

L'UTILIZZO DEGLI STRUMENTI DI ANALISI DEL RISCHIO NELL'ELABORAZIONE DELLA RELAZIONE DI PRIMO O NUOVO IMPIANTO PER APPARECCHI A PRESSIONE

di Nikla Urani, Edoardo Galatola
SINDAR s.r.l. Corso Roma, 74 - 26900 LODI
Tel 0371-549200 fax 0371-549201
e-mail nikla@sindarin.it edoardo@sindarin.it
<http://www.sindar.it>

INDICE

SOMMARIO	1
1 RELAZIONE TECNICA DI PRIMO O NUOVO IMPIANTO	1
1.1 Descrizione del processo, delle apparecchiature a pressione e dei dispositivi di controllo e di protezione.....	2
1.2 Individuazione delle anomalie prevedibili.....	3
1.3 Dimensionamento dei dispositivi di sicurezza.....	4
2 APPLICAZIONE DEGLI STRUMENTI DELL'ANALISI DI RISCHIO ALLA RELAZIONE DI PRIMO IMPIANTO	5
3.1 Analisi di operabilità	5
3.2 Alberi dei guasti	5
ELENCO DEI SIMBOLI	7
BIBLIOGRAFIA	7

SOMMARIO

La relazione tecnica di primo o nuovo impianto per apparecchi a pressione viene redatta allo scopo di dimostrare che le condizioni di esercizio degli apparecchi in esame e i relativi dispositivi di controllo, regolazione e protezione sono conformi a quanto richiesto dalla normativa vigente.

In questo ambito l'applicazione dell'analisi di operabilità e degli alberi di guasto è un utile strumento che consente di calcolare la probabilità di accadimento di un dato evento, conseguente a un errore o a una anomalia del sistema, e di valutare il peso effettivo che il sistema di regolazione e prevenzione assume nell'impedire il verificarsi di detto evento.

Si tratta di un approccio innovativo considerando che sino ad ora la metodologia di analisi prendeva in esame tutti gli eventi prevedibili senza fare alcuna distinzione tra quelli realisticamente probabili e quelli calcolati come "remoti" (probabilità di accadimento inferiore di 10^{-5}).

1 RELAZIONE TECNICA DI PRIMO O NUOVO IMPIANTO

Per gli apparecchi a pressione contenenti vapori o gas compressi, liquefatti o disciolti o miscele di gas e vapori deve essere redatta una relazione tecnica allo scopo di dimostrare che le condizioni di esercizio degli apparecchi in esame e i relativi dispositivi di controllo regolazione e protezione sono conformi a quanto richiesto dalla normativa vigente.

Con il DPR n° 341 del 13/02/1981 è stato aumentato il limite di pressione massima di funzionamento per cui un apparecchio è soggetto a denuncia e controllo da parte dell'ISPESL dal valore di un ventesimo di kg/cm² al valore di 0.5 kg/cm², con lo scopo di adeguare la normativa alle innovazioni tecnologiche; pertanto sono soggetti all'obbligo della relazione di primo o nuovo impianto:

- Gli apparecchi con pressione massima effettiva di funzionamento superiore a 0.5 kg/cm²
- Gli apparecchi con pressione massima effettiva di funzionamento inferiore o uguale a 0.5 kg/cm² e con capacità superiore a 2000 l.

1.1 Descrizione del processo, delle apparecchiature a pressione e dei dispositivi di controllo e di protezione

L'utente deve presentare una relazione tecnica [1] che preveda l'identificazione delle sostanze coinvolte e una descrizione del processo in tutte le sue fasi, con particolare riferimento alle condizioni di esercizio e ai dispositivi che consentono di mantenere le pressioni e le temperature entro i valori di progetto degli apparecchi protetti.

A tale proposito vengono prese in esame una ad una le apparecchiature a pressione protette da una valvola di sicurezza (o da un disco a frattura prestabilita) e se ne riportano le caratteristiche, i valori di esercizio e di progetto di pressione e temperatura e le proprietà chimico-fisiche dei composti presenti nell'apparecchiatura (si vedano a titolo esemplificativo le Tabelle 1 e 2).

