoro effettivo.

Indicatori energetici

Per valutare l'uso dell'energia, è stato considerato solo l'impiego di fonti energetiche non rinnovabili, usando coefficienti che convertono i flussi di massa in flussi di energia. Questi coefficienti esprimono il fatto che le risorse e i fattori impiegati nel processo di produzione agricola sono ottenuti utilizzando energia fossile (in fase di produzione, confezionamento e trasporto). Tali input energetici sono classificati in diretti e indiretti. I primi sono costituiti da combustibili (gasolio) e lubrificanti, i secondi dagli altri fattori produttivi (fertilizzanti, reflui zootecnici, fitofarmaci e sementi). Gli input energetici sono stati calcolati moltiplicando i consumi di combustibili e lubrificanti (stimati con il modello di meccanizzazione) e degli altri fattori produttivi per i rispettivi equivalenti energetici. Questi sono stati reperiti attraverso un'accurata analisi della recente letteratura scientifica sull'argomento. Per quanto riguarda i reflui zootecnici, il loro coefficiente energetico è stato stimato moltiplicando quello dell'azoto di sintesi per un'efficienza apparente media, differenziata per letami e liquami. I costi energetici di tutte le operazioni sono stati infine sommati per calcolare il costo energetico di ogni itinerario tecnico.

Anche a ognuno dei prodotti ottenuti dal processo di produzione vegetale (granelle, fieni, insilati, ecc.) è stato assegnato un coefficiente energetico derivato dalla bibliografia. Questo è stato moltiplicato per la quantità di prodotto raccolta per ottenerne il contenuto energetico ("output energetico").

I risultati dell'analisi energetica sono presentati separatamente per input e output, come differenza (output – input) e come rapporto (output/input = efficienza energetica).

Indicatori economici

All'analisi tecnica dei processi produttivi è stata affiancata l'analisi economica per la verifica degli effetti reddituali degli scenari ipotizzati (Castoldi, 2008). E' doverosa premessa precisare che la valutazione dell'efficienza gestionale ha come unità produttiva di riferimento l'azienda nella sua unitarietà e quindi a tale livello andranno ricondotte le considerazioni attinenti ogni itinerario tecnico di ciascuna UPA.

In questa ricerca la necessità di elaborare itinerari tecnici alternativi per migliorare la gestione dell'azoto ha portato a eleggere l'UPA, così come definita in precedenza, l'unità sulla quale impostare il bilancio dell'azoto e il bilancio energetico. Di conseguenza anche l'analisi degli effetti reddituali è stata affrontata a scala di UPA, con la conseguente necessità di procedere su due livelli tra loro interconnessi. Il primo consiste nell'elaborazione del bilancio economico a livello di UPA, il secondo permette di ricondurre i bilanci delle UPA all'intera azienda includendo gli eventuali processi di trasformazione zootecnica.

Questo duplice obiettivo ha in qualche misura suggerito l'approccio metodologico da seguire: questo è riconducibile alla stima del margine di contribuzione, definito come la differenza tra il valore della produzione e i costi diretti. Questi ultimi comprendono i costi variabili diretti e i costi fissi specifici.

Il calcolo del margine di contribuzione per ciascuna UPA e per ciascun itinerario tecnico si basa sulla ripartizione del processo produttivo in operazioni colturali così come descritto nel modello di meccanizzazione. Per ciascuna operazione colturale viene calcolato il costo che comprende: le materie prime, la manodopera, il cantiere di lavoro. Il costo di quest'ultimo comprende costi variabili e costi fissi. I primi derivano direttamente dalle specifiche delle operazioni svolte (durata, carico motore, distanza dal centro aziendale, ecc.) e comprendenti i materiali di consumo (carburante e lubrificante). I secondi contemplanano una quota parte dei costi annui di ammortamento, di manutenzione e di interessi sul capitale immobilizzato. Sempre per quanto riguarda il bilancio a livello di UPA occorre precisare che il valore della produzione, trattandosi spesso di foraggi reimpiegati, è stato stimato sulla base del prezzo di mercato che per queste categorie merceologiche presenta alcuni elementi critici, di cui i principali sono un mercato spesso poco attivo e una forte stagionalità.

Diverso è il discorso relativo alla verifica degli effetti sul margine di contribuzione complessivo aziendale, per valutare il quale si renderebbero necessarie le seguenti operazioni: a) verifica del fabbisogno alimentare complessivo prodotto negli scenari alternativi e, in caso di deficit o surplus foraggero, iscrizione a bilancio dei relativi acquisti o delle relative vendite; b) calcolo del valore della produzione in base ai prodotti destinati alla vendita e non in base ai prodotti delle UPA. Tuttavia, poiché il presente lavoro è stato condotto a scala di UPA, questi aspetti non sono stati valutati. Inoltre, a livello aziendale l'ammortamento del parco macchine non richiede la ripartizione tra le singole operazioni, e può essere quindi calcolato in modo aggregato.

Indicatori di gestione delle malerbe e dei diserbanti

La rotazione colturale definita per ciascuna UPA nelle diverse aziende nei vari scenari considerati è stata sottoposta ad una valutazione finalizzata a fornire un giudizio sintetico relativo agli effetti potenziali sulla dinamica delle piante infestanti. Tale valutazione è stata effettuata su base empirica, non essendo disponibili modelli consolidati finalizzati a questo scopo. Nella formulazione del giudizio sono stati considerati vari fattori, fra cui l'alternanza, nella rotazione, di colture monocotiledoni e dicotiledoni, di colture autunno-vernine e primaverili-estive, e la presenza di monosuccessione anche per brevi periodi. In relazione alle colture in rotazione e ai possibili effetti di medio-lungo periodo sulle piante infestanti, sono state definite cinque classi di giudizio, ordinate dalla situazione più sfavorevole alla più favorevole: 1) elevata probabilità di sviluppo di infestanti non controllate dagli interventi di diserbo, in particolare di specie perennanti (es. *Sorghum halepense*), o annuali "difficili" (es. *Abutilon theophrasti*); 2) possibile sviluppo di infestanti non contenute dagli interventi di diserbo perché le colture sono affini o presentano ciclo vegetativo

in simile periodo dell'anno (es. successione di colture autunno-vernine o estive); 3) buona rotazione tra colture primaverili-estive ed autunno-vernine; 4) buona alternanza di colture primaverili-estive ed autunno-vernine, tra graminacee e dicotiledoni; non ripetuta presenza negli anni di colture con lo stesso ciclo; 5) forte incidenza del prato o di colture sfalciate; buona alternanza di colture primaverili-estive ed autunno-vernine, sia graminacee che dicotiledoni (Reus et al., 2002).

A causa della notevole diffusione del ricorso a trattamenti di pre-emergenza nella gestione delle infestanti delle colture primaverili-estive, si è voluto inoltre produrre una stima della frequenza con cui il trattamento di diserbo eseguito in tale epoca può risultare sufficientemente efficace. A questo scopo si è considerato che i diserbanti applicati in pre-emergenza richiedono, per poter esplicare al meglio la loro azione sui semi in germinazione, di distribuirsi nello strato più superficiale di terreno (spesso alcuni millimetri). Questo fenomeno, definito genericamente con il termine "attivazione", può verificarsi grazie all'elevato contenuto idrico del suolo al momento del trattamento oppure, più frequentemente, grazie a piogge successive al trattamento stesso. Per stimare la frequenza con cui si verificano le condizioni sufficienti affinché si realizzi una buona attivazione, sono stati considerati, per ogni itinerario tecnico, i valori giornalieri di precipitazione di un cinquantennio. Da questi dati è stata calcolata, per ogni settimana in cui sono eseguiti la semina ed il diserbo di pre-emergenza, la probabilità che nei 20 giorni successivi cadano complessivamente almeno 10 mm di pioggia, una quantità ritenuta sufficiente per l'attivazione. Tale probabilità costituisce un indicatore di adeguatezza del diserbo di pre-emergenza.

2.8 Definizione di scenari alternativi

Gli scenari alternativi di gestione aziendale sono stati definiti con due approcci. In generale, il primo scenario è stato definito per tutte le aziende e gli areali migliorando le dosi e le epoche di utilizzo dei fertilizzanti minerali e dei reflui zootecnici disponibili in azienda. Per alcune realtà, infatti, come si può osservare nelle schede successive, si è riscontrato che l'utilizzo dell'azoto non rispondeva sempre ai criteri di buona pratica agronomica. In questi casi, quindi, si è agito essenzialmente: i) riducendo le dosi di azoto minerale usato in copertura su mais nelle aziende zootecniche, quando questo risultava in eccesso; ii) privilegiando le applicazioni primaverili di liquami rispetto a quelle autunnali; iii) assicurando comunque il reimpiego di tutti i reflui zootecnici prodotti in azienda; iv) redistribuendo le dosi di azoto da reflui zootecnici fra le diverse colture in linea con le necessità colturali. Nel far questo si è cercato anche di distribuire i reflui sull'eventuale superficie destinata al prato di erba medica che generalmente, ad eccezione dell'anno di impianto, non riceve mai reflui zootecnici e che, invece, in aziende ad alto carico zootecnico può ricevere liquami.

Il secondo scenario, invece, è stato definito modificando il riparto colturale e gli avvicendamenti praticati in azienda, con l'obiettivo di introdurre nuove colture adeguate alla riduzione delle perdite di azoto. In particolare, sono stati valutati questi interventi: i) aumento della superficie coltivata con colture a ciclo autunno-vernino, poiché è in tale periodo che sono più facili gli episodi di lisciviazione, grazie al bilancio idrico che favorisce le perdite per percolazione profonda; ii) introduzione dell'erba medica per assicurare una maggiore asportazione di azoto (elevata anche se la coltura è concimata e l'azotofissazione inibita di conseguenza); iii) introduzione di colture a destinazione bioenergetica, dato l'interesse in termini economici. Non sempre questi interventi sono stati effettivamente simulati, perché in alcuni casi le condizioni locali non consentivano la praticabilità di una delle possibilità (es. la coltivazione dell'erba medica è stata esclusa in terreni subacidi).

In tutti i casi, si è prestata attenzione a definire scenari in cui, per le aziende con allevamento, non fossero introdotte variazioni né nella consistenza della stalla né nella spesa necessaria all'acquisto di alimenti dall'esterno. In questo modo ci si è potuti concentrare sull'ottimizzazione del sistema colturale, lasciando inalterata la gestione del sistema di allevamento. Più in generale, gli scenari alternativi sono stati definiti puntando a lasciare inalterato l'ordinamento produttivo dell'azienda.

2.9 Presentazione dei risultati

Tutti i procedimenti di calcolo hanno fornito risultati al livello di itinerario tecnico. Questa è, infatti, l'unità logica alla quale possono fare riferimento tutti gli strumenti utilizzati: bilancio colturale dell'azoto, bilanci energetici, giudizio agronomico sulla gestione delle infestanti, indicatori eco-tossicologici relativi all'uso dei diserbanti, costi e ricavi. Successivamente i risultati sono stati aggregati per UPA. Ciò è stato ottenuto sommando gli indicatori relativi alle colture presenti (una o due, nel caso di doppia coltura). Infine, calcolando una media pesata in base alla superficie dell'UPA, gli indicatori sono stati aggregati a livello di scenario aziendale. Per brevità, questa è la forma prescelta per la presentazione sintetica in queste schede, anche se, per chiarezza, nel testo alcuni risultati sono forniti anche a scala di itinerario tecnico o di UPA, quando necessario.

I risultati del modello sono invece presentati con grafici che riportano la probabilità di superamento di una certa lisciviazione dell'azoto. Questo è consentito dal fatto che si dispone di risultati di simulazione relativi ad un poliennio.

2.10 Discussione

L'insieme delle metodologie proposte è parso idoneo ad identificare a diverse scale sia il potenziale di rischiosi rilasci di azoto da parte degli agroecosistemi più rappresentativi in diverse tipologie pedoclimatiche e gestionali della pianura lombarda, sia i possibili miglioramenti degli stessi in termini di sostenibilità, anche economica, e di ecocompatibilità. E' tuttavia necessario evidenziarne alcuni possibili limiti, in particolare relativi alla qualità dei dati: risulta infatti caratterizzata da ampia incertezza la composizione delle razioni, l'entità delle produzioni foraggere (talvolta, quelle dichiarate sono risultate inconsistenti rispetto alle razioni), i volumi di adacquamento, e il dimensionamento delle macchine operatrici e delle trattrici. Va ancora considerato che, oltre alla difficoltà di valutazione a scala aziendale, questi dati sono anche soggetti ad ampia variabilità tra azienda e azienda. Un dettaglio relativo alle incertezze riguarda il bilancio dell'azoto a scala colturale; si ritiene infatti che la valutazione della quota di azotofissazione possa non essere stata sempre corretta. In particolare, per i prati in cui il bilancio è risultato negativo (deficit), una conoscenza più approfondita della composizione percentuale delle specie prative (leguminose e graminacee) avrebbe permesso di definire un'eventuale quota di azotofissazione che, una volta contabilizzata, avrebbe forse portato ad un risultato di bilancio più coerente e realistico (prossimo a zero o positivo).

Occorre ancora considerare la differenza tra le attività pianificate e le attività reali. Nel lavoro svolto, si è adottato un comportamento medio che corrisponde a quello pianificato, ma nella realtà aziendale si rendono necessari, in funzione di eventi e di necessità specifiche, adattamenti puntuali, che possono non essere compensati considerando solo il comportamento medio.

Per quanto concerne la gestione dei dati all'interno del gruppo di lavoro, un aspetto da non sottovalutare è rappresentato dalle differenti scale adottate per le elaborazioni basate sugli indicatori e sul modello di meccanizzazione rispetto a quelle basate sul modello di simulazione agronomico. La difficoltà è quella di descrivere adeguatamente il riparto colturale medio a scala di itinerario tecnico ("fotografia aziendale") in funzione di una rotazione media nel tempo per ciascuna UPA.

