



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*

## La determinazione del contenuto di carbonio biogenico nei combustibili ibridi

Corinaldesi Fabrizio<sup>(1)</sup>, Riva Giovanni<sup>(1)</sup>, Cerioni Rossana<sup>(2)</sup>, Scrosta Vanessa<sup>(2)</sup>, Toscano Giuseppe<sup>(1)</sup>

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

<sup>(2)</sup> SIBE Srl, Spin Off dell'Università Politecnica delle Marche

*Parole chiave: carbonio biogenico, scintillazione liquida, emissioni CO<sub>2</sub>, certificati verdi*

### Abstract

This study shows the results of the method of measuring the isotope <sup>14</sup>C to determine the biogenic carbon (C<sub>b</sub>) contained in mixed solid fuels. The method, based on prCEN/TS 15440, was applied to a liquid sample, consisting of mixtures of vegetable oil and diesel, and on a solid matrix, made of mixtures of synthetic and natural rubber (processing scrap tires). The liquid scintillation is the technique used for the detection of <sup>14</sup>C content. The test results shown that the uncertainty range of C<sub>b</sub> for both liquid and solid matrices was ± 3% in absolute value. The results obtained from the application on the tires residue showed a C<sub>b</sub> content of 37.2%.

### 1. Introduzione

La determinazione del contenuto biogenico nei combustibili parzialmente biodegradabili (rifiuti, combustibili da rifiuto – CDR) è una misura in grado di soddisfare diverse tipologie di esigenze:

- di controllare le emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera ai sensi del D.lgs n. 216 del 4 aprile 2006 che ha recepito, a livello nazionale, la Direttiva europea 2003/87/CE nei grandi impianti termici (tipicamente: centrali elettriche, inceneritori con recupero energetico, forni per la produzione di calce e clinker) che utilizzando combustibili ibridi (come ad esempio Combustibili Solidi Secondari - CSS) hanno l'esigenza di far riconoscere la frazione di CO<sub>2</sub> rinnovabile per detrarla dal bilancio della CO<sub>2</sub> immessa in atmosfera;
- di valutare, negli impianti di produzione di energia elettrica che utilizzano combustibili ibridi, l'aliquota di elettricità prodotta con la parte rinnovabile ai fini dell'acquisizione dei Certificati Verdi (CV);
- di verificare il contenuto di energia rinnovabile in una vasta gamma di biocombustibili presenti sul mercato e nelle miscele di combustibili fossili e biocombustibili (biocarburanti puri o in miscela con benzina e gasolio, varie tipologie di Combustibili Solidi Secondari o CDR, pellet ottenuto da mix vari, ecc.)

In ambito normativo europeo le indicazioni per la determinazione del contenuto di carbonio biogenico (C<sub>b</sub>) dei materiali sono fornite dalla prCEN/TS 15440 "Solid recovered fuels. Method for the determination of biomass content" la quale propone 3 differenti metodi: analisi merceologica, attacco chimico (o dissoluzione chimica selettiva), metodo dell'isotopo radioattivo <sup>14</sup>C. Nell'ambito di quest'ultimo metodo possono essere utilizzate tre tecniche strumentali: Proportional Scintillation counter Method (PSM), Ionization Beta (BI), Accelerator Mass Spectrometry (AMS). Il metodo basato sulla determinazione del <sup>14</sup>C, a differenza degli altri proposti, è applicabile a tutti i combustibili [1,2]. L'analisi merceologica può essere impiegata solo su materiale con pezzatura superiore ad 1 cm. La dissoluzione chimica selettiva non è eseguibile su diverse tipologie di materia prima quali ad esempio il carbone, i combustibili contenenti più del 10% in massa di gomma naturale e/o sintetica, i combustibili contenenti una combinazione superiore al 5% in peso di lana o viscosa, la plastica non biodegradabile di origine biogenica, gli oli e/o grassi animali o vegetali presenti come componenti della biomassa [2].



Attraverso la determinazione del  $C_b$  è possibile stabilire:

- le quote di emissioni di  $CO_2$  fossile e rinnovabile regolate dal D.Lgs n. 216 del 4 aprile 2004
- l'energia fossile e rinnovabile prodotta dagli impianti di incenerimento di rifiuti e dalle centrali elettriche che utilizzano carbone (o altri combustibili fossili) e biomasse per il calcolo dei Certificati Verdi (CV) ai sensi del D.Lgs n. 387 del 29 dicembre 2003.

