

Caratterizzazione energetica di specie arboree e arbustive di aree collinari e montane della Basilicata

Todaro L, Scopa A, De Franchi AS*

Dipartimento di Scienze dei Sistemi Colturali, Forestali e dell'Ambiente, Università della Basilicata, v. dell'Ateneo Lucano 10, I-85100 Potenza (Italy) - *Corresponding author: Antonio Sergio De Franchi (defranchi@unibas.it).

Abstract: *Energetic evaluation of indigenous tree and shrub species in Basilicata, Southern Italy.* An evaluation of energetic characteristics such as *high calorific value* (on ash-free dry weight basis), ash, carbon, nitrogen, and moisture content of 12 indigenous tree and shrub species of Southern Italy (Basilicata Region) was carried out. The studied species are the most abundant in this area: *Quercus cerris* L., *Quercus pubescens* Willd., *Fraxinus ornus* L., *Populus canescens* (Aiton) Smith, *Salix alba* L., *Alnus cordata* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Olea europaea* L., *Spartium junceum* L., *Rubus hirtus* W., *Onopordum illirium* L., *Arundo donax* L. For *Q. cerris*, *Q. pubescens* and *O. europaea* L., the energetic characteristics were measured by separating the wood components from the leaves. *Q. cerris* leaves contained the greatest high calorific value. *F. ornus* leaves had a greater ash content than the other samples while the lowest values were measured for *S. junceum*, *Q. pubescens* and *R. pseudoacacia*. The highest content of Carbon was in *O. europaea* leaves. *A. donax* and *O. illirium* had the lower level of high calorific value and Carbon than all the other species. The highest Nitrogen content was measured in *Q. cerris* leaves and the lowest one in *F. ornus* wood components.

Keywords: High calorific value, ashes, potential biomass, Mediterranean species, Basilicata, Italy.

Received: Jun 13, 2006 - Accepted: Dec 20, 2006.

Citation: Todaro L, Scopa A, De Franchi AS, 2007. Caratterizzazione energetica di biomasse agro-forestali presenti in aree collinari e montane della Basilicata. *Forest@* 4 (1): 42-50. [online] URL: <http://www.sisef.it/>.

Introduzione

La costante ed inevitabile accelerazione con cui mutano, a livello mondiale, gli equilibri socio-ambientali impone l'adozione di misure volte alla programmazione, a breve, medio e lungo termine, di concrete strategie di sviluppo energetico sostenibile. In particolare, la necessità di supportare le esigenze mondiali di risorse energetiche pone notevoli dubbi sull'attuale conduzione dei consumi di combustibili di origine fossile. Le fonti di energia non rinnovabile sono destinate, in tempi non lontani, ad esaurirsi, mentre la crescita dei consumi dei paesi industrializzati dipende sempre più dalle disponibilità energetiche di cui poter disporre. E' indubbio che l'affacciarsi sullo scenario internazionale dei paesi Asiatici porterà ad un incremento delle richieste di risorse energetiche da destinare al settore sviluppo industriale, artigianale e ad un miglioramento delle condizioni di vita. Tutto ciò deve far riflettere i governi occidentali che, non potendo diminuire le richieste

di energia dei propri paesi, dovrebbero ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e puntare sempre più su fonti energetiche rinnovabili anche attraverso l'applicazione di corrette misure che ne prevedano la loro ottimizzazione e, quindi, il loro governo.

Tra le fonti energetiche rinnovabili va riconosciuto alle biomasse vegetali l'importante ruolo svolto a sostegno del sistema energetico, grazie alla loro diffusa disponibilità sul territorio e alla capacità e duttilità nel sostituire, per alcune necessità, il combustibile fossile. L'uso di tali risorse può contribuire al miglioramento della bilancia dei pagamenti e alla riduzione dell'immissione di CO₂ a scapito dello stock di capitale naturale. La CO₂ prodotta dalla combustione della biomassa risulta, infatti, bilanciata da quella fissata attraverso la fotosintesi ad eccezione della CO₂ generata dai processi di lavorazione, trasporto e stoccaggio delle biomasse stesse.

Notevoli sforzi tendenti a far rafforzare l'utilizzo di fonti alternative al petrolio sono stati compiuti da

gli Stati dell'Unione Europea per far passare, entro il 2010, da 65 a 130 Mtep/anno la quantità di energia prodotta mediante l'utilizzo di colture energetiche (ANPA 2001). L'Italia dovrebbe ridurre, entro il 2010-2012, del 3-4% le emissioni di CO₂ e di altri gas ad effetto serra, con una diminuzione stimata dei consumi di risorse fossili di 8-10 Mtep anno⁻¹ ottenuta da biomasse. L'abbandono di aree coltivate ha provocato scompensi socio-economici e problemi di gestione del territorio con il conseguente incremento dei rischi idrogeologici. Si potrebbe invertire questa tendenza riconvertendo parte del comparto agricolo verso produzioni che incrementino il reddito promuovendo l'inserimento negli ordinamenti produttivi di colture energetiche da biomassa (Romano 2004).

