

# COMBUSTIBILI DAL "PASTAZZO" D'ARANCE

Recupero di biomasse vegetali per la produzione di "biopellets" ■ PAOLO PLESCIA\*, MARIO REALE\*\*

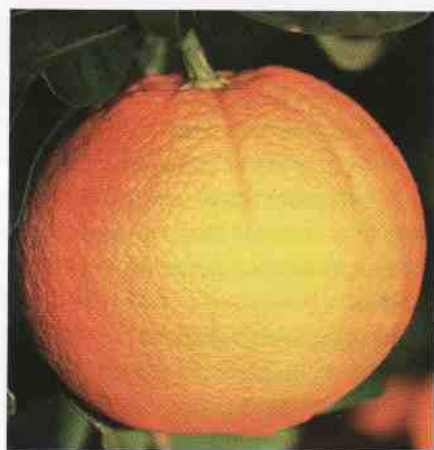
## Riassunto

Il tema del riutilizzo dei residui agricoli ed in particolare dei residui di produzione ed utilizzo degli agrumi è particolarmente sentito nelle regioni del Sud Italia, in particolare dalla Sicilia, che da sola produce il 70% dell'intera produzione agrumicola nazionale, circa 700.000 tonnellate di agrumi all'anno. Dall'utilizzo industriale degli agrumi derivano oltre 300.000 tonnellate di residui che vanno a finire in discarica, con notevoli problemi di smaltimento, aumentando i costi della filiera e determinando una riduzione dei margini di profitto per il comparto agricolo e manifatturiero. L'idea che Arcobaleno.A Srl e il CNR stanno portando avanti è l'utilizzo di una tecnologia semplice e a basso costo per il recupero di questi scarti come materia prima per la produzione di "Biopellets", cioè prodotti da riscaldamento domestico, più salubri dei pellets di legno e dotati di maggiore potere calorifico. La tecnologia messa in campo da Arcobaleno.A per produrre i Biopellets è basata sull'uso della raffinazione meccanica e prende il nome di Refolo. Essa è stata studiata e messa a punto dalla Arcobaleno.A Srl in collaborazione con il CNR ed è basata sulla micromacinazione di materiali ligno-cellulosici indotta con macchine ad attrito innovative ed in grado di ottenere polveri secche combustibili. Tale tecnologia ha superato i test di laboratorio ed è stato realizzato un piccolo dimostratore che ha dato notevoli risultati in termini di qualità calorifica e sterilità del prodotto finale. In questo lavoro si fa il punto su questa tecnologia e si discutono le possibilità di impiego.

## Introduzione

I materiali combustibili e i pellets di legno sono definiti dal DPCM 8 marzo 2002, GU del 12 marzo 2002 (1), che indica tra i combustibili per impieghi domestici la legna da ardere e le biomasse combustibili. Queste ultime sono il materiale vegetale prodotto da:

- coltivazioni dedicate (energetiche);
- trattamento esclusivamente meccanico di coltivazioni agricole non dedicate;
- interventi selvicolturali, da manufatti forestali e da potatura;
- lavorazione esclusivamente meccanica del legno vergine e costituito da corteccia, segatura, trucioli, chips, refili e tondelli di legno vergine, granulati e cascami di legno vergine di sughero vergine, non contaminati da inquinanti, aventi le caratteristiche previste per la commercializzazione e l'impiego;
- lavorazione esclusivamente mec-



canica di prodotti agricoli, aventi le caratteristiche previste per la commercializzazione e l'impiego.

In questo dispositivo legislativo sono pure indicate le modalità di utilizzo dei combustibili. La conversione energetica della biomassa può essere effettuata attraverso la combustione diretta, ovvero previa pirólisi e/o gassificazione. Le biomasse combustibili ridotte in pellets devono rispettare determinati valori di parametri fisici e chimici, in particolare umidità, ceneri, resistenza meccanica, contenuto di azoto, cloro e solfo (per le emissioni) e ovviamente il potere calorifico inferiore (tabella 1).

