



IV Sezione



Facoltà di Agraria

ATTUALITÀ DELLA RICERCA NEL SETTORE DELLE ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSA

ATTI DEL CONVEGNO

Ancona - Facoltà di Agraria

16 - 17 dicembre 2010

ISBN 978-88-906186-1-1

© 2011 CTI, Milano

finito di stampare nel mese di febbraio duemiladodici

presso Tipolitografia Trabella,
Peschiera Borromeo (MI)

Comitato scientifico ed editoriale

Gualtiero Baraldi
Remigio Berruto
Luigi Bodria
Stefano Bona
Enrico Cini
Andrea Del Gatto
Mario Di Candilo
Ester Foppa Pedretti
Andrea Galli
Ilaria Mannazzu
Antonio Pazzona
Pietro Piccarolo
Pier Riccardo Porceddu
Giorgio Provolo
Paolo Ranalli
Giovanni Riva
Oriana Silvestroni
Franco Sotte
Paolo Tarolli
Marco Toderi
Gianpietro Venturi

Atti a cura di:
Ester Foppa Pedretti
Chiara Mengarelli

I contributi contenuti negli Atti sono stati oggetto di peer-review da parte del comitato scientifico sulla base dell'intero testo e rappresentano una selezione delle relazioni presentate al convegno.

Indice

Prefazione	1
Premesse	3
<i>Produzione di biomassa dedicata</i>	5
Valutazione di ibridi di girasole (<i>Helianthus annuus</i> L.) alto oleico per uso energetico in Italia centro-orientale	7
Riduzione della lavorazione su girasole (<i>Helianthus annuus</i> L.) alto oleico per uso energetico.....	17
Il sorgo coltivato a fini energetici e l'efficienza di utilizzazione dell'acqua in ambiente mediterraneo	25
Tecniche di propagazione della canna comune (<i>Arundo donax</i> L.) a confronto	32
Potenzialità produttiva di sorgo e girasole a destinazione energetica in un ambiente a sussidio idrico limitato.....	40
Un biennio di prove di valutazione agronomica di varietà commerciali di <i>B. napus</i> e <i>B. carinata</i>	50
Valutazione delle caratteristiche produttive di varietà di sorgo da biomassa in Centro Italia.....	59
Concimazione azotata e densità di semina in colza (<i>B. Napus</i> L.)	68
Individuazione di varietà di vite ibride (<i>Vitis</i> Sp.) idonee alla produzione di bioetanolo e cellulosa da impiegare come fonti di bioenergie	75
<i>Utilizzo di biomassa residuale</i>	81
Caratterizzazione energetica del materiale ritratto da diradamenti in impianti di <i>Pinus</i> spp. in Italia centrale	83
Prove di combustione di pollina in un impianto termico sperimentale.....	91
Caratteristiche energetiche di sottoprodotti ottenuti dalla coltivazione di lino da fibra	99
Valorizzazione dei cascami della filiera vinicola.....	108
<i>Gestione e controllo dei residui delle filiere</i>	119
L'impiego della frazione separata solida del liquame digerito e non per l'alimentazione dei digestori anaerobici	121
Livelli di IPA nelle emissioni prodotte da stufe domestiche alimentate a pellet di legno.....	129
Prove di strippaggio dell'azoto da reflui ottenuti da impianti di D.A.....	138

