

STOCCAGGIO

Sistemi di CONTROLLO della PRESSIONE per SILI industriali di stoccaggio - Parte seconda

Analisi dei vantaggi per l'impresa e per l'ambiente

***Pressure control systems for industrial silos.
Part two - Analysis of the benefits for the company and the environment***

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^{1*} - DAVIDE PAPAZZONI²

¹Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie - Università di Bologna - Viale Fanin 50 - 40127 Bologna - Italia

²Divisione Valvole - Wamgroup - Via Cavour 338 - 41030 Ponte Motta Cavezzo - MO - Italia

*alessandro.ragazzoni@unibo.it

SOMMARIO

Questa seconda parte dello studio condotto sull'efficienza delle valvole di controllo della pressione dei silos pone in evidenza alcuni elementi innovativi di processo e di prodotto che possono essere adottati dalle imprese per rispettare la normativa attuale e contenere i costi di gestione e di manutenzione degli impianti di stoccaggio di polveri/granulati.

Per risolvere i problemi generati dai cambiamenti di pressione all'interno dei silos è necessario installare un dispositivo di controllo che intervenga qualora si prospetti una situazione di rischio. La valutazione della convenienza ad adottare i sistemi di controllo della pressione ha proposto un adattamento del tradizionale modello di analisi matriciale SWOT. In particolare, in questo lavoro vengono approfonditi gli elementi relativi ai fattori endogeni dell'impresa, strutturando il modello di valutazione secondo giudizi che per fattori impiantistici, gestionali ed economici pongono a confronto un sistema di valvole di controllo e di sicurezza tradizionale ed uno innovativo.

ABSTRACT

The second part of the study regarding the effectiveness of the pressure control valves on silos highlights those innovative process and product-related elements that the companies can adopt to follow the present standards and lower the management and maintenance costs of powdery and granular materials storage plants.

The solution to pressure fluctuation inside the silos is represented by installing a controlling device which has to intervene in case of risk.

The evaluation of the pressure control systems convenience brings to an adaptation of the traditional SWOT matrix analysis. In particular, it is here reported a deep analysis of those elements related to endogenous factors, carried out by structuring the evaluation model on values that compare an innovative pressure control valve system to a traditional one as regards plant-related, management and economic factors.

INTRODUZIONE

La seconda parte di questo studio condotto sull'efficienza delle valvole di controllo della pressione dei silos pone in evidenza alcuni elementi innovativi di processo e di prodotto che possono essere adottati dalle imprese per rispettare la normativa attuale e contenere i costi di gestione e di manutenzione degli impianti di stoccaggio di polveri e di sfarinati di natura diversa (per approfondimenti sugli aspetti giuridici e tecnici si veda la prima parte dell'articolo pubblicato nello scorso numero di *Tecnica Molitoria*). Il presente contributo intende approfondire alcuni aspetti di soluzioni tecniche proposte per controllare i differenti gradi di rischio di sovra-pressione e di depressione che possono verificarsi nei silos con o senza sistemi di filtrazione.

Per risolvere i problemi generati dai cambiamenti di pressione all'interno dei silos - che possono risultare molto pericolosi sia per gli operatori, sia per l'ambiente circostante -, è necessario installare un dispositivo di controllo che intervenga qualora si prospetti una situazione di rischio dovuta al cambiamento della pressione interna. Tale strumento è denominato valvola di controllo della pressione PRV, dall'acronimo inglese Pressure Relieve Valve. Da un punto di vista tecnico, la valvola è un dispositivo di ripristino delle condizioni di normale funzionamento e come tale dovrebbe intervenire raramente o solo in casi di anomalia del sistema. Sebbene teoricamente il numero di interventi previsti debba essere limitato, sempre più spesso negli impianti produttivi si osserva l'entrata in funzione del dispositivo durante la parte finale di ogni caricamento; in questo preciso momento, gli operatori dei vettori scaricano l'aria contenuta nella cisterna all'interno del silo e l'assenza

di un vincolo normativo consente tale procedura che genera problemi all'integrità dell'impianto, dell'ambiente e delle persone. Da rilievi effettuati sul campo, si verifica empiricamente quanto sostenuto e si riportano alcuni dati, dai quali si evidenzia il livello della pressione nel silo durante la fase di caricamento (**fig. 1**); si può osservare come nella fase finale di carico del silo (gli ultimi minuti nella parte destra della figura), la pressione comincia a crescere, fino ad eccedere oltre il limite nelle ultime fasi. La valvola di controllo della pressione rimane aperta per circa due minuti nella fase finale di carico, emettendo sia aria, sia materiale polverulento. Da alcune rilevazioni sperimentali effettuate su impianti non correttamente gestiti, sono emersi dati di perdita media di prodotto di circa 2÷3 kg per ogni carico effettuato, con conseguente emissione in atmosfera di materiale di natura organica ed inorganica.

Se tale pratica di gestione di carico e scarico degli impianti di stoccaggio si considera ordinaria, la valvola oggetto della ricerca può essere una possibile fonte inquinante, essendo la condizione di emissione in atmosfera costante e ripetitiva durante la maggior parte dei carichi dei silo. Come previsto dalla normativa in vigore, tali emissioni devono essere convogliabili e - dove tale indicazione non è tecnicamente attuabile - controllate in accordo con quanto previsto dalla legislazione vigente.

Pertanto, per le ipotesi assunte, la corretta scelta del tipo di valvola determina il grado di sicurezza ed il tipo di emissioni che si genereranno dall'impianto. Nelle applicazioni in cui sono movimentate polveri/granulati o sfarinati, si fa uso di dispositivi ad "azione diretta", che si basano su diversi tipi di funzionamento, nello specifico si ricordano:

- valvole a contrappeso; di ormai obsoleta concezione, sono state eliminate dal mercato a seguito delle innumerevoli problematiche tecniche e di contaminazione ambientale: il problema maggiore riscontrato risulta essere la mancanza del funzionamento in depressione;

- valvole con funzionamento a molla;

- valvole con funzionamento mediante "pilota".

Queste due tipologie vengono descritte qui di seguito con maggior dettaglio, per la loro attuale applicazione.

VALVOLE CON FUNZIONAMENTO A MOLLA

Tra le diverse tipologie di valvole di controllo, quelle che trovano attualmente particolare diffusione sono i dispositivi con funzionamento a molla (**fig. 2**), ritenuti il miglior compromesso tra prestazione e prezzo. La loro installazione deve essere accuratamente valutata per garantire alcuni importanti risultati operativi relativi a: funzionamento, dimensionamento e particolari costruttivi.