Tabella 1 - Valori di riferimento per le tre categorie di pellets (redatta dal Comitato Termotecnico Italiano (CTI))

PARAMETRO	UNITÀ	CATEGORIA		
		A	B	C
Diametro (D)	mm	D = 6+/- 0,5	D = 6+/- 0,5	10 +/- 0,5 < D < 25 +/- 1,0
Lunghezza (L)	mm	L < 5 x D	L < 5 x D	L < 4 x D
Umidità	% peso t.q.	< 10	< 10	< 15
Ceneri	% peso t.q.	< 0,7	< 1,5	.....*
Durabilità meccanica	% peso di fini (< 3 mm)	> 97,7	> 95,0	> 90,0
Azoto	% peso s.s.	< 0,3	< 0,3	.....*
Cloro	% peso s.s.	< 0,03	.....*	.....*
Zolfo	% peso s.s.	< 0,05	< 0,05	.....*
Densità	kg/m <sup>3</sup>	620 - 720	600 - 720	> 550
PCI	MJ/kg t.q.	> 17	> 15,5	> 15

\*nessuna prescrizione

La Direttiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 4 dicembre 2000 sull'incenerimento dei rifiuti (Gazzetta ufficiale delle Comunità europee 28.12.2000 L 332/91) (2), esclude dai processi di incenerimento, e quindi dall'iter autorizzativo e dai controlli, gli impianti di combustione che trattano unicamente i seguenti rifiuti:

- rifiuti vegetali derivanti da attività agricole e forestali;
- rifiuti vegetali derivanti dalle industrie alimentari di trasformazione, se l'energia termica generata è recuperata;
- rifiuti vegetali fibrosi derivanti dalla pasta di carta grezza e dalla produzione di carta, se il processo di coincenerimento viene effettuato sul luogo di produzione e l'energia termica generata è recuperata;
- rifiuti di legno ad eccezione di quelli che possono contenere composti organici alogenati o metalli pesanti, a seguito di un trattamento protettivo o di rivestimento, inclusi in particolare i rifiuti di legno di questo genere derivanti dai rifiuti edili e di demolizione;
- rifiuti di sughero.

Emerge quindi una considerazione importante: i pellets per riscaldamento domestico possono essere prodotti con molteplici sostanze organiche, e tra queste anche materiali vegetali provenienti da attività agricole e forestali, dalle industrie alimentari e dalle industrie della carta. Escludendo questi ultimi residui, perché possono contenere ingenti quantitativi di sostanze clorurate (sbiancanti), ci si concentrerà invece sui residui agricoli ed in particolare sui residui provenienti dall'industria degli agrumi. La produzione degli agrumi in Italia assomma a circa 2 milioni di tonnellate all'anno, delle quali il 67% è realizzata in Sicilia, il 18% in Calabria, e il 15% in Basilicata, Campania e Sardegna. L'uso degli agrumi per produrre pellet non ha mai dato buona prova, in quanto il contenuto d'acqua delle bucce (il cosiddetto "pastazzo" d'arance) è elevatissimo (intorno al 80%) e ciò inficia la possibilità di usarli come materia combustibile. Viceversa, se venissero utilizzati sistemi di produzione che adottano una

massiccia riduzione del contenuto d'acqua, i residui essiccati diventano particolarmente interessanti dal punto di vista combustibile, in quanto le bucce degli agrumi contengono grandi quantità di sostanze ad elevato potere calorifico.

### Caratteristiche chimiche e fisiche dei residui di agrumi

In questa sezione si analizzeranno le motivazioni che permettono di ritenere i residui di agrumi adatti alla produzione di pellets combustibili di elevata qualità. Gli agrumi hanno caratteristiche biochimiche tanto particolari da essere studiati come veri e propri "reattori biochimici" naturali, in quanto hanno la capacità di sintetizzare sostanze estremamente utili e rare e di arricchirsi di composti estremamente interessanti dal punto di vista energetico. La struttura della parte corticale (flavedo) degli agrumi contiene, oltre a cellulose, alcuni componenti organici, quali in particolare terpeni, sesquiterpeni alifatici e derivati ossigenati, composti alifatici non terpenici, idrocarburi aromatici e esteri con azoto. La parte immediatamente sotto alla corteccia (albedo) contiene cellulose e pectina, protopectina e acidi derivati dalla pectina, con alcuni componenti accessori. La polpa è costituita da cellulosa e dal succo, che contiene carboidrati (zuccheri mono e disaccaridi), acidi organici (citrico e malico), proteine, peptidi, aminoacidi, volatili (alcol). In linea generale, la parte residuale dei processi di estrazione dei succhi è costituita dalla buccia, cioè dal 21 al 38% del peso delle arance e mandarini e dal 25 al 46% del peso dei limoni e pompelmi. Dalle nostre prove effettuate in termogravimetria e dall'analisi dei dati bibliogra-

