

TECNICA MOLITORIA

sili - molini - mangimifici - pastifici

Soluzioni e Sistemi dedicati per: Conservazione, Ventilazione, Movimentazione e Stoccaggio Cereali.



Robot livellatori a coclea.

Impianti di movimentazione e stoccaggio cereali in silos di movimentazione.

Canali di ventilazione per silos e magazzini di cereali con canaletta sotto piano e soprapiano.



ENGINEERING-PRODUCTION-SERVICE



BORGHI
INDUSTRIAL EQUIPMENTS

BORGHI srl - Via Paradello, 7 - 45037 Melara (Rovigo) Italy
Tel. +39-0425.89689 - Fax +39-0425.89636 - E-mail: info@borghigroup.it - www.borghigroup.it



CHIRIOTTI EDITORI

Trattamento HYST delle biomasse: risultati per l'ALIMENTAZIONE ANIMALE e le BIOENERGIE

*HYST treatment of biomass: results for animal
feeding and bioenergy*

Parole chiave: Hypercritical Separation Technology, biomasse, alimentazione animale, bioenergia
Key words: Hypercritical Separation Technology, biomass, animal feeding, bioenergy

P. DELL'OMO^{1,2,*} - F. LUCIANI³ - L. MALAGUTTI⁴

¹BioHyst - Ricerca e Sviluppo - Via Arezzo 31 - 00161 Roma - Italia

²Università degli Studi di Roma La Sapienza - DIAEE - Via Eudossiana 18 - 00184 Roma - Italia

³Istituto Superiore di Sanità - CRIVIB - Viale Regina Elena 299 - 00161 Roma - Italia

⁴Università degli Studi di Milano - Dipartimento di Scienze Animali
Via Celoria 2 - Milano - Italia

*corresponding author: pierpaolo.dellomo@biohyst.it

SOMMARIO

La Hypercritical Separation Technology (HYST) è un'innovativa tecnologia per la lavorazione delle biomasse che sta conseguendo importanti risultati nel campo dell'alimentazione sia umana che animale e delle energie rinnovabili. Gli impianti - realizzati su misura per le esigenze dell'utilizzatore - si prestano ad essere inseriti in diversi processi industriali, in particolare nei molini, nei mangimifici e nella filiera delle biomasse ad uso energetico.

Nel settore zootecnico, la lavorazione HYST di paglie di mais e crusce di cereali ha evidenziato un incremento del valore nutrizionale e della digeribilità della materia prima trattata. Questa capacità, unitamente a costi di lavorazione irrisori, risulta molto interessante in un'ottica di ottimizzazione delle risorse. Consente, infatti, di ridurre considerevolmente i costi di produzione, nonché di risolvere il problema dei materiali di scarto difficili da smaltire.

La biomassa lignocellulosica (paglia di mais), pretrattata con il sistema HYST, ha mostrato ottime performance nei processi di digestione anaerobica per la produzione di biogas, sia per la buona miscibilità nei fanghi del digestore che per l'eccellente resa in biogas. Quest'ultima, valutata per tonnellata di materiale tal quale, si è attestata su valori da 2,5 a 2,8 volte quella del silomais.

ABSTRACT

Hypercritical Separation Technology (HYST) is an innovative technology for the processing of biomass which is achieving significant results in the field of nutrition (both animal and human) and renewable energy. The plants, tailor-made to the users' needs, are suitable to be inserted in several industrial processes, particularly in mills, feed mills, and in the supply chain of biomass for energy use.

In the livestock sector, the HYST processing of corn straw and cereal bran showed an increase in the nutritional value and digestibility of the processed raw material. This capability, together with the extremely reduced working costs, appears very interesting in view of an optimization of the resources. In fact, it allows to significantly reduce the production costs, besides solving the difficult problem of waste materials that are difficult to dispose of.

