

Biomasse da praterie seminaturali come fonte di energia: un fuoco di paglia?

A. OSSOLA, G. BRUSA e B.E.L. CERABOLINI

ABSTRACT - *Biomass from seminatural grasslands as energy source: flash in the pan?* - The aim of the study is to evaluate the potentiality of four seminatural herbaceous communities (grasslands of *Arrhenatherion*, *Nardo-Agrostion tenuis*, *Bromion erecti* and *Polygono-Trisetion* alliances) in the Prealpine Lombardy. We quantified the biomass production (stubble height 5 cm), the main bioenergetic features, such as ash, carbon, hydrogen and nitrogen content, and the Higher Heating Value. Biomass values vary greatly, with means between 513 (*Arrhenatherion*) to 227 g m⁻² (*Bromion erecti*). The mean ash content ranges between 4.3-7.7% and mean HHV from 18.3 to 19.6 MJ kg⁻¹. The mean energy per unit area varies between 4.5-9.5 MJ m⁻². We suggest that the management of seminatural grasslands could provide biomass suitable for bioenergy production instead of common energy crops and at the same time promote conservation of habitats and their biodiversity, mostly in protected areas.

Key words: bioenergy, biomass, elemental composition, energy crops, Higher Heating Value, seminatural grasslands

Ricevuto il 3 Novembre 2008
Accettato il 13 Marzo 2009

INTRODUZIONE

L'Italia copre circa l'86% dei propri consumi energetici grazie alle importazioni di petrolio, gas naturale e carbone (ENEA, 2008), le quali provengono per buona parte da contesti geo-politici instabili. Inoltre, nel periodo compreso tra il 1990 e il 2003, si è assistito a un incremento nel consumo di energia superiore al 21%, anche perchè l'efficienza nell'utilizzo di energia è rimasta al livello raggiunto nel 1990. In questo scenario pesantemente negativo, una nota positiva è rappresentata dalla produzione lorda di energia elettrica da biomasse, che è passata da 387 a 6155 milioni di kWh nel decennio 1995-2005 (ISTAT, 2007). Questa produzione è principalmente imperniata sull'utilizzo di residui forestali e agricoli, di scarti di lavorazioni industriali e recentemente sull'utilizzo delle colture energetiche (*energy crops*) erbacee oppure legnose, come le *Short Rotation Forest (SRF)*. Lo sfruttamento delle biomasse ricavabili da comunità erbacee seminaturali è di fatto irrilevante rispetto all'impiego di altri tipi di biomassa vegetale. Scopo del presente studio è di comprendere il potenziale ruolo delle praterie seminaturali per la produzione di bioenergia e di fornire uno stimolo per la valorizzazione delle biomasse derivanti dalle attività di gestione di queste comunità erbacee, in particolar

modo nelle aree protette. La gestione dei prati tramite sfalcio è uno dei metodi più utilizzati per promuoverne la conservazione. Questa pratica interrompe infatti la naturale evoluzione verso popolamenti arbustivi, fenomeno ampiamente diffuso anche sulle Prealpi lombarde in relazione al generale abbandono di ampi tratti di territori marginali economicamente poco redditizi. Poiché questo ambito territoriale è oggi interessato dalla presenza di diverse aree protette (parchi naturali, SIC, ZPS ecc.), l'ente gestore si prende carico della conservazione delle praterie seminaturali, spesso di interesse comunitario ai sensi della Direttiva 92/43/EEC. La gestione tuttavia costituisce dal punto di vista finanziario un costo netto per l'ente gestore. Le biomasse, ricavate dalle comunità seminaturali e il conseguente utilizzo per la produzione di energia, potrebbero rappresentare un'interessante prospettiva per diminuirne i costi di gestione.

MATERIALI E METODI

Campionamento

Sono state selezionate quattro comunità erbacee seminaturali, tra le più ricorrenti nella fascia prealpina lombarda: arrenatereti ovvero prati pingui di bassa

quota appartenenti all'alleanza *Arrhenatherion* Koch 1926; triseteti ovvero prati pingui montani di *Polygono-Trisetion* Br.-Bl. et Tüxen ex Marschall 1947; prati magri calcifili di *Bromion erecti* Koch 1926; e infine, pascoli ad elevata copertura di *Nardus stricta* riferibili a *Nardo-Agrostion tenuis* Sillinger 1933. Le praterie selezionate appartengono perlopiù a syntaxa riferibili a habitat di importanza comunitaria ai sensi della Direttiva 92/43/EEC (EUROPEAN COMMISSION, 2007). La scelta di includere anche i pascoli a *Nardus stricta* nel presente studio è legata sia alla sperimentazione di tecniche adeguate al recupero del valore biologico di pascoli degradati sia per avere un termine di confronto con le praterie falciate.

