

● STOCCAGGIO DI BIOMASSA UMIDA PER USO ZOOTECNICO E AGROENERGETICO

Prototipo di estrattore per biomasse umide in silo-bag

di A. Assirelli, I. Quacquarelli,
G. Caracciolo, E. Santangelo

Il silo-bag è un sistema di stoccaggio ampiamente utilizzato sia per i cereali secchi (Bartosik et al., 2012) sia per la biomassa umida destinata all'alimentazione, alla mangimistica e alla produzione di agroenergia.

Questa tecnica di stoccaggio, che ha avuto origine circa mezzo secolo fa a seguito dell'esigenza di conservare grandi quantità di prodotto per periodi medio-lunghi, è attualmente diffusa in più di 40 Paesi in tutto il mondo (Barreto et al., 2013) con proposte tecnologiche per l'utilizzo sempre più avanzate.

Oltre all'Argentina, Paese che negli ultimi 15 anni ha incrementato da 5 a 40 milioni di tonnellate la quantità di prodotti immagazzinati in silo-bag orizzontali, sistemi analoghi sono stati

Lo stoccaggio delle biomasse umide in silo-bag offre diversi vantaggi, ma i sistemi di estrazione disponibili sono limitati a granaglie o prodotti granulari. Il prototipo di estrattore descritto in questo articolo è studiato appositamente per il materiale vegetale umido

sperimentati in Australia, negli Stati Uniti, in Canada e in molti altri Paesi di tutto il mondo.

In Europa, la Gran Bretagna è stato il primo Paese a valutare gli effetti dello stoccaggio anaerobico controllato di grano e orzo già negli anni 50-60, ma è in Germania, negli anni 70, che ha avuto inizio il processo di meccanizzazione dei sistemi di silo-bag con la sperimentazione delle prime macchi-

ne, piccole e poco veloci, per il riempimento dei bag (Gatti, 2014).

Dagli anni 90 in poi, il sistema di silo-bag si è diffuso per lo stoccaggio della granella secca e poi, dagli anni 2000, la necessità di utilizzare questo sistema per lo stoccaggio di colture energetiche ha dato nuovo impulso al settore e nuove idee per migliorare gli aspetti relativi alla meccanizzazione di questi nuovi sistemi di stoccaggio.

La crescente domanda di oli vegetali come fonte di energia rinnovabile (biodiesel), infatti, ha trasformato l'Unione europea (UE) nel principale importatore di soia, girasole e colza oleaginosa particolarmente adatta per la produzione di biocarburante (Ochandio et al., 2010).

Diversi studi che si sono succeduti negli ultimi anni hanno evidenziato i numerosi pregi offerti da questo sistema di stoccaggio il cui progressivo sviluppo è dovuto principalmente alla sua semplicità operativa e alla possibilità di evitare trattamenti post-raccolta (termici o insetticidi) sul prodotto, con aumento della redditività del metodo (Busato, 2011).

Soluzioni meccanizzate per i silo-bag

Un sistema meccanizzato di funzionamento di silo-bag deve necessariamente prevedere i seguenti elementi: una macchina per il riempimento del sacco; una macchina per lo scarico del prodotto e il riavvolgimento del sacco; un sistema di convogliamento del prodotto su un carro raccolta, qualora si



La versione dell'estrattore oggetto di brevetto è composta da un sistema frontale con elementi separati per la disgregazione della massa vegetale umida e da una coclea principale sottostante coinvolta nella raccolta del prodotto disgregato e nel suo convogliamento verso una seconda coclea, con funzione di trasporto ad altezza regolabile fino a 4 m per lo scarico direttamente sul mezzo di trasporto

voglia trasportare il prodotto dopo lo stoccaggio; un trattore da utilizzare sia per la macchina insaccatrice sia per quella di svuotamento.

Le macchine «insaccatrici» possono essere trainate da trattori o semoventi e generalmente sono dotate di un sistema di carico che può essere una tramoggia superiore o una coclea laterale o frontale per il carico diretto da camion o rimorchi, un sistema di coclee per il trasporto del materiale vegetale dentro al silo-bag e un supporto che regge il sacco e lo srotola via via che avviene il riempimento.