La strutturazione di una filiera energetica locale necessita di azioni che tentino di colmare il *gap* di conoscenze sulle caratteristiche energetiche delle specie indigene tradizionalmente utilizzate dalle popolazioni (Kataki & Konwer 2001) e maggiormente adattabili alle particolari condizioni stazionali della stessa area.

Il principale obiettivo del presente lavoro è la caratterizzazione energetica di diverse specie vegetali autoctone, attraverso la determinazione di alcuni parametri chimico-fisici, la cui conoscenza è propedeutica per l'utilizzo delle stesse in sistemi di conversione energetica (Hakkila 1989, Riva 1990, Gerardi 2000).

Materiali e metodi

Area di studio

Il territorio oggetto dello studio è circoscritto ai comprensori delle Comunità Montane "Collina Materana", in Provincia di Matera, e "Camastra Alto Sauro" in Provincia di Potenza. L'estensione territoriale agroforestale dei Comuni dell'area è riportata

nelle Tab. 1 e Tab. 2 (ISTAT 2000). La superficie totale delle due aree, comprensiva anche di porzioni di territorio non agricolo, è pari a 112354 ettari e rappresenta l'11.2% dell'intero territorio regionale.

Le Comunità Montane sono caratterizzate da un'ampia variabilità altimetrica, pedologica e vegetazionale. Le due aree, sebbene contigue, mostrano caratteri morfologici e climatici diversi, estendendosi dalle basse colline dell'Agri, a clima arido, in cui prevale l'indirizzo colturale cerealicolo ed olivicolo, a quelle tipicamente montane con ampie superfici boscate in cui predominano le attività silvo-pastorali. A quote basse, vegetano specie arboree e/o arbustive (pioppi, salici, saliconi, ecc.) tipiche di zone umide mentre nelle zone più aride vegetano specie caratteristiche della macchia mediterranea (corbezzolo, lentisco, leccio, pini mediterranei, ecc.). Verso ovest, salendo di quota altimetrica, si riscontrano zone coltivate alternate ad aree boscate con prevalenza di cerro e roverella. A quote superiori si riscontra la presenza di faggete frammiste ad abete bianco con presenza di frassino e ontano napoletano. L'intera area è caratterizzata principalmente da suoli argillosi (calanchi) e da evidenti fenomeni erosivi a cui si alternano, ad ovest, suoli a matrice carbonatica.

I climodiagrammi di Fig. 1 e 2 evidenziano che il territorio delle due Comunità Montane è caratterizzato da precipitazioni autunno-invernali. Nell'area sono frequenti intensi freddi repentini con precipitazioni nevose sia nel periodo invernale che nelle prime fasi primaverili. Nella zona occidentale, in provincia di Potenza, vi è un clima più freddo mentre nella zona orientale, in provincia di Matera, il clima è mediterraneo, con estati secche e precipitazioni di scarsa rilevanza che, in alcune annate, non raggiungono i 400 mm.

Specie vegetali

Le specie autoctone esaminate sono state le seguen-

Tab. 1 - Superficie agroforestale per i comuni appartenenti alla Comunità Montana Camastra-Alto Sauro.

Comuni	SAU (ha)					
	Seminativi	Coltivazioni permanenti	Prati e pascoli	Pioppeti	Boschi	Altra sup.
Abriola	1135	111	2205	15	4229	284
Anzi	2303	137	1193	-	2625	145
Calvello	1343	129	3904	-	3487	635
Corleto Perticara	3464	287	2712	-	1776	348
Guardia Perticara	2016	257	1985	-	666	122
Laurenzana	2288	43	3331	-	1442	307
<i>Totale</i>	<i>12549</i>	<i>964</i>	<i>15330</i>	<i>15</i>	<i>14225</i>	<i>1841</i>

Tab. 2 - Superficie agroforestale per i comuni appartenenti alla Comunità Montana Collina Materana.

Comuni	SAU (ha)				
	Seminativi	Coltivazioni permanenti	Prati e pascoli	Boschi	Altra sup.
Accettura	1240	113	1281	611	794
Aliano	4492	1022	6	1344	1637
Cirigliano	786	95	372	326	106
Craco	5133	159	1139	3	267
Gorgoglione	1541	111	906	466	148
San Mauro Forte	5129	313	678	866	622
Stigliano	12107	1031	3418	3298	499
Totale	30428	2844	7800	6914	4073