Per ciascun tipo di prateria sono stati scelti tre siti di campionamento spazialmente distinti. Al momento del prelievo non sussistevano azioni colturali volte ad incrementare la biomassa (es. concimazione e irrigazione) oppure a ridurla (es. sfalcio e pascolamento). I campionamenti sono stati eseguiti mediante un unico prelievo in corrispondenza della massima produzione di biomassa epigea, in genere immediatamente successiva alla fioritura delle graminee dominanti.

All'interno di un plot di 4x4 m, ritenuto rappresentativo della comunità in termini floristico-vegetazionali, sono stati eseguiti casualmente prelievi di biomassa epigea in tre subplot, ciascuno di 0.5x0.5 m. Il numero complessivo di repliche per ciascun tipo di prateria è quindi nove. Il prelievo è avvenuto considerando un'altezza del taglio di 5 cm (CALDEIRA *et al.*, 2005; KAMMANN *et al.*, 2005), permettendo così di simulare gli effetti di uno sfalcio operato con mezzi meccanici e quindi di stimare la biomassa effettivamente asportabile.

Analisi di laboratorio

Entro 24 h dal prelievo i campioni di biomassa sono stati trasferiti in sacchetti di carta e disidratati in stufa ventilata (105 °C per 24 h). Ciascun campione disidratato è stato pesato, ridotto in polvere e quindi preparato per le analisi chimico-fisiche.

Il contenuto percentuale di ceneri nei campioni di biomassa è stato stimato grazie alla combustione in

muffola (575 °C per 3 h), adattando il metodo descritto da EHRMAN (1994). Le ceneri, che rappresentano la frazione di materiale inorganico nella biomassa e sono generalmente composte di ossidi di calcio (CaO), potassio (K₂O), fosforo (P₂O₅), magnesio (MgO), silicio (SiO₂), sodio (Na₂O), ferro (Fe₂O₃), costituiscono un sottoprodotto indesiderato della combustione.

Le analisi riguardanti la composizione chimica elementare (contenuto percentuale di C, H e N) sono state effettuate tramite gascromatografo (Fisons Instruments NA2000 Nitrogen Analyzer, Rodano, Milano, Italia). Le percentuali di carbonio e idrogeno sono essenziali per comprendere le potenzialità energetiche di un combustibile, essendo inoltre correlate al potere calorifico superiore (OBERNBERGER *et al.*, 2006). La determinazione della concentrazione di azoto è invece necessaria per valutare la produzione di NO_x, composti altamente inquinanti e con un rilevante impatto ambientale.

Il potere calorifico superiore (*Higher Heating Value, HHV*) è stato misurato impiegando un calorimetro corredato di bomba di Mahler (Calorimat, I.S.Co., Milano, Italia). *HHV* è la quantità di calore che si rende disponibile per effetto della combustione completa a pressione costante della massa unitaria e quando i prodotti della combustione sono riportati alla temperatura iniziale del combustibile e del comburente.

I dati ricavati dalle analisi di laboratorio sono stati analizzati tramite Anova (test *post-hoc* di Tukey), dopo essere stati normalizzati mediante trasformazione logaritmica (biomassa) o arcoseno (contenuto percentuale di C, H e N); i valori di HHV non sono stati trasformati in quanto già normali. Questi dati sono stati inoltre confrontati con quelli desunti dalla letteratura scientifica specifica senza tuttavia il calcolo di test statistici, data l'eterogeneità sia dei dati stessi (singole misure, *range*, medie ecc.) sia per la differente metodologia di campionamento e/o misurazione riportata dalle fonti bibliografiche consultate.

RISULTATI E DISCUSSIONE

In termini di biomassa secca potenzialmente utilizzabile per la produzione energetica (Tab. 1), gli arrena-

TABELLA 1

Biomassa secca, ceneri, composizione chimica elementare (C, H, N) e Higher Heating Value (HHV) delle praterie seminaturali. I valori sono espressi come media ± deviazione standard; medie con la stessa lettera non sono significativamente differenti nel test post-hoc di Tukey.

Biomass, ash and elemental composition (C, H, N) of the seminatural grasslands. Values are reported as average ± standard deviation; means with the same letter are not significantly different based on the Tukey post-hoc test.