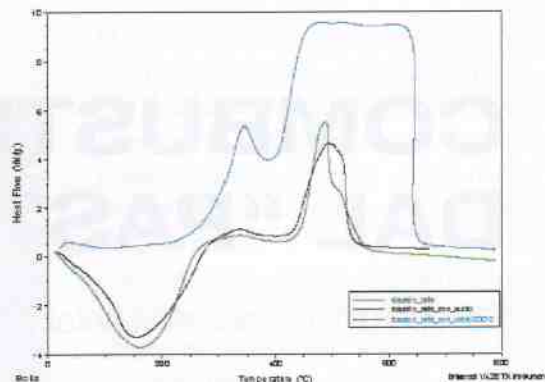


Figura 1 - Analisi termica differenziale di un campione di pastazzo: in verde il campione tal quale, in rosso il campione essiccato sotto vuoto e in blu il campione essiccato per via termica in aria

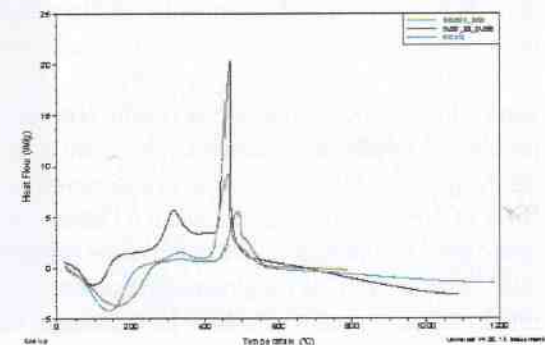


Figura 2 - Analisi termica differenziale del campione di pastazzo tal quale (in verde), in confronto ad un campione di sfalco di mais (in rosso) e un campione di sfalco di erba medica (in blu)

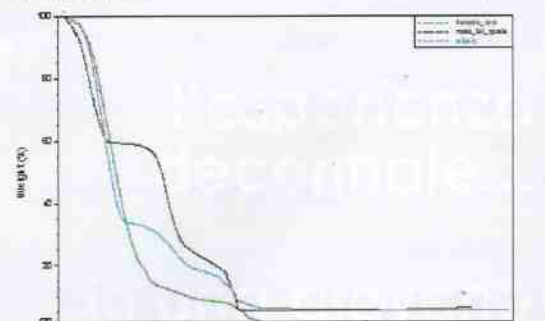


Figura 3 - Analisi termogravimetrica del campione di pastazzo tal quale (in verde), in confronto ad un campione di sfalco di mais (in rosso) e un campione di sfalco di erba medica (in blu)

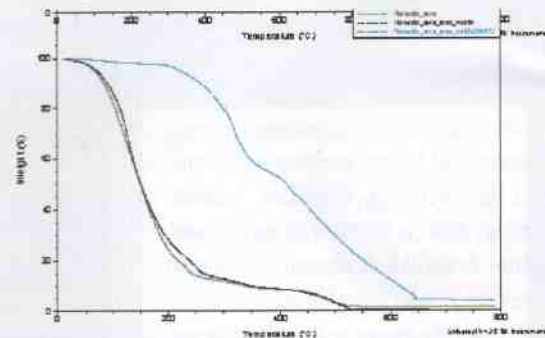


Figura 4 - Analisi termogravimetrica di un campione di pastazzo d'arance: in verde il campione tal quale (76% di umidità), in rosso il campione essiccato sotto vuoto (65% di umidità), in blu il campione essiccato per via termica in aria (3% di umidità)