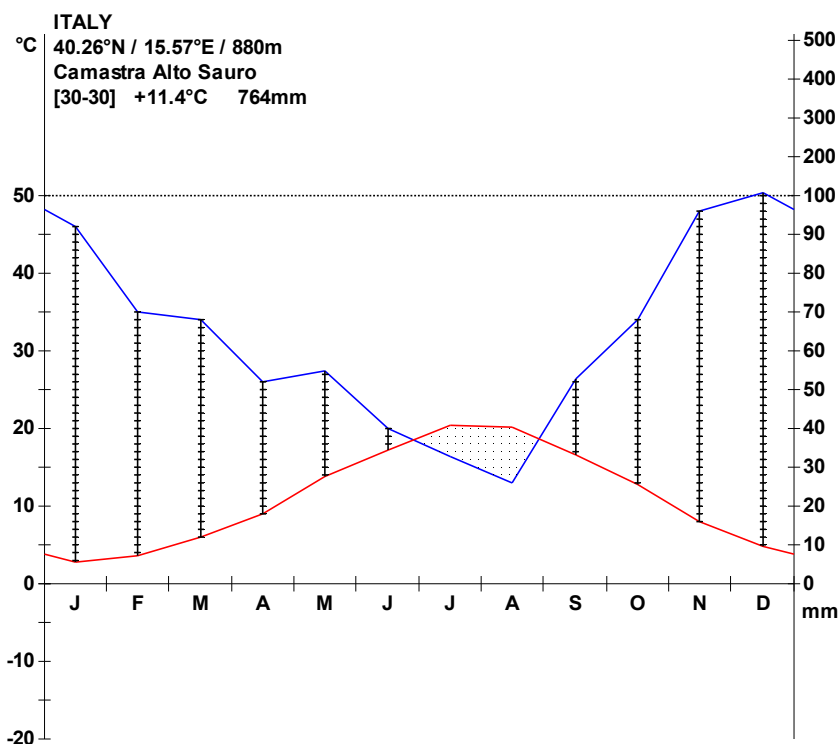
ti:

- forestali: cerro (*Quercus cerris* L.), roverella (*Quercus pubescens* Willd.), orniello (*Fraxinus ornus* L.)
- ripariali: pioppo (*Populus canescens* (Aiton) Smith), salice (*Salix alba* L.), ontano (*Alnus cordata* L.)
- rustiche e rappresentative della macchia mediterranea (buona capacità pollonifera e/o di stabilizzazione dei versanti): robinia (*Robinia pseudoacacia* L.) ginestra (*Spartium junceum* L.), rovo (*Rubus hirtus* W.), cardo (*Onopordum illirium* L.), canna comune (*Arundo donax* L.)
- agronomiche intensive: olivo (*Olea europaea* L.)

Sono state scelte specie pluriennali, come *P. canescens* e *S. alba*, per la loro nota attitudine a produrre biomassa vegetale (circa 10-15 t ha⁻¹ anno⁻¹).

R. pseudoacacia, *S. junceum*, e *O. illirium* sono state invece scelte per la loro rusticità. Le altre specie sono state prese in considerazione per l'elevata diffusione sul territorio considerato. Le specie forestali (*Q. pubescens*, *Q. cerris* e *F. ornus*) sono state individuate nella fascia altimetrica 700÷1200 m s.l.m. mentre le altre specie in quella compresa fra 200 e 700 m s.l.m. I prelievi di campioni, in entrambe le fasce altimetriche, sono stati eseguiti su aree esposte a sud per ridurre la variabilità attribuibile al fattore ambientale. La raccolta è avvenuta in autunno per *Q. pubescens*, *Q. cerris*, *F. ornus*, *O. europaea* e *R. hirtus* mentre le altre specie sono state raccolte a fine luglio. Nei due comprensori sono stati individuati 52 siti di campionamento, 4 per ognuno dei 13 comuni. Per ogni sito

Fig. 1 - Climodiagramma di Walter & Leight relativo alla Comunità Montana Camastra Alto-Sauro (periodo 1970-2003).



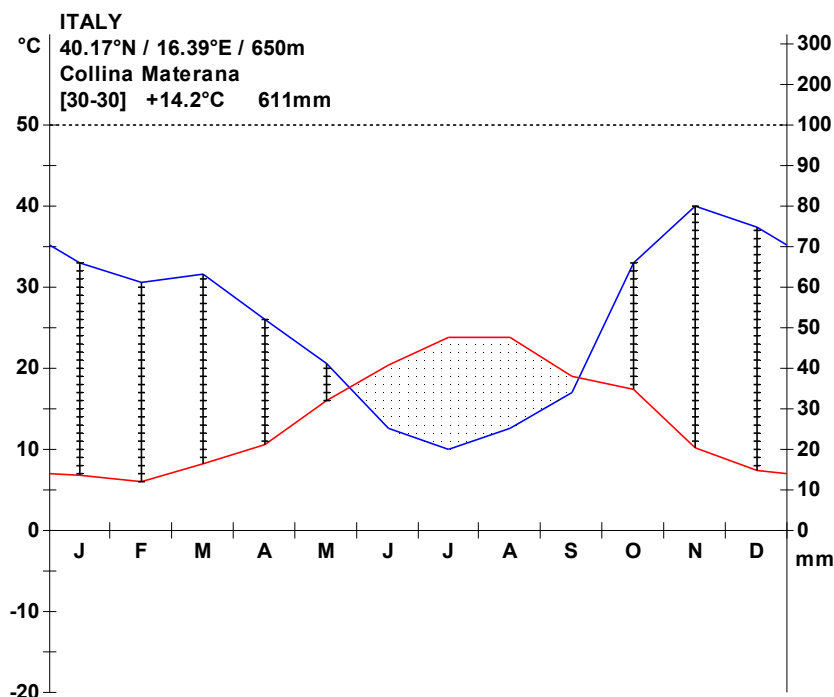


Fig. 2 - Climodiagramma di Walter & Leight relativo alla Comunità Montana Collina Materana (periodo 1970-2003).

sono stati individuati e raccolti i campioni delle 12 specie prelevando rametti, con diametro inferiore a 3 cm (piante arboree), piante intere (piante erbacee) e parti di esse (piante arbustive).