Il prodotto è convogliato dalle coclee di carico o per semplice gravità dentro al sacco che oltre ad allungarsi si dilata a causa della pressione esercitata sulle pareti.

La velocità di avanzamento è regolata da quella di riempimento della macchina insaccatrice. Raggiunta la lunghezza di riempimento desiderata, avviene la chiusura ermetica tramite termosaldatura del bag.

Lo scarico meccanizzato dei sili è un'operazione più complessa e viene eseguita con macchine specifiche, denominate «estrattori», dotate di elementi che trascinano il prodotto, frequentemente coclee, le quali entrano all'interno del sacco e convogliano il prodotto verso un punto da dove un sistema, generalmente integrato con la macchina estrattrice (es. coclea), lo carica sui mezzi adibiti al suo trasporto.

In questa fase, ciascuna operazione di movimentazione va accuratamente monitorata per evitare perdite di prodotto a terra con potenziale inquinamento e costi aggiuntivi per il suo recupero.

Attualmente, i sistemi meccanici disponibili per lo scarico dei silo-bag sono limitati ai prodotti granulari.

Stoccaggio in silo-bag in Italia

In Italia, l'insilamento in silo-bag è utilizzato sia per conservare granella e altri mezzi tecnici sia per il settore delle biomasse umide destinate alla zootecnica o alla produzione di energia che tutt'ora rappresenta un aspetto di notevole interesse.

Il punto cruciale legato all'utilizzo di questo sistema di stoccaggio su questo tipo di biomasse è rappresentato dalla mancanza di efficienti sistemi meccanici di scarico dei silo-bag.

SILO-BAG: ASPETTI TECNICI

L'utilizzo dei silo-bag orizzontali presenta diversi vantaggi economici in quanto non prevede costi per strutture fisse e autorizzazioni né costi per il trasferimento del prodotto immagazzinato in luoghi diversi da quelli di produzione e, allo stesso tempo, prevede la possibilità di stoccaggio per periodi prolungati aumentando la finestra di vendita e quindi il valore del prodotto stoccato (Gatti, 2015).

Dal punto di vista qualitativo, inoltre, diversi studi hanno dimostrato la buona qualità del prodotto proveniente dallo stoccaggio in silo-bag sia in termini di umidità che in termini igienici.

La copertura plastica, infatti, preserva lo stoccato dai potenziali attacchi di roditori e insetti in campo e, al contempo, l'ambiente ermetico che si crea all'interno del silo determina una riduzione dell'attività respiratoria sia del materiale vegetale sia degli agenti biologici (principalmente

funghi e batteri), favorendo una corretta riduzione dell'umidità dell'insilato e riducendo lo sviluppo di muffe pericolose per quei prodotti destinati al consumo alimentare umano o animale (Bartosik et al., 2012)

Costruttivamente i silo-bag sono realizzati in polietilene a bassa densità, ermeticamente sigillati e composti da almeno tre strati co-estrusi con protezione da luce e UV. Sul mercato sono disponibili diverse dimensioni, generalmente espresse in piedi (feets) di diametro (da 1,20 fino a 3,66 m), con lunghezza variabile da 60 o 75 m.

Lo spessore del telo può variare da 180 a 270 micron. La capacità di stoccaggio varia, a seconda delle dimensioni del sacco, da un minimo di 40 tonnellate a un massimo di 450 tonnellate.

I teli sono impermeabili, a chiusura ermetica termosaldabile apribile e richiudibile a piacimento. ●



Le macchine e le attrezzature disponibili in commercio, infatti, sono ideate principalmente per la gestione di cereali secchi o altri prodotti granulari (es. concimi) ma non prevedono la movimentazione di materiale vegetale umido la cui struttura fisica crea problemi di adesività alle superfici di movimentazione, inceppamenti e altre problematiche.

