



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

Il campionamento delle biomasse solide

Mengarelli Chiara ⁽¹⁾, Riva Giovanni ⁽¹⁾, Foppa Pedretti Ester ⁽¹⁾, Toscano Giuseppe ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Dipartimento di Scienze Alimentari, agro Ingegneristiche, Fisiche, Economiche e del Territorio - Università Politecnica delle Marche. E-mail: c.mengarelli@univpm.it

Parole chiave: biomassa, normativa, qualità, campionamento.

Abstract

Different types of biomasses are used for energy production both in medium and big biomass power plants: to guarantee qualitative characteristics of them is becoming more and more crucial. Since a big and usually heterogeneous amount of biomass is tested for quality, sampling becomes a fundamental tool for a reliable characterization. Two typical agro-industry by-products, olive and grape residues, and a classic woody biofuel, pellet, were tested in this work. Samples derived both from a static and a moving sampling and were taken in different sizes. Physical and chemical analyses were performed on each sample, giving a large amount of data, reliable for a suitable statistical evaluation.

1. Introduzione

Secondo dati EUROSTAT, in un quadro energetico generale le biomasse coprono una fetta del 20% circa, contro un 80% circa derivante da combustibili fossili e una minima percentuale da energia nucleare. In realtà il dato relativo alle biomasse deriva, per un 70% circa, dalla comune legna da ardere utilizzata nei Paesi in via di sviluppo dove viene utilizzata per il riscaldamento dei cibi e delle abitazioni. In particolare, EUROSTAT fornisce il seguente dato: le biomasse impiegate per la produzione di energia coprono solo l'1,4% circa.

Anche a livello europeo l'energia da fonti rinnovabili contribuisce ancora in minima parte, soprattutto con l'energia da legno e derivati, che insieme alle altre biomasse determinano il 4,8% del consumo di energia primaria nei Paesi EU-27.

Le pressioni derivanti dal protocollo di Kyoto prima e dall'obiettivo 20-20-20 fissato dall'UE poi sono ovviamente un forte stimolo alla ricerca di nuove tecnologie ma anche di nuove tipologie di biomasse da impiegare a fini energetici.

Per far sviluppare e consolidare il settore delle biomasse ad uso energetico è necessario disporre di regole e standard per il prodotto ed il mercato. In questo quadro il Comitato Europeo di Normazione (CEN) ha nominato delle Commissioni Tecniche (TC) responsabili di sviluppare standards relativamente alle diverse biomasse energetiche [1]; tra queste, la CEN/TC 335 "Solid biofuels" sta sviluppando standards inerenti i biocombustibili solidi sulla base di conoscenze già acquisite in materia. Al momento sono disponibili delle Specifiche Tecniche (TS) (o pre-standards) che devono tuttavia essere aggiornate e trasformate in Normative Europee (EN) in pochi anni. Ciò che rallenta e in parte frena questo processo è rappresentato dal fatto che le applicazioni a livello industriale hanno mostrato delle lacune presenti nelle TS e si sente l'esigenza di ampliarle e migliorarle. In questo contesto si è inserito il progetto BioNorm, nato per dare supporto tecnico al CEN per lo sviluppo di standard normativi inerenti gli aspetti della terminologia, campionamento, analisi, caratterizzazione e gestione della qualità dei principali biocombustibili solidi esistenti in Europa.

Tra gli aspetti considerati nel progetto BioNorm rientra il campionamento e la preparazione del campione da laboratorio, operazioni attualmente normate dalla CEN/TS 14778-1, 14778-2 e 14780, ma soggette a revisione ed implementazione. Queste fasi rappresentano la prima di una serie di operazioni eseguite per analizzare le biomasse combustibili soprattutto per fini merceologici. In particolare, scopo della fase di campionamento e di preparazione del campione è di disporre di una porzione di prodotto, da sottoporre alle analisi di laboratorio, rappresentativa della quantità di biomassa da caratterizzare, ovvero il lotto. Nell'ambito delle applicazioni che coinvolgono le biomasse il lotto è generalmente costituito da decine di metri

cubi di materiale. Questo significa che occorre attribuire i risultati di laboratorio ottenuti su pochi grammi di prodotto (per esempio utilizzati in laboratorio per determinare il contenuto in ceneri o il potere calorifico) a grandi quantità di biomasse (tonnellate). Essendo la biomassa combustibile un materiale fortemente eterogeneo ciò si traduce, comprensibilmente, nella probabilità di incorrere in errore, sia in fase di campionamento che di formazione del campione rappresentativo del lotto.