Per *Q. cerris*, *F. ornus*, e *O. europea* la componente legnosa (rametti) è stata separata dalle foglie. Per tutte le altre specie esaminate, le varie parti della pianta non sono state separate tra loro.

Analisi chimico-fisiche

L'umidità è stata determinata secondo la norma UNI EN 13183-1 (2003), specifica per segati ed altri prodotti legnosi, dove il valore di umidità è determinato riferendosi al peso secco del campione.

Il potere calorifico superiore (*pcs*), riferito alla sostanza secca senza ceneri, è stato determinato su campioni omogeneizzati privi di umidità, facendo uso della bomba calorimetrica di Berthelot-Malher (Canagaratna & Witt 1988, ISCO 1991). Il metodo è consigliato dalle Norme del Comitato Termotecnico Italiano (2003).

La quantità in ceneri è stata determinata secondo quanto descritto da Miller (1998). 500 mg di campione omogeneo secco sono stati posti in capsula di porcellana, in precedenza tarata e asciugata in stufa a 105°C e, in seguito, posti in muffola fino a 500°C in circa 2 ore, con un gradiente di 4°C min⁻¹. I campioni, prima della pesata, sono stati posti a raffreddare in essiccatore.

Il contenuto in Carbonio e Azoto è stato determinato attraverso un *Autoanalizzatore Elementare EA-1100*

(Carlo Erba Instruments, Milano, Italia) automatizzato. La calibrazione è stata effettuata con il metodo del *K-factor* e la restituzione dei dati è stata elaborata con software *EAGER 200*[®] ver. 1.05.

Analisi statistica

I valori riferiti al contenuto in ceneri, Carbonio e Azoto sono il risultato finale di 3 misure effettuate su ognuno dei campioni. Il valore del *pcs* rappresenta la media di 13 misure per ogni campione esaminato. I valori di *pcs* sono stati sottoposti ad analisi della varianza e *Duncan-test* (Duncan 1955) con il software *SPSS 10* (SPSS Inc. Chicago, USA).

Risultati e Discussione

I valori dell'umidità sono stati influenzati dal periodo di raccolta. Valori più elevati sono stati riscontrati per le piante raccolte a luglio, mentre valori più bassi sono stati riscontrati per le piante raccolte in autunno (Tab. 3). Sul *pcs* ha un ruolo decisivo l'umidità, che fa decrescere linearmente il valore del potere calorifico con l'incremento del contenuto idrico (Krapf 2003), ed il periodo di raccolta del materiale vegetale (Giordano 1980).

La Tab. 3 riporta i valori del *pcs*, riferito alla sostanza secca priva di cenere, e la significatività statistica relativa al materiale esaminato (campioni a base esclusiva di foglie sono stati separati dagli altri). La media generale è pari a 19.2 kJ g⁻¹.

I valori statisticamente più elevati di *pcs* sono stati ottenuti dalla combustione delle foglie di *Q. cerris*. In

Tab. 3 - Umidità dei campioni alla raccolta (%) e potere calorifico superiore riferito alla sostanza secca senza ceneri. Valori contrassegnati dalle stesse lettere non sono statisticamente differenti per $p < .05$ secondo il test di Duncan (1955).

Specie	Umidità alla raccolta (%)	Pcs (kJ g ⁻¹)	Significatività delle medie	Deviazione standard
<i>Q. cerris</i> (foglie)	89	22.8	a	1.5
<i>O. europaea</i> (foglie)	84	21.1	b	0.9
<i>F. ornus</i> (foglie)	86	20.8	bc	1.8
<i>Q. Cerris</i> (rametti)	90	20.7	bc	0.7
<i>F. ornus</i> (rametti)	83	20.1	cd	0.6
<i>Q. pubescens</i>	88	19.9	d	0.5
<i>R. hirtus</i>	136	19.0	e	0.8
<i>A. cordata</i>	146	18.7	ef	0.4
<i>P. canascens</i>	116	18.6	ef	0.9
<i>O. europea</i> (rametti)	86	18.6	ef	0.3
<i>R. pseudoacacia</i>	124	18.2	f	0.9
<i>S. alba</i>	115	18.1	fg	0.3
<i>S. junceum</i>	149	17.3	gh	0.6
<i>A. donax</i>	95	17.2	h	0.8
<i>O. illirium</i>	148	16.9	h	0.3

generale, sebbene con delle differenze, tutti i campioni a base esclusiva di foglie (*Q. cerris*, *Q. pubescens* e *O. europaea*) e quelli derivanti da rametti di *Q. pubescens*, *Q. cerris* e *F. ornus* hanno fornito risultati statisticamente più elevati rispetto agli altri.

I risultati ottenuti nel corso di questa sperimentazione sono simili a quelli misurati su *Eucalyptus globulus* da Nuñez-Regueira et al. (2001) che hanno accertato, nelle foglie, un elevato potere calorifico ed un maggiore contenuto in Azoto e Carbonio oltre ad una rilevante presenza in ceneri rispetto ad altre specie.