Produzione di pannello e di olio a partire da girasole decorticato con una spremitrice a pressione graduale	146
Impiego di farine di disoleazione provenienti dalla filiera biodiesel e di compost da f.o.r.s.u. nell'ammendamento di melanzana e scarola	154
<i>Caratterizzazione e qualità delle biomasse</i>	161
Produzione di bio-etanolo da biomasse di patata dolce	163
Produzione e caratterizzazione energetica di biomasse erbacee irrigate con acque reflue	171
La barbabietola da zucchero come coltura dedicata per il biogas.....	181
Il controllo della qualità della biomassa nelle centrali di trasformazione energetica: caso applicativo	191
Tracciabilità del cippato in una logica di filiera corta.....	197
Valutazione della capacità di idrolisi e saccarificazione di biomasse lignocellulosiche da parte di isolati di <i>Trichoderma</i> spp. per la filiera del bioetanolo.....	205
La determinazione del contenuto di carbonio biogenico in combustibili ibridi.....	210
Il campionamento delle biomasse solide.....	216
Impiego di additivi inorganici per il miglioramento del comportamento termico delle ceneri nella combustione delle biomasse	224
<i>Meccanizzazione della raccolta della biomassa</i>	231
Valutazione di un prototipo per la raccolta di colture da biomassa a destinazione energetica	233
Sviluppo ed analisi operativa di un'attrezzatura per la raccolta di impianti di pioppo da biomassa lignocellulosica a breve turno di ceduazione.....	241
Raccolta dei sarmenti di vite in cippato: disponibilità potenziale e tecnica in provincia di Treviso	249
<i>Valutazioni tecniche, economiche e territoriali</i>	259
Diritti di proprietà ed organizzazione dell'afferta di biomassa: inquadramento teorico ed indagine empirica	261
Produzione di biomassa a fini energetici da un primo diradamento in impianto di pino nero (<i>Pinus nigra</i> Arnold), tempi di lavoro, produttività e costi.....	271
Analisi del processo decisionale della filiera energetica dell'olio vegetale.....	279
Filieri agro-energetiche: modello per il calcolo dei costi economici, energetici e ambientali a bocca impianto.....	286
Opportunità e riflessi economico-fiscali della produzione di energie rinnovabili nell'impresa agricola.....	296
Utilizzazione di un ceduo di eucalipto per produzione di biomassa con impiego di meccanizzazione spinta: aspetti tecnici ed economici	304

Esperienze in atto sulla conversione agricola verso le colture energetiche	311
Localizzazione e dimensionamento di un impianto di digestione anaerobica per la produzione di biogas nella Sicilia sud-orientale	318
Metodologia e applicazione territoriale per la valutazione di filiere bio- energetiche	326
Modelli previsionali della biomassa a fini energetici ritraibile da eucalitteti della	336
<i>Sostenibilità</i>	347
Applicazione di liquami bovini alle colture dedicate da energia: implicazioni energetiche e sul bilancio del carbonio	349
Coltivazione di sorgo per bioenergia e ciclo del C del suolo	355
Effetto della conversione da colture agricole a colture legnose per energia sull'emissione di gas climalteranti: primi due anni di sperimentazione	361
Sostenibilità delle filiere bioenergetiche in Italia	371
Un modello di impiego sostenibile delle biomasse forestali in provincia di Nuoro	381
Un software per la valutazione di sostenibilità delle filiere agro-energetiche	391

Prefazione

La necessità di trovare alternative alle risorse energetiche fossili per fare fronte a problemi di approvvigionamento e ai dissestati equilibri ambientali, ha portato anche allo studio ed allo sfruttamento delle fonti rinnovabili, con l'intento di valorizzare nei differenti ambiti ed ambienti le risorse di maggiore interesse.

Analisi delle potenzialità e affinamento delle tecniche per il loro sfruttamento sono attività che coinvolgono direttamente la ricerca, di base e applicata: da un approfondimento condotto nel 2008 (Kajikawa et Al., 2008), che ha analizzato la bibliografia citata dall'Institute for Scientific Information (ISI) dal 1970 al 2005, si rileva che i lavori pubblicati in ambito scientifico e relativi ad argomenti energetici sono stati oltre 150 mila, distribuiti in 68 riviste. Da questa selezione si evidenzia che la grande maggioranza di lavori relativi alla produzione energetica riguarda ancora i combustibili di natura fossile, petrolio e carbone, e le tecniche di combustione.

Un inizio di interesse per le energie rinnovabili, interesse crescente negli anni seguenti, è segnalato solo a partire dall'ultimo decennio del secolo scorso. Ad oggi, l'attenzione anche a livello scientifico internazionale è ancora "tiepida", essendo la numerosità delle pubblicazioni sulle energie rinnovabili circa il 3% delle complessive e, comunque, rivolta soprattutto allo sfruttamento diretto dell'energia solare (2/3 delle pubblicazioni sulle rinnovabili sono riconducibili a questo soggetto).

Nell'ambito descritto, le risorse rinnovabili da biomasse rappresentano un'ulteriore nicchia, trattata in circa il 10% degli scritti. Da queste riflessioni emerge che, pur essendoci una certa vivacità nella comunità scientifica internazionale, ci sia la necessità di potenziare le ricerche nel settore, sperimentando vie nuove per trarre energia, diretta o indiretta, dalle risorse energetiche rinnovabili e, nello specifico, dalla biomassa.