Tabella 1. Caratteristiche di una apparecchiatura

CARATTERISTICHE
Matricola
Numero di fabbrica
Costruttore
Capacità totale (l)
Pressione di esercizio (bar-r)
Massima pressione di esercizio (bar-r)
Pressione di progetto (bar-r)
Temperatura di esercizio (°C)
Massima temperatura di esercizio (°C)
Temperatura di progetto (°C)
Fluidi contenuti
Materiale
Collaudo ISPESL

Tabella 2. Proprietà chimico-fisiche dei composti presenti nell'apparecchiatura

Sostanza	Massa molecolare (kg/kmol)	Punto di fusione (°C)	Punto di ebollizione (°C)	Punto di infiammabilità' (°C)	Campo di infiammabilità' in aria (%)	Temperatura di decomposizione (°C)
Acido cloridrico 32%	36,46	-46,2	108,6(**)	Non infiammabile	/	/

Inoltre, deve essere verificato e dichiarato che la natura dei prodotti trattati e quella del fluido da scaricare sono compatibili con il materiale dell'apparecchiatura e del dispositivo di sicurezza in modo tale da non pregiudicare l'efficienza di quest'ultimo per tutto il periodo di marcia previsto per l'impianto tra due verifiche successive.

Si descrivono quindi i dispositivi di controllo, regolazione e protezione e per ciascuno si riportano gli elementi di identificazione quali la funzione svolta (es. indicazione, registrazione, regolazione, allarme, ecc.), il parametro di processo controllato (pressione, temperatura, portata, livello, ecc.), l'elemento su cui agisce, l'azione che svolge, il programma di controllo da eseguire su tali dispositivi e la loro affidabilità (in Tabella 3 e Tabella 4 si riportano degli esempi di come vengono identificati tali dispositivi). L'utente deve infatti eseguire un programma di controlli, previsto sulla base dell'esperienza acquisita sull'impianto o su impianti similari, atto a giustificare l'affidabilità dei dispositivi suddetti nel periodo intercorso tra due verifiche successive.

La relazione deve contenere, inoltre, l'indicazione dei tipi e delle modalità dei controlli effettuabili in sede di verifica periodica sui dispositivi posti a protezione dell'impianto.

Tabella 3. Controllo dei parametri di processo

SIGLA	FUNZIONE	SET (bar)	FONDO SCALA (bar)
PIC 101	Controllore indicatore di pressione reattore R101	10	0 ÷ 15

Tabella 4. Allarmi e blocchi automatici

SIGLA	FUNZIONE	SET (bar)	SIGLA INTERBLOCCO	AZIONE	FREQUENZA CONTROLLO (anni)	RATE DI GUASTO (occ/anno)
PASH 101	Allarme e blocco per alta pressione reattore R101	13	I 11	Chiusura valvola di alimentazione HV 101	1	0,214

A completamento della descrizione dell'apparecchiatura in esame si riportano gli elementi identificativi delle valvole di sicurezze (o del disco a frattura prestabilita) che la proteggono quali l'area di scarico, la pressione di taratura, il fluido da scaricare, ecc., così come riportato nella tabella seguente:

Tabella 5. Dispositivi di sicurezza

Sigla	Area di scarico (cm ²)	K Coeff. di efflusso	Pressione taratura (bar-a)	Sovrappressione (%)	Contro-pressione statica (bar-a)	Fluido scaricato	Fase del rilascio	Numero matricola	Frequenza controllo (anni)
PSV 401	33,17	0,53	16	10	1	Acqua e Acido cloridrico	Vapore	8920	1

1.2 Individuazione delle anomalie prevedibili

Nella relazione tecnica viene effettuato uno studio dettagliato sui dispositivi di controllo, regolazione e prevenzione finalizzato a stabilire se tali dispositivi sono adeguati e sufficienti a mantenere i parametri di esercizio nei limiti di processo, evitando che si creino le condizioni che possono portare ad un incidente. L'analisi prende in considerazione tutte le anomalie prevedibili che possono comportare un superamento dei valori di progetto di temperatura e di pressione e per ciascuna anomalia esamina le diverse cause (guasti di componenti, anomalie di processo non previste, errori umani, disservizi dei controllori automatici o dei meccanismi di regolazione automatica, apporto di calore da sorgenti esterne, guasti esterni al processo quali la mancanza di energia elettrica, di acqua di raffreddamento, di aria strumenti, ecc.), i sistemi di prevenzione adottati e le protezioni esistenti.