I valori statisticamente più bassi di *pcs* sono stati riscontrati in *A. donax* e *O. illirium* (differenza non significativa soltanto rispetto a *S. junceum*).

R. pseudoacacia, come riconosciuto da diversi autori (Paris et al. 2000, Sacchetti et al. 2005), si conferma specie idonea alla trasformazione energetica poiché al soddisfacente contenuto energetico unisce ridotte percentuali di ceneri, rapidità di accrescimento e rusticità.

Apprezzabili risultati sono stato ottenuti da *R. hirtus*: il valore medio del *pcs* è risultato più basso di quello rilevato in specie forestali ma con più elevate performance rispetto alle specie largamente utilizzate per la *short rotation forestry*. Il dato medio ottenuto nella nostra sperimentazione, per campioni di *R. hirtus* raccolti in ottobre, è stato pari a 19 kJ g⁻¹.

Simili risultati di *pcs*, sebbene calcolati con la com-

bustione di materiale secco con ceneri, sono stati ottenuti da Nuñez-Regueira et al. (1996). Gli Autori, in uno studio condotto in Galizia (Spagna), hanno riscontrato per *Rubus fruticosus* L. valori di *pcs* pari a 17.8 kJ g⁻¹ nei prelievi primaverili, 18.6 kJ g⁻¹ in quelli estivi, 18.5 kJ g⁻¹ negli autunnali e 19.4 kJ g⁻¹ nei prelievi invernali.

Il potere calorifico, *pcs* (potere calorifico superiore) o *pci* (potere calorifico inferiore), rappresenta l'energia termica sviluppata dalla combustione di un kg di materiale. Il *pcs* è la quantità di calore (espresso in kJ g⁻¹) sviluppato dalla combustione, a pressione atmosferica, di un kg di combustibile, considerando nel prodotto della combustione l'acqua allo stato liquido (15°C). Il *pci*, invece, è la quantità di calore derivante dalla combustione di un kg di materiale legnoso, considerando l'acqua allo stato di vapore (100°C). Il *pci* pertanto assume sempre valori inferiori a quelli del *pcs* poiché si riferisce a materiale umido (Giordano 1980, Hellrigl 2004).

Il *pcs* del materiale legnoso dipende dal contenuto di lignina, cellulosa, emicellulosa e resine. La cellulosa possiede un *pcs* medio di circa 16.7 kJ g⁻¹ contro 25.1 kJ g⁻¹ della lignina. Legni ricchi di cellulosa, come il pioppo e il salice, e le biomasse ligno-cellulosiche di origine agro-industriale presentano, perciò, un minore valore di *pcs*. La resina, invece, con un *pcs* di circa 33.5 kJ g⁻¹, determina un incremento energetico delle biomasse che la contengono e ciò spiega gli

Tab. 4 - Contenuto in ceneri, carbonio, azoto e rapporto carbonio/azoto (C/N).

Specie	Ceneri (%)	Carbonio (%)	Azoto (%)	C/N
<i>Q. cerris</i> (foglie)	5.3	45.6	1.3	35.0
<i>O. europaea</i> (foglie)	5.2	48.1	1.0	47.1
<i>F. ornus</i> (foglie)	7.6	43.6	1.0	42.3
<i>Q. cerris</i> (rametti)	5.9	46.0	0.9	49.4
<i>F. ornus</i> (rametti)	3.3	44.1	0.5	98.0
<i>Q. pubescens</i>	2.3	45.0	0.7	66.2
<i>R. hirtus</i>	4.7	45.0	1.1	39.8
<i>A. cordata</i>	3.0	45.6	0.6	75.9
<i>P. canescens</i>	4.4	45.8	1.0	48.2
<i>O. europaea</i> (rametti)	4.1	46.0	0.8	60.5
<i>R. pseudoacacia</i>	2.6	44.4	0.8	57.6
<i>S. alba</i>	3.4	45.9	1.1	40.6
<i>S. junceum</i>	1.8	45.6	1.0	47.5
<i>A. donax</i>	4.9	42.4	0.9	49.3
<i>O. illirium</i>	5.3	42.5	0.7	64.4

elevati valori determinati in alcune conifere rispetto a quanto rilevato per le latifoglie. Il *pcs* dipende anche dalle caratteristiche quali-quantitative di sostanze minerali contenute nelle cellule che influenzano la trasmissione del calore e dal contributo in ceneri (Giordano 1980). Il valore maggiore di *pcs* delle foglie potrebbe anche dipendere da un più elevato e diversificato contenuto di estrattivi nelle foglie rispetto al legno (Senelwa & Sims 1999). Per Vidrich (1988), la composizione chimica elementare delle foglie si differenzia da quella del legno per un contenuto maggiore in Azoto, data la presenza di proteine, ed anche per un maggior contenuto in ceneri.

La combustione di foglie di *F. ornus* ha prodotto grandi quantità di cenere (7.6% - Tab. 4).