Funzionamento

Il funzionamento può essere in pressione e in depressione:

quando in fase di carico pneumatico del silo la pressione aumenta all'interno, superando il valore di taratura della VCP, il disco della valvola si alza permettendo la fuoriuscita del fluido in pressione;

quando in fase di svuotamento del silo si genera una depressione all'interno, superando il valore di taratura della valvola, il piattello si abbassa permettendo l'entrata di aria

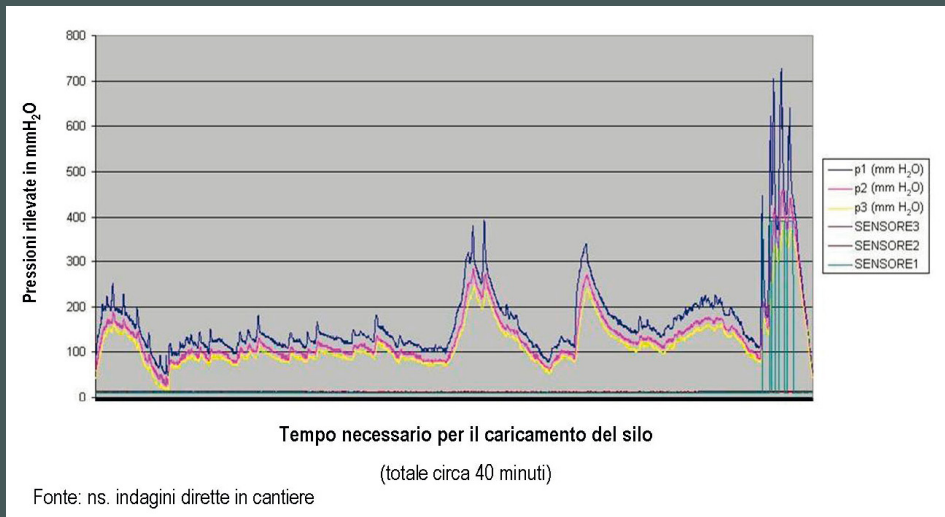


Fig. 1 - Dinamica della pressione interna ad un silo durante la fase di caricamento.

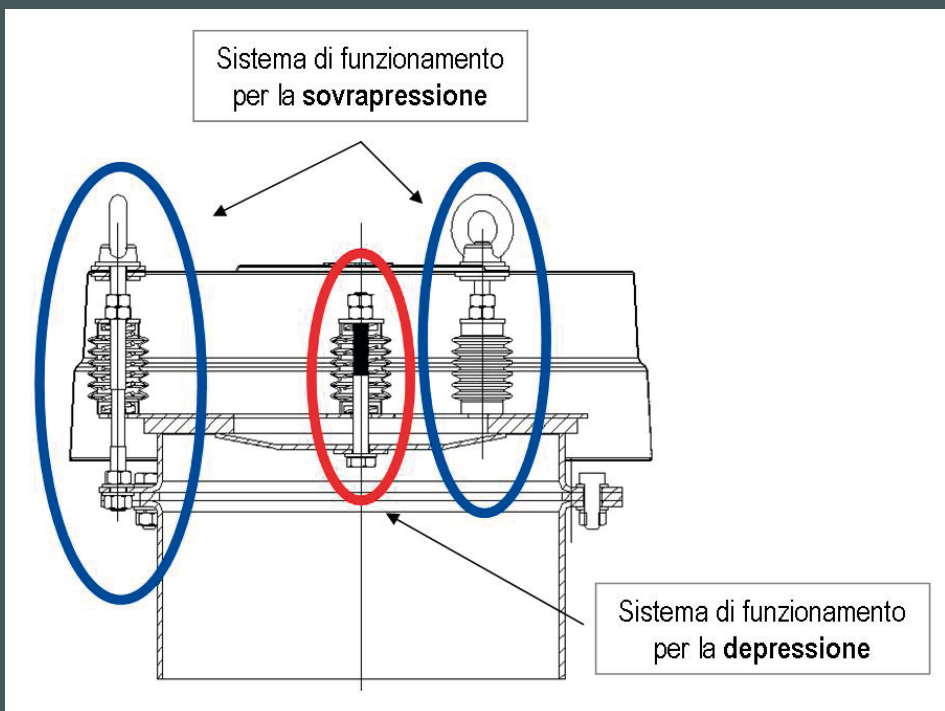


Fig. 2 - Esempio di valvola con funzionamento "a molla".

all'interno per equilibrare la depressione generatasi.

Dimensionamento

In primo luogo, il corretto equilibrio tra le componenti della valvola permette di ottenere un efficiente flusso di aria, in entrata ed in uscita dal contenitore, in termini sia di tempo, sia di portata. È importante il rapporto esistente tra la superficie di uscita utile tra valvola e coperchio ed il relativo diametro del tubo di carico del silo: si ritiene che il valore corretto debba essere >4 , ottenuto da indagini sperimentali ed esperienze empiriche costruttive. In secondo luogo, il diametro della valvola deve essere tale da allontanare qualunque rischio di esplosione o di implosione del contenitore. Ad esempio, considerando un silo da 50 m^3 a pieno carico, si è rilevato che una variazione del diametro della PRV comporti significative differenze nelle prestazioni, soprattutto in termini di portate di aria emesse e di tempo di ripristino delle condizioni iniziali. È molto interessante osservare il comportamento di valvole con dimensioni differenti (**fig. 3**); si consideri una valvola tarata a $500 \text{ mmH}_2\text{O}$ con differente diametro: la curva c1 ($\varnothing_1 = 273 \text{ mm}$) indica un corretto deflusso dell'aria dal silo; la curva c2 ($\varnothing_2 = 250 \text{ mm}$, -7% rispetto a \varnothing_1), invece, rileva un funzionamento pericoloso poiché, per una certa frazione di tempo, la pressione interna continua a crescere.