Tra gli effetti positivi che possono derivare dal consolidamento di questa applicazione si considerano:

- l'impulso all'incremento dell'efficienza energetica degli impianti soggetti alla assegnazione di quote di emissioni di  $CO_2$ ;
- l'aumento del ricorso alla co-combustione (utilizzo di combustibili fossili e biomasse) e all'utilizzo di combustibili alternativi (es. CDR);
- la valutazione analitica delle emissioni di  $CO_2$  e dell'energia rinnovabile prodotta dagli impianti industriali e, la possibilità di migliorare la programmazione della strategia nazionale di controllo delle emissioni climalteranti e della produzione di energia rinnovabile.

Il lavoro oggetto della presente pubblicazione si pone l'obiettivo di verificare l'affidabilità della metodica della PSM mediante un'attività di laboratorio che consenta di individuare direttamente la frazione biogenica nei combustibili misti (miscela formata da benzina ed ETBE di origine rinnovabile). Di seguito vengono riportati i primi risultati del lavoro di messa a punto del metodo e di verifica della qualità della risposta analitica in corrispondenza dei diversi livelli di  $C_b$  contenuto nelle matrici utilizzate.

## 2. Metodologia

L'obiettivo del lavoro sperimentale è stato la verifica dell'affidabilità della metodica di analisi (PSM) nella determinazione di un valore attendibile del contenuto di  $C_b$  in combustibili misti. La metodologia adottata nel rispetto della norma tecnica prCEN/TS 15440 e ASTM D6866 prevede:

- la combustione del campione e la successiva cattura della  $CO_2$  contenuta nei gas di combustione in una specifica soluzione assorbente costituita da 3-metossipropilammina (MOPA) di purezza superiore al 99%. La  $CO_2$  prodotta e bloccata nella soluzione trappola contiene quote di  $C_b$  in misura identica a quella del campione di partenza;
- la determinazione del  $^{14}C$  mediante il sistema analitico basato sul conteggio alla scintillazione liquida (LSC): le radiazioni beta emesse dall'isotopo  $^{14}C$  trasferiscono la loro energia inizialmente al solvente e successivamente al liquido di scintillazione (1,2,4 trimetilbenzene) che emette le radiazioni luminose captabili mediante apposito sistema di rivelazione.

La combustione dei campioni in laboratorio avviene utilizzando un calorimetro (IKA C2000) all'interno del quale il campione, grazie ad una atmosfera di ossigeno ad una pressione di 25 bar, subisce una combustione completa. Terminata la fase di combustione i gas sviluppati vengono convogliati, attraverso un apposito kit di recupero (IKA Venting Station C5030) dotato di un sistema di valvole che permettono la regolazione manuale del flusso di gas, al mezzo in grado di assorbire la  $CO_2$ , il MOPA.

A garanzia della completa deumidificazione dei gas lungo la linea sono stati predisposti un condensatore e due filtri contenenti cloruro di calcio. Inoltre, al fine di intrappolare eventuali sostanze organiche presenti è stato inserito un filtro a fiala contenete XAD-2.

Il gas anidro e privo di potenziali interferenti organici viene fatto gorgogliare nel tubo Drechsel contenente 35 ml di MOPA. Dato che la reazione tra MOPA e  $CO_2$  che porta alla cattura di quest'ultima è esotermica, al fine di garantire una elevata efficienza della fase di assorbimento, il gorgogliatore contenente il MOPA viene collocato in bagno di ghiaccio.

La fase di gorgogliamento dei gas viene condotta, mantenendo una portata del flusso di 200 cc/min, per un tempo di circa 30 minuti.

L'obiettivo che ci si è posti in questa fase è di garantire una percentuale di saturazione ( $P_s$ ) del MOPA compresa tra il 40% e l'80%. A questo scopo deve essere sottoposto a combustione un'opportuna quantità di campione che varia in funzione del suo contenuto in carbonio. Il reale valore di  $P_s$  del MOPA viene determinato in ogni test di cattura sulla base del rapporto tra la massa di C assorbita nel MOPA ( $C_R$ ) e la massa massima teorica pari a 57,65 mg/ml. Questa condizione è stata considerata il compromesso ottimale tra l'esigenza di non superare l'80% di  $P_s$  (prCEN/TS 15440) e quella di ottenere un segnale significativo nella successiva fase strumentale di LSC.