L'approccio adottato appare tuttavia caratterizzato da maggior completezza di altri metodi precedentemente utilizzati, riuscendo a fornire una valutazione integrata di sostenibilità a livello aziendale e territoriale, affrontando non solo l'aspetto delle fertilizzazioni, ma la gestione dell'intero "sistema azienda agricola" anche in termini di bilancio energetico, ecologico ed economico, oltre che agronomico.

2.11 Conclusioni

L'analisi effettuata con indicatori economici, agronomici ed agro-ecologici e modelli di simulazione di alcuni sistemi colturali tipici di diversi areali lombardi, e di possibili alternative ad essi, ha consentito di identificare l'esistenza di un'ampia variabilità nell'ambito regionale.

Le aziende monitorate erano ad indirizzo cerealicolo o zootecnico (con carichi animali per unità di superficie variabili tra 1,0 e più di 3,1 t ha⁻¹). La collocazione geografica era estremamente diversa, perché sono state incluse aziende situate in aree con precipitazioni alte ed evapotraspirazione relativamente scarsa (come l'alta pianura in provincia di Milano e Como) ma anche aree con scarse precipitazioni ed elevata evapotraspirazione (come la bassa pianura mantovana). Similmente, anche i suoli presentavano elevata variabilità, in termini di origine, tessitura, profondità, caratteristiche chimiche e permeabilità.

La gestione dell'azoto è risultata molto diversa, sia tra le aziende che all'interno della stessa azienda. A livello medio aziendale sono stati osservati valori di bilancio (surplus se positivi, deficit se negativi) variabili tra -38 (per un'azienda cerealicola) e 365 kg N ha⁻¹ (per un'azienda cerealicola che fa uso di digestato). In generale, si sono riscontrati valori relativamente medi o elevati nelle aziende zootecniche (40, 157 e 161 kg N ha⁻¹), con l'eccezione di quella collocata nella bassa pianura lodigiana (-38 kg N ha⁻¹). A livello di UPA colpisce l'estrema variabilità dell'intervallo di variazione all'interno di una stessa azienda: i minimi oscillano tra -20 e -132 kg N ha⁻¹, i massimi tra 18 e 281.

Questa variabilità è lo specchio di agrotecniche estremamente differenziate. In generale, la coltura con più alti input è il mais. Questo è vero sia in termini di nutrienti sia in termini economici ed energetici. I cereali autunno-vernini e le colture foraggere si caratterizzano per avere input relativamente più contenuti. Molti degli avvicendamenti adottati sono relativamente semplici e presentano un rischio di sviluppo di infestanti non controllate dagli interventi di diserbo. Questo può accadere quando non vi è la necessaria alternanza tra colture con diversa stagione di sviluppo e diversa durata (es. annuali *vs.* prati).

Con la messa a punto degli itinerari tecnici alternativi si è evidenziato come in quasi tutti i casi vi siano ampie possibilità di miglioramento della sostenibilità ambientale dell'attività agricola, senza compromettere la produttività economica o incrementare il fabbisogno di lavoro ed energia. La soluzione più frequentemente suggerita e più facilmente praticabile è la riduzione dell'uso di concimi minerali per il mais. Si è infatti riscontrato spesso (con poche eccezioni) che il mais è la coltura che presenta i surplus di azoto più elevati e che sia i bilanci sia la simulazione con il modello agronomico mostrano consistenti riduzioni del rischio a seguito di un'adeguata riduzione della concimazione. In altri casi, invece, si è reso necessario ripartire diversamente i reflui, poiché la distribuzione adottata dall'agricoltore era eccessivamente concentrata su alcune colture, fino a giungere, in qualche caso sporadico, all'apparente controsenso agronomico di distribuire liquami sul prato di medica, per la sua grande efficienza nel prelevare azoto (Cecotto e Spallacci, 2006). In poche situazioni, infine, sono state incrementate le concimazioni per alcuni sistemi colturali che presentavano bilanci negativi o prossimi allo zero, e che presentavano quindi un rischio di depauperamento del suolo. Questi interventi hanno consentito di ottenere consistenti miglioramenti anche nel bilancio energetico (con una riduzione degli input) e in quello economico.

Sono state valutate anche alternative maggiormente articolate, nelle quali è stato variato l'avvicendamento, in generale cercando di ottenere una maggiore copertura del suolo nel periodo autunno-invernale, ma anche con la finalità di introdurre nuove colture con diverse potenzialità e possibilità di nuovo reddito (colza e girasole per biodiesel, mais per bioetanolo). Solo in pochi casi, tuttavia, i maggiori costi economici sono stati compensati da un aumento almeno altrettanto consistente dei ricavi.

E' risultato chiaro che le indicazioni ottenute e gli itinerari alternativi proposti, pur avendo validità generale per i diversi areali di riferimento, andranno poi tradotti in termini operativi, a cura di tecnici, nelle specifiche realtà aziendali, che sono state forzatamente qui semplificate al fine di ottenere analisi valide per ambiti territoriali.

Bibliografia

- Acutis M., Ducco G., Grignani C., 2000. Stochastic use of the LEACHN model to forecast nitrate leaching in different maize cropping system. *European Journal of Agronomy*, vol. 13, 191-206.
- Bassanino, M., Grignani, C., Sacco, D., Allisiardi, E., 2007. Nitrogen balances at the crop and farm-gate scale in livestock farms in Italy. *Agric. Ecosyst. Environ.* 122, 282–294.
- Bechini, L., Castoldi, N., 2006. Calculating the soil surface nitrogen balance at regional scale: example application and critical evaluation of tools and data. *Ital. J. Agron.* 4, 665–676.
- Bonera R., Lazzari M., Mazzetto F., 2005. *MaccAgri.Soft* : Database di macchine agricole e software per il calcolo dei costi di esercizio. Torino, Reda Edizioni.
- Castoldi, N., 2008. Environmental and Economic Assessment of Agricultural Systems at Crop, Field, Farm, and Regional Scale. Application of Agro-Ecological and Economic Indicators in Northern Italy. PhD Thesis. Univ. of Milano, Italy.
- Castoldi, N., Bechini, L., 2006. Agro-ecological indicators of field-farming systems sustainability. I. Energy, landscape and soil management. *Riv. Ital. Agrometeorol. / Ital. J. Agrometeorol.* 1, 19–31.
- Ceotto E. Spallacci P., 2006. Pig slurry applications to alfalfa: Productivity, solar radiation utilization, N and P removal. *Field Crop Research* 95: 135-155.
- Grignani C., Bassanino M., Sacco D., Zavattaro L., 2003. Il bilancio degli elementi nutritivi del piano di concimazione. *Riv. Agron.* 37:155-172.
- Mazzetto F., Bonera R., Sacco P., 2005. Concettualizzazione dell'azienda agraria per analisi integrate della meccanizzazione. In: *L'ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea*, Blandini G., Manetto G., GeoGrafica, VIII Conv.Naz. AIIA, Catania, 27-30 giugno 2005.
- Mazzetto F., Bonera R., Sacco P., 2006. La configurazione aziendale. In: *Modelli per sistemi produttivi in agricoltura - Progetto Finalizzato SIPEAA, Strumenti Informatici per la Valutazione Eco-compatibile delle Aziende Agrarie*. La Goliardica Pavese, Pavia, pp. 264-289.
- Öborn I., Edwards A.C., Witter E., Oenema O., Ivarsson I., Withers P.J.A., Nilsson S.I., Richert Stinzing A. 2003. Element balances as a tool for sustainable nutrient management: a critical appraisal of their merits and limitations within an agronomic and environmental context. *European Journal of Agronomy*, 20:211-225.
- Oenema O., Kros H., de Vries W., 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *Europ. J. Agronomy* 20 3-16.
- Pervanchon F., Bockstaller C., Amiaud B., Peigné J., Bernard P.-Y., Vertès F., Fiorelli J.-L., Plantureux S. 2005. A novel indicator of environmental risk due to nitrogen management on grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105:1-16.
- Reus J., Leendertse P., Bockstaller C., Fomsgaard I., Gutsche V., Lewis K., Nilsson C., Pussemier L., Trevisan M., van der Werf H., Alfarroba F., Blümel S., Isart J., McGrath D., Seppälä T. 2002. Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 90:177-187.
- Salo T., Turtola E. 2006. Nitrogen balance as an indicator of nitrogen leaching in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113:98-107.
- Sieling K., Kage H. 2006. N balance as an indicator of N leaching in an oilseed rape - winter wheat - winter barley rotation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115:261-269.
- Simon J.-C., Grignani C., Jacquet A., Le Corre L., Pagés J., 2000. Typologie des bilans d'azote de divers types d'exploitation agricole: recherche d'indicateurs de fonctionnement. *Agronomie* 20 175–195.
- SPSS Inc. (2001). The SPSS TwoStep cluster component. A scalable component to segment your customers more effectively. White paper – technical report, Chicago. <ftp://ftp.spss.com/pub/web/wp/TSCWP-0101.pdf>.
- van Beek, C.L., Brouwer, L., Oenema, O., 2003. The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface waters. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 67, 233–244.
- Van der Werf, H.M.G., Tzilivakis, J., Lewis, K., Basset-Mens, C., 2007. Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118, 327–338.

Tabella 3. Sintesi dei risultati del monitoraggio effettuato in GAZOSA

Cluster	Areale	Tipologia aziendale	Clima (P/ET0)	Suoli	Altre note aziendali	Bilancio superficiale dell'azoto (kg N ha ⁻¹)		Energia	Infestanti	Economia
						Media a scala aziendale	Intervallo di variazione a scala di appezzamento			
6	Alta Pianura Nord Milano	Zootecnica a medio carico. Prati (60%), Mais da trinciato (40%).	1.1	Suoli profondi ben dotati in sostanza organica, acidi e ben drenati	Frammentazione fondiaria; non irrigua	40	da -81 a 255	Input e output non particolarmente elevati	Monosuccessione di mais a rischio; prati OK; elevata efficacia del diserbo in pre-emergenza	Costi elevati; valore della produzione scarso
5	Bassa Pianura Cremasco	Cerealicola	0.7	Bassa pianura sabbiosa. Suoli fertili, sufficientemente dotati in sostanza organica, alcalini e profondi	Irrigua; presenza di un vicino impianto di digestione anaerobica	365	(gestione uniforme)	Input e output molto elevati	Elevato rischio (monosuccessione di mais); elevata efficacia del diserbo in pre-emergenza	Costi elevati, ma alto valore della produzione
1	Alta Pianura Bergamasca Bresciana	Zootecnica ad alto carico. Mais (30%). Orzo+Panico (51%). Medica (12%)	0.9	Alta pianura ghiaiosa. Suoli profondi, sciolti e permeabili	In parte irrigua e in parte no	161	da -65 a 281	Input e output molto elevati	Buona alternanza tra estive ed autunno vernine; possibile sviluppo infestanti nel periodo estivo se il panico non forma una buona copertura già dalle prime fasi elevate efficacia del diserbo in pre-emergenza	Basso margine di contribuzione a scala aziendale (positivo su mais, negativo su orzo e panico)

Cluster	Areale	Tipologia aziendale	Clima (P/ET0)	Suoli	Altre note aziendali	Bilancio superficiale dell'azoto (kg N ha ⁻¹)		Energia	Infestanti	Economia
						Media a scala aziendale	Intervallo di variazione a scala di appezzamento			
3	Media Pianura Lodigiano	Cerealicola	0.8	Bassa pianura sabbiosa. Suoli profondi, ben drenati, con tessitura moderatamente grossolana, falda assente o profonda	Adozione di pratiche conservative (minime lavorazioni e non lavorazioni). Uso di fanghi di depurazione	72	da -52 a 263	Input e output non particolarmente elevati	Alternanza fra colture graminacee estive e autunno-vernine con buona prevalenza delle estive. Buona probabilità di sviluppo di infestanti estive non controllate dagli interventi di diserbo	Elevato margine netto di contribuzione
3	Media Pianura Lodigiano	Zootecnica a medio carico. Mais (70%), frumento (10%)	0.8	Bassa pianura sabbiosa. Suoli profondi, ben drenati, con tessitura moderatamente grossolana, falda assente o profonda	Adozione di pratiche conservative (minime lavorazioni e non lavorazioni). La stabulazione in stalla favorisce la produzione di letame	-38	da -132 a 18	Input e output molto elevati	Alternanza fra colture graminacee estive e autunno-vernine con buona prevalenza delle estive. Buona probabilità di sviluppo di infestanti estive non controllate dagli interventi di diserbo	Costi elevati, ma alto valore della produzione
2	Bassa Pianura Mantovano	Zootecnica a medio carico. Mais (40%), erba medica (40%)	0.9	Bassa pianura sabbiosa. Suoli fertili, profondi, ben drenati o con segni di idromorfia di lieve entità. Crepacciature e macroporosità possono influire sul trasporto dei nutrienti verso le acque sotterranee	Utilizza i reflui di un vicino allevamento suinicolo. Irrigazione per aspersione	157	da -20 a 232	Input elevatissimi. Output intermedi	Buona alternanza tra colture monocotiledoni e dicotiledoni. Possibile sviluppo infestanti estive nel quadriennio senza erba medica	Costi e ricavi elevati, buon margine di contribuzione

ALLEGATO - Itinerari Tecnici

Tipologia 1 - "Media Pianura / Lodigiano" Indirizzo Zootecnico

Descrizione dell'areale e dell'azienda-tipo

Si considera una tipologia aziendale con indirizzo produttivo zootecnico (bovine da latte). L'azienda-tipo ha una superficie di circa 170 ha concentrati attorno all'azienda e una stalla di 160 bovine in lattazione di razza Frisona italiana (distinte in due gruppi di produzione). Il carico zootecnico è di circa 1 t di peso vivo (corrispondente a 0,6 UBA – Unità equivalenti di Bovino Adulto) per ettaro; la produzione giornaliera di latte è di circa 30 L per capo munto. Il carico di azoto da reflui zootecnici prodotti in azienda è di circa 140 kg ha⁻¹. La base alimentare delle bovine è costituita dall'insilato di mais (coltivato sul 43% circa della superficie aziendale), da mais per ottenere farina di (mais da granella coltivato sul 30% circa della superficie aziendale) e da un concentrato ad alto contenuto proteico acquistato dall'esterno. Una piccola superficie (circa 13%) è destinata a frumento seminato su sodo. Per il mais è adottata la minima lavorazione. Il mais è fertilizzato con letame e con la parte chiarificata del liquame in uscita dal separatore solido/liquido. La parte palabile è invece distribuita sui prati dell'azienda, che occupano il 10% della superficie. Il mais e i prati sono irrigati a scorrimento e si raggiungono rese adeguate: 70 t tal quale trinciato ha⁻¹, circa 11 t granella di mais ha⁻¹ e circa 10 t di fieno ha⁻¹. Per il frumento si registrano rese di 6,5 t granella ha⁻¹.