Particolari costruttivi

Per ottenere una buona efficienza di funzionamento è necessario eseguire alcuni accorgimenti costruttivi: le molle di azionamento debbono essere protette per garantire il buon funzionamento nel tempo; il contatto

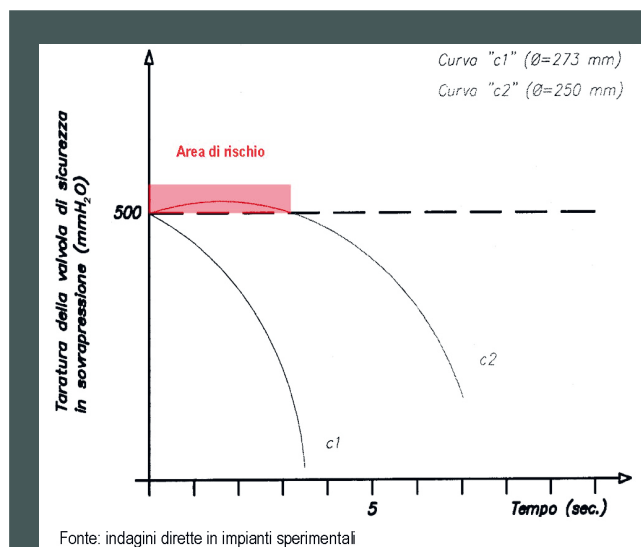


Fig. 3 - Comportamento delle valvole di controllo in base a dimensioni differenti.

tra guarnizione e corpo della valvola deve essere minimo per evitare la formazione di incrostazioni e possibili situazioni di bloccaggio delle valvole; la soluzione realizzativa migliore è quella in Aisi o in acciaio al carbonio verniciato a polvere; si è sperimentato che l'utilizzo di acciaio al carbonio zincato determina con maggiore probabilità l'ossidazione del componente, con conseguente inquinamento del materiale.

Svantaggi

L'impiego di questa tipologia di valvola, tuttavia, può comportare alcuni svantaggi; in particolare, si genera emissione dei flussi composti di aria/prodotto ogni qualvolta la valvola entra in funzione e questo richiede interventi di manutenzione frequenti. Inoltre, a seguito della geometria di costruzione

della valvola, risulta impossibile convogliare il flusso di aria in uscita dalla superficie toroidale. È, quindi, evidente che questo tipo di valvola risulta essere un vero e proprio punto di emissione impattante, per il quale risulta difficile realizzare condotti o sistemi di captazione di mitigazione, in grado di non alterare il corretto funzionamento della macchina stessa.

La manutenzione della valvola, dopo ogni intervento, si rende obbligatoria al fine di evitare accumuli di materiale che possano ostruire le normali sezioni di passaggio dell'aria o bloccare i sistemi di movimentazione previsti; questo fenomeno è tanto più rilevante quanto più la polvere in ingresso al silo è impaccante ed igroscopica, situazione costantemente presente, ad esempio, in un impianto per lo stoccaggio di materiale organico.

VALVOLE CON FUNZIONAMENTO MEDIANTE PILOTA

Il problema delle emissioni inquinanti durante le fasi di apertura delle valvole ha assunto sempre più interesse ed ha portato allo studio di innovazioni di prodotto e di processo; infatti, di recente sono state valutate e sperimentate valvole di controllo pressione a membrana filtrante comandata da "pilota", in grado di contenere gli svantaggi riscontrati dalle tecnologie presenti attualmente sul mercato. Le principali caratteristiche che differenziano il sistema sono: funzionamento, dimensionamento, particolari costruttivi.

Funzionamento

Il funzionamento è in pressione e in depressione:

nel primo caso, il "pilota" risponde alla pressione del fluido e comanda l'azionamento della valvola; quest'ultima si apre quando la pressione del fluido che la tiene chiusa è ridotta, mentre si richiude quando la stessa è nuovamente normalizzata;

nel caso depressivo il "pilota" rimane passivo, mentre il lavoro di riequilibrio è lasciato alla membrana, che si solleva lasciando passare l'aria proveniente dall'esterno; la zona compresa tra la stessa ed il pilota funge da cappa aspirante (**fig. 4**).

Dimensionamento

Anche per questo tipo di valvola risulta essere determinante, per una buona efficienza, una corretta proporzione tra le ge-

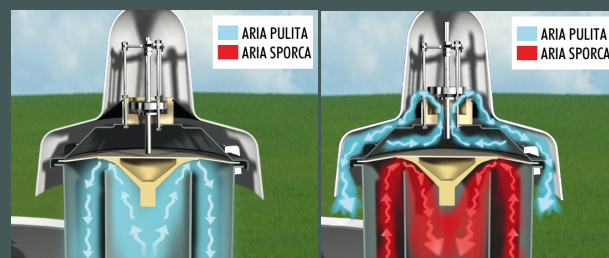


Fig. 4 - Esempio di valvola con funzionamento "a pilota".

ometrie dei suoi elementi. Se si considera un silo da 40 m³ a pieno carico, si può osservare come una variazione del diametro della PRV comporti una variazione della risposta della stessa in termini di corretto funzionamento; se si utilizza, ad esempio, una valvola tarata a 500 mmH₂O con differente diametro (ponendo a confronto un modello di 265 mm con uno di 246 mm) si può verificare che la risposta in termini di tempo per il ripristino delle condizioni normali di pressione abbia dinamiche molto differenti, con conseguenze sulla sicurezza dell'impianto.

Particolari costruttivi

Quando la contro-pressione imposta è maggiore della pressione di ingresso devono essere previsti strumenti che impediscano l'apertura della valvola principale; il sistema deve essere sempre pressurizzato in qualsiasi configurazione di sistema; il "pilota" deve essere eventualmente attraversato da un flusso di aria pulita priva del materiale stoccato, in modo tale da non determinare bloccaggi o inefficienze durante le fasi di lavoro; la progettazione delle estremità di collegamento delle valvole deve essere tale che la superficie del tubo esterno sia almeno uguale a quella del collegamento di ingresso della valvola.

Vantaggi

I vantaggi dall'adozione di valvole di quest'ultimo tipo è evidente. Infatti, è possibile convogliare le emissioni in punti maggiormente idonei alla captazione delle polveri emesse e canalizzate, come richiesto dal D.M. 12 luglio 1990 "Linee guida per il contenimento delle emissioni" e successive modificazioni

del D.Lgs 3 aprile 2006, n. 152. Alcuni di questi dispositivi sono, inoltre, in grado di salvaguardare la sicurezza dell'impianto anche in caso di manutenzione inefficiente; tuttavia, si evidenzia che la mancanza di pulizia fa diminuire l'effetto di controllo del "pilota", con conseguente aumento del numero di aperture, tutte, comunque, convogliabili con il recupero delle polveri.

In alcuni settori e in alcuni Stati questi tipi di dispositivi sono già di utilizzo comune, per motivi legati alla pericolosità del materiale disperso (si pensi, ad esempio, al settore chimico) o per leggi ambientali vigenti. Un esempio tra tutti è dato dalla normativa australiana attualmente in vigore (art. 5.3 delle Environmental Guidelines for Batching Plants), che richiede il convogliamento a terra di tutte le possibili emissioni provocate da sili di stoccaggio di materiali distinti.

