

**STOCCAGGIO**

# Sistemi di CONTROLLO della PRESSIONE per SILI industriali di stoccaggio - Parte prima

Risposte dell'innovazione tecnologica alla normativa  
vigente e futura

*Pressure control systems for industrial silos.  
Part one - Technical solutions to the present and future legislation in force*

Parole chiave: tutela dell'ambiente, sicurezza e normativa, innovazione di processo e di prodotto, convenienza economica

*Keywords: environmental protection, safety and legislation, process and product innovation, cost-effectiveness*

ALESSANDRO RAGAZZONI<sup>1\*</sup> - DAVIDE PAPAZZONI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Economia e Ingegneria agrarie - Università di Bologna -  
Viale Fanin 50 - 40127 Bologna - Italia

<sup>2</sup>Divisione Valvole - Wamgroup - Via Cavour 338 - 41030 Ponte Motta Cavezzo - MO - Italia

\*alessandro.ragazzoni@unibo.it

## SOMMARIO

Il presente lavoro di ricerca intende focalizzare l'attenzione su uno degli aspetti più importanti e complessi della sicurezza nell'ambito dello stoccaggio delle polveri: i differenti gradi di rischio di sovrappressione e depressioni che possono verificarsi nei silo con o senza sistemi di filtrazione. A tal proposito, in questa rivista vengono presentati tre contributi collegati tra loro in modo sequenziale, nei quali si approfondiranno aspetti normativi, tecnici ed economici. In questo primo contributo, l'attenzione è rivolta alle principali soluzioni che possono essere adottate per il controllo di pressione in fase di caricamento e di svuotamento del silo, nel rispetto delle normative vigenti. Durante la fase di riempimento, all'interno del serbatoio, si ha una separazione delle due fasi: mentre la parte solida si deposita nel silo, l'aria deve essere evacuata. Un eccessivo innalzamento della pressione all'interno del contenitore può portare al rigonfiamento del silo, con conseguenti danneggiamenti strutturali dello stesso, o al limite alla sua esplosione con effetti molto gravi per persone, strutture ed ambiente. Allo stesso modo, una rapida variazione di pressione durante la fase di svuotamento del contenitore può portare all'implosione, determinando elevati livelli di rischio analoghi ai precedenti.

## ABSTRACT

The present study focuses on one of the most important and complex aspects regarding the safety on powdery material storage: the different over-pressure and negative pressure risk degree that may occur inside silos provided or not with dust collecting systems. In this regard it has been carried out a three-part study, which offer insights concerning legislative, technical and economic aspects.

The first part of the study is focused on the main solutions to be adopted for pressure control during silo filling or emptying, according to the standards in force. During the feeding phase, inside the tank the two phases will separate: while the solid part is filled in the silo, the air has to be evacuated; an excess of pressure inside the tank can bring to an expansion of the silo diameter, which will damage its structure, or make it explode with very serious consequences for persons, structures and environment. Similarly, a rapid pressure variation during the silo emptying phase could cause an implosion, which implies the same high risks as the previous situation.

## INTRODUZIONE

In questo lavoro di ricerca è stato preso in considerazione uno degli aspetti più importanti e complessi della sicurezza nell'ambito dello stoccaggio delle polveri nelle diverse forme e per comparti industriali differenti. In particolare, sono stati studiati i gradi di rischio di sovrappressione e depressione che possono verificarsi nei silo con o senza sistemi di filtrazione. A tal proposito, il lavoro è suddiviso in tre articoli collegati tra loro, nei quali vengono approfonditi i seguenti temi:

- Parte 1 - Aspetti tecnici ed impiantistici, relativi alle specifiche progettuali dei sistemi complementari di controllo e di sicurezza;
- Parte 2 - Aspetti normativi di inquadramento dei vincoli che l'imprenditore deve rispettare a livello europeo e nazionale;
- Parte 3 - Aspetti economici, per verificare quali siano i vantaggi in termini monetari nell'applicazione di distinti sistemi di sicurezza nei silo di stoccaggio di polveri.

Va premesso che il silo di stoccaggio è un recipiente, con capacità e dimensioni variabili secondo le esigenze, e che le materie prime possono essere di varia natura: organica oppure inorganica, a morfologia costante o variabile, tutte con pesi specifici molto differenti (**figg. 1 e 2**). Ad esempio, un impianto per la produzione di biscotti avrà silo per farina e zucchero, mentre uno per la produzione di vetro avrà la necessità di stoccare carbonato di sodio, feldspati, borace ed altri ancora; per la produzione di calcestruzzo, si devono immagazzinare cemento e ceneri.

I silo sono normalmente di forma circolare, realizzati in acciaio al carbonio verniciato, in alluminio, ovvero in acciaio inox, qualora vi siano internamente prodotti per utilizzo alimentare o prodotti chimicamente aggressivi. Il riempimento può essere eseguito attraverso

un sistema meccanico o pneumatico (quest'ultimo è attualmente il sistema più adottato), utilizzando autocisterne idonee per il trasporto delle polveri. La cisterna è pressurizzata e, una volta aperta la valvola, la pompa permette il trasferimento di un fluido, composto da aria e polvere, verso il silo. L'apertura e la regolazione della valvola, durante la fase di riempimento, sono di responsabilità dell'autista della cisterna, che, con la propria esperienza, deve provvedere al completo svuotamento della stessa dal carico di materiale inerte ovvero organico quali gli sfarinati. Ai fini dello studio non è importante la precisa caratterizzazione di quale prodotto sia oggetto di carico/scarico dal silo; tuttavia, si farà riferimento in particolare ai materiali di natura organica quali sfarinati di cereali (**tab. 1**).

---

## OBIETTIVI

In questo primo contributo, l'attenzione è rivolta alle principali soluzioni che possono essere adottate per il controllo di pressione in fase di caricamento e di svuotamento del silo, nel rispetto delle normative vigenti.

Durante la fase di riempimento, all'interno del serbatoio si ha una separazione delle due fasi: mentre la parte solida si deposita nel silo, l'aria deve essere evacuata; un eccessivo innalzamento della pressione all'interno del contenitore può portare al rigonfiamento del silo, con conseguenti danneggiamenti strutturali dello stesso, o in situazione limite alla sua esplosione con effetti molto gravi per persone, strutture ed ambiente.

La fase maggiormente critica dell'intero processo risulta essere quella di fine caricamento in cui la portata di sfarinati risulta essere molto inferiore rispetto a quella dell'aria: la pressione, infatti, passa da 1,2-1,5 bar a

pressione atmosferica, con conseguente incremento della velocità dell'aria. È in questo momento che è possibile avere un rapido innalzamento della pressione interna al silo, comportando un incremento di rischio per la struttura e per le componenti accessorie e complementari dell'impianto di stoccaggio. Allo stesso modo, una rapida variazione di pressione durante la fase di svuotamento del contenitore può portare ugualmente all'implosione, determinando elevati livelli di rischio per gli addetti, per le strutture dell'impianto e per l'ambiente (Colombo, 2001).

---

## INQUADRAMENTO NORMATIVO E NORME DI SICUREZZA

Con il termine emissione si definisce una qualsiasi sostanza solida, liquida o gassosa introdotta nell'atmosfera proveniente da un impianto che possa produrre inquinamento atmosferico. Per tale problema, da diverso tempo, esistono normative o leggi che regolano i vari aspetti tecnici e funzionali, in merito ai dispositivi di controllo della pressione da adottare sugli impianti. Si ricordano le principali:

- UNI/ISO 8456: uniche in Italia a trattare tale argomento; è la versione in lingua italiana della norma ISO ed è adottata senza varianti. Prescrive, a completamento delle regole di sicurezza generali, elementi per apparecchiature di stoccaggio di grandi quantità di materiali sfusi, quali tramogge, serbatoi, sili, contenitori e saracinesche;

- DIN 4119: norme di progettazione per il capitolo "serbatoi fuori terra";

- UNI EN ISO 4126-4-2006: la norma indica i requisiti generali per le valvole di sicurezza indipendentemente dal fluido per il quale sono state progettate. Essa si applica alle valvole di sicurezza che hanno un diametro di





Fig. 1 - Esempi di sili di stoccaggio per polveri e granuli.



Fig. 2 - Sistemi di carico dei sili.

#### Tabella 1 - Definizione degli sfarinati di cereali (Fonte Italmopa).

L'Italmopa (Associazione industriali mugnai d'Italia) propone la seguente definizione per caratterizzare gli sfarinati:

**Farina di grano tenero** è il prodotto ottenuto dalla macinazione e conseguente vagliatura del grano tenero liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità.

**Farina integrale di grano tenero** è il prodotto ottenuto direttamente dalla macinazione del grano tenero liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità.

