

# Agris

Agenzia regionale  
per la ricerca in agricoltura



---

*QUADERNI DEL  
SERVIZIO TECNOLOGIA DEL SUGHERO E DELLE MATERIE PRIME  
FORESTALI*

---

N° 15

**Utilizzo a fini energetici degli scarti di lavorazione del  
sughero e di miscele con biomasse ottenute dal sottobosco di  
una sughereta**

F. Pampiro, I. Fois, M. Giua, G. Marzeddu

Tempio Pausania  
2017

# Utilizzo a fini energetici degli scarti di lavorazione del sughero e di miscele con biomasse ottenute dal sottobosco di una sughereta

F. Pampiro, I. Fois, M. Giua, G. Marzeddu

*Agris Sardegna – Servizio Ricerca per la tecnologia del Sughero e delle materie prime forestali.  
Via Limbara 9, 07029 Tempio Pausania – Italia.*

*Corresponding author: Franco Pampiro (fpampiro@agrisricerca.it).*

## Riassunto

L'industria del sughero produce grandi quantità di scarti che, generalmente, sono utilizzati in azienda per produrre energia. Per ottimizzare l'utilizzo di questi materiali è importante conoscerne le caratteristiche. È stato condotto uno studio per determinare il potere calorifico superiore e il contenuto di ceneri di diverse tipologie di scarti della lavorazione del sughero e di miscele costituite aggiungendo questi scarti a biomasse ottenute dal taglio del sottobosco di una sughereta. Il potere calorifico superiore degli scarti di sughero ha fatto registrare valori medi compresi fra 19,11 kJ/g e 27,50 kJ/g a seconda della tipologia del materiale; il potere calorifico più elevato si è registrato per le polveri ottenute dalla rettifica e intestatura di tappi naturali. Ad eccezione delle polveri di sughero ottenute dalla finitura di tappi naturali, il contenuto di ceneri degli scarti di sughero è risultato sempre molto alto con valori medi compresi fra il 6,78% e il 13,10% sulla sostanza secca. L'aggiunta di polveri di sughero derivate dalla rettifica ed intestatura dei tappi naturali ha permesso di ottenere delle miscele con potere calorifico più alto e minore contenuto in ceneri rispetto alle relative biomasse ottenute dalla pulizia del sottobosco.

**Parole chiave:** Biomassa, Scarti di sughero, Potere calorifico superiore, Ceneri, Foreste mediterranee, Sugherete, Sardegna, Italia.

## Abstract

The cork industry leaves large volumes of waste, mainly used through direct energy recovery. In order to optimize their use, it is important to know the characteristics of these processing waste. A study to determine the gross calorific value and the ash content of different types of cork wastes was performed. Mixtures obtained by adding these cork wastes to biomass from the cut of the undergrowth in a cork oak forest in North Sardinia were also analyzed. The gross calorific value of cork waste registered average values between 19.11 kJ/g and 27.50 kJ/g depending on the type of material; the highest value was recorded for cork powder from finishing of natural stoppers. With the exception of cork powder obtained from the finishing of natural corks, the ash content of cork waste was always very high with average values ranging from 6.78% to 13.10% on dry basis. The addition of cork powder allowed to obtain mixtures with higher calorific value and lower ash content versus the relative biomass derived from the cleaning of the shrub layer.

**Key Words:** Biomass, Cork waste, Energy recovery, Gross calorific value, Ash content, Mediterranean forests, Cork oak forests, Sardinia, Italy.

## **Introduzione**

La filiera del sughero genera materiali di scarto in tutte le fasi del processo produttivo. La gestione dei boschi di sughera produce biomassa vegetale derivante dagli interventi forestali di potatura delle piante arboree e dal taglio delle specie arbustive del sottobosco. L'industria del sughero genera materiali di scarto che necessitano di essere adeguatamente gestiti e valorizzati. Questi materiali derivano, ad esempio, dalla rifilatura delle plance, dalla preparazione delle bande e dall'eliminazione della pancia e della schiena, porzioni contenenti spesso alte percentuali di materiale terroso. Una frazione importante dei materiali di scarto dell'industria del sughero è costituita dalle polveri derivate dalle operazioni di rettifica e intestatura dei tappi e dai residui del processo di separazione dei granulati di sughero per la produzione dei tappi agglomerati.