ANALISI ECONOMICA DEL PROCESSO: UN APPROCCIO SWOT ANALYSIS

L'analisi SWOT è uno degli strumenti di verifica adottati per migliorare l'organizzazione aziendale e la penetrazione sul mercato dei prodotti di un'azienda; ha il ruolo importante di essere a sostegno dell'analisi di marketing e di permettere di focalizzare i fattori critici e di successo di una situazione ambientale, di una strategia, di una scelta distributiva. Si basa su una matrice divisa in quattro campi, dedicati rispettivamente ai punti di forza (*strengths*) e di debolezza (*weaknesses*), alle opportunità (*opportunities*) e alle minacce (*threats*). La matrice è stata proposta da Wehrich nel 1982 e può essere inserita fra i modelli e gli strumenti di pianificazione strategica.

Si tratta di un procedimento di tipo logico, sviluppato nell'ambito dell'economia aziendale, che consente di rendere sistematiche e fruibili le informazioni raccolte relativamente ad un tema specifico e fornisce informazioni fondamentali per la definizione di politiche e di linee di intervento.

La validità delle valutazioni condotte con la metodologia SWOT è direttamente correlata al livello di completezza dell'analisi "preliminare" del progetto. L'oggetto della valutazione, infatti, deve essere approfonditamente studiato al fine di mettere in luce tutte le caratteristiche, strutturali e congiunturali, ed evidenziare eventuali relazioni e sinergie con altre situazioni e proposte. Pertanto, preliminare all'analisi, è decisiva la raccolta di tutte le informazioni che si ritiene siano necessarie per la definizione di un quadro completo dei temi specifici e del contesto in cui si colloca il progetto.

Analisi ambito interno

Per quanto riguarda l'ambito interno all'azienda, l'analisi dei punti di forza e debolezza è sostanzialmente in grado di evidenziare elementi di competitività, per quanto riguarda anche un singolo progetto di investimento e/o di un prodotto da inserire sul mercato; nello specifico si considerano:

- *Strengths* (punti di forza). In linea di massima, ogni imprenditore presenta dei punti di forza che gli consentono di differenziarsi dalla concorrenza, che possono essere di vario tipo: capacità imprenditoriale, livello della ricerca, qualità di prodotto, qualità di processo, puntualità di consegna, aspetti finanziari, penetrazione di mercato, soddisfazione del cliente, competenza tecnica, ecc. In pratica, ogni aspetto in cui l'impresa eccelle è un punto di forza e, ovviamente, deve

basare la differenziazione proprio su questi aspetti.

- *Weaknesses* (punti di debolezza). Si può asserire anche che i punti di debolezza siano "il contrario" dei punti di forza: limitato potere finanziario, ridotta penetrazione di mercato, scarsa qualità di prodotto, poca competenza manageriale, limitati canali di marketing, insoddisfazione del cliente, ecc. È chiaro che un'impresa deve conoscere i propri punti di debolezza, poiché rappresentano le aree su cui intervenire.

Analisi ambito esterno

Per quanto riguarda l'ambito esterno, le opportunità sono i possibili vantaggi futuri che bisogna saper sfruttare a proprio favore allocando in modo flessibile le risorse, mentre le minacce sono gli eventi e/o i mutamenti futuri che costituiscono un fattore di rischio e che potrebbero condizionare negativamente i risultati della strategia. Anche in questo caso, nello specifico si tratta di:

- *Opportunities* (opportunità del mercato). In ogni mercato sono presenti delle opportunità che possono essere sfruttate dall'imprenditore per migliorare la sua performance generale; ad esempio, un vincolo normativo di tutela delle risorse naturali può essere un elemento a favore, dal momento che l'azienda produca uno strumento per il rispetto del valore di soglia imposto da una legge di riferimento.

- *Threats* (minacce dal mercato). Un concorrente molto aggressivo (da qualsiasi punto di vista) può essere una minaccia. Il cambiamento delle richieste dell'utilizzatore finale di uno strumento può essere una minaccia, dal momento in cui l'impresa non riesca ad aggiornare in tempi brevi il proprio prodotto.

Analisi dei dati

L'efficacia di questa metodologia d'indagine dipende dalla capacità di effettuare un'interpretazione "incrociata" di tutti i fattori individuati. È opportuno cioè appoggiarsi ai punti di forza ed eliminare, o diminuire, i difetti per massimizzare le opportunità e ridurre i rischi. Per rendere più agevole tale lettura "incrociata", i risultati dell'analisi vengono, solitamente, presentati in forma di diagramma sintetico e, poi, descritti più diffusamente. Il diagramma (**fig. 5**) è estremamente semplice: la fase successiva è lo sviluppo di strategie che possano contemporaneamente ottimizzare gli sforzi organizzativi e le opportunità sul mercato e minimizzare, se non eliminare, le debolezze interne e le minacce provenienti dall'esterno.

Poiché, come già ricordato, questo tipo di analisi si presta molto bene per lo studio di diverse realtà produttive, lo scopo del presente lavoro è quello di adattare tale modello per la valutazione dell'innovazione di un sistema di valvole di controllo della pressione per sili, al fine di individuare sia i vantaggi/svantaggi per un'impresa che lo adotti, sia gli effetti positivi/negativi sul mercato di riferimento, come pure sulla gestione dell'ambiente.

LA MATRICE SWOT PER STRUMENTI DI CONTROLLO E DI SICUREZZA NEI SILI

La presente ricerca ha proposto un adattamento della tradizionale matrice SWOT al caso di studio; in particolare, sono stati approfonditi gli elementi relativi ai fattori endogeni dell'impresa, strutturando il mo-

dello di valutazione secondo giudizi che per fattori impiantistici, gestionali ed economici pongono a confronto un sistema di valvole di controllo e di sicurezza tradizionale ed uno innovativo; i valori di confronto sono compresi tra 1 (massima debolezza) e 5 (massima forza), rispetto ad un punto di indifferenza 3, che è appunto il punteggio relativo alla tecnologia tradizionale, adottata con consuetudine per il controllo della pressione dei sili di stoccaggio di polveri di diversa natura.

La matrice è composta da tre aree e da cinque fattori per ognuna di esse, in cui sono inseriti gli elementi che distinguono i sistemi di valvole posti a confronto (**fig. 6**). Ai fini del giudizio complessivo, è sembrato opportuno che ciascuna area della matrice ed i relativi fattori avessero un "peso" distinto nella composizione totale del valore; per tale motivo prima del confronto tra le tecnologie si sono attribuiti giudizi di valore sia alle aree della matrice, sia ai fattori al loro interno.

Modello AHP

L'attribuzione dei pesi a fattori ed elementi presenti in una matrice è indubbiamente uno dei momenti più delicati in un processo di analisi, proprio perché spesso è caratterizzato da un elevato grado di soggettività. Ai fini del presente lavoro si è ritenuto opportuno affidarsi al modello denominato Analytic Hierarchy Process (AHP) sviluppato negli anni '70 dal matematico iracheno naturalizzato americano Saaty (Saaty, 1974). L'approccio consente di confrontare più alternative in relazione ad una pluralità di criteri, di tipo quantitativo o qualitativo, e ricavare una valutazione globale per ciascuna di esse, permettendo di:

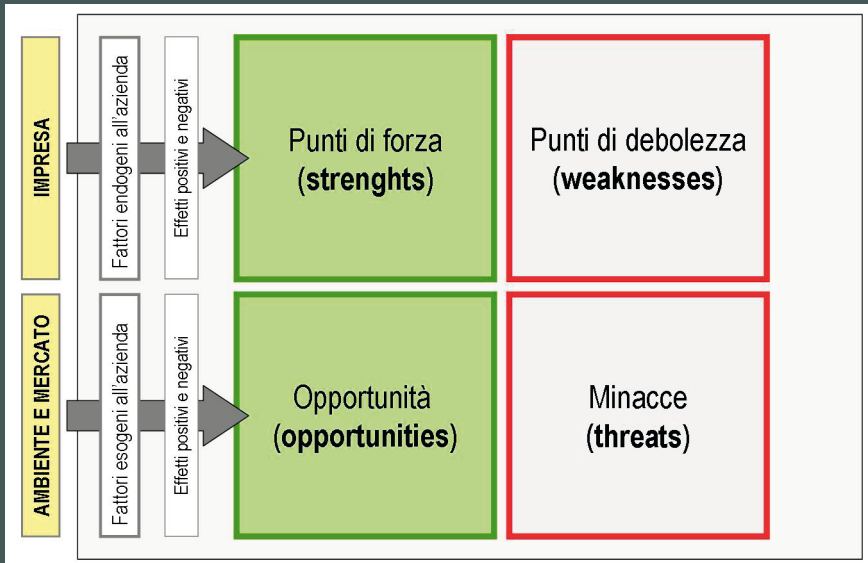


Fig. 5 - Schema di analisi SWOT.

		Variabili della matrice	FORZA	Indifferenza	DEBOLEZZA
ELEMENTI STRUTTURALI		Localizzazione valvola nel silo: posizione interna/esterna	Green	Yellow	Red
		Dimensioni: ingombri e volumi occupati	Green	Yellow	Red
		Intercambiabilità della valvola	Green	Yellow	Red
		Conformità alla normativa in vigore	Green	Yellow	Red
		Facilità e tempi di installazione	Green	Yellow	Red
ELEMENTI GESTIONALI		Efficienza e affidabilità di funzionamento	Green	Yellow	Red
		Velocità di ripristino delle condizioni di sicurezza del silo	Green	Yellow	Red
		Convogliamento e trattamento delle emissioni	Green	Yellow	Red
		Perdite di carico e volatilizzazione in atmosfera	Green	Yellow	Red
		Miglioramento delle condizioni di lavoro	Green	Yellow	Red
ELEMENTI ECONOMICI		Costo componente	Green	Yellow	Red
		Costi aggiuntivi di installazione	Green	Yellow	Red
		Costo manutenzione ordinaria e straordinaria	Green	Yellow	Red
		Valore aggiunto per la sicurezza dell'impianto	Green	Yellow	Red
		Valore di recupero del materiale	Green	Yellow	Red

Fig. 6 - Matrice di analisi per sistemi di valvole di controllo pressione di sicurezza.

ordinare le alternative secondo un asse di preferenza; selezionare l'alternativa globalmente migliore; assegnare le alternative a sottoinsiemi predefiniti.

Nello specifico i tre momenti fondamentali dell'AHP sono: *analytic*, si scompone il problema nei suoi elementi costitutivi; *hierarchy*, si strutturano gli elementi in modo gerarchico rispetto all'obiettivo principale ed ai sub-obbiettivi; *process*, si processano i giudizi ed i dati in modo da raggiungere il risultato finale, dal quale si deduce l'importanza di ciascun elemento nella definizione del problema complesso.

La tecnica di attribuzione dei pesi richiede di esporre un proprio giudizio relativamente all'importanza che assume un fattore rispetto ad un altro nel caratterizzare un livello gerarchico superiore; in sostanza è necessario rispondere, come nel caso indagato, alla domanda "Per la migliore sicurezza di un impianto di stoccaggio, sono più importanti gli elementi strutturali o quelli gestionali?".

La scelta gerarchica ha preso avvio dall'ipotesi di individuare quali siano gli elementi determinanti per l'installazione di sistemi distinti di valvole di controllo pressione nei silos di stoccaggio di polveri/granulati e di sfarinati di varia natura, secondo elementi distinti; in particolare, sono state individuate almeno tre aree di riferimento all'interno delle quali ricondurre gli elementi distintivi di un impianto (**fig. 7**):

- strutturali ed impiantistici;
- gestionali e di impiego di risorse naturali;
- economici e finanziari: costi del sistema e di gestione annuale.

L'approccio gerarchico permette di scendere di più livelli, al fine di porre in correlazione i singoli elementi che caratterizzano il sistema nel complesso, assumendo importanza diversa nella definizione del valore totale; pertanto, la preliminare scomposizione permette di conoscere, in un primo momento, gli elementi che caratterizzano l'ambiente distribuiti in livelli distinti e, in un secondo momento, di valutarli. Durante l'espressione dei giudizi nel confronto dei singoli elementi dello stesso livello, l'importanza di un fattore rispetto ad un altro è quantificabile secondo una scala di valori che varia da un minimo di 1 (importanza uguale) fino ad un massimo di 9 (importanza estrema).

I singoli pesi per ogni fattore sono elaborati sulla base dei giudizi espressi nelle matrici dei confronti a coppie, utilizzando la tecnica della media geometrica applicata al vettore peso di ogni singolo fattore; questo computo, seguito dalla normalizzazione in base decimale dei valori ottenuti e dal calcolo di alcuni indici statistici per la consistenza dei risultati, permette di avere un quadro generale dei pesi dei singoli fattori presenti in ogni livello gerarchico (**fig. 8**).