The lignocellulosic biomass (corn straw), once pre-treated with the HYST system, showed excellent performances in the processes of anaerobic digestion for the production of biogas, due to both the good miscibility in the sludge of the digester and the excellent biogas yield. The latter, assessed per ton of material as it is, set on values equalling 2.5 to 2.8 in regard to those of corn silage.

INTRODUZIONE

La tecnologia denominata Hypercritical Separation Technology (HYST) viene applicata alla lavorazione delle biomasse con buoni risultati nel campo dell'alimentazione umana e animale ed anche in quello delle energie rinnovabili. Il suo inventore, l'ingegnere Umberto Manola, ha svolto oltre 40 anni di studi, ricerche e sperimentazioni nel trattamento delle biomasse, partendo dalla scuola dell'industria molitoria nella quale ha lungamente lavorato.

Gli impianti HYST (**fig. 1**) operano la disaggregazione della struttura dei tessuti vegetali attraverso processi di urto ad alta velocità e oscillazioni di pressione indotte nel mezzo fluido - aria o gas inerte - che trasporta il prodotto. Le diverse componenti originate dal processo di disaggregazione vengono, quindi, separate, per mezzo di classificatori centrifughi, in correnti con caratteristiche fisiche, chimiche e bromatologiche differenti.

Per funzionare, l'impianto HYST necessita solo di un modesto quantitativo di energia elettrica: circa 20 kWh per ogni tonnellata di biomassa lavorata, che deve avere una granulometria di circa 5 mm e un'umidità residua non superiore al 15%. La lavorazione ha una durata di pochi secondi e permette, ad esempio, di trasformare una comune paglia di cereali in alimenti zootecnici e in matrici ad alta densità energetica, per produrre biogas.

Ogni anno le attività agricole lasciano sul terreno circa 3 miliardi di tonnellate di paglie (cereali, soia, girasole, cotone), una risorsa importantissima difficilmente utilizzabile ad uso zootecnico e di cui si sta ancora cercando una chiave per la valorizzazione energetica. In Italia, i milioni di tonnellate di stocchi di mais non utilizzabili in zootecnia creano diversi problemi di gestione, tipici di un rifiuto.

Come le paglie, anche i cruscami possono essere notevolmente valorizzati a fini alimentari tramite il processo HYST, che è applicabile a qualsiasi biomassa: residui di potatura, vinacce, sansa di olive e così via.

Il prof. Gianfranco Piva dell'Istituto di Scienze dell'Alimentazione e Nutrizione dell'Università di Piacenza, durante il suo intervento al meeting "Tecnologia HYST: alimentazione, energie alternative, ambiente" (Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza, 15 dicembre 2009), ha affermato: "La tecnologia HYST consente di ottenere un miglioramento del valore alimentare delle materie prime ed è in grado, separando i vari componenti, di rimescolarli in modo da ricavarne prodotti con caratteristiche nuove; permette inoltre di utilizzare gli scarti come fonti energetiche per processi fermentativi finalizzati alla produzione di biogas ed etanolo. Fino ad oggi, per produrre bio-etanolo sono stati utilizzati prevalentemente cereali sottratti all'alimentazione umana e animale. Invece, già 27 anni fa, l'ing. Manola teorizzava una frammentazione ad urto che avrebbe consentito di disaggregare e utilizzare allo stesso scopo la biomassa di scarto, risparmiando la cariosside".

ALIMENTI PER LA ZOOTECCIA

Il processo HYST è in grado di suddividere le biomasse trattate in più frazioni, dalle caratteristiche fisico-chimiche differenti. È stata condotta una lavorazione tipo su paglia di mais e crusca di frumento, ottenendo tre frazioni denominate G, M, F4, in ordine decrescente di granulometria. Presso i laboratori del Dipartimento di Scienze Animali dell'Università degli Studi di Milano, sono stati analizzati e confrontati campioni della biomassa di partenza (denominata "base") e

delle tre frazioni risultanti. Sugli stessi campioni sono state condotte analisi della composizione chimica e prove per la determinazione della digeribilità della sostanza secca e della fibra, nonché per la produzione di gas *in vitro* dopo 24 ore di incubazione (Gas Production dopo 24 ore, di seguito abbreviata con l'acronimo GP24). Questi parametri consentono di stimare il valore nutritivo dei campioni.