	Biomassa		Ceneri		C		H		N		HHV		HHV	
	g m ⁻²		% peso		% peso		% peso		% peso		MJ kg ⁻¹		MJ m ⁻²	
Arrenatereti	513±129	a	7.7±2.2	a	45.7±0.7	b	6.1±0.1	a	1.4±0.3	c	18.55±0.82	b	9.48±2.19	ab
Nardeti	370±273	ab	4.3±0.4	c	47.7±0.9	a	6.3±0.3	a	2.3±0.7	ab	19.56±0.60	a	7.17±5.07	bc
Brometi	227±107	b	4.9±0.4	bc	47.7±0.6	a	6.3±0.3	a	1.7±0.3	bc	19.62±0.28	a	4.47±2.08	c
Triseteti	426±180	ab	6.3±1.1	ab	46.2±0.7	b	6.2±0.1	a	2.6±1.0	a	18.31±1.11	b	7.76±3.11	ab

tereti denotano un valore medio più elevato, quantunque statisticamente non differente dai triseteti e dai nardeti. I brometi, pur presentando il valore medio più basso, non differiscono statisticamente che dai soli arrenatereti.

I valori di biomassa misurati si accordano nel complesso con quelli riportati in letteratura scientifica. Infatti, in un arrenatereto KAMMANN *et al.* (2005) hanno determinato una biomassa del primo sfalcio tra 400 e 600 g m⁻² nel periodo 1993-2002. SCHLÄPFER, RYSER (1996) hanno invece valutato in prati da sfalcio privi di concimazione, con concimazione moderata ed elevata, una biomassa epigea rispettivamente pari a 484, 535 e 629 g m⁻². Durante gli anni 1994-1996, LEADLEY *et al.* (1999) e NIKLAUS, KÖRNER (2004) hanno stimato per un mesobrometo una biomassa epigea compresa tra 200 e 300 g m⁻². Infine, WILLEMS, VAN NIEUWSTADT (1996) hanno rilevato come la biomassa epigea di prati magri è rimasta pressoché costante durante venti anni, variando tra 200 e 400 g m⁻².

Tuttavia tutti questi valori non indicano la biomassa totale asportabile dalle comunità durante l'anno, bensì la biomassa ricavabile da un singolo evento di sfalcio. Pertanto è possibile sostenere che, soprattutto nei prati pingui, la biomassa qui riportata rappresenti una sottostima della biomassa potenzialmente ricavabile da tali comunità nel corso dell'anno; ad esempio, negli arrenatereti si effettuano abitualmente due sfalci all'anno, eccezionalmente anche quattro. In effetti, KAMMANN *et al.* (2005) riportano come il secondo sfalcio di un prato stabile può determinare una produzione di biomassa epigea pari al 50% di quella prelevata con il primo sfalcio.

Confrontando i valori di biomassa ricavabile dalle praterie seminaturali con quelli di alcune colture energetiche erbacee, è possibile constatare come le praterie seminaturali si caratterizzino per valori di biomassa inferiori rispetto alla maggior parte delle colture (Fig. 1). Tuttavia è altresì importante rilevare che gli *energy crops* sono soggetti a frequenti interventi colturali (arature, semine/piantumazioni, irrigazioni, fertilizzazioni, trattamenti fitosanitari ecc.) e pertanto a diversi input energetici, che complessivamente ne aumentano la produttività. Quando *Panicum virgatum* è coltivato su suoli non concimati, la sua resa energetica è di fatto simile a quella di praterie polifitiche (TILMAN *et al.*, 2006). Le comunità seminaturali prese in esame richiedono in generale un minor numero di interventi colturali e quindi un minore input di energia rispetto agli *energy crops*, quantunque arrenatereti e triseteti richiedano comunemente una annuale concimazione con apporto di azoto.

Gli arrenatereti denotano un contenuto di ceneri nella biomassa più elevato rispetto a nardeti e brometi (Tab. 1). Le ceneri nella biomassa vegetale possono sensibilmente variare in funzione delle condizioni di crescita (tipo di suolo, disponibilità idrica ecc.), della porzione di pianta analizzata (foglie, fusti, nodi, infiorescenze), del periodo e del metodo di raccolta, e del tipo di pianta; ad esempio, piante C3