Dove utilizzati, i silo-bag sono aperti manualmente e lo scarico è effettuato tramite pale gommate che determinano perdite quantitative e qualitative significative di prodotto.

A tale proposito, il Centro di ingegneria e trasformazioni agroalimentari, sede di Monterotondo (Roma) del Consiglio per la ricerca in agricoltura e analisi dell'economia agraria (CREA),

l'Ente nazionale per la meccanizzazione agricola (ENAMA) e la società privata Boschi Servizi, Villanova di Ravenna (Ravenna) hanno avviato una collaborazione pubblico-privata che ha portato allo sviluppo di un prototipo di macchina «estrattrice» capace di gestire la biomassa fresca (per l'alimentazione zootecnica o per il settore agroenergetico) estraendola dal bag e scaricandola a terra o su un mezzo adibito al suo trasporto (autocarro/rimorchio).

In questo lavoro vengono presentati i risultati relativi all'ultima versione di estrattrice sviluppata e oggetto di domanda brevettuale (CREA n. 102016000109421 del 28-10-2016) cercando di valutarne potenzialità e utilizzazioni future.

Sviluppo e messa a punto del prototipo

Lo sviluppo di una versione funzionale del prototipo ha richiesto più di due anni di attività durante i quali la macchina è stata oggetto di diverse modifiche.

La versione oggetto di brevetto è composta da un sistema frontale con elementi separati per la disgregazione della massa vegetale umida e da una coclea principale sottostante coinvolta nella raccolta del prodotto disgregato e nel suo convogliamento verso una seconda coclea, con funzione di trasporto ad altezza regolabile fino a 4 m per lo scarico direttamente sul mezzo di trasporto.

La macchina prevede, inoltre, un sistema per il recupero del sacco in svuotamento.

Il sistema laterale di recupero è regolabile meccanicamente, per circa un metro per lato per adeguare la luce di ingresso alla mutevole sezione del bag.

Il sistema di recupero del sacco vuoto è costituito da 4 alberi di avvolgimento: 2 paralleli orizzontali (1 superiore e 1 inferiore dietro al sistema di scarico) e 2 paralleli verticali a sinistra e a destra della macchina.

Il prototipo, in fase operativa, è collegato posteriormente al trattore mediante attacco a tre punti di 3ª categoria ed è azionato meccanicamente e idraulicamente dalla trattrice. In maggior dettaglio, le coclee di trasporto (principale e secondaria) e il sistema di disgregazione della massa sono comandate meccanicamente tramite pdp (presa di potenza), mentre i 4 alberi per il recupero del telo sono azionati dal sistema idraulico.

Durante lo sviluppo, le versioni precedenti del prototipo sono state provate in diverse realtà produttive del Nord Italia (Emilia-Romagna e Lombardia), vicino a impianti di biogas caratterizzati da un elevato consumo di colture da biomassa, principalmente sorgo da fibra e mais trinciati a diverse lunghezze di taglio e stoccati in silo-bag.

I test di prestazioni della versione finale sono stati invece effettuati a Villanova di Ravenna (Ravenna) nel settembre 2015, presso la sede della

Il prototipo dell'estrattore in funzione: si nota il sistema per il recupero del sacco in svuotamento



Particolare del sistema frontale con elementi separati per la disgregazione della massa vegetale umida

ditta costruttrice Boschi Servizi, che ha messo a disposizione oltre ai silo-bag necessari anche macchine e attrezzature per le prove (trattrici, pale gommate, camion con rimorchio, ecc.).



I test sono stati condotti su insilato di mais dopo due mesi di conservazione in silo-bag.

Per agevolare le operazioni gestionali (carico, monitoraggio, scarico), i silo-bag sono stati disposti su una piattaforma di cemento, parallelamente tra loro, a una distanza di 8 m da centro a centro.

Per il funzionamento del prototipo e per trasportare il prodotto estratto sono stati utilizzati rispettivamente un trattore agricolo (marca Fiatagri, mod. 180-90, 8102 cm² di cilindrata e 132 kW di potenza motrice), presente in azienda e senza nessuna correlazione con l'aspetto dimensionale necessario per l'operatrice e un autocarro con volume del rimorchio di 15,3 m³.