Precedenti lavori svolti da questa Agenzia (Pampiro *et al.*, 2014, Fois *et al.* 2015) hanno permesso di conoscere la quantità di biomassa ritraibile con interventi di sfoltimento del sottobosco di una sughereta e il potere calorifico delle principali specie arboree e arbustive che lo costituiscono. Queste biomasse, generalmente lasciate decomporre o bruciate in bosco come misura di prevenzione antincendio, potrebbero essere utilizzate per produrre energia. Il loro utilizzo avrebbe risvolti positivi sul territorio sia per il recupero di superfici forestali uscite dal ciclo produttivo perché diventate anti economiche (Regione Autonoma della Sardegna, 2006), sia in termini d'occupazione. Relativamente agli scarti della lavorazione del sughero, normalmente utilizzati tal quali in bruciatori policombustibile per le esigenze termiche delle aziende, al fine di ottimizzare il loro utilizzo è importante conoscere il potere calorifico e il contenuto di ceneri dei diversi tipi di scarti di lavorazione che potrebbero essere utilizzati in miscele per migliorare le caratteristiche delle biomasse derivate dalla pulizia del sottobosco che presentano contenuti di ceneri generalmente elevati (Todaro *et al.*, 2007; Montero *et al.*, 2014; Nunes *et al.*, 2013).

Il progetto ha lo scopo di valutare, sulla base del potere calorifico e del contenuto in ceneri, la possibilità di utilizzare a fini energetici gli scarti della lavorazione del sughero in abbinamento alle biomasse ottenute dalla pulizia del sottobosco.

## Materiali e metodi

Sono state analizzate biomasse ottenute da diverse specie vegetali arboree e arbustive e biomasse costituite da scarti della lavorazione industriale del sughero.

I campioni di biomassa delle specie vegetali sono stati raccolti in aree di saggio delle Sezioni 7 e 9 della sughereta sperimentale di Cusseddu-Miali-Parapinta, certificata FSC e di proprietà dell'Agenzia Agris Sardegna, in operazioni di sfoltimento del sottobosco eseguite nel mese di luglio 2014. Le specie arboree sono quercia da sughero (*Quercus suber* L.), roverella (*Quercus pubescens* Willd.) e orniello (*Fraxinus ornus* L.); quelle arbustive cisto (*Cistus* sp.), citiso (*Cytisus villosus* Pourret), rovo (*Rubus ulmifolius* L.) e pungitopo (*Ruscus aculeatus* L.). In ciascuna Sezione sono stati scelti 3 punti di campionamento nei quali sono stati raccolti campioni di tutte le specie individuate. Per ogni specie e per ciascuna Sezione è stata raccolta una quantità di materiale fresco di 300-500 g. Il materiale prelevato è stato tagliato in pezzi di circa 30 mm di lunghezza e conservato immediatamente in sacchi di polietilene sino all'arrivo in laboratorio. Al fine di limitare la formazione di condensa all'interno dei contenitori e minimizzare le perdite d'acqua, dopo la raccolta i campioni sono stati tenuti a temperatura ambiente e trasferiti al laboratorio entro 2 ore dal prelievo. Per le 3 specie arboree, la componente legnosa (rametti con diametro inferiore a 30 mm) è stata separata dalle foglie. Per le specie arbustive le varie parti della pianta sono state conservate insieme. Il prelievo è stato effettuato nelle ore centrali della giornata, evitando le giornate piovose o con nebbia. Dopo la raccolta in bosco i campioni di biomassa sono stati essiccati e macinati con un mulino a coltelli utilizzando un vaglio con luce di 1 mm. Su questi campioni sono stati misurati il potere calorifico superiore col metodo UNI EN 14918:2010 e il contenuto di ceneri col metodo UNI EN 14775:2010.