In questo spaccato internazionale si inserisce, un po' ambiziosamente, il contenuto di questo volume di Atti, in cui si raccolgono i lavori di ricercatori di istituzioni ed enti italiani, operanti soprattutto in ambito agricolo, e centrati sulla produzione di biomassa, coltivata o residuale, ad utilizzo energetico e sulla sua trasformazione. Le 46 memorie raccolte, sottoposte a peer review, rappresentano le principali attività di ricerca nel settore attualmente in atto nel Paese. L'augurio, per il futuro, è che questo contributo possa essere da stimolo per intraprendere altri studi e ricerche di approfondimento.

*Prof. Gualtiero Baraldi
Presidente IV Sezione AIIA*

Ancona, dicembre 2011

Impiego di additivi inorganici per il miglioramento del comportamento termico delle ceneri nella combustione delle biomasse

Corinaldesi Fabrizio⁽¹⁾, Riva Giovanni⁽¹⁾, Toscano Giuseppe⁽¹⁾, Foppa Pedretti Ester⁽¹⁾

⁽¹⁾ Dipartimento SAIFET - Università Politecnica delle Marche - f.corinaldesi@univpm.it

Parole chiave: combustione, ceneri, temperature di fusione, additivi inorganici

Abstract

In the last years, the increase of different kinds of biomass for energy use has led to a growing of the variability of the characteristics of the solid biofuel used in the power plant. Both the ash content and the ash thermal behavior (melting phenomena) during combustion are relevant parameters to consider from a technical point of view. They are strongly linked to phenomena like slagging and fouling inside the boiler. In this research, known different amounts of mineral additives (MgO and CaO) were added to the different types of biomass in order to verify the increase in terms of ash melting temperature. The obtained data show that both tested additives are able to improve the ash behavior, increasing its melting temperatures.

1. Introduzione

Per questioni ambientali e in considerazione degli elevati costi dei combustibili fossili, in tutto il mondo è in continua crescita l'utilizzo di rifiuti agricoli, legno di origine forestale, scarti dell'industria agroalimentare e altre tipologie di biomassa da utilizzare come combustibili per la produzione di energia elettrica [1].

La variabilità di questi materiali, in termini di caratteristiche chimiche e fisiche, rappresenta un problema tecnico per la loro gestione in impianti di combustione.

Il contenuto di ceneri (C_C) e il loro comportamento termico durante la combustione sono i parametri di maggior rilevanza dal punto di vista tecnico, in particolare per impianti di medio-grande taglia. Nello specifico, il C_C influenza il potere calorifico della biomassa e implica l'insorgenza di problematiche relative allo smaltimento del residuo di combustione. Il comportamento termico delle ceneri è rilevante in relazione ai fenomeni di sporco, incrostazione e formazione di agglomerati all'interno della camera di combustione. Tali fenomeni sono responsabili della riduzione dell'efficienza energetica degli impianti, oltre al danneggiamento e alla corrosione delle parti interne del sistema di combustione con conseguenze economiche sulla loro gestione [2,3].

Le basse temperature di fusione delle ceneri di alcuni materiali rappresentano l'aspetto più importante alla base di questi problemi. Questo fenomeno è dovuto all'elevato contenuto di metalli alcalini nelle ceneri della biomassa, osservato in particolare nelle biomasse erbacee solitamente contraddistinte da un elevato C_C [3]. La presenza di elementi alcalini nelle biomasse determina una riduzione della temperatura di fusione del materiale. Le conseguenze si manifestano come formazione di aggregati di ceneri sulle superfici interne della camera di combustione che possono raggiungere dimensioni importanti [4]. Una possibile soluzione può provenire dalla modifica della composizione chimica delle ceneri mediante l'aggiunta di alcuni additivi inorganici alle biomasse. In particolare, alcune esperienze dimostrano che l'aggiunta di ossidi minerali (in genere ossidi di calcio e magnesio) alla biomassa grezza, può modificare il comportamento termico delle ceneri aumentandone la temperatura di fusione [5,6,7].

Obiettivo di questo contributo è verificare e misurare gli effetti in termini di variazione della temperatura di fusione conseguenti all'aggiunta di prodotti inorganici ad alcune biomasse. Nello specifico sono state selezionate 6 tipologie di materiali sulle quali sono stati testati 2 diversi additivi minerali.

2. Metodologia

Quantità note di additivi minerali sono state aggiunte a diverse tipologie di biomassa in modo da verificarne la variazione di temperatura di fusione delle ceneri. In particolare, sono stati selezionati 6 tipologie di materiali potenzialmente problematici a causa delle basse temperature di fusione delle ceneri [8]: granella di mais (GM), crusca di grano (CG), pannello di girasole (PG), sansa di oliva (SO), cippato di sorgo (CS) e paglia di frumento (PF).

Tutte le biomasse in purezza sono state sottoposte ad analisi per il C_C secondo la norma CEN/TS 14775, che prevede l'incenerimento in atmosfera controllata in muffola a 550°C . Le ceneri ricavate da ciascuna biomassa, a seguito del trattamento di incenerimento, sono state sottoposte al test della fusibilità in base alla norma CEN/TS 15370. Le prove sono state effettuate mediante un analizzatore di fusibilità delle ceneri (SYLAB IF2000) caratterizzato da un limite superiore di misura della temperatura di 1500°C .

Il metodo di analisi prevede una fase preparatoria dei campioni di ceneri mediante macinazione per consentire di ridurre la granulometria del prodotto e ottenere una polvere fine ed omogenea. La cenere resa omogenea viene lavorata mediante uno stampo metallico per ottenere un provino solido di forma cilindrica perfettamente regolare da introdurre nell'analizzatore di fusibilità delle ceneri.

L'analisi della fusibilità consiste nel rilevare le variazioni dello stato fisico del campione di cenere cilindrica sottoposto a temperature crescenti. Ciò viene ottenuto mediante un sistema di monitoraggio con telecamera, che inquadra costantemente il campione di ceneri sottoposto ad analisi. Un software installato su un PC collegato alla telecamera consente di gestire le immagini ed identificare le variazioni di geometria del campione di ceneri in conformità alla CEN / TS 15370. Nel dettaglio, sono distinte quattro fasi fondamentali del processo di fusione corrispondenti a forme geometriche prestabilite: contrazione, deformazione (T_D), emisferica e fluidificazione.

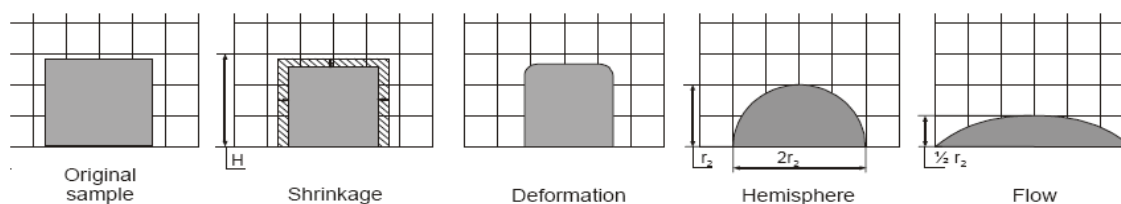


Figura 1 - Fasi del processo di fusione delle ceneri (CEN/TS 15370)

Nell'ambito di questo lavoro si è ritenuto utile adottare la T_D come riferimento per stabilire il comportamento termico delle ceneri. Quest'ultimo parametro corrisponde infatti all'inizio del processo di fusione delle ceneri e alla temperatura alla quale il materiale può iniziare a dare problemi all'interno dei sistemi di combustione.

Su tutte le biomasse prese in considerazione sono state aggiunte quantità note dei due additivi minerali. In particolare, per questi test sono stati utilizzati ossido di calcio (CaO) e ossido di magnesio (MgO).

Per misurare gli effetti dell'additivo, anche in funzione della sua concentrazione presente nella miscela con la biomassa, sono state preparate 4 miscele con concentrazioni differenti: 0,25%; 0,5%; 0,75%, 1% in peso di additivo sulla biomassa secca. Gli additivi utilizzati sono di tipo industriale e presentano un grado di purezza superiore al 90%.

Le biomasse sono state preventivamente sottoposte ad essiccazione in stufa a 105°C e a riduzione di pezzatura mediante un mulino a coltelli dotato di una griglia di 1 mm. Successivamente gli additivi minerali sono stati aggiunti. Quindi le miscele opportunamente omogeneizzate sono state sottoposte ad incenerimento secondo la norma CEN/TS 14775. Nel complesso il piano di lavoro ha previsto la preparazione di 48 miscele di ceneri contenenti additivi sui quali è stata eseguita l'analisi di fusibilità. Specificatamente per ciascuna tipologia di miscela (biomassa - additivo), i valori di T_D ottenuti dalle analisi sono stati messi in relazione con le rispettive concentrazioni di additivo. Sulla base di queste relazioni sono state

calcolate le quantità di additivo su peso secco di biomassa da aggiungere al prodotto per ottenere un innalzamento specifico della temperatura di fusione delle ceneri.

3. Risultati

La tabella 1 mostra i valori di C_C e di T_D dei materiali puri presi in esame dal lavoro.

Tabella 1 - Contenuto in ceneri (C_C) e temperature di deformazione (T_D) dei materiali puri.

Materiale	C_C	T_D
	(% s.s.)	(° C)
Paglia di frumento (PF)	5,7	809
Cippato di Sorgo (CS)	5,5	914
Granella di Mais (GM)	1,7	761
Crusca di grano (CG)	6,0	734
Pannello di girasole (PG)	4,8	1096
Sansa di oliva (SO)	8,8	1046

Come si può osservare le 6 biomasse pure hanno una T_D delle ceneri variabile e compresa tra i 734° C della CG e i 1096° C del PG. Questo consente di verificare l'effetto degli additivi partendo da ceneri di biomasse con diverso comportamento alla fusibilità. Tutti, comunque, con T_D al di sotto di 1100° C e, quindi con potenziali problemi in caldaia. Anche il C_C dei 6 materiali è risultato essere molto variabile e più precisamente compreso tra 1,7% della GM e 8,8% della SO.

La tabella 2 riporta le T_D delle miscele biomassa-additivo prodotte in laboratorio. I dati evidenziano che in tutti i casi di studio l'aggiunta di additivi ha portato ad un aumento delle temperature di deformazione delle ceneri. L'MgO è risultato essere sempre più efficace del CaO ad eccezione del PG. Su questa biomassa i due additivi hanno ottenuto risultati del tutto comparabili (Fig. 2). In particolare, gli incrementi di temperatura più elevati sono stati riscontrati per la GM, dove con una aggiunta minima di MgO (0,25%) è stato ottenuto un incremento di temperatura superiore a 400° C.

I materiali che risentono in maniera meno importante l'effetto dell'aggiunta di additivi sono il PG e la SO per i quali pur con una aggiunta massima (1%) di MgO è stato riscontrato un aumento di T_D inferiore a 200° C.

Tabella 2 - Temperature di deformazione (° C) delle miscele di biomassa con concentrazioni crescenti di additivo.

Quantità additivo (% s.s.)	PF		CS		GM		CG		PG		SO	
	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO
0	809		914		761		734		1096		1046	
0,25	839	839	998	959	1209	1093	924	933	1177	1155	1081	1067
0,50	879	879	1085	1066	1469	1311	1105	964	1189	1195	1134	1101
0,75	891	891	1203	1171	>1500	1431	1132	992	1250	1232	1179	1135
1,00	1038	1038	1279	1242	>1500	>1500	1199	1093	1287	1292	1237	1194