Nelle **tabb. 1 e 2** seguenti sono riportate le analisi chimiche delle materie prime (di seguito denominate crusca base e paglia base) e delle frazioni ottenute dalla loro lavorazione. Dal punto di vista chimico, si osserva che le frazioni ottenute dalla lavorazione della crusca base presentano caratteristiche differenti, in particolare per quanto riguarda il contenuto in fibra (tab. 1). I valori di NDF e ADF risultano, infatti, assai ridotti nella frazione F4, la più fine e maggiormente ricca di principi nutritivi, mentre il contenuto in amido della stessa è più che raddoppiato rispetto al valore della materia prima.

Allo stesso modo, passando dal campione più grossolano (paglia G) a quello più fine (paglia F4), la valutazione delle caratteristiche chimiche delle frazioni ottenute da paglia di mais ha mostrato una progressiva diminuzione del contenuto di NDF e ADF (tab. 2). Contemporaneamente è stato riscontrato un aumento rilevante del contenuto in amido e in proteine grezze rispetto alla materia prima di partenza.

L'incremento del valore nutritivo in seguito alla lavorazione HYST è stato confermato dalla stima dei parametri di fermentescibilità, digeribilità della sostanza secca e dell'NDF. La determinazione della fermentescibilità *in vitro* (GP24) è stata effettuata secondo il metodo di Menke (Menke e Steingass, 1988). La digeribilità della sostanza secca (DSS) e



Fig. 1 - Un impianto HYST per la lavorazione delle biomasse.

Tabella 1 - Analisi chimica della crusca base e delle frazioni ottenute (Valori espressi in percentuale del contenuto di sostanza secca). Rese delle frazioni: Crusca G 42%, Crusca M 38%, Crusca F4 20%.

Campione	s.s.	PG	Amido	EE	NDF	ADF	ADL	Ceneri
Crusca base*	85,86	17,53	15,53	3,39	44,85	14,56	6,82	6,38
Crusca G	88,74	17,95	17,04	4,00	48,91	15,24	8,36	7,18
Crusca M	88,27	18,39	16,78	3,93	48,03	15,35	8,33	7,13
Crusca F4	87,78	18,82	37,67	3,63	17,64	6,31	2,46	3,53

*crusca prima della lavorazione.

Tabella 2 - Analisi chimica della paglia base e delle frazioni ottenute (Valori espressi in percentuale del contenuto di sostanza secca). Rese delle frazioni: Paglia G 44%, Paglia M 45%, Paglia F4 11%.

Campione	s.s.	PG	Amido	EE	NDF	ADF	ADL	Ceneri
Paglia base*	88,66	4,37	4,77	1,30	71,25	50,85	8,16	9,47
Paglia G	90,34	3,60	4,82	0,93	73,75	52,69	7,87	7,97
Paglia M	89,12	5,11	5,34	1,41	66,66	44,54	9,15	12,65
Paglia F4	88,44	8,65	11,85	2,88	47,20	32,47	11,04	17,17

*paglia di mais prima della lavorazione.

dell'NDF (NDFD) è stata stabilita tramite degradazione ruminale *in situ* secondo il metodo proposto dal National Research Council (National Research Council, 2001). Utilizzando questi parametri, per una stima più accurata del valore nutritivo, sono state calcolate le Unità Foraggiere Latte (UFL) per kg di sostanza secca applicando il metodo della Gas Production utilizzando l'equazione proposta da Menke per cui:

$$\text{UFL (n/kg s.s.)} = \text{ENL}/7,113$$

dove

$$\text{ENL (MJ/kg s.s.)} = 0,54 + 0,0959 \text{ GP24} + 0,0038 \text{ PG} + 0,0001733 \text{ EE}^2$$

GP24: produzione di gas, espressa in mL/200 mg s.s. in 24 ore

PG: proteine grezze, espresse in g/kg s.s.