**Tabella 3** - Caratteristiche fisiche di vari tipi di legno e biomasse (3)

BIOMASSA	Ceneri %	% H <sub>2</sub> O	kJoule/kg
Abete	0.3-2	6	16250
Pino	0.3-3	10	15800
Betulla	0.4-2	16	15500
Rovere	0.4-3	12	15100
Faggio	0.4-2	15	14400
Cippato di legno	1-4	25	8000
Lolla di riso	19	15	12800
Paglia di riso	25	10	12000
MAIS (dopo essiccazione a 90°C per 24h)	16	13	14460
Agrumi (dopo essiccazione a 90°C per 24h)	0.4	8	16500
Paglia (dopo essiccazione a 90°C per 24h)	18	7	16700

fici, si evince che il potere calorifico inferiore del pastazzo d'arance essiccato, con il 12% di acqua, è estremamente elevato, superando i 16 MJ/kg (figure 1 - 4, tabella 3). Tale contenuto calorifico può anche aumentare, vista l'elevata quantità di olii ancora contenuti nelle bucce dopo la normale spremitura per la produzione dei succhi, se si elimina la componente acquosa che riduce fortemente il potere calorifico delle biomasse da agrumi. In linea teorica gli "oli essenziali", da soli, raggiungono i 34.8 MJ/kg e di conseguenza aumentano in modo sostanziale il potere calorifico delle semplici cellulose, che normalmente si pongono intorno ai 15 MJ/kg (4).

Dalle analisi riportate nelle figure 1 - 4 si possono fare numerose considerazioni. Innanzi tutto, si nota che quando l'acqua di imbibizione del pastazzo viene eliminata, il potere calorifico aumenta in modo molto vistoso, come si può osservare nella figura 1. Il picco esotermico relativo al tal quale aumenta di area di un fattore 2 e rappresenta un potere calorifico maggiore di 24 MJ/kg. Il contenuto di sostanze ad elevato punto di ebollizione (idrocarburi aromatici pesanti) e altre sostanze ad elevato peso molecolare tendono a concentrarsi e si riesce ad estrarre molta più energia rispetto al campione tal quale che contiene almeno 80% di acqua.

Dal punto di vista del contenuto in sostanze inorganiche, la composizione delle

ceneri ci dice molto delle componenti che in qualche modo possono essere dannose nella combustione (tabella 3). La composizione che viene riportata è stata determinata per via analitica su decine di partite di pastazzo analizzate. Le ceneri generate dal processo di combustione delle biomasse da agrumi mostrano una forte componente potassica tipica delle ceneri vegetali e un ridotto contenuto di fosforo, sodio e cloro. Rispetto alle ceneri da biomasse legnose, la componente potassica è preponderante, ma non essendoci componente clorurata, il rischio che si formino Sali aggressivi nei confronti delle caldaie è ridotto al minimo. La cenere, d'altro canto, è ridotta allo 0.4% del peso del pastazzo, contro il 13-15% di cenere dell'erba, della paglia e di altri sottoprodotti da sfalcio. Anche il problema della formazione di diossine è assolutamente ridotto, rispetto ad altre biomasse ed in particolare alle paglie. Infatti, il contenuto di cloro estremamente basso (40 ppm sulle ceneri) rispetto a quello della paglia (> 2%) e del legno (> 100 ppm) consente di stabilire una sostanziale impossibilità per la formazione di tali composti nella combustione del pellet da agrumi.

L'importanza del tipo e della quantità delle ceneri è notevole: la presenza di ceneri a

composizione potassica permette di individuare l'eventuale riutilizzo come ammendante per suoli. In questo senso sono già noti in bibliografia studi sull'effetto positivo delle ceneri da agrumi nella fertilizzazione di suoli poveri (6, 7, 8). Un dato importante riguarda la temperatura di fusione delle ceneri: le ceneri potassiche hanno una temperatura di fusione bassa, comunque non inferiore ai 1000°C, il che garantisce le caldaie a pellets da eventuali problemi di rammollimento delle ceneri. In conclusione, le biomasse da agrumi costituiscono una potenziale materia prima combustibile, per gli elevati valori di P.c.i., per la ridotta quantità di ceneri e la quasi totale assenza del cloro. Oltre a ciò, nell'ottica di produrre un pellet con caratteristiche più piacevoli rispetto al pellet di legno, non è secondario il fatto che rimane nel materiale una discreta quantità di olii essenziali che danno ai fumi di combustione un leggero aroma di agrumi. Tutte queste caratteristiche determinano, in fase di combustione, una salubrità dei fumi quasi irraggiungibile con il normale pellet da legna. È però necessario, per poter utilizzare tali materiali, portare al minimo possibile il contenuto d'acqua, senza eliminare la componente di olii e di sostanze combustibili presenti. Per questa

azione sono state testate varie tecnologie, quali la tecnologia termica in aria e sotto vuoto e la tecnologia meccanica, anch'essa