Si chiama *Theory of Sampling* e da anni studia ed analizza tutte le fonti di errore riconducibili alla fase di campionamento e preparazione del campione, che vanno dall'errato metodo di estrazione del campione dal lotto, all'errato metodo di diminuzione della pezzatura del campione, al numero di prelievi da effettuare, etc.

La variabilità che si ottiene pertanto nei risultati di analisi su biocombustibili solidi deriva da diverse sorgenti: dalla natura stessa del biocombustibile, dal processo di campionamento e dalla fase di analisi. Queste tre condizioni insieme determinano l'insorgere di un errore associato al risultato che può essere più o meno vincolante la veridicità del dato.

L'errore può essere suddiviso in due tipologie: l'errore sistematico, altrimenti detto *distorsione*, e l'errore sperimentale. La distorsione si riferisce all'accuratezza (quanto vicino al "valore vero" si trova la media dei risultati analitici), ed è spesso causata da un singolo fattore che può essere la calibrazione errata, l'utilizzo di un metodo analitico inappropriato, metodo di campionamento non idoneo alle caratteristiche del materiale etc. Questo tipo di errore rende il risultato analitico troppo lontano dal "risultato vero" e dovrebbe essere per quanto possibile eliminato.

L'errore sperimentale invece è dovuto solitamente a diversi fattori, dove ogni fattore ha un piccolo impatto sul risultato e può incidere in maniera sia positiva sia negativa.

Esempi che riguardano tali fattori sono campionamento errato, variazioni di umidità, temperatura dell'ambiente, volumi delle pipette, etc. Questo tipo di errore influisce sulla precisione del dato, ovvero sulla distribuzione dei risultati analitici attorno al "valore vero". Una precisione bassa significa che i risultati analitici di un'analisi ripetuta più volte si dispongono attorno al "valore vero" in maniera molto distribuita, e viceversa. Gli errori sperimentali non possono essere eliminati, ma possono essere gestiti mediante appropriati accorgimenti.

E' risaputo ormai da più di 50 anni ormai che gli errori associabili alle fasi di campionamento sono 10-100 ma spesso anche 1000 volte più grandi di quelli che derivano dalle analisi analitiche che vengono successivamente eseguite sul campione [2-6].

Il Laboratorio Biomasse del Dipartimento SAIFET dell'Università Politecnica delle Marche ha preso parte al progetto Bionorm nella sezione relativa al campionamento e all'analisi delle problematiche connesse.

2. Metodologia

L'intero lavoro è stato suddiviso in due parti: la prima è mirata a minimizzare gli errori associati alla fase di riduzione del campione, la seconda a minimizzare gli errori che insorgono durante il campionamento.

Nell'ambito dell'attività sperimentale sono stati utilizzate tre diverse tipologie di biocombustibile: sansa esausta e vinaccia vergine come sotto-prodotti dell'agroindustria mediterranea, pellet da legno avente diametro 6 mm e costituito da faggio in tronchi interi. I campioni di sansa e vinaccia sono stati prelevati presso un impianto termoelettrico a biomasse situato a Termoli, mentre i campioni di pellet sono stati prelevati in un impianto di produzione situato a Castelfranco Veneto (TV) .

2.1 Prima parte

Vengono messi a confronto diversi metodi di riduzione con le diverse caratteristiche delle biomasse, al fine di valutare la variabilità tra i sotto-campioni (ovvero porzioni di biomassa derivanti da un campione originario, come spiegato a breve). I campioni di biomassa (sansa,

vinaccia e pellet) vengono suddivisi in 16 sotto-campioni utilizzando tre diversi metodi, descritti nella normativa CEN/TS 14780: long pile, coning&quartering, riffle box (Figura 1). L'elaborazione statistica si basa sul confronto tra le distribuzioni di variabilità dei sotto-campioni formati da ogni metodo di riduzione. Nello specifico il confronto riguarda sia i valori medi che le varianze ottenute con i vari metodi di riduzione. Per evidenziare differenze significative tra le medie è stato usato l'intervallo di confidenza. Per evidenziare differenze significative tra le varianze è stata usata la distribuzione F di Fisher.