Inquadramento ambientale

L'ambiente di riferimento è tipico delle porzioni della bassa pianura sabbiosa. La generalizzata stabilità di questi ambienti ha consentito un prolungato e continuo processo di formazione ed evoluzione dei suoli (pedogenesi). I sedimenti che costituiscono la bassa pianura sono sabbiosi limosi; i suoli sono generalmente profondi, ben drenati, equilibrati nelle proprietà chimico-fisiche: hanno tessitura moderatamente grossolana (franco sabbiosa), falda assente o profonda, reazione da sub-acida a sub-alcalina. Sono suoli poco protettivi per le acque sotterranee (a causa di granulometria e permeabilità) e nella normale gestione agricola non richiedono particolari accorgimenti, anche se si raccomanda attenzione nell'uso di reflui e liquami e in generale nell'uso di fertilizzanti e fitofarmaci.

Il clima si caratterizza per precipitazioni moderate (750-900 mm annui) e temperatura media annuale di 13,5°C. I carichi zootecnici sono mediamente bassi, ma localmente, laddove si è sviluppata la zootecnia, sono invece medio-elevati.

Gestione attuale

In azienda sono adottate tecniche conservative che riducono o eliminano le lavorazioni profonde. Per il mais, la preparazione del letto di semina è effettuata mediante erpicatura, che segue la distribuzione del letame. Alla semina, che si effettua tra metà marzo e aprile, è localizzata, una dose molto contenuta di azoto mediante fosfato biammonico. La concimazione minerale in un'UPA prevede anche interventi in prese-



mina per la correzione della reazione e la somministrazione di fosforo. Per il mais sono previsti tre interventi di irrigazione per scorrimento. Il frumento, seminato su sodo tra ottobre e novembre dopo mais, è concimato con nitrato ammonico in un primo intervento di copertura e con urea in un secondo intervento. Per il prato la concimazione minerale prevede due interventi, uno in autunno e uno dopo il secondo taglio, rispettivamente con urea e nitrato ammonico. In autunno è distribuita anche la parte palabile in uscita dal separatore solido/liquido. Sono effettuati cinque sfalci tra maggio e ottobre, di cui i primi tre sono affienati e gli ultimi due fasciati.

Il carico zootecnico estremamente contenuto e l'uso oculato dei concimi minerali fanno sì che il calcolo del bilancio superficiale medio aziendale indichi una situazione di deficit (-38 kg N ha^{-1} ; Tabella 1), per tutte le colture tranne che per il frumento (18 kg N ha^{-1}). Colpisce in particolar modo il deficit calcolato per i prati ($-132 \text{ kg N ha}^{-1}$), che, oltre a mettere l'accento sulle concimazioni (potenzialmente scarse), fa anche ipotizzare una sovrastima degli asporti e/o una sottostima dell'azotofissazione. Una conferma del quadro delineato dal bilancio si ottiene dall'applicazione modellistica a un'UPA in rotazione di mais e frumento (Figura 1), che mostra una probabilità del 90% di avere lisciviazione estremamente contenuta (sotto i 30 kg N ha^{-1} circa).

Rispetto a quelli riscontrati in questo studio, gli input energetici sono intermedi (26 GJ ha^{-1}), e variano tra i 15 GJ ha^{-1} del frumento e i $26\text{--}33 \text{ GJ ha}^{-1}$ del mais. L'indicatore di gestione delle infestanti (media aziendale: 2,3) assume un valore relativamente basso (2,0) su un'ampia superficie, ad indicare la buona probabilità di sviluppo di infestanti estive non controllate dagli interventi di diserbo, in particolare di perennanti, o annuali difficili. Sull'UPA più piccola si rileva invece il punteggio massimo (5,0), grazie alla forte presenza del prato in rotazione che può limitare le popolazioni di infestanti estive eventualmente sviluppate nei due anni a mais. Il margine di contribuzione è soddisfacente per i cereali ($1229\text{--}1802 \text{ € ha}^{-1}$), mentre è scarso per i prati (328 € ha^{-1}), che scontano produzioni areiche non elevate ($10,5 \text{ t s ha}^{-1}$) e prezzi piuttosto contenuti (110 € t^{-1} tal quale per il fieno e 40 € t^{-1} tal quale per il fieno-silo).

Itinerari proposti

La gestione delle fertilizzazioni nell'azienda qui analizzata appare buona, con un utilizzo contenuto e adeguato dei concimi minerali. A tal proposito l'itinerario alternativo proposto in queste schede non riguarda la pratica della concimazione, ma interessa solo modifiche del riparto colturale e degli avvicendamenti. La scelta delle colture e della loro rotazione considera l'obiettivo di avere comunque una buona copertura del suolo anche in inverno.

Alternativa 1: modifica del riparto colturale e degli avvicendamenti

Lo scenario alternativo di gestione è stato progettato effettuando modifiche dell'uso del suolo su alcune UPA. Il criterio seguito è stato quello di assicurare una maggiore copertura del suolo con l'inserimento parziale di erba medica a sostituzione del mais da granella e sostituendo il mais da insilato con la doppia coltura (mais da trinciato in secondo raccolto, seguito da erbaio di loiessa oppure da triticale raccolto alla maturazione cerosa). In particolare, l'inserimento del prato di medica ha anche l'obiettivo di ridurre l'acquisto di concentrato proteico dall'esterno. Queste modifiche hanno interessato il 65% della superficie aziendale, ma senza influenzare la base alimentare delle bovine che rimane tale da garantire il raggiungimento dell'obiettivo produttivo. Per il triticale, la preparazione del letto di semina è effettuata mediante erpicatura. Prima dell'erpicazione è distribuito letame, mentre la concimazione inorganica prevede un intervento in copertura con urea. Per la loiessa è prevista una distribuzione di letame in pre-semina seguita da un'erpicazione. Per la medica la preparazione del letto di semina è effettuata con un'erpicazione. Sono previsti mediamente cinque sfalci.

I risultati (Tabella 1) indicano che la gestione alternativa non ha portato modifiche di rilievo agli indicatori di gestione dell'azoto: non cambiano sostanzialmente né l'uso di fertilizzanti di sintesi né il deficit complessivo. Addirittura, la simulazione modellistica (Figura 1) indica un aumento degli eventi fortemente liscivianti, anche se per la maggior parte del periodo simulato le due alternative si equivalgono. Sia gli input sia gli output di energia salgono leggermente, grazie alla presenza diffusa della doppia coltura, e, poiché gli output aumentano più che proporzionalmente rispetto agli input, aumenta anche l'efficienza energetica. Grazie alla rotazione più diversificata (che prevede una buona alternanza tra colture monocotiledoni e dicotiledoni) e alla presenza del prato di erba medica, aumenta considerevolmente anche l'indicatore di gestione della flora infestante, che passa da 2,3 a 4,1 (Tabella 1). I costi aumentano, mentre i redditi restano pressoché invariati, causando una diminuzione del margine di contribuzione.

Tabella 1. Confronto degli indicatori ambientali ed economici riferiti all'anno tipo per i due scenari di gestione.

Scenario	N zootecnico aziendale	N extra aziendale	N da concimi di sintesi	Bilancio superficiale dell'N	Input energetico	Output energetico	Efficienza energetica	Giudizio agronomico gestione infestanti	Costi	Valore della produzione
	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	Kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ GJ ⁻¹	–	€ ha ⁻¹	€ ha ⁻¹
Attuale	141	0	42	-38	26	245	9,3	2,3	881	2376
Alternativa 1	141	0	51	-48	27	260	9,7	4,1	1015	2311

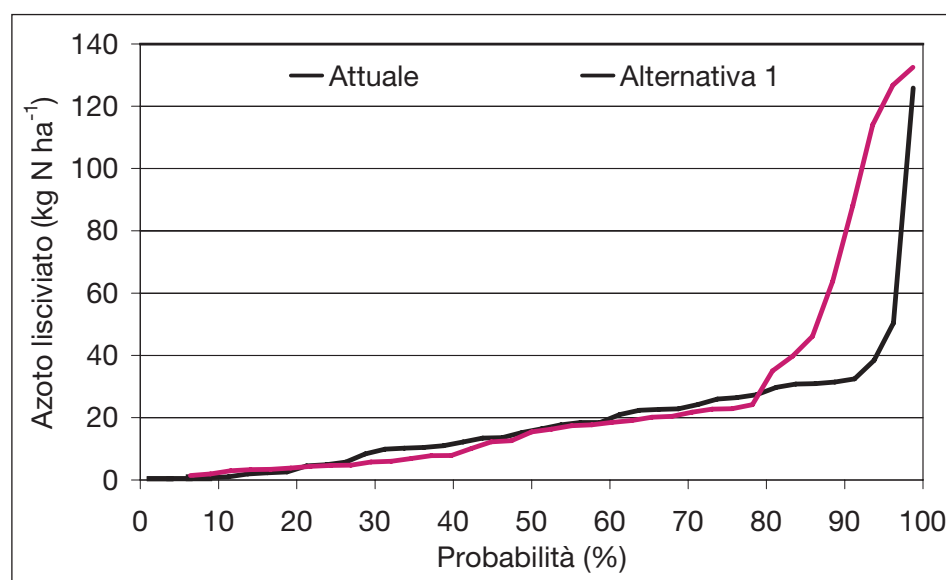


Figura 1. Confronto delle probabilità di non superamento della lisciviazione annuale dei nitrati per due scenari di gestione aziendale per un'UPA coltivata a mais granella - mais da trinciato - frumento (nella gestione reale), e a erba medica (3 anni) - mais granella - loiessa + mais da trinciato - frumento (nell'alternativa 1). Dati simulati con il modello ARMOSA.

Tipologia 2 - “Alta Pianura / Nord Milano” Indirizzo Zootecnico

Descrizione dell’areale e dell’azienda-tipo

L’azienda presa a riferimento per l’areale ha indirizzo produttivo zootecnico (bovine da latte). L’azienda-tipo ha una superficie di circa 50 ha (localizzati in piccola parte in pianura, e nella maggior parte in zona collinare, dove gli appezzamenti sono molto frammentati) e una stalla di 50 bovine in lattazione di razza Frisone italiana. Il carico zootecnico è di circa 1 t di peso vivo (corrispondente a 1,7 UBA – Unità equivalenti di Bovino Adulto) per ettaro; la produzione giornaliera di latte è di circa 25 L per capo munto. La base alimentare delle bovine è costituita dall’insilato di mais (coltivato sul 40% circa della superficie aziendale, in parte come coltura principale da trinciato, in parte in sistema di doppia coltura con un erbaio di loiessa). Il mais e la loiessa sono affiancati dai foraggi ottenuti dai prati stabili (60% della superficie). Il carico di azoto di origine zootecnica è di circa 110 kg N ha SAU⁻¹; esso è completamente usato in azienda. In gran parte dell’areale non è disponibile acqua irrigua, ma le precipitazioni, sia come quantità sia come distribuzione nel corso dell’anno, garantiscono la possibilità di ottenere rese adeguate di mais (46 e 38 t trinciato ha⁻¹ di tal quale rispettivamente per la coltura a pieno ciclo e dopo loiessa).

Inquadramento ambientale



L’ambiente di riferimento è tipico delle porzioni più settentrionali dell’alta pianura. Si tratta di un paesaggio molto articolato, che alterna paesaggi morenici, terrazzi di origine fluvioglaciale e valli. Alla eterogeneità del paesaggio corrisponde un’elevata variabilità pedologica, con suoli da poco profondi (sui rilievi collinari) a suoli molto profondi (aree di accumulo colluviale): la tipologia maggiormente diffusa si caratterizza per suoli profondi (profondità utile di circa 170 cm), ben dotati in sostanza organica, acidi e ben drenati, a tessitura da franco limosa a franco sabbiosa e con falda assente.

Il clima si caratterizza per precipitazioni elevate (1200 mm annui) e temperatura media annuale di 13,5°C.