Come osservato nelle precedenti esperienze con le prime versioni del prototipo, si indicava una potenza motrice minima del motore di 90 kW, per cui la macchina utilizzata può risultare sovradimensionata.

Prime considerazioni sul prototipo

Utilizzando il prototipo sopra descritto sono state eseguite 4 prove di estrazione consecutive variando leggermente le velocità di lavoro della macchina: da 13,6 a 23,3 m/ora.

Le prestazioni del prototipo sono state valutate misurando i tempi di lavoro, secondo i metodi standard di ASABE (ASABE Standards, 2006; ASAE

Standards, 2000), e i chilogrammi di materiale estratti in ogni prova.

La qualità del lavoro svolto dalla macchina è stata rilevata a ogni estrazione misurando le perdite sul terreno in corrispondenza di 3 aree: fronte di lavoro totale, lato intermedio e centro della macchina.

Dopo l'apertura, sono stati effettuati i campionamenti per determinare densità, distribuzione granulometrica e contenuto di umidità del prodotto stoccato così da poterlo classificare in base alla metodologia ufficiale proposta nelle specifiche tecniche del Comitato europeo di normalizzazione (TS/CEN). Per ogni prova, sono stati prelevati 9 campioni di biomassa così distribuiti: i primi 3 campioni a un'altezza di 50 cm da terra, altri 3 a 100 cm e gli ultimi 3 a 150 cm di altezza.

Nella stessa area di lavoro, inoltre, in una posizione casuale, sono stati prelevati 2 ulteriori campioni di 4 litri ciascuno per valutare la distribuzione delle particelle (UNI CES/TS 15149-1: 2006) e l'umidità del prodotto (UNI EN 14774-2:2010). I dati così raccolti sono stati sottoposti ad analisi ANOVA.

Per quanto riguarda le prestazioni di lavoro alle diverse velocità operative (tabella 1) le 4 prove di estrazione hanno registrato tempi di lavoro (da 215 a 436 s) e quantitativi di biomassa scaricata (da 5.300 a 7.100 kg) estremamente variabili, che hanno portato a una capacità di lavoro della macchina compresa tra 37,6 e 80,2 t/ora con limiti dovuti a ingolfamenti verificatisi in misura maggiore alle velocità di esercizio più elevate.

Le perdite di prodotto registrate, sempre inferiori all'1% della massa scaricata (dati non mostrati), sono attribuibili a fenomeni di adesività che si verificano intorno alle pareti del bag e che rendono difficile la completa pulizia dello stesso.

Importanti per il corretto funzionamento della macchina di scarico si sono rivelate anche le caratteristiche della biomassa campionata all'interno dei silo-bag che, in tutti i test eseguiti, ha fatto registrare una distribuzione granulometrica prevalente di piccole dimensioni (tra 1,3-7,9 mm), indice di una corretta impostazione del semovente utilizzato per la raccolta del mais prima dell'insaccamento, adeguata a favorire le operazioni di scarico.

Anche il quantitativo di umidità relativa registrato, pur essendo vicino al 65%, non ha causato problemi di

TABELLA 1 - Performance del prototipo alle diverse velocità di esercizio

	Test di estrazione			
	1	2	3	4
Lunghezza del silo-bag estratto (cm)	165	139	185	144
Tempo effettivo di estrazione (s)	436	215	365	331
Materiale estratto in totale (kg)	6.300	5.300	7.100	5.500
Velocità del prototipo (m/ora)	13,6	23,3	18,3	15,7
Tempi effettivi di lavoro (%)	96,7	90,3	70,2	62,2
Capacità effettiva in campo (t/ora)	50,3	80,2	49,2	37,6

Le 4 prove di estrazione hanno registrato tempi di lavoro (da 215 a 436 s) e quantitativi di biomassa scaricata (da 5.300 a 7.100 kg) estremamente variabili, che hanno portato a una capacità di lavoro della macchina compresa tra 37,6 e 80,2 t/ora con limiti dovuti a ingolfamenti verificatisi in misura maggiore alle velocità di esercizio più elevate.