Figura 1 - I tre metodi utilizzati per la riduzione del campione: long pile (sinistra), coning&quartering (centro), riffle box (destra)

2.2 Seconda parte

Sono stati condotti piani di campionamento secondo un disegno sperimentale ben definito, ovvero quello gerarchico descritto in [7-8], mettendo a confronto due diverse metodologie di campionamento.

Cinque camion carichi di sansa e cinque di vinaccia sono stati campionati da un cumulo (il carico rovesciato a terra) e da materiale in caduta alla fine di un nastro trasportatore in movimento. Da ogni cumulo e da ogni nastro, quattro campioni sono stati prelevati per ognuno dei tre volumi di prelievo considerati (10L, 5L e 2L). Ogni campione è stato suddiviso in due sotto-campioni e ciascuno di questi testato per umidità, il contenuto in ceneri, azoto, e sette elementi principali (Al, Ca, Mg, Na, P, Si e K).

I campioni di pellet sono stati prelevati sia da cumulo (formato da 10 sacchi di pellet aperti e riversati a terra) sia mediante raccolta casuale di sacchi di pellet da un nastro trasportatore durante la produzione. Da ogni cumulo e da ogni nastro, anche in questo caso, quattro campioni sono stati prelevati per ognuno dei tre volumi di prelievo considerati (10L, 4L e 2L). Ogni campione è stato suddiviso in due sotto-campioni e ciascuno di questi testato per umidità, contenuto in ceneri, e durabilità.

L'analisi statistica eseguita sui risultati è volta a valutare le eventuali distorsioni derivanti dai due metodi di campionamento, nonché la valutazione delle varianze e la valutazione della ripetibilità del dato analitico.

Seconda parte - Valutazione delle distorsioni

Nessuno dei due metodi di campionamento viene considerato metodo di riferimento, pertanto le eventuali distorsioni vengono comparate tra loro. E' stato utilizzato un disegno comparativo appaiato in cui sono state calcolate le differenze tra i valori medi dei due metodi di campionamento per ogni gruppo (cumulo o nastro) e taglia. Il valore medio di queste differenze è stato poi testato per l'ipotesi che tale valore non sia significativamente diverso da zero attraverso un test t di Student con $\alpha=0,025$. Il test è stato eseguito anche per le tre taglie separatamente, e a monte di tutto, per assicurarne la validità, è stato eseguito un ulteriore test per verificare che i valori delle differenze seguissero una distribuzione normale.

Seconda parte - Valutazione della variabilità

Le informazioni relative alla variabilità tra cumuli, tra nastri, tra campioni e tra test dei sotto-campioni sono state ottenute mediante Analisi della Varianza con disegno sperimentale gerarchico (nested ANOVA)

I successivi test di significatività mediante test statistico F di Fisher sono stati eseguiti utilizzando i valori di Varianza Interna, dal momento che solo questo tipo di varianza ha ben definiti i valori di Gradi di Libertà.

Seconda parte - Ripetibilità:

Per ogni analisi è stata calcolata anche la deviazione standard di ripetibilità, ripetendo la stessa analisi 5 volte prelevando il materiale dalla stessa provetta. Questo per valutare la significatività della ripetibilità dell'analisi confrontata con la variabilità totale.

Seconda parte - Calcolo del numero di prelievi:

E' stato valutato anche quale fosse l'appropriato numero di campioni oggetto di prelievo per ottenere un dato rappresentativo, nonché il numero di sotto-campioni in cui il campione raggruppato dovrebbe essere suddiviso. Queste stime vengono fatte tenendo in considerazione l'errore che si decide di "accettare" per ogni parametro preso in considerazione. Tutti questi fattori vengono riassunti all'interno della seguente formula:

$$e = t \times \frac{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{pooled,C}^2}{C} + \frac{\sigma_{pooled,T}^2}{T}\right)}}{\bar{x}} \times 100 \quad (1)$$

dove e è l'errore che si decide di accettare, ovvero l'intervallo di confidenza di campionamento relativo, $\sigma_{pooled,C}^2$ e $\sigma_{pooled,T}^2$ sono le varianze "pooled", ovvero "raggruppate", relative ai campioni e ai test (ovvero ai sotto-campioni) rispettivamente, C è il numero di campioni prelevati, T il numero di sotto-campioni, t il valore del t di Student con $\alpha = 0.05$ ed infiniti Gradi di Libertà mentre \bar{x} è la media generale.