Gestione attuale

Le colture presenti sono il mais da trinciato, l’erbaio di loiessa e i prati stabili. Essi sono presenti rispettivamente per il 40%, 30% e 60% della SAU, del tutto in linea con le medie dell’areale. Per il mais, la preparazione del letto di semina è effettuata con ripuntatura, aratura e successiva erpicatura. Prima dell’aratura si effettua una fertilizzazione con i reflui zootecnici aziendali, prevalentemente con liquami bovini, pur essendo utilizzato anche il letame. La concimazione inorganica prevede interventi in presemina (per la correzione del pH e la somministrazione di fosforo) e in copertura con urea. La maggiore criticità su mais è dovuta all’eccessivo uso di azoto, come indicato dall’elevato surplus medio, che oscilla tra 130 kg N ha⁻¹ per i mais di secondo raccolto dopo loiessa e raggiunge 255 kg N ha⁻¹ per quelli di primo raccolto. In base alla distanza dal centro aziendale, la capacità operativa dei macchinari varia moltissimo; questo, insieme a variazioni dei mezzi tecnici impiegati (fertilizzanti e diserbanti), fa sì che l’intervallo di variazione degli input energetici al mais sia ampio (da 22 a 35 GJ ha⁻¹). Analoga variazione si riscontra nei costi (da 1460 a 1972 € ha⁻¹) e nel valore della produzione (uguale a 1136 o 1818 € ha⁻¹, rispettivamente per i mais di secondo e primo raccolto).

I prati stabili per la maggior parte (65% della superficie a prato) sono fertilizzati con liquame, generalmente in novembre e in giugno, mentre i restanti sono concimati con letame (20%) o fertilizzanti minerali (15%). Il bilancio azotato del prato è decisamente variabile, apparendo abbastanza adeguato per quelli letamati (surplus medio di 58 kg N ha⁻¹), ma negativo, a diversi livelli, in quelli liquamati o concimati (da -33 a -81 kg N ha⁻¹). Mediamente sono effettuati quattro sfalci; due (primo e secondo taglio) sono conservati come fieno-silo, gli altri affienati. L'erbaio di loiessa è normalmente fertilizzato in prearatura con liquame, in presemina con calce e un concime fosfatico, e in copertura con nitrato ammonico. Il surplus azotato dell'erbaio è indice di corretta gestione dell'azoto (in media 32 kg N ha⁻¹). Sia l'erbaio di loiessa sia i prati richiedono input energetici molto contenuti (da 9 a 17 GJ ha⁻¹). I costi dei prati oscillano tra 613 e 837 € ha⁻¹, (e quelli dell'erbaio di loiessa tra 896 e 989 € ha⁻¹) con andamento crescente per la concimazione effettuata con soli concimi minerali, liquame e letame. Per i prati, come per i mais, un elemento consistente di spesa è, infatti, dovuto alla distribuzione del letame, effettuata con macchinari a ridotta capacità di lavoro, che richiedono quindi un consistente dispendio di carburante e manodopera. Il valore della produzione dei prati è di 643 € ha⁻¹ e di 250 € ha⁻¹ per gli erbai, senza variazioni tra UPA, poiché la produzione dichiarata è identica in tutti gli appezzamenti.

Come visto, i costi delle colture foraggere praticate spesso superano il valore della produzione, non consentendo dunque di ottenere margini positivi. Questo indica che, se tutti i costi (in particolare ammortamento e manodopera) fossero completamente esplicitati dall'agricoltore così come effettuato in questa analisi, non si avrebbe un reddito netto positivo. Va però considerato che il reddito dell'azienda andrebbe calcolato considerando anche il valore aggiunto della produzione di latte, elemento non considerato in questo lavoro, che analizza il solo settore della produzione vegetale.

Riassumendo, la gestione attuale si caratterizza per un buono sfruttamento a fini foraggeri della superficie disponibile, e per una gestione non completamente oculata dei reflui prodotti in azienda. L'azoto in essi contenuto, infatti, potrebbe essere distribuito in modo più omogeneo sulle diverse UPA. Infine, la struttura fondiaria particolare, ma molto frequente in zona (con UPA frazionate e spesso lontane dal centro aziendale) è causa di elevati costi (manodopera e meccanizzazione).

Itinerari proposti

Alternativa 1: razionalizzazione dell'uso dei fertilizzanti

Il primo scenario alternativo di gestione è stato progettato agendo solo sulle concimazioni minerali, e lasciando invariati il riparto colturale e gli avvicendamenti adottati. Su mais si è ridotta la concimazione minerale, che invece è stato necessario aumentare sostanzialmente per i prati, scarsamente concimati nella gestione attuale. Questo ha fatto sì che i surplus sulle UPA coltivate a mais siano stati ridotti a valori più contenuti, oscillanti tra 16 e 154 kg N ha⁻¹. Nelle UPA coltivate a prato, invece, si è assistito ad un generale riequilibrio verso valori intermedi (da 55 a 126 kg N ha⁻¹). Nelle UPA coltivate a mais in monosuccessione è stata anche introdotta una "catch crop" (loiessa con funzione di cattura dei nitrati, interrato a fine inverno prima delle lavorazioni primaverili). Nonostante il miglioramento sostanziale della concimazione (che riduce gli eccessi su mais e colma i deficit sui prati), il surplus, se se ne considera il valore medio aziendale (Tabella 2), aumenta leggermente (da 40 a 57 kg N ha⁻¹), a causa delle elevate superfici destinate a prato, che in questa alternativa ricevono più concimi minerali rispetto alla gestione reale. La correttezza della scelta è confermata dalla Figura 1, che dimostra che la lisciviazione simulata negli itinerari tecnici con mais, a causa del minore uso di concimi minerali, diminuisce sensibilmente. Tuttavia il bilancio e l'efficienza energetica e i costi economici peggiorano di pochissimo, a causa dei maggiori input

indiretti di energia (concimi minerali). Non si hanno variazioni nella gestione della flora infestante, perché sono stati mantenuti gli stessi avvicendamenti e gli stessi interventi di diserbo chimico. Nelle UPA coltivate a mais, la diminuzione dei costi di fertilizzazione è consistente, ma in parte compensata dalle maggiori spese, rese necessarie dalla gestione della “catch crop”. Nelle UPA a prato si verifica un aumento di costi a causa degli apporti fertilizzanti necessari a colmare il deficit della gestione attuale. I valori assunti da tutti gli indicatori per questo scenario non sono molto diversi rispetto alla gestione attuale, e suggeriscono l'utilità di rivedere il piano di concimazione, al fine di ottimizzare le dosi di fertilizzanti minerali e di reflui zootecnici.

Alternativa 2: modifica del riparto colturale e degli avvicendamenti

In questo scenario, oltre ad avere adottato le concimazioni previste dall'alternativa 1, sono state anche effettuate modifiche della fertilizzazione organica e dell'uso del suolo su alcune UPA. Il criterio seguito è stato quello di assicurare una maggiore presenza di colture autunno-vernine, per aumentare l'asportazione d'azoto nel periodo dell'anno in cui la lisciviazione è maggiore, a causa del bilancio idrico favorevole al drenaggio profondo. Quest'obiettivo è stato raggiunto sia utilizzando la doppia coltura (cereale autunno-vernino raccolto alla maturazione cerosa per insilamento, seguito da mais in seconda epoca di semina, sempre per insilamento), sia introducendo l'orzo da granella. Queste modifiche hanno interessato superfici relativamente ristrette, poiché, così come già avviene, si è voluto continuare a produrre in azienda la quasi totalità dei foraggi per il bestiame. Di conseguenza le variazioni rispetto al riparto colturale attuale non potevano essere eccessive. Inoltre, un'estensione della doppia coltura a tutta l'azienda avrebbe comportato problemi organizzativi (tempistiche di lavoro molto vincolanti nei mesi di maggio e settembre/ottobre a causa delle semine e delle raccolte). I prati permanenti non sono stati sostituiti con colture diverse perché non esistono altre foraggere adeguate per questo ambiente pedo-climatico, in particolare a causa dei suoli acidi che impediscono la coltivazione di specie leguminose. Inoltre, un prato avvicendato avrebbe dei costi periodici di risemina che invece quello permanente non ha. Le fertilizzazioni organiche sono state più omogeneamente distribuite fra le diverse UPA coltivate a mais.

I risultati di calcolo del bilancio mostrano che, grazie agli accorgimenti adottati, si verifica una generale ulteriore diminuzione del surplus nelle UPA in cui il mais è coltivato come unica coltura, mentre dove è combinato con un erbaio autunno-vernino i surplus aumentano leggermente, a causa della minore efficienza dei fertilizzanti in tali epoche; i prati non subiscono modifiche rispetto all'alternativa 1. Il risultato è un leggero aumento del bilancio superficiale medio aziendale (da 57 a 64 kg N ha⁻¹; Tabella 2) e della lisciviazione (Figura 2). Inoltre, quest'alternativa è caratterizzata da una maggiore efficienza energetica. Il giudizio agronomico sulla gestione delle infestanti rimane identico, poiché le superfici a prato rimangono tali, e quelle destinate alle colture annuali continuano a essere investite a mais in rotazioni strette (l'orzo mostra dei risultati migliori delle omosuccessioni di mais, ma la ridotta superficie ad esso destinata non consente di apprezzare una variazione in aumento dell'indicatore medio aziendale). Quest'alternativa è la più conveniente dal punto di vista economico, con costi più ridotti e un aumentato valore della produzione (a causa della maggiore presenza di erbai cerosi di cereali autunno-vernini).

Tabella 2. Confronto degli indicatori ambientali ed economici riferiti all'anno tipo per i tre scenari di gestione.

Scenario	N zootecnico aziendale	N extra aziendale	N da concimi di sintesi	Bilancio superficiale dell'N	Input energetico	Output energetico	Efficienza energetica	Giudizio agronomico gestione infestanti	Costi	Valore della produzione
	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ GJ ⁻¹	-	€ ha ⁻¹	€ ha ⁻¹
Attuale	114	0	91	40	21	187	8,9	3,7	1354	990
Alternativa 1	114	0	108	57	22	187	8,4	3,7	1387	990
Alternativa 2	114	0	112	64	20	180	8,9	3,7	1279	1133

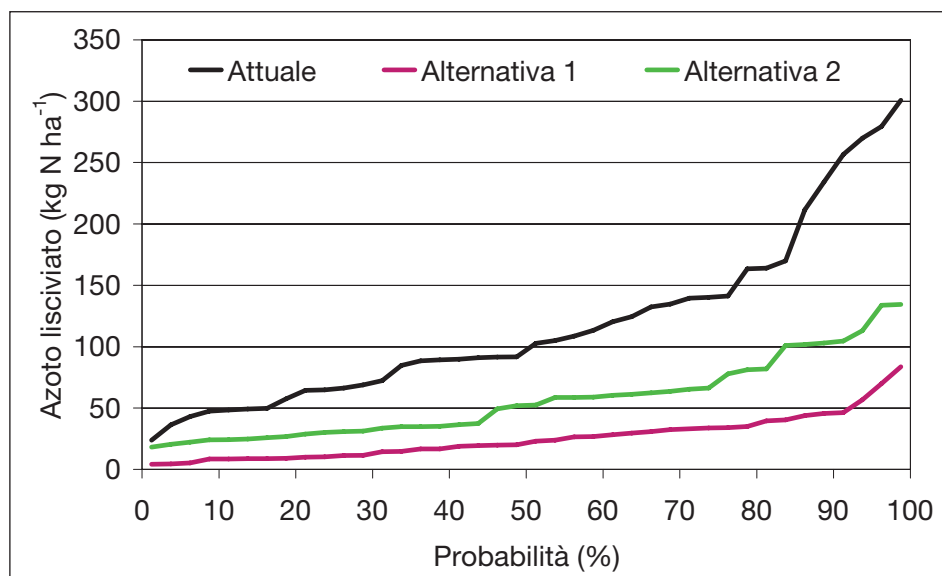


Figura 2. Confronto delle probabilità di non superamento della lisciviazione annuale dei nitrati per tre scenari di gestione aziendale per un'UPA coltivata a mais da trinciato (in primo raccolto nella gestione attuale, in primo raccolto con catch crop nell'alternativa 1, e in rotazione con orzo da granella nell'alternativa 2). Dati simulati con il modello ARMOSA.

Tipologia 3 - “Bassa Pianura / Mantovano” Indirizzo Zootecnico

Descrizione dell'areale e dell'azienda-tipo

Si considera una tipologia aziendale con indirizzo produttivo zootecnico (bovine da latte). L'azienda-tipo ha una superficie di circa 100 ha concentrati attorno all'azienda e una stalla di 100-110 bovine in lattazione di razza Frisona italiana. Il carico zootecnico è di circa 1,35 t di peso vivo (corrispondente a 2,2 UBA – Unità equivalenti di Bovino Adulto) per ettaro; la produzione giornaliera di latte è di circa 30 l per capo munto. Il carico di azoto da reflui zootecnici prodotti in azienda è di circa 170 kg ha⁻¹. Tale carico cresce fino a 240 kg ha⁻¹ considerando il liquame suino importato dall'esterno. La base alimentare delle bovine è costituita dall'insilato di mais (coltivato sul 20% circa della superficie aziendale), da mais per ottenere farina (mais da granella coltivato sul 20% circa della superficie aziendale) e da fieno di medica (coltivata sul 40% della superficie aziendale). Nella razione il mais e la medica sono affiancati dal fieno di loiessa e da farina di estrazione di soia. Viene ancora coltivata soia sul 10% della superficie aziendale. Tutte le colture, ad eccezione della loiessa, sono irrigate mediante aspersione e si raggiungono rese adeguate: 60 t trinciato tal quale ha⁻¹, 12 t granella di mais ha⁻¹, 4 t granella di soia ha⁻¹ e 15 t di fieno di medica ha⁻¹.