Lo sviluppo di una versione funzionale del prototipo ha richiesto più di due anni di attività durante i quali la macchina è stata oggetto di diverse modifiche

plasticità e adesività durante il processo di estrazione (dati non mostrati).

Dai test eseguiti è emerso come il prototipo di macchina estrattrice testata, anche se utilizzata alla velocità meno elevata di circa 0,004 m/s, rappresenti una buona soluzione operativa per lo scarico di biomassa fresca dai silo-bag che potrebbe sostituire il sistema manuale tradizionalmente utilizzato aumentando le rese orarie di prodotto scaricato a valori prossimi alle 50 t/ora senza danneggiare lo stoccato e riducendo al minimo le perdite di prodotto dovute a errata movimentazione dello stesso.

L'estrattore, che presenta già una buona produttività in campo, sarà comunque ulteriormente perfezionato per terminare a breve la fase precommerciale.

**Alberto Assirelli
Irene Quacquarelli
Giuseppina Caracciolo
Enrico Santangelo**

*Consiglio per la ricerca in agricoltura
e l'analisi dell'economia agraria (CREA)
Roma*

Per commenti all'articolo, chiarimenti o suggerimenti scrivi a:
redazione@informatoreagrario.it

Per consultare gli approfondimenti e/o la bibliografia:
[www.informatoreagrario.it/
rdLia/17ia14_8854_web](http://www.informatoreagrario.it/rdLia/17ia14_8854_web)

Prototipo di estrattore per biomasse umide in silo-bag

BIBLIOGRAFIA

ASAE Standards (2000) - S495: Uniform terminology for agricultural machinery management. St. Joseph, Mich.

ASABE Standards (2006) -EP496.3: Agricultural machinery management. St. Joseph, Mich.

Barreto A.A., Abalone R., Gastón A., Bartosik R. (2013) - Analysis of storage conditions of a wheat silo-bag for different weather conditions by computer simulation. Biosystems Engineering. Vol. 116:4: 497-508.

Bartosik R., Navarro S., Banks H.J., Jayas D.S., Bell C.H. (2012) - An inside look at the silo-bag system. CAF Conference: 117-128.

Busato P., Berruto R., Cardoso L., Bartosik R. (2011) - Logistics and economics of grain harvest and transport system with the use of silobag. ASABE Annual Meeting Presentation 2011. Paper Number 1100023.

Gatti N. (2014) - Impacto económico de la Investigación y el Desarrollo del Silo Bolsa en Argentina. 1er Congreso Internacional de Almacenamiento de Granos en Silo Bolsa, 2014 : 15-34.

Gatti N. (2015) - Economic evaluation of innovation: the case of silobag. RIA, Revista de Investigaciones Agropecuarias, 2015. Vol. 41: 1.

Ochandio D.C., Cardoso L.M., Bartosik R.E., De la Torre D.A., Rodríguez J.C., Massigoge J. (2010) - Storage of canola in hermetic plastic bags. 10th International Working Conference on Stored Product Protection Julius-Kühn-Archiv, 425.

UNI CES/TS 15149-1:2006 Solid Biofuels - Determination of Particle size.

UNI EN 14774-2:2010 Solid Biofuels - Determination of Moisture Content.

L'INFORMATORE AGRARIO

www.informatoreagrario.it



Edizioni L'Informatore Agrario

Tutti i diritti riservati, a norma della Legge sul Diritto d'Autore e le sue successive modificazioni. Ogni utilizzo di quest'opera per usi diversi da quello personale e privato è tassativamente vietato. Edizioni L'Informatore Agrario S.r.l. non potrà comunque essere ritenuta responsabile per eventuali malfunzionamenti e/o danni di qualsiasi natura connessi all'uso dell'opera.