



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI

**CAMPIONAMENTO DEL CIPPATO DI  
LEGNO PRESSO UNA CENTRALE  
ELETTRICA ALIMENTATA A BIOMASSE**

TIPO TESI: sperimentale

Studente:  
YLENIA BATTENTI

Relatore:  
PROF. GIUSEPPE TOSCANO

Correlatore:  
DOTT. DANIELE DUCA

ANNO ACCADEMICO 2019/2020

ELENCO DELLE TABELLE .....	3
ELENCO DELLE FIGURE .....	4
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI .....	5
INTRODUZIONE .....	6
CAPITOLO 1 BIOCOMBUSTIBILI SOLIDI: PROPRIETÀ E METODI DI CONVERSIONE ENERGETICA .....	8
1.1 La biomassa: aspetti generali .....	8
1.2 I biocombustibili solidi: definizione, normative UNI EN ISO (specifiche tecniche)..	11
1.3 Sistemi di produzione energetica: aspetti generali .....	13
1.4 Il controllo qualitativo dei biocombustibili .....	15
CAPITOLO 2 CAMPIONAMENTO DEI BIOCOMBUSTIBILI SOLIDI .....	17
2.1 Aspetti generali del campionamento .....	17
2.2 Campionamento dei biocombustibili.....	19
CAPITOLO 3 MATERIALI E METODI .....	21
3.1 Introduzione.....	21
3.2 Campionamento ed analisi.....	22
CAPITOLO 4 RISULTATI ANALISI.....	29
4.1 Risultati parametri statistici del campionamento .....	29
4.2 Applicazione parametri statistici alla centrale di S. Marco Bioenergie Srl .....	31
4.3 Possibile proposta di campionamento .....	34
APPENDICI.....	36
CONCLUSIONI.....	44
BIBLIOGRAFIA .....	45

## ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 3.1 -Codici assegnati ai campioni di biomasse.....	25
Tabella 4.1 Contenuti delle appendici al documento. ....	29
Tabella 4.2 Valori statistici $V_i$ e $V_{pt}$ relativamente al parametro umidità.....	29
Tabella 4.3 Valori statistici $V_i$ e $V_{pt}$ relativamente al parametro ceneri.....	30
Tabella 4.4 Valori statistici $V_i$ e $V_{pt}$ relativamente al parametro azoto. ....	30
Tabella 4.5 Statistica di base dei lotti di conifera e latifolia campionati. ....	30
Tabella 4.6 Scenario n.1- Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di umidità del cumulo presente in piazzale. ....	31
Tabella 4.7 Scenario n.2 - Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di umidità dal campionamento da camion.....	32
Tabella 4.8 Scenario n. 3- Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di umidità dal campionamento da camion.....	33
Tabella 4.9 Scenario n.3 - Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di ceneri dei campioni dal campionamento in piazzale.....	33
Tabella 4.10 Scenario n.4 - Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di azoto dei campioni dal campionamento in piazzale.....	34
Tabella 4.11 - Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di umidità dal campionamento da camion con variazione di n e $N_{SL}$ .....	35

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 4-1: lotto cippato conifera .....	23
Figura 4-2: fase riduzione campioni mediante coning&quartering .....	25
Figura 4-3: mulino macinatore .....	26
Figura 4-4: muffola per analisi ceneri .....	27
Figura 4-5: analizzatore elementare dedicato per l'azoto totale LECO FP-528 .....	28

## ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

NIRS	Near Infrared Reflectance Spectroscopy
UNI	Ente nazionale italiano di unificazione.
EN	sigla che designa le norme di unificazione emesse dal Comitato Europeo di Normazione (CEN).
ISO	International Organization for Standardization - Organizzazione internazionale per la formazione.
RSU	Rifiuto Solido Urbano.
CEN	European Committee for Standardization – Comitato Europeo di Standardizzazione.
CHP	Combined Heat and Power.
PCI	Potere Calorifero Inferiore
LC	Lotto Conifera
LL	Lotto Latifolia
CC	Camion Cippato
CP	Camion Pre-macinato
SMB	San Marco Bioenergie
s.s.	sostanza secca

## INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, l'utilizzo di biomasse solide per fini energetici è una delle strategie promosse da molti Paesi per ridurre le emissioni di gas serra in atmosfera.

Per tale motivo, da ormai più di 20 anni, sul territorio nazionale sono presenti grandi impianti a biomasse solide – in particolare cippato forestale – che producono energia elettrica e, in assetto cogenerativo, energia termica.

Il territorio italiano offre una grande quantità e varietà di biomassa, da cui poter ricavare cippato. Gli impianti di grande potenza si trovano a dover gestire grandi quantità di biomassa, spesso in quantitativi compresi tra 100 e 200 kt all'anno.

La necessità di approvvigionarsi, con grandi quantità, comporta il problema di controllare la qualità del prodotto.

Tra i parametri più importante c'è l'umidità, che presenta un ruolo fondamentale a seguito del peso che ha nel valore energetico del prodotto.

Valutare l'umidità di grandi quantitativi non è semplice soprattutto quando la materia prima – come il cippato forestale – è fortemente variabile.

Il settore normativo, relativo alla determinazione della qualità delle biomasse solide, promuove l'applicazione di una norma – la UNI EN ISO 18135:2018 – che definisce i criteri e i metodi, per poter campionare un biocombustibile solido. Si tratta di un documento complesso, che non è semplice da applicare per gli operatori del settore. Molto spesso i campioni di biomassa, presi in considerazione dagli operatori, sono poco rappresentativi del lotto, considerato oggetto delle misure di laboratorio.

Con questa tesi si intende affiancare l'iniziativa di San Marco Bioenergie – proprietaria di un impianto termo-elettrico a biomasse presso Bando d'Argenta (FE) di voler migliorare la fase di campionamento della biomassa, destinata alle analisi di laboratorio. Pertanto, è stata applicata, in modo rigoroso, la norma succitata, per

verificare se l'attuale metodo di campionamento consente di ottenere un prodotto rappresentativo.

# Capitolo 1

## BIOCOMBUSTIBILI SOLIDI: PROPRIETÀ E METODI DI CONVERSIONE ENERGETICA

### 1.1 La biomassa: aspetti generali

La parola biomassa deriva dal greco bio = vita e massa = materia e indica, in genere, materiali organici non fossili originati da piante, animali e microrganismi. Ciò produce un numero estremamente ampio di materiali eterogenei, originati attraverso il processo di fotosintesi.

Della biomassa fanno parte diverse tipologie di materiali derivanti principalmente da agricoltura, foreste e mari. Le componenti base, che la costituiscono, sono principalmente cellulosa, emicellulosa, lignina, estrattivi, lipidi, grassi, proteine, zuccheri semplici, amidi, acqua, idrocarburi, cenere ed altri composti, che variano in funzione della tipologia di biomassa. Esistono altre componenti minori come pectine, sostanze estrattive, resine, terpeni, gomme ed altro che aumentano ulteriormente l'eterogeneità di queste matrici anche nell'ambito dello stesso materiale.

Oltre ad avere una variabilità dal punto di vista del materiale si ha una differenza anche a livello delle macromolecole stesse, quali lignina, cellulosa ed emicellulosa; esse presentano ampia variabilità sia in termini di lunghezza del polimero che in termini di composizione (variazione della composizione chimica dei monomeri di base). A causa di questa variabilità di materiale, è frequente individuare una classificazione della biomassa basata su diversi criteri. I criteri più diffusi sono:

- stato fisico;
- settore di provenienza;
- ruolo nell'ambito del processo produttivo.

Prendendo in considerazione il primo criterio, la suddivisione è la seguente:

- Biomasse solide: la grande maggioranza delle biomasse ad uso energetico, le quali sono principalmente di natura lignocellulosica, dove il legno rappresenta la materia prima maggiormente diffusa e utilizzata.



- Biomasse liquide: prevalentemente costituite dagli oli vegetali, estratti dai semi delle specie vegetali oleaginose. Nell'ambito di questa classe di prodotti sono presenti anche i biocombustibili, ottenuti da processi industriali a partire da una biomassa solida.

- Biomasse gassose: sono tutte ottenute attraverso processi fisici o biochimici. Il gas di gassificazione (syn-gas) ed il biogas, ottenuto da fermentazione anaerobica, sono i due prodotti più rappresentativi.

La classificazione sulla base del settore di provenienza è la seguente:

- Settore forestale: la biomassa è composta da legno derivante dalle utilizzazioni forestali e/o da residui delle operazioni selvicolturali.

- Settore agricolo: in questo ambito i materiali sono più ampi e caratterizzati da matrici dominanti differenti: lignocellulosica, zuccherina e oleaginosa.

- Settore zootecnico: ci si riferisce alla produzione di reflui animali negli allevamenti intensivi.

- Settore industriale: in questo ambito i materiali sono tutti residui di prima lavorazione industriale dei prodotti forestali (legno) e agricoli.

- Settore urbano: in questo ambito si considerano i materiali residuali delle operazioni di manutenzione del verde pubblico e privato e la frazione organica dei rifiuti solidi urbani.

È contemplata la classificazione in funzione del ruolo nel processo produttivo.

- Biomasse da colture principali: si tratta di materie prime ottenute da piante destinate alla produzione di biomasse ad uso energetico (le cosiddette "Colture energetiche").

- Biomasse residuali: ovvero le biomasse, che costituiscono un residuo o un sottoprodotto della lavorazione del prodotto principale, il quale ha una destinazione diversa da quella energetica.

Questa tipologia di classificazione interessa sostanzialmente le biomasse derivanti dal settore forestale e dal settore agricolo.

Il settore forestale racchiude un'ampia gamma di biomasse solide di diversa tipologia e qualità a seconda dell'origine del materiale. La maggior parte del materiale utilizzato è costituito da prodotti residuali di operazioni selvicolturali. Altro materiale prelevato deriva dai tagli intercalari o da interventi alle giovani fustaie in via di ricostituzione.