Inquadramento ambientale

L'ambiente di riferimento è tipico delle porzioni della bassa pianura sabbiosa mantovana. Si tratta di un ambiente stabile e quindi favorevole allo sviluppo di suoli profondi. I sedimenti che costituiscono la bassa



pianura sono sabbiosi limosi; i suoli sono generalmente fertili, profondi, ben drenati o con segni di idromorfia di lieve entità, equilibrati nelle proprietà chimico-fisiche: hanno tessitura media o fine, falda generalmente profonda, anche se localmente è più superficiale, reazione alcalina, calcarei sia in superficie che profondità. Sono suoli adatti all'agricoltura, anche se richiedono alcune attenzioni ed accorgimenti nella gestione a causa delle caratteristiche del suolo (tessitura fine, contenuto in carbonato di calcio). Sono adatti senza limitazioni sia allo spandimento dei fanghi di depurazione urbana sia dei reflui zootecnici per l'elevata capacità protettiva per le acque sotterranee (anche se la presenza di crepacciature e macroporosità può influire, in funzione di pratiche irrigue ed eventi meteorologici, in modo sostanziale sul trasporto dei nutrienti verso le acque sotterranee).

Il clima si caratterizza per precipitazioni basse (600 – 700 mm annui) e temperatura media annuale di 13,6°C. L'area è una delle più secche del territorio regionale ed è principalmente irrigata per aspersione, talvolta per scorrimento; i carichi zootecnici sono tra i più alti a causa della forte vocazione zootecnica.

Gestione attuale

Per il mais la preparazione del letto di semina è effettuata in autunno con ripuntatura, aratura, estirpatura, passaggio di vibrocoltivatore e successiva ulteriore erpicatura di affinamento. Prima dell'aratura si effettua una concimazione con i reflui zootecnici aziendali (liquami bovini) e liquami suini. La concimazione inorganica prevede interventi in copertura con urea. Il mais è generalmente irrigato per aspersione con 5-6 interventi tra giugno e agosto. Il prato di erba medica (della durata di tre anni) è fertilizzato in au-

tunno solo nell'anno di impianto utilizzando reflui zootecnici (liquame e letame bovino). Mediamente sono effettuati cinque sfalci, che sono pre-appassiti in campo e poi essiccati in azienda. Dopo ogni sfalci il prato di medica è irrigato. L'erbaio di loiessa affienato segue il prato di medica; è seminato su sodo e concimato in copertura (inverno) con urea. La soia, seminata all'inizio di maggio dopo la loiessa, è fertilizzata con reflui zootecnici (liquame e letame bovino) interrati con aratura seguita da un'erpatura. Mediamente sono effettuate quattro irrigazioni per aspersione.

La gestione attuale è caratterizzata da un surplus di azoto consistente (157 kg N ha^{-1} in media; Tabella 3), che, sull'UPA presa ad esempio per le simulazioni, genera lisciviazione elevata in alcuni degli anni simulati (Figura 3). I valori assoluti di lisciviato non sono comunque alti grazie alla capacità protettiva del suolo e all'elevato assorbimento di azoto da parte delle colture. L'elevato numero di irrigazioni, necessario in un ambiente climatico caldo e poco piovoso, e l'essiccazione in azienda del fieno di medica contribuisce a forti costi energetici ed economici. L'output energetico non particolarmente alto fa sì che l'efficienza sia tra le più basse riscontrate nelle aziende del progetto. Il margine di contribuzione è positivo.

Itinerari proposti

Alternativa 1: razionalizzazione dell'uso dei fertilizzanti

Il primo scenario alternativo di gestione è stato progettato agendo solo sulle fertilizzazioni, e lasciando invariati il riparto colturale e gli avvicendamenti adottati. A questo scopo, i liquami bovini sono stati più omogeneamente distribuiti fra mais, prato di erba medica (che in questo scenario, contrariamente alla gestione reale, riceve i liquami anche il secondo e il terzo anno) e soia da granella. Su mais si è eliminata la concimazione minerale, dato che già i reflui apportano 240 kg N ha^{-1} . È stato inoltre modificato anche il periodo di distribuzione dei reflui per il mais e il prato di medica, considerando le lavorazioni di preparazione nel periodo pre-semina, con l'obiettivo di migliorare l'efficienza di distribuzione.

In questo scenario il surplus si riduce considerevolmente, grazie ai più ridotti apporti di concimi minerali (Tabella 3). La lisciviazione simulata (Figura 3) è prossima a zero, grazie alla particolare dinamica dell'acqua, che in questo ambiente pedo-climatico tende a risalire verso l'alto nella stagione estiva e non produce perdite per drenaggio sostanziali neanche durante l'inverno grazie all'elevata capacità di ritenzione idrica dei suoli e alla loro bassa permeabilità (Figura 3). La riduzione degli apporti di concimi minerali ha un positivo riflesso sui costi, sia energetici sia economici. Le produzioni areiche e quindi il valore della produzione rimangono immutati.

Alternativa 2: modifica del riparto colturale e degli avvicendamenti

In questo scenario, oltre ad avere adottato le concimazioni previste dall'alternativa 1, sono state anche effettuate modifiche dell'uso del suolo su alcune UPA. Il criterio seguito è stato quello di assicurare una maggiore presenza di colture autunno-vernine, per aumentare l'asportazione d'azoto nel periodo dell'anno in cui la lisciviazione è maggiore, a causa del bilancio idrico favorevole al drenaggio profondo. Quest'obiettivo è stato raggiunto utilizzando la doppia coltura (erbaio di loiessa per insilamento, seguito da mais in seconda epoca di semina, sia per insilamento sia per la granella). L'erbaio di loiessa è fertilizzato con liquame bovino. Il diverso schema di redistribuzione dei liquami bovini sulle colture aziendali, insieme a un leggero aumento delle asportazioni che si verifica in questo scenario, ha permesso di ridurre ulteriormente il surplus di azoto. La Figura 3 mostra che anche la lisciviazione si riduce ulteriormente e si approssima a zero. Input ed output di energia, a causa di una maggiore diffusione dei sistemi di doppia coltura, au-

mentano entrambi, e, poiché gli output salgono più che proporzionalmente rispetto agli input, aumenta, anche se di poco, l'efficienza energetica. Il diverso avvicendamento premia anche la gestione delle infestanti, il cui indicatore sale da 3,1 a 3,9 (Tabella 3). Per quanto riguarda il bilancio economico, i costi salgono di più del valore della produzione. Di conseguenza, rispetto all'alternativa 1 questo scenario è meno conveniente economicamente perché ha un margine di contribuzione più basso (382 vs. 462 € ha⁻¹).

Tabella 3. Confronto degli indicatori ambientali ed economici riferiti all'anno tipo per i tre scenari di gestione.

Scenario	N zootecnico aziendale	N extra aziendale	N da concimi di sintesi	Bilancio superficiale dell'N	Input energetico	Output energetico	Efficienza energetica	Giudizio agronomico gestione infestanti	Costi	Valore della produzione
	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ GJ ⁻¹	-	€ ha ⁻¹	€ ha ⁻¹
Attuale	170	70	68	157	46	230	5,0	3,0	2090	2496
Alternativa 1	170	70	0	58	43	230	5,4	3,1	2034	2496
Alternativa 2	170	70	0	44	47	256	5,5	3,9	2139	2521

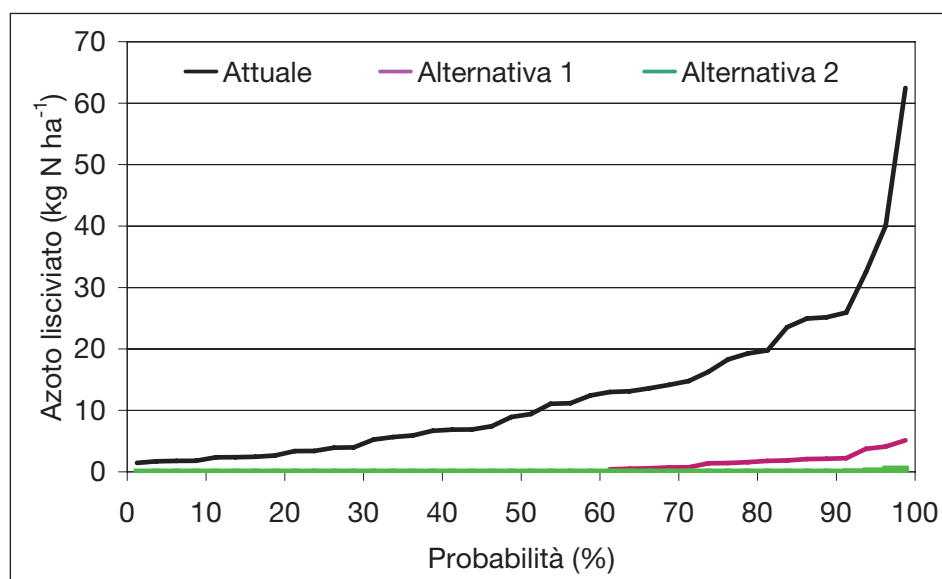


Figura 3. Confronto delle probabilità di non superamento della lisciviazione annuale dei nitrati per tre scenari di gestione aziendale per un'UPA coltivata a mais ed erba medica (gestione attuale e alternativa 1) e a mais + loiessa ed erba medica nell'alternativa 2. Dati simulati con il modello ARMOSA.

Tipologia 4 - “Alta Pianura / Bergamasca” Indirizzo Zootecnico

Descrizione dell’areale e dell’azienda-tipo

Si considera una tipologia aziendale con indirizzo produttivo zootecnico (bovine da latte). L’azienda-tipo ha una superficie di circa 40 ha concentrati attorno all’azienda e una stalla di 120 bovine in lattazione di razza Frisona italiana. Il carico zootecnico è di circa 3,1 t di peso vivo ha⁻¹ (corrispondente a 5,4 UBA – Unità equivalenti di Bovino Adulto). La produzione giornaliera di latte è di circa 34 L per capo munto. Il carico di azoto da reflui zootecnici prodotti in azienda è di circa 320 kg ha⁻¹. La base alimentare delle bovine è molto variabile durante l’anno: mediamente è costituita dall’insilato di mais (coltivato sul 27% della superficie aziendale), dall’insilato di orzo e da fieno di panico (coltivati sul 51% della superficie aziendale in un sistema di doppia coltura) e da fieno di medica (coltivata sul 12% della superficie aziendale). Tale base alimentare è integrata con diversi ingredienti acquistati dall’esterno, in particolare farina di mais e di soia. L’unica coltura irrigata è il mais, con cui si raggiungono rese di 20,5 t ss ha⁻¹; le rese medie di trinciato di orzo, fieno di panico e fieno di erba medica sono invece di 12, 3,6 e 7,8 t ss ha⁻¹ (il dato per l’erba medica rappresenta la media del quadriennio).

Inquadramento ambientale

L’ambiente di riferimento è tipico delle porzioni dell’Alta Pianura ghiaiosa. L’area è costituita da conoidi ghiaiosi che formano una superficie pianeggiante debolmente inclinata. I suoli che caratterizzano l’area



sono generalmente profondi, sciolti e permeabili, con tessitura da media a grossolana, frequentemente scheletrici, non o poco calcarei in superficie ma calcarei in profondità. Sono generalmente fertili e si caratterizzano per l’elevata permeabilità che favorisce il drenaggio dell’acqua (area di ricarica delle falde), comportando quindi una particolare attenzione nell’uso di reflui e fertilizzanti, anche perché l’area ha un carico zootecnico elevato ed è intensamente irrigata a scorrimento. Il clima si caratterizza per precipitazioni abbastanza elevate (1000 – 1100 mm annui) e temperatura media annuale di 13,6 – 13,9 °C.

Gestione attuale

Per il mais, la preparazione del letto di semina è effettuata con aratura e successive erpicatura e rullatura. Prima dell’aratura si effettua una fertilizzazione con i reflui zootecnici aziendali (liquami bovini). La concimazione minerale prevede interventi in pre-semina per la somministrazione di azoto, fosforo e potassio e in copertura con urea. Il mais è generalmente irrigato per aspersione con quattro interventi tra giugno e agosto. Per il prato di medica, la preparazione del letto di semina è effettuata con aratura e successive erpicatura e rullatura. Il prato, che dura generalmente quattro anni, è concimato in febbraio solo nell’anno di impianto con liquame bovino e con somministrazione di fosforo e potassio. Mediamente sono effettuati cinque sfalci; i primi tre sono affienati, mentre gli ultimi due sono fasciati. Per l’orzo insilato, la preparazione del letto di semina è effettuata con ripuntatura, aratura e successiva erpicatura. Prima dell’aratura si effettua una concimazione con i liquami bovini. Il panico, seminato nel mese di giugno immediatamente dopo la raccolta dell’orzo, è concimato con liquami bovini, interrati con una ripuntatura seguita da un’erpicatura. Lo sfalcio avviene tra agosto e settembre.

Il surplus di azoto è di 281 e 153 kg N ha⁻¹ rispettivamente per mais e panico, che costituiscono quindi i sistemi più critici. Invece il surplus è relativamente ridotto per l’erba medica (58 kg N ha⁻¹) e prossimo

a zero per l'orzo. Il surplus sul mais deriva da un eccessivo uso di concimi minerali, mentre sono i liquami aziendali (corrispondenti a circa 200 kg N ha^{-1}) ad essere eccessivi per il panico. Questa coltura, infatti, presenta asporti modesti, principalmente a causa della mancanza di irrigazione che determina una produzione areica molto bassa.