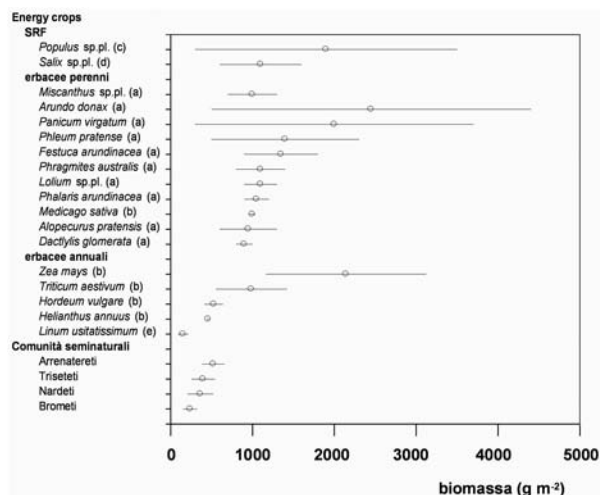


Fig. 1

Biomasse (g m⁻²) ricavate annualmente da alcuni *energy crops* (valori derivati da: a) LEWANDOWSKI *et al.*, 2003; b) MUELLER *et al.*, 2005; c) SIXTO *et al.*, 2007; d) KOPP *et al.*, 2001; e) SANKARI, 2000) e da un singolo sfalcio nelle praterie seminaturali prese in esame. Gli estremi delle barre rappresentano i valori minimi e massimi, mentre il cerchio centrale il valore medio.

Biomass (g m⁻²) annually harvested from energy crops (values according: a) LEWANDOWSKI *et al.*, 2003; b) MUELLER *et al.*, 2005; c) SIXTO *et al.*, 2007; d) KOPP *et al.*, 2001; e) SANKARI, 2000) and from a single cut in seminatural grasslands. Whiskers represent minimum and maximum values, circles the mid-value.

hanno di solito una percentuale di ceneri più elevata rispetto alle C4 (SAMSON, MEHDI, 1998). La composizione floristica della comunità può quindi influenzare sensibilmente il contenuto in ceneri della biomassa, determinando così un'elevata variabilità all'interno della stessa comunità (FLORINE *et al.*, 2006). Nel complesso è possibile sostenere che le praterie analizzate denotano un tenore di ceneri nella biomassa relativamente modesto e comparabile a quello riscontrabile nelle colture energetiche più diffuse. Ad esempio, per colture di *Phalaris arundinacea*, *Miscanthus* sp. e *Arundo donax* vengono indicate rispettivamente percentuali di ceneri pari a 1.9-11.5%, 1.6-4.0% e 4.8-7.8% (LEWANDOWSKI *et al.*, 2003; GONZÁLEZ *et al.*, 2006).

I valori percentuali di C, H e N per la biomassa delle quattro comunità prese in esame sono riassunti nella Tab. 1. Nardeti e brometi si caratterizzano per una percentuale di carbonio nella biomassa superiore rispetto ai prati pingui. In termini di dotazione di idrogeno non esistono invece differenze sostanziali. Al contrario, il contenuto di azoto nella biomassa di triseteti e nardeti presenta valori percentuali maggiori rispetto a quella degli arrenatereti. È necessario sottolineare che il contenuto percentuale di azoto delle praterie in esame è superiore rispetto a quello delle più importanti colture energetiche. Infatti, per *Phalaris arundinacea*, *Miscanthus* sp. e *Arundo donax*,

sono indicati rispettivamente valori di azoto pari a 0.45-1.54%, 0.19-0.67% e 0.20-0.40% (LEWANDOWSKI *et al.*, 2003; GONZÁLEZ *et al.*, 2006). In termini di potere calorifico superiore (*HHV*) per unità di massa, nardeti e brometi denotano valori più elevati rispetto ai prati pingui (Tab. 1). Se raffrontiamo questi valori con quelli degli *energy crops* non si riscontrano differenze rilevanti, nemmeno con le *SRF* (Tab. 2). Il contenuto energetico delle biomasse (su base secca e al netto delle ceneri) è piuttosto simile per tutte le specie vegetali ed è compreso nell'intervallo 17-21 MJ kg⁻¹ (MCKENDRY, 2002a). Se invece consideriamo l'*HHV* per unità di superficie (Tab. 1), arrenatereti e triseteti si caratterizzano per una maggiore energia per unità di superficie rispetto ai brometi. Questo elevato valore è prevalentemente imputabile alla maggiore biomassa riscontrata nei prati pingui. Anche per gli *energy crops* la biomassa risulta condizionare in modo sostanziale il contenuto energetico per unità di superficie e per questo presentano in prevalenza maggiori valori di *HHV* in MJ m⁻² rispetto alle comunità seminaturali indagate (Tab. 2).

Le caratteristiche in generale utilizzate per la valutazione comparativa degli *energy crop* sono (MCKENDRY, 2002a):

- elevato raccolto (massima produzione di materia secca per unità di superficie);
- basso input di energia e nutrienti e più in generale bassi costi di produzione;
- basso contenuto di contaminanti (es. suolo).