EE: estratto etereo, espresso in g/kg s.s.

I dati relativi a questi parametri, raggruppati per tipologia di campione, sono riportati nelle **tabb. 3 e 4**. Da una valutazione attenta dei parametri GP24 e UFL, si può osservare che le frazioni F4 di paglia e crusca ottenute con il processo HYST presentano un valore nutrizionale decisamente superiore rispetto al prodotto di partenza. In particolare, il contenuto in UFL della paglia F4 è pari a 0,64, comparabile a quello di un fieno di graminacee. Il contenuto in UFL della crusca F4, d'altro canto, è pari a 1,07 e comparabile a quello di alimenti concentrati utilizzati in alimentazione animale come le farine d'orzo o di frumento.

Il trattamento HYST, infine, produce complessivamente un incremento della digeribilità

della fibra, probabilmente per la riduzione dei complessi molecolari fibrosi. In particolare, per quanto riguarda l'NDF, la digeribilità della frazione crusca F4 raggiunge il 69,4% contro il 59,8% della base, mentre per la paglia si passa dal 44,9% della base al 56,7% della frazione F4. Considerando, inoltre, che la resa di produzione delle 3 frazioni G, M e F4 ottenute dal prodotto di partenza è per la paglia rispettivamente pari al 44, 45 e 11% e per la crusca al 42, 38 e 20% rispettivamente, la digeribilità della fibra aumenta complessivamente di 2.4 punti percentuali per la paglia e di 7.1 punti per la crusca.

Per quanto invece concerne la digeribilità complessiva della sostanza secca si osserva un incremento di circa il 3% per entrambe le materie prime.

Questi dati risultano molto interessanti per l'alimentazione animale, non solo nei Paesi in via di sviluppo, dove questi sottoprodotti spesso rappresentano l'unico alimento disponibile, ma anche nei Paesi "ricchi", in un'ottica di ottimizzazione delle risorse al fine di ridurre in modo considerevole i costi di produzione nonché la produzione di materiali di scarto dal difficile smaltimento.

BIOGAS

Il processo HYST non significa solo alimenti per la zootecnia, ma anche bioenergie. I prodotti della lavorazione HYST degli stocchi di mais sono stati sottoposti a test di biometanazione condotti in regime di mesofilia (35°C), presso i laboratori della RES di Ravenna. Come inoculo è stato utilizzato un fango anaerobico proveniente da un digestore funzionante in analogo regime termico. I risultati così ottenuti hanno mostrato che il pretrattamento della biomassa con il

Tabella 3 - Valore nutrizionale delle frazioni di paglia di mais.

Campione	GP24 mL/200 mg s.s.	DSS %	NDFD %	UFL /kg s.s.
Paglia base	28,3	55,5	44,9	0,48
Paglia G	25,4	51,3	41,6	0,44
Paglia M	32,6	61,2	48,4	0,55
Paglia F4	37,1	72,8	56,7	0,64

Tabella 4 - Valore nutrizionale delle frazioni di crusca di frumento.

Campione	GP24 mL/200 mg s.s.	DSS %	NDFD %	UFL /kg s.s.
Crusca base	48,9	80,6	59,8	0,89
Crusca G	48,9	81,2	66,4	0,89
Crusca M	48,5	81,9	66,3	0,89
Crusca F4	57,8	89,2	69,4	1,07

processo HYST incrementa la resa produttiva in biogas e consente la solubilità della matrice nei fanghi del digestore.

Le farine di paglia prodotte con il processo HYST hanno palesato una densità energetica, in termini di produzione di metano per tonnellata di prodotto, da 2 a 3 volte superiore a quella del silomais e paragonabile a quella della granella dello stesso cereale (fig. 2): un risultato di grande rilievo per un materiale lignocellulosico.