La gestione attuale, orientata alle produzioni foraggere di supporto all'allevamento da latte, è quindi caratterizzata da un'inadeguata valorizzazione dei reflui zootecnici prodotti in azienda, sia per il criterio adottato nel ripartire i reflui tra le colture, sia per l'eccesso di azoto di origine minerale applicato al mais. Questo genera elevati surplus di azoto (Tabella 4). Anche la valutazione modellistica condotta su un'UPA a mais conferma la presenza di elevate lisciviazioni (Figura 4). Il bilancio energetico è caratterizzato da un uso intensivo dell'energia fossile; gli input sono massimi su mais (36 GJ ha^{-1}) e più bassi sulle altre colture (21 , 12 e 18 GJ ha^{-1} su erba medica, panico e orzo, rispettivamente). La gestione delle infestanti è classificata in modo intermedio (3,1), grazie alla buona alternanza tra colture estive ed autunno-vernine (sulle UPA a seminativo) e alla presenza (su altre UPA) del prato. E' possibile lo sviluppo di infestanti nel periodo estivo se il panico non forma una buona copertura già dalle prime fasi di crescita. A scala aziendale i costi sono molto simili al valore della produzione (Tabella 4). I singoli itinerari tecnici invece si differenziano, con il mais che ha margini di contribuzione positivi (circa 400 € ha^{-1}), l'orzo e panico negativi (-100 € ha^{-1} circa).

Itinerari proposti

Alternativa 1: razionalizzazione dell'uso dei fertilizzanti

Il primo scenario alternativo di gestione è stato progettato agendo solo sulle concimazioni, e lasciando invariati il riparto colturale e gli avvicendamenti adottati. Per il mais è stata totalmente eliminata la concimazione minerale, in quanto la dose di azoto apportata con i liquami (300 kg N ha^{-1}) è già sufficiente a garantire il livello produttivo attuale. Per migliorare la gestione dell'azoto sul panico (cioè per ridurre le dosi di azoto apportate con i liquami), l'unica possibilità è stata quella di aumentare le dosi di reflui apportati all'orzo e soprattutto all'erba medica. Se da un lato la diminuzione di fissazione biologica che avviene somministrando azoto ai terreni coltivati con leguminose è senz'altro uno spreco di risorse, va anche detto che, in sistemi aziendali così intensivi, l'erba medica rappresenta un potenziale *sink* di azoto da non sottovalutare. La dose di liquami apportati al panico è stata quindi ridimensionata attraverso il metodo del bilancio (70 kg N ha^{-1}), e l'eccesso applicato all'erba medica e in piccola parte all'orzo (che aveva un bilancio prossimo a zero). Un ultimo miglioramento è costituito dall'uso di concime minerale azotato su orzo, a causa della scarsa efficienza del liquame impiegato in autunno.

Gli indicatori mostrano che in questo modo, attraverso una revisione del piano di concimazione, migliorano sia la gestione dell'azoto (il bilancio scende in media di 38 kg N ha^{-1}) sia i costi energetici ed economici. Anche il modello (Figura 4) conferma la correttezza della scelta. La gestione della flora infestante, invece, non risente della modifica, poiché non è variato l'avvicendamento su nessuna UPA.

Alternativa 2: modifica del riparto colturale e degli avvicendamenti

In questo scenario, oltre ad avere adottato le concimazioni previste dall'alternativa 1, sono state anche effettuate modifiche dell'uso del suolo su alcune UPA. Il criterio seguito è stato quello di assicurare una maggiore copertura del suolo e maggiori asportazioni. Questo obiettivo è stato perseguito con l'inserimento dell'erba medica a sostituzione del mais insilato e l'inserimento parziale della doppia coltura, con erbaio di loiessa affienato seguito da mais in seconda epoca di semina (sempre per l'insilamento) in sostituzione della doppia coltura orzo-panico. Le modifiche indicate hanno interessato il 50% della superficie aziendale, ma senza influenzare la base alimentare delle bovine, che rimane adeguata per garantire il raggiungimento dell'obiettivo produttivo.

In questa alternativa le asportazioni colturali medie aziendali salgono di 20 kg N ha⁻¹, e contestualmente diminuiscono sia il surplus di azoto sia l'uso di concimi minerali (Tabella 4). Una leggera diminuzione della sostanza secca totale prodotta (a causa della parziale sostituzione del mais con erba medica) è la causa dei più ridotti valori di output energetici di questo scenario. Inoltre, grazie alla maggiore superficie coperta dall'erba medica, coltura sfalciata che assicura una costante copertura del suolo, l'indice di gestione delle erbe infestanti è migliorato, raggiungendo un valore di 4,9 medio aziendale. I costi economici si riducono ulteriormente, a causa principalmente della diminuzione di consumi di fattori e manodopera nelle lavorazioni e nelle irrigazioni del mais. Questo fatto, insieme ad un aumento del valore della produzione, consente di ottenere un margine di contribuzione più alto rispetto allo scenario precedente (231 vs. 86 € ha⁻¹).

Tabella 4. Confronto degli indicatori ambientali ed economici riferiti all'anno tipo per i tre scenari di gestione.

Scenario	N zootecnico aziendale	N extra aziendale	N da concimi di sintesi	Bilancio superficiale dell'N	Input energetico	Output energetico	Efficienza energetica	Giudizio agronomico gestione infestanti	Costi	Valore della produzione
	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	Kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ GJ ⁻¹	-	€ ha ⁻¹	€ ha ⁻¹
Attuale	324	0	63	161	30	281	9,3	3,1	1565	1582
Alternativa 1	324	0	29	123	28	281	10,0	3,1	1496	1582
Alternativa 2	324	0	17	104	29	251	8,8	4,9	1390	1621

In questa tipologia di aziende, con allevamento molto intensivo, vi sono margini di miglioramento sia del rischio di lisciviazione, sia del reddito, poiché frequentemente si assiste a concimazioni minerali del mais inutili, visto l'alto quantitativo di liquami apportato e alla presenza di colture a basso prelievo di N, a loro volta sovraconcimate, che possono essere eliminate a favore di colture prative.

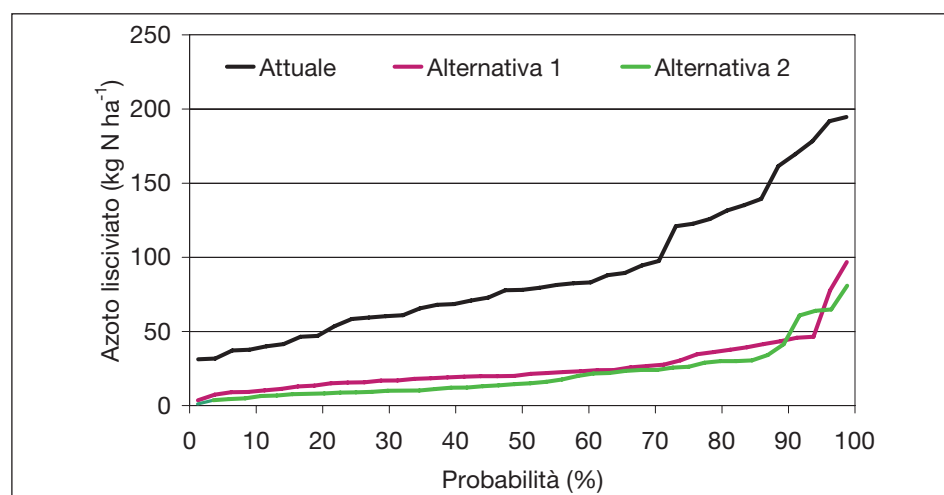


Figura 4. Confronto delle probabilità di non superamento della lisciviazione annuale dei nitrati per tre scenari di gestione aziendale per un'UPA coltivata a mais e orzo + panico nella gestione attuale e nell'alternativa 1 (con meno azoto di sintesi rispetto all'attuale) e con una rotazione di erba medica (4 anni), orzo + panico, loiessa + mais, orzo + panico, loiessa + mais nell'alternativa 2. Dati simulati con il modello ARMOSA.

Tipologia 5 - “Bassa Pianura / Cremasco” Indirizzo Cerealicolo

Descrizione dell’areale e dell’azienda-tipo

Si considera una tipologia aziendale con indirizzo produttivo cerealicolo, collocata nella pianura cremone-
nese. L’azienda-tipo ha una superficie di circa 20 ha, distribuiti attorno all’azienda ad una distanza media
di 1 km. La coltura praticata è mais da trinciato integrale coltivato in omosuccessione. Il mais è comple-
tamente ceduto ad un impianto di digestione anaerobica. Il digestato è utilizzato come fertilizzante in que-
sta azienda, con un carico di circa 300 kg N ha⁻¹. Il mais è irrigato per scorrimento e si raggiungono rese
pari a circa 70 t trinciato tal quale ha⁻¹.

Inquadramento ambientale

L’ambiente di riferimento è tipico delle bassa pianura sabbiosa cremonese, con porzioni minori di zone
corrispondente a piane alluvionali. Si tratta di un ambiente stabile che ha favorito l’evoluzione dei suoli
con diffusa presenza di orizzonti profondi di illuviazione del-
l’argilla. I carbonati sono stati in genere lisciviati, ma non com-
pletamente rimossi dal suolo, trovandosi in diverse forme in
quantità anche elevate in orizzonti profondi. I suoli sono ge-
neralmente fertili, sufficientemente dotati in sostanza organica,
alcalini e profondi; la tessitura dominante è media o modera-
tamente fine (franca o franca limosa) e solo raramente si ha
presenza di falda entro il primo metro di profondità. Sono suoli
adatti all’agricoltura e moderatamente adatti sia allo spandi-
mento dei fanghi di depurazione urbana sia dei reflui zootec-
nici a causa della permeabilità moderata.



Il clima si caratterizza per precipitazioni moderate (700 - 800
mm annui) e temperatura media annuale di 13,1°C. L’area è

intensamente irrigata per scorrimento, talvolta per aspersione e i carichi zootecnici sono tra i più alti di
tutta la regione.

Gestione attuale

Per il mais, la preparazione del letto di semina è effettuata in primavera con aratura, erpicatura e succes-
siva rullatura. Prima dell’aratura si effettua una fertilizzazione con digestato. La concimazione inorganica
prevede interventi in pre-semina con concime liquido NK e in copertura con urea. Il mais è general-
mente irrigato per scorrimento, con quattro interventi giugno e luglio. Il bilancio superficiale dell’azoto
è molto elevato (quasi 300 kg N ha⁻¹), ad indicare l’eccessivo uso di concimi azotati. La Figura 5 mostra
che la lisciviazione annuale di azoto simulata è superiore a 100 kg N ha⁻¹ per l’80% circa degli anni, con
massimi che sfiorano i 600 kg N ha⁻¹. In particolare, è l’azoto contenuto nei concimi minerali a essere ec-
cessivo, dato il già elevato contenuto di azoto nel digestato (288 kg N ha⁻¹), di poco superiore alle aspor-
tazioni del mais (258 kg N ha⁻¹). Gli input energetici sono in linea con quelli riscontrati, anche in altri
studi, in aziende intensive di pianura, e sono in gran parte dovuti ai consumi (diretti e indiretti) per l’ef-
fettuazione delle concimazioni (con effluenti e concimi) e delle semine. Gli output energetici sono ele-
vatissimi, grazie all’elevata produttività del mais, coltivato su tutta la superficie aziendale. Il giudizio
agronomico sulla gestione delle infestanti è molto scarso, a causa della omosuccessione, che presenta
un’elevata probabilità di sviluppo di infestanti estive non controllate dagli interventi di diserbo, in parti-

colare di perennanti (es. *Sorghum halepense*), o annuali il cui controllo è difficile (es. *Abutilon theophrasti*). I costi di coltivazione sono di poco superiori a 1600 € ha⁻¹. La produzione ha un valore economico piuttosto elevato (1955 € ha⁻¹, senza variabilità tra le UPA a causa del fatto che le produzioni areiche dichiarate dall'imprenditore erano le medesime).

L'azienda, quindi, data l'elevata disponibilità di acqua irrigua e mezzi tecnici, si configura come un sistema estremamente intensivo, dal punto di vista sia ambientale sia economico. Uno dei punti più deboli della gestione è sicuramente l'eccessivo utilizzo di concimi minerali.

Itinerari proposti

Alternativa 1: razionalizzazione dell'uso dei fertilizzanti

Il primo scenario alternativo di gestione è stato progettato agendo solo sulle concimazioni, e lasciando invariati il riparto colturale e gli avvicendamenti adottati. A questo scopo, si è eliminata la concimazione minerale in pre-semina e ridotta della metà la dose di urea in copertura al mais, al fine di garantire una disponibilità di azoto in linea con le necessità colturali. Questo ha consentito una drastica riduzione del surplus di azoto, che passa da 365 a 108 kg N ha⁻¹, sfruttando meglio l'azoto contenuto nel digestato, e una contestuale riduzione della lisciviazione dei nitrati (Figura 5). La riduzione della concimazione azotata consente anche di avere minori input energetici e un aumento dell'efficienza d'uso dell'energia. Non essendosi verificata una variazione dell'avvicendamento, il giudizio agronomico sulla gestione delle infestanti rimane inalterato. I costi economici si riducono drasticamente (-278 € ha⁻¹) e, a fronte di produzioni areiche presumibilmente invariate, consentono di concludere che l'alternativa proposta ha una convenienza sia ambientale sia economica.

Alternativa 2: modifica del riparto colturale e degli avvicendamenti

In questo scenario, oltre ad avere adottato per il mais le concimazioni previste dall'alternativa 1, sono state anche effettuate modifiche dell'uso del suolo su tutta la superficie aziendale. Il criterio seguito è stato quello di assicurare una maggiore presenza di colture autunno-vernine, per aumentare l'asportazione d'azoto nel periodo dell'anno in cui la lisciviazione è maggiore, a causa del bilancio idrico favorevole al drenaggio profondo. Quest'obiettivo è stato raggiunto utilizzando su tutte le UPA un sistema di doppia coltura, costituito dal frumento raccolto alla maturazione cerosa per insilamento, seguito dal mais da trinciato integrale in seconda epoca di semina. Il frumento è concimato con digestato (con dose pari alla metà di quella usata per il mais) e un concime azotato a lenta cessione alla fine dell'inverno, per massimizzare l'efficienza di assorbimento da parte della coltura.