Nella valutazione appare quindi trascurato, o quantomeno di secondaria importanza, l'impatto ambientale degli *energy crops*, in particolare sulla diversità biologica. BONARI *et al.* (2004) riportano come la biodiversità delle colture energetiche può variare notevolmente in relazione a diversi fattori, anche se il livello di biodiversità degli *energy crops* annuali e quello delle colture erbacee tradizionali (tipo il mais e il sorgo) è del tutto analogo; in antitesi, le *SRF* presentano di norma una diversità nelle piante sottostanti la coltura e una varietà di uccelli e di piccoli mammiferi decisamente maggiore rispetto alle coltivazioni di specie erbacee utilizzate come *energy crops*. La conversione verso sistemi produttivi agro-energetici può comportare un decremento complessivo della biodiversità; basti in tal senso considerare gli effetti derivanti dalla sostituzione di un sistema colturale basato sul pascolo o sul prato-pascolo rispetto ad una qualunque *SRF* (BONARI *et al.*, 2004). Occorre inoltre rilevare che la maggior parte delle piante coltivate come *energy crops* appartengono a specie esotiche; sussiste quindi il rischio che alcune di esse possano naturalizzarsi e quindi divenire piante invasive (CROSTI, FORCONI, 2007).

La Tab. 3 riassume, per gli *energy crops* e le comunità seminaturali analizzate nel presente studio, i principali attributi che dovrebbero condizionare la scelta nel campo delle bioenergie e il corrispettivo contributo positivo o negativo (informazioni rielaborate da MCKENDRY, 2002a). Ai fini del presente studio sono stati aggiunti gli attributi "biodiversità", intesa come capacità di sostenere un elevato valore nei diversi livelli in cui è scomponibile la diversità biologica, e "ricarica di carbonio nei suoli", aspetto non secondario se analizzato in Lombardia, regione fortemente sbilanciata verso quote elevate di emissioni di CO₂ (OSSOLA *et al.*, 2007).

Confrontando i contributi alla selezione tra *energy crops* e comunità seminaturali (praterie), risulta come queste ultime presentino una ridotta velocità di crescita e pertanto scarsa quantità di biomassa raccolta. Minore rispetto alle *SRF* è anche la densità sterica (*bulk density*) della biomassa, in relazione alla prevalente composizione erbacea delle praterie (MCKENDRY, 2002a). La facilità nella raccolta e nel trasporto risulta variabile nelle comunità seminaturali, in quanto talvolta ubicate in ambiti che sono serviti da vie di comunicazione percorribili con difficoltà. Le comunità seminaturali presentano invece elevati livelli di biodiversità generalmente maggiori a quelli degli *energy crops*, quantomeno a livello di specie vegetali autoctone. Altri aspetti positivi riguardano la maggior facilità di gestione delle comunità seminaturali, in particolare la ridotta richiesta di pratiche colturali (impiego di fitofarmaci e concimi, irrigazione ecc.) e di input di energia (es. energia dei combustibili fossili per autotrazione), nonché la pos-

TABELLA 2

Biomasse (valori corrispondenti alle medie rappresentate in Fig. 1) e Higher Heating Value (valori espressi in MJ kg⁻¹ derivati da: a) VANDE WALLE et al., 2007; b) WILEN et al., 1996; c) SCHMIDT et al., 1993; d) MILES et al., 1994; e) ETSU, 1988) per alcune colture energetiche.

Biomass (values from means showed in Fig. 1) and Higher Heating Value (values in MJ kg⁻¹ according: a) VANDE WALLE et al., 2007; b) WILEN et al., 1996; c) SCHMIDT et al., 1993; d) MILES et al., 1994; e) ETSU, 1988) of some energy crops.

	Biomassa g m ⁻²	HHV	
		MJ kg ⁻¹	MJ m ⁻²
	A	B	A * B
<i>Energy crops</i>			
<i>SRF</i>			
<i>Populus</i> sp.pl. (a)	1900	19.63	37.30
<i>Salix</i> sp.pl. (a)	1100	19.92	21.91
erbacee perenni			
<i>Miscanthus</i> sp.pl. (b)	2450	19.15	46.92
<i>Arundo donax</i> (b)	2000	18.06	36.12
<i>Panicum virgatum</i> (d)	1400	18.07	25.30
<i>Medicago sativa</i> (c)	998	18.43	18.39
<i>Phalaris arundinacea</i> (b)	1000	18.37	18.37
erbacee annuali			
<i>Zea mays</i> (c)	2143	18.47	39.57
<i>Triticum aestivum</i> (c)	986	17.82	17.57
<i>Hordeum vulgare</i> (e)	528	19.24	10.15
<i>Helianthus annuus</i> (c)	459	17.41	7.98
<i>Linum usitatissimum</i> (b)	153	19.40	2.97

TABELLA 3

Attributi che condizionano la selezione di specie/comunità nel campo delle bioenergie: +: contributo positivo nella scelta; -: contributo negativo; ±: contributo variabile in relazione alla specie/comunità.