A ciò si aggiunge comunque una cospicua quantità di materiale legnoso, che può essere ricavato dall'utilizzazione di boschi cedui. Di interesse, per la produzione di energia, sono anche i prodotti derivanti da formazioni boschive allevate generalmente su superfici agricole

Non sempre il materiale deriva da prodotti residuali, ma possono essere eseguite analisi, considerando come fine il prelievo di biomassa forestale a fini energetici.

Generalmente la legna, ottenuta dalla filiera forestale, origina prodotti di utilizzo domestico. Tra questi:

- Ciocchi di legno di 20-30 cm, da tronchi lavorati con spaccalegna.
- Fascine ricavate da arbusti (lunghezza fino a 1 m).
- Legna sminuzzata (circa 10 cm di lunghezza) prevalentemente ricavata da rami.
- Cippato di legna (wood chips) di misure variabili.

Tra questi prodotti il cippato è indubbiamente il materiale, che offre maggiore vantaggi sul piano della sua produzione e stoccaggio e per il suo utilizzo sia nelle piccole caldaie che nei grandi impianti. Il cippato è ottenuto, frantumando il legname con apposite macchine: la dimensione è compresa tra i 30 e 50 mm a seconda dell'impianto o del sistema di alimentazione. Normalmente si cerca di rispettare le caratteristiche dimensionali per garantirne un uso ottimale negli impianti termici. Per quanto riguarda la sua produzione, si utilizzano prodotti non di elevata qualità (materiali di esbosco, ramaglie, scarti di cimale e del toname con corteccia).

Il cippato di provenienza forestale viene suddiviso in funzione delle sue caratteristiche e del materiale di origine. In particolare:

- “Cippato bianco”, derivante dalla sminuzzatura di solo legno, ovvero di fusti o tronchetti, preventivamente scortecciati.
- “Cippato marrone o con corteccia”, caratterizzato da un colore più scuro del precedente e, a parità di altre condizioni, una massa volumica leggermente superiore, poiché la corteccia si frantuma in particelle di dimensioni più piccole e riempie parte degli interstizi fra i chips, dando origine ad un cumulo più compatto.
- “Cippato verde”, contenente anche fogliame (soprattutto aghi), in quanto ottenuto dalla riduzione in chips di piante intere o di porzioni della chioma.

Per quanto riguarda il settore agricolo, si ha una grande varietà di materie prime utili in qualità di combustibili da biomassa. La materia può derivare sia da residui colturali che da colture dedicate. In generale si possono distinguere:

- Residui colturali lignocellulosici di piante arboree ed erbacee; che sono costituiti principalmente da potature di colture arboree (vite, olivo e fruttiferi); paglie di colture erbacee cerealicole (frumento, riso, orzo); stocchi e tutoli (girasole, mais).
- Colture dedicate lignocellulosiche, che includono sia piante erbacee annuali e poliennali che arboree o legnose; dedicate oleaginose; dedicate zuccherine. Per colture dedicate si intendono quelle colture sviluppate con l'obiettivo di produrre come prodotto

principale biomasse, destinate alla trasformazione in energia termica e/o elettrica o trasformate in biocombustibili per autotrazione.

Oltre a quello forestale e agricolo, è possibile recuperare del materiale anche dal settore zootecnico, industriale e urbano. In quello zootecnico le biomasse, potenzialmente recuperabili per uso energetico, sono costituite dalle deiezioni, dai materiali reflui o di scarto di un allevamento. La variabilità dipende dalla tipologia di animale (suini, bovini e avicoli) e modalità di gestione dell'allevamento. Normalmente questa matrice è caratterizzata da un elevato contenuto in umidità e di azoto, che la rendono idonea alla produzione di biogas in appositi impianti anaerobici. Si può anche utilizzare il prodotto, in sistemi termochimici, se si riduce la sua umidità.

In ambito industriale le materie recuperabili sono tutte di tipo residuale (scarti o sottoprodotti). In generale si fa riferimento all'industria del legno e della lavorazione dei prodotti agricoli.

L'industria del legno origina una serie di scarti della lavorazione, derivanti principalmente da operazioni di taglio del materiale.

Le industrie agroalimentari producono quantità rilevanti di scarti e sottoprodotti di natura organica di qualità variabile. In generale, i sottoprodotti di questo settore, possono derivare dall'industria della macellazione e dal settore lattiero-caseario o dalla trasformazione e lavorazione di ortaggi, frutta, cereali, olive, uva.

Per quanto riguarda il settore urbano, i rifiuti solidi urbani (RSU) contengono quote importanti di biomassa; in particolare possono essere separate una componente, formata da residui lignocellulosici, che derivano dalla gestione del verde pubblico e privato urbano e, una componente organica umida, che, a causa dell'alto contenuto di acqua, viene destinata alla produzione di biogas attraverso la digestione anaerobica.

## **1.2 I biocombustibili solidi: definizione, normative UNI EN ISO (specifiche tecniche)**

Relativamente alle biomasse solide ad uso energetico, il settore è sempre più orientato ad inquadrare la materia prima energetica come biocombustibile, basata su prodotti bioenergetici solidi, contraddistinti da proprietà definite da specifiche tecniche. La classificazione e la definizione delle specifiche, per ogni categoria di biocombustibile, sono basate su una serie di parametri fisici e chimici ritenuti importanti per l'uso energetico. In altri termini, la determinazione della qualità di un biocombustibile avviene attraverso dei metodi analitici, più o meno complessi, a seconda del tipo di parametro considerato. Anche

tali metodi sono stati sviluppati specificatamente per le biomasse solide e descritti all'interno di norme tecniche.

Il CEN (European Committee for Standardization - Comitato Europeo di Standardizzazione) ha, da tempo, iniziato un percorso di standardizzazione e di sviluppo di norme tecniche nel settore delle biomasse combustibili. Il punto di riferimento di questa linea di norme è la UNI EN ISO 17225-1 "Biocombustibili solidi - specifiche e classificazione del combustibile - Parte 1: Requisiti generali". Questa norma europea descrive un metodo, per classificare i biocombustibili solidi, basandosi sull'origine della biomassa utilizzata per produrli e su determinate caratteristiche qualitative, giudicate essenziali per ogni specifica tipologia di prodotto. La norma si applica ai biocombustibili solidi prodotti da una ben precisa serie di materie prime:

- prodotti derivanti dall'agricoltura e dalle foreste;
- residui vegetali dell'agricoltura e delle foreste;
- residui vegetali delle lavorazioni dell'industria alimentare;
- residui legnosi, ad eccezione di quelli che possono contenere componenti organici alogenati o metalli pesanti, derivanti dai trattamenti per la conservazione del legno; tra questi residui non possono essere utilizzati quelli provenienti dal settore edile e delle demolizioni;
- residui fibrosi vegetali, derivanti dal pulper di cartiera, solamente se vengono utilizzati direttamente nel luogo di produzione ed il calore generato viene recuperato;
- rifiuti di sughero.

La norma, seppure molto generica, consente di classificare e distinguere i prodotti utilizzati per scopi energetici. I sistemi si basano sulla definizione della forma commerciale, della dimensione e della modalità di produzione (es. segatura, polvere, cippato, fascine, pellet ecc.).

Inoltre, al pacchetto di norme considerate, è stata aggiunta un'ulteriore serie di norme, UNI EN 15234, che definiscono le modalità di "Assicurazione della qualità del combustibile". L'approccio di queste norme è simile a quello della UNI EN ISO 9001 "Sistemi per la gestione della qualità".

Le norme del pacchetto UNI EN 15234 sono:

- EN 15234-1 Biocombustibili Solidi - Assicurazione della qualità del combustibile - Parte prima - requisiti generali: rappresenta la norma quadro di questa serie e definisce le procedure e le modalità di gestione del processo produttivo, per assicurare, con un'adeguata attendibilità, che le specifiche (serie UNI EN 14961) del biocombustibile siano soddisfatte. Questa norma europea comprende l'intera filiera, dall'acquisto della materia prima fino al

punto di consegna al consumatore finale, ad eccezione della fase di approvvigionamento della biomassa (es. esbosco del legno o coltivazione che sia) e dell'uso finale nell'impianto energetico. Si escludono, dal campo di azione della norma, anche gli aspetti inerenti la sicurezza, la salute e la qualità dell'aria-ambiente. L'applicazione della norma dovrebbe garantire la tracciabilità del prodotto e dimostrare che tutte le fasi della filiera, fino al punto di consegna al consumatore, siano sotto controllo a garanzia della qualità finale del prodotto.

Le altre cinque parti della serie EN 15234 trattano specifici requisiti produttivi dei più diffusi biocombustibili solidi e sono:

- EN 15234-2 Biocombustibili Solidi - Assicurazione della qualità del combustibile - Parte 2: Pellet di legno per uso non industriale.
- EN 15234-3 Biocombustibili Solidi - Assicurazione della qualità del combustibile - Parte 3: Bricchette di legno per uso non industriale.
- EN 15234-4 Biocombustibili Solidi - Assicurazione della qualità del combustibile - Parte 4: Cippato di legno per uso non industriale.

### **1.3 Sistemi di produzione energetica: aspetti generali**

La biomassa, prodotta o residuale, è utilizzabile come fonte di energia in processi di generazione di elettricità, calore o biocombustibili. Questo tipo di risorsa è probabilmente la fonte rinnovabile più ampia e varia in termini di materie prime utilizzabili e di tecnologie necessarie per la loro utilizzazione. La biomassa è anche una fonte energetica, che può essere considerata neutrale ai fini dell'incremento delle emissioni di gas a effetto serra: questo perché i vegetali crescono sottraendo anidride carbonica atmosferica e fissano il carbonio nei tessuti vegetali e, la sua combustione genera, evidentemente, emissioni di anidride carbonica, che viene tuttavia emessa in quantità pari a quella assorbita dalla pianta, rientrando, pertanto, nel ciclo naturale.

Un processo per la conversione dei biocombustibili legnosi in energia termica è la combustione.

La combustione è una reazione di ossidazione, in cui il combustibile (legna, cippato, pellet) è la sostanza che si ossida (riducente), il comburente (l'ossigeno) è l'ossidante.