Il sistema colturale di doppia coltura consente di produrre una quantità di biomassa ed energia superiore (circa il 40%) rispetto allo scenario reale. Il surplus di azoto aumenta solo leggermente (Tabella 5 e Figura 5). Gli input energetici, invece, crescono considerevolmente a causa delle lavorazioni e delle concimazioni effettuate per il frumento. In totale, 24 e 20 GJ ha⁻¹ costituiscono gli input diretti e indiretti al frumento e al mais, rispettivamente. Il giudizio agronomico sulla gestione delle infestanti migliora leggermente, grazie all'alternanza tra specie primaverili-estive e autunno-vernine. Dal punto di vista economico, invece, questo è lo scenario meno interessante, poiché, pur con un aumento del valore della produzione, che arriva quasi a 2500 € ha⁻¹, fa registrare dei costi elevatissimi, con il risultato di ottenere il reddito netto (differenza tra valore della produzione e costi) più basso dei tre scenari (338, 617 e 166 € ha⁻¹ per scenario reale, alternativa 1 e 2, rispettivamente).

Tabella 5. Confronto degli indicatori ambientali ed economici riferiti all'anno tipo per i tre scenari di gestione.

Scenario	N zootecnico aziendale	N extra aziendale	N da concimi di sintesi	Bilancio superficiale dell'N	Input energetico	Output energetico	Efficienza energetica	Giudizio agronomico gestione infestanti	Costi	Valore della produzione
	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	Kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ GJ ⁻¹	-	€ ha ⁻¹	€ ha ⁻¹
Attuale	0	288	303	363	34	385	11,3	1,0	1616	1955
Alternativa 1	0	288	46	106	23	385	16,7	1,0	1338	1955
Alternativa 2	0	432	88	120	44	532	12,2	2,0	2328	2494

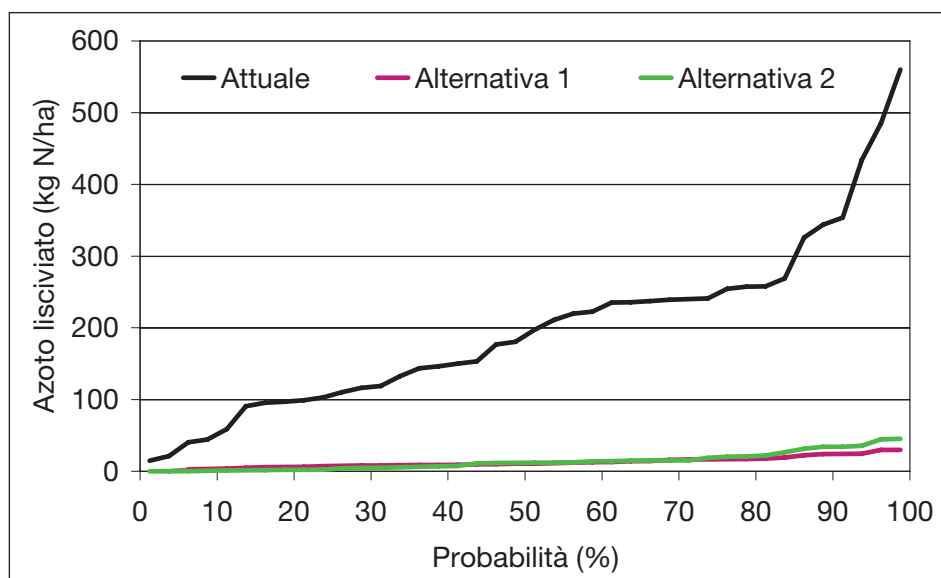


Figura 5. Confronto delle probabilità di non superamento della lisciviazione annuale dei nitrati per tre scenari di gestione aziendale per un'UPA coltivata a mais da trinciato (scenario attuale e alternativa 1, con diverse concimazioni), e mais da trinciato + frumento trinciato (alternativa 2). Dati simulati con il modello ARMOSA.

Tipologia 6 - “Media Pianura / Lodigiano” Indirizzo Cerealicolo

Descrizione dell’areale e dell’azienda–tipo

Si considera una tipologia aziendale con indirizzo produttivo cerealicolo. L’azienda-tipo ha una superficie di circa 420 ha distribuiti in quattro centri aziendali. Le colture coltivate sono frumento da granella (coltivato sul 38% della superficie) e mais da granella (coltivato sul 44% della superficie). Una piccola superficie di circa 25 ha è destinata alla coltivazione del mais dolce, il resto è lasciato a set-aside. Le peculiarità di quest’azienda riguardano le lavorazioni, irrigazioni e la fertilizzazione organica. Il frumento è seminato su sodo, mentre per il mais è adottata la minima lavorazione. Il sistema irriguo adottato sulla maggior parte della superficie è lo scorrimento, mentre il 15% della superficie destinata a mais è irrigata per aspersione mediante pivot. Oltre che con i concimi minerali, il mais da granella è concimato anche con i fanghi di depurazione. Le rese delle colture sono adeguate: 6.5 t granella di frumento ha⁻¹ e 11 t granella di mais ha⁻¹.

Inquadramento ambientale

L’ambiente di riferimento è tipico delle porzioni della bassa pianura sabbiosa. La generalizzata stabilità di questi ambienti ha consentito un prolungato e continuo processo di formazione ed evoluzione dei suoli (pedogenesi). I sedimenti che costituiscono la bassa pianura sono sabbiosi limosi; i suoli sono generalmente profondi, ben drenati, equilibrati nelle proprietà chimico-fisiche: hanno tessitura moderatamente grossolana (franco sabbiosa), falda assente o profonda, reazione da sub-acida a sub-alcalina. Sono suoli poco protettivi per le acque sotterranee (a causa di granulometria e permeabilità) e nella normale gestione agricola non richiedono particolari accorgimenti, anche se si raccomanda attenzione nell’uso di reflui e liquami e in generale nell’uso di fertilizzanti e fitofarmaci.



Il clima si caratterizza per precipitazioni moderate (750 – 900 mm annui) e temperatura media annuale di 13,5°C. I carichi zootecnici sono mediamente bassi, ma localmente, laddove si è sviluppata la zootecnia, sono comunque medio-elevati.

Gestione attuale

La gestione del mais e del frumento è differente per i diversi centri aziendali. In linea generale le operazioni colturali si possono schematizzare così. Il frumento, seminato su sodo tra ottobre e novembre dopo mais, è concimato con nitrato ammonico in un primo intervento di copertura; il secondo intervento varia sia per la dose sia per il concime utilizzato (urea, fosfato biammonico o nitrato ammonico). Per il mais, la preparazione del letto di semina è effettuata mediante due erpicatura. Prima dell’erpicatura sono iniettati i fanghi di depurazione. Alla semina, che si effettua tra metà marzo e aprile, è localizzata una dose molto contenuta di azoto e fosforo mediante fosfato biammonico. In alcune UPA si prevedono anche interventi in presemina per la correzione del pH con calce. Per il mais irrigato a scorrimento sono previsti tre interventi, mentre l’irrigazione mediante pivot prevede interventi della durata di un’ora ogni tre giorni, utilizzando bassi volumi di acqua.

La gestione dell’azoto è oculata; come riscontrato anche nell’azienda non zootecnica dell’Oltrepo Pavese, il surplus è relativamente contenuto (72 kg N ha⁻¹ di media aziendale), così come anche la lisciviazione

simulata (Figura 6). Tuttavia, questo surplus è il risultato di bilanci molto diversificati a scala di UPA: i surplus del mais oscillano tra 56 e 263 kg N ha⁻¹, quelli del frumento tra -52 e 31 kg N ha⁻¹. Per entrambe le colture la variabilità è dovuta alle diverse dosi di concime inorganico (che oscillano tra 0 e 218 kg N ha⁻¹ in mais e tra 88 e 171 kg N ha⁻¹ in frumento). In mais questi valori vanno poi sommati ad una dose (identica per tutte le UPA) derivante dai fanghi (290 kg N ha⁻¹). Rispetto ad altre aziende che coltivano cereali, gli input energetici sono relativamente contenuti (23 GJ ha⁻¹ in media), sia perché quelli del frumento (12–15 GJ ha⁻¹) sono inferiori a quelli del mais (18–36 GJ ha⁻¹), sia perché sono adottate tecniche conservative che riducono i consumi di combustibili. Il giudizio sulla gestione delle infestanti è il risultato di una media pesata tra il valore 2,0 (alternanza fra colture graminacee estive e autunno-vernine con prevalenza delle estive; buona probabilità di sviluppo di infestanti estive non controllate dagli interventi di diserbo, in particolare di perennanti o annuali difficili) e il valore 1,0 (solo per il mais coltivato in omosuccessione sotto il pivot: elevata probabilità di sviluppo di infestanti estive non controllate dagli interventi di diserbo). Il margine netto di contribuzione di 1813 € ha⁻¹ è generato dalla buona redditività dei due cereali, che, anche a causa dei ridotti consumi energetici, presentano costi economici relativamente contenuti (565–622 € ha⁻¹ il frumento; 736–1262 il mais) a fronte dell'elevato valore della produzione (da 2400 a 3106 € ha⁻¹).

Itinerari proposti

La gestione delle concimazioni appare buona, con un utilizzo contenuto e adeguato dei concimi minerali. Per tale ragione, l'itinerario alternativo proposto non riguarda la pratica della concimazione, ma interessa solo modifiche del riparto colturale e degli avvicendamenti. La scelta delle colture e della loro rotazione considera l'obiettivo di avere comunque una buona copertura del suolo anche in inverno.

Alternativa 1: modifica del riparto colturale e degli avvicendamenti

Lo scenario alternativo di gestione è stato progettato inserendo delle colture energetiche (colza e girasole per la produzione di biodiesel), e inserendo delle colture da sovescio (“*catch crop*”: loiessa) prima del mais. Per il colza, la preparazione del letto di semina è effettuata in settembre con un'erpicoltura. La concimazione minerale prevede interventi in pre-semina per la somministrazione di fosforo e di azoto e in copertura con nitrato ammonico. Per il girasole, la preparazione del letto di semina è effettuata con un'erpicoltura. Sono previste due irrigazioni per scorrimento. La concimazione minerale prevede interventi in pre-semina per la somministrazione di fosforo e in copertura con nitrato ammonico (due interventi). Tali modifiche non interessano le UPA per le quali è adottato il pivot come metodo di irrigazione.

Lo scenario alternativo non presenta risultati incoraggianti per tutti gli indicatori: a fronte di una modesta riduzione del surplus di azoto, si registrano un aumento dei consumi energetici e dei costi economici (anche a causa della gestione delle *catch crop*), insieme a una riduzione dell'output energetico e del valore della produzione (a causa sia delle rese più basse delle oleaginose rispetto ai cereali, sia dei prezzi relativamente elevati dei cereali). Il tutto si traduce in un margine netto di contribuzione più basso, rispetto alla gestione reale, di ben 299 € ha⁻¹. Va sottolineato, tuttavia, che la diminuzione del surplus non è particolarmente consistente perché nel formulare questa alternativa si è cercato di evitare i deficit che sono stati invece riscontrati nella gestione reale. L'unico indicatore in aumento, che risente positivamente dell'avvicendamento più articolato, è quello relativo alla gestione delle infestanti. L'avvicendamento scelto, infatti, presenta una buona alternanza tra colture graminacee e dicotiledoni e una limitata ripetuta presenza negli anni di colture con lo stesso ciclo. Anche la simulazione effettuata con il modello su un'UPA esemplificativa (Figura 6) conferma che questo scenario alternativo è meno interessante della gestione reale per la tutela delle acque dall'inquinamento da nitrati.

Tabella 6. Confronto degli indicatori ambientali ed economici riferiti all'anno tipo per i due scenari di gestione.

Scenario	N zootecnico aziendale	N extra aziendale	N da concimi di sintesi	Bilancio superficiale dell'N	Input energetico	Output energetico	Efficienza energetica	Giudizio agronomico gestione infestanti	Costi	Valore della produzione
	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ GJ ⁻¹	-	€ ha ⁻¹	€ ha ⁻¹
Attuale	0	167	92	72	24	197	8,3	1,8	867	2680
Alternativa 1	0	203	59	61	26	163	6,3	3,5	973	2487

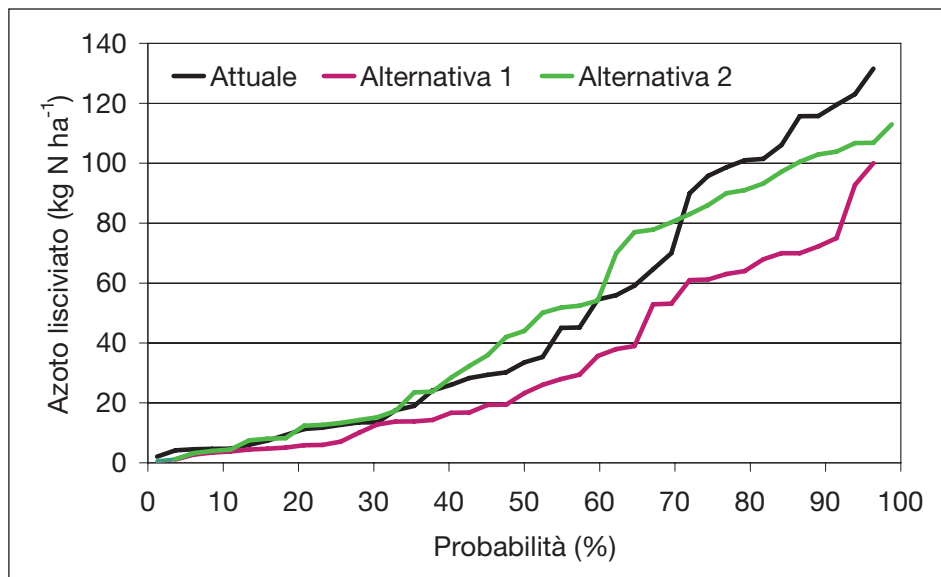


Figura 6. Confronto delle probabilità di non superamento della lisciviazione annuale dei nitrati per due scenari di gestione aziendale per un'UPA coltivata a mais - mais - frumento nella gestione attuale e a girasole - mais - loiessa (catch crop) + mais - colza - mais - loiessa (catch crop) + mais. Dati simulati con il modello ARMOSA.