Attributes affecting selection of species/communities in bioenergy issue: +: positive contribution at the choice; -: negative contribution; ±: unpredictable contribution in accord to species/community.

Attributi	Energy crops		Comunità
	SRF	erbacee perenni	seminaturali
Velocità di crescita	+	+	-
Facilità di			
produzione	-	-	+
raccolta e trasporto	+	+	±
Basso contenuto in			
umidità	±	±	±
ceneri	±	-	±
alcali	±	±	±
Elevata densità sterica	+	-	-
Ricarica di carbonio nel suolo	±	-	+
Elevata biodiversità	±	-	+

sibilità di ricaricare i suoli di carbonio, funzione svolta in particolare da comunità erbacee stabili e polifittiche (TILMAN *et al.*, 2006).

L'eventuale utilizzo delle praterie seminaturali per la produzione di energia rinnovabile eliminerebbe inoltre il problema etico della trasformazione di biomasse edibili ai fini energetici, tipica di alcuni *energy crops* (grano, mais, orzo ecc.). Occorre infatti sottolineare come una politica energetica che ricorra al largo impiego degli *energy crops* avrebbe necessità di una rilevante quota dei terreni attualmente a uso agricolo (RUSSI, 2008) oppure dell'erosione di habitat naturalisticamente rilevanti. Ad esempio, si stima che il guadagno in biodiversità, prodotto dal minor impatto del *climate change* come conseguenza della contrazione nell'utilizzo dei combustibili fossili, non sarebbe affatto compensato dalla perdita di habitat naturali per la produzione di biocarburanti (TEN BRINK *et al.*, 2006). Cambiamenti nell'uso del suolo innescati dalle coltivazioni di *energy crops* potrebbero addirittura portare a un incremento delle emissioni di gas clima-alteranti (SEARCHINGER *et al.*, 2008).

In definitiva, ipotizzando che il consumo di energia elettrica annuo pro-capite in Italia sia pari a 1178 kWh abitante⁻¹ a⁻¹ per i soli consumi domestici (ISTAT, 2007) e ammettendo che l'efficienza di un impianto di conversione della biomassa tramite combustione sia compresa tra 20% e 40% (MCKENDRY, 2002b), è possibile stimare che la superficie di comu-

nità seminaturale necessaria per soddisfare il consumo energetico pro-capite è compresa tra 1000 e 5000 m². Nello specifico gli arrenatereti, avendo un contenuto energetico per unità di superficie maggiore (Tab. 1), richiedono una superficie minore (1114-2228 m² pro-capite). Al contrario, lo sfruttamento dei brometi richiederebbe una superficie più estesa per coprire la quota di energia pro-capite, compresa tra 2380-4761 m². Questa stima trascura tuttavia alcuni importanti parametri ai fini della valutazione del bilancio energetico, come ad esempio il tenore di umidità alla raccolta e l'energia utilizzata per lo sfalcio, il trasporto della biomassa e il funzionamento degli impianti di trasformazione.

CONCLUSIONI

Partendo dal presupposto che tutte le biomasse possano essere impiegate in impianti per la generazione di energia (MCKENDRY, 2002a), il presente studio ha evidenziato come le praterie seminaturali possano essere realmente un'utile integrazione per la produzione di energie rinnovabili. Tuttavia è necessario sottolineare che le biomasse ricavabili da queste comunità erbacee non possono risolvere il problema energetico, pur rappresentando una fonte di energia immediatamente disponibile e a basso impatto ambientale.

Pur non avendo condotto un'analisi economica specifica, è plausibile sostenere che il costo complessivo dello sfruttamento delle comunità seminaturali dovrebbe essere notevolmente inferiore rispetto a quello degli *energy crops* se consideriamo gli elevati "costi ambientali" impliciti in queste colture (elevate emissioni di CO₂, impoverimento dei suoli ecc.). Le biomasse da praterie seminaturali dovrebbero essere di fatto svincolate da una pura e semplice logica di mercato per le molteplici funzioni svolte (ecologiche, paesaggistiche, turistiche ecc.).

La gestione tradizionale delle praterie seminaturali affiancata dall'innovativo utilizzo delle biomasse per la produzione di energia, permetterebbe la conservazione di habitat d'importanza comunitaria e dei relativi valori di biodiversità, che in assenza di una adeguata gestione potrebbero rischiare di scomparire a seguito delle naturali successioni ecologiche.

In aggiunta, la scelta di impiegare le biomasse provenienti da vegetazioni spontanee, anche degradate (rovetti, comunità di piante esotiche invasive ecc.), potrebbe rappresentare un'ulteriore opportunità per la gestione naturalisticamente orientata delle aree protette, in cui il mantenimento di elevati livelli di biodiversità costituisce una priorità nella politica di governo del territorio.