Elevati quantitativi di ceneri sono stati ottenuti anche dalla combustione dei rametti e foglie di *Q. cerris* (5.9% e 5.3%, rispettivamente), di *O. illirium* (5.3%) e delle foglie di *O. europaea* (5.2%). I valori più bassi, invece, sono stati misurati per *S. junceum* (1.8%) per *Q. pubescens* (2.3%) e per *R. pseudoacacia* (2.6%).

L'aumento della quantità di ceneri determina un effetto negativo sul potere calorifico (Demirbas 1997) mentre è stato riscontrato un effetto positivo sulla durabilità della combustione a causa di una possibile elevata quantità di Silice e di Carbonio (Jain & Singh 1999). E' quanto mai necessario considerare che la composizione e quantità delle ceneri rappresentano un parametro molto importante per la conversione energetica delle biomasse. Un elevato contenuto in

ceneri, influenzato dalla temperatura di fiamma della camera di combustione, può causare la formazione di superfici vetrificate nella fornace con conseguente riduzione dell'efficienza del sistema di scambio. Lo smaltimento delle ceneri, inoltre, è ancora un problema non completamente risolto poiché esse risultano ancora difficilmente o poco utilizzabili come ammendanti nel settore agro-forestale (Ciccarese 2000).

La Tab. 4, inoltre, riporta i dati riguardanti il contenuto, in percentuale, di Carbonio e Azoto ed il loro rapporto. Il contenuto medio di Carbonio, per i campioni esaminati, è stato pari al 45%. Tutti i valori misurati sono stati coerenti con i dati bibliografici, anche se questi sono riferiti al solo legno (APAT 2003). Le foglie e i rametti di *O. europaea* (48.1% e 46%, rispettivamente), i rametti di *Q. cerris* (46%), *S. alba* (45.9%) e *P. canescens* (45.8%) hanno mostrato maggiori quantità di Carbonio rispetto ad altri campioni esaminati. Di contro, su *A. donax* (42.4%) e *O. illirium* (42.5%), sono stati misurati quantitativi minori di Carbonio.

Un elevato contenuto in Carbonio indica la presenza nei tessuti vegetali di composti organici di rinforzo (lignina), caratterizzati da struttura chimica complessa, lenta degradabilità biologica ed elevata attitudine alla combustione. La lignificazione dei tessuti vegetali di alcune piante erbacee, che inizia nell'ultima fase del ciclo vegetativo, si manifesta attraverso l'essiccazione e l'ingiallimento delle parte epigea della pianta. Per questa ragione, alcune colture (cereali), che forniscono il prodotto al termine del loro ciclo vegetativo (maturazione fisiologica), presentano sottoprodotti colturali con elevati rapporti Carbonio/Azoto. Simili risultati si ottengono per le specie arboree (da frutto o da legno) il cui legname di risulta o le cui strutture di protezione della parte edule (gusci, noccioli) risultano costituiti da tessuto vegetale ormai morto.

Secondo Kataki & Konwer (2002), un elevato contenuto in Carbonio all'interno delle biomasse suggerisce che esse potrebbero essere utilizzate per la produzione di carbone da legna.

Riguardo al contenuto in Azoto (Tab. 4), la media generale riscontrata è stata pari a 0.9%. Valori più elevati di questo parametro sono stati rilevati nelle foglie di *Q. Cerris* (1.3%), in quelle di *S. alba* (1.1%) e *R. hirtus* (1.1%). La determinazione dell'Azoto rappresenta un utile elemento per determinare l'attitudine energetica di una specie vegetale, sebbene non sia ancora possibile fornire i valori ottimali del suo contenuto nelle specie da avviare a trasformazioni energetiche (Kataki & Konwer 2002). La sua diminu-

Tab. 5 - Distribuzione analitica per comune dei residui annuali potenziali in quintali.

Comune	da cedui	da fustaie di conifere	da fustaie di latifoglie e miste latifoglie e conifere	da sarmenti di vigneti	da potature uliveti	da potature frutteti	da paglia seminativi	Totale
Abriola	6016	33.369	6178	3432	25	552	22510	72082
Anzi	10934	12397	1968	4525	92	0	55951	85868
Calvello	2174	6125	4142	2628	0	38	21112	36219
Corleto Perticara	2210	12495	2270	1052	10112	0	54648	82787
Guardia Perticara	927	49	1238	576	6011	0	52058	60859
Laurenzana	3920	12495	2220	1373	0	35	40212	60256
Accettura	0	1470	10537	867	3751	8	32505	49139
Aliano	0	0,0	1418	2547	28510	13977	88669	135122
Cirigliano	0	0,0	983	880	2934	0	12402	17198
Craco	0	2450	0	196	5848	749	58403	67646
Gorgoglione	5471	49	842	238	4306	138	34867	45911
San Mauro Forte	445	0	1109	2734	10293	0	106705	121285
Stigliano	10799	637	2396	654	37870,6	3930	223289	279577
<i>Totale</i>	<i>42896</i>	<i>81536</i>	<i>35302</i>	<i>21702</i>	<i>109754</i>	<i>19427</i>	<i>803333</i>	<i>1113950</i>

zione è sempre auspicabile poiché indica una minore emissione di NO_x che potrebbe determinare serie contaminazioni ambientali (Goel & Behl 1996).