3. Risultati

I risultati vengono di seguito suddivisi nelle tre fasi caratterizzanti lo studio intero.

3.1 Risultati prima parte

Dalle analisi condotte sui campioni dei tre materiali risulta che nessuno dei metodi di riduzione del campione abbia dato in generale una variabilità significativamente più piccola delle altre, pertanto la scelta si è basata su un punto di vista più che altro pratico, vale a dire considerando il tempo operativo, il numero o il volume dei sotto-campioni, etc. Per la vinaccia, in particolare, è stato scelto il metodo coning&quartering, mentre per sansa e pellet è stato scelto il metodo riffle box.

3.2 Risultati seconda parte

I risultati sono stati inseriti all'interno di un grafico, ponendo un confronto tra le medie relative ai risultati del campionamento da nastro e quelle relative ai risultati del corrispondente campionamento da cumulo. L'assenza di distorsioni tra i due metodi si evidenzia con una distribuzione uniforme dei punti da entrambi i lati della diagonale e per ogni taglia

Nel confronto dei due metodi in generale non sono stati riscontrati risultati significativi, ad eccezione del parametro Potassio nella vinaccia, in cui il campionamento utilizzando un volume di 2 L produce risultati distorti e in particolare maggiori con nastro rispetto al cumulo (Figura 2), e dei parametri Alluminio e Magnesio nella sansa, in cui il campionamento utilizzando un volume di 2 L produce risultati distorti e in particolare sovrastimati con campionamento da cumulo (Figura 3 e Figura 4). Nel caso del pellet infine non sono state riscontrate distorsioni di alcun tipo.

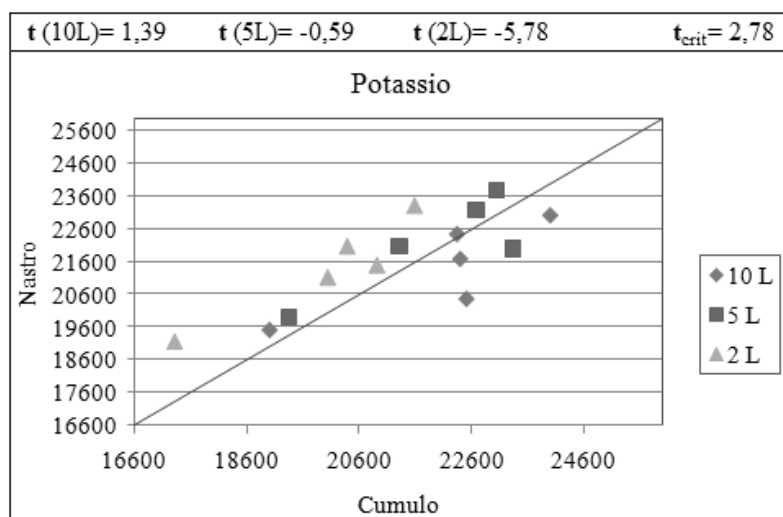


Figura 2 - Confronto, per il parametro Potassio in vinaccia, tra le varianze relative ai risultati da campionamento su cumulo e le varianze relative ai risultati da campionamento su nastro. In alto i valori di t per ogni volume, da confrontare con il valore di t_{crit} .

L'analisi della varianza ha dato risultati piuttosto variabili con sansa e vinaccia, ed in alcuni casi persino contraddittori, confermando l'eterogeneità dei due materiali. La maggior parte delle differenze significative sono state riscontrate prendendo in considerazione la variabilità tra sotto-campioni, ed in generale si è notata la tendenza di una maggiore variabilità associata ai volumi di prelievo più piccoli, 2 l in primis, ma anche 5 l, denotando il maggior rischio di perdita di rappresentatività con l'utilizzo di taglie troppo piccole.