**Semola di grano duro** o semplicemente semola è il prodotto granulare a spigolo vivo ottenuto dalla macinazione e conseguente vagliatura del grano duro, liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità.

**Semolato di grano duro** o semplicemente semolato è il prodotto ottenuto dalla macinazione e conseguente vagliatura del grano duro liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità, dopo l'estrazione della semola.

**Semola integrale di grano duro** o semplicemente semola integrale è il prodotto granulare a spigolo vivo ottenuto direttamente dalla macinazione del grano duro liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità.

**Farina di grano duro** è il prodotto non granulare ottenuto dalla macinazione e conseguente vagliatura del grano duro liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità.

passaggio utilizzabile uguale o maggiore di 6 mm per pressioni di taratura di 0,1 bar o maggiori. Non è prevista nessuna limitazione per la temperatura;

- EN 617: la presente norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 617:2001 (del dicembre 2010). Fornisce i requisiti tecnici per minimizzare i pericoli che possono verificarsi durante il funzionamento e la manutenzione delle apparecchiature di immagazzinamento di prodotti sfusi in sili, in serbatoi, nei recipienti e nelle tramogge;

- Normativa sull'inquinamento degli impianti industriali emanata con D.P.R. del 24 maggio 1998 n. 203; riguarda l'attuazione delle Direttive CEE numeri 80/779, 82/884, 84/360 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'articolo 15 della Legge 16 aprile 1987, n. 183;

- Art. 674 del Codice Penale: getto pericoloso di cose. "Chiunque getta o versa, in un luogo di pubblico transito o in un luogo privato, ma di comune o di altrui uso, cose atte a offendere o imbrattare o molestare persone, ovvero, nei casi non consentiti dalla legge, provoca emissioni di gas, di vapori o di fumo, atti a cagionare tali effetti, genera reato";  
- D.P.R. 19 marzo 1956, n. 303 - Norme generali per l'igiene del lavoro (G.U. 30 aprile 1956, n. 155) (Aggiornato con le modifiche apportate dal D.Lgs 19 settembre 1994, n. 626; dal D.Lgs 19 marzo 1996, n. 242, e dal D.Lgs 2 febbraio 2002, n. 25).

In particolare, per l'aspetto legato alle emissioni occorre considerare anche quanto sotto riportato:

- il D.Lgs 152/06 prevede che, per particolari tipologie di attività o impianti, l'Autorità Competente emani provvedimenti di autorizzazione di carattere generale per le emis-

sioni in atmosfera. Tali attività sono definite "attività in deroga" secondo l'art. 272 commi 2 e 3 del D.Lgs 152/06;

- la DGR 8832/08 (Regione Lombardia) formula le linee guida per le autorizzazioni in via generale per gli impianti in deroga, secondo quanto previsto dall'art. 272 commi 2 e 3 del D.Lgs 152/06;

- il decreto Dds 532/09 del dirigente della Struttura Prevenzione Inquinamento Atmosferico ed Impianti della D.G. Qualità dell'Ambiente approva gli allegati tecnici relativi alle autorizzazioni in via generale per le attività in deroga elencate nella DGR 8832/08, in attuazione a quanto disposto dalla DGR 8832/08.

- il Decreto del dirigente di struttura n. 8213 del 6 agosto 2009 sostituisce il precedente Decreto n. 532, relativamente alle autorizzazioni generali per attività in deroga, riproponendo gli allegati tecnici delle autorizzazioni generali.

In accordo con il D.Lgs 152/06, la Regione Lombardia ha semplificato, per una specifica serie di impianti a ridotto inquinamento atmosferico, la procedura di autorizzazione all'emissione, definendo i requisiti minimi connessi alle migliori tecnologie disponibili. In questo modo si è definito, proponendo un caso esemplificativo, che in un impianto di produzione di calcestruzzo (Allegato tecnico n. 23), se le tecniche di abbattimento per il carico dei sili corrispondono alle tipologie DMF01 o DMF02, il limite di emissione delle polveri si intende rispettato.

Alla data del presente contributo, non rientra nelle procedure normative alcuna specifica progettuale relativa alle valvole di controllo pressione e ai sili, se non quella emanata dalla Regione Lombardia. Si auspica che anche altre Regioni seguano il citato esempio, proprio per l'importanza del tema trattato in termini di sicurezza per gli operatori e per l'ambiente. Pertanto, per quanto esposto,

si evince che raramente i silos sono costruiti come veri e propri contenitori in pressione, principalmente per questioni di costo e di certificazioni non cogenti quali, ad esempio, la P.E.D. (Pressure Equipment Directive) (Boral Concrete Australia, 2004).

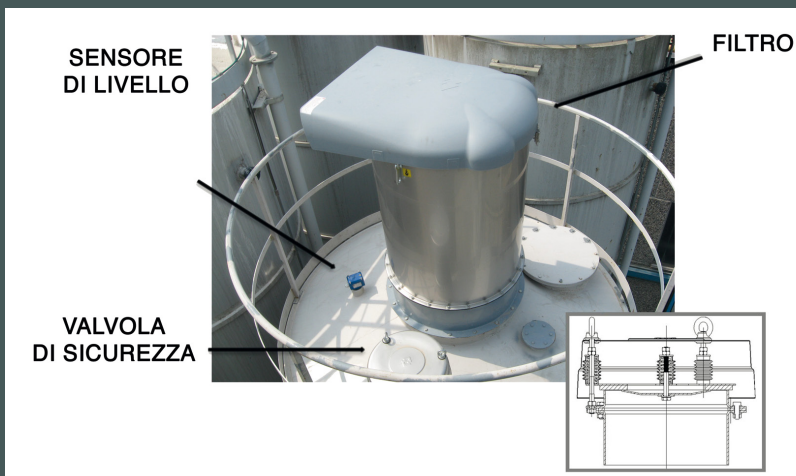
## SOLUZIONI TECNICHE UTILIZZATE NEGLI IMPIANTI

Il tetto dei silos, dal punto di vista progettuale, può essere dotato anche solo di un'apertura che consenta lo sfiatione dell'aria a "cielo aperto" o, in alternativa, ma con altrettanta efficienza e sicurezza, di tubi di sfiatione di diametro variabile. Essendo il sistema aeriforme ancora carico di particelle di polvere, una semplice apertura comporterebbe lo sfiatione non solo dell'aria, ma anche l'emissione in atmosfera del contenuto (polveri/sfarinati) e la possibilità che il prodotto venga a contatto con fattori esterni (pioggia, batteri, umidità, ecc.). In ottemperanza al quadro normativo descritto in precedenza, questo

approccio progettuale risulta essere una strada non percorribile e, soprattutto, di non rispetto della tutela dell'ambiente. La soluzione tecnica convenzionale ed adottata normalmente è, quindi, quella di installare una serie di componenti studiati, dimensionati e realizzati in accordo con il processo ed i prodotti dell'impianto di stoccaggio. In particolare, occorre un adeguato sistema di abbattimento delle polveri che permetta il rilascio dell'aria, ma che trattiene le stesse, al fine di evitare emissioni dannose in atmosfera. È uso comune installare alcuni dispositivi di controllo della pressione sulla parte superiore dei silos (**fig. 3**) per i seguenti motivi:

- minore consumo energetico (raggiungendo perdite di carico inferiori);
- possibile recupero diretto del materiale all'interno del silo;
- assenza di perdita di materiale pericoloso ed inquinante.

I sistemi di abbattimento devono essere in grado di lasciare passare l'aria e, allo stesso tempo, trattenere le polveri. Nel caso in cui l'aria abbia difficoltà ad attraversare il siste-



**Fig. 3 -**  
Sistemi  
di sicurezza  
dei silos.



ma di filtrazione, la pressione interna del silo cresce, vanificando l'impiego del filtro.

Da osservazioni e rilevazioni dirette in un campione di impianti è stato, infatti, dimostrato sperimentalmente che in un silo di normale costruzione la pressione interna, durante le ultime fasi di svuotamento e pulizia della cisterna, aumenta di circa 15-20 volte, in un tempo di poco superiore a 5-10 secondi. Il valore raggiunto di circa 1.000 mm H<sub>2</sub>O è, per i silos di normale costruzione, di per sé già una pressione preoccupante. Pertanto, è necessario un rapido riequilibrio della pressione difficilmente ottenibile attraverso gli attuali sistemi filtranti, specialmente nel caso in cui (Palrner, 1973):

- non sia corretto il dimensionamento dei sistemi di controllo;
- i processi di manutenzione dei sistemi coinvolti non siano adeguati;
- si verifichi poca attenzione da parte dei vettori o degli operatori addetti al carico del silo.

Per ovviare alle citate problematiche, è obbligatorio installare un dispositivo di controllo della pressione che intervenga qualora si prospetti una situazione di rischio. Tale accorgimento è denominato valvola di controllo pressione, detta PRV dall'acronimo inglese Pressure Reliefe Valve (Hauert *et al.*, 1996).

Nel caso in cui la pressione interna del silo raggiunga un valore limite, sia in termini positivi che negativi, la valvola si deve aprire e permettere l'evacuazione/introduzione di aria, con una conseguente e collegata emissione in atmosfera di materiale polveroso, condizione verificata nel caso di funzionamento in sovrappressione. Un sistema di caricamento polveri adeguato, quindi, deve lasciare passare l'aria e allo stesso tempo trattenere il materiale, evitando l'aumento di pressione interna del silo durante la fase di carico.

Qualora il silo sia dotato di adeguati componenti (filtro, sensore di livello e valvola di ripristino pressione), la possibilità di eventuali emissioni negative e impattanti sull'ambiente avviene in uno o nella concomitanza dei seguenti casi:

- a) intasamento del filtro: è generalmente causato dall'invecchiamento dei suoi elementi filtranti; la relativa durata temporale delle parti del sistema dipende dal materiale di costruzione, dalla geometria, dalla polvere che li attraversa, dalle condizioni d'impiego, ecc.;
- b) carico improprio del silo: questa azione dipende spesso dall'operatore che gestisce lo svuotamento della cisterna. Durante la fase di carico, se si utilizzano pressioni elevate (superiori a 1,5 bar) la quantità di aria che deve attraversare il filtro è maggiore di quella di progetto e, pertanto, la pressione interna determina l'apertura della valvola PRV;
- c) utilizzo di filtri non idonei: l'impiego di filtri idonei all'applicazione ed alle polveri utilizzate è essenziale per evitare aperture frequenti della valvola di sovrappressione.

Le frequenti aperture delle valvole non previste generano molteplici problemi (**fig. 4**):

emissione di polvere in atmosfera, con conseguente violazione delle norme in materia di tutela dell'ambiente;

perdita di prodotto, con conseguente aggravio di costi per la manutenzione e la pulizia delle aree circostanti le emissioni;

incremento della manutenzione dei vari componenti, che devono essere puliti da eventuali depositi per non diminuire l'efficacia di funzionamento.

Proprio su tali criticità la ricerca industriale si sta concentrando per produrre sistemi di controllo delle pressioni dei silos idonei per rispettare sia la normativa di riferimento, sia per proporre alternative in grado di consentire all'impresa di contenere i costi di gestione

Impianto di stoccaggio sfarinati



Condizioni della valvola di controllo pressione nelle fasi di carico e di scarico dell'impianto



**Fig. 4** - Effetti di funzionamento non corretto dei sistemi di sicurezza.

degli impianti di stoccaggio; sono determinanti, infatti, gli interventi di pulizia ordinaria e di manutenzione dei silos, indispensabili per evitare situazioni di rischio e di inconvenienti non sostenibili, pur tuttavia divenendo un fattore di costo rilevante per l'impresa. In tale ottica nella seconda parte di questo lavoro - che verrà pubblicata nel prossimo numero di *Tecnica Molitoria* - saranno presentate in dettaglio alcune soluzioni tecniche innovative, corredate da un'approfondita analisi economica a livello ambientale e di costi di impresa che ha lo scopo di porre in luce i vantaggi nell'adottare tali nuovi sistemi di controllo pressione dei silos di stoccaggio (Wamgroup, 2011).

*Lavoro svolto nell'ambito di un progetto di ricerca tra Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie della Facoltà di Agraria di Bologna e Wamgroup*

## BIBLIOGRAFIA

- Boral Concrete Australia. "Engineering and Maintenance Guideline" 21 April New Berries, Victoria, Australia, 2004.
- Colombo G. "Manuale dell'ingegnere", Ulrico Hoepli (Milano), 2001.
- Environment Protection Authority State Government of Victoria-Australia. "Environmental guidelines for the concrete batching industry", 6 February 2004.
- Hauert F., Vogl A., Radandt S. "Dust cloud characterization and its influence on the pressure-time-history in silos". *Process Safety Progress*, 115:178-184, 1996.
- Norme UNI ISO 8456.
- Norme DIN 4119.
- Norma EN 617:2001 (dicembre 2010).
- Palmer K.N. "Dust explosion and fire", London Chapman and Hall, Londra, 1973.
- UNI EN ISO 4126-4-2006.
- Wamgroup. "Manuale di uso e manutenzione per valvole di controllo pressione VCP e VHS", Cavezzo, MO, dicembre 2011.