**Tabella 4** - Composizione della frazione inorganica presente nel pastazzo d'arance in confronto con il legno Douglas e la paglia di grano (3, 4)

Ossidi	Pastazzo essiccato	Paglia di grano	Legno Douglas
SiO <sub>2</sub>	1.2	35.8	12.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3	2.46	2.83
CaO	15.5	4.66	37.10
K <sub>2</sub> O	72.3	18.40	17.00
Na <sub>2</sub> O	2.3	10.50	3.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.4	1.47	1.86
MgO	4.7	2.51	5.86
MnO (ppm)	100	2100	6100
FeO (ppm)	1600	9800	52000
CuO (ppm)	250	600	100
ZnO (ppm)	270	600	450
Cl (ppm)	40	20000	100
SO <sub>3</sub>	0.02	1.1	2.32

**Tabella 2** - Analisi delle perdite di acqua (fino a 205°C), volatili organici (fino a 600°C) e ceneri residue (a 800°C) del pastazzo

Campione	Perdita a 205°C (%)	Perdita a 600°C (%)	Ceneri 800°C (%)	Volatili combustibili %
Pastazzo tal quale	80	97	0.4	16
Pastazzo essicc. sotto vuoto	75	98	1.1	22
Pastazzo ess. 200°C aria	3	96	3	89

applicata in aria e sottovuoto. Da queste prove è nata la tecnica della Microessiccazione, contrazione dei due termini Micronizzazione e Essiccazione. La microessiccazione è un metodo di riduzione del contenuto d'acqua che sfrutta la pressione orientata di sfere o corpi macinanti in un mulino durante un'azione di comminazione. Mentre il mulino ruota, i corpi macinanti schiacciano il materiale e determinano la fuoriuscita di acqua e altre sostanze liquide e gassose. La pressione di macinazione, in alcune tecnologie può raggiungere anche le 15.000 atmosfere (9). L'acqua, liquido incompressibile, reagisce uscendo in modo "esplosivo", tanto da frantumare le particelle stesse e riducendone le dimensioni medie. La microessiccazione permette così di raggiungere dimensioni particellari molto piccole, pur lavorando su materiali flessibili e fibrosi come le cellulose, che notoriamente non sono facili da macinare.

## Il processo di trattamento

Il processo di trattamento ideato e applicato con successo in laboratorio e in fase pilota è denominato Refolo, ed è un combinato di tecnologie industriali, alcuni già presenti sul mercato e altri realizzati ex novo. Lo schema di figura 5 illustra sinteticamente il sistema:

- la prima fase del processo è costituita da un sistema meccanico di accoglimento del rifiuto;
- il materiale disposto su nastro trasportatore viene sottoposto a screening con un separatore di metalli ferrosi overbelt, necessario per preservare le successive macchine dalla eventuale presenza di elementi metallici; eventualmente viene anche vagliato;
- il materiale deferrizzato viene quindi compresso attraverso una pressa a vite con ciclo continuo, adatta a ridurre il contenuto d'acqua iniziale dall'80% al 20-25%;
- il materiale compattato e in parte essiccato passa alla triturazione fine con un mulino a lame per raggiungere una pezzatura di 0.5 cm e successivamente viene trattato con un "pin mill" che funziona da

microessiccatore per estrarre il residuo di acqua e ridurre ulteriormente la pezzatura senza far evaporare gli olii;

- il prodotto viene trasportato per via pneumatica verso il silos di raccolta dal silos di raccolta un dosatore fornisce materiale al pellettizzatore che produce pellets da 2 a 3 cm di lunghezza;
  - infine i pellets finiscono nella sezione di insaccamento del prodotto.
- L'intero impianto è pensato su due o più piattaforme di dimensioni adatte al trasporto su mezzi in sagoma, con ingombri limitati. Una piattaforma è dedicata al controllo del processo e al gruppo di continuità.