Gli scarti della lavorazione del sughero sono stati forniti dal Sugherificio Colla & Fresu di Berchidda e sono costituiti da *polverino bianco*: polvere sottile di sughero proveniente dalla linea di produzione dei tappi naturali e in particolare dagli interventi di rettifica e intestatura; *polverino nero*: scarti di macinazione del sughero derivanti dalla selezione del granulato e costituiti dalla frazione non utilizzabile per la produzione di tappi agglomerati; *terra e crosta*: scarti di sughero derivanti da diverse fasi del ciclo

produttivo e costituiti in parte da materiale terroso ottenuto dalla rifilatura delle plance e dalla lavorazione delle bande per scartare le porzioni di crosta e pancia.

I campioni, costituiti da circa 10 kg di biomassa per ciascuna tipologia, sono stati confezionati in azienda in contenitori di plastica e subito trasferiti al laboratorio.

Sui campioni di scarti della lavorazione del sughero sono state determinate la massa volumica apparente col metodo UNI EN 15103:2010 e la distribuzione granulometrica col metodo UNI EN 15149-2:2011.

L'analisi granulometrica è stata eseguita utilizzando 4 vagli con aperture di 0,5; 1; 2 e 2,8 mm che hanno permesso di suddividere i campioni in 5 frazioni così composte:

- Dimensioni  $\leq 0,5$  mm;
- Dimensioni comprese 0,5 – 1 mm;
- Dimensioni comprese 1 – 2 mm;
- Dimensioni comprese 2 – 2,8 mm
- Dimensioni  $> 2,8$  mm.

Su ciascuna frazione sono stati misurati il contenuto di ceneri e il potere calorifico superiore. Le frazioni con granulometria maggiore di 1 mm sono state preventivamente macinate con un mulino a coltelli utilizzando un vaglio con luce di 1 mm.

Sulla base dei risultati relativi alla determinazione del contenuto di ceneri e del potere calorifico delle biomasse e degli scarti di lavorazione, sono state predisposte delle miscele di questi materiali allo scopo di ottenere un prodotto con tenore di ceneri inferiore al 3%, valore limite fissato dalla norma UNI EN 14961-2:2011 per il pellet. In particolare, sono state selezionate le tipologie di biomasse del sottobosco con contenuto di ceneri al di sotto del 3% e il *polverino bianco* che è risultata la tipologia di scarto di lavorazione del sughero col tenore in ceneri più basso.

Sono state preparate 4 miscele unendo il 66,6% in peso di biomassa del sottobosco col 33,3% di *polverino bianco* secondo il seguente schema:

Miscela	composizione
<i>Q. pubescens</i> MIX	33,3% rametti <i>Q. pubescens</i> area 7 33,3% rametti <i>Q. pubescens</i> area 9 33,3% polverino bianco
<i>Q. suber</i> MIX	33,3% rametti <i>Q. suber</i> area 7 33,3% rametti <i>Q. suber</i> area 9 33,3% polverino bianco
<i>F. ornus</i> MIX	33,3% rametti <i>F. ornus</i> area 7 33,3% rametti <i>F. ornus</i> area 9 33,3% polverino bianco
<i>Cytisus sp.</i> MIX	33,3% <i>Cytisus</i> area 7 33,3% <i>Cytisus</i> area 9 33,3% polverino bianco

Sulle miscele così realizzate sono stati determinati il contenuto di ceneri e il potere calorifico superiore.

Le prove per la determinazione della granulometria, della massa volumica e del contenuto di ceneri sono state condotte in doppio, quelle per il potere calorifico superiore sono state eseguite in triplo.

Le misure del potere calorifico superiore sono state eseguite con un calorimetro isoperibolico semi automatico a bomba di ossigeno di Mahler Parr 6200. Prima delle prove il calorimetro è stato calibrato utilizzando un campione di riferimento di acido benzoico.

I dati ottenuti sono stati sottoposti ad analisi della varianza e la significatività delle medie è stata analizzata col test di Tukey utilizzando il software Minitab 15.