C e H presenti nel biocombustibile in presenza di O<sub>2</sub>, vengono ossidati con formazione di CO e H<sub>2</sub>O mentre si libera energia. Il processo di combustione avviene schematicamente in tre fasi successive, in funzione della temperatura:

1. Evaporazione dell'acqua (riscaldamento, essiccazione): il combustibile aumenta di temperatura per effetto della fiamma e del calore del focolare; raggiunti i 100° C il legno comincia a perdere l'umidità residua.

2. Pirolisi o gassificazione: dai 150° - 250° C inizia l'evaporazione dei composti del legno (idrocarburi), il legno cambia struttura, aumentando la sua porosità (carbone di legno).

3. Combustione dei componenti volatili: a 500° - 600° C i componenti volatili (gas), che rappresentano circa il 75% del combustibile, iniziano a essere combusti.

Tra 700° e 1400° C la maggior parte dell'energia è stata liberata sotto forma di calore, con l'ossidazione della componente volatile. L'obiettivo del processo di combustione è quello di massimizzare l'efficienza, limitando il più possibile la perdita di energia, sotto forma di monossido di carbonio (CO) e di gas incombusti, utilizzando apparecchiature sempre più sofisticate.

Il processo di gassificazione è caratterizzato da un insieme di reazioni e di processi termo-fisici che consentono di ottenere prodotti gassosi a partire da combustibili solidi, per effetto del contatto di questi ultimi con agenti gassificanti (aria, ossigeno, vapor d'acqua, anidride carbonica o miscele di tali gas). Questo può essere realizzato in condizioni di eccesso di aria. Quando l'agente gassificante presenta un contenuto di ossigeno nullo (= 0), si parla di pirolisi, processo orientato alla produzione di prodotti liquidi e solidi a più alto contenuto di carbonio assieme ai prodotti gassosi.

La gassificazione si realizza in eccesso di combustibile e può essere schematizzata in quattro fasi: essiccamento, pirolisi, ossidazione/combustione, riduzione.

Nelle prime due, che possono essere considerate immediate, irreversibili e in serie temporanea, si hanno rispettivamente l'evaporazione dell'umidità, eventualmente presente nel combustibile, e la degradazione termica dello stesso. Nelle ultime due fasi si svolgono rispettivamente le reazioni di ossidazione e di riduzione.

Attraverso i sistemi di cogenerazione dai biocombustibili, è possibile generare calore ed energia elettrica (CHP, Combined Heat and Power). Ciò si realizza attraverso processi termici chiusi, nei quali la combustione della biomassa e la generazione elettrica sono separati da uno stadio di trasferimento del calore dai gas surriscaldati a un fluido di lavoro impiegato nel ciclo di generazione dell'energia elettrica.

#### 1.4 Il controllo qualitativo dei biocombustibili

La qualità dei biocombustibili viene misurata in relazione alle sue proprietà chimiche e fisiche; le informazioni, che si ricavano dalle analisi, definiscono il comportamento e le proprietà dei materiali dal momento della loro produzione all'utilizzo in impianto.

La dimensione di un biocombustibile è un parametro fisico importante, in quanto può influenzare una serie di aspetti operativi, come sistemi di movimentazione e stoccaggio del prodotto o per la tecnologia di conversione; la scelta del sistema di conversione energetica può essere condizionato dalle dimensioni del biocombustibile.

La massa volumica incide significativamente su aspetti di carattere tecnico in conseguenza dei volumi occupati dal biocombustibile nelle diverse fasi del processo; da questo parametro dipende anche la densità energetica del prodotto e, quindi la regolazione del regime di alimentazione dell'impianto termico. Gioca un ruolo importante di carattere economico, a seguito della forte incidenza sui costi del trasporto del materiale.

Il contenuto di umidità di una biomassa incide su aspetti diversi: maggiore è la quantità di acqua contenuta nella biomassa e minore è l'energia da esso liberata nella combustione. Comporta inoltre effetti importanti sul processo di combustione, tra cui quello di ridurre la temperatura, con conseguenze sul rendimento e sui livelli di emissione in atmosfera. Elevati valori di umidità sono negativi in fase di stoccaggio del prodotto, in quanto favoriscono la formazione e lo sviluppo di componenti microbiche responsabili di fenomeni di degradazione della biomassa, che uniti al riscaldamento della massa di biomassa stoccata, generano perdite importanti del combustibile (anche del 20% del contenuto energetico complessivo) e fenomeni di autocombustione della massa di prodotto.

Le polveri costituiscono un indicatore della qualità di produzione e delle perdite di prodotto. La frazione fine non può essere gestita dai sistemi di alimentazione dei generatori di calore e quindi rimane nelle tramogge di stoccaggio. Questo costituisce un parametro importante anche per gli aspetti della sicurezza negli impianti termici.

Le ceneri possono causare diverse problematiche nello smaltimento e nella produzione di aggregati solidi e stabili in caldaia, che possono determinare l'interruzione del funzionamento dell'impianto, causare processi di corrosione a seconda della natura chimica delle ceneri e della presenza nella biomassa di specifici elementi chimici e produrre polveri fini, che determinano inquinamento.

Il potere calorifico, distinto in superiore ed inferiore, è il principale parametro che definisce il contenuto energetico del combustibile. Normalmente, in ambito energetico, si determina il potere calorifico inferiore (PCI), in quanto definisce l'energia che può essere

realmente utilizzata dalla combustione di una biomassa. Il dato del PCI e quello del contenuto di umidità permettono il calcolo del potere calorifico netto, necessario per valutazioni di natura economica della biomassa e per il computo dell'efficienza energetica di un impianto di conversione energetica.

I metalli pesanti e gli elementi chimici consentono infine di valutare il prodotto da un punto di vista ambientale, escludendo l'eventuale presenza di inquinanti.



## Capitolo 2

### CAMPIONAMENTO DEI BIOCOMBUSTIBILI SOLIDI

#### 2.1 Aspetti generali del campionamento

Il campionamento è il procedimento, in base al quale da una totalità di elementi oggetto di studio detto popolazione (per popolazione s'intende l'insieme di tutte le unità elementari a cui viene attribuito una certa caratteristica che le individua come omogenee) si seleziona ed esamina un certo numero che sia rappresentativo della totalità stessa. Questo prende il nome di campione statistico, un gruppo di unità elementari, non necessariamente persone, individuato in essa in modo da consentire, con un rischio definito di errore, la generalizzazione all'intera popolazione, in modo che i risultati ottenuti siano generalizzabili.

I requisiti fondamentali di un buon campionamento sono: la rappresentatività e la praticabilità. Un campione rappresentativo si ottiene utilizzando attrezzature idonee e procedure che consentano di prelevare da tutta la partita, oggetto del campionamento, campioni elementari e di numero e peso adeguato (grandezza). Per realizzare un campionamento rappresentativo si deve tenere in considerazione la tipologia di matrice su cui si interviene.

Una corretta procedura di campionamento prevede:

- garanzia di rappresentatività (per numero di campioni elementari, numero di punti di prelievo, grandezza del campione globale e del campione finale);
- un'accurata omogeneizzazione del campione globale;
- conservazione del campione prima dell'analisi, in luogo fresco e asciutto (salvo diversamente specificato per particolari prodotti) in modo da evitare modificazioni fisiche della matrice come la riduzione o l'aumento della percentuale di umidità e fenomeni di alterazione delle sostanze da ricercare;
- limitata esposizione alla luce, nel caso di presenza di eventuali sostanze fotosensibili;
- assenza di eventi di contaminazione dei campioni prelevati, dopo e durante la fase di campionamento.

I principali vantaggi di un'analisi su dati campionari, che a prima vista potrebbe apparire limitata e non esaustiva, possono essere sintetizzati nei seguenti quattro punti:

- Costi ridotti. Se si osservano le manifestazioni di un fenomeno, analizzando un sottoinsieme della popolazione, i costi complessivi per l'acquisizione dei dati risultano, evidentemente, inferiori rispetto a quelli che si sosterebbero se si effettuasse il censimento di tutte le unità della popolazione.
- Maggiore rapidità di acquisizione dei dati. I dati e le informazioni che si intendono raccogliere sono più rapidamente accessibili con rilevazioni parziali piuttosto che con quelle totali. La tempestività nel raccogliere i dati risulta di notevole rilevanza, quando le informazioni e i risultati sono necessari nel più breve tempo possibile.
- Maggiore possibilità di azione. In alcune indagini, poi la raccolta dei dati va affidata a gruppi di esperti, a persone altamente qualificate e specializzate, che sono frequentemente di difficile reperibilità. In questi casi, quindi, l'attuazione di un censimento risulta assolutamente impraticabile e pertanto l'indagine dei campionari appare come l'unica via per ottenere le informazioni sul fenomeno che s'intende analizzare.
- Maggiore accuratezza. In talune situazioni l'analisi risulta più approfondita in presenza di una numerosità limitata. Il campione permette allora lo svolgimento dell'indagine in maniera più accurata di quanto non lo permetterebbe uno studio complessivo di tutte le unità della popolazione in studio.

Indipendentemente dallo scopo dell'indagine, va sempre elaborato un "piano di campionamento", che costituisce una delle principali fasi di un'indagine campionaria. Nel piano di campionamento si stabiliscono sia il metodo attraverso cui si estraggono gli elementi che entreranno a far parte del campione, sia la dimensione dello stesso.

Le modalità di campionamento condizionano, in modo determinante, le successive procedure di controllo analitico. Un campione prelevato, al di fuori delle procedure di campionamento previste dalle norme o da codici di buone pratiche, deve essere considerato inidoneo all'analisi al fine del controllo ufficiale, non possedendo i requisiti minimi di qualità. Il campione va idoneamente identificato, etichettato, manipolato, conservato e trasportato in modo da garantirne la validità dal punto di vista giuridico e analitico, inoltre esso deve essere accompagnato dal relativo verbale di prelievo, adeguatamente e correttamente compilato.