L'elemento caratterizzante del sistema Refolo è il mulino pin mill, derivato dal classico schema dell'attritore a microsferi: un mulino, molto semplice nella sua struttura e costituito da una giara e da una girante centrale, che muove dei pioli o martelli, che a loro volta agitano una massa macinante interna. Le masse macinanti, costituite da sfere di acciaio e di materiale avente elevata densità, vengono scagliate a velocità subsoniche dai martelli e, nella loro traiettoria, intercettano le particelle di materiale. L'urto successivo con le altre sfere e tra sfere e parete della giara di contenimento produce un effetto di compressione non idrostatica sulle particelle stesse provocando

Figura 5 - Il processo REFOLO per la produzione di BIOPELLETS dal "pastazzo d'arance"

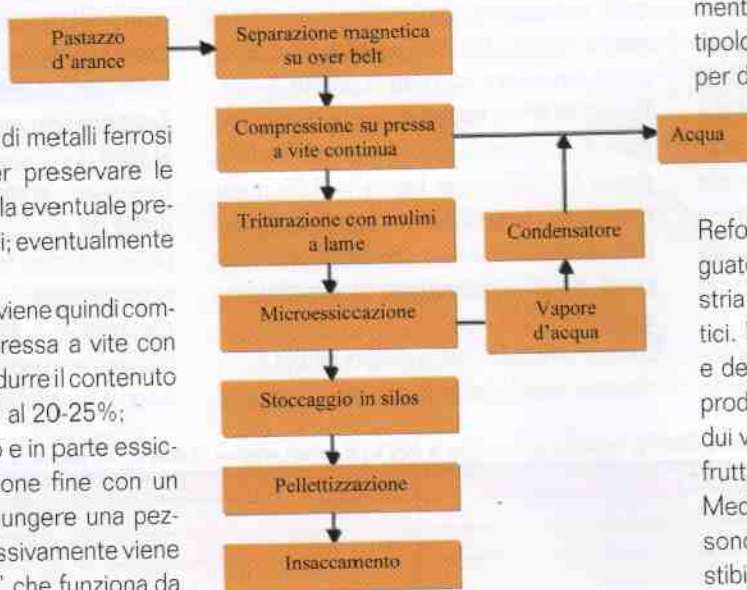


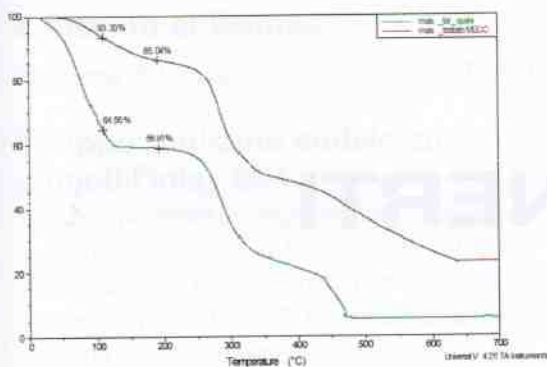
Figura 6 - Il primo impianto completo dimostratore REFOLO, presso l'Area della Ricerca CNR RM-1 nel Dicembre 2008: di fronte la coclea di carico, il micronizzatore (scatola grigia centrale) il tubo dell'aspiratore delle polveri e il ciclone (in azzurro) con il filtro a maniche di aspirazione

prima l'eliminazione dell'acqua, quindi la minuta frantumazione. Infatti si è notato che, una volta eliminata la maggiore quantità di acqua, il prodotto diventa fragile e facilmente frantumabile. In figura 6 è visibile una foto dell'impianto. L'effetto di microessiccazione è evidente dai termogrammi di figura 7 e 8: si osserva che il procedimento può determinare una perdita di acqua almeno del 50% e un sensibile aumento della frazione combustibile sul totale del peso residuo. La microessiccazione è una tecnica che può facilmente essere esportata anche per altre tipologie di rifiuti, quali ad esempio il pulper di cartiera e i rifiuti tessili e conciari.