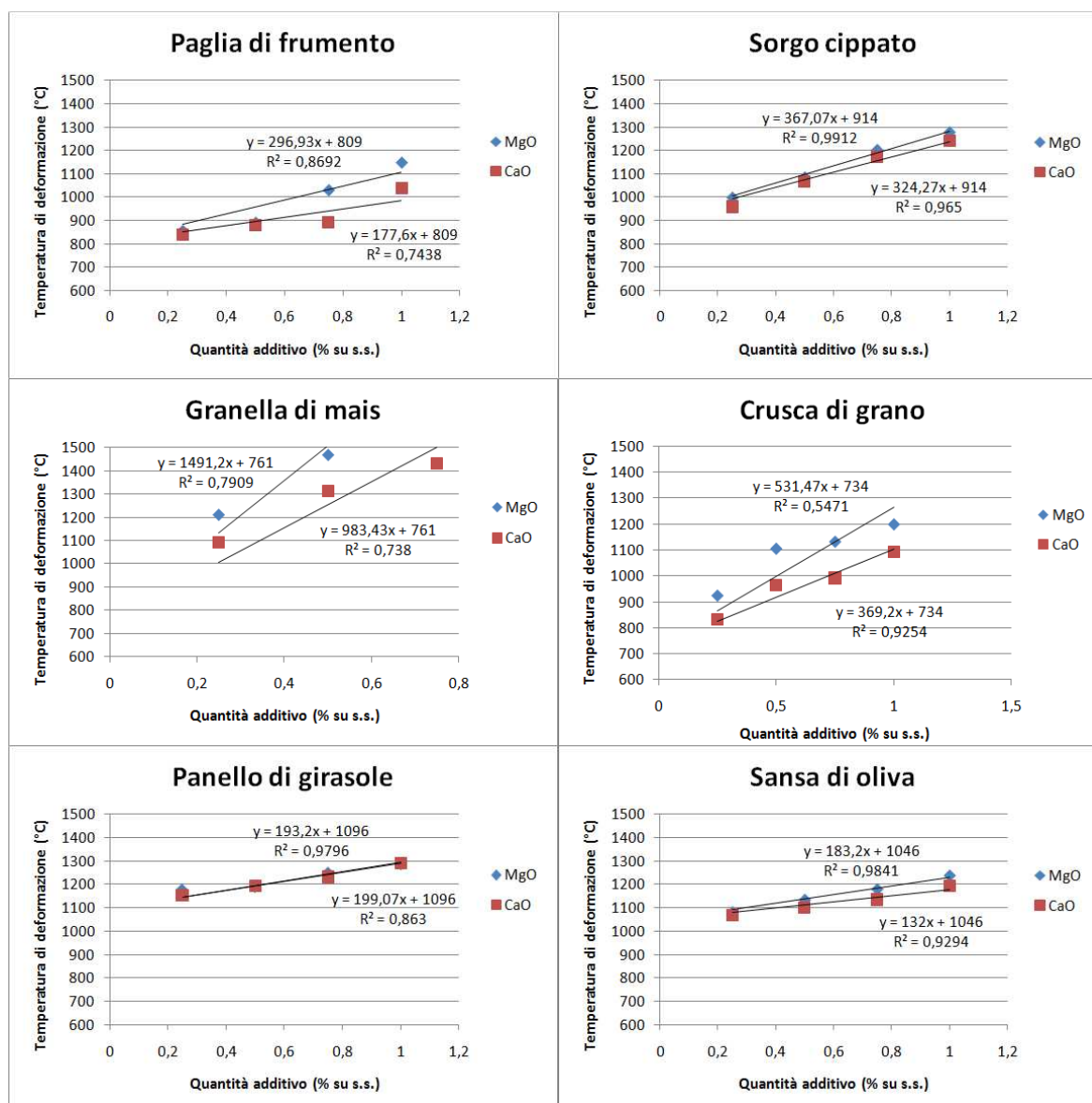


Figura 2 - Risposta delle temperature di deformazione in relazione alla quantità di additivo aggiunta

In figura 2 si evidenzia come l'aumento della T_D sembrerebbe essere direttamente proporzionale alla quantità di additivo aggiunto a prescindere dal materiale preso in considerazione. Solamente per i materiali più problematici come la CG e la GM tale andamento non è particolarmente evidente, fatto probabilmente in parte dovuto alle basse T_D dei materiali tal quali, nonché alla particolare composizione chimica delle ceneri derivanti da materiali amidacei. Sulla base di queste relazioni è possibile determinare la quantità di additivo da aggiungere alla biomassa iniziale per ottenere una temperatura prestabilita. Sulla base di questa considerazione, per correggere la T_D delle ceneri della CG pura (734° C) a temperature superiori ai 1250° C, è necessario aggiungere una quantità di MgO pari a circa 1,0% della biomassa secca.

Come riportato in tabella 3 per tutti i materiali testati (GM, CG, PG, SO, CS e PF) è stato possibile effettuare le medesime considerazioni sia per il MgO che per il CaO.