Si precisa che per *sistemi di prevenzione* si intendono tutti i dispositivi di controllo, regolazione, allarme e blocco e le soluzioni progettuali finalizzate a prevenire il verificarsi di un'anomalia di processo che potrebbe provocare un incidente, mentre per *sistemi di protezione* si intendono i dispositivi e le soluzioni progettuali che intervengono una volta che l'anomalia si è già verificata e che hanno la funzione di bloccare o limitare le conseguenze e riportare i parametri nelle normali condizioni di processo in modo tale da impedire che l'anomalia verificatasi conduca all'incidente.

1.3 Dimensionamento dei dispositivi di sicurezza

Un dispositivo di sicurezza deve essere dimensionato in modo da consentire che, ad una determinata pressione, esso si apra bilanciando i fattori che tenderebbero a determinare, all'interno del componente, un incremento di pressione, e lasciando fuoriuscire la quantità di fluido sufficiente a provocare un uguale decremento di pressione. Nel caso, ad esempio, di un sistema contenente una fase liquida monocomponente, in cui il valore di pressione all'interno del recipiente è determinato dalla tensione di vapore del liquido, è necessario bilanciare il volume di vapore generato nell'unità di tempo nel recipiente con la portata volumetrica scaricata attraverso il dispositivo di sicurezza [2].

Pertanto si deduce che il dimensionamento dei dispositivi di sicurezza è strettamente connesso con la natura dell'impianto di cui il recipiente fa parte e con le cause che possono determinare l'intervento di detti dispositivi.

Queste cause possono essere raggruppate in due categorie:

- Anomalie di esercizio (di cui si è parlato al paragrafo precedente)
- Incendio esterno (da non considerare quando, secondo la dichiarazione dell'utente, sul luogo di impianto è da escludere la presenza, in quantità tali da poter alimentare un incendio, di sostanze infiammabili, solide o liquide, nel locale dove è installato l'apparecchio o nelle immediate vicinanze dell'apparecchio stesso).

Per ogni anomalia che può causare una sovrappressione all'interno di una o più apparecchiature viene calcolata la portata di fluido da scaricare attraverso il dispositivo di sicurezza che la protegge affinché non venga superata la pressione di progetto dell'apparecchiatura (gli unici dispositivi per i quali la normativa italiana dà specifiche indicazioni sono le valvole di sicurezza e i dischi a frattura prestabilita [3]).

Ai fini del dimensionamento di tale dispositivo si assume, come valore di portata, il più alto tra quelli calcolati per anomalia di esercizio e quello calcolato per l'incendio, secondo quanto previsto dal DM 21/05/1974 - Raccolta E.

Per il calcolo della portata da scaricare in caso di incendio si utilizza la formula seguente:

$$q = 155.000 \frac{F \cdot S^{0,82}}{L} \quad (1)$$

- q portata da scaricare in kg/h
F fattore di isolamento termico (funzione del coefficiente di trasmissione U della coibentazione espresso in W/m² °C, dove U è uguale al rapporto tra la conducibilità termica espressa in W/m°C e lo spessore in m dell'isolante)
S superficie esposta al fuoco in m²
L calore latente di vaporizzazione in kj/kg

Una volta individuata la portata da utilizzare nel dimensionamento del dispositivo di sicurezza (destinato a scaricare gas o vapori), l'area di scarico dovrà soddisfare la relazione seguente:

1. In condizioni di salto critico ($P_{\text{scarico}} \geq$ contropressione):

$$A \geq \frac{q}{(0,9K)(394,9 C) P_1} \sqrt{\frac{Z T_1}{M}} \quad (2)$$

- | | | |
|----------------|--|-------------|
| q | portata massima da scaricare | 11.214 kg/h |
| K | coefficiente di efflusso | 0,53 |
| P ₁ | pressione scarico valvola di sicurezza | 16 bar-a |
| T ₁ | temperatura del fluido | 493 K |
| M | massa molecolare | 18 kg/kmol |
| Z | fattore di comprimibilità | 1,00 |
| C | coefficiente di espansione | 0,607 |

2. In condizioni di salto non critico (Pscarico < contropressione): si utilizza sempre la relazione (2) ed il valore di A risultante viene moltiplicato per un coefficiente maggiore di 1 dichiarato dal costruttore della valvola di sicurezza.