Il valore medio del rapporto Carbonio/Azoto, calcolato su tutte le specie, è stato pari a 54.8.

Valori maggiori sono stati riscontrati per i rametti di *F. ornus* (98) e *A. cordata* (75.9) mentre valori minori sono stati osservati nelle foglie di *Q. cerris* (35), nel *R. hirtus* (39.8) e nel *S. alba* (40,6).

Tutte le specie da noi esaminate presentano valori maggiori di 30. Riva (1990) ritiene che, per le trasformazioni termochimiche, siano preferibili i prodotti vegetali aventi un rapporto Carbonio/Azoto > 30 ed un tasso di umidità < 30%.

Il contenuto percentuale in Carbonio e in Azoto può essere utile anche per la stima indiretta del potere calorifico. Vari Autori riportano modelli riconducibili alla composizione chimica del materiale esaminato (Giordano 1980, Baccanti & Colombo 1988, Demirbas 1997) anche se una serie di elementi, tra i quali la variabilità biologico-strutturale delle specie considerate, il differente periodo di raccolta, gli ambienti di crescita esaminati, ecc., rende estremamente complicato individuare delle formule esaustive per la stima del potere calorifico.

Alcuni Autori (Núñez-Regueira et al. 2001, Sac-

chetti et al. 2005) confermano che le caratteristiche energetiche di specie come Eucalipto, Pino e Robinia possono variare in funzione della stagione di raccolta e del tipo di materiale esaminato. È da evidenziare, infatti, che la dotazione di macro e microelementi nelle piante è di tipo dinamico poiché le variazioni delle loro concentrazioni possono dipendere dal periodo di raccolta, dall'umidità, dalla fenologia, dall'età della pianta e da fattori stagionali (esposizione, giacitura, caratteristiche geologiche del suolo etc.).

Col solo scopo di fornire un nuovo elemento di approfondimento, nei comprensori delle due Comunità Montane è stata quantificata la biomassa potenzialmente disponibile dalle superfici forestali e agrarie (Tab. 5) la cui metodologia è riportata in una ricerca di AA.VV. (2003).

Risulta evidente che la quantità di biomassa da residui agricoli prevale rispetto a tutte le altre. In realtà, sono state comprese nel novero delle biomasse residui che, probabilmente, non sono ancora utilizzati per fini energetici (paglia di cereali) oppure utilizzati direttamente in azienda (potature di vigneti, di olivo e di piante da frutta). Si può immaginare, invece, l'utilizzo energetico delle altre fonti di natura agroforestale ampiamente disponibili (residui di utilizzazioni boschive e residui di potature agricole).

Conclusioni

Le politiche di sostenibilità messe in atto dalla Regione Basilicata mirano all'incentivazione della filiera energetica regionale puntando su risorse rinnovabili quali le biomasse agro-forestali. Esse rappresentano una forma di energia in grado di contribuire alla riduzione della dipendenza da fonti energetiche fossili. Bisogna ulteriormente considerare che le colture a ciclo breve fanno circolare il Carbonio in modo rapido ed efficiente ai fini di un bilancio complessivo di sostenibilità riducendone l'immissione di Carbonio antico.

Per poter avviare una filiera bio-energetica è prioritario adottare strategie che conducono alla conoscenza dettagliata del materiale vegetale (specie arboree, arbustive ed erbacee) a disposizione. La descrizione chimico-fisica, la determinazione dei tassi di crescita delle specie in differenti condizioni stazionali, il loro *optimum* in termini di densità e di rotazione, le conseguenze ambientali e sociali relative al loro uso devono essere interventi di fondamentale importanza, prima di includere alcune di queste specie in programmi di *short rotation forestry*.

Seguendo tali indicazioni, è stata compiuta una valutazione energetica di alcune specie vegetali spontanee del territorio lucano. I principali risultati sono di seguito riportati.

- I valori più elevati di *pcs* sono stati ottenuti dalla combustione delle foglie di *Q. cerris*.
- Un maggiore contenuto di *pcs* è stato anche misurato nella combustione dei rametti e delle foglie delle specie tipicamente forestali (*Q. cerris* e *F. ornus*), delle foglie di *O. europea* e in *Q. pubescens*.
- *O. illirium* e *A. donax* hanno evidenziato valori inferiori rispetto a tutte le altre specie sia in termini di *pcs* che di contenuto in Carbonio. Le foglie di *F. ornus* e i rametti di *Q. cerris* hanno prodotto i maggiori quantitativi di ceneri. I valori più bassi, invece, sono stati misurati per *S. junceum*, per *Q. pubescens* e per *R. pseudoacacia*.
- Sulle foglie di *Q. cerris* è stata determinata la quantità maggiore in Azoto mentre la produzione minore è stata ottenuta per i rametti di *F. ornus*.

Ringraziamenti

Gli autori sono grati al Dott. F. Pesce della Regione Basilicata (Ufficio Foreste) per il contributo fornito nella individuazione delle aree di studio e alla Regione Basilicata ed il Ministero per le Politiche Agricole e Forestali per il sostegno economico (progetti *PROBIO* e *RAMSES*).