## **Risultati e discussione**

### *Biomassa ottenuta dalla pulizia del sottobosco*

Il potere calorifico superiore riferito alla sostanza secca dei campioni di biomassa derivati dalla pulizia del sottobosco ha fatto registrare un valore medio globale di 19,55 kJ/g (4669,3 cal/g). Il valore più elevato è risultato quello delle foglie di *Q. suber*, seguito dalle foglie di *Q. pubescens* e da *C. villosus*. Le medie più basse sono state registrate per *Cistus sp.* e per i rametti di *F. ornus*. Questi valori concordano con quelli

riportati in bibliografia (Todaro *et al.*, 2007; Nuñez-Regueira *et al.*, 2001). I risultati relativi alle determinazioni del potere calorifico superiore sono riassunti in Tabella 1. Per un'analisi dettagliata dei dati si rimanda a Fois *et al.* (2015).

Tab. 1. Potere calorifico superiore per grammo di sostanza secca dei campioni di biomassa ottenuti dalla pulizia del sottobosco. I campioni che condividono una lettera non presentano differenze significative (test di Tukey con livello di confidenza al 95%).

Campione	pcs [kJ/g]	Significatività delle medie	Coefficiente di variazione
<i>Quercus suber</i> L. (foglie)	20,35	a	1,2
<i>Quercus pubescens</i> Willd. (foglie)	20,00	ab	0,3
<i>Cytisus villosus</i> Pourret	19,77	bc	0,8
<i>Quercus suber</i> L. (rametti)	19,73	bc	2,0
<i>Ruscus aculeatus</i> L.	19,70	bc	2,0
Miscellanea (1)	19,65	bc	1,3
<i>Rubus ulmifolius</i> Schott	19,48	bcd	0,5
<i>Fraxinus ornus</i> L. (foglie)	19,41	cde	0,4
<i>Quercus pubescens</i> Willd. (rametti)	19,12	de	0,2
<i>Fraxinus ornus</i> L. (rametti)	18,98	de	0,2
<i>Cistus</i> sp.	18,86	e	1,5

(1) La miscellanea era costituita dall'intera biomassa ottenuta dal taglio del sottobosco delle aree di studio.

L'analisi del contenuto di ceneri ha fatto rilevare valori medi piuttosto alti in tutti i campioni analizzati, confermando quanto riportato in bibliografia per le specie della macchia mediterranea. Fra i campioni analizzati il maggior tenore di ceneri è stato rilevato nelle foglie di *F. ornus*, quello più basso nel *Cytisus*. Todaro *et al.* (2007) riportano contenuti di ceneri del 7,6% per le foglie di *F. ornus*, del 5,3% nelle foglie di *Quercus cerris* L. e del 4,7% in *Rubus hirtus* W. Per le piante forestali, il contenuto di ceneri delle foglie è risultato sempre significativamente più alto rispetto ai rametti ( $p < 0,001$ ). Nelle 2 aree oggetto dello studio sono state registrate cessioni medie rispettivamente del 4,3% nell'area 7 e del 3,8% nell'area 9 con differenze non significative ( $p = 0,368$ ). I dati del contenuto di ceneri sono riassunti in Tabella 2.

Tab. 2. Contenuto di ceneri dei campioni di biomassa ottenuti dalla pulizia del sottobosco. I campioni che condividono una lettera non presentano differenze significative (test di Tukey con livello di confidenza al 95%).

Campione	Ceneri sulla s.s. [%]	Significatività delle medie	Coefficiente di variazione
<i>Fraxinus ornus</i> L. (foglie)	7,39	a	2,79
Miscellanea (1)	5,40	b	12,77
<i>Quercus pubescens</i> Willd. (foglie)	5,40	b	1,35
<i>Cistus</i> sp.	4,34	bc	33,83
<i>Quercus suber</i> L. (foglie)	4,29	bc	3,38
<i>Rubus ulmifolius</i> Schott	4,06	bcd	1,81
<i>Ruscus aculeatus</i> L.	3,80	cd	16,03
<i>Quercus pubescens</i> Willd. (rametti)	3,07	cde	6,85
<i>Quercus suber</i> L. (rametti)	2,88	def	19,27
<i>Fraxinus ornus</i> L. (rametti)	2,25	ef	14,88
<i>Cytisus villosus</i> Pourret	1,67	f	12,09

(1) La miscellanea era costituita dall'intera biomassa ottenuta dal taglio del sottobosco delle aree di studio.

