

La valutazione dimensionale del cippato

Ricerca di un metodo basato sull'analisi d'immagine

di PAOLO FEBBI, ENRICO SANTANGELO,
ALBERTO ASSIRELLI, LUIGI PARI

Lo studio, partendo dai metodi standard sui “Biocombustibili solidi”, cerca di definire un modello, basato sull'analisi dell'immagine, per la valutazione dimensionale del cippato ed in grado di far emergere le differenze prestazionali degli organi di taglio per la cippatura.

PAROLE CHIAVE: biocombustibili solidi, cippato, distribuzione granulometrica, vaglio oscillante, setacciatura, analisi d'immagine.

Con il termine cippatura s'intende il processo di riduzione del materiale legnoso di vario tipo (tronchi e rami) in elementi di piccole dimensioni da utilizzare per fini energetici, tramite un'azione meccanica di taglio. Tipicamente, il materiale da cippare viene convogliato verso i rulli di alimentazione, i quali lo spingono verso il rotore che provvede al taglio; i *chip* prodotti vengono, quindi, espulsi all'esterno ad opera di un ventilatore.

La composizione dimensionale delle particelle dipende da diverse variabili: dato che il processo di sminuzzamento avviene per taglio e schiacciamento, **le dimensioni delle scaglie possono essere controllate variando la velocità di rotazione dei dispositivi di taglio, il posizionamento dei coltelli, la velocità di alimentazione.** Tali caratteristiche dipendono dalla tipologia della cippatrice, a disco o a tamburo, e dai limiti insiti nella progettazione della macchina. In genere, al crescere della lunghezza delle scaglie prodotte aumentano anche la larghezza e lo spessore, anche se in modo non proporzionale. La distribuzione dimensionale del cippato è riconosciuta come uno dei parametri più importanti

per garantire un'efficiente combustione. **Le dimensioni delle scaglie influenzano il buon andamento dello stoccaggio, l'efficienza della conversione energe-**



Foto 1 - Scaglie di cippato posizionate per l'acquisizione dell'immagine tramite scanner.

PAOLO FEBBI, CRA-ING. E-mail paolo.febbi@entecra.it - ENRICO SANTANGELO, CRA ING - ALBERTO ASSIRELLI, CRA ING - LUIGI PARI, CRA-ING.

tica e le emissioni ambientali (NATI *et al.*, 2010). Una calibratura uniforme del materiale garantisce il regolare funzionamento dei sistemi di alimentazione delle caldaie (es. la coclea), in quanto scaglie eccessivamente grandi tendono a inarcarsi o piegarsi ostruendo il flusso di alimentazione. Inoltre, i diversi tipi di caldaia possono essere alimentati solo con cippato in possesso di ben determinate caratteristiche granulometriche allo scopo di evitare un aumento dei costi di manutenzione ed una riduzione delle prestazioni del generatore con conseguente aumento dei costi energetici.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'impiego di biomassa per la produzione di bioenergia è regolata da una serie di normative tra cui la classificazione dei biocombustibili solidi provenienti anche da prodotti agricoli e forestali (UNI EN 14961-1:2010, Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile).

La citata normativa regola le dimensioni delle particelle, le percentuali delle diverse classi dimensionali, i limiti del contenuto di umidità e di ceneri che il cippato prodotto deve rispettare per poter essere commercializzato. La dimensione fisica e la forma delle scaglie sono caratteristiche che costituiscono un importante parametro di qualità, in quanto influenzano le modalità d'impiego e le proprietà di combustione.

Le dimensioni tipiche delle scaglie di cippato commerciale sono comprese nell'intervallo da 5 a 100 mm.

Il metodo per determinare la distribuzione granulometrica delle particelle di biocombustibile per mezzo di un vaglio oscillante orizzontale è definito dalla norma UNI EN 15149-1:2011, che si applica a campioni di biocombustibile particellare non pressato, con pezzatura nominale uguale a 1 mm o maggiore (per esempio cippato, nocciolino di olive, scaglie); la classe granulometrica viene determinata dal valore numerico medio. La geometria delle aperture del vaglio oscillante orizzontale, lo spessore dei setacci ed il diametro dei fori devono rispettare i requisiti della norma ISO 3310. Il risultato della setacciatura viene espresso come percentuale della massa di ciascuna frazione rispetto alla massa totale.

Per ogni specifica classe granulometrica, la frazione principale deve costituire almeno il 75% del peso, mentre la frazione grossolana ha dei limiti in termini di peso percentuale, che deve essere inferiore al 3% oppure al 6% del peso totale, a seconda della classe granulometrica. Inoltre, sia la lunghezza massima che l'area della sezione trasversale delle particelle di grandi dimensioni devono essere inferiori a dei valori limite, come riportato in Tabella 1.

Esiste anche un altro metodo, indicato nella specifica tecnica UNI CEN/TS 15149-3:2006, che prevede l'utilizzo di un vaglio rotativo e che si applica solamente a biocombustibili in forma particellare, cioè materiali che abbiano subito un processo di sminuzzamento, come la

maggior parte dei combustibili legnosi, o che siano per loro natura in forma particellare (per esempio noccioli di olive, gusci di nocciole, granaglia).

APPROCCIO INNOVATIVO PER L'ANALISI DEL CIPPATO

Nonostante il settore relativo all'impiego energetico del cippato sia regolato da normative che forniscono indicazioni dettagliate circa la classificazione granulometrica, la metodologia presenta una risoluzione ed una ripetibilità che sono soggette ad un certo grado di variabilità ed incertezza. Presso il CRA-ING è in corso un'attività di ricerca con la quale si sta valutando la possibilità di sviluppare un modello, basato sull'analisi d'immagine, che **definisca un metodo scientifico ed oggettivo per la classificazione delle scaglie in funzione non solo delle dimensioni ma anche della forma**, utilizzando l'informazione in essa contenuta. In tal modo, si cerca di caratterizzare sia le proprietà del cippato in termini di classi granulometriche, conformemente ai requisiti previsti dalla normativa vigente, sia le prestazioni e l'efficacia degli organi di taglio dei mezzi meccanici addetti alla cippatura, in termini di qualità del prodotto ottenuto. Poiché i risultati dell'analisi effettuata con setaccio (curve cumulative della percentuale di peso) dipendono anche dalla forma delle particelle, l'analisi d'immagine può risultare molto utile poiché, oltre a fornire una misura accurata delle dimensioni assiali delle particelle, permette di distinguerne la forma. Considerato che è responsabilità del produttore di biocombustibile fornire informazioni

Classe	Frazione principale (>75% in peso)	Limiti dimensionali delle scaglie	
		Area sezione trasversale	Lunghezza
P16	3.15÷16 mm	< 1 cm ²	< 12 cm
P45	8÷45 mm	< 5 cm ²	< 12 cm
P63	8÷63 mm	< 10 cm ²	< 35 cm
P100	16÷100 mm	< 18 cm ²	< 35 cm

Tabella 1 - Principali caratteristiche richieste per il cippato in base alla norma UNI EN 14961-1, comprensive dei limiti dimensionali richiesti per le singole scaglie.



Foto 2 - Esempio di immagine di scaglia restituita dopo il processo di binarizzazione.

accurate ed affidabili, l'industria del settore potrà sicuramente trarre beneficio dal rapporto tra i risultati dall'analisi da setacciatura ed i risultati dell'analisi d'immagine. Lo studio in corso è ancora in una fase preliminare e prevede l'approfondimento di alcuni aspetti riguardanti l'analisi e la caratterizzazione del cippato di pioppo proveniente da impianti a ciclo breve (*Short Rotation Forestry*).

BASE SCIENTIFICA

Esistono vari metodi per interpretare le strutture. Tecniche di analisi basate sulla trasformata di Fourier (mediante cui un fenomeno complesso può essere scomposto in più fattori), permettono di esprimere la forma mediante coefficienti numerici (LEGENDRE e LEGENDRE, 1998). I coefficienti di Fourier consentono di caratterizzare il contorno delle particelle mediante descrittori e, quindi, di utilizzare una variabile qualitativa (nel nostro caso la forma) per esprimere una classificazione di oggetti. In questo modo, gli oggetti, caratterizzati da un proprio profilo, possono essere rappresentati in uno spazio Euclideo ad un numero opportuno di dimensioni, in modo tale che ad ogni oggetto corrisponda un punto dello spazio multidimensionale R^n .

Utilizzando un approccio multivariato (ovvero tecniche statistiche che analizzano simultaneamente più variabili o descrittori relativi ad un determinato oggetto), l'insieme degli oggetti può essere rappresentato con un diagramma multidimensionale (nuvola di punti), con numero di assi pari al numero di descrittori. Le distanze tra gli oggetti possono essere calcolate mediante la distanza tra due punti che li rappresentano e la similarità (S) tra le forme viene misurata utilizzando la distanza (D) tra gli oggetti ($S = 1 - D$).

La successiva analisi multidimensionale consiste nel caratterizzare la matrice dei dati ottenuti utilizzando una struttura semplificata con l'obiettivo di cogliere il fenomeno alla base della matrice dei dati nella sua interezza. A tale scopo, occorre quantificare le relazioni esistenti tra la struttura della matrice dei dati e i descrittori potenzialmente esplicativi. L'interpretazione della struttura, utilizzando i descrittori da cui si origina, rende possibi-

le identificare quali descrittori rendono maggiormente conto della strutturazione degli oggetti.

I descrittori e i coefficienti ricavati dai contorni delle immagini acquisite danno luogo ad una nuvola di punti nello spazio R^n , che possono essere opportunamente raggruppati e discriminati. I raggruppamenti di oggetti possono costituire le determinazioni di una variabile qualitativa (nel caso specifico, la forma). Si tratterà di determinare fino a che punto un insieme di descrittori quantitativi (i coefficienti precedentemente calcolati) possa effettivamente spiegare i raggruppamenti in esame.

PRIMI RISULTATI

Come già ricordato, la capacità di una scaglia di passare attraverso un setaccio non dipende solo dalla sua dimensione intermedia, ma anche dallo spessore e dalla forma. L'utilizzazione di sistemi di analisi di immagine può risultare estremamente utile per l'esame di materiali variabili come le scaglie di cippato. Il metodo messo a punto presso il CRA-ING prevede alcuni *step* ben distinti. Inizialmente tutte le scaglie di un campione vengono collocate su una superficie piana nella posizione di maggiore stabilità (Foto 1) e successivamente acquisite mediante scanner.

Attraverso l'impiego di un *software* si procede all'acquisizione delle immagini fotografiche bidimensionali consentendo di misurare facilmente le dimensioni della proiezione della singola scaglia sul piano d'appoggio. Dopo un **processo di binarizzazione** (restituzione in bianco e nero dell'oggetto) si effettua un'estrazione del profilo delle immagini (Foto 2) da elaborare successivamente mediante algoritmi opportunamente implementati. Per avere un'idea di quali possano essere i vantaggi dell'applicazione di tecniche di analisi d'immagine, si ritiene opportuno esemplificare un caso concreto. L'*output* grafico ottenibile da una setacciatura secondo la norma di riferimento presenta in ascissa la lunghezza delle scaglie espressa in mm (è possibile riportare sull'asse anche il valore dell'apertura dei fori dei setacci usati), e in ordinata la massa percentuale cumulativa, che indica la frazione percentuale di peso delle particelle passate

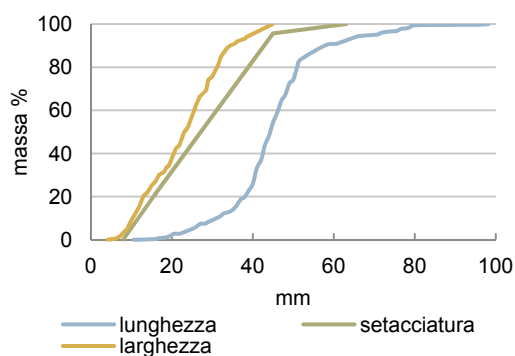


Grafico 1 - Andamento delle curve di distribuzione ottenute mediante setacciatura (prova effettuata su 300 scaglie).

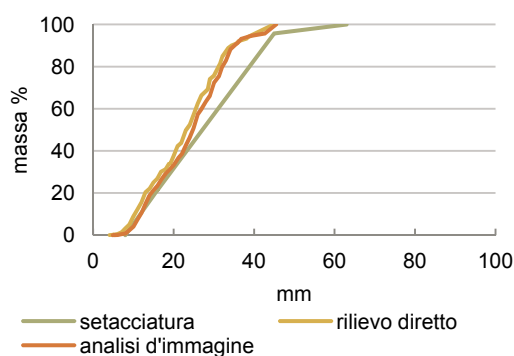


Grafico 2 - Distribuzione granulometrica di scaglie di cippato di pioppo analizzate mediante setacciatura, misurazione manuale (sistema diretto) e analisi d'immagine.

attraverso ciascun setaccio. Un esempio viene riportato nel Grafico 1, dove, oltre alla curva della setacciatura, vengono mostrate anche le curve relative alla larghezza ed alla lunghezza massima delle scaglie di cippato.

Allo scopo di verificare l'efficienza del sistema oggetto di studio, si è proceduto ad una prima analisi utilizzando come riferimento di controllo la misurazione manuale delle scaglie. Si è proceduto, quindi, alla caratterizzazione di circa 300 scaglie misurando manualmente, mediante un calibro digitale, le tre dimensioni assiali e pesando i singoli elementi. Lo stesso campione è stato poi analizzato utilizzando il sistema informatico descritto. Nel Grafico 2 vengono riportate le curve di distribuzione granulometrica ottenute mediante la misurazione diretta, il metodo del vaglio oscillante (setacciatura) e l'analisi d'immagine.

Come è possibile osservare, la curva originata dai risultati della setacciatura si discosta apprezzabilmente dalla curva di riferimento, originata dal rilievo diretto, mentre **la corrispondenza tra i valori ottenuti dalla misurazione diretta e quelli derivati dall'analisi d'immagine è molto elevata e tale da giustificare un approfondimento sulle potenzialità di quest'ultimo metodo.** Da questa prima analisi si evince che la tecnica della setacciatura non è scevra da imprecisioni che possono portare a deviazioni anche piuttosto significative rispetto alla reale distribuzione granulometrica del cippato. Considerando che la soluzione manuale non è operativamente applicabile (nel caso specifico, ha solo funzione di riferimento) e vista l'elevata conformità tra le misurazioni del sistema basato sull'analisi d'immagine con i valori di riferimento, la metodologia proposta permette di ridurre le incompatibilità rilevate tra le diverse distribuzioni, determinate dai differenti principi di misura, e si pone come sistema di classificazione che approssima e "fotografa" in maniera migliore la distribuzione dimensionale del cippato.

PROSPETTIVE FUTURE

L'attività in corso presso il CRA-ING riguardante lo studio dell'analisi granulometrica del cippato mediante analisi d'immagine si pone nell'ottica dell'evoluzione del settore, indirizzato verso una sempre maggiore attenzione agli aspetti qualitativi. In questa prima fase, l'approccio seguito è quello di creare un modello che funzioni da un punto di vista statico. Si tratta, dunque, di un lavoro propedeutico il cui obiettivo principale sarà, nei prossimi anni, quello di passare da un'analisi bidimensionale

statica (quale è quella studiata finora) ad un processo di acquisizione tridimensionale dinamico (quindi, con trasposizione dell'immagine reale e in movimento) per tendere ad una classificazione del prodotto completamente automatizzata.

Bibliografia

LEGENDRE P., LEGENDRE L., 1998 - **Numerical ecology.** Edizioni Elsevier Science BV, Amsterdam. 853 pp.

NATI C., SPINELLI R., FABBRI P., 2010 - **Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use.** Biomass Bioenergy, 34(5): 583-87

UNI EN 14961-1: 2010 - **Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile.**

UNI EN 15149-1: 2011 - **Biocombustibili solidi - Determinazione della distribuzione granulometrica - Parte 1: Metodo del vaglio oscillante con apertura maggiore o uguale a 1.**

UNI CEN/TS 15149-3: 2006 - **Biocombustibili solidi - Metodi per la determinazione della distribuzione granulometrica - Parte 3: Metodo del vaglio rotativo.**

KEYWORDS: solid biofuels, wood chips, particle size distribution, vibrating screen, sieving, image analysis.

Abstract: Study of wood chip sizes. Searching for a method based on image analysis. *The size distribution of wood chips is recognized as one of the most important parameters for an efficient combustion, since it affects the storage, the efficiency of energy conversion and environmental emissions. The standard method for the determination of the size distribution (UNI EN 15149-1:2011) may have a resolution and repeatability that can be subject to a certain degree of variability and uncertainty. CRA-ING is conducting a research activity for developing a model, based on the image analysis, aimed at to define a scientific and objective method for the classification of wood particles, depending on both size and shape. The first results, deriving from a comparison among the standard method, the image analysis and the hand-made measurement of particle size, have shown that the standard technique (using vibrating sieves) is not devoid of inaccuracies that may lead to significant deviations from the real distribution of the particle size, whereas the use of image analysis assures a better approximation to the curve obtained from manual measurement. This is a preliminary work whose main objective will be, in the coming years, to shift from a two-dimensional static method (which is the one studied so far) to a three-dimensional dynamic acquisition process (that is, with the transposition of the moving image), being the final goal the setting up of a fully automated system for product classification.*