Si propone di seguito un esempio numerico riferito a tre fattori, per i quali si calcolano sequenzialmente pesi ed indici di consistenza (I.C.) (**fig. 9**).

Tenuto conto che il valore λ (lambda) è definito come prodotto tra il peso normalizzato di ogni singola componente e il valore della colonna relativa alla componente considerata e che n indica il numero di fattori, è possibile calcolare i seguenti indici:

$$\text{Indice di consistenza (I.C.)} = \frac{\lambda - n}{n - 1} = \frac{3,0385 - 3}{3 - 1} = 0,01925$$

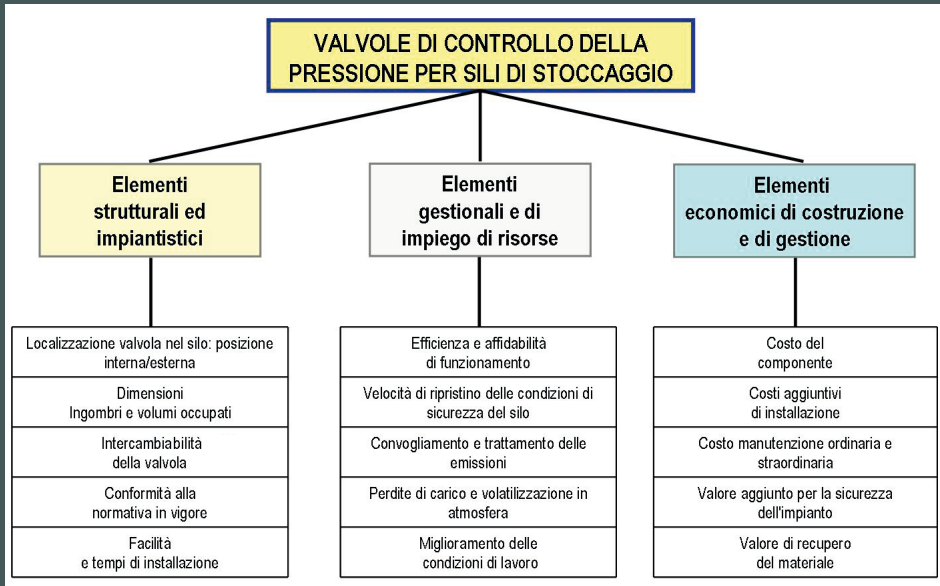


Fig. 7 - Caratteristiche dell'analisi gerarchica per l'attribuzione dei pesi.

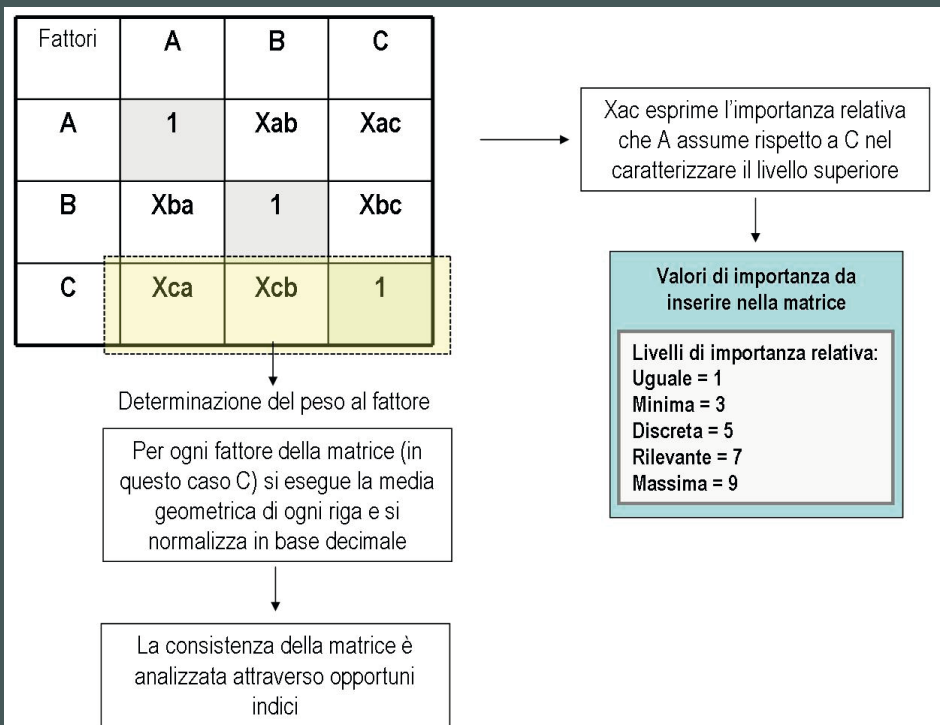


Fig. 8 - Composizione della matrice di confronto "a coppie".

$$\text{Rapporto di consistenza (R.C.)} = \frac{\text{I.C.}}{\text{valore della consistenza casuale}} = \frac{0,01925}{0,58} = 3,3319\%$$

dove il valore della consistenza casuale è facilmente desumibile da coefficienti determinati come costanti, come di seguito riportato:

Ordine della matrice

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Consistenza casuale

0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,43	1,49
---	---	------	------	------	------	------	------	------	------

Si ricorda che la matrice ed i relativi pesi calcolati sono accettabili solo se il rapporto di consistenza (R.C.) è inferiore al 10%.

APPLICAZIONE DELLA MATRICE SWOT AL CASO DI STUDIO ED ALCUNI RISULTATI

L'approccio modificato dell'analisi SWOT e la relativa tecnica di attribuzione dei pesi agli elementi presenti nella matrice sono stati applicati al caso di studio in esame. Il confronto è tra due sistemi alternativi di valvole di controllo della pressione per silos di stoccaggio di polveri e di sfarinati: il sistema innovativo presentato nella prima parte del contributo è comparato con la tecnica tradizionale che, principalmente, non consente di controllare le emissioni in atmosfera delle polveri in eccesso nel caso di sovra-pressione e di non recuperarle. In una prima fase della valutazione il con-

fronto è condotto costruendo la matrice SWOT senza applicare i pesi ai singoli elementi (**tab. 1**). Come si nota, per ben 10 elementi della matrice il sistema innovativo

dimostra dei punti di forza rispetto a quello tradizionale, per 2 casi è indifferente e per altri 3 presenta dei punti di debolezza. Nel complesso, rispetto ai 45 punti totali che sono il valore di indifferenza attribuito al sistema tradizionale, quello innovativo che consente il recupero delle polveri ed un miglior controllo delle emissioni raggiunge 59 punti, con un incremento superiore al 31%, dimostrando un netto miglioramento rispetto alle valvole tradizionali di controllo della pressione nei silos.

In una seconda fase, si è ritenuto opportuno coinvolgere alcuni esperti del settore in grado di esprimere quali fossero gli elementi più importanti indicati nella matrice, al fine di poter attribuire a ciascuno di essi un peso relativo, partendo in modo gerarchico dalle tre aree principali (**fig. 10**).

Come si nota, le aree degli elementi relativi alla gestione economica ed alla gestione annuale del sistema di controllo hanno ottenuto il peso maggiore con un valore in entrambi

Fattori	A	B	C	Media geometrica	Normalizzazione PESI	Determinazione di <i>lambda</i> (*)
A	1,00	3,00	5,00	2,4662	0,6370	0,9767
B	0,33	1,00	3,00	1,0000	0,2583	1,1192
C	0,20	0,33	1,00	0,4055	0,1047	0,9426
TOTALE	1,53	4,33	9,00	3,8717	1,0000	3,0385

(*) Il calcolo di lambda si determina con il prodotto tra il peso normalizzato del fattore e la somma dei valori di colonna della matrice dello stesso; ad esempio per A = 0,637 • 1,53.

Fig. 9 - Esempio di applicazione del modello di stima dei pesi.

Tabella 1 - Applicazione della matrice SWOT.

Variabili della matrice	Valore	Indifferenza	DELTA
Elementi strutturali			
Localizzazione valvola nel silo: posizione interna/esterna	4	3	1
Dimensioni: ingombri e volumi occupati	2	3	-1
Intercambiabilità della valvola	2	3	-1
Conformità alla normativa in vigore	5	3	2
Facilità e tempi di installazione	3	3	0
TOTALE PARZIALE	16	15	1
Elementi gestionali			
Efficienza e affidabilità di funzionamento	5	3	2
Velocità di ripristino delle condizioni di sicurezza del silo	5	3	2
Convogliamento e trattamento delle emissioni	5	3	2
Perdite di carico e volatilizzazione in atmosfera	4	3	1
Miglioramento delle condizioni di lavoro	5	3	2
TOTALE PARZIALE	24	15	9
Elementi economici			
Costo componente	1	3	-2
Costi aggiuntivi di installazione	3	3	0
Costo manutenzione ordinaria e straordinaria	5	3	2
Valore aggiunto per la sicurezza dell'impianto	5	3	2
Valore di recupero del materiale	5	3	2
TOTALE PARZIALE	19	15	4
Totale generale	59	45	14

Applicazione del modello AHP al livello gerarchico 1: aree della matrice

	Struttura	Gestione	Costi		MEDIA	PESI	K	
Struttura	1,00	0,85	0,85	➔	0,8973	0,2982	1,0000	
Gestione	1,18	1,00	1,00		1,0557	0,3509	1,0000	
Costi	1,18	1,00	1,00		1,0557	0,3509	1,0000	
Totale: 1,0000								

ELEMENTI STRUTTURALI
Peso: 0,2982

ELEMENTI GESTIONALI
Peso: 0,3509

ELEMENTI ECONOMICI
Peso: 0,3509

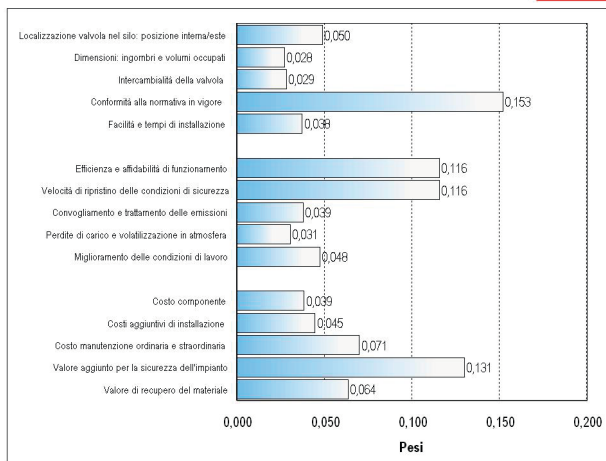


Fig. 10 - Attribuzione dei pesi mediante AHP.

i casi pari al 35% del totale e, nello specifico, gli elementi relativi alla conformità dell'impianto alla normativa (15,3% del totale del valore a disposizione) e l'incremento di valore di sicurezza del silo (13,1% del totale) sono risultati nettamente i più significativi nell'attribuzione dei pesi; a seguire è interessante rilevare che per importanza sul totale seguono gli elementi relativi all'affidabilità di funzionamento ed al tempo di ripristino delle condizioni di sicurezza.

Risultati

A questo punto si possiedono gli elementi per pesare i giudizi espressi nella precedente matrice SWOT (fig. 6), ricordando che, per effetto appunto dei pesi attribuiti agli elementi, il massimo punteggio raggiungibile per ogni alternativa è 5, il livello di indifferenza 3, e

il minimo 1, poiché il valore dei pesi ai 15 elementi presenti all'interno della matrice è scomposto su un totale pari a 1.

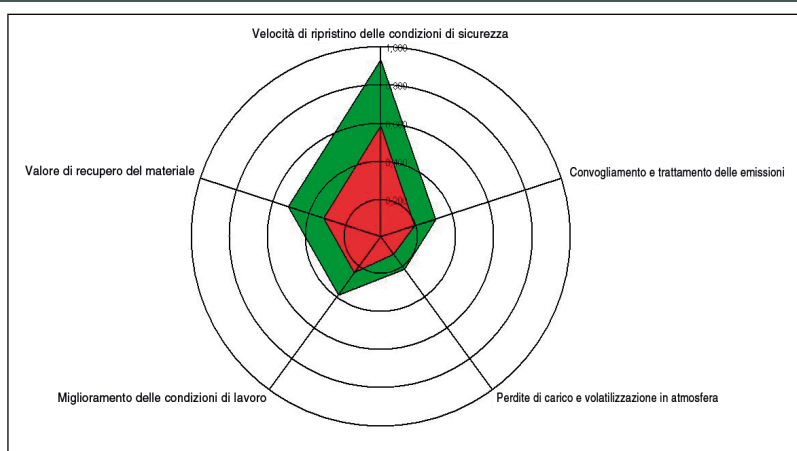
Nella **tab. 2** sono riportati i valori pesati della matrice SWOT per l'impianto dotato di valvola VHS, mentre nella **tab. 3** sono riportati i valori di confronto tra gli impianti indagati. Si propongono alcune riflessioni sui risultati ottenuti; il valore totale raggiunto dal sistema di valvole di sicurezza VHS è pari a 4,422, superiore al valore di indifferenza di un sistema tradizionale (pari a 3) di circa il 47%. Inoltre, per i primi quattro elementi della matrice (in ragione del peso attribuito e nello specifico: conformità alla normativa in vigore, incremento di valore per la sicurezza del silo, affidabilità di funzionamento della valvola, velocità di ripristino delle condizioni di sicurezza), le valvole VHS hanno registrato in ogni caso punteggi superiori a quelli dei sistemi tradizionali,

Tabella 2 - Applicazione della matrice SWOT con valori pesati al sistema di sicurezza di valvole VHS.

Variabili della matrice	Valori VHS "non pesati"	Pesi	Valori VHS "pesati"
Elementi strutturali		0,298	
Localizzazione valvola nel silo: posizione interna/esterna	4	0,050	0,200
Dimensioni: ingombri e volumi occupati	2	0,028	0,056
Intercambiabilità della valvola	2	0,029	0,058
Conformità alla normativa in vigore	5	0,153	0,764
Facilità e tempi di installazione	3	0,038	0,115
TOTALE PARZIALE	16		1,193
Elementi gestionali		0,351	
Efficienza e affidabilità di funzionamento	5	0,116	0,582
Velocità di ripristino delle condizioni di sicurezza	5	0,116	0,582
Convogliamento e trattamento delle emissioni	5	0,039	0,194
Perdite di carico e volatilizzazione in atmosfera	4	0,031	0,125
Miglioramento delle condizioni di lavoro	5	0,048	0,242
TOTALE PARZIALE	24		1,723
Elementi economici		0,351	
Costo componente	1	0,039	0,039
Costi aggiuntivi di installazione	3	0,045	0,136
Costo manutenzione ordinaria e straordinaria	5	0,071	0,355
Valore aggiunto per la sicurezza dell'impianto	5	0,131	0,654
Valore di recupero del materiale	5	0,064	0,321
TOTALE PARZIALE	19		1,506
Totale generale			4,422

Tabella 3 - Confronto tra valori pesati ottenuti per i sistemi di sicurezza indagati.

Matrice SWOT	Impianto TSF	Tradizionale	DELTA
Localizzazione valvola nel silo: posizione interna/esterna	0,200	0,150	0,050
Dimensioni: ingombri e volumi occupati	0,056	0,084	-0,028
Intercambiabilità della valvola	0,058	0,087	-0,029
Conformità alla normativa in vigore	0,764	0,458	0,306
Facilità e tempi di installazione	0,115	0,115	0,000
Efficienza e affidabilità di funzionamento	0,582	0,349	0,233
Velocità di ripristino delle condizioni di sicurezza	0,582	0,349	0,233
Convogliamento e trattamento delle emissioni	0,194	0,116	0,078
Perdite di carico e volatilizzazione in atmosfera	0,125	0,093	0,031
Miglioramento delle condizioni di lavoro	0,242	0,145	0,097
Costo componente	0,039	0,118	-0,079
Costi aggiuntivi di installazione	0,136	0,136	0,000
Costo manutenzione ordinaria e straordinaria	0,355	0,213	0,142
Valore aggiunto per la sicurezza dell'impianto	0,654	0,393	0,262
Valore di recupero del materiale	0,321	0,193	0,129
Totale	4,422	3,000	1,422



Legenda:

Area verde: punteggio sistema di controllo pressione VHS;

Area rossa: punteggio sistema tradizionale.

Fig. 11 - Comportamento dei due impianti a confronto per gli elementi ambientali e sociali.

umentando, pertanto, il valore del giudizio finale calcolato in precedenza, appunto per l'influenza del peso degli elementi della matrice.

ALCUNE CONSIDERAZIONI DI SINTESI

L'applicazione della matrice SWOT modificata al caso di studio, sia per i valori normali che per quelli pesati, ha indicato indubbiamente molti elementi a favore del sistema innovativo di valvole di controllo della pressione in silos di stoccaggio di polveri/granulati e di sfarinati di varia natura, sia nel caso di un'analisi senza l'attribuzione dei pesi alla matrice, sia qualora si siano determinati specifici valori di importanza alle variabili indagate. Soprattutto in un'ottica di impresa privata, è interessante notare che gli operatori hanno privilegiato nella pesatura dei fattori, soprattutto, il rispetto

della normativa sulle emissioni ed il conseguente valore aggiunto che il silo consegue per quanto riguarda la sicurezza di gestione: in entrambi i casi l'innovazione tecnologica si dimostra migliore dei processi tradizionali, come pure per gli elementi della matrice che hanno ottenuto i pesi migliori (rapidità di ripristino delle condizioni di pressione e affidabilità del sistema di controllo).

Viceversa, sono emersi alcuni elementi di criticità per quanto riguarda il costo del sistema e la rigidità di scelta nell'installazione, che risultano essere più onerosi per l'acquisto e di difficile surrogabilità nel caso si intenda sostituire le valvole VHS con altri sistemi (tab. 3).

Inoltre, in un'ottica pubblica, sono stati inseriti nella matrice alcuni elementi che intendono individuare i vantaggi nell'adottare un processo che tiene in considerazione le risorse naturali e l'ambiente di lavoro. Come si nota (**fig. 11**), anche in questo caso il sistema

di controllo delle valvole VHS presenta alcuni interessanti risultati positivi rispetto ai processi tradizionali, soprattutto per quanto riguarda: la riduzione dei rischi collegati ai problemi di sovra-pressione e di depressione, il controllo delle emissioni di polveri in atmosfera, il recupero di materiale incoerente (polveri e granulati) che esce al di fuori dei sili e, collegati ad essi, un miglioramento dell'ambiente lavorativo.

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.
- Ditz D., Ranganathan J., Banks D. "Green Ledgers: Case studies in corporate environmental accounting". Washington D.C., WRI, 1995.
- 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.
- Palrner K.N. "Dust explosion and fire". London Chapman and Hall, Londra, 1973.
- Pearce D.W., Turner R. Kerry. "Economia delle risorse naturali e dell'ambiente". Edizioni Il Mulino, Bologna, 1991.
- Roscelli R. "Misurare nell'incertezza". Torino, CELID, 1990.
- Saaty T.L. "Décider face à la complexité". Parigi, EME, 1974.
- Wamgroup. "Manuale di uso e manutenzione per valvole di controllo pressione VCP e VHS", Cavazzo, MO, dicembre 2011.