#### *Scarti della lavorazione del sughero*

I campioni di scarti di *polverino bianco* presentavano un contenuto d'umidità riferito alla massa umida del 6,8%, quelli di *polverino nero* del 19,0% e quelli di *terra e crosta* del 24,4%. La massa volumica apparente misurata sui campioni come consegnati al laboratorio (*as received*) è risultata di 128,7 kg/m<sup>3</sup> per il *polverino bianco*, 352,8 kg/m<sup>3</sup> per il *polverino nero* e 291,4 kg/m<sup>3</sup> per la *terra e crosta*. La massa volumica apparente riferita agli stessi campioni essiccati a 105 °C è risultata rispettivamente di 120,0 kg/m<sup>3</sup>, 285,8 kg/m<sup>3</sup> e 214,4 kg/m<sup>3</sup>.

L'analisi granulometrica ha fatto registrare valori molto diversi fra i campioni. Il *polverino bianco* è risultato composto quasi esclusivamente dalla frazione più sottile, il *polverino nero* dalle 3 frazioni con granulometria minore, mentre la *terra e crosta* ha mostrato una distribuzione più uniforme fra le diverse classi granulometriche. I risultati dell'analisi granulometrica sono riassunti in tabella 3.

Tab. 3. Analisi granulometrica degli scarti di lavorazione del sughero. I risultati sono espressi in percentuale della massa fresca.

Frazione	Polverino bianco [%]	Polverino nero [%]	Terra e crosta [%]
< 0,5 mm	98,8	43,4	24,0
0,5 ÷ 1 mm	3,5	41,0	21,6
1 ÷ 2 mm	0,5	14,9	27,5
2 ÷ 2,8 mm	0,1	0,4	14,1
> 2,8 mm	0,1	0,3	12,8



Il potere calorifico degli scarti della lavorazione del sughero ha fatto rilevare una media di 27,50 kJ/g per il *polverino bianco*, 20,30 kJ/g per il *polverino nero* e 19,11 kJ/g per la frazione *terra e crosta* con differenze altamente significative ( $p < 0,001$ ). Per scarti ottenuti dalla separazione granulometrica del sughero, Montero *et al.* (2014) riportano un potere calorifico sulla sostanza secca variabile fra 21,41 e 23,64 kJ/g. Nuñez *et al.* (2013) per pellet ottenuti da granulati di sughero prodotti in sugherifici portoghesi riportano un potere calorifico inferiore medio di 20,64 kJ/g. I dati del potere calorifico degli scarti della lavorazione del sughero sono riassunti in tabella 4.

Tab. 4. Potere calorifico superiore per grammo di sostanza secca degli scarti di lavorazione del sughero. I campioni che condividono una lettera non presentano differenze significative (test di Tukey con livello di confidenza al 95%).

Campione	pcs [kJ/g]	Significatività delle medie	Coefficiente di variazione
Polverino bianco < 0,5 mm	27,50	a	0,07
Polverino nero < 0,5 mm	21,27	b	1,33
Polverino nero 0,5 ÷ 1 mm	19,83	c	0,67
Polverino nero 1 ÷ 2 mm	19,81	c	1,11
Terra e crosta > 2,8 mm	19,46	cd	0,41
Terra e crosta 0,5 ÷ 1 mm	19,19	de	0,62
Terra e crosta 2 ÷ 2,8 mm	18,99	e	0,37
Terra e crosta 1 ÷ 2 mm	18,99	e	0,08
Terra e crosta < 0,5 mm	18,89	e	0,38

Se si esclude la polvere di sughero ottenuta dalla rettifica e intestatura di tappi naturali (*polverino bianco*), il contenuto di ceneri di tutti gli altri scarti di lavorazione del sughero è risultato molto elevato. Il campione di *terra e crosta* ha fatto rilevare un contenuto medio di ceneri sulla sostanza secca del 9,15% e il *polverino nero* del 6,90%. Per scarti ottenuti dalla separazione granulometrica del sughero, Montero *et al.* (2014) riportano un contenuto di ceneri sulla sostanza secca variabile fra 3,99 e 4,70%. Nuñez *et al.* (2013) per pellet ottenuti da granulati di sughero riportano un contenuto di ceneri compreso fra il 2,52% e il 2,82%. Il contenuto di ceneri degli scarti di lavorazione del sughero è riassunto in tabella 5.

