

• PROGETTO PILOTA PER LO STOCCAGGIO ALTERNATIVO DELLE SEMENTI

Poco ossigeno nel silo per conservare il frumento

Durante lo stoccaggio i cereali sono soggetti al rischio di degradazione di varia origine, alla quale si ovvia con trattamenti chimici e fisici spesso costosi e impattanti sulla qualità della granella. Controllare l'atmosfera dentro il silo può essere un'alternativa economica ed efficiente

di L. Ceccherini, C. Cantini,
G. Sani, M. Panicucci

I prodotti cerealicoli destinati al consumo umano e animale sono normalmente soggetti a una fase intermedia di stoccaggio post-raccolta attuata in grandi sili non stagni, dove permangono anche per molti mesi in attesa dell'invio alla molitura o agli utilizzatori finali.

Durante la fase di stoccaggio la massa cerealicola è soggetta a vari tipi di attacchi degradativi, biotici e abiotici, favoriti dal contatto con l'ambiente esterno e dalla presenza di aria stagnante o in lenta circolazione (Saucher, 1992) (vedi riquadro Fattori di degradazione del frumento insilato).

Tali degradazioni, di tipo seriale e a sviluppo esponenziale, provocano un'elevata perdita diretta (di massa) e indiretta (di qualità per accumulo di spoglie, prolifera-

zione di microrganismi e metaboliti tossici) e obbligano a trattare le derrate fin dal momento in cui vengono immesse nei sili in modo da bloccare tempestivamente i focolai di attacco (White, 1995).

Trattamenti fisici e chimici durante lo stoccaggio

Attualmente, per il trattamento delle masse di granaglie sono utilizzati metodi sia chimici che fisici (Champ *et al.*, 1989; Chang *et al.*, 1993; Foster *et al.*, 1992).

Il metodo chimico è il più diffuso e implica l'uso di fitofarmaci (insetticidi, fosfine, ecc.) che incidono negativamente sulla salubrità delle granaglie, dell'ambiente esterno e di lavoro.

La loro applicazione è stata limitata dalle normative in materia di igiene alimentare o di produzione integrata (Giunta regionale Toscana, 2002).

La reiterazione del metodo chimico nel tempo comporta inoltre lo sviluppo di ceppi di insetti resistenti alle fosfine e in generale alle sostanze attive degli agenti di trattamento (Daglish *et al.*, 2002; 2004; Price *et al.*, 1983).

Tra i metodi fisici, che non incidono sulla qualità e salubrità del prodotto, si annoverano l'atmosfera modificata con CO₂, l'insufflaggio con aria forzata e il trattamento a freddo.

Tali metodi sono caratterizzati da un alto costo di gestione e il terzo, pur controllando l'infestazione da insetti, non preserva da attacchi fungini. Un ulteriore metodo fisico di conservazione delle derrate alimentari è l'utilizzo dell'atmosfera controllata di azoto a basso tenore di ossigeno (O₂ ≤ 1% vol.).

L'utilizzo di azoto gassoso secco in qualità di asfissiante semplice permette di controllare contemporaneamente tutti i fattori di degradazione biotici (aerobi obbligati), oltre a stabilizzare il contenuto di umidità in equilibrio col grano a una data temperatura. L'azoto prodotto ha un *dew-point* (temperatura di rugiada) pari a -60 °C a 1 atm.

Allo scopo di studiare l'applicabilità su grande scala del metodo di conservazione in atmosfera controllata a basso tenore d'ossigeno, nel corso del 2004 la ditta Eurosider, che produce sistemi di gene-

razione di azoto *on-site*, ha presentato un progetto di ricerca in collaborazione con il Consorzio agrario provinciale di Grosseto giudicato meritevole di finanziamento da parte della Regione Toscana sulla linea Docup (vedi riquadro Finanziamenti alla ricerca industriale).

L'obiettivo finale di questa sperimentazione è la disinfezione e la conservazione nel lungo periodo di grandi masse di cereali a costo inferiore e a minore impatto ambientale di quello sostenuto per i trattamenti chimici normalmente impiegati evitando nel contempo deca-dimenti quali-quantitativi e di salubrità del cereale.

Materiali e metodi

La sperimentazione è stata effettuata presso il Consorzio agrario di Grosseto che ha messo a disposizione un silo metallico cilindrico verticale a fondo piano, formato da 16 virole ondulate zincate giunte a sovrapposizione e assemblate con bulloni passanti (foto 1).

Il silo (altezza totale = 17 m, altezza del cilindro = 14 m, diametro = 10 m, capacità = 1.200 m³) è stato sottoposto a modifiche strutturali che ne hanno permesso la tenuta stagna.

In particolare si è provveduto:

- alla sigillatura delle giunzioni e delle fessure mediante un prodotto elastomerico di particolari caratteristiche, idoneo al contatto con derrate alimentari;
- alla gommatura del fondo compresa la guarnitura delle bocche di scarico e dei boccaporti;
- a installare una valvola a tenuta con azionamento pneumatico da terra sul tubo di alimentazione del grano;
- a realizzare un sistema reticolare per la distribuzione dell'azoto sul fondo piatto;
- a proteggere il silo da sovrappressioni.

All'interno del silo è stata predisposta una rete di 10 sonde disposte in modo tale da rilevare valori puntuali, gradienti radiali e verticali di temperatura (°C), umidità relativa (%), concentrazione di ossigeno (%) con 3 livelli dal fondo e 3 distanze radiali dall'asse centrale.

Il sistema di sonde è stato collegato a un computer in grado di registrare le variazioni dei parametri in tempo reale.

La produzione di azoto è avvenuta mediante un impianto di frazionamento aria *on-site*: il sistema preleva aria dall'ambiente attuando la separazione tra

L'azoto gassoso immesso nel silo controlla i danni da fattori biotici e stabilizza l'umidità della granella

TABELLA 1 - Elenco delle analisi eseguite nelle fasi iniziale e finale della sperimentazione e relativi enti certificatori

	Fase iniziale	Fase finale	Ente certificatore	Metodo campionamento e analisi
Indagini di salubrità				
Analisi micologiche (%)				
<i>Alternaria</i> spp.	89,4 (85,6)	-	Ense (MI)	d.m. 23-12-2000
<i>Aspergillus niger</i>	0,05	-		
<i>Botrytis cinerea</i>	-0,5	-		
<i>Cladosporium</i> spp.	4,2 (5,3)	-		
<i>Duchslera sorokiniana</i>	0,05	-		
<i>Epicoccum</i> spp.	1,5 (6,5)	-		
<i>Fusarium</i> spp.	1,5 (0,7)	-		
Miceli sterili n.i.	3,5 (1,4)	-		
<i>Rhizopus</i> spp.	0,5 (0,5)	-		
<i>Stemphium botrosu</i>	0,5 (0,5)	-		
Analisi tossicologiche (mg/kg)				
Aflatossine totali (*)	assenti	assenti	Asl 9 (GR) Progetto natura (PO)	d.m. 23-12-2000 e succ. mod. dpr 327 del 26-3-1980 Metodo ufficiale del laboratorio
Zearalenone		assenti		
Das		assenti		
Fusarenone		assenti		
Neosolanolo		assenti		
Nivalenolo		assenti		
Tossina HT2		assenti		
Tossina T2		assenti		
Fumonissina B1		assenti		
Fumonissina B2		assenti		
Deossynivalenolo		assenti		
Analisi entomologiche (n.)				
Coleotteri	assenti	assenti	Ivalsa Cnr	Ista 1996
Lepidotteri	assenti	assenti		
Indagini di qualità				
Analisi chimico-fisiche				
Peso ettolitrico (kg/hL)	82,5 (0,59)	82,8 (0,7)	Toscana Cereali (SI)	Metodo ufficiale del laboratorio
Contenuto umidità (% s.s.)	11,1 (0,08)	11,0 (0,16)		
Contenuto sostanze azotate (% s.s.)	11,06 (0,09)	10,6 (0,19)		
Contenuto glutine (% s.s.)	7,86 (0,05)	7,7 (0,30)		
Difettosità (%)				
Chicchi volpati	1,97 (1,13)		Toscana Cereali (SI)	Metodo ufficiale del laboratorio
Chicchi spezzati	1,57 (0,33)			
Chicchi striminziati	3,77 (0,52)			
Cariossidi non completamente vitree	41 (3,56)			
Impurità totale	7,15 (0,66)			
Prove di germinazione	86 (1,6)	85 (2,6)	Ivalsa Cnr	Ista 1996

I dati rappresentano le medie dei campioni analizzati per ogni data; tra parentesi l'errore standard. (*) ppb/g.

ossigeno e azoto mediante un processo di permeazione selettiva su membrane. Dal processo si ottiene aria arricchita in ossigeno, subito reimpressa nell'atmosfera, e azoto distribuito a bassa pressione nel silo. Il ciclo dunque si chiude con la restituzione all'atmosfera dei componenti puri di partenza.

Tale impianto è stato installato dentro un container e allacciato alle tubazioni interne di distribuzione dell'azoto (foto 2). Il carico del silo, per un totale di 950 t

circa di grano duro, è durato 3 giorni e si è concluso il 7 luglio 2004.

La massa è stata campionata ai sensi del d.m. 23-12-2000. Le analisi merceologiche sono state effettuate dal laboratorio Toscana Cereali (Siena), quelle entomologiche e di purezza dall'Ivalsa (Cnr); la carica fungina è stata rilevata dall'Ente nazionale sementi elette (Ense), mentre la presenza di aflatossine e fusariotossine è stata calcolata rispettivamente dal Dipartimento di fitopatologia della Asl 9 Area grossetana e dai laboratori Progetto Natura (Prato). Nel maggio del 2005 si è conclusa la sperimentazione con lo svuotamen-

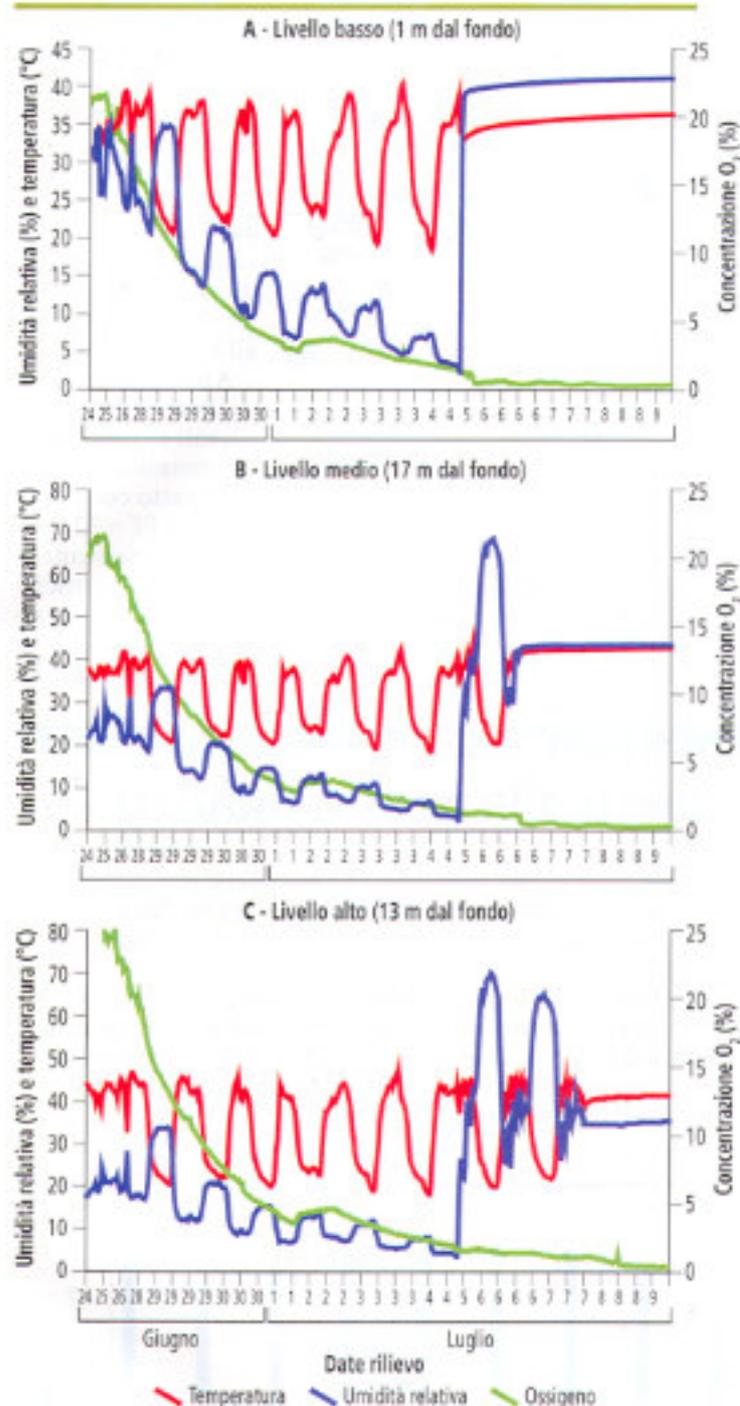


GRAFICO 1 - Andamento dei parametri fisici registrati durante la fase di insilaggio a tre differenti altezze dal fondo del silo

Il valore più alto di umidità relativa del periodo estivo è del 43% nella zona basale del silo (A), percentuale ampiamente inferiore a quella critica (70%) per l'insorgenza di micosi. La stabilizzazione della concentrazione di O₂ nel gas interstiziale della massa di cereali indica anche l'efficace distribuzione del flusso di azoto.

to completo del silo, il campionamento finale del frumento e il controllo della struttura.

Effetti dell'atmosfera controllata

I dati relativi al campionamento del grano in ingresso (tabella 1) hanno mostrato un contenuto di umidità piuttosto basso,

PROBLEMI DI CONSERVAZIONE

Fattori di degradazione del frumento insilato

I processi degradativi sono tra loro strettamente correlati e in genere difficilmente controllabili all'interno della massa. L'innesco è solitamente dato da attacchi di degradatori primari come particolari specie di insetti (punteruolo, cappuccino dei cereali, tignola del grano e trogoderma), che aprono la strada ad altri coleotteri (tribolii, silvano) e acari, i cosiddetti degradatori secondari (Suss, 2004), che, nutrendosi dei detriti lasciati dai parassiti principali (cariossi, polveri, grumi di farina, esuvie larvali), finiscono con il «co-infestare» insieme a quest'ultimi (a ogni stadio di sviluppo e con ripetuti cicli di riproduzione) l'intera massa. La degradazione ossidativa degli amidi per digestione è una reazione esotermica con produzione di calore, acqua e CO₂, aumenti locali di temperatura (hot spots) e di umidità nella massa circostante la zona infestata. A questo punto le condizioni ambientali diventano favorevoli all'insorgere di pericolose micosi dovute a spore di *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. e altri funghi, veicolate dagli stessi insetti o già presenti sul cereale dal campo. Agli attacchi di tipo biotico poi si associano quelli di tipo abiotico, provocati da fenomeni convettivi dell'aria calda carica di umidità dovuti a differenziali di temperatura all'interno della massa stessa. In inverno l'umidità tende a condensare alla sommità della massa e le cariossi formano quindi una crosta su cui proliferano insetti, muffe e batteri. Durante l'estate invece l'umidità si condensa sul fondo e al centro del silo. Questi fenomeni si accentuano nei silos tradizionali aperti nei quali l'ingresso dell'aria ambientale, talora satura di umidità, dalle pareti e dal cielo, accentua i gradienti di temperatura nella massa del grano favorendo così sia la migrazione sia la condensazione dell'umidità.

Per tutti i fattori anzidetti il grano, pur insilato con un contenuto di umidità ideale pari al 10-12%, rischia di andare fuori specifica.

con valori compresi nell'intervallo 8-13% p.f. L'Ense ha rilevato nel grano un carico di spore da campo piuttosto elevato (percentuale di semi sani < 0,9%) ma del tutto normale. Le specie identificate appartenevano per lo più ad *Alternaria* spp., che non è menzionata tra i ceppi pericolosi per i cereali. *Aspergillus* e *Fusarium* spp., al contrario, in condizioni di erroneo stoccaggio possono innescare la produzione di metaboliti tossici anche se presenti in piccole quantità.

I funghi da campo arrecano danno al seme qualora l'umidità relativa dell'aria raggiunga il 70-90% e il contenuto di umidità del grano (moisture content-MC) sia ≥ 18%.

I parametri di qualità del prodotto indicati in tabella 1 non sono ottimali, ma in linea con quelli medi dell'annata 2004 per la provincia di Grosseto.

In complesso il prodotto è molto vicino allo standard per specie e zona di produzione, rappresentativo

e quindi idoneo per la prova e per generalizzare i risultati ottenuti.

Temperatura, umidità e ossigeno

Durante la fase di insilaggio i parametri fisici (T, U.R., O₂) hanno presentato le variazioni di seguito descritte.

Temperatura. A silo vuoto la temperatura interna ha oscillato tra valori minimi e massimi notte/giorno, con punte massime superiori a quelle ambientali per effetto dell'irraggiamento solare sulla superficie del silo. Iniziato l'insilamento (5-7) il grano ha gradualmente sommerso le sonde termometriche, stabilizzando la temperatura sui valori dello stesso (circa 40 °C).

L'andamento piatto della temperatura nei vari punti segnala la copertura progressiva delle sonde ai vari livelli (grafico 1 A, B, C).

La temperatura media interna si è assestata entro un intervallo di 32 ± 9,3 °C per tutto l'arco della sperimentazione, con valori nelle parti periferiche molto più variabili (11,4-46,1 °C). Gli scarti medi tra parte prossimale e quella centrale sono sovrapponibili a quelli tra la parte basale e quella sommitale, cioè intorno a 10-11 °C.

Umidità relativa. A silo vuoto e con l'immissione di azoto secco l'umidità relativa è diminuita gradualmente assestandosi intorno al 5% circa con le usuali oscillazioni notte/giorno.

L'umidità emessa dal grano appena insilato ha poi fatto aumentare l'U.R. (umidità relativa) del gas sovrastante fino al 60-70%, mentre a livello più basso (grafico 1A) si è subito portata al valore, pressoché costante, di equilibrio col grano a quella temperatura (35-45%). Questi ultimi valori rimarranno pressoché costanti per tutta la durata della sperimentazione (10 mesi).

Concentrazione O₂. Dal momento in cui il grano ha sommerso le sonde la concentrazione di ossigeno nel gas interstiziale si è stabilizzata su valori prossimi a quello erogato dall'impianto (0,3-0,6%) a indicare l'efficace distribuzione del flusso di azoto pressoché «a pistone» (*plug flow*) all'interno della massa cerealicola.

Trattamento e conservazione

Successivamente alla fase di insilaggio l'impianto è entrato nella fase di trattamento/conservazione. I dati relativi ai parametri fisici (T, U.R., O₂) durante i primi quattro mesi (grafico 2) dimostrano come tutti i parametri, specialmente la concentrazione di azoto, si siano mantenuti rigo-

rosamente e cautelatativamente sui valori di trattamento previsti. Dopo che il primo campionamento di controllo (*tabella 1*) ha evidenziato la totale assenza di insetti e la perfetta conservazione del grano, si è focalizzata l'attenzione sul parametro U.R. per controllare le condizioni di insorgenza di funghi micotossinogeni e prevenirne lo sviluppo.

Per il contenuto di umidità del grano in ingresso, l'U.R. si è mantenuta a valori sfavorevoli all'insediamento di tali pericolosi funghi, obiettivo importante in relazione a quanto evidenziato dal rapporto dell'Ense.

Anche nelle zone critiche interne al silo il trattamento ha consentito la stabilizzazione del grano sia durante i mesi più caldi che quelli più freddi.

Il valore più elevato di U.R. durante il

periodo estivo è stato pari al 43% nella zona basale del silo. Tale valore non solo è ampiamente al di sotto della media stagionale (65-69%) o di quello critico per l'insorgenza di pericolose micosi (70%), ma

addirittura garantisce condizioni di stoccaggio estremamente sicure, essendo il valore di equilibrio con grano avente MC attorno all'11%.

Analogamente si osserva che durante il periodo invernale i parametri medi rilevati in corrispondenza delle superfici sommitale e periferica cioè quella a contatto con le pareti fino a 1 m dalle stesse (T = 32,5 °C con U.R. = 32,6%) sono ampiamente al di sotto dei sopracitati valori critici e permettono di conservare il grano all'equilibrio con un MC compreso tra il 9 e l'11%.

Dal primo campionamento di controllo si è evidenziata una perfetta conservazione del grano e l'assenza di insetti

I PIANI DOCUP

Finanziamenti alla ricerca industriale

I finanziamenti previsti nei piani Docup-Misura 1.8 Aiuti alla ricerca industriale e precompetitiva (www.docup.toscana.it) sono attivati dalla Regione Toscana e da altre Regioni italiane al fine di utilizzare i fondi europei per lo sviluppo del tessuto economico e produttivo locale.

Sono rivolti tra l'altro alla piccole e medie imprese artigiane e industriali per lo sviluppo di sistemi innovativi. Prevedono un finanziamento pubblico associato a un cofinanziamento da parte dell'azienda che presenta il progetto di ricerca innovativo. Ogni progetto viene implementato sotto l'egida di un organo di ricerca che controlla e valuta in modo indipendente metodi e risultati ottenuti dall'azienda.

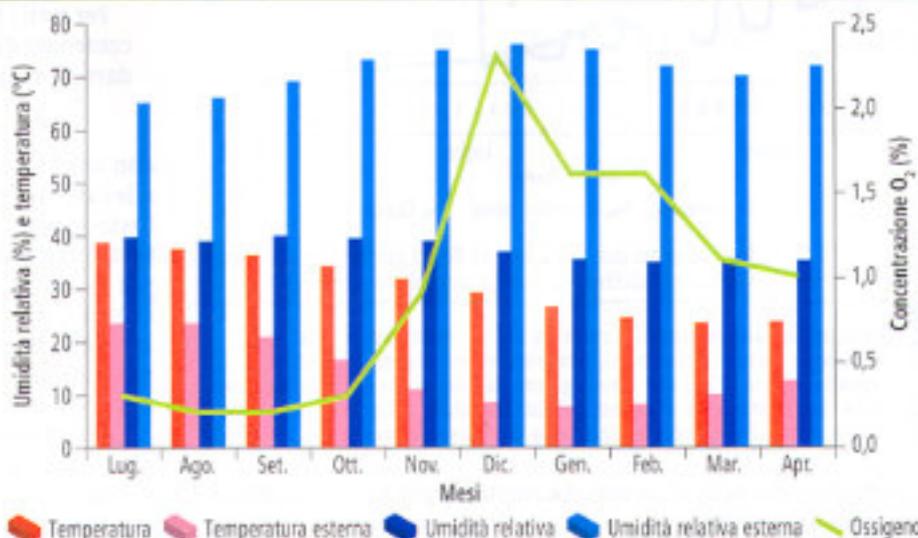


GRAFICO 2 - Valori medi mensili delle condizioni ambientali interne ed esterne al silo

In generale si nota come il trattamento abbia permesso una stabilizzazione nei parametri del grano sia durante i mesi più caldi che quelli più freddi.

Le oscillazioni di temperatura sono assimilabili a quelle riscontrabili in letteratura (Nguyen, 1986) senza i fenomeni di condensa a carico della parte basale (in estate) o sommitale (in inverno).

A loro volta temperatura e umidità in equilibrio non sembrano avere rappresentato un fattore di rischio all'interno del silo in quanto i valori rilevati anche nei punti critici non hanno mai raggiunto la soglia di pericolosità. L'azoto si è uniformemente distribuito ottemperando ottimamente alla sua funzione disinfestante (concentrazione $O_2 \leq 1\%$ vol.) e conservante ($O_2 \leq 5\%$ vol.).

Ottima metodologia per la conservazione

Le analisi eseguite in vari momenti e su tutta la massa allo svuotamento del silo permettono di affermare che non è avvenuto alcun fenomeno di alterazione dovuto ad attacchi da parte di funghi o insetti. Il prodotto, dopo quasi un anno dall'insilamento, è stato infatti normalmente collocato sul mercato superando tutti i controlli richiesti dai molini industriali.

Attraverso il metodo è stato quindi possibile:

- garantire una perfetta disinfestazione del grano;
- conservare il grano insilato in condizioni ottimali, secco e ben condizionato, senza adsorbimento di umidità;
- impedire l'ingresso a insetti o altri predatori;
- controllare le frazioni di grano più umide (13-14% MC al momento dell'insilamento);
- impedire la proliferazione di funghi, muffe e relativi metaboliti tossici (micotossine);
- garantire un impatto ambientale nullo, in quanto il sistema preleva aria dall'ambiente separando l'azoto dall'ossigeno e restituendo quest'ultimo in aria esterna come sottoprodotto;
- rientrare in un processo di filiera ad alto valore aggiunto, in quanto il disciplinare toscano di produzione integrata 2000-2006 relativo alla fase di post raccolta dei prodotti da agricoltura integrata (L.r. 25/99) ammette per la granella lo stoccaggio in atmosfera controllata;
- garantire la salubrità dell'ambiente di lavoro.

Il progetto pilota ha fornito alcune in-

Dopo una anno di insilamento in atmosfera controllata la granella ha superato tutti i controlli dei molini industriali



Container all'interno del quale è stato installato il generatore d'azoto impiegato nel trattamento del grano insilato

dicazioni sui costi di adeguamento del silo e di esercizio anche se il gruppo di frazionamento dell'aria è stato dimensionato in previsione di alimentare l'intero parco di sili adiacenti a quello oggetto di sperimentazione (tre in totale).

Gli aspetti economici, comunque interessanti rispetto ai sistemi di uso corrente, dovranno essere valutati di volta in volta in funzione dei tempi, dei volumi di stoccaggio e delle condizioni dei sili oggetto di intervento. Tenendo conto di dover riempire tutto il volume interno non occupato dal grano, il condizionamento e il

mantenimento con azoto a basso tenore di ossigeno all'interno di sili sufficientemente stagni, come nel nostro caso, richiedono un consumo totale d'azoto per l'intero ciclo dell'ordine di 20 m³/t, pari a 10 kWh/t.

Per ottenere questi consumi di azoto è ovviamente necessario porre particolare attenzione alla sigillatura del silo a livello di fasciame, fondo, aperture per immissione, uscita e ispezione e di asservire l'erogazione al valore di O_2 ritenuto ottimale per il trattamento-conservazione.

Il sistema di conservazione sperimentato con esito positivo può essere sicuramente applicato anche ad altri cereali destinati all'alimentazione, con conse-

guente aumento del loro valore aggiunto in quanto privi di trattamenti chimici post-raccolta.

Potrebbe essere quindi un ottimo metodo per la conservazione delle derrate delle filiere agroalimentari a produzione biologica o integrata. È necessario sottolineare come la sperimentazione e i relativi risultati riguardano un solo anno, peraltro non caratterizzato da eventi atmosferici anomali, e quindi favorevole alla coltura.

Il Consorzio agrario sta attualmente conservando nello stesso silo e con la stessa metodologia grano duro prodotto durante il 2005 in modo da verificare i positivi risultati realizzati con il progetto.

Laura Ceccherini
consulente
lceccherini@tiscali.it

Claudio Cantini, Graziano Sani
Massimo Panicucci

Ivalsa-Cnr Azienda agraria sperimentale
S.Paolina, Follonica (Grosseto)
cantini@ivalsa.cnr.it

Si ringrazia la Regione Toscana, Linea Docup Misura 1.8 Aiuti alla ricerca industriale e precompetitiva, Ottavio Milli, Eurosider sas - Grosseto (www.eurosider.com), il Consorzio agrario e l'Associazione industriali di Grosseto, Franco Ceccherini per il prezioso apporto tecnico durante la realizzazione delle modifiche al silo e Alessandra Betti per l'assistenza durante le fasi di controllo.

La bibliografia sarà consultabile sul sito Internet all'indirizzo:

www.informatoreagrarario.it/bancadati