Nell'ambito del piano sperimentale realizzato sono state utilizzate 2 serie di miscele combustibili: la prima costituita da una matrice liquida rappresentata da miscele di olio vegetale e gasolio; la seconda da una matrice solida rappresentata da miscele di gomma sintetica e gomma naturale. Per entrambe le serie la matrice fossile e rinnovabile sono state miscelate in proporzioni variabili, coprendo l'intero range possibile (0-100%), al fine di costituire un numero di campioni di combustibili ibridi a contenuto noto di  $C_b$ .

Nel caso della matrice liquida sono stati analizzati olio puro con un contenuto di  $C_b$  pari al 100% e gasolio puro con contenuto di  $C_b$  corrispondente allo 0%, oltre a 3 miscele a contenuto noto di  $C_b$ : 20,40 e 60%.

In termini di massa, i quantitativi dei due componenti al fine di ottenere il contenuto di  $C_b$  voluto, sono stati calcolati sulla base del contenuto di carbonio (determinato in laboratorio) delle due componenti:  $C = 84\%$  per il gasolio;  $C = 78\%$  per l'olio vegetale.

*Tabella 1 – Caratteristiche dei campioni costituiti da gomma naturale e gomma sintetica*

Campione	Gomma naturale	Gomma sintetica	$C_b$
	(g)	(g)	(%)
S1	200	0	100
S2	150	50	75,3
S3	120	80	60,4
S4	90	110	45,4
S5	60	140	30,4
S6	30	170	15,2
S7	0	200	0,0

Nel caso della matrice solida le miscele analizzate, prodotte da un laboratorio esterno, avevano contenuti di gomma naturale e gomma sintetica, espressi in massa, nei rapporti 0/100, 15/85, 30/70, 45/65, 60/40, 75/25 e 100/0 tra le due componenti. In questo caso, per ottenere i valori di  $C_b$  delle miscele, tali proporzioni (esprese in massa), sono state corrette sulla base del contenuto di carbonio delle due componenti ( $C = 88,5\%$  per la gomma naturale;  $C = 87,0\%$  per la gomma sintetica) come riportato in tabella 1.

Su ciascun prodotto combustibile utilizzato sono state eseguite 3 repliche del test di campionamento della  $CO_2$  per un totale di 36 misure complessive.

In seguito all'assorbimento della  $CO_2$  su MOPA è necessario determinarne la quantità catturata. A tal fine si procede per via gravimetrica determinando la differenza di peso dell'assorbitore tra l'inizio e la fine della fase di cattura della  $CO_2$ .

A seguito di questa fase, mediante l'utilizzo di una micropipetta da 10 ml, il campione di  $CO_2$  assorbito nel MOPA viene trasferito in una vial da 20 ml dove viene miscelato con il liquido di scintillazione in proporzione 1:1. La vial viene capovolta più volte in modo da favorire la miscelazione tra le due componenti. Il campione va quindi mantenuto al buio e ad una

temperatura prossima ai 10°C in attesa della fase di conteggio strumentale. Ciascun campione è stato sottoposto alla fase di conteggio in LSC per un tempo di 20 ore. Ad ogni ciclo di analisi, come previsto dalla norma prCEN/TS 15440, è stato processato uno standard di origine biogenica (100% di  $C_b$ ) e un materiale certificato di carbone fossile (0% di  $C_b$ ).

Lo strumento utilizzato per la determinazione dell'intensità delle emissioni beta emesse dai campioni è il Quantulus della PerkinElmer che restituisce un valore espresso in colpi per minuti (cpm) che rappresenta una quota delle effettive disintegrazioni per minuto (dpm) emesse dall'isotopo  $^{14}C$  contenuto nei campioni, in relazione all'efficienza di conteggio caratteristica di ogni applicazione. Nel caso specifico la metodica utilizzata ha ottenuto una efficienza pari al 65%.

Tabella 2 – Parametri per il calcolo del contenuto in  $C_b$

Parametro	Simbolo	Unità di misura
Disintegrazioni per minuto	DPM	min <sup>-1</sup>
Disintegrazioni per minuto standard di riferimento	DPM <sub>STD</sub>	min <sup>-1</sup> /g di C
CO <sub>2</sub> raccolta	CO <sub>2_R</sub>	g
Carbonio totale (da CO <sub>2</sub> ) raccolto	C <sub>R</sub>	g
Percentuale di carbonio moderno (REF); valore di riferimento per la biomassa di origine recente	105	pmC

Sulla base dei parametri riportati nella tabella 2, per la determinazione del contenuto di  $C_b$  nel combustibile di partenza è stata utilizzata la seguente equazione:

$$C_b = 100 * DPM / (DPM_{STD} * REF / 100) / C_R$$

Come valore di riferimento per la biomassa analizzata è stata utilizzata una pmC pari a 105 come previsto dalla norma prCEN/TS 15440 per la biomassa di recente origine.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con i risultati attesi sulla base della composizione delle miscele sottoposte ad analisi.