Anche la velocità di degradazione della materia organica si è dimostrata in linea con quella di biomasse caratterizzate da un importante contenuto di amido. Infatti, dopo 35 giorni di digestione, tutti e tre i prodotti HYST hanno superato la resa in metano del silomais, mentre la frazione più performante

(F4) ha dato risultati migliori già a partire dal sedicesimo giorno (fig. 3).

Questi importanti risultati candidano la farina di paglia prodotta con gli impianti HYST a sostituire in buona misura, o affiancare, le colture energetiche oggi ampiamente utilizzate per alimentare i digestori. In Italia sono operativi circa 280 impianti di biogas da biomasse agrozootecniche, circa la metà dei quali di grande potenza (>500 kWe); 21 sono alimentati esclusivamente da colture dedicate, principalmente insilati (Fabbri *et al.*, 2011). L'estendersi della coltivazione dei cereali a scopo energetico ripropone, quindi, anche in Italia il conflitto *food/no food* per l'utilizzazione delle risorse. A fronte di ciò il Parlamento già quest'anno ha preso in considerazione l'idea di porre dei vincoli, limitando al 15%

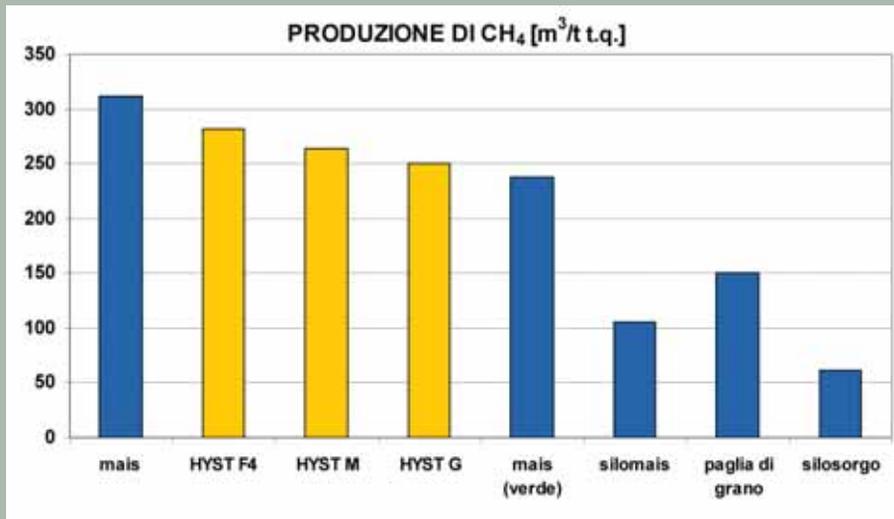


Fig. 2 - Produzione di biometano delle matrici HYST ottenute dagli stocchi di mais, confrontata con quella di altre biomasse (Adani *et al.*, 2008).

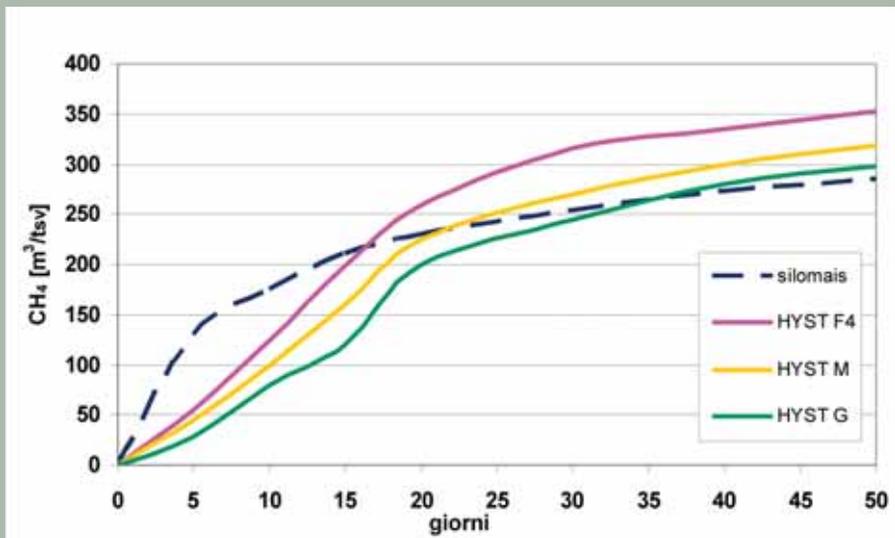


Fig. 3 - Cinetica di produzione del metano dalla sostanza organica: confronto tra le matrici HYST prodotte dallo stocco di mais ed il silomais.