Ringraziamenti - La presente ricerca è stata finanziariamente supportata dal Centro Regionale per la Flora Autoctona (CFA). Si ringrazia inoltre il Parco del Monte Barro, il Parco Regionale del Campo dei Fiori e l'Oasi Palude Brabbia per i permessi di campionamento concessi e Daniela Grande per il supporto fornito in campo.

LETTERATURA CITATA

- BONARI E., GALLI M., PICCIONI E., 2004 – *Le funzioni agroecologiche delle colture "dedicate" ad uso energetico*. In: FAINI A., NOCENTINI G. (Eds.), *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm*. Quaderno ARSIA 6/2004: 79-85. Agenzia Regionale Sviluppo e Innovazione settore Agricolo-forestale, Firenze.
- CALDEIRA M., HECTOR A., LOREAU M., PEREIRA J., 2005 – *Species richness, temporal variability and resistance of biomass production in a mediterranean grassland*. *Oikos*, 110: 115-123.
- CROSTI R., FORCONI V., 2007 – *Espansione delle colture da biomassa sul territorio italiano: incognite legate all'introduzione di specie aliene potenzialmente invasive*. In: FORCONI V., CIPOLLARO S., VISICCHIO F., CROSTI R. (Eds.), *Colture a scopo energetico e ambiente. Sostenibilità, diversità e conservazione del territorio*. Atti Convegno APAT: 49-58. Roma.
- EHRMAN T., 1994 – *Standard method for ash in biomass*. National Renewable Energy Laboratory, Golden, USA.
- ENEA, 2008 – *Rapporto energia e ambiente 2007. Analisi e scenari*. Ente Nuove tecnologie, Energia e Ambiente, Roma.
- ETSU, 1988 – *Straw firing of industrial boilers*. Report B1158, Energy Technology Support Unit, London.
- EUROPEAN COMMISSION, 2007 – *Interpretation manual of European Union Habitats*. Eur 27.
- FLORINÉ S.E., MOORE K.J., FALES S.L., WHITE T.A., BURRAS C.L., 2006 – *Yield and composition of herbaceous biomass harvested from naturalized grassland in southern Iowa*. *Biomass Bioenerg.*, 30: 522-528.
- GONZÁLEZ J., GONZÁLEZ-GARCÍA C., RAMIRO A., GANÁN J., AYUSO A., TUREGANO J., 2006 – *Use of energy crops for domestic heating with a mural boiler*. *Fuel Process. Technol.*, 87: 717-726.
- ISTAT, 2007 – *Statistiche ambientali*. Annuario n.9. ISTAT, Roma.
- KAMMANN C., GRÜNHAGE L., GRÜTERS U., JANZE S., JÄGER H., 2005 – *Response of aboveground grassland biomass and soil moisture to moderate long-term CO₂ enrichment*. *Basic Appl. Ecol.*, 6: 351-365.
- KOPP R.F., ABRAHAMSON L.P., WHITE E.H., VOLK T.A., NOWAK C.A., FILLHART R.C., 2001 – *Willow biomass production during ten successive annual harvests*. *Biomass Bioenerg.*, 20: 1-7.
- LEADLEY P., NIKLAUS P., STOCKER R., KÖRNER C., 1999 – *A field study of the effects of elevated CO₂ on plant biomass and community structure in a calcareous grassland*. *Oecologia*, 118: 39-49.
- LEWANDOWSKI I., SCURLOCK J.M.O., CHRISTOU M., 2003 – *The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe*. *Biomass Bioenerg.*, 25: 335-361.
- MCKENDRY P., 2002a – *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass*. *Bioresource Technol.*, 83: 37-46.
- , 2002b – *Energy production from biomass (part 2): conversion technologies*. *Bioresource Technol.*, 83: 47-54.
- MILES T.R., MILES T.R., BAXTER L.L., BRYERS R.W., JENKINS B.M., ODEN L.L., 1994 – *Alkali deposits found in biomass power plants. A preliminary investigation of their extent and nature*. National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO.
- MUELLER L., BEHRENDT A., SCHALITZ G., SCHINDLER U., 2005 – *Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate*. *Agr. Water Manage.*, 75: 117-136.
- NIKLAUS P., KÖRNER C., 2004 – *Synthesis of a six-year study of calcareous grassland responses to in situ CO₂ enrichment*. *Ecol. Monogr.*, 74: 491-511.
- OBERNBERGER I., BRUNNER T., BARNTHALER G., 2006 – *Chemical properties of solid biofuels - significance and impact*. *Biomass Bioenerg.*, 30: 973-982.
- OSSOLA A., BRUSA G., PIERCE S., CERABOLINI B., 2007 – *Ruolo dei Parchi lombardi ai fini del sequestro di carbonio*. *Inform. Bot. Ital.*, 39: 333-341.
- RUSSI D., 2008 – *An integrated assessment of a large-scale biodiesel production in Italy: Killing several birds with one stone?* *Energ. Policy*, 36: 1169-1180.
- SAMSON R., MEHDI B., 1998 – *Strategies to reduce the ash content in perennial grasses*. In: *Proc. bioenergy '98 - expanding bioenergy partnerships: 1124-1131*. October 4-8, Madison, WI. Great lakes regional biomass energy program, Chicago, IL.
- SANKARI H.S., 2000 – *Linseed (Linum usitatissimum L.) Cultivars and Breeding Lines as Stem Biomass Producers*. *J. Agron. Crop Sci.*, 184: 225-231.
- SCHLÄPFER B., RYSER P., 1996 – *Leaf and root turnover of three ecologically contrasting grass species in relation to their performance along a productivity gradient*. *Oikos*, 75: 398-406.
- SCHMIDT A., ZSCHETZSCHE A., HANTSCH-LINHART W., 1993 – *Analyse von biogenen Brennstoffen*. Institut für Verfahrens-, Brennstoff- und Umwelttechnik, TU Wien.
- SEARCHINGER T., HEIMLICH R., HOUGHTON R.A., DONG F., ELOBEID A., FABIOSA J., TOKGOZ S., HAYES D., YU T.-H., 2008 – *Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change*. *Science*, 319: 1238-1240.
- SIXTO H., HERNÁNDEZ M.J., BARRIO M., CARRASCO J., CAÑELLAS I., 2007 – *Plantaciones del género Populus para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión*. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For. For.*, 16: 277-294.
- TEN BRINK B., ALKEMADE R., BAKKENES M., EICKHOUT B., DE HEER M., KRAM T., MANDERS T., VAN OORSCHOT M., SMOUT F., CLEMENT J., VAN VUUREN D., WESTHOEK H., MILES L., LYSENKO I., FISH L., NELLEMAN C., VAN MEIJL H., TABEAU A., 2006 – *Cross-roads of Planet Earth's Life. Exploring means to meet the 2010-biodiversity target*. Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven.
- TILMAN D., HILL J., LEHMAN C., 2006 – *Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass*. *Science*, 314: 1598-1600.
- VANDE WALLE I., VAN CAMP N., VAN DE CASTEELE L., VERHEYEN K., LEMEUR R., 2007 – *Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) I—Biomass production after 4 years of tree growth*. *Biomass Bioenerg.*, 31: 267-275.
- WILEN C., MOILANEN A., KURKELA E., 1996 – *Biomass feedstock analyses*. VTT Publications - Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- WILLEMS J., VAN NIEUWSTADT M., 1996 – *Long-term after effects of fertilization on above-ground phytomass and species diversity in calcareous grassland*. *J. Veg. Sci.*, 7: 177-184.