Tab. 5. Contenuto di ceneri degli scarti di lavorazione del sughero. I campioni che condividono una lettera non presentano differenze significative (test di Tukey con livello di confidenza al 95%).

Campione	Ceneri sulla s.s. [%]	Significatività delle medie	Coefficiente di variazione
Terra e crosta < 0,5 mm	13,10	a	4,96
Terra e crosta 1 ÷ 2 mm	8,72	b	0,58
Terra e crosta 0,5 ÷ 1 mm	8,67	b	2,51
Terra e crosta 2 ÷ 2,8 mm	8,32	b	1,13
Polverino nero < 0,5 mm	7,26	c	0,04
Polverino nero 1 ÷ 2 mm	6,97	c	1,44
Terra e crosta > 2,8 mm	6,94	c	0,05
Polverino nero 0,5 ÷ 1 mm	6,48	c	1,24
Polverino bianco < 0,5 mm	1,75	d	1,62

### Miscela

Il potere calorifico superiore delle miscele (Tab. 6) ha fatto rilevare valori più elevati rispetto alle relative biomasse ottenute dalla pulizia del sottobosco. Questo andamento è da ascrivere al potere calorifico molto alto del polverino bianco utilizzato per la costituzione delle miscele.

Tab. 6. Potere calorifico superiore per grammo di sostanza secca delle miscele ottenute da biomasse della pulizia del sottobosco e polverino bianco. I campioni che condividono una lettera non presentano differenze significative (test di Tukey con livello di confidenza al 95%).

Miscela	pcs [kJ/g]	Significatività delle medie	Coefficiente di variazione
<i>Cytisus sp.</i> MIX	23,01	a	3,76
<i>Q. suber</i> MIX	22,80	a	3,08
<i>Q. pubescens</i> MIX	21,77	ab	0,38
<i>F. ornus</i> MIX	21,25	b	1,18

Il contenuto di ceneri delle miscele ha fatto registrare valori inferiori al 3% in tutti i campioni analizzati (Tab. 7). L'aggiunta di polveri di sughero derivate dalla rettifica ed intestatura dei tappi naturali ha influito positivamente sulle miscele abbassando il tenore in ceneri rispetto alle relative biomasse ottenute dalla pulizia del sottobosco.

Tab. 7. Contenuto di ceneri espresso in percentuale sul peso secco delle miscele ottenute da biomasse della pulizia del sottobosco e polverino bianco. I campioni che condividono una lettera non presentano differenze significative (test di Tukey con livello di confidenza al 95%).

Miscela	ceneri [%]	Significatività delle medie	Coefficiente di variazione
<i>Q. pubescens</i> MIX	2,74	a	0,38
<i>Q. suber</i> MIX	2,72	a	1,30
<i>F. ornus</i> MIX	2,09	b	1,13
<i>Cytisus sp.</i> MIX	1,72	c	4,02

## Conclusioni

Il potere calorifico superiore riferito alla sostanza secca misurato su campioni di biomassa ottenuti dal taglio del sottobosco di una sughereta ha fatto registrare un valore medio di 19,55 kJ/g. I valori più elevati sono quelli relativi alle foglie di *Q. suber* e di *Q. pubescens*.

L'analisi del contenuto in ceneri ha fatto rilevare valori elevati in tutti i campioni analizzati. Il contenuto in ceneri delle foglie è risultato più elevato rispetto a quello dei rametti. Il tenore in ceneri maggiore è stato registrato per le foglie di *F. Ornus*.