## 2.2 Campionamento dei biocombustibili

Nell'ambito dei biocombustibili il campionamento è molto importante, considerata la variabilità dei prodotti energetici.

Il campionamento prevede diverse fasi:

La prima fase prevede la pianificazione, si esegue prima del campionamento e consiste in:

- identificazione della partita da campionare da parte dell'addetto al campionamento;
- indicazione della quantità/durata di stoccaggio da parte dell'addetto al deposito e determinazione del volume dell'insieme;
- valutazione dei possibili influssi, come intemperie e simili, subiti dalla partita durante lo stoccaggio;
- determinazione della pezzatura (forma) e della grandezza dei pezzi;
- stima delle frazioni degli assortimenti nella quantità di base;
- valutazione della superficie di stoccaggio;
- stima visiva della percentuale di sostanze interferenti.

Durante la seconda fase si ha la preparazione dell'ammasso; il materiale viene sottoposto a una cernita preliminare. Prima di qualsiasi campionamento occorre procedere a una verifica mediante un esame visivo e una dettagliata descrizione; se il risultato della cernita preliminare è insufficiente, l'addetto decide, sul posto, se effettuare il campionamento o meno. L'ammasso o il deposito sono documentati mediante fotografie.

La terza fase è quella in cui avviene il prelevamento del materiale che viene eseguito secondo la norma tecnica UNI EN ISO 18135:2018.

Si ha, in seguito, la fase dell'etichettatura e del trasporto. Nei contenitori, riempiti con i campioni, è inserito il verbale di campionamento compilato interamente e firmato. Subito dopo il campionamento, i contenitori vengono chiusi ermeticamente, etichettati ed, eventualmente, in caso di spedizione per corriere, piombati. In quest'ultimo caso, l'etichetta del campione va fissata al sigillo di piombo.

L'etichettatura del campione comprende tra l'altro le seguenti informazioni:

- committente (indirizzo del titolare del deposito)/deposito di legname;
- luogo/data del campionamento;
- designazione del campione.

L'intero procedimento del campionamento è descritto nella norma tecnica UNI EN ISO 18135:2018, che definisce il metodo di campionamento. Essendo numerose le realtà e le condizioni operative, in cui effettuare il campionamento dei biocombustibili solidi (camion,

cumulo piazzale, nave, nastro di impianto ecc.), la norma definisce delle procedure generali per poi essere adattate nei diversi contesti e con le differenti tipologie di biocombustibili solidi.

## Capitolo 3

### MATERIALI E METODI

#### 3.1 Introduzione

I sistemi di controllo delle qualità delle biomasse ad uso energetico consentono di fornire informazioni sulle loro prestazioni tecniche ed energetico – ambientali.

I dati delle proprietà di tali materiali ricavati da tali sistemi di controllo forniscono indicazioni:

- energetiche: cioè definiscono il valore energetico del biocombustibile su unità di massa (MJ/kg), attraverso il contenuto di umidità ed il potere calorifico;
- di carattere logistico: attraverso la massa volumica e la granulometria, che permettono di valutare il dimensionamento e l'efficacia dei sistemi di movimentazione del biocombustibile, dal momento della raccolta fino all'alimentazione in impianto e alcuni aspetti del loro comportamento negli impianti termici;
- di natura impiantistica: il contenuto in ceneri, cloro e zolfo sono gli elementi maggiormente legati alle problematiche di deterioramento di alcune componenti dell'impianto;
- inerenti ad aspetti ambientali: gli elementi chimici sopra considerati e l'azoto incidono sui livelli di emissione. A questi si possono aggiungere anche i metalli pesanti, che, prevalentemente, vanno a far parte della frazione inorganica e quindi ne condizionano il tipo di collocazione quando estratti dall'impianto termico.

Le modalità e gli strumenti, con cui questi controlli sono eseguiti, sono definiti da normative tecniche UNI EN ISO. Il riferimento sia alle norme metodologiche che a quelle che definiscono le specifiche di prodotto è il gruppo della UNI EN ISO 17225-Biocombustibili solidi.

Per quanto riguarda il metodo di campionamento di biocombustibili solidi, nei diversi contesti operativi, si segue la norma tecnica UNI EN ISO 18135:2018. Essendo numerose le realtà e le condizioni operative in cui effettuare il campionamento dei biocombustibili solidi, la norma definisce delle procedure generali per poi essere adattate nei diversi contesti e con le differenti tipologie di biocombustibili solidi.

Ad oggi nel settore non sembrerebbe essere diffuso il ricorso a questa operazione mediante applicazione completa della normativa. In quest'ottica si è realizzato e applicato un programma di lavoro, basato su attività di campo e misure di laboratorio, secondo le indicazioni della UNI EN ISO 18135:2018, presso l'impianto di Bando d'Argenta di San Marco Bioenergie.

Lo studio del campionamento presso l'impianto persegue come principale finalità quella di disporre di informazioni statistiche sulla variabilità delle biomasse solide. Ciò consente di disporre di dati utili, per definire un metodo di campionamento della biomassa congruo, con i target di qualità richiesti dall'impresa. Lo studio permette di stimare l'errore complessivo dei dati, che risultano dalle analisi dei campioni di biomassa ottenuti con i diversi sistemi di monitoraggio.

### **3.2 Campionamento ed analisi**

Il lavoro viene sviluppato in due diverse fasi, la prima viene svolta in campo e consiste nel prelevare i campioni. La seconda fase si svolge in laboratorio e consiste nell'effettuare l'analisi dell'umidità, delle ceneri e dell'azoto.

Durante la prima fase si eseguono i campionamenti; per la predisposizione e l'esecuzione del piano è stata seguita la normativa ISO 18135:2017. Le biomasse, prese in oggetto, sono state: cippato di conifera, cippato di latifoglia e un pre-macinato misto.

Lo schema di campionamento è stato eseguito:

- su interi cumuli in piazzale: in seguito verranno chiamati lotti; si tratta di cippato di conifera (LC) e cippato di latifoglia (LL);
- sul cumulo di biomassa derivante dallo scarico a terra di singoli camion, conferiti in impianto e si tratta di cippato di conifera (CC) e pre-macinato misto (CP).

I target del campionamento sono stati: camion cippato (CC), camion pre-macinato (CP), lotto conifera (LC), lotto latifoglia (LL).

*figura 4.1- lotto cippato conifera*



Per ciascun target l'obiettivo è stato quello di determinare i valori di  $V_i$ , cioè la variabilità associata ai singoli incrementi e  $V_{pt}$ , cioè variabilità associata alla preparazione del campione e al test, permettendo così di calcolare il valore di  $P_L$  cioè precisione associata all'intero lotto campionato. E' un valore di errore associato al campionamento applicato. Pertanto, maggiore è  $P_L$  minore risulta essere la precisione del dato analitico, ottenuto dall'intero iter analitico, e il valore di  $n_{min}$ , definito come il numero minimo di incrementi, cioè un volume di materiale prelevato in un singolo punto, da un lotto o sotto-lotto, per ottenere la  $P_L$  desiderata.

Per calcolare i valori di  $V_i$  e  $V_{pt}$  e  $P_L$  e  $n_{min}$  vengono utilizzate delle formule specifiche, che sono fornite dalla norma.

Di seguito le formule di  $V_i$  e  $V_{pt}$  riportate in normativa:

$$V_i = \frac{1}{n-1} \left[ \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right] - V_{PT} \quad V_{PT} = \frac{\sum d_i^2}{2n_p}$$

Dove:

$n$  = numero di incrementi prelevati;

$x_i$  = risultato del dato analitico di ogni incremento;

$d_i$  = differenza tra dati analitici di sub-campioni A e B;

$n_p$  = numero di coppie di sub-campioni A e B.

Da questo si evince che i due indici di variabilità sono collegati tra loro e che, per valutare  $V_{pt}$ , si ha la necessità di suddividere, con appropriato metodo, alcuni campioni in sotto-campioni A e B ed analizzare ogni sotto-campione.

Di seguito le formule di  $P_L$  e  $n_{min}$  riportate in normativa:

$$P_L = 2 \sqrt{\frac{V_i}{N_{SL}n} + \frac{V_{PT}}{N_{SL}}} \quad n_{\min} = \frac{4V_i}{N_{SL}P_L^2 - 4V_{PT}}$$

Dove:

$N_{SL}$  = numero di sotto-lotti, ovvero in quante “porzioni” va suddiviso materialmente il target da campionare.

Prima di iniziare la raccolta dei campioni, per migliorare la rappresentatività del campionamento dei lotti, vista la grande mole di biomassa da campionare, il personale dell’impianto ha provveduto – tramite uso di benna - ad aprire parte del cumulo, in modo da poter prelevare incrementi di biomassa anche nella parte interna del cumulo e nella parte sommitale.

Per ciascuno dei target di campionamento (CC, CP, LC e LL), il piano di campionamento ha previsto:

- Per il calcolo di  $V_i$ : prelievo di 30 incrementi da cumulo in maniera casuale, ma secondo lo schema di proporzione 1:3:5, partendo dalla parte alta del cumulo, così come proposto dalla normativa. Ogni incremento è stato chiuso in sacco di plastica resistente ed analizzato presso il Laboratorio Biomasse. Ad ogni incremento è stato assegnato un codice univoco.

- Per il calcolo di  $V_{pt}$ : formazione di 20 campioni, ciascuno costituito da 10 incrementi prelevati sempre secondo schema 1:3:5. Ogni campione è stato chiuso in sacco di plastica resistente e codificato in maniera univoca. Nei locali del Laboratorio Biomasse, ogni campione è stato successivamente ridotto in volume e suddiviso in due sotto-campioni A e B mediante il metodo di quartatura e riduzione del campione a torta (coning&quartering).

Ogni sotto-campione è stato codificato in maniera univoca (tabella 1).