RIASSUNTO - Scopo del presente lavoro è quello di valutare le potenzialità bioenergetiche di quattro comunità erbacee seminaturali (praterie di *Arrhenatherion*, *Nardo-Agrostion tenuis*, *Bromion erecti* e *Polygono-Trisetion*) presenti nell'area prealpina lombarda. Sono state pertanto quantificate la biomassa potenzialmente destinabile alla produzione di bioenergia (altezza di taglio di 5 cm) e le principali caratteristiche bioenergetiche, come il contenuto in ceneri, la composizione chimica elementare (C, H, N) e il potere calorifico superiore (HHV). I valori di bio-

massa variano molto, con medie tra 513 (*Arrhenatherion*) e 227 g m⁻² (*Bromion erecti*). Il contenuto di ceneri varia tra 4.3-7.7%, mentre HHV tra 18.3-19.6 MJ kg⁻¹. L'energia per unità di superficie è compresa tra 4.5-9.5 MJ m⁻². Questo lavoro suggerisce che la gestione delle praterie seminaturali potrebbe fornire biomasse utili per la produzione di bioenergia alternative a quelle dei comuni *energy crops* e allo stesso tempo contribuire alla conservazione di questi habitat e della loro biodiversità, in particolare modo nelle aree protette.

AUTORI

Alessandro Ossola, Guido Brusa, Bruno E.L. Cerabolini, Dipartimento di Biologia Strutturale e Funzionale, Università dell'Insubria, Via Dunant 3, 21100 Varese, e-mail: guido.brusa@uninsubria.it