Gli scarti della lavorazione del sughero hanno fatto registrare una massa volumica apparente molto variabile, i valori più elevati sono stati registrati per il *polverino nero* che presentava medie quasi triple di quelle del *polverino bianco*. Il *polverino bianco* è risultato costituito quasi interamente da particelle molto sottili mentre gli altri scarti hanno mostrato una distribuzione più uniforme fra le diverse classi granulometriche. Il potere calorifico superiore degli scarti di sughero ha fatto registrare valori elevati, col massimo per il *polverino bianco* con una media di 27,50 kJ/g. Se si esclude il *polverino bianco* che ha fatto registrare un contenuto di ceneri medio del 1,75%, gli altri scarti di sughero hanno mostrato tenori in ceneri molto elevati.

Relativamente alle miscele costituite da biomasse ottenute dal taglio del sottobosco di una sughereta e da scarti della lavorazione del sughero, l'aggiunta di polveri di sughero derivate dalla rettifica ed intestatura dei tappi naturali ha influito positivamente sulle miscele incrementando il potere calorifico e abbassando il tenore in ceneri rispetto alle sole biomasse ottenute dalla pulizia del sottobosco.

## **Ringraziamenti**

Hanno partecipato al progetto i Sigg. Annamaria Inzaina, Mauro Maciocco e Antonio Masoni, che si ringraziano per la fattiva collaborazione nello svolgimento delle attività di competenza.

Un ringraziamento particolare al Sig. Sebastiano Colla del Sugherificio Colle & Fresu per la disponibilità e la cortesia dimostrata durante tutte le fasi di realizzazione del progetto.

## Bibliografia

- Fois I., Pampiro F., Ruiu P.A. (2015). *Produzione di biomassa e caratterizzazione energetica di specie arboree e arbustive in una sughereta del Nord Sardegna*. Quaderni del DIRSS n. 14. Agris Sardegna. Sassari.
- Minitab Inc. (2007). *Minitab 15 Statistical software*.
- Montero I., Miranda T., Sepúlveda F.J., Arranz J.I., Nogales S. (2014). *Analysis of pelletizing of granulometric separation powder from Cork Industries*. Materials, 2014, 7, 6686-6700.
- 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.
- Núñez L.J.R., Matias J.C.O., Catalão J.P.S. (2013). *Energy recovery from cork industrial waste: production and characterisation of cork pellets*. Fuel 2013, 113, 24–30.
- Pampiro F., Fois I., Giua M., Marzeddu G. (2014). *Potere calorifico di alcune specie arboree ed arbustive di una sughereta del Nord Sardegna*. Quaderni del DIRSS n. 10. Agris Sardegna. Sassari.
- Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato della Difesa dell'Ambiente (2006). *Piano forestale ambientale regionale*. All. III "Analisi di massima sull'utilizzo delle biomasse forestale a scopo energetico".
- Todaro L., Scopa A., De Franchi A.S. (2007). *Caratterizzazione energetica di specie arboree e arbustive di aree collinari e montane della Basilicata*. Forest@ 4 (1): 42-50, 2007.
- UNI EN 14774-2:2010. *Biocombustibili solidi. Determinazione dell'umidità. Metodo di essiccazione in stufa. Parte 2: Umidità totale. Metodo semplificato*.
- UNI EN 14774-3:2009. *Biocombustibili solidi. Determinazione dell'umidità. Metodo di essiccazione in stufa. Parte 3: Umidità del campione per l'analisi generale*.
- UNI EN 14775:2010. *Biocombustibili solidi - Determinazione del contenuto di ceneri*.
- UNI EN 14780:2011. *Biocombustibili solidi. Preparazione del campione*.
- UNI EN 14918:2010. *Biocombustibili solidi - Determinazione del potere calorifico*.
- UNI EN 14961-2:2011 *Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile. Parte 2: Pellet di legno per uso non industriale*.
- UNI EN 15103:2010. *Biocombustibili solidi - Determinazione della massa volumica apparente*.
- UNI EN 15149-2:2011. *Biocombustibili solidi - Determinazione della distribuzione granulometrica - Parte 2: Metodo del vaglio vibrante con apertura minore o uguale a 3,15 mm*.