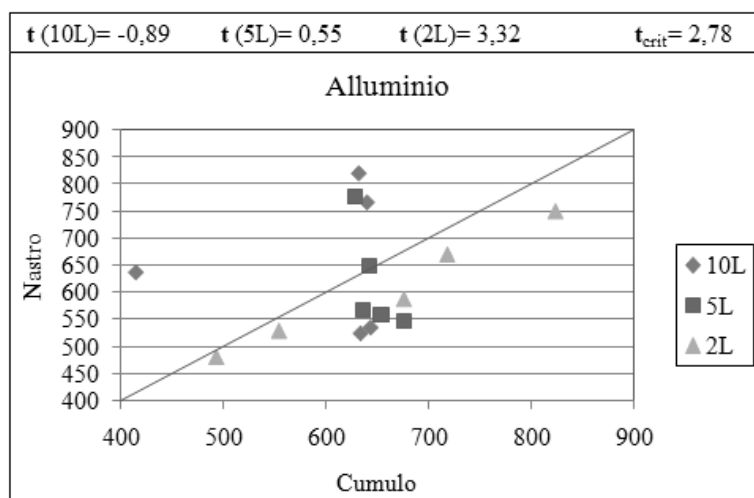


Figura 3 - Confronto, per il parametro Alluminio in sansa, tra le varianze relative ai risultati da campionamento su cumulo e le varianze relative ai risultati da campionamento su nastro. In alto i valori di t per ogni volume, da confrontare con il valore di t_{crit} .

Nel caso del pellet l'analisi della varianza ha dato risultati estremamente positivi per il contenuto di ceneri visto che non sono state rilevate differenze significative tra i diversi volumi o tra diversi metodi. Alcune differenze sono invece state riscontrate per il parametro umidità, ma soprattutto per il parametro durabilità, dove si riscontrano differenze significative soprattutto con il volume maggiore, probabilmente perché il campione deve essere suddiviso più volte con riffle box per ottenere la quantità di materiale necessaria per l'esecuzione dell'analisi.

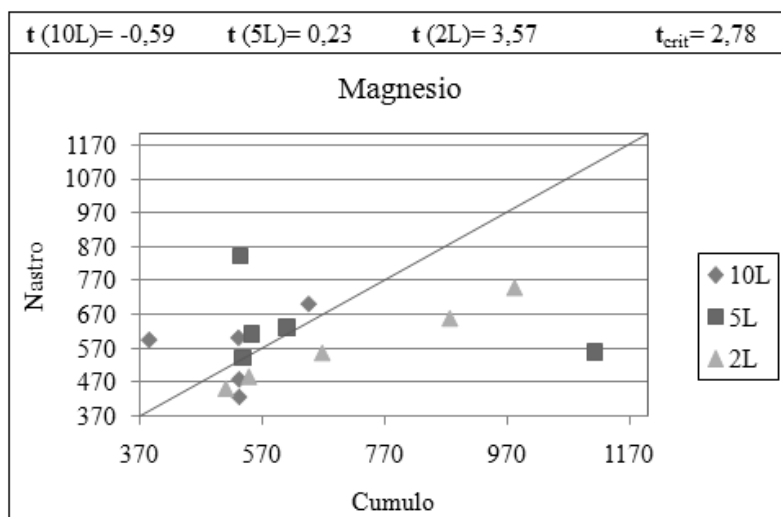


Figura 4 - Confronto, per il parametro Magnesio in sansa, tra le varianze relative ai risultati da campionamento su cumulo e le varianze relative ai risultati da campionamento su nastro. In alto i valori di t per ogni volume, da confrontare con il valore di t_{crit}.

Gli errori di ripetibilità per le varie analisi su vinaccia sono stati i seguenti: contenuto di ceneri 3,3 %, contenuto d'Al 17%, contenuto di Ca 1,6%, contenuto di Mg 3,4%, contenuto di Na 5,8%, contenuto di P 2,7%, contenuto di Si 18%, contenuto di K 2,4%, contenuto d'N 1,6%. Gli errori di ripetibilità per le varie analisi su sansa sono stati i seguenti: contenuto di ceneri 3,0%, contenuto d'Al 11%, contenuto di Ca 12,8%, contenuto di Mg 5,9%, contenuto di Na 2,5%, contenuto di P 5,3%, contenuto di Si 14,6%, contenuto di K 2,4%, contenuto d'N 2,6%. L'unico errore di ripetibilità valutabile per il pellet è quello riferito al contenuto di ceneri, che risulta essere di 14,4%.