Bibliografia

- AA.VV. (2003). Piano d'Azione ENEPOLIS. Foreste e Centri Storici, Integrazione di risorse turistiche e bioenergetiche. In: Agenda 21 Locale della Provincia di Potenza.
- ANPA (2001). Biomasse agricole e forestali, rifiuti e residui organici: fonti di energia rinnovabile, stato dell'arte e prospettive di sviluppo a livello nazionale. Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente.
- APAT (2003). Le biomasse legnose. Un'indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia. Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici.
- Baccanti M, Colombo B (1988). Analisi elementare simultanea ed automatica di C, H, N, S. Tecnologie chimiche 11/1988.
- CE Instruments (2000). Autoanalizzatore elementare EA-1100: manuale d'uso. [online] URL: <http://www.ceinstruments.com>.
- Canagaratna SG, Witt J (1988). Calculation of temperature rise in calorimetry. Journal of chemical education 65 (2): 126-129.
- Ciccarese L (2000). Effetto della cenere di legna sul substrato d'allevamento e sullo sviluppo in semenzali di douglasia e orniello. Sherwood 53 (2): 39-46.
- Comitato Termotecnico Italiano (2003). Biocombustibili. Specifiche e Classificazione.
- Demirbas A (1997). Calculations of higher heating values of biomass fuel. Biomass & Bioenergy, Fuel 76 (5): 431-434.
- Duncan DB (1955). Multi range and multi f test. Biometrics 11: 1-42.
- Gerardi V (2000). Biomasse di origine agricola ed agro-industriale, impieghi per grandi utilizzatori. Convegno "Biomasse agricole e forestali a uso energetico", Trento, Settembre 2000.
- Giordano G (1980). Il legno. Caratteristiche e lavorazioni fondamentali, Vol.1. Edizioni Utet. Torino.
- Goel VL, Behl HM (1996). Fuelwood quality of promising tree species for alkaline soil sites in relation to tree age. Biomass and Bioenergy 10 (1): 57-61.
- Hakkila P (1989). Utilization of residual forest biomass. Springer-Verlag, Berlino, pp. 568, ISBN 3-540-50299-8.
- Hellrigl B (2004). Il potere calorifico del legno. Convegno di studio: "Le biomasse agricole e forestali nello scenario energetico nazionale". Progetto Fuoco, Verona, 18-20 marzo 2004.
- ISCO (1991). Calorimetro di Berthelot-Mahler, istruzioni per l'uso. Milano, Italia.
- ISTAT (2000). V° Censimento Generale dell'Agricoltura.
- Jain RK, Singh B (1999). Fuelwood characteristics of selected indigenous tree species from central India. Bioresource Technology 68: 305-308.

- Kataki R, Konwer D (2002). Fuelwood characteristics of indigenous tree species of north east India. *Biomass and Bioenergy* 22: 433-437.
- Kataki R, Konwer D (2001). Fuel characteristics of some indigenous woody species of north east India. *Biomass and Bioenergy* 20: 17-23.
- Krapf G (2003). Il pellet di legno e le moderne applicazioni termiche. AIEL - Associazione Italiana Energia dal legno.
- Miller RO (1998). High-Temperature Oxidation: Dry Ashing. In: *Handbook and Reference Methods for Plant Analysis* (Kalra YP ed). CRC Press, New York.
- Núñez-Regueira L, Rodríguez-Añón JA, Proupin-Castiñeiras J (1996). Calorific value and flammability of forest species in Galicia. Coastal and hillside zones. *Bioresource Technology* 57: 283-289.
- Núñez-Regueira L, Rodríguez-Añón JA, Proupin-Castiñeiras J, Vilanova-Diz A, Montero-Santoveña N (2001). Determination of calorific values of forest waste biomass by static bomb calorimetry. *Thermochemica Acta* 371: 23-31.
- Paris P, Musicanti A, Malvolti ME, Pisanelli A, Cannata F, Mapelli S (2000). Ricerche sulla Robinia pseudoacacia L. nell'arboricoltura a turno breve. Convegno "Biomasse agricole e forestali a uso energetico". Trento, Settembre 2000.
- Riva G (1990). Approvvigionamento energetico e tecniche di conversione. Edagricole, Bologna.
- Romano S (2004). Le potenzialità di sviluppo delle bioenergetiche in un'area interna della Basilicata. Convegno PROBIO della Regione Basilicata, Maggio 2004.
- Sacchetti R, Todaro L, Cannata F, Pisanelli A, Olimpieri G, Paris P, Scarascia Mugnozza G (2005). La Robinia (*Robinia pseudoacacia* L.) nell'Arboricoltura a Turno Breve (Short Rotation Forestry): Caratteristiche produttive ed energetiche in un decennio di sperimentazione. V Congresso Nazionale SISEF. Torino 27-30 settembre 2005.
- Senelwa K, Sims REH (1999). Fuel characteristics of short rotation forest biomass. *Biomass & Bioenergy* 17: 127-140.
- UNI-EN (2003) Umidità di un pezzo di legno segato. Determinazione tramite il metodo per pesata. Doc. no. 13183-1.
- Vidrich V (1988). Il Legno ed i suoi Impieghi Chimici. Edagricole. Bologna.