## Conclusioni

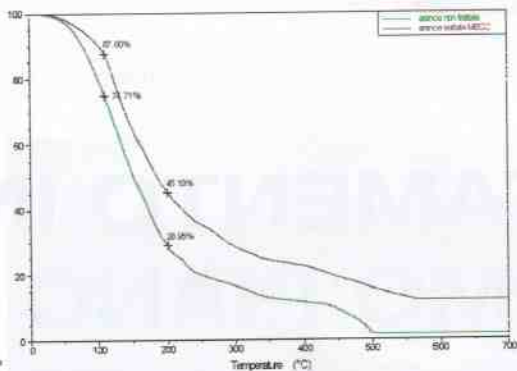
Refolo può rappresentare un metodo adeguato al recupero di biomasse dall'industria agroalimentare per impieghi energetici. Pensiamo infatti agli scarti del mais e dei cereali in generale, ai residui della produzione vitivinicola e olearia e ai residui vegetali della produzione di ortaggi e frutta.

Mediante il processo Refolo tali rifiuti possono essere convertiti in pellets combustibili di elevata qualità con un costo di



**Figura 7** - Termogramma di perdita di peso per un campione di sfalci di mais non trattato (verde) e trattato per microessiccazione (rosso); il campione è stato preventivamente pressato in filtro a vite, che ha sottratto il 40% dell'acqua. Si noti la diminuzione del contenuto d'acqua del mais tal quale (36%) al trattato (6.7%)

trattamento, comprensivo dell'ammortamento dei costi di impianto di 50-60 €/ton, mentre i pellets che se ne ricavano hanno un valore di mercato di 150-210 €/ton. La tecnologia permette inoltre di produrre materie prime combustibili che possono essere mescolate con i cippati di legna pellettizzati per aumentarne la resistenza a compressione e diluirne il contenuto di sostanze tossiche.



**Figura 8** - Termogramma di perdita di peso per un campione di pastazzo d'arance; il campione è stato preventivamente pressato in filtro a vite, che ha sottratto il 40% dell'acqua: pastazzo tal quale = 26%, pastazzo microessiccato = 12%

## Bibliografia

- 1) DPCM 8.03.2010.
- 2) Direttiva 2007/76/CE.
- 3) INDEBiF - An integrated european market for densified biomass fuels. Country reports (2002-2003), available at <http://www.pellets2002.com>.
- 4) K. Reisinger et al., BIOBiB - a Database for Bio-fuels, THERMIE - Conference: Renewable Energy Databases, Harwell (United Kingdom), 1996.

5) Comitato Termotecnico Italiano "Progetto Fuoco" CEAR Atti convegno Verona 23 marzo 2002.

6) Awodun MA (2007) Effect of sawdust ash on nutrient status, growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Asian J Agric Res* 1(2):92-96.

7) Demeyer A, Nkana JCV, Verloo MG (2001) Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresour Technol* 77:287-295.

8) K. Schiemenz, B. Eichler-Loberman "Biomass ashes and their phosphorus fertilizing effect on different crops" *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 10, 2010.

9) Plescia P., G. Paoloni, R. Sottile, M. Tocino, M. Reale "Utilizzo di CDR nelle cementerie e nei termovalorizzatori" *Recycling*: 62 (2008).

°CNR IGAG ISTITUTO DI INGEGNERIA AMBIENTALE E GEORISORSE  
°°ARCOBALENO.A SRL, CATANIA  
[WWW.ARCOBALENOA.COM](http://WWW.ARCOBALENOA.COM)

# Cannone Anti-polveri e Anti-odori

Cannone Anti-Polveri e Anti-Odori, espressamente realizzato per la captazione delle polveri generate durante lavori di demolizione, escavazione e movimentazione di prodotti pulverulenti all'aria aperta.

Omni-orientabile: 330° in Orizzontale e 200° in Verticale (100°+100°)

Pennellamento Automatico ad angolo programmabile

Gittate utili da 22 a 40 metri

Portata d'acqua regolabile sino a 50/90 l/min.

Motori diesel autonomi 27/36/52/84 HP

Serbatoio acqua integrato da 300/400/500 /1.000 litri

Postazione fissa, carrellata o autotrasportabile.

Radiocomando Wireless »

**tifone**  
ambiente  
Health & Ecology

Tifone Ambiente s.r.l.  
via Modena, 248/A - 44124 Cassana - Ferrara - Italy - (uscita A/13 Ferrara Nord)  
Tel. +39 0532 730 586 (r.a.) - Fax +39 0532 730 588 - e-mail: [tifone@tifone.com](mailto:tifone@tifone.com)  
[www.tifone.com](http://www.tifone.com)

**Novità!**