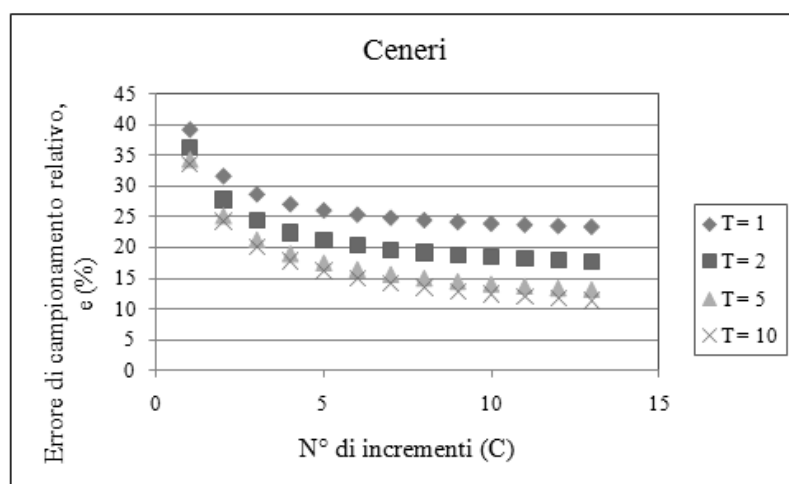


Figura 5 - Andamento dell'equazione che pone in relazione Intervalli di Confidenza con il numero di incrementi (C), in relazione anche al numero di sotto-campioni. Parametro ceneri in sansa.

Sostituendo i valori nell'equazione (1) si ottengono diverse curve per ciascun parametro. Nel caso della vinaccia, molti parametri risentono dell'effetto del diverso numero di campioni prelevati ma anche del numero di sotto-campioni in cui vengono suddivisi, come è il caso del contenuto in ceneri, Alluminio, Fosforo, Magnesio, etc; nel caso della sansa, per i parametri fisici che determinano la compravendita del materiale e l'accettazione in centrale si evidenzia che l'errore relativo dipende sia dal valore di C che di T, più marcato per il parametro ceneri in

cui già l'aumento di C da 1 a 4 determina una riduzione dell'errore del 15% circa (Figura 5). Negli altri parametri la variabilità dipende in misura preponderante dal numero di suddivisioni cui viene sottoposto il campione, denotando una particolare eterogeneità nel microcosmo del materiale. Per avere un risultato il più possibile uniforme bisogna trovare il giusto compromesso tra errore relativo accettabile in relazione al parametro considerato. In particolare i parametri che solitamente fungono da volano per la determinazione delle caratteristiche commerciali e impiantistico-qualitative in vinaccia e sansa sono l'umidità, il contenuto di ceneri, Potassio e Azoto.

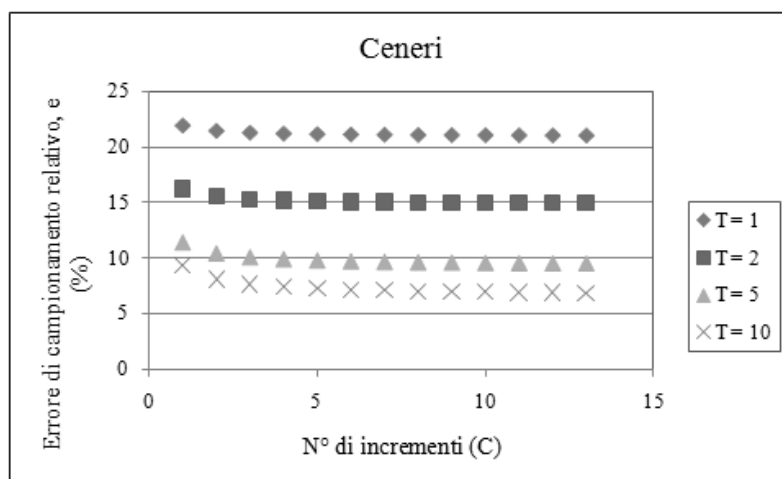


Figura 6 - Andamento dell'equazione che pone in relazione Intervalli di Confidenza con il numero di incrementi (C), in relazione anche al numero di sotto-campioni. Parametro ceneri in pellet.