del totale le coltivazioni energetiche impieghi negli impianti a biogas, come indicato nello schema del D.Lgs. 3 febbraio 2011, nel quale veniva presentata tale proposta (che in fase di stesura finale è stata eliminata, ma potrebbe essere riproposta in futuro).

La possibilità di ottenere prestazioni importanti da materiali lignocellulosici favorirà, inoltre, l'installazione di impianti di digestione anaerobica anche nelle regioni del centro-sud Italia, dove la coltivazione di biomasse dedicate è irrilevante, ma abbondano le paglie di cereali e i residui di potatura.

CONCLUSIONI

Le analisi di laboratorio condotte su biomasse trasformate con la metodica HYST hanno mostrato risultati di rilievo nel campo dell'alimentazione animale e delle bioenergie.

In particolare, il trattamento della paglia di mais e della crusca di frumento ha evidenziato che è possibile produrre una frazione fine (F4) caratterizzata da un contenuto di amido circa doppio rispetto a quello della materia prima e con un valore nutrizionale, stimato in UFL/kg s.s., notevolmente incrementato: 1,07 per la F4 della crusca, valore tipico di concentrati come le farine di orzo o frumento, e 0,64 per la F4 della paglia di mais, valore caratteristico di un fieno di graminacee. Complessivamente la lavorazione ha migliorato la digeribilità della fibra sia per la paglia - circa 2,4 punti percentuali - sia per la crusca, per la quale l'incremento supera i 7 punti.

Il processo si è rivelato particolarmente idoneo al pre-trattamento di materiale lignocellulosico (stocchi di mais) da utilizzare in processi di digestione anaerobica per la

produzione di biogas. Gli stocchi sono ridotti in "farine" caratterizzate da facilità di miscelazione con i fanghi del digestore e da elevatissime rese in metano in condizioni mesofile: 250, 264 e 282 m³/t t.q. per le frazioni G, M e F4 rispettivamente. Anche la cinetica di degradazione della sostanza organica ha evidenziato l'ottimo comportamento delle matrici prodotte con la metodica HYST: dopo 35 giorni di digestione le matrici F4 e M hanno prodotto rispettivamente 320 e 280 m³ di metano per tonnellata di solidi volatili, contro i 260 m³/t SV del silomais, eguagliato dalla matrice G.

In virtù di questi risultati, il pretrattamento HYST consente l'utilizzo delle lignocellulose nei processi di digestione anaerobica con prestazioni tali da poter sostituire le colture energetiche oggi ampiamente utilizzate e per le quali si va verso vincoli che ne limitino l'uso indiscriminato.

BIBLIOGRAFIA

- Adani F., Schievano A., D'Imporzano G. "I fattori che rendono ottimale la razione per il digestore". *L'informatore Agrario*, 40 Suppl.:19-22, 2008.
- Fabbri C., Shams-Eddin S., Bondi F., Piccinini S. "Efficienza e problematiche di un impianto di digestione anaerobica a colture dedicate". *Ingegneria Ambientale*, 40,1:29-40, 2011.
- Menke K.H., Steingass H., "Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid". *Animal Research and Development*, 28:7-55, 1988.
- National Research Council, *Nutrient requirements of dairy cattle*, 7th Rev. Ed. National Academy of Sciences, 2001.
- Schema di Decreto Legislativo recante attuazione della Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, Commissione VIII (Ambiente) e X (Attività produttive), 3 febbraio 2011.