Tabella 3 - Quantità teorica di additivo necessaria per ottenere una T_D pari a 1250° C

Materiale	MgO	CaO	C _c Materiale puro	Incremento relativo C _c per MgO	Incremento relativo C _c per CaO
	(% s.s.)	(% s.s.)	(% s.s.)	(% s.s.)	(% s.s.)
Paglia di frumento (PF)	1,1	2,5	5,7	19,3	43,9
Cippato di Sorgo (CS)	0,9	1	5,5	16,4	18,2
Granella di Mais (GM)	0,3	0,5	1,7	17,6	29,4
Crusca di grano (CG)	1	1,4	6	16,7	23,3
Pannello di girasole (PG)	0,8	0,8	4,8	16,7	16,7
Sansa di oliva (SO)	1,1	1,5	8,8	12,5	17,0

4. Conclusioni

L'aggiunta di opportuni prodotti inorganici (additivi) alle biomasse può consentire di apportare modifiche significative al comportamento termico delle ceneri presenti in esse. Gli ossidi di magnesio e di calcio sembrerebbero aumentare sensibilmente le temperature di fusione delle ceneri riducendo le problematiche generate in caldaia dalle basse temperature di fusione di questa frazione.

L'aumento della temperatura di fusione delle ceneri prodotte dall'aggiunta dell'additivo è specifico per ciascun tipo di biomassa e solo parzialmente dipende dal suo contenuto in ceneri. La qualità della biomassa e quindi la composizione chimica delle sue ceneri condiziona il comportamento termico di tale frazione. Infatti, nell'ambito delle biomasse analizzate, considerando l'aggiunta dello 0,25% di MgO, si è visto come sia possibile ottenere innalzamenti di T_D compresi tra i 35° C della SO ed i 448° C della GM, a fronte di un aumento relativo del contenuto in ceneri rispettivamente del 2,8% e 14,7% rispetto al corrispondente quantitativo originale (Tab. 1).

La metodologia di lavoro adottata da questo documento può risultare di forte utilità in tutte le condizioni di utilizzo in combustione delle biomasse caratterizzate dal problema della fusibilità delle ceneri. Nell'applicazione pratica l'aggiunta di additivi negli impianti termici alimentati a prodotti vegetali di varia origine richiede un sistema che consente di omogeneizzare l'additivo alla biomassa in ingresso. Questo aspetto è più semplice da gestire nelle produzioni di pellet (agri-pellet) viste le possibilità che offrono le attuali linee di lavorazione di questo prodotto di integrare uniformemente l'additivo inorganico alla materia prima.

Bibliografia

- [1] Vamvuka D., Zografos D. "Predicting the behaviour of ash resulting from burning mixture of biofuels. Part 1: Deposit rates", *Fuel*. **2003**, 83, 2051-2057
- [2] Llorente Fernandez M.J., Laplaza Murillo J.M., Cuadrado Escalda R., Garcia Garrasco J.E. "Ash behaviour of lignocellulosic biomass in bubbling fluidised bed combustion", *Fuel*. **2006**, 85, 1157-1165
- [3] Fernandez M.J., Garcia Garrasco J.E., "Comparing methods for predicting the sintering of biomass ash in combustion", *Fuel*. **2005**, 84, 1893-1900
- [4] Werklin J., Skrifvars B.J., Hupa M., "Ash-forming elements in four Scandinavian wood species. Part 1: Summer harvest", *Biomass and bioenergy*. **2005**, 29, 451-456
- [5] Werther J, Saenger M, Hartge E-U, Ogada T, Siagi Z, "Combustion of agricultural residues" *Prog Energy Combust Sci*, **2000**, 26(1):1-27

- [6] Malte Bartels, Weigang Lin, John Nijenhuis, Freek Kapteijn, J. Ruud van Ommen, “Agglomeration in fluidized beds at high temperatures: Mechanisms, detection and prevention”, *Progress in Energy and Combustion Science*, **2008**, 34, 633– 666
- [7] Fan L, Walawender WP, “Pyrolysis of carbonaceous solids in fluidised bed of quartz sand—using e.g ground limestone as anti-agglomerant”, **1984**, Patent US4448589-A,
- [8] Riva G., Foppa Pedretti E., Corinaldesi F., Toscano G., "Evaluation of solid biomass for energy use in relation to the ash qualitative and quantitative characteristics” in “*International Conference on Agricultural Engineering, AgEng2008*”, p. 22, OP-1060
- [9] CEN/TS 14775:2004, Solid biofuels – Method for the determination of ash content
- [10] CEN/TS 15370-1:2006, Solid biofuels – Method for the determination of ash melting behaviour – Part 1: Characteristic temperatures method