Per quanto riguarda il pellet, invece, il dato maggiormente significativo è quello relativo al contenuto in cenere che, per la sua eterogeneità microscopica, non risente tanto dall'aumento del numero di incrementi prelevati quanto piuttosto dal numero di sotto-campioni in cui deve essere suddiviso il campione (Figura 6).

4. Conclusioni

Dal lavoro emergono una serie di indicazioni che possono guidare nella modalità di prelievo dei campioni di biomassa negli impianti termici. La modalità di campionamento varia in funzione della tipologia di prodotto. Più specificatamente:

- per la vinaccia è stato evidenziato come sia fattibile eseguire un campionamento su cumulo senza ottenere distorsioni nei risultati, prelevando almeno 4 incrementi da 5 l ciascuno, aggregandoli insieme e successivamente suddividendoli in 2 mediante metodo coning & quartering. Per avere una valutazione rappresentativa di un carico di vinaccia è necessario eseguire un campionamento su cumulo, prelevando quattro campioni da cinque litri ciascuno, aggregandoli insieme e successivamente suddividendoli mediante metodo coning&quartering;
- nel caso della sansa di olive la maggiore eterogeneità del materiale sansa comporta una maggiore attenzione nel campionamento che può essere eseguito anche in questo caso su cumulo, prelevando almeno 4 incrementi da 5 l ciascuno, riunendoli insieme e poi nuovamente suddividendoli in 2 parti mediante riffle box.
- nel caso del pellet infine il campionamento può essere eseguito da nastro, prelevando 4 sacchi, uno ogni mezz'ora, ed estraendone da ciascuno un incremento da 2,5 l. Gli incrementi vanno poi riuniti insieme e successivamente suddivisi in due mediante riffle box.

Gli studi afferenti alla sfera del campionamento sono numerosi e dipendono da differenze relative ai diversi materiali ma anche da aspetti assai differenti quali la loro compravendita (caso della sansa) e approvvigionamento (caso di vinaccia e pellet).

Il lavoro di ricerca in questo senso andrebbe approfondito attraverso uno studio di valutazione della variabilità nel tempo delle biomasse prese in esame, al fine di evidenziarne eventuali trend. Nonché studi di campionamento di sansa prodotta da sansifici italiani, di pellet prodotti a partire da differenti tipologie di legno.

I risultati del presente studio, sebbene necessitino degli approfondimenti sopracitati, possono comunque essere considerati un forte contributo al miglioramento degli standard normativi in ambito europeo soprattutto per quanto riguarda nuovi materiali, poiché con essi vengono migliorati aspetti relativi al loro campionamento, e di conseguenza garantita una loro migliore caratterizzazione, fornendo di fatto linee guida per la valutazione qualitativa di biomasse ad uso energetico.

Bibliografia

- [1] Sixth framework program priority - Sustainable energy system. Pre-normative research on solid biofuels for improved European standards (BIONORM II) - Annex I "Description of work"
- [2] Petersen L., Minkkinen P., Representative sampling for reliable data analysis: theory of sampling. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. **2005**, 77, 261-277
- [3] Esbensen K.H., Minkkinen P. editors. Special issue: 50 years of Pierre Gy's theory of sampling. In: Proceedings: first world conference on sampling and blending (WCSB1). Tutorials on sampling: theory and practice. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. **2004**, 74, 236
- [4] Petersen L., Dahl C.K. Representative mass reduction in sampling - a critical survey of techniques and hardware. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. **2004**, 74, 95-114
- [5] Thy P., Esbensen K.H. On representative sampling and reliable chemical characterization in thermal biomass conversion studies. *Biomass and Bioenergy*. **2009**, 33, 1513-1519
- [6] Gy P.M. Sampling for Analytical Purposes, **1998**, John Wiley and Sons.
- [7] Box G.E.P, Hunter W.G. Statistics for experimenters - An introduction to Design, Data analysis and model building, **1978**, John Wiley & Sons.
- [8] Box G.E.P, Hunter J.S.. Statistics for experimenters - Design, Innovation and Discovery, **2005**, John Wiley & Sons.