Tipologia 7 - "Pianura Oltrepò Pavese" Indirizzo Cerealicolo

Descrizione dell'areale e dell'azienda-tipo

Si considera una tipologia aziendale con indirizzo produttivo cerealicolo. L'azienda-tipo ha una superficie di circa 150 ha concentrati attorno all'azienda. Le colture presenti sono il prato di erba medica (3 anni; coltivato sul poco più del 20% della superficie), barbabietola da zucchero (27% della superficie), frumento (30%) e pisello proteico (10%). La concimazione è effettuata esclusivamente con concimi minerali. L'unica coltura irrigata è la barbabietola da zucchero.



Inquadramento ambientale

L'ambiente di riferimento è tipico delle aree di divagazione dei principali corsi d'acqua. In questo ambiente si riconoscono dossi, costituiti da materiali più grossolani (sabbie e limi) e depressioni in cui si sono depositati i materiali più fini (argille). I suoli sono evoluti, profondi a tessitura fine o moderatamente fine (argillosa); sono alcalini, con saturazione basica elevata e drenaggio mediocre a causa della limitata permeabilità. Il clima si caratterizza per precipitazioni scarse (700 - 750 mm annui) e temperatura media annuale variabile fra i 12 e i 14°C. L'area è irrigua e a carico zootecnico basso.

Gestione attuale

Per il frumento la preparazione del letto di semina è effettuata a partire dalla fine dell'estate con ripuntatura, aratura, erpicatura e successivo passaggio di vibrocoltivatore. La concimazione minerale prevede interventi in pre-semina e in copertura per la somministrazione di fosforo e azoto, rispettivamente. Per la barbabietola da zucchero la preparazione del letto di semina è effettuata in settembre, dopo eventuale discatura dei residui colturali di frumento, con ripuntatura e successiva erpicatura. La concimazione minerale prevede interventi in pre-semina per la somministrazione di fosforo e in copertura con urea (due interventi). Sono effettuati in media quattro interventi irrigui per aspersione tra giugno e luglio. Per la medica, la preparazione del letto di semina è effettuata, dopo eventuale discatura dei residui colturali di frumento, con ripuntatura e successiva erpicatura. La concimazione minerale prevede interventi in pre-semina (febbraio) per la somministrazione di fosforo solo nell'anno di impianto. Mediamente sono effettuati quattro sfalci, destinati a fieno. Per il pisello proteico la preparazione del letto di semina è effettuata in settembre, dopo eventuale discatura di residui colturali di frumento, con ripuntatura e aratura, seguite, poco prima della semina, da erpicatura e successiva finitura con vibrocoltivatore. La concimazione inorganica prevede interventi in pre-semina (febbraio) per la somministrazione di fosforo.

La gestione dell'azoto appare decisamente corretta. Addirittura, il bilancio di superficie è leggermente negativo. Si tratta di un risultato non sorprendente se si considerano, come già ricordato, le numerose incertezze cui è soggetto un lavoro di indagine di questo tipo. Il valore del bilancio molto prossimo a zero (assenza sia di surplus sia di deficit importanti) indica che i concimi minerali sono usati con estrema attenzione, anche se con qualche variabilità tra le UPA. Si verifica infatti un caso di deficit evidente su frumento (-65 kg N ha^{-1}), e di leggeri surplus sulle altre colture (da 8 a 30 kg N ha^{-1}). Tuttavia, il modello di simulazione applicato a una rotazione-tipo (Figura 7) stima una lisciviazione tutt'altro che trascurabile.

La ragione è dovuta alle scarse produzioni areiche (e alle conseguenti scarse asportazioni) simulate dal modello, che non calibrato localmente non simula correttamente sottostimando l'asporto di nitrati presenti nello strato radicale. Questo segnala l'importanza di test quali quelli eseguiti in questo progetto e la necessità di ulteriori miglioramenti dei modelli. Rispetto alle aziende che coltivano mais, gli input energetici sono molto bassi (8–15 GJ ha⁻¹) e sono principalmente dovuti alle operazioni di sfalcio e raccolta del fieno nei prati di erba medica, alle lavorazioni, semine e concimazioni in frumento, alle concimazioni e alla raccolta in barbabietola, e alla semina e aratura in pisello. Gli output energetici mostrano una grande variabilità e raggiungono o superano i 200 GJ ha⁻¹ solo in frumento, bietola e nel terzo anno del medicaio. Da questa variabilità risultano efficienze energetiche estremamente differenziate (da 5 a circa 30 GJ ha⁻¹ per il pisello e la medica di secondo e terzo anno, rispettivamente). Per quanto riguarda la gestione delle infestanti, va sottolineato che le UPA con erba medica sottostanno ad una rotazione che presenta una buona alternanza tra colture monocotiledoni e dicotiledoni e con cicli differenziati e che quindi riceve un punteggio di 3,0. Tuttavia, vi è il rischio di un graduale aumento delle infestazioni nel quadriennio in cui la medica non è presente. Anche le altre UPA hanno rotazioni lunghe, con triennio di erba medica e gli altri seminativi. In generale, tutte le UPA hanno ricevuto un punteggio di 3,0 o di 4,0, con una media aziendale di 3,4. I costi sono in genere relativamente contenuti e sempre inferiori al valore della produzione, garantendo quindi un margine di contribuzione positivo (media aziendale di 1160 € ha⁻¹), in particolare per il secondo anno di erba medica, il pisello e il frumento.

Itinerari proposti

L'utilizzo dei concimi minerali appare molto contenuto, con rese peraltro adeguate, probabilmente grazie all'effetto della mineralizzazione della sostanza organica di cui il suolo è ben dotato (2%). A tal proposito gli itinerari alternativi proposti non riguardano la pratica della concimazione, ma interessano solo modifiche del riparto colturale e degli avvicendamenti, considerando che la barbabietola da zucchero è una coltura destinata a scomparire, a causa della chiusura dello zuccherificio della zona. La scelta delle colture e della loro rotazione ha l'obiettivo di avere comunque una copertura del suolo anche in inverno.

Alternativa 1: modifica del riparto colturale e degli avvicendamenti

Il primo scenario alternativo di gestione è stato progettato inserendo delle colture energetiche: colza e girasole per la produzione di biodiesel e mais da granella per la produzione di etanolo. Rimangono invariate le superficie destinate alla coltivazione dell'erba medica e del frumento, poiché hanno dimostrato di essere convenienti dal punto di vista economico e adeguate per il bilancio dell'azoto. Per il colza, la preparazione del letto di semina è effettuata in settembre con aratura, erpicatura e successiva finitura con vibrocoltivatore. La concimazione minerale prevede interventi in pre-semine per la somministrazione di fosforo e in copertura con nitrato ammonico. Per il girasole, la preparazione del letto di semina è effettuata in settembre con aratura, mentre l'affinamento avviene in primavera con erpicatura e successivo intervento con vibrocoltivatore. Sono previste due irrigazioni per aspersione. La concimazione minerale prevede interventi in pre-semine per la somministrazione di fosforo e in copertura con nitrato ammonico (due interventi). Per il mais da granella, la preparazione del letto di semina è effettuata in con ripuntatura, aratura, e successiva erpicatura. La concimazione inorganica prevede interventi in pre-semine e in copertura con urea. Sono previste quattro irrigazioni per aspersione.

Il bilancio di superficie di questa alternativa aumenta leggermente (Tabella 7) a causa delle elevate concimazioni necessarie per il mais (e a causa delle inefficienze intrinseche, come discusso nell'introduzione), mentre i bilanci per colza e girasole sono più adeguati. La presenza di girasole e colza al posto della bietola riduce la lisciviazione simulata (Figura 7). Gli input energetici aumentano, soprattutto a causa dei maggiori

fabbisogni di nutrienti e irrigazione del mais. L'aumento meno che proporzionale degli output energetici fa sì che l'efficienza energetica in questo scenario sia inferiore a quella della gestione attuale. Il diverso avvicendamento delle colture, con buona probabilità di sviluppo di infestanti estive non controllate dagli interventi di diserbo, in particolare di perennanti o annuali difficili, fa sì che il giudizio agronomico sulla gestione delle infestanti diminuisca leggermente (da 3,4 a 3,0). I costi scendono e il valore della produzione sale, aumentando quindi il margine di contribuzione, in particolare grazie all'introduzione del mais.

Alternativa 2: modifica del riparto colturale e degli avvicendamenti

Il secondo scenario alternativo di gestione è stato progettato, a partire dall'alternativa 1, sostituendo il mais con la cipolla. Per questa coltura l'aratura è effettuata nell'estate precedente la semina, che avviene, preceduta da erpicatura e affinamento con vibrocoltivatore, in febbraio. La concimazione minerale prevede interventi in pre-semina per la somministrazione di fosforo e in copertura con nitrato ammonico (due interventi) e nitrato potassico. Sono effettuate sette irrigazioni per aspersione tra fine aprile e inizio di luglio. L'introduzione della cipolla consente di ridurre l'uso di concimi minerali e quindi i consumi energetici (che erano di 26 GJ ha⁻¹ per mais e sono di 13 GJ ha⁻¹ per la cipolla). I costi economici salgono sull'UPA interessata dalla variazione (da 1154 a 2214 € ha⁻¹, rispettivamente per mais e cipolla). Inoltre, l'elevato valore della produzione per la cipolla consente un aumento notevole del margine di contribuzione che raggiunge i 3500 € ha⁻¹ come media aziendale.

In questa tipologia di aziende senza animali, che utilizzano con parsimonia la fertilizzazione chimica, i margini per interventi migliorativi sono ridotti e passano attraverso l'inserimento nell'ordinamento aziendale di colture orticole di pieno campo, con contenute richieste di fertilizzanti ed energia.

Tabella 7. Confronto degli indicatori ambientali ed economici riferiti all'anno tipo per i tre scenari di gestione.

Scenario	N zootecnico aziendale	N extra aziendale	N da concimi di sintesi	Bilancio superficiale dell'N	Input energetico	Output energetico	Efficienza energetica	Giudizio agronomico gestione infestanti	Costi	Valore della produzione
	kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	Kg N ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹	GJ GJ ⁻¹	-	€ ha ⁻¹	€ ha ⁻¹
Attuale	0	0	81	-10	12	174	14,6	3,4	918	2078
Alternativa 1	0	0	158	6	16	172	11,0	3,0	840	2262
Alternativa 2	0	0	81	-11	12	150	12,3	3,4	1208	4709

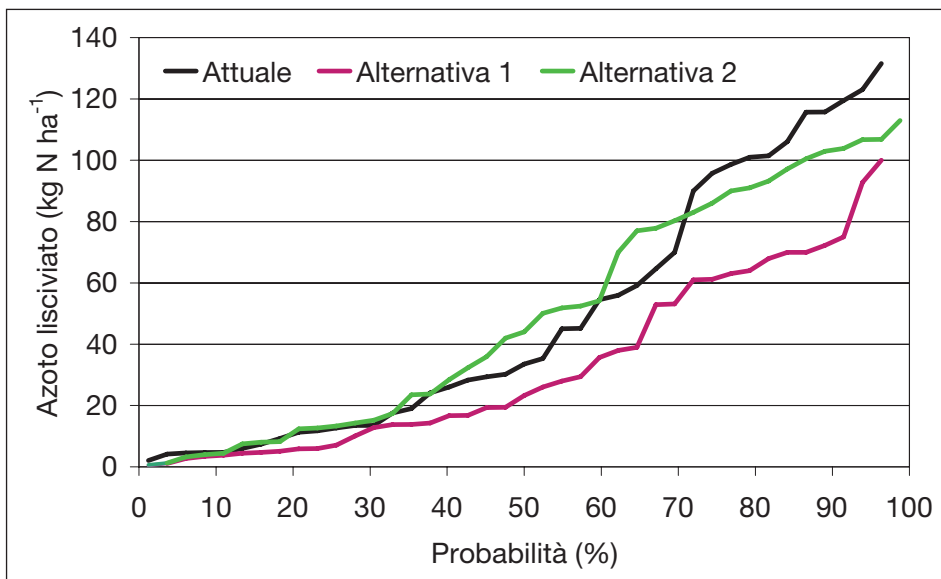


Figura 7. Confronto delle probabilità di non superamento della lisciviazione annuale dei nitrati per tre scenari di gestione aziendale per un'UPA coltivata a erba medica (3 anni) - frumento - bietola - frumento - bietola - frumento (gestione attuale), erba medica (3 anni) - girasole - frumento - colza - frumento - girasole (alternativa 1) e erba medica (3 anni) - frumento - cipolla - frumento - cipolla - frumento - cipolla (alternativa 2). Dati simulati con il modello ARMOSA.

Progetto grafico e stampa:

Cattaneo Paolo Grafiche srl - Oggiono - Lecco

Officina grafica di Annone Brianza - Tel. 0341-577474



Stampato su carta ecologica chlorine free



RegioneLombardia

Agricoltura

il sito della ricerca in agricoltura
www.agricoltura.regione.lombardia.it