**Tabella 3.1 -Codici assegnati ai campioni di biomasse.**

Tipologia	Target camion cippato (CC)	Target camion pre-macinato (CP)	Target lotto conifera (LC)	Target lotto latifoglia (LL)
Incrementi prelevati per calcolo $V_i$	Da CC_01 a CC_30	Da CP_01 a CP_30	Da LC_01 a LC_30	Da LL_01 a LL_30
Sotto-campioni costituiti per calcolo $V_{pt}$	Da CC_01A e CC_01B a CC_20A e CC_20B	Da CP_01A e CP_01B a CP_20A e CP_20B	Da LC_01A e LC_01B a LC_20A e LC_20B	Da LL_01A e LL_01B a LL_20A e LL_20B

Il volume di prelievo del singolo incremento è variato in funzione della granulometria del materiale, oggetto del campionamento (come richiesto da normativa). Pertanto, per i cippati il volume di prelievo è stato circa 2,25 litri, mentre per il pre-macinato il volume di prelievo è stato di circa 3,15 litri, valori stabiliti da una formula di calcolo riportata in normativa. Ne è risultato che i campioni composti di cippato presentavano un volume di circa 22,5 litri, mentre quelli di pre-macinato un volume di circa 31,5 litri.

In seguito, su ciascun campione ottenuto da incrementi singoli di biomasse oppure da campioni composti, sono state condotte delle operazioni prima di procedere con l'analisi. In particolare:

- tutti i campioni composti, prodotti nel corso dell'attività presso SMB sono stati ridotti in volume e divisi ciascuno in due sotto-campioni mediante coning&quartering, metodica prevista dalla normativa ISO14780;
- tutti gli incrementi e tutti i sotto-campioni sono stati soggetti alla determinazione del contenuto di umidità secondo normativa ISO18134-2, prendendo il dato singolo.

**Figura 4.2- fase di riduzione campioni mediante coning&quartering**



Per le analisi di laboratorio, diverse dall'umidità, in generale tutti i campioni stabilizzati sono stati macinati ad 1mm, secondo quanto riportato dalla normativa ISO14780. Specificatamente per i campioni con codice LC e LL sono state eseguite anche la determinazione del contenuto di ceneri secondo metodica ISO18122 e quella del contenuto di azoto secondo metodica ISO16948.

La prima determinazione di laboratorio è il contenuto di umidità.

La misura del contenuto di umidità – secondo la normativa attuale - avviene per via termo gravimetrica, trattando un campione di biomassa in una stufa termo ventilata a 105°C. Il campione viene pesato due volte, una prima di inserire lo stesso in stufa, l'altra dopo essere stato, per circa 24 ore, all'interno della stufa. La differenza di peso, prima e dopo il trattamento, misura la quantità di acqua presente nel campione, poi rapportata alla massa iniziale. Il dato viene espresso, come percentuale, in peso di umidità sul prodotto.

Terminata l'analisi dell'umidità i campioni stabilizzati vengono macinati, ogni singolo campione viene prima macinato a 5 mm poi sottoposto ad un'ulteriore macinatura a 1 mm; tra un campione e l'altro lo strumento di macinatura va aperto e ripulito.

*Figura 4.3- mulino macinatore*



In seguito i campioni con codice LC e LL, cioè quelli presi rispettivamente dal lotto di conifera e quello di latifolia, vengono sottoposti ad altre analisi.

Si attua poi l'analisi delle ceneri, che rappresentano la frazione inorganica di un biocombustibile, che rimane residuale dopo un processo di completa combustione. Questa componente non contribuisce alla produzione di energia durante la combustione. Il contenuto

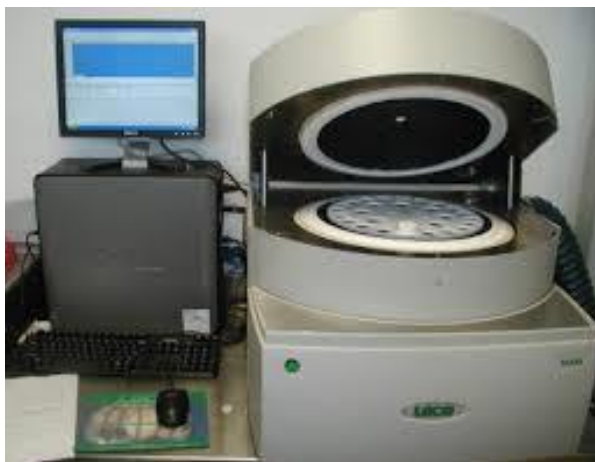
di ceneri è un parametro che dipende dal tipo di biomassa e dall'organizzazione della filiera di produzione, ad esempio se il prodotto viene sollevato male dal terreno questo può comportare un inquinamento del prodotto con sabbia e terra, aumentando così la presenza di componente inorganica.

La qualità delle biomasse è molto condizionata da questo parametro, in conseguenza di una serie di problematiche, tra cui:

- produzione di aggregati solidi e stabili in caldaia, che causano l'imbrattamento degli scambiatori di calore, determinando così deterioramenti di alcune componenti di caldaie, fermate di funzionamento degli impianti e perdita di efficienza energetica;
- processi di corrosione, dovuti dalla natura chimica delle ceneri e dalla presenza nella biomassa di specifici elementi chimici, come zolfo e cloro, che instaurano tra loro reazioni chimiche, che possono favorire quei processi di corrosione a carico delle parti interne dell'impianto di combustione;
- polveri sottili, che sono emesse dal camino e si formano a seguito della volatilizzazione di alcuni elementi chimici alle temperature degli impianti di combustione;
- smaltimento: questa operazione rappresenta un costo di produzione, perché le ceneri sono annoverate nella disciplina dei rifiuti non pericolosi.

La misura del contenuto in ceneri viene eseguita mediante principio termo gravimetrico utilizzando una muffola per l'incenerimento a 550 °C del campione di biomassa. Mediante una bilancia analitica, si misura il peso delle ceneri prodotte, che viene rapportato a quello della biomassa utilizzata per l'analisi. Il dato viene espresso come peso percentuale di ceneri su sostanza secca.

**Figura 4.4- muffola per analisi delle ceneri**



Un'ulteriore analisi effettuata è quella del contenuto di azoto, che si esegue secondo metodica ISO16948.

Premesso che l'azoto è normalmente presente in tutte le biomasse solide, un'elevata concentrazione dello stesso può favorire la produzione di ossidi di azoto, notoriamente considerati come gas inquinanti da controllare negli impianti. Attraverso questa analisi è possibile misurare la quantità di tale elemento, se i valori delle concentrazioni sono particolarmente elevati si può supporre che il prodotto possa contenere inerti o derivati di trattamenti chimici (es. scarto industria del legno).

Le problematiche, generate dalla presenza di questi elementi chimici, sono principalmente di carattere tecnico ed ambientale; il problema che concerne l'azoto è fondamentalmente di carattere ambientale per la produzione di ossidi di azoto durante la combustione, composti normalmente controllati negli impianti termici, sottoposti al monitoraggio continuo delle emissioni in atmosfera.

La determinazione analitica di questi elementi chimici avviene attraverso strumenti da laboratorio chimico. Per eseguire l'analisi si è utilizzato un analizzatore elementare, dedicato per l'azoto totale, LECO FP-528. Il principio di funzionamento di questo strumento prevede una combustione rapida e completa del campione all'interno di una fornace, ad alta temperatura ed in eccesso di ossigeno.

***Figura 4.5 – analizzatore elementare dedicato per l'azoto totale LECO FP-528***



## Capitolo 4 RISULTATI ANALISI

### 4.1 Risultati parametri statistici del campionamento

In questa sezione vengono riportati i risultati del calcolo dei parametri statistici del campionamento, cioè  $V_i$  e  $V_{pt}$ . Questi valori vengono calcolati per ogni target di campionamento e sono ottenuti attraverso formule di calcolo, viste nel capitolo dei materiali e metodi, utilizzando i relativi risultati di laboratorio. Nella tabella 4.1 sono riportate le corrispondenze delle singole appendici con le tabelle contenenti i risultati di ciascuna operazione presso SMB.

*Tabella 4.1 Contenuti delle appendici al documento.*

APPENDICE	CONTENUTO
A	Risultati del contenuto di umidità dei campioni CC
B	Risultati del contenuto di umidità dei campioni CP
C	Risultati del contenuto di umidità dei campioni LC
D	Risultati del contenuto di umidità dei campioni LL
E	Risultati del contenuto di ceneri dei campioni LC
F	Risultati del contenuto di ceneri dei campioni LL
G	Risultati del contenuto di azoto dei campioni LC
H	Risultati del contenuto di azoto dei campioni LL

Di seguito nelle tabelle 4.2, 4.3 e 4.4 sono riportati i valori di  $V_i$  e  $V_{pt}$  per ogni target di campionamento, ottenuti utilizzando i relativi risultati analitici.

*Tabella 4.2 Valori statistici  $V_i$  e  $V_{pt}$  relativamente al parametro umidità.*

Umidità	LC	LL	CC	CP
$V_{pt}$	1,49	0,48	1,21	11,18
$V_i$	54,71	16,14	2,54	11,76

**Tabella 4.3 Valori statistici  $V_i$  e  $V_{pt}$  relativamente al parametro ceneri.**

<i>Ceneri</i>	<b>LC</b>	<b>LL</b>
$V_{pt}$	0,79	0,59
$V_i$	2,62	1,54

**Tabella 4.4 Valori statistici  $V_i$  e  $V_{pt}$  relativamente al parametro azoto.**

<i>Azoto</i>	<b>LC</b>	<b>LL</b>
$V_{pt}$	0,001	0,004
$V_i$	0,005	0,001

In tabella 4.5 vengono riportati i parametri statistici relativamente alle analisi per la caratterizzazione dei due principali lotti presenti in piazzale (conifera e latifoglia) monitorati nel corso del periodo estivo.

**Tabella 4.5 Statistica di base dei lotti di conifera e latifoglia campionati.**

	<b>LOTTO CONIFERA</b>			<b>LOTTO LATIFOGLIA</b>		
	<b>Umidità (%)</b>	<b>Ceneri (% s.s.)</b>	<b>Azoto (% s.s.)</b>	<b>Umidità (%)</b>	<b>Ceneri (% s.s.)</b>	<b>Azoto (% s.s.)</b>
<i>Media</i>	28,5	3,3	0,29	28,8	5,7	0,44
<i>Deviazione std</i>	5,3	1,4	0,06	3,3	1,5	0,07
<i>Varianza</i>	28,3	1,9	0,00	10,6	2,1	0,00
<i>Errore std</i>	0,6	0,2	0,01	0,4	0,2	0,01
<i>Mediana</i>	28,9	3,2	0,28	29,1	5,4	0,43
<i>Media troncata</i>	28,5	3,2	0,29	28,7	5,6	0,44
<i>MIN</i>	15,8	0,9	0,17	21,7	3,0	0,32
<i>1° Quartile</i>	25,1	2,5	0,25	26,0	4,7	0,40
<i>2° Quartile</i>	28,9	3,2	0,28	29,1	5,4	0,43
<i>3° Quartile</i>	32,0	4,0	0,33	31,0	6,5	0,48
<i>MAX</i>	42,6	8,4	0,43	37,1	10,3	0,63

#### 4.2 Applicazione parametri statistici alla centrale di S. Marco Bioenergie Srl

Dopo aver ottenuto i valori di  $V_i$  e  $V_{pt}$ , è possibile determinare  $P_L$  e  $n_i$ , si calcola così il valore di errore associato al campionamento applicato. Pertanto, maggiore è  $P_L$  minore risulta essere la precisione del dato analitico ottenuto dall'intero iter analitico e il numero minimo di incrementi, che si deve prelevare da un lotto o sotto-lotto.

Dal momento in cui si dispone dei valori di  $V_i$  e  $V_{pt}$ , si possono seguire due “modalità” di procedimento. Con la modalità A si stabiliscono prima  $n_i$  e  $N_{SL}$ , cioè numero di incrementi e numero di sotto-lotti, ovvero in quante porzioni va diviso il target da campionare; in seguito si va a determinare  $P_L$  con l'apposita formula (capitolo 4). Con la modalità B ad essere stabiliti sono un valore  $P_L$  e un valore di  $n_i$  se vogliamo ricavare  $N_{SL}$ , oppure un valore di  $N_{SL}$  se si vuole ricavare  $n_i$ .

La centrale SMB utilizza l'approccio A, quindi va a definire il numero di lotti o sotto-lotti e quanti incrementi prelevarne da ognuno. In questo caso, che si può definire come scenario n.1, abbiamo considerato come lotto la quantità di cippato di conifera o di latifoglia presente in piazzale. Il sotto-lotto invece è il volume di cippato conferito con un camion. Sulla base di informazioni, desunte dagli operatori di SMB, i cumuli di biomassa presente in piazzale nel corso dell'operazione di campionamento sono costituiti da 164 conferimenti per la conifera e 180 conferimenti per la latifoglia. Questi valori vengono considerati – rispettivamente per le due tipologie di biomasse - come numero di sotto-lotti ( $N_{SL}$ ) che costituiscono il lotto.

Da procedura, per il controllo qualità della centrale, su ogni conferimento sono prelevati tre incrementi che formano il campione in seguito analizzato nel laboratorio di SMB. Vengono quindi utilizzati i dati di  $V_{pt}$  e  $V_i$  relativi al campionamento del lotto di conifera e del lotto di latifoglia e alla determinazione del contenuto di umidità. Pertanto, in tabella 4.6, vengono riportati i valori dell'errore che può essere associato al dato ponderato di umidità.

**Tabella 4.6 Scenario n.1- Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di umidità del cumulo presente in piazzale.**

Umidità	LOTTO CONIFERA	LOTTO LATIFOGLIA
$V_{pt}$	1,49	0,48
$V_i$	54,71	16,14
<b>n</b>	3,0	3,0
$N_{SL}$	164,0	180,0
$P_L$	0,7	0,4

Nello scenario n.1, come è possibile desumere dalla tabella sopra riportata, si ha un valore molto basso di  $P_L$ , perciò un errore molto basso. Ciò è dovuto alla scelta di un elevato numero di sotto-lotti. Questo tipo di campionamento, eseguito su un gran numero di sotto-lotti, richiede dal punto di vista lavorativo un impegno notevole, sia per il prelievo del materiale ma soprattutto per il laboratorio, tanto da rendere questo scenario impossibile da attuare in un periodo di tempo breve. Perciò è possibile fare questo campionamento, se dilazionato nel tempo.

Sempre all'interno della centrale si può applicare lo scenario n.2, in cui si attua un campionamento in cui il lotto, inteso come target del campionamento, è la quantità di cippato o pre-macinato conferita tramite camion. In questo caso il sotto-lotto coincide con il lotto: pertanto  $N_{SL}$  è uguale a 1. Da procedura per il controllo qualità della biomassa approvvigionata in impianto, su ogni conferimento vengono prelevati tre incrementi che costituiscono il campione poi analizzato nel laboratorio dell'impianto. Vengono quindi utilizzati i dati di  $V_{pt}$  e  $V_i$  relativi al campionamento su camion di cippato e di pre-macinato e alla determinazione del contenuto di umidità. Rispetto al monitoraggio del cippato da cumulo di piazzale, si osserva una maggiore variabilità di questo parametro, andando a condizionare  $P_L$ , altrettanto elevato (tabella 4.7).

***Tabella 4.7 Scenario n.2 - Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di umidità dal campionamento da camion.***

<b>Umidità</b>	<b>CIPPATO</b>	<b>PRE-MACINATO</b>
<b><math>V_{pt}</math></b>	1,21	11,18
<b><math>V_i</math></b>	2,54	11,76
<b>n</b>	3,0	3,0
<b><math>N_{SL}</math></b>	1,0	1,0
<b><math>P_L</math></b>	2,9	7,8

Qualora il lotto, inteso come target del campionamento, sia la combinazione fornitore/origine della biomassa, la biomassa viene raccolta dalla centrale, ma viene analizzata dal Laboratorio Biomasse. In questo scenario n.3 il campionamento viene effettuato dal laboratorio di SMB, che mescola i campioni ricavati da 20 conferimenti mensili provenienti da uno stesso lotto, costituendo, in questo modo, il campione da inviare



al Laboratorio Biomasse. In questo caso il numero di sotto-lotti  $N_{SL}$  è uguale a 20; da questi sotto-lotti si prelevano tre incrementi.

Vengono utilizzati i dati di  $V_{pt}$  e  $V_i$  relativi al campionamento su camion di cippato. L'errore  $P_L$ , indicato nella tabella 4.8, potrebbe essere associato ai risultati del contenuto di umidità determinato dal Laboratorio Biomasse sui campioni, che SMB invia con una certa periodicità.

**Tabella 4.8 Scenario n. 3- Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di umidità dal campionamento da camion.**

<b>Umidità</b>	<b>CIPPATO</b>
$V_{pt}$	1,21
$V_i$	2,54
<b>n</b>	3,0
$N_{SL}$	20,0
$P_L$	0,6

Le stesse osservazioni dello scenario 3 possono essere considerate sia per i dati del contenuto in ceneri (tabella 4.9) che per quelli dell'azoto (tabella 4.10) I dati in possesso tuttavia fanno riferimento al campionamento su lotti in piazzale e non su camion di cippato.

**Tabella 4.9 Scenario n.3 - Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di ceneri dei campioni dal campionamento in piazzale.**

<b>Ceneri</b>	<b>LOTTO</b>	<b>LOTTO</b>
	<b>CONIFERA</b>	<b>LATIFOGLIA</b>
$V_{pt}$	0,79	0,59
$V_i$	2,62	1,54
<b>n</b>	3,0	3,0
$N_{SL}$	20,0	20,0
$P_L$	0,6	0,5

Anche nel caso dei dati relativi al contenuto in azoto, sono valide le osservazioni sottolineate per lo scenario 4. Come è evidente dalla tabella il valore dell'errore  $P_L$  è talmente basso che non risulta necessario ripetere le analisi per i campioni codificati CC.

**Tabella 4.10 Scenario n.4 - Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di azoto dei campioni dal campionamento in piazzale.**

<b>Azoto</b>	<b>LOTTO CONIFERA</b>	<b>LOTTO LATIFOGLIA</b>
<b>V<sub>pt</sub></b>	0,001	0,004
<b>V<sub>i</sub></b>	0,005	0,001
<b>N</b>	3,0	3,0
<b>N<sub>SL</sub></b>	20,0	20,0
<b>P<sub>L</sub></b>	0,02	0,03

#### **4.3 Possibile proposta di campionamento**

Tra i vari scenari, analizzati nel paragrafo precedente, consideriamo il terzo di questi proposti. In questo caso, come detto, la biomassa viene raccolta dalla centrale, ma viene analizzata dal Laboratorio Biomasse. Il campionamento viene effettuato dal laboratorio di SMB, che mescola i campioni ricavati da 20 conferimenti mensili provenienti da uno stesso lotto, costituendo in questo modo il campione da inviare al Laboratorio Biomasse. In questo caso il numero di sotto-lotti  $N_{SL}$  è uguale a 20, da questi sotto-lotti si prelevano 3 incrementi. Come  $V_{pt}$  e  $V_i$  vengono utilizzati i dati relativi al campionamento su camion di cippato. Applicando questi valori alla formula, per ricavare  $P_L$ , si ottiene un valore basso pari a 0.6 %.

Questa modalità di campionamento richiede un certo dispendio di tempo, di lavoro e costi. Si vuole proporre quindi una variazione sulle quantità di incrementi prelevati e di sotto-lotti, in modo da avere una minor quantità di campioni da analizzare. Tale variazione porta, però, ad un aumento del  $P_L$ .

Più concretamente la proposta consiste nell'andare a ridurre i 20 sotto-lotti in un unico grande sotto-lotto e da questo prelevare 60 incrementi, che andranno a costituire il campione (tabella 4.11). A fine del campionamento si avrà quindi un solo campione da dover sottoporre alle varie analisi.

*Tabella 4.11 - Dati statistici per la determinazione dell'errore associato al contenuto di umidità dal campionamento da camion con variazione di  $n$  e  $N_{SL}$*

<b>Umidità</b>	<b>CIPPATO</b>
<b>V<sub>pt</sub></b>	1,21
<b>V<sub>i</sub></b>	2,54
<b>n</b>	60
<b>N<sub>SL</sub></b>	1
<b>P<sub>L</sub></b>	2,24

## APPENDICI

### APPENDICE A – Risultati del contenuto di umidità dei campioni di CC

<i>Analisi dei 30 incrementi per determinazione <math>V_i</math></i>				<i>Analisi dei 40 sotto-campioni A e B per determinazione <math>V_{pt}</math></i>			
<i><b>CODICE</b></i>	<i><b>Umidità (%)</b></i>	<i><b>CODICE</b></i>	<i><b>Umidità (%)</b></i>	<i><b>CODICE</b></i>	<i><b>Umidità (%)</b></i>	<i><b>CODICE</b></i>	<i><b>Umidità (%)</b></i>
CC_01	28,4	CC_16	29,1	CC_01A	28,9	CC_01B	29,2
CC_02	29,6	CC_17	28,3	CC_02A	29,5	CC_02B	30,2
CC_03	29,2	CC_18	29,6	CC_03A	26,9	CC_03B	27,2
CC_04	28,5	CC_19	29,4	CC_04A	27,9	CC_04B	28,5
CC_05	30,1	CC_20	28,0	CC_05A	29,1	CC_05B	28,8
CC_06	29,3	CC_21	28,5	CC_06A	29,4	CC_06B	29,8
CC_07	28,1	CC_22	27,0	CC_07A	27,7	CC_07B	28,0
CC_08	26,7	CC_23	30,0	CC_08A	27,3	CC_08B	29,0
CC_09	28,4	CC_24	29,5	CC_09A	27,8	CC_09B	27,7
CC_10	35,6	CC_25	24,0	CC_10A	28,8	CC_10B	27,7
CC_11	29,4	CC_26	27,2	CC_11A	32,6	CC_11B	29,5
CC_12	31,3	CC_27	26,8	CC_12A	28,3	CC_12B	27,9
CC_13	27,2	CC_28	30,9	CC_13A	27,7	CC_13B	22,8
CC_14	29,3	CC_29	27,9	CC_14A	28,8	CC_14B	27,2
CC_15	27,4	CC_30	29,7	CC_15A	28,7	CC_15B	27,4
				CC_16A	27,8	CC_16B	26,7
				CC_17A	26,8	CC_17B	26,6
				CC_18A	27,5	CC_18B	28,3
				CC_19A	28,7	CC_19B	30,1
				CC_20A	27,0	CC_20B	27,2

**APPENDICE B – Risultati del contenuto di umidità dei campioni di CP**

<i>Analisi dei 30 incrementi per determinazione <math>V_i</math></i>				<i>Analisi dei 40 sotto-campioni A e B per determinazione <math>V_{pt}</math></i>			
<b>CODICE</b>	<b>Umidità (%)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Umidità (%)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Umidità (%)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Umidità (%)</b>
CP_01	24,1	CP_16	26,2	CP_01A	25,7	CP_01B	25,1
CP_02	34,8	CP_17	29,4	CP_02A	28,0	CP_02B	28,6
CP_03	32,6	CP_18	32,6	CP_03A	27,3	CP_03B	33,5
CP_04	27,7	CP_19	24,2	CP_04A	27,0	CP_04B	27,5
CP_05	34,9	CP_20	24,3	CP_05A	25,4	CP_05B	32,1
CP_06	23,4	CP_21	32,9	CP_06A	26,6	CP_06B	24,3
CP_07	26,1	CP_22	29,7	CP_07A	33,0	CP_07B	28,4
CP_08	33,6	CP_23	41,9	CP_08A	31,2	CP_08B	26,4
CP_09	22,1	CP_24	30,9	CP_09A	34,0	CP_09B	24,9
CP_10	30,7	CP_25	22,5	CP_10A	30,5	CP_10B	34,0
CP_11	28,4	CP_26	21,7	CP_11A	32,8	CP_11B	27,4
CP_12	27,6	CP_27	28,6	CP_12A	32,6	CP_12B	28,7
CP_13	28,7	CP_28	33,9	CP_13A	34,4	CP_13B	38,6
CP_14	22,2	CP_29	29,9	CP_14A	27,0	CP_14B	27,7
CP_15	31,9	CP_30	24,8	CP_15A	25,4	CP_15B	28,3
				CP_16A	25,9	CP_16B	32,2
				CP_17A	21,5	CP_17B	27,4
				CP_18A	39,8	CP_18B	32,1
				CP_19A	34,6	CP_19B	31,2
				CP_20A	27,7	CP_20B	28,9

**APPENDICE C – Risultati del contenuto di umidità dei campioni LC**

<i>Analisi dei 30 incrementi per determinazione <math>V_i</math></i>				<i>Analisi dei 40 sotto-campioni A e B per determinazione <math>V_{pt}</math></i>			
<b><i>CODICE</i></b>	<b><i>Umidità (%)</i></b>	<b><i>CODICE</i></b>	<b><i>Umidità (%)</i></b>	<b><i>CODICE</i></b>	<b><i>Umidità (%)</i></b>	<b><i>CODICE</i></b>	<b><i>Umidità (%)</i></b>
LC_01	34,4	LC_16	32,4	LC_01A	33,4	LC_01B	26,6
LC_02	23,0	LC_17	19,0	LC_02A	31,7	LC_02B	31,4
LC_03	24,3	LC_18	34,0	LC_03A	28,9	LC_03B	29,4
LC_04	19,1	LC_19	20,6	LC_04A	29,4	LC_04B	30,6
LC_05	36,2	LC_20	31,5	LC_05A	32,2	LC_05B	31,3
LC_06	32,1	LC_21	26,9	LC_06A	25,0	LC_06B	25,4
LC_07	26,1	LC_22	33,7	LC_07A	29,1	LC_07B	28,9
LC_08	33,4	LC_23	17,8	LC_08A	27,4	LC_08B	28,2
LC_09	16,9	LC_24	15,8	LC_09A	27,8	LC_09B	27,1
LC_10	31,6	LC_25	42,6	LC_10A	24,5	LC_10B	24,1
LC_11	19,1	LC_26	37,9	LC_11A	32,1	LC_11B	30,3
LC_12	36,3	LC_27	25,5	LC_12A	25,6	LC_12B	25,8
LC_13	28,3	LC_28	24,9	LC_13A	30,2	LC_13B	29,3
LC_14	28,7	LC_29	32,9	LC_14A	33,2	LC_14B	32,3
LC_15	18,8	LC_30	40,0	LC_15A	30,9	LC_15B	30,5
				LC_16A	32,6	LC_16B	31,2
				LC_17A	28,2	LC_17B	28,4
				LC_18A	30,3	LC_18B	28,8
				LC_19A	23,6	LC_19B	23,8
				LC_20A	24,5	LC_20B	25,0

**APPENDICE D – Risultati del contenuto di umidità dei campioni di LL**

<i>Analisi dei 30 incrementi per determinazione <math>V_i</math></i>				<i>Analisi dei 40 sotto-campioni A e B per determinazione <math>V_{pt}</math></i>			
<i><b>CODICE</b></i>	<i><b>Umidità (%)</b></i>	<i><b>CODICE</b></i>	<i><b>Umidità (%)</b></i>	<i><b>CODICE</b></i>	<i><b>Umidità (%)</b></i>	<i><b>CODICE</b></i>	<i><b>Umidità (%)</b></i>
LL_01	30,5	LL_16	30,3	LL_01A	25,6	LL_01B	25,2
LL_02	29,1	LL_17	31,2	LL_02A	28,7	LL_02B	28,1
LL_03	31,7	LL_18	31,0	LL_03A	30,6	LL_03B	31,6
LL_04	21,7	LL_19	31,1	LL_04A	29,1	LL_04B	29,3
LL_05	27,6	LL_20	28,5	LL_05A	28,3	LL_05B	29,3
LL_06	36,0	LL_21	31,4	LL_06A	25,8	LL_06B	26,1
LL_07	22,4	LL_22	32,3	LL_07A	29,9	LL_07B	30,0
LL_08	25,6	LL_23	23,5	LL_08A	24,9	LL_08B	24,3
LL_09	27,9	LL_24	29,8	LL_09A	29,1	LL_09B	30,0
LL_10	26,2	LL_25	31,4	LL_10A	31,3	LL_10B	32,8
LL_11	23,2	LL_26	24,9	LL_11A	27,8	LL_11B	29,4
LL_12	36,3	LL_27	27,5	LL_12A	28,1	LL_12B	25,7
LL_13	34,0	LL_28	33,2	LL_13A	24,8	LL_13B	24,8
LL_14	32,4	LL_29	33,7	LL_14A	25,8	LL_14B	25,9
LL_15	37,1	LL_30	28,2	LL_15A	24,1	LL_15B	25,2
				LL_16A	27,5	LL_16B	28,2
				LL_17A	31,0	LL_17B	30,4
				LL_18A	30,0	LL_18B	30,0
				LL_19A	31,1	LL_19B	30,0
				LL_20A	28,8	LL_20B	27,9

**APPENDICE E – Risultati del contenuto di ceneri dei campioni di LC**

<i>Analisi dei 30 incrementi per determinazione <math>V_i</math></i>				<i>Analisi dei 40 sotto-campioni A e B per determinazione <math>V_{pt}</math></i>			
<b>CODICE</b>	<b>Ceneri (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Ceneri (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Ceneri (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Ceneri (% s.s.)</b>
LC_01	0,9	LC_16	3,6	LC_01A	3,0	LC_01B	3,4
LC_02	2,6	LC_17	2,5	LC_02A	2,4	LC_02B	2,5
LC_03	3,8	LC_18	2,1	LC_03A	3,5	LC_03B	4,6
LC_04	1,4	LC_19	2,2	LC_04A	4,2	LC_04B	3,2
LC_05	8,3	LC_20	3,1	LC_05A	4,2	LC_05B	2,5
LC_06	3,6	LC_21	5,8	LC_06A	3,1	LC_06B	2,8
LC_07	4,1	LC_22	1,1	LC_07A	4,8	LC_07B	3,7
LC_08	3,1	LC_23	2,2	LC_08A	4,2	LC_08B	4,1
LC_09	3,5	LC_24	2,1	LC_09A	3,7	LC_09B	2,9
LC_10	4,0	LC_25	1,5	LC_10A	1,8	LC_10B	2,5
LC_11	3,0	LC_26	1,5	LC_11A	2,6	LC_11B	3,0
LC_12	1,8	LC_27	8,4	LC_12A	4,0	LC_12B	3,5
LC_13	4,3	LC_28	1,5	LC_13A	3,6	LC_13B	3,2
LC_14	5,1	LC_29	1,7	LC_14A	3,4	LC_14B	4,1
LC_15	2,4	LC_30	3,4	LC_15A	3,9	LC_15B	3,6
				LC_16A	2,7	LC_16B	6,1
				LC_17A	3,2	LC_17B	4,9
				LC_18A	2,6	LC_18B	5,1
				LC_19A	2,5	LC_19B	2,3
				LC_20A	2,6	LC_20B	4,2



**APPENDICE F – Risultati del contenuto di ceneri dei campioni di LL**

<i>Analisi dei 30 incrementi per determinazione <math>V_i</math></i>				<i>Analisi dei 40 sottocampioni A e B per determinazione <math>V_{pt}</math></i>			
<b>CODICE</b>	<b>Ceneri (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Ceneri (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Ceneri (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Ceneri (% s.s.)</b>
LL_01	3,4	LL_16	5,1	LL_01A	4,8	LL_01B	4,5
LL_02	3,8	LL_17	5,1	LL_02A	4,2	LL_02B	5,6
LL_03	5,7	LL_18	5,4	LL_03A	4,8	LL_03B	5,2
LL_04	4,3	LL_19	6,6	LL_04A	5,5	LL_04B	4,7
LL_05	4,8	LL_20	5,9	LL_05A	5,9	LL_05B	7,6
LL_06	5,8	LL_21	5,3	LL_06A	6,4	LL_06B	6,6
LL_07	4,5	LL_22	4,6	LL_07A	8,0	LL_07B	9,1
LL_08	5,4	LL_23	5,5	LL_08A	5,7	LL_08B	6,3
LL_09	10,3	LL_24	4,7	LL_09A	8,9	LL_09B	8,2
LL_10	6,5	LL_25	4,2	LL_10A	4,6	LL_10B	5,8
LL_11	5,5	LL_26	8,2	LL_11A	6,5	LL_11B	4,6
LL_12	5,1	LL_27	7,1	LL_12A	7,1	LL_12B	5,1
LL_13	3,0	LL_28	4,9	LL_13A	4,8	LL_13B	4,2
LL_14	5,2	LL_29	4,2	LL_14A	4,8	LL_14B	4,6
LL_15	3,8	LL_30	6,8	LL_15A	6,6	LL_15B	6,6
				LL_16A	4,8	LL_16B	6,0
				LL_17A	7,2	LL_17B	7,5
				LL_18A	5,7	LL_18B	4,5
				LL_19A	8,2	LL_19B	6,9
				LL_20A	3,3	LL_20B	4,7

**APPENDICE G – Risultati del contenuto di azoto dei campioni di LC**

<i>Analisi dei 30 incrementi per determinazione <math>V_i</math></i>				<i>Analisi dei 40 sottocampioni A e B per determinazione <math>V_{pt}</math></i>			
<b>CODICE</b>	<b>Azoto (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Azoto (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Azoto (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Azoto (% s.s.)</b>
LC_01	0,24	LC_16	0,22	LC_01A	0,28	LC_01B	0,29
LC_02	0,29	LC_17	0,35	LC_02A	0,30	LC_02B	0,25
LC_03	0,41	LC_18	0,33	LC_03A	0,27	LC_03B	0,34
LC_04	0,23	LC_19	0,27	LC_04A	0,27	LC_04B	0,30
LC_05	0,18	LC_20	0,20	LC_05A	0,33	LC_05B	0,24
LC_06	0,27	LC_21	0,23	LC_06A	0,20	LC_06B	0,28
LC_07	0,43	LC_22	0,20	LC_07A	0,31	LC_07B	0,30
LC_08	0,17	LC_23	0,36	LC_08A	0,36	LC_08B	0,35
LC_09	0,37	LC_24	0,28	LC_09A	0,27	LC_09B	0,22
LC_10	0,21	LC_25	0,21	LC_10A	0,28	LC_10B	0,23
LC_11	0,31	LC_26	0,23	LC_11A	0,26	LC_11B	0,29
LC_12	0,25	LC_27	0,24	LC_12A	0,32	LC_12B	0,35
LC_13	0,42	LC_28	0,20	LC_13A	0,35	LC_13B	0,36
LC_14	0,41	LC_29	0,31	LC_14A	0,33	LC_14B	0,31
LC_15	0,35	LC_30	0,33	LC_15A	0,32	LC_15B	0,32
				LC_16A	0,31	LC_16B	0,32
				LC_17A	0,27	LC_17B	0,26
				LC_18A	0,27	LC_18B	0,35
				LC_19A	0,25	LC_19B	0,28
				LC_20A	0,28	LC_20B	0,26

**APPENDICE H – Risultati del contenuto di azoto dei campioni di LL**

<i>Analisi dei 30 incrementi per determinazione <math>V_i</math></i>				<i>Analisi dei 40 sottocampioni A e B per determinazione <math>V_{pt}</math></i>			
<b>CODICE</b>	<b>Azoto (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Azoto (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Azoto (% s.s.)</b>	<b>CODICE</b>	<b>Azoto (% s.s.)</b>
LL_01	0,46	LL_16	0,42	LL_01A	0,42	LL_01B	0,45
LL_02	0,47	LL_17	0,48	LL_02A	0,42	LL_02B	0,41
LL_03	0,42	LL_18	0,40	LL_03A	0,39	LL_03B	0,43
LL_04	0,53	LL_19	0,47	LL_04A	0,37	LL_04B	0,47
LL_05	0,46	LL_20	0,55	LL_05A	0,44	LL_05B	0,49
LL_06	0,41	LL_21	0,32	LL_06A	0,49	LL_06B	0,45
LL_07	0,54	LL_22	0,40	LL_07A	0,46	LL_07B	0,60
LL_08	0,42	LL_23	0,51	LL_08A	0,48	LL_08B	0,57
LL_09	0,41	LL_24	0,41	LL_09A	0,54	LL_09B	0,39
LL_10	0,46	LL_25	0,42	LL_10A	0,41	LL_10B	0,48
LL_11	0,44	LL_26	0,34	LL_11A	0,59	LL_11B	0,38
LL_12	0,33	LL_27	0,42	LL_12A	0,49	LL_12B	0,50
LL_13	0,40	LL_28	0,57	LL_13A	0,37	LL_13B	0,39
LL_14	0,49	LL_29	0,37	LL_14A	0,42	LL_14B	0,42
LL_15	0,38	LL_30	0,63	LL_15A	0,51	LL_15B	0,38
				LL_16A	0,41	LL_16B	0,45
				LL_17A	0,41	LL_17B	0,43
				LL_18A	0,49	LL_18B	0,35
				LL_19A	0,41	LL_19B	0,39
				LL_20A	0,44	LL_20B	0,38

## CONCLUSIONI

Il cippato di legno industriale presenta un livello di variabilità tale che – per disporre di analisi indicative dei lotti considerati dagli operatori – è necessaria un'attività di campionamento adeguata.

L'eterogeneità del cippato è legata a diverse motivazioni: tipo di origine, variabilità intrinseca del materiale, conservazione e raccolta effettuata in modo vario, inerti, ecc.

Nel caso specifico del lavoro presso Bando d'Argenta, si è rilevata la possibilità di campionare 20 sotto-lotti, costituiti da 3 incrementi ciascuno. Con questa modalità di campionamento e utilizzando come valori di  $V_i$  e  $V_{pt}$ , emersi in questa tesi e riferiti al lotto di conifera, si ha un valore di errore pari al 2%.

Questa operazione, così come definita, richiederebbe all'operatore della centrale circa 60 minuti di lavoro. Si tratta di un tempo medio per un operatore di buona esperienza ed in grado di muoversi lungo il lotto, in modo razionale, evitando tempi morti.

La valutazione sull'importanza o meno di questo errore spetta agli operatori del settore. E' certo che c'è anche la possibilità di ridurre l'errore, aumentando i sottolotti o gli incrementi che li costituiscono. Ad esempio, sempre riferendosi a Bando, se si volesse ridurre l'errore a 1%, occorrerebbe fare 30 sotto-lotti di 8 incrementi ciascuno. Ciò richiederebbe però tempi molto lunghi.

Alcune realtà – come quella di Bando d'Argenta – sono impegnate nel valutare grandi quantitativi di prodotto. La tentazione è quella di spendere meno tempo per questa fase a costo di aumentare l'errore di analisi. Per ovviare a questo problema, occorrerebbe individuare un metodo o tecnica alternativa. Una di queste possibilità può essere supportata dall'applicazione della spettroscopia ad infrarossi. Su questa considerazione il Laboratorio Biomasse ha avviato una linea di ricerca, dedicata a sviluppare sistemi NIRS dedicati, per misurare un numero di campioni di biomassa in tempi molto ridotti.

## BIBLIOGRAFIA

Norma UNI EN ISO 18135:2018

G. T Appunti del corso “Trasformazione delle biomasse legnose”, Dipartimento D3A – Università Politecnica delle Marche.

Andrea B., Emilio R., Ester F. P., Giuseppe T., Giorgio R., Eugenio C. “La filiera legno-energia. Aspetti salienti dello stato dell’arte e prospettive”.