Inoltre, come test finale è stato processato un campione costituito dal residuo industriale della lavorazione degli pneumatici per la determinazione del suo contenuto in  $C_b$ .

### 3. Risultati

La tabella 3 mostra gli scarti tra i valori sperimentali di  $C_b$  ottenuti mediante la procedura analitica e i valori attesi di  $C_b$  nel caso della matrice liquida.

Tabella 3 – Risultati sperimentali e scarto dai valori attesi per le miscele liquide

Campione	$C_b$ misurato	$C_b$ atteso	Scarto
(n°)	(%)	(%)	(%)
L1	99,3	100	-0,7
L2	59,2	60	-0,8
L3	41,8	40	1,8
L4	22,5	20	2,1
L5	-0,3	0	-0,3

Per le matrici liquide (tabella 3) gli scarti tra  $C_b$  misurato e  $C_b$  atteso, se espressi in valore assoluto, sono compresi tra lo 0,7 e il 2,1%.

In figura 1 viene riportata la retta di correlazione tra contenuto di  $C_b$  atteso e  $C_b$  ottenuto dalle prove sperimentali sulle miscele liquide, che mostra un risultato molto positivo caratterizzato da un  $R^2$  pari a 0,9982.

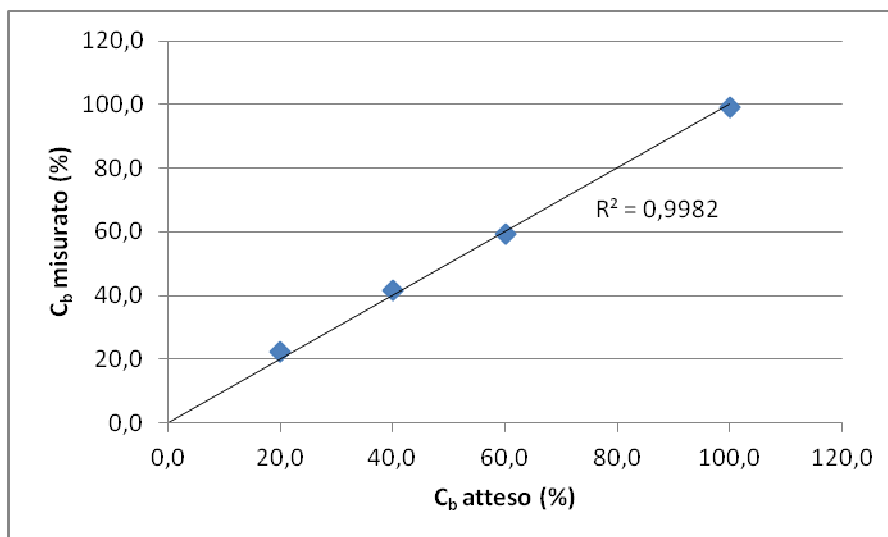


Figura 1 – Retta di correlazione tra  $C_b$  atteso e  $C_b$  misurato per le matrici liquide

Nel caso delle matrici solide (tabella 4) gli scarti tra il  $C_b$  misurato e  $C_b$  atteso, se espressi in valore assoluto, sono compresi tra lo 0,3 e il 2,8%.

Tabella 4 – Risultati sperimentali e scarto dai valori attesi per le matrici solide

Campione	$C_b$ misurato	$C_b$ atteso	Scarto
(n°)	(%)	(%)	(%)
S1	100,4	100,0	0,4
S2	74,1	75,1	-1,0
S3	62,4	60,2	2,2
S4	48,2	45,5	2,8
S5	29,9	30,7	-0,8
S6	15,9	16,1	-0,3
S7	1,6	0	1,6

In figura 2 viene riportata la retta di correlazione tra contenuto di  $C_b$  atteso e  $C_b$  ottenuto dalle prove sperimentali sulle matrici solide, che mostra anche in questo caso un ottimo risultato caratterizzato da un  $R^2$  paragonabile al precedente (0,9983).