2 APPLICAZIONE DEGLI STRUMENTI DELL'ANALISI DI RISCHIO ALLA RELAZIONE DI PRIMO IMPIANTO

La metodologia finora accettata prende in esame tutti gli eventi prevedibili senza fare alcuna distinzione tra quelli realisticamente probabili e quelli calcolati come "remoti" che, secondo una definizione ormai consolidata, sono gli eventi con frequenza di accadimento inferiore a 3×10^{-5} .

In questo ambito l'applicazione dell'analisi di operabilità e degli alberi di guasto può essere un utile strumento che consente di calcolare la probabilità di accadimento di un dato evento, conseguente a un errore o a una anomalia del sistema, e di valutare il peso effettivo che il sistema di regolazione e prevenzione assume nell'impedire il verificarsi di detto evento.

3.1 Analisi di operabilità

L'HAZOP (Hazard & Operability study), è una tecnica predittiva normalmente utilizzata per identificare i rischi connessi con anomalie impiantistiche ed i problemi di operabilità che, pur senza comportare rischi, potrebbero compromettere la capacità produttiva dell'impianto.

Si tratta di un metodo qualitativo in cui attraverso un esame critico delle deviazioni dalle normali condizioni di esercizio si identificano i diversi malfunzionamenti dell'impianto e i rischi connessi.

Questa tecnica schematizza l'impianto in singoli elementi detti "nodi" costituiti da una apparecchiatura o da tubazioni di collegamento e per ciascun nodo si analizzano in modo sistematico le possibili deviazioni dei parametri di processo (temperatura, pressione, livello, portata, composizione, ecc.).

Ogni deviazione viene studiata singolarmente individuandone le cause generatrici, le eventuali prevenzioni e protezioni e le conseguenze a cui possono dar luogo.

L'utilizzo di tale strumento nell'elaborazione della relazione di primo impianto si limita a considerare, per quanto riguarda lo studio delle deviazioni dei parametri di processo, l'aumento di pressione e l'aumento di temperatura che coinvolgono gli apparecchi a pressione e le linee ad essi connesse, in quanto scopo dell'analisi in questo contesto è dimostrare che tali parametri si mantengono entro i limiti di progetto.

3.2 Alberi dei guasti

Una volta identificata la sequenza incidentale, è possibile stimare la probabilità di accadimento dell'evento finale, definito "Top Event", attraverso la costruzione degli alberi dei guasti, i quali corrispondono a diagrammi logici in cui la probabilità del TE (Top Event) viene valutata dalla combinazione delle probabilità dei singoli eventi costituenti la sequenza incidentale.

L'Albero dei Guasti è uno strumento di analisi deduttiva che permette di descrivere sistematicamente le possibili cause del verificarsi del Top Event e consente, inoltre, di:

- calcolare la "probabile frequenza di accadimento" di ogni Top Event individuato;
- individuare in ordine di importanza i punti critici dell'impianto;
- individuare e minimizzare, mediante appropriati dispositivi di sicurezza, ogni "rischio potenziale";
- confrontare sistemi alternativi;
- programmare in modo razionale la manutenzione da eseguirsi con impianto in marcia e quelle da eseguirsi durante le fermate;
- rendere l'impianto uniformemente protetto.

La procedura di costruzione dell'albero inizia con la descrizione degli eventi in grado di provocare l'evento Top; la relazione fra il TE e le sue cause sarà di disgiunzione se una sola causa è sufficiente, di congiunzione se tutte le cause sono necessarie.

Solo attraverso la costruzione dell'Albero dei Guasti gli eventi primari sono interamente sviluppati in modo da consentire un completamento qualitativo dell'analisi. Per costruire l'Albero dei Guasti è necessario

sviluppare le affermazioni contenute nell'analisi di operabilità scindendo le cause in eventi primari a cui possono essere associati dei tassi di guasto.

Questa tecnica permette di legare lo stato critico dell'impianto (TE) con i guasti alla componentistica e, noti i parametri caratteristici dei componenti, fornisce la probabilità dello stato critico; consente quindi di individuare le zone più deboli dell'impianto sulle quali dovrà essere focalizzata l'attenzione del progettista per apportare le modifiche progettuali ritenute più opportune.

La stima delle probabilità di accadimento degli eventi incidentali individuati viene effettuata mediante la stesura e la risoluzione matematica degli alberi logici dei guasti e attraverso l'elaborazione dei dati di letteratura disponibili da diverse Banche Dati unitamente ai dati raccolti nello stabilimento.

La valutazione della probabilità di insorgenza degli eventi incidentali identificati attraverso l'Analisi di Operabilità viene sviluppata mediante la suddivisione degli stessi in fasce decrescenti di probabilità :

Fasce di probabilità adottate:

Valutazione qualitativa dell'evento	Probabilità di accadimento
Molto probabile	$p \geq 90\%$
Probabile	$30\% \leq p < 90\%$
Poco probabile	$1\% \leq p < 30\%$
Improbabile	$0.1\% \leq p < 1\%$
Remoto	$p < 0.1\%$

E' possibile correlare la probabilità con la frequenza di accadimento attraverso la seguente relazione:

$$p = 1 - e^{-ft} \quad (3)$$

dove p rappresenta la probabilità di accadimento dell'evento durante la vita media dell'impianto, f è la frequenza di accadimento espressa in occasioni/anno e t rappresenta la vita media dell'impianto.

Ne consegue che a livello di frequenze la valutazione qualitativa corrisponde al seguente range di frequenze di accadimento

Valutazione qualitativa dell'evento	Frequenza di accadimento (occ/anno)
Molto probabile	$f \geq 10^{-1}$
Probabile	$10^{-1} > f \geq 10^{-2}$
Poco probabile	$10^{-2} > f \geq 3 \cdot 10^{-4}$
Improbabile	$3 \cdot 10^{-4} > f \geq 3 \cdot 10^{-5}$
Remoto	$f < 3 \cdot 10^{-5}$

Il campo di valori entro cui scegliere il tasso di guasto o la probabilità di mancato intervento per ogni tipologia di componente (blocco valvola ecc.) viene definito utilizzando informazioni fornite dalle principali Banche Dati di Affidabilità nazionali ed internazionali quali:

- OREDA (Off-shore Reliability Data Bank)
- Banca Dati ENI (ITALIA)
- RMC (INGHILTERRA)
- RIJNMOND (OLANDA)
- SIGTTO (Society of International gas tanker and terminal operator limited)

Al fine di ottenere un unico parametro che tenga conto delle informazioni disponibili, normalmente si procede ad un confronto dei valori forniti dalle diverse fonti, stimando così un valore medio di probabilità.

Quello che nell'analisi di rischio è definito come "Top Event" nella relazione di primo impianto corrisponde all'evento in cui si verifica una sovrappressione o un superamento della temperatura di progetto. Pertanto, una volta individuate, attraverso l'analisi di operabilità, le tipologie incidentali che possono insorgere a seguito di una o più anomalie, si fa una distinzione tra quelle teoricamente possibili ma la cui probabilità di verificarsi è remota (o perché le cause stesse sono remote o perché il sistema è dotato di protezioni tali da rendere l'evento estremamente improbabile) e quelle realisticamente probabili.

Sulla base di questa distinzione, per il dimensionamento del dispositivo di sicurezza vengono escluse le anomalie che comportano una sovrappressione la cui frequenza di accadimento è remota (inferiore a 10^{-5} occasioni/anno) e si procede al calcolo della portata da scaricare attraverso il dispositivo di sicurezza così come indicato al paragrafo 2.3.

In quest'ottