

Eusebi, Lucia; Seddaiu, Giovanna; Roggero, Pier Paolo (2003) *Effetti dell'intensità di utilizzazione sulla produzione foraggera e sull'azotofissazione della sulla*. Rivista di agronomia, Vol. 37 (1), p. 145-152. ISSN 0035-6034.

<http://eprints.uniss.it/1314/>

Effetti dell'intensità di utilizzazione sulla produzione foraggera e sull'azotofissazione della sulla

Lucia Eusebi, Giovanna Seddaiu, Pier Paolo Roggero

Riassunto

Obiettivi di questa ricerca erano (I) la quantificazione in pieno campo dell'azotofissazione della sulla in relazione all'intensità di utilizzazione; (II) la valutazione dell'effetto della specie di controllo sull'affidabilità della stima dell'azotofissazione effettuata con il metodo del bilancio azotato (NB); (III) la verifica della possibilità di impiego del metodo dell'abbondanza naturale (NA) nelle condizioni ambientali considerate.

Sono state messe a confronto due modalità di utilizzazione, intensiva (2 tagli precoci in primavera e 1 taglio autunnale) ed estensiva (1 taglio in primavera + eventuale taglio di pulizia in estate) e tre specie di controllo: *Lolium hybridum*, *Cicorium inthybus* e *Phalaris aquatica*.

La produzione di azoto fissato nella fitomassa epigea durante il ciclo produttivo della sulla, valutata con entrambi i metodi, indica che l'utilizzazione intensiva può garantire livelli di azotofissazione superiori a quelli conseguibili con utilizzazione estensiva (circa 300 vs. 235 kg N ha⁻¹).

La stima dell'azotofissazione con il metodo NB è risultata sottostimata utilizzando la falaride come specie di controllo, mentre con il metodo dell'abbondanza naturale la scelta della specie di controllo non ha determinato variazioni significative.

Il $\delta^{15}\text{N}$ del terreno nel sito in cui è stata condotta la sperimentazione è stato sufficiente per l'applicazione del metodo NA. Il $\delta^{15}\text{N}$ della sulla coltivata in suolo privo di N in forma combinata è stato ricavato indirettamente ($B = -2,4$) assumendo che la percentuale di azoto da fissazione atmosferica per la sulla non superi mai il 95%. Ulteriori approfondimenti sono necessari per permettere la verifica sperimentale di questo parametro e per valutare il destino dell'azoto fissato nell'avvicendamento colturale.

La dinamica dello stadio di sviluppo, il rapporto foglie/steli e dell'azoto totale nella fitomassa, sono i parametri che hanno condizionato l'affidabilità della specie di controllo con il metodo NB.

Parole chiave: abbondanza naturale, azotofissazione, bilancio azotato, *Cicorium inthybus*, *Hedysarum coronarium* L., *Lolium hybridum*, *Phalaris aquatica*, quantificazione in campo.

Summary

EFFECTS OF CUTTING MANAGEMENT ON FORAGE PRODUCTION AND NITROGEN FIXATION OF SWEETVETCH

Objectives of this research were (I) to quantify nitrogen fixation under field conditions of sweetvetch in relation to the cutting intensity; (II) to evaluate the effect of the control species on the reliability of the estimate of nitrogen fixation, using the nitrogen balance method (NB); (III) to verify the possibility of application of the natural abundance method (NA) in the environmental conditions of the experimental site.

Two cutting intensities were compared: intensive (2 early cuts in spring and 1 autumn cut) and extensive (1 cut in spring + possible cleaning cut in summer). Three control species were tested: *Lolium hybridum*, *Cicorium inthybus* and *Phalaris aquatica*.

The intensive cutting regime showed higher levels of nitrogen fixation in the above ground phytomass compared to those achievable through extensive utilization (about 300 vs. 235 kg N ha⁻¹).

The nitrogen fixation assessed by the NB method was underestimated when *Phalaris aquatica* was used as control species, while nitrogen fixation was not affected by the control species using the NA method.

Eusebi L., Roggero P.P., Seddaiu G., Dipartimento di Scienze Ambientali e delle Produzioni Vegetali, sez. Agronomia, via Breccie Bianche - 60131 Ancona.

Autore corrispondente: Roggero P.P., tel. 071 2204916, fax 071 2800060; e-mail: roggero@univpm.it

La ricerca è stata cofinanziata dal MIUR e dall'Università Politecnica delle Marche nell'ambito del Progetto MIUR PRIN01 "Ruolo dell'azotofissazione delle leguminose in sistemi colturali ecocompatibili" (coord. Carlo Grignani). Responsabile scientifico dell'Unità di Ricerca: Pier Paolo Roggero.

Ripartizione dei compiti assunti dagli Autori:

Eusebi L.: allestimento dei campi sperimentali, coordinamento dei rilievi in campo, preparazione campioni per l'analisi, elaborazione dei dati, stesura dell'articolo.

Roggero P.P.: progettazione della ricerca e dei campi sperimentali, elaborazione ed interpretazione dei dati, stesura dell'articolo.

Seddaiu G.: elaborazione ed interpretazione dei dati, stesura dell'articolo.

The results show that soil $\delta^{15}\text{N}$ in the experimental site was sufficient for the application of NA method. The $\delta^{15}\text{N}$ of sulla cultivated in a soil without combined nitrogen was obtained indirectly ($B = -2,4$) by assuming that the percentage of nitrogen fixation on total nitrogen of sulla is never higher than 95%. Further investigations are required to verify this parameter and to evaluate the fate of fixed nitrogen in the following crop after a legume crop. The dynamics of the morphological stage of development, of the leaf to stem ratio and of the total nitrogen of the aboveground phytomass influenced the reliability of the control species using the NB method.

Key words: *Cicorium inthybus*, field assessment, *Hedysarum coronarium* L., *Lolium hybridum*, natural abundance, nitrogen balance, nitrogen fixation, *Phalaris aquatica*.

Abbreviazioni usate nel testo:

NA = metodo dell'abbondanza naturale
NA = *Natural abundance method*

NB = metodo del confronto o del bilancio azotato
NB = *Nitrogen Balance method*

MDS = minime differenze significative
MDS = *Least significant differences*

%Ndfa = percentuale di azoto derivante da fissazione atmosferica
%Ndfa = *% nitrogen derived from atmosphere (N fixation)*

Introduzione

Tra le leguminose prative, la sulla (*Hedysarum coronarium* L.) è attualmente poco valorizzata nei sistemi colturali dell'Italia mediterranea, nonostante le sue caratteristiche di adattamento ambientale e le potenzialità produttive in suoli argillosi di aree marginali (Talamucci, 1998). La conoscenza della produzione di azoto derivante da fissazione atmosferica in condizioni di pieno campo e con diversi tipi di utilizzazione, è rilevante per rivalutare i ruoli che questa specie potrebbe rivestire in sistemi colturali ecocompatibili della collina centro italiana.

Tradizionalmente, l'utilizzazione della sulla nella collina centro italiana prevede un taglio nella primavera del primo anno, un eventuale pascolamento dei ricacci durante l'estate e un nuovo taglio nella primavera dell'anno successivo (Talamucci, 1998).

Un'utilizzazione più intensiva, caratterizzata da tagli più numerosi ed anticipati, troverebbe giustificazione in sistemi foraggeri basati sul pascolamento o per usi non foraggeri, come l'inerbimento interfilare di frutteti a scopo antierosivo. Poiché l'elevata incidenza di tessuti di sostegno è una caratteristica negativa del foraggio di sulla, l'utilizzazione intensiva ha anche lo scopo di favorire la produzione di un foraggio più foglioso e quindi di migliore qualità (Borreani et al., 1999).

La conoscenza degli effetti dell'intensità di utilizzazione sull'azotofissazione simbiotica può essere utile a gestire la sulla in modo da valorizzare appieno il ruolo di coltura miglioratrice della fertilità in un avvicendamento colturale.

Non sono stati riscontrati nella letteratura scientifica dati relativi agli effetti dell'intensità di utilizzazione sull'azotofissazione simbiotica della sulla. Inoltre, il metodo che sfrutta l'abbondanza naturale di ^{15}N nel suolo per la quantificazione dell'azotofissazione in condizioni di pieno campo non è mai stato utilizzato su questa specie, né sono disponibili informazioni sull'abbon-

danza naturale di ^{15}N nei terreni della collina centro italiana, utili a verificare la possibilità di utilizzare il metodo nei nostri ambienti (Sanford et al., 1993; Pate et al., 1994; Unkovich et al., 1994; Bolger et al., 1995; Sanford et al., 1995; Unkovich et al., 1997).

Sulla base di queste considerazioni, nel biennio 1998-2000 è stata svolta nella collina marchigiana una sperimentazione finalizzata ai seguenti obiettivi:

- 1) quantificazione, in condizioni di pieno campo, dell'azotofissazione della sulla in relazione all'intensità di utilizzazione, in confronto con le specie di controllo non azotofissatrici;
- 2) valutazione dell'effetto della specie di controllo sull'affidabilità della stima dell'azotofissazione effettuata con il metodo del bilancio azotato (NB), detto anche metodo del confronto (Roggero et al., 2003);
- 3) verifica della possibilità di impiego del metodo dell'abbondanza naturale (NA) per la quantificazione dell'azotofissazione della sulla in condizioni di pieno campo.

Materiali e metodi

La sperimentazione è stata condotta nel biennio 1998-2000 presso l'Azienda Didattico Sperimentale della Facoltà di Agraria di Ancona, ad Agugliano (200 m s.l.m.), su terreni collinari calcarei con tessitura argilloso-limoso (Tab. 1), in successione a frumento duro. La temperatura media annua è di 13,5 °C, la piovosità di circa 750 mm all'anno.

Il campo sperimentale è stato seminato il 16 ottobre 1998. Sono stati confrontati due schemi di utilizzazione della sulla: estensivo ed intensivo.

L'utilizzazione estensiva prevedeva un taglio primaverile ed un eventuale taglio estivo per facilitare il ricaccio autunnale. L'utilizzazione intensiva prevedeva due tagli precoci in primavera e un taglio autunnale.

È stata impiegata la varietà di sulla "Grimaldi", che

Tabella 1 - Caratteristiche fisico-chimiche del suolo.

Table 1 - Physicol-chemical characteristics of soil.

Caratteristica	Unità di misura	Media	e.s.	range	Metodo
Sabbia	g kg ⁻¹	171	10,55	103-226	sedimentazione ad umido
Limo	g kg ⁻¹	369	8,29	339-418	sedimentazione ad umido
Argilla	g kg ⁻¹	460	7,83	440-510	sedimentazione ad umido
Calcarea totale	g kg ⁻¹	148	8,71	111-184	D.M. 13/09/99
Calcarea attivo	g kg ⁻¹	91	6,27	76-116	D.M. 13/09/99
Sostanza organica	g kg ⁻¹	17,4	0,31	15,4-19,1	Walkley e Black
N totale	g kg ⁻¹	1,2	0,03	1,1-1,4	Kjeldahl
P assimilabile	mg kg ⁻¹	6	0,89	3-11	Olsen
K scambiabile	mg kg ⁻¹	216	5,80	194-245	BaCl ₂ + TEA

in precedenti esperimenti aveva mostrato un'elevata capacità di adattamento all'ambiente considerato (Roggero et al., 1996; Borreani et al., 1999).

Ai fini della quantificazione dell'azotofissazione sono state impiegate tre specie di controllo, delle quali è stata valutata la risposta ai medesimi regimi di taglio descritti per la sulla: *Lolium hybridum* Hausskn. cv. "Taxy", *Cicorium inthibus* cv. "Spadona" e *Phalaris aquatica* L. cv. "Holdfast".

Il disegno sperimentale adottato era un fattoriale a parcelle suddivise in blocchi randomizzati con quattro replicazioni e parcelle intere di 4,5 x 6 m. Il fattore principale era rappresentato dalle specie (sulla, loglio, cicoria e falaride), il secondario dall'intensità di utilizzazione (estensiva, intensiva).

I rilievi di produzione di sostanza secca e contenuto di azoto della fitomassa epigea, necessari per la quantificazione dell'azotofissazione in campo con il metodo NB, sono stati effettuati su un'area di saggio di 2 m² all'interno di ciascuna parcella. Il materiale raccolto veniva confezionato in sacchi di plastica e portato in laboratorio per la misura del peso tal quale. Su tutto il campione, o su un subcampione di 1,5 kg tal quale quando il peso della fitomassa dell'area di saggio superava questo peso, è stata fatta la separazione delle infestanti, la cui incidenza percentuale è stata valutata in termini di produzione di sostanza secca. Entrambi i sottocampioni sono stati essiccati in stufa a 80 °C fino al raggiungimento di un peso costante.

Dall'elaborazione dei dati così raccolti sono state ricavate le seguenti variabili: produzione di sostanza secca, contenuto percentuale di sostanza secca della fitomassa epigea, percentuale di infestazione in campo.

In corrispondenza di ogni taglio sono stati inoltre eseguiti rilievi finalizzati a descrivere ed a confrontare le caratteristiche della sulla, rispetto alle specie di controllo, in termini di distribuzione della produzione e di area fotosinteticamente attiva, con l'obiettivo di valutarne la rilevanza ai fini della quantificazione dell'azotofissazione con il metodo NB.

Su un subcampione, prelevato in un'altra area di saggio di ciascuna parcella, è stato valutato lo stadio morfologico di sviluppo (MSC = Mean Stage by Count) della sulla secondo il metodo quantitativo illustrato da Borreani et al. (1999). Gli stadi morfologici di sviluppo di cicoria sono stati codificati adattando, quando necessario, le descrizioni morfologiche della sulla a quelle corrispondenti a stadi di sviluppo paragonabili della cicoria, mentre quelli di loglio e falaride sono stati codificati secondo la scala riportata in tabella 2.

Il subcampione utilizzato per la determinazione dello stadio morfologico di sviluppo è stato anche analizzato per quantificare il contributo dei diversi organi della pianta alla fitomassa epigea totale, espresso in termini di sostanza secca: lamine fogliari, piccioli se presenti, steli o culmi, organi riproduttivi e parti senescenti.

La superficie delle lamine fogliari è stata misurata con un planimetro elettronico da tavolo "Li-Cor". Il LAI è stato calcolato sulla base della proporzione in peso delle lamine fogliari nel subcampione.

Il contenuto di azoto totale della fitomassa epigea è stato determinato con il metodo Kjeldahl sui campioni di fitomassa macinati con maglie di 1 mm.

L'abbondanza naturale dell'azoto pesante ($\delta^{15}\text{N}$) in $\delta\text{‰}$:

Tabella 2 - Codifica numerica per gli stadi fenologici di sulla (Borreani et al., 1999), cicoria, loglio e falaride.

Table 2 - Numerical codification for phenological stages of sweetvetch (Borreani et al., 1999), chicory, ryegrass and phalaris.

Stadio	Sulla e cicoria	Loglio e falaride
0	rosette: assenza di steli e bottoni fiorali	Insedimento
1	vegetativo intermedio: steli presenti ma di lunghezza inferiore ai 15 cm e non ramificati	Accestimento/ricaccio
2	vegetativo tardivo: presenza di steli di lunghezza superiore a 15 cm anche con ramificazioni, assenza di bottoni fiorali e legumi	inizio levata: stelo < 15 cm
3	comparsa del primo bottone fiorale	levata: stelo fra i 15 e i 45 cm
4	presenza di più bottoni fiorali, senza fiori aperti	fine levata: botticella
5	inizio fioritura: comparsa del primo fiore aperto	inizio spigatura: meno del 30 % della spiga fuoriuscita
6	fioritura: due o più racemi con fiori aperti	spigatura: spiga fuoriuscita tra il 30 e il 70 %
7	inizio allegagione: da 1 a 2 infiorescenze con almeno una corolla appassita	inizio fioritura: meno del 25 % di fioritura
8	allegagione: 3 o più infiorescenze con almeno una corolla appassita	fioritura: più del 25 % di fioritura
9	maturazione: comparsa di frutti maturi	pianta secca/stasi vegetativa

$$\delta^{15}\text{N}\% = 1000 \times \frac{\%^{15}\text{N}_{\text{pianta}} - \%^{15}\text{N}_{\text{aria}}}{\%^{15}\text{N}_{\text{aria}}} \quad (1)$$

dove $\%^{15}\text{N}_{\text{pianta}}$ indica il contenuto percentuale di ^{15}N nella pianta e $\%^{15}\text{N}_{\text{aria}}$ il contenuto percentuale di ^{15}N nell'aria (0,3663%).

In primavera (26/4/99) e in autunno (24/11/99) è stata determinata l'abbondanza naturale di ^{15}N del terreno, allo scopo di verificare se il $\delta^{15}\text{N}$ era significativamente superiore al 2‰, che è considerato il valore soglia minimo per l'impiego del metodo NA con un livello di precisione accettabile (Unkovic et al., 1994).

La percentuale di ^{15}N assorbito dall'atmosfera nelle leguminose, determinata attraverso il metodo NA, è stata calcolata con la seguente formula:

$$\%N_{\text{dfa}} = 100 \times \frac{\delta^{15}\text{N}_{\text{pianta controllo}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{legum}}}{\delta^{15}\text{N}_{\text{pianta controllo}} - B} \quad (2)$$

dove $\delta^{15}\text{N}$ ha lo stesso significato espresso dalla (1), riferito alla pianta di controllo o alla leguminosa, e $B = \delta^{15}\text{N}$ della leguminosa coltivata in ambiente totalmente privo di N combinato.

Non sono stati riscontrati valori in letteratura relativamente all'entità del fattore B per la sulla (Roggero et al., in corso di stampa), per cui i dati ottenuti in questa sperimentazione rappresentano una prima indicazione, utile solo per futuri approfondimenti. In prima approssimazione, è stato fissato $B=0$, ma i valori di $\%N_{\text{dfa}}$ calcolati con la (2), nelle singole repliche, risultavano spesso superiori al 100%. È stato quindi ricavato un valore di B dalla (2) tale che la $\%N_{\text{dfa}}$ massima della sulla non fosse mai superiore al 95% nelle singole repliche.

Le analisi sul contenuto di ^{15}N sono state eseguite mediante spettrometria di massa presso i laboratori dell'INRA di Caen (Francia), del Forschungszentrum di Jühlich in Germania e dell'Istituto di Chimica Agraria dell'Università di Bologna.

Analisi statistica

I dati relativi a ciascuna variabile rilevata sui campioni di fitomassa sono stati elaborati entro data di campionamento (e quindi entro tipo di utilizzazione) secondo un disegno sperimentale a blocchi randomizzati, per valutare la significatività delle differenze tra specie. I totali del biennio di sperimentazione relativi alla produzione e al consumo di azoto totale della fitomassa epigea sono stati elaborati a parcella suddivise. Entrambi i fattori di variazione, specie e intensità di utilizzazione, sono stati considerati fissi. Per ciascuna variabile, è stata verificata la condizione di omoscedasticità utilizzando il test di Bartlett. In caso di test significativo, l'elaborazione è stata condotta separatamente per gruppi di trattamenti con varianze errore omogenee.

I confronti multipli tra le medie sono stati effettuati attraverso il calcolo delle minime differenze significative (MDS) ottenute dalle appropriate varianze errore, solo se il corrispondente test F risultava significativo, secondo il test di Fisher protetto (Steel e Torrie, 1980; SAS Institute, 2000).

I dati relativi ai rapporti percentuali, la cui distribuzione di riferimento non poteva essere considerata assimilabile alla normale, sono stati analizzati previa tra-

sformazione angolare. Le minime differenze significative trasformate sono state successivamente espresse con le unità di misura originali utilizzando le funzioni inverse, al fine di facilitare l'interpretazione dei risultati (Gomez e Gomez, 1981).

Risultati e discussione

Caratteristiche bio-agronomiche della sulla e delle specie di controllo

Stadio morfologico di sviluppo. Per quanto riguarda la fenologia, con utilizzazione intensiva, il primo taglio primaverile della sulla è stato effettuato in prefioritura (MSC = 2,6) e ha coinciso con la fase di levata delle graminacee (2,2) e la fase di rosetta della cicoria (0,0). Al secondo taglio, la sulla era in piena fioritura (5,4), come la cicoria (5,7) e le graminacee (8,0). Nella primavera del secondo anno, il primo taglio della sulla è stato effettuato in stadio vegetativo precoce (MSC = 1,0-1,5); il secondo taglio, in piena fioritura (6,4), che ha coinciso con uno stadio leggermente più precoce della cicoria (5,8) e con la spigatura delle graminacee (5,7-5,8). In autunno, il 30% dei culmi di falaride e il 2% dei culmi di loglio erano in fase riproduttiva, mentre la sulla e la cicoria erano in stadio di rosetta.

Con l'utilizzazione estensiva, il primo taglio della sulla è stato effettuato in stadio di bottoni fiorali (3,5), la cicoria in stadio di rosetta e le graminacee in piena levata (loglio 3,5, falaride 3,1). Al secondo anno, il taglio primaverile della sulla è stato effettuato in piena fioritura (7,6), quando il loglio era in piena spigatura (6,5), la falaride in inizio spigatura (5,8) e la cicoria in allegagione (7,9).

Tra le specie di controllo, il loglio ha mostrato un ciclo di sviluppo più simile a quello della sulla, con entrambi i tipi di utilizzazione.

Produzione di sostanza secca e composizione della fitomassa. Nel biennio di sperimentazione, la produzione di sostanza secca della sulla è risultata in media 12,7 t ha⁻¹. Con utilizzazione intensiva, il 44% della produzione di sulla è stata ottenuta nella primavera del primo anno in 2 tagli, il 17% nel taglio autunnale e il rimanente 39% nella primavera del secondo anno in 2 tagli. La produzione per taglio della sulla è risultata relativamente costante, fatta eccezione per un massimo produttivo in corrispondenza del primo taglio. Con utilizzazione estensiva, la distribuzione della produzione nei singoli tagli è stata irregolare, con massimi nella primavera del primo anno, mentre le produzioni più basse sono state ottenute in estate.

La cicoria e la falaride nella media dei due anni di sperimentazione hanno raggiunto livelli produttivi simili alla sulla, mentre il loglio ha prodotto in misura significativamente inferiore (Tab. 3). L'intensità di utilizzazione non ha influenzato in maniera significativa la produzione di sostanza secca totale del biennio, in nessuna delle specie considerate.

In termini di distribuzione della produzione, con utilizzazione intensiva, il loglio ha mostrato un comportamento analogo a quello della sulla, mentre falaride e cicoria hanno prodotto in maniera più discontinua, con produzioni massime, rispettivamente, al primo taglio del secondo anno e al secondo taglio del primo anno.

Con utilizzazione estensiva, la falaride e la cicoria hanno raggiunto il massimo di produzione rispettiva-

Tabella 3 - Effetto dell'intensità di utilizzazione sulla produzione e sulla distribuzione stagionale di fitomassa epigea della sulla e delle specie di controllo (t ha⁻¹ sostanza secca).

Table 3 - Influence of cutting regime on total forage yield and seasonal distribution of sweetvetch and control species (t ha⁻¹ dry matter).

Data	sulla	loglio	falaride	cicoria
Utilizzazione intensiva				
03/05/99	3,71 a	1,91 b	1,27 b	0,99 b
29/06/99	2,02 b	2,08 b	2,65 b	5,24 a
26/10/99	2,15 ab	1,01 b	2,98 a	1,63 b
13/04/00	2,76 b	0,99 c	4,73 a	1,53 b
06/06/00	2,31 ab	1,57 b	2,38 a	2,93 ab
Totale	12,95	7,56	14,02	12,32
Utilizzazione estensiva				
13/05/99	5,76 a	4,10 a	2,07 a	1,29 b
30/07/99	1,95 b	2,78 a	4,46 a	5,15 a
30/05/00	4,67 b	2,99 c	7,46 a	4,18 bc
Totale	12,38	9,87	13,99	10,62
Media	12,66 a	8,71 b	14,00 a	11,47 ab

Le medie seguite da lettera uguale entro data non sono significativamente diverse tra loro con P<0,05 (test di Fisher protetto).

Utilizzazione intensiva: MDS_{0,05} fra date entro specie = 1,6 t ha⁻¹.

Utilizzazione estensiva: MDS_{0,05} fra date entro specie = 1,8 t ha⁻¹.

mente nella primavera e nell'estate del secondo anno, mentre il loglio ha mostrato una maggiore regolarità. Le produzioni più basse di falaride e cicoria sono state ottenute nel primo taglio del primo anno. Confrontando la distribuzione annuale della produzione, il loglio e la cicoria hanno mostrato un andamento simile alla sulla (60-70% della produzione al primo anno), mentre la falaride si è distinta per un insediamento più lento (47% della produzione al primo anno) e per una elevata produzione al secondo anno.

Il coefficiente di correlazione lineare tra le produzioni foraggere medie della sulla e delle specie di controllo è risultato statisticamente significativo per il loglio (0,91**) e la falaride (0,84*) e non significativo con la cicoria.

Durante il periodo di attivo accrescimento, escluso cioè il ricaccio estivo, la sulla ha contenuto l'infestazione a meno del 20% in peso della fitomassa epigea. Nelle specie di controllo, l'infestazione ha raramente superato il 30%, mantenendosi entro il 10% a partire dal taglio autunnale con utilizzazione intensiva. Il campo è stato rinettato manualmente a settembre e a inizio primavera per migliorare la precisione di stima dell'azotofissazione della sulla.

In termini di composizione della fitomassa epigea, la sulla presentava un rapporto foglie/steli significativamente più alto delle specie di controllo al taglio tardo-primaverile del secondo anno e al taglio autunnale, rispettivamente in condizioni di utilizzazione estensiva e intensiva. La composizione della cicoria è risultata non confrontabile con quella delle altre specie a causa della eterogeneità delle varianze. La cicoria era caratterizzata da un contributo predominante delle foglie durante la fase vegetativa e da un'incidenza elevata degli steli nel taglio tardo-primaverile. Il rapporto foglie/steli della cicoria è risultato compreso tra 0,14 e 52 nelle due utilizzazioni; quello della sulla tra 0,29 e 0,95 con utilizzazione estensiva e tra 0,13 e 0,56 con utilizzazione intensiva. La dinamica del rapporto foglie/steli della sulla è

risultata ben correlata con quella delle specie di controllo, con coefficienti di correlazione riferiti ai singoli tagli e repliche (n = 24) di 0,93**; 0,77** e 0,61** rispettivamente per cicoria, loglio e falaride.

In generale, l'utilizzazione intensiva ha consentito di produrre un foraggio di sulla con maggiore percentuale di lamine fogliari e quindi di migliore qualità rispetto all'utilizzazione estensiva.

LAI. Il LAI (*leaf area index*), misurato sui ricacci solo in alcune epoche di campionamento, ha oscillato nella sulla fra 0,69 e 2,90, nel loglio fra 0,04 e 0,71, nella cicoria fra 0,89 e 3,34, nella falaride fra 0,61 e 5,56. I bassi valori di LAI per il loglio sono attribuibili al fatto che nelle date in cui è stato effettuato il campionamento il loglio era in piena spigatura.

Complessivamente, l'andamento del LAI della sulla è risultato più simile a quello del loglio (r = 0,96**) e della cicoria (r = 0,92**) rispetto a quello della falaride (r = 0,31 ns)

Contenuto di azoto della fitomassa epigea

Il contenuto percentuale di azoto totale sulla sostanza secca è risultato sempre più elevato nella sulla rispetto alle specie di controllo, con un valore minimo nel taglio tardo-primaverile del secondo anno ed utilizzazione estensiva, determinato da un basso rapporto foglie/steli e dallo stadio fenologico avanzato (MSC=7,6), e massimo nel taglio autunnale con utilizzazione intensiva (tabella 4). È stata rilevata una correlazione significativa tra MSC e contenuto di azoto totale della fitomassa epigea in tutte le specie considerate, in particolare nella sulla (r = 0,88**).

Nelle specie di controllo, il contenuto di N totale è stato influenzato dall'epoca del campionamento più che dalla specie. La cicoria e la falaride, con utilizzazione estensiva, hanno mostrato la più alta percentuale di azoto al primo taglio del primo anno, corrispondente alla fase vegetativa (MSC = 0,8 per la cicoria e MSC = 3,1 per la falaride).

Con utilizzazione intensiva, il contenuto di azoto

Tabella 4 - Contenuto percentuale di azoto totale sulla sostanza secca di sulla e delle specie di confronto in relazione all'epoca e all'intensità di utilizzazione

Table 4 - Percentage of total nitrogen in the dry matter of sweetvetch and control species, as influenced by the cutting time and regime.

Data	sulla *	loglio	falaride	cicoria
Utilizzazione intensiva				
03/05/99	3,1 b	1,4 a	1,5 a	1,4 ab
29/06/99	2,8 b	1,0 b	1,1 b	0,7 c
26/10/99	4,1 a	1,6 a	1,0 b	1,3 b
13/04/00	3,9 a	1,4 a	1,4 a	1,7 a
06/06/00	2,5 c	0,9 b	1,0 b	0,9 c
Media	3,3	1,3	1,2	1,2
Utilizzazione estensiva				
13/05/99	2,8 a	0,9 a	1,3 a	1,2 a
30/07/99	2,8 a	0,9 a	0,6 b	0,8 b
30/05/00	2,0 b	0,9 a	0,6 b	0,8 b
Media	2,5	0,9	0,8	0,9

Le medie seguite da lettera uguale entro specie non sono significativamente diverse tra loro con P<0,05 (test di Fisher protetto).

* = sulla non confrontabile con le altre specie per eterogeneità delle varianze.

della fitomassa epigea era significativamente superiore rispetto all'utilizzazione estensiva, sia nelle specie di controllo (0,9 % vs. 1,2%), sia nella sulla (2,5 % vs. 3,3%).

La produzione di azoto totale della fitomassa epigea (Tab. 5) della sulla è stata significativamente maggiore rispetto alle altre specie in tutte le condizioni di utilizzazione e di epoca di taglio, con la sola eccezione, con utilizzazione estensiva, del secondo taglio del primo anno, quando la cicoria aveva valori di azoto totale simili.

Nell'ambito dell'utilizzazione estensiva, non sono state evidenziate differenze significative di produzione di azoto totale tra le specie di controllo mentre, con utilizzazione intensiva, la falaride ha mostrato una produzione di azoto totale nettamente superiore rispetto al loglio nel taglio autunnale e rispetto anche alla cicoria nel primo taglio primaverile del secondo anno.

Azotofissazione della sulla

L'eccesso isotopico della fitomassa epigea della sulla è risultato compreso fra -1,0 e 1,3‰; quello delle specie di controllo tra 4,0 e 15,6‰ (Tab. 6). Il comportamento della sulla è risultato nettamente diverso dalle specie di controllo, come evidenziato dalla eterogeneità delle varianze, che ha reso necessaria l'elaborazione dei dati di sulla separatamente dalle specie di controllo.

In condizioni di utilizzazione estensiva, non è stata riscontrata nessuna differenza significativa fra specie di controllo e fra date di campionamento, mentre nelle condizioni di utilizzazione intensiva, la cicoria ha mostrato un $\delta^{15}\text{N}$ significativamente più alto delle altre specie di controllo nel campionamento tardo-primaverile del primo anno. Inoltre, è stata osservata una differenza significativa tra date ed una certa variabilità dell'eccesso isotopico della fitomassa epigea in tutte le specie in relazione all'epoca di campionamento (CV = 32%).

La differenza in termini di $\delta^{15}\text{N}$ osservata tra la sulla e le specie di controllo è risultata più che sufficiente per permettere la quantificazione in campo dell'azotofissazione con il metodo NA.

Tabella 5 - Quantità di azoto totale della fitomassa epigea (kg ha⁻¹) di sulla e delle specie di confronto in relazione all'epoca e all'intensità di utilizzazione

Table 5 - Above-ground phytomass total nitrogen of sweetvetch and control species, as influenced by the cutting time and regime.

Data	sulla	loglio	falaride	cicoria
Utilizzazione intensiva				
03/05/99	114 a	27 b	20 b	15 b
29/06/99	56 a	19 b	29 b	27 b
26/10/99	87 a	17 c	31 b	20 bc
13/04/00	108 a	14 c	68 b	25 c
06/06/00	57 a	14 c	25 b	27 b
Media	84	18	35	23
Utilizzazione estensiva				
13/05/99	160 a	35 b	26 b	15 b
30/07/99	52 a	23 b	27 b	41 a
30/05/00	93 a	23 b	46 b	32 b
Media	102	27	33	33

Le medie seguite da lettera uguale entro data non sono significativamente diverse tra loro con $P < 0,05$ (test di Fisher protetto).
 Utilizzazione intensiva: $\text{MDS}_{0,05}$ fra date entro specie = 20 kg ha⁻¹.
 Utilizzazione estensiva: $\text{MDS}_{0,05}$ fra date entro specie = 26 kg ha⁻¹.

Tabella 6 - Eccesso isotopico ($\delta^{15}\text{N}$ ‰) della fitomassa epigea di sulla e delle specie di controllo in funzione dell'epoca di campionamento.

Table 6 - Nitrogen isotope enrichment ($\delta^{15}\text{N}$ ‰) of above-ground phytomass of sweetvetch and control species in relation to the sampling time.

Data	sulla *	loglio	falaride	cicoria
Utilizzazione intensiva				
03/05/99	-0,2 bc	8,3 a	8,1 a	7,2 a
29/06/99	0,5 b	10,8 b	8,8 b	15,6 a
26/10/99	-0,9 c	4,0 a	5,4 a	4,4 a
13/04/00	1,3 a	6,9 a	6,4 a	5,3 a
06/06/00	-0,2 bc	4,4 a	4,8 a	4,3 a
Media	0,1	6,9	6,7	7,4
Utilizzazione estensiva				
13/05/99	-1,0 b	8,8	5,7	8,5
30/07/99	0,8 a	8,6	8,3	10,2
30/05/00	0,5 a	6,5	5,9	7,9
Media	0,1	8,1 a	6,7 a	7,9 a

Le medie seguite da lettera uguale entro data non sono significativamente diverse tra loro con $P < 0,05$ (test di Fisher protetto).

Utilizzazione intensiva: $\text{MDS}_{0,05}$ tra date entro specie = 3,3‰.

* = sulla non confrontabile con le altre specie per eterogeneità delle varianze.

L'eccesso isotopico naturale del terreno era in media 5,42‰, significativamente meno variabile (CV = 9%) rispetto a quello riscontrato nella fitomassa delle specie di controllo e non significativamente differente tra le due epoche e profondità. Attraverso un test t per varianze eterogenee entro data di campionamento, è stato rilevato che nella primavera del primo anno, il $\delta^{15}\text{N}$ era in media significativamente più alto nelle specie di controllo rispetto al terreno, mentre nell'autunno le differenze non erano significative.

In assoluto, il $\delta^{15}\text{N}$ nel terreno è risultato teoricamente sufficiente a garantire un buon livello di precisione per la misura dell'azotofissazione con il metodo NA, senza richiedere l'aggiunta di concime arricchito con ^{15}N (Unkovic et al., 1994).

La quantità di azoto della fitomassa epigea derivante da fissazione atmosferica, stimata mediante il metodo NB, è stata significativamente influenzata dalla specie di controllo e dall'intensità di utilizzazione (Tab. 7).

Con utilizzazione estensiva, la produzione più alta di azoto fissato per taglio è stata ottenuta al primo taglio, la più bassa al secondo taglio del primo anno.

Con utilizzazione intensiva, la produzione di azoto fissato nel foraggio asportato è stata di circa il 35% superiore rispetto alla utilizzazione estensiva. La falaride ha determinato una sottostima di circa il 15% rispetto a loglio e cicoria, per effetto della produzione più elevata rispetto alle altre specie di controllo al secondo taglio del secondo anno. In accordo a quanto riportato in letteratura, il metodo NB si è dimostrato quindi sensibile alle caratteristiche della specie di controllo. La variabilità osservata è attribuibile in gran parte alla scarsa precisione del metodo, più che ad effetti dovuti all'utilizzazione o alla specie di controllo.

Utilizzando il metodo NB, è stata stimata una percentuale di azoto derivante da azotofissazione nella sulla del 71% con un campo di variazione tra 60 e 78%.

Con il metodo NA, le stime sono da considerare preliminari, in quanto ottenute senza aver determinato analiticamente il valore di B per la sulla su substrato privo

Tabella 7 - Quantità di azoto della fitomassa epigea della sulla derivante da azotofissazione simbiotica (kg ha^{-1}) stimata con il metodo NB e con il metodo NA, in relazione all'intensità di utilizzazione, alla specie di confronto e all'epoca di campionamento.

Table 7 - Above-ground sulla phytomass nitrogen fixation (kg ha^{-1}) estimated with the nitrogen balance and the natural abundance method.

Data	Metodo NB			Metodo NA	
	loglio	falaride	cicoria	Media	Media
03/05/99	87 a	94 a	99 a	93	89
29/06/99	37 a	40 a	29 a	35	43
26/10/99	70 a	56 a	67 a	64	66
13/04/00	94 a	39 b	82 a	72	61
06/06/00	43 a	33 a	31 a	36	34
Totale	331	262	308	300	293
13/05/99	124	134	145	134	137
30/07/99	29	33	37	33	34
30/05/00	71	66	62	66	64
Totale	224 b	234 ab	244 a	234	235

Le medie seguite da lettera uguale entro data o sul totale (metodo NB) non sono significativamente diverse tra loro con $P < 0,05$ (test di Fisher protetto). $MDS_{0,05}$ sui totali tra utilizzazioni: NB = 46; NA = 28.

di N in forma combinata. Il valore di B = -2,4 utilizzato per la stima, dovrà infatti essere verificato per via sperimentale.

La percentuale di azoto da fissazione atmosferica stimata con il metodo NA non è stata influenzata né dalla specie di controllo né dall'intensità di utilizzazione, risultando in media pari al 73% con range 71-78%.

Anche con il metodo NA, la produzione di azoto atmosferico è risultata significativamente superiore con utilizzazione intensiva (rispettivamente 297 vs. 240 kg N ha^{-1}). In termini di produzione di azoto fissato, le differenze tra i metodi NA e NB non sono risultate statisticamente significative. È stata osservata inoltre una correlazione altamente significativa ($r = 0,94^{**}$; $n = 24$) tra la produzione totale di azoto da fissazione atmosferica ottenuta con i due metodi e calcolata sulle medie dei singoli tagli (8 tagli x 3 specie di controllo). I coefficienti di correlazione relativi all'azotofissazione stimata con il metodo NA (kg ha^{-1} Ndfa) tra le specie di controllo erano sempre superiori a $0,95^{**}$, mentre per le stime con il metodo NB erano compresi tra $0,81^{**}$ e $0,94^{**}$.

In termini assoluti, il metodo NB ha sottostimato l'azotofissazione rispetto al metodo NA solamente in occasione del primo taglio del secondo anno utilizzando la falaride come specie di controllo.

Considerazioni conclusive

I risultati indicano che la sulla, nell'ambiente considerato, è capace di fissare quantitativi di azoto atmosferico di poco inferiori a 300 kg ha^{-1} nell'ambito di un ciclo produttivo di circa 18 mesi e con utilizzazione intensiva. È stato inoltre evidenziato che l'utilizzazione intensiva è quella che consente di valorizzare appieno le potenzialità produttive della sulla, sotto molteplici aspetti: azotofissazione, produzione totale di fitomassa, distri-

buzione stagionale della produzione e tolleranza alle basse temperature invernali.

La percentuale di azoto da fissazione atmosferica nella fitomassa epigea, di poco superiore al 70% dell'azoto totale, è risultata più alta di alcune leguminose da granella ma più bassa di quanto rilevato per il trifoglio bianco in Nuova Zelanda (Carranca et al., 1999; Kumar e Goh, 2000).

La sulla è capace di assorbire dal terreno sino a 130 kg ha^{-1} di N con utilizzazione intensiva e circa 90 kg ha^{-1} di azoto con utilizzazione estensiva. Questi dati sono simili a quelli ottenuti con le specie di controllo, fatta eccezione per la falaride con utilizzazione intensiva, le cui asportazioni di azoto hanno superato i 170 kg ha^{-1} . Ciò dimostra che la sulla, nelle condizioni ambientali considerate, è capace di assorbire azoto in forma combinata dal terreno in misura non inferiore rispetto a specie non azotofissatrici e quindi può contribuire a prevenire la lisciviazione di nitrati presenti nel terreno durante il periodo di attivo accrescimento.

Il metodo NB si è dimostrato meno preciso rispetto al metodo NA, perché più sensibile alla specie di controllo. La falaride, per la sua elevata produttività e capacità di assorbimento dell'azoto minerale del terreno, ha determinato una sottostima dell'azotofissazione della sulla rispetto a quella ottenuta con cicoria e loglio, in particolare nel secondo anno.

I risultati ottenuti hanno permesso di concludere che, nel sito sperimentale considerato, è possibile applicare il metodo NA per la stima in campo dell'azotofissazione simbiotica delle leguminose sfruttando l'arricchimento naturale in ^{15}N dell'azoto presente nel terreno.

Per poter stimare l'azotofissazione con questo metodo sono necessarie ulteriori verifiche sperimentali se il valore di B ipotizzato per la sulla corrisponde a quello per la sulla allevata su substrato privo di azoto in forma combinata (Sanford et al., 1993). Pur nei limiti indicati, il metodo NA si è rivelato molto meno sensibile alla specie di controllo. Infatti la dinamica della produttività e del contenuto di azoto totale delle specie di controllo è risultata più variabile rispetto a quella relativa al grado di arricchimento isotopico della fitomassa e quindi più influenzata dalla somiglianza tra sulla e specie di controllo.

Tra le variabili misurate per valutare l'affidabilità della specie di controllo, lo stadio fenologico e il rapporto foglie/steli sono quelle che hanno rivelato la minore somiglianza della falaride con la sulla rispetto alle altre due specie di controllo. Il contenuto assoluto di azoto nella fitomassa epigea è un altro fattore importante per la scelta, perché rivela la capacità di assorbimento di azoto minerale dal suolo della specie di controllo, che se troppo elevata rispetto alla leguminosa, determina una sottostima dell'azotofissazione con il metodo NB. È anche fondamentale che la dinamica del contenuto di azoto nella specie di controllo sia simile a quella della leguminosa. Anche da questo punto di vista, la somiglianza tra sulla e specie di controllo è stata minore con la falaride rispetto alle altre due specie di controllo, essendo correlata con lo stadio fenologico.

Infine, per poter valorizzare l'azotofissazione della sulla nei sistemi colturali della collina centro italiana sarebbe utile sviluppare ulteriormente la ricerca per quantificare il contenuto di N da fissazione atmosferica dei residui colturali e delle frazioni ipogee, nonché il suo destino nella successione colturale.

Bibliografia

- Bolger T.P., Pate J.S., Unkovich M.J., Turner N.C. 1995. Estimates of seasonal nitrogen fixation of annual subterranean clover-based pastures using the ^{15}N natural abundance technique. *Plant Soil*, 175:57-66.
- Borreani G., Ciotti A., Peiretti P.G., Re G.A., Roggero P.P., Sargenti P., Sulas L., Valente M.E. 1999. Relazioni tra stadio morfologico di sviluppo, produttività e qualità del foraggio della sulla (*Hedysarum coronarium* L.) in due ambienti collinari. *Riv. Agron.*, 33:170-176.
- Carranca C., de Varennes A., Rolston D. 1999. Biological nitrogen fixation by fababean, pea and chickpea, under field conditions, estimated by the ^{15}N isotope dilution technique. *Europ. J. Agron.*, 10:49-56.
- Gomez K.A., Gomez A.A. 1981. Statistical procedures for agricultural research. Wiley, 680 pp.
- Goudriaan J.H.H. van Laar 1994. Modelling potential crop growth processes. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 238 p.
- Kumar K., Goh K.M. 2000. Biological nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen and nitrogen balance for white clover (*Trifolium repens* L.) and field pea (*Pisum sativum* L.) grown for seed. *Field Crops Res.*, 68:49-59.
- Pate J.S., Unkovich M.J., Armstrong E.L., Sanford P. 1994. Selection of reference plants for ^{15}N natural abundance assessment of N_2 fixation by crop and pasture legumes in South-West Australia. *Aust. J. Agric. Res.*, 45:133-147.
- Roggero P.P., Ballatore B., Sulas L. 2003. Metodologie per la quantificazione in campo dell'azotofissazione simbiotica delle leguminose. *Riv. Agron.*, in stampa.
- Roggero P.P., Santilocchi R., Sargenti P. 1996. Integration of forage and seed production of sulla (*Hedysarum coronarium* L.) in central Italy. In: Parente, Frame J., Orsi ed., Grassland and land use systems, Proc. 16th General meeting of the European Grassland Federation, Grado, 16-19 September 1996. British Grassland Society, 297-300.
- Sanford P., Pate J.S., Unkovich M.J. 1993. A survey of proportional dependence of subterranean clover and other pasture legumes on N_2 fixation in South-West Australia utilizing ^{15}N natural abundance. *Austr. J. Agric. Res.*, 45:165-181.
- Sanford P., Pate J.S., Unkovich M.J., Thompson A.N. 1995. Nitrogen fixation in grazed and ungrazed subterranean clover pasture in South-West Australia assessed by the ^{15}N natural abundance technique. *Austr. J. Agric. Res.*, 46:1427-1443.
- SAS Institute – SAS/STAT User's Guide, version 8, vol. 1^a, 2^a, and 3^a ed. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA, 2000.
- Steel R.D.G., Torrie J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. 2nd ed. McGraw Hill.
- Talamucci P. 1998. Il ruolo della sulla nell'attuale contesto della foraggicoltura italiana. In: La sulla: possibili ruoli nella foraggicoltura mediterranea. I Georgofili – Quaderni – 1998-I, 7-27.
- Unkovich M.J., Pate J.S., Sanford P., Armstrong E. 1994. Potential precision of the $\delta^{15}\text{N}$ natural abundance method in field fixation by crop and pasture legumes in South-West Australia. *Austr. J. Agric. Res.*, 45:119-32.
- Unkovich M.J., Pate J.S., Sanford P. 1997. Nitrogen fixation by annual legumes in Australian Mediterranean agriculture. *Austr. J. Agric. Res.*, 48:267-93.