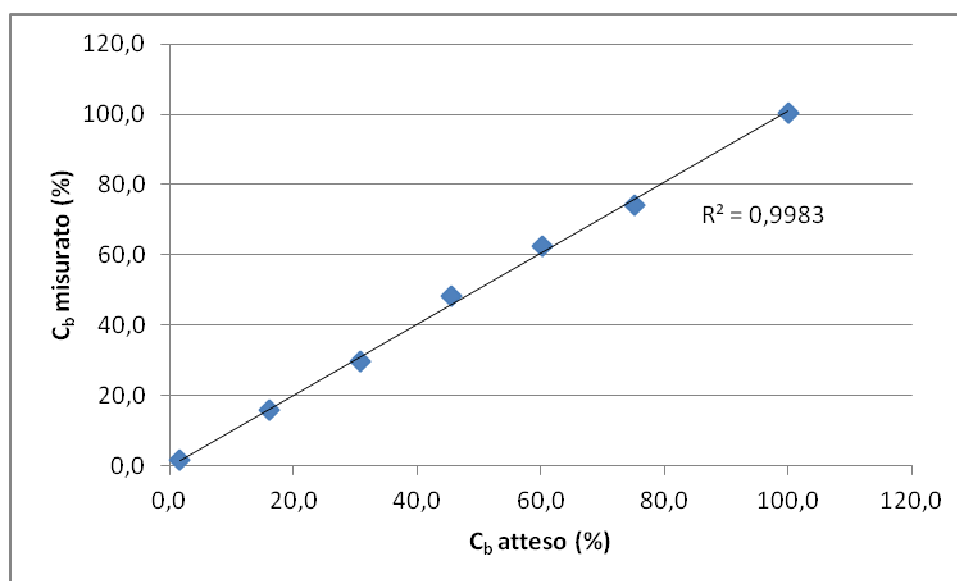


Figura 2 – Retta di correlazione tra  $C_b$  atteso e  $C_b$  misurato per le matrici solide

Inoltre, le analisi condotte sul residuo della lavorazione degli pneumatici ha evidenziato un contenuto di  $C_b$  pari al 37,2%.

#### 4. Conclusioni

La sperimentazione ha evidenziato l'affidabilità della metodologia PSM (Proportionale Scintillation counter Method) utilizzata per la determinazione del  $C_b$  nei combustibili ibridi. La sua applicazione ha infatti permesso di definire delle relazioni analitiche, caratterizzate da un elevato coefficiente di regressione, tra il dato ottenuto mediante scintillazione liquida e il contenuto effettivo di  $C_b$ . Inoltre, il range di incertezza del dato compreso tra  $\pm 3\%$  in valore assoluto, è compatibile con i dati bibliografici relativi alle misure in LSC.

L'applicazione del metodo a casi reali di impianti che utilizzano combustibili ibridi per produzioni energetiche (inceneritori, cementifici) permetterebbe agli impianti di avere benefici economici sia nel caso dell'Emission Trading che nel caso dell'ottenimento degli incentivi per la produzione di energia elettrica rinnovabile.

Riportando il caso oggetto di studio, la produzione di energia elettrica dalla combustione degli pneumatici, ad esempio, la dimostrazione analitica che questo materiale contiene una percentuale di materia rinnovabile del 37,25% potrebbe far sì che l'azienda venga incentivata per una percentuale di energia rinnovabile più elevata rispetto all'attuale 27% prevista dalla normativa vigente.

#### Bibliografia

- [1] John Noakes, Glenn Norton, Randolph Culp, Mohit Nigam, Doug Dvoracek, "A comparison of analytical methods for the certification of biobased products". **2006**, *Advances in Liquid Scintillation Spectrometry*, Pages 259–271.
- [2] John Noakes, Glenn Norton, Randolph Culp, Mohit Nigam, Doug Dvoracek, "A comparison of analytical methods for the certification of biobased products". **2006**, *Advances in Liquid Scintillation Spectrometry*, Pages 259–271.
- [3] J. Mohna, S. Szidat, J. Fellner, H. Rechberger, R. Quartier, B. Buchmann, L. Emmenegger, "Determination of biogenic and fossil  $CO_2$  emitted by waste incineration based on  $^{14}CO_2$  and mass balance", *Bioresource Technology*. **2008**, 99, 6471–6479
- [4] prEN 15440:2009, Solid recovered fuels - Method of the determination of biomass content
- [5] ASTM 6866:2010, Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis