

Analisi delle ceneri di rifiuti civili e industriali mediante il microscopio riscaldante

ing. Chiara Venturelli
Expert System Solutions Srl, Modena, Italia

Introduzione

La termovalorizzazione è un processo di smaltimento che prevede la combustione di alcune tipologie di rifiuti allo scopo di realizzare un recupero energetico.

Per poter valorizzare classi precise di rifiuti civili e industriali come combustibili alternativi, è necessario innanzitutto che ogni loro caratteristica sia ben nota.

In questo lavoro si è voluta concentrare l'attenzione sul metodo di studio del comportamento termico delle ceneri derivanti dalla combustione di tali rifiuti.

Ciò significa individuare una tecnica che non solo determini le temperature di rammollimento e fusione delle ceneri, parametri che condizionano fortemente la tecnologia di impiego di un combustibile, ma fornisca anche informazioni sul comportamento dei campioni durante un intero ciclo termico.

Il metodo scelto per condurre questo studio è l'analisi al microscopio riscaldante, strumento di grande aiuto per seguire il comportamento di materiali sottoposti a un ciclo di riscaldamento [1].

Metodo sperimentale

Il microscopio riscaldante utilizzato per condurre le analisi sulle ceneri è il modello MISURA HSM (vedi fig.1) della Expert System Solutions.

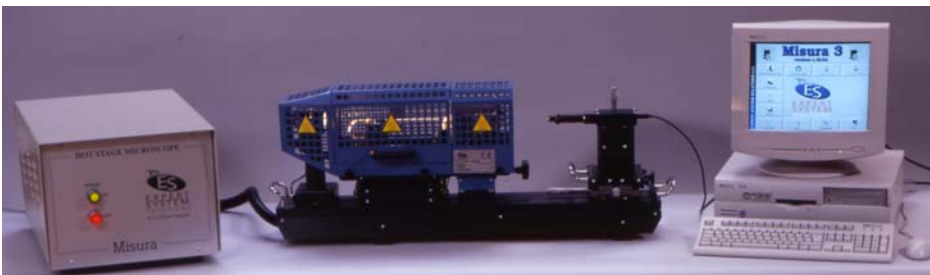
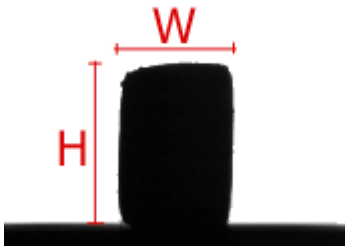


fig. 1: Microscopio riscaldante MISURA HSM della Expert System Solutions

Questo strumento è in grado di acquisire e memorizzare automaticamente ad intervalli prefissati di temperatura le immagini di un provino sottoposto a un ciclo termico. Ogni immagine registrata dal microscopio viene misurata in tutti i suoi parametri dimensionali (altezza, larghezza...) ed è analizzata automaticamente per identificare alcuni punti caratteristici del materiale. Il microscopio riscaldante MISURA HSM consta di un forno dotato di programmatore automatico, che consente di raggiungere velocità di riscaldamento fino a 80°C/min e una temperatura massima di 1600°C [1].

Con riferimento alla norma ASTM D1857 e alla fig. 2, si possono definire le seguenti temperature caratteristiche:



- “iniziale” o “initial deformation temperature”: l'altezza del provino, H, assume un valore del 75% rispetto al valore che aveva all'inizio della prova;
- “di rammollimento” o “softening temperature”: $W=H$;
- “di mezza sfera” o “emispherical temperature”: $W=2H$;
- “di fusione” o “fluid temperature”: H vale l'8,38% rispetto al valore che aveva all'inizio della prova.

fig. 2. Dimensioni di un provino da microscopio riscaldante.

A partire dai dati memorizzati, lo strumento fornisce inoltre la curva delle variazioni dimensionali del campione in funzione della temperatura, chiamata anche “curva di appiattimento”.

Utilizzando il microscopio riscaldante è stato studiato il comportamento di alcune ceneri derivanti dalla combustione di:

- 1) due tipi di rifiuto industriale. In particolare, si tratta di biomasse (sansa di olive e cippato di legno);
- 2) tre tipi di “CDR” (combustibili ottenuti dai rifiuti urbani attraverso trattamenti di selezione e cicli di lavorazione particolari, volti all'ottenimento di un elevato potere calorifico). In inglese, il termine usato per designare questa tipologia di rifiuto è “RDF” (“refuse derived fuel”);
- 3) un combustibile convenzionale fossile.



fig. 3



fig. 4



fig. 5

In fig. 3 sono mostrate le ceneri delle biomasse analizzate (a sinistra: ceneri di sansa di olive; a destra: ceneri di cippato di legno); in fig. 4 quelle dei CDR e in fig. 5 le ceneri di carbon fossile.

Tutti i campioni sono stati gentilmente forniti dalla Stazione Sperimentale per i Combustibili (SSC) di San Donato Milanese (MI).

I vari materiali sono stati sottoposti al seguente ciclo termico (come specificato nella norma ASTM D1857):

- riscaldamento rapido ($50^{\circ}\text{C}/\text{min}$) fino alla temperatura di 400°C ;
- gradiente di riscaldamento di $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ fino alla temperatura di fusione del campione.

Una variazione rispetto alla norma è stata introdotta per quanto riguarda la forma dei provini: invece del tradizionale stampo a piramide a base triangolare si è preferito usarne uno cilindrico, che consente di realizzare il provino in modo più semplice e rapido.

Con l'aggiunta di poche gocce d'acqua per aumentarne la plasticità, le ceneri macinate sono state pressate con una pressa manuale in modo da ottenere dei cilindretti alti 3mm, con un diametro di 2mm. Il supporto per i campioni così ottenuti consiste in un piastrino di allumina; l'acquisizione delle immagini è stata effettuata ogni 5°C.

Risultati

1) Ceneri derivate da CDR

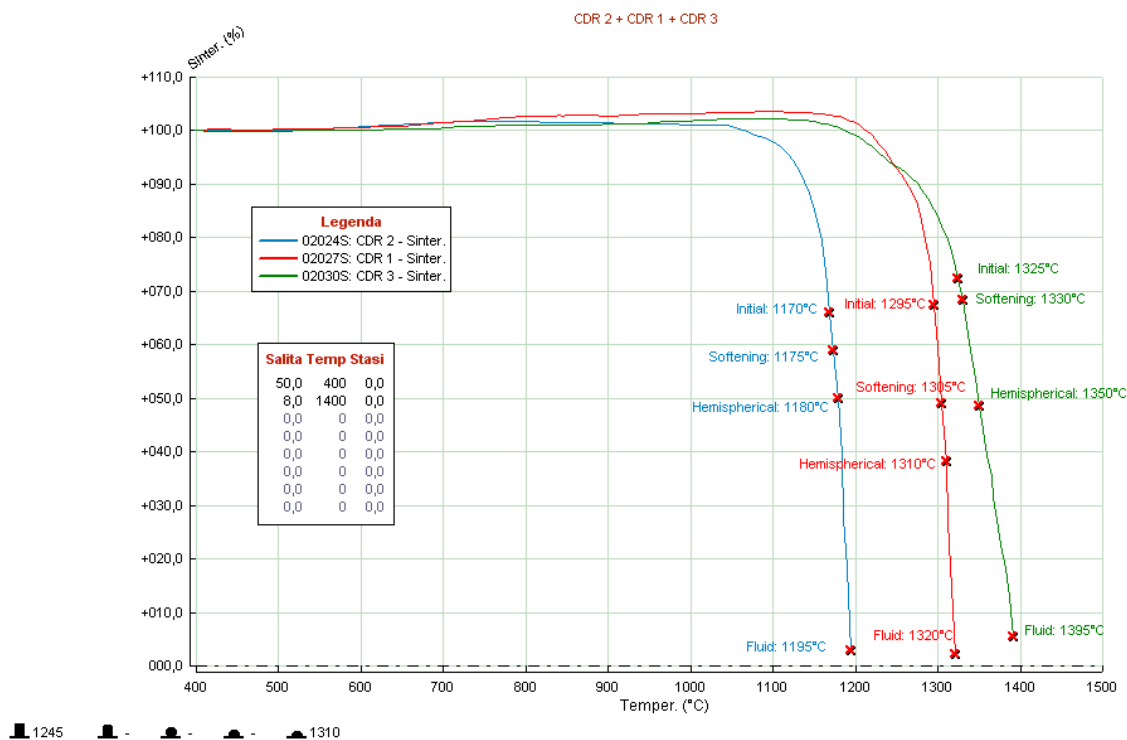


fig. 6: Curve di appiattimento delle ceneri dei tre CDR

Nella curva di appiattimento (fig. 6), l'espansione e la contrazione sono espresse in percentuale rispetto all'altezza che il provino aveva all'inizio della prova.

Si può vedere che le ceneri di CDR cominciano a rammollire in un intervallo di temperatura compreso tra 1175 e 1330°C. La fusione, invece, avviene tra 1195 e 1395°C. La grande differenza tra questi valori è causata dalla diversa composizione chimica dei campioni, la quale dipende dal tipo di rifiuti da cui derivano. La diversità di colore tra le ceneri (vedi fig. 4) è indicativa della presenza di elementi chimici diversi al loro interno.

Viene inoltre riportata in fig. 7 la scheda riassuntiva del comportamento del campione "CDR 1", in cui sono rappresentate le forme assunte dal provino in corrispondenza delle temperature caratteristiche:

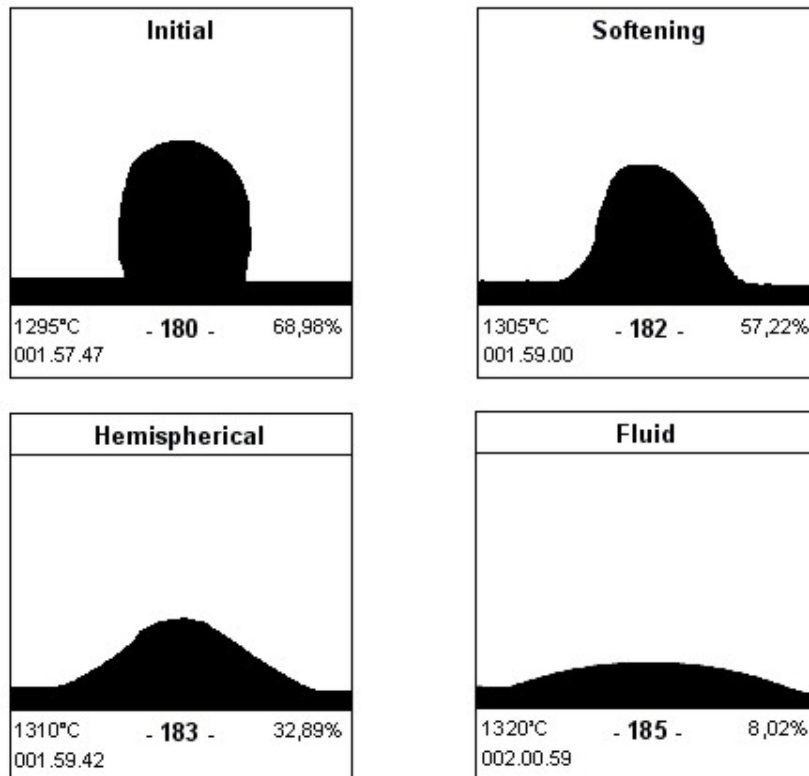
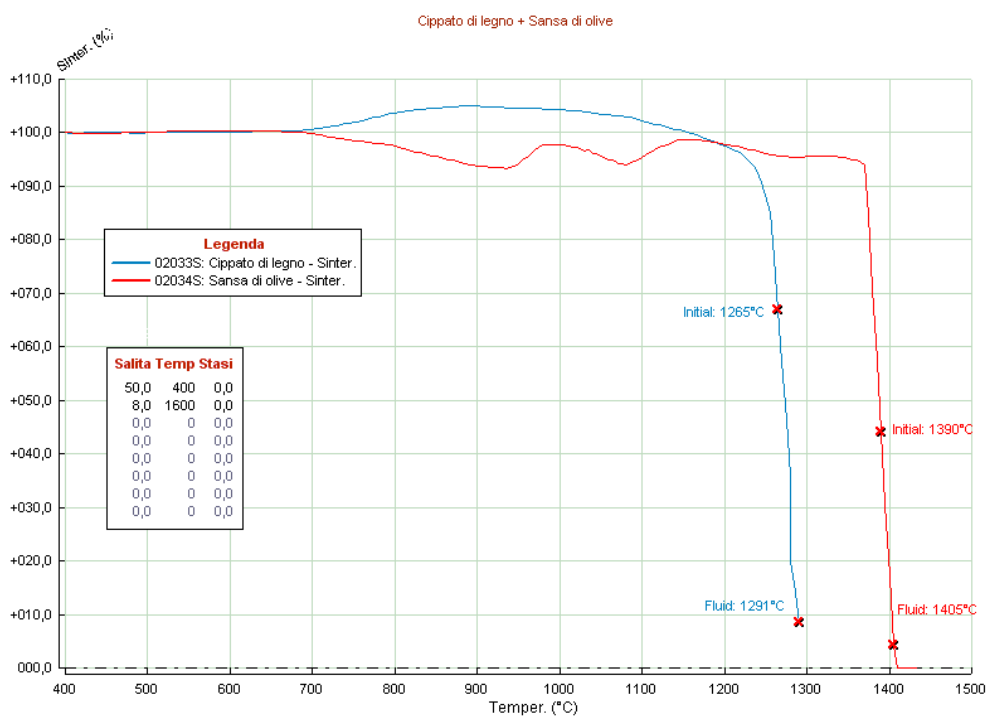


fig.7: immagini del campione "CDR 1"

2) Ceneri derivate da rifiuti industriali (biomasse)



1390 - - - 1395

fig. 8: Curve di appiattimento delle ceneri delle due biomasse

In entrambi i casi, lo strumento è stato in grado di identificare solo i punti caratteristici di temperatura iniziale e di fusione, poiché i provini assumono forme irregolari e inconsuete. Per questo motivo, i punti di rammollimento e mezza sfera non sono individuabili.

3) Ceneri derivate da un combustibile convenzionale (carbon fossile)



fig. 9: Ingresso del provino in forno



fig. 10: Uscita del provino dal forno

In fig. 9 è mostrato l'ingresso in forno del provino ottenuto pressando le ceneri di fig. 5. Osservando il colore del campione analizzato, si deduce che le ceneri di carbon fossile contengono ferro.

In fig. 10 si può vedere l'uscita dello stesso provino dal forno, alla fine del ciclo termico. Nel grafico seguente (fig. 11), è riportata la curva di appiattimento del provino.

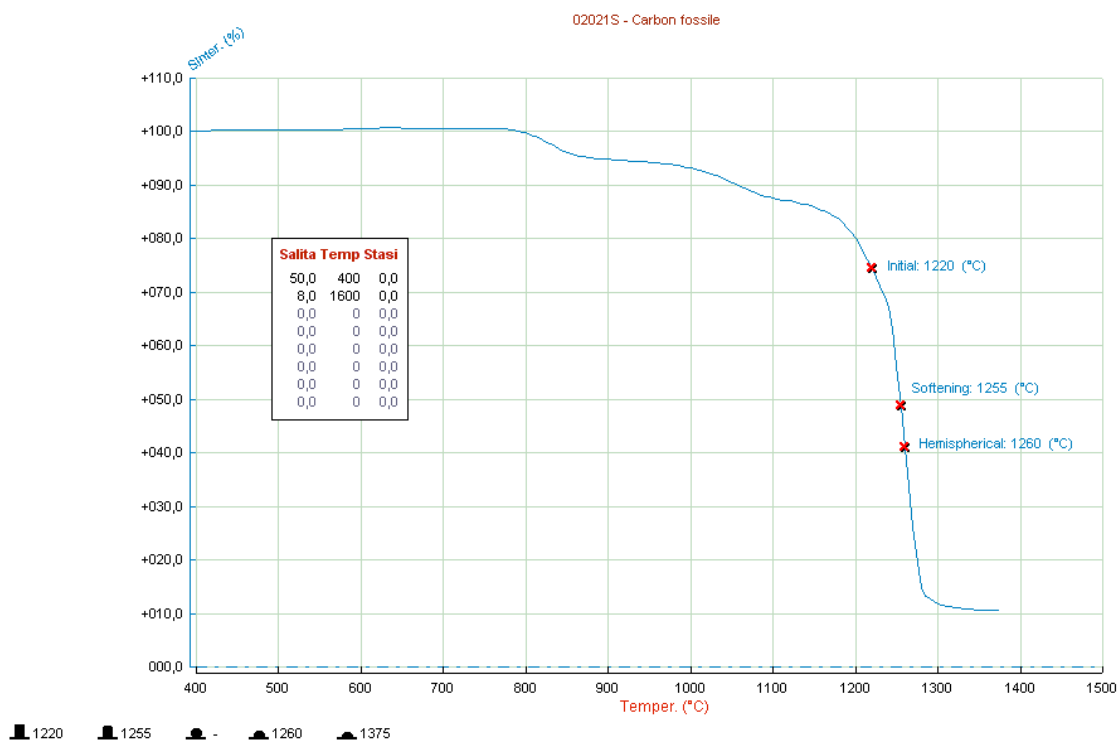


fig. 11: Curva di appiattimento delle ceneri di carbon fossile

Il campione analizzato, raggiunge completa fusione (si trova in fase liquida), ma non rispetta la definizione della norma ASTM 1857, in quanto stabilizza le proprie dimensioni su valori del 10% rispetto alla sua altezza iniziale.

Discussione

Una delle limitazioni a cui si va incontro seguendo le norme ASTM è quella di studiare il comportamento termico dei materiali sottoponendoli a gradienti di riscaldamento troppo bassi, molto lontani dalle effettive condizioni industriali di utilizzo.

In alcuni settori industriali, ad esempio in quello ceramico, le norme ASTM sono state abbandonate in quanto ritenute inadeguate a riprodurre le sollecitazioni termiche effettivamente presenti nei forni [1].

I vecchi microscopi riscaldanti manuali non permettono però di impostare velocità di riscaldamento molto elevate; al contrario i microscopi riscaldanti di nuova generazione consentono di raggiungere gradienti di riscaldamento dell'ordine di 80°C/min.

Il microscopio riscaldante MISURA HSM è in grado anche di eseguire un riscaldamento "istantaneo", mantenendo il forno sempre caldo alla temperatura desiderata, per poi farlo scivolare in pochi istanti sopra al provino da analizzare grazie a un motore.

È stato quindi eseguito un confronto tra il comportamento dei tre campioni di ceneri di combustibili derivati da rifiuti, ciascuno dei quali è stato sottoposto a tre diversi cicli termici. I risultati delle analisi sono riportati nei grafici seguenti (figure 12, 13 e 14), dove le curve ottenute precedentemente applicando il ciclo previsto dalle norme ASTM sono state rappresentate in blu, quelle ottenute con un riscaldamento di 80°C/min in rosso e quelle con un riscaldamento "istantaneo" in verde.

1) CDR 1

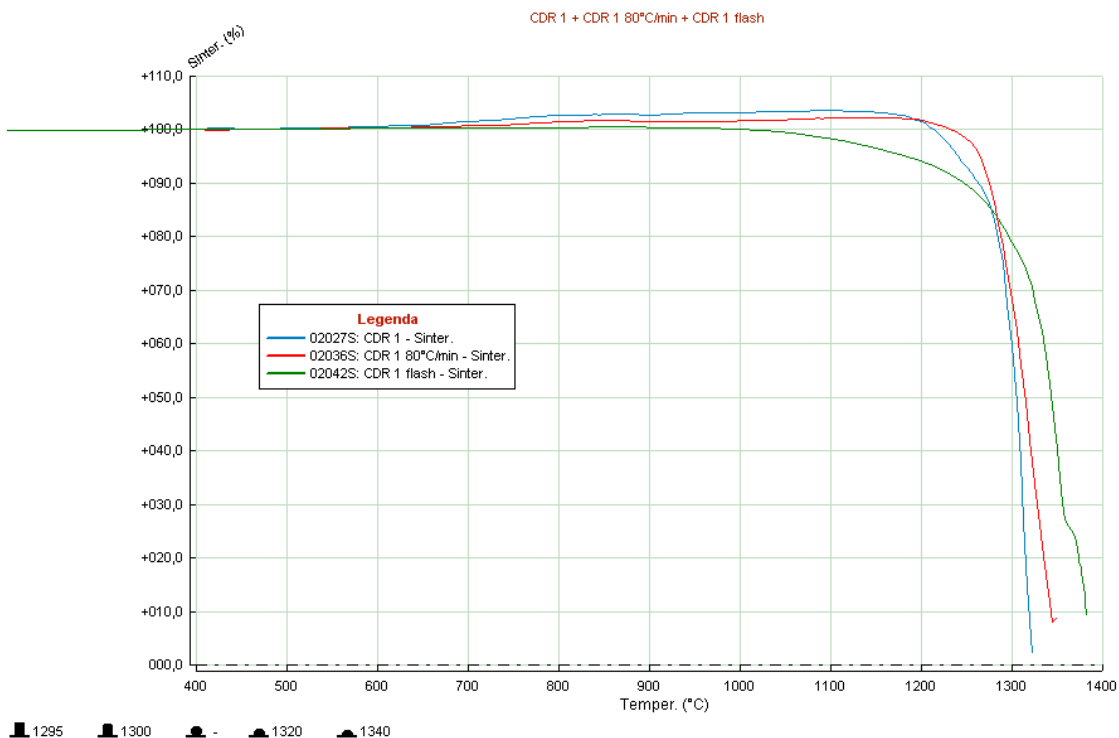


fig. 12: Curve di appiattimento delle ceneri di CDR 1 sottoposte a tre diversi cicli termici

2) CDR 2

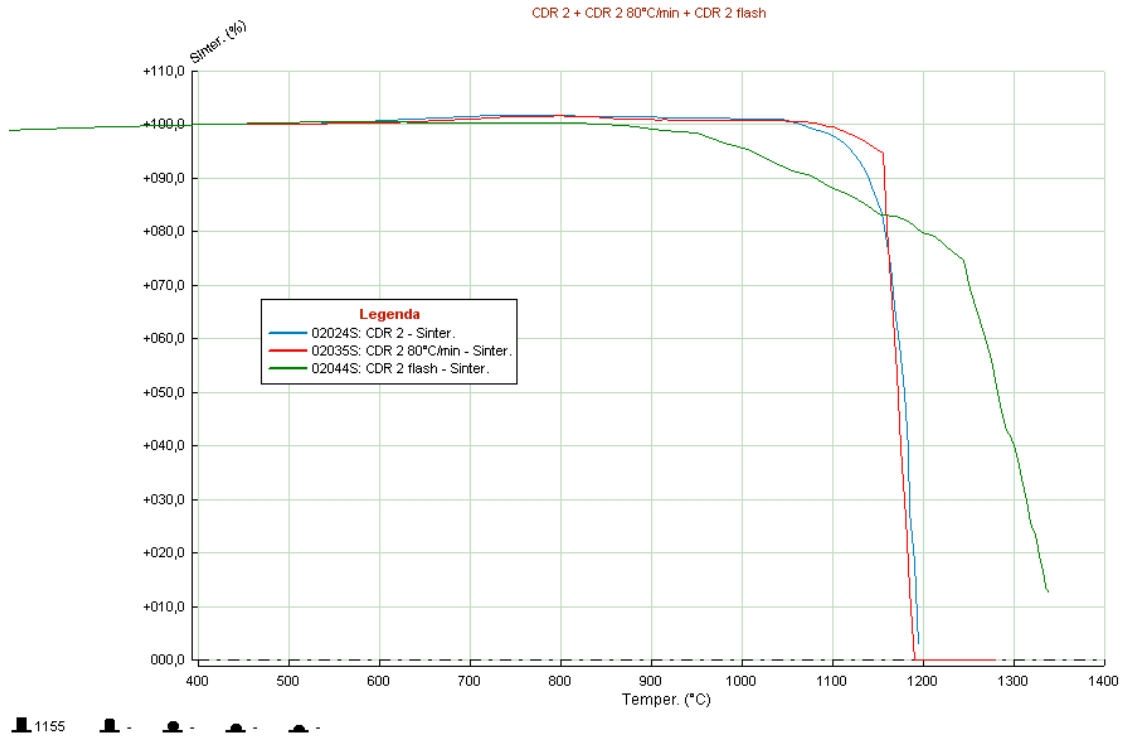


fig. 13: Curve di appiattimento delle ceneri di CDR 2 sottoposte a tre diversi cicli termici

3) CDR 3

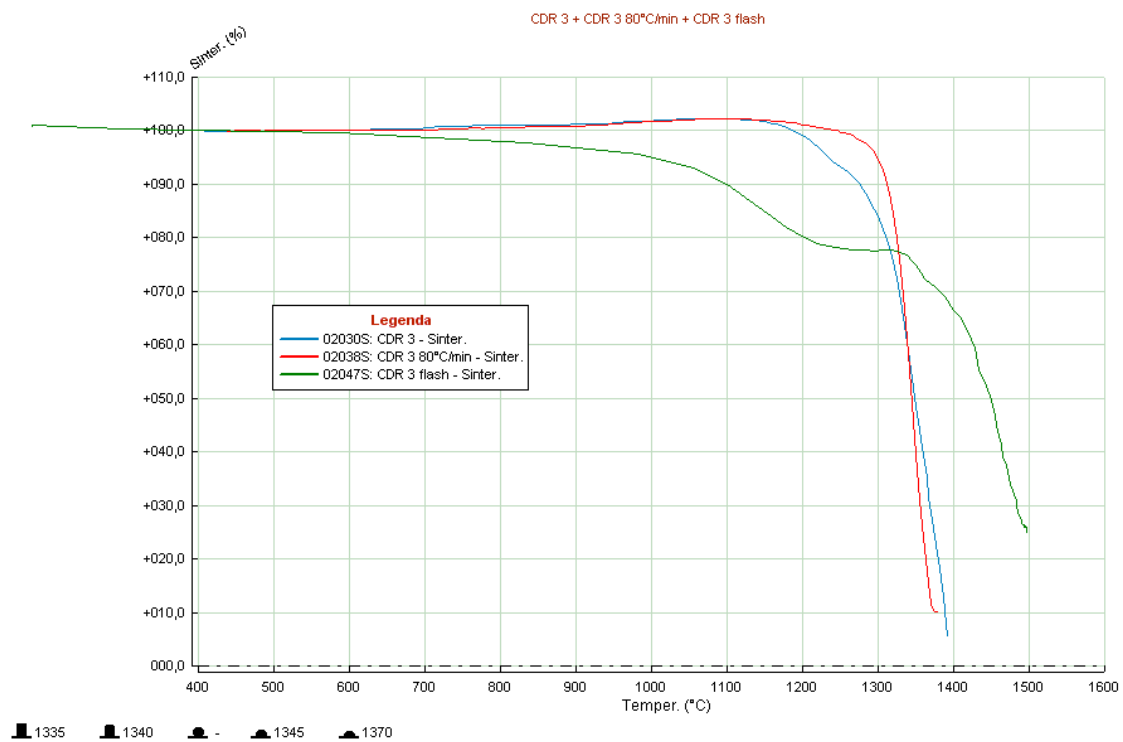


fig. 14: Curve di appiattimento delle ceneri di CDR 3 sottoposte a tre diversi cicli termici

Come si può notare, l'applicazione dei due cicli termici con velocità di riscaldamento di 8 e 80°C/min non provoca sostanziali differenze nel comportamento termico dei campioni.

Un vantaggio riscontrato nel caso del riscaldamento rapido è indubbiamente la riduzione notevole dei tempi di esecuzione delle prove (un test condotto con una velocità di 80°C/min richiede un tempo di 20 minuti scarsi, un test condotto seguendo le norme ASTM richiede circa 130 minuti). Per quanto riguarda il riscaldamento "istantaneo", invece, le differenze sono più evidenti. Il campione in tutti e tre i casi comincia a contrarsi prima, ma raggiunge temperature di fusione più elevate. Il comportamento termico, nel caso dei riscaldamenti a 80°C/min e "istantaneo", sarà più vicino a quello che la cenere avrebbe realmente durante un processo di combustione.

Nel grafico seguente (fig. 15) sono rappresentati i tre cicli termici applicati: le curve di temperatura sono espresse in funzione del tempo.

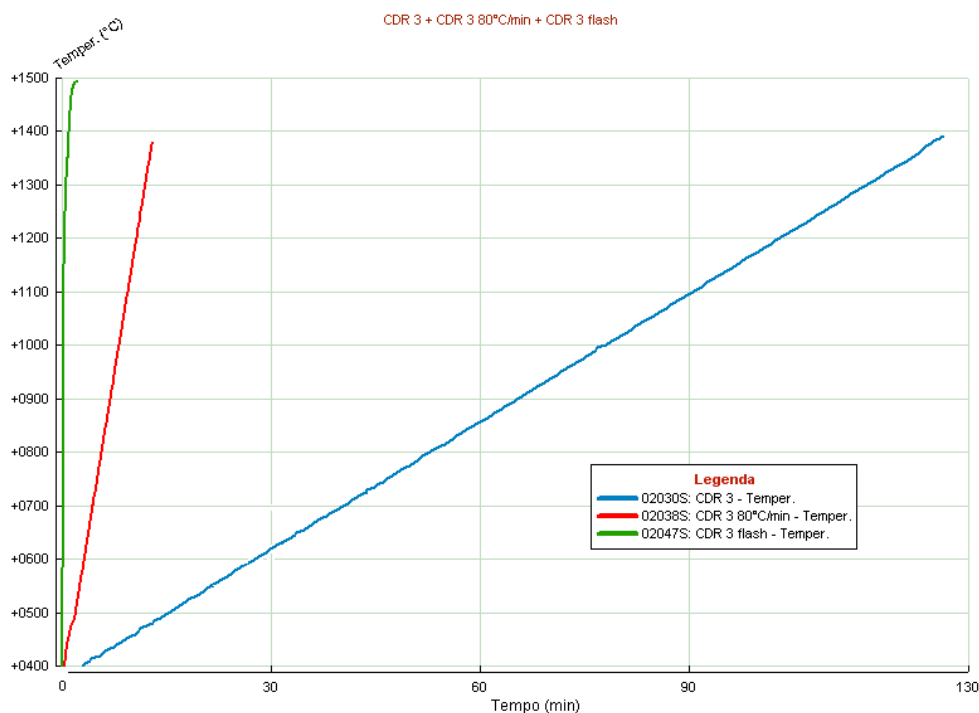


fig. 15: Curve dei cicli termici applicati ai campioni

Il microscopio riscaldante MISURA HSM consente inoltre di stampare tutte le immagini acquisite durante una prova (nel nostro caso una ogni 5°C) oppure di osservarle una di seguito all'altra in rapida sequenza, con un effetto di animazione.

Conclusione

L'analisi automatica delle immagini fornita dal microscopio riscaldante consente di ottenere molte informazioni su un materiale sottoposto a un ciclo di riscaldamento [1]. Le temperature caratteristiche sono infatti parametri importanti per caratterizzare le ceneri di un combustibile, il cui comportamento influenza a sua volta la scelta di un combustibile. In particolare, è noto che, al fine di evitare la formazione di residui vetrosi e depositi sulle pareti della camera di combustione, la temperatura alla quale i bruciatori operano deve

mantenersi al di sotto del punto di fusione delle ceneri. L'utilizzo di combustibili che danno origine a ceneri bassofondenti impone un abbassamento della temperatura massima raggiungibile all'interno della camera di combustione e quindi una minore efficienza del bruciatore.

Informazioni ancora più complete vengono fornite osservando l'andamento complessivo delle curve di appiattimento, che rappresentano le variazioni dimensionali del materiale in funzione della temperatura.

La possibilità dei microscopi riscaldanti di nuova generazione di raggiungere velocità di riscaldamento elevate, permette di riprodurre le sollecitazioni termiche effettive a cui un campione è sottoposto industrialmente.

Si sottolinea infine che il microscopio riscaldante MISURA HSM è stato il primo in grado di raggiungere velocità di riscaldamento così elevate ed è tuttora l'unico che permetta di effettuare il riscaldamento "istantaneo".

Ringraziamenti

Ringrazio il Sig. Michele Consiglio e il Sig. Emiliano Perotti della Stazione Sperimentale per i Combustibili di San Donato Milanese per la loro disponibilità a collaborare a questo studio e per avermi fornito tutti i campioni di ceneri da analizzare.

Bibliografia

[1] Studying frits with the heating microscope (studio delle fritte col microscopio riscaldante) M. Paganelli - CWR (Ceramic World Review) n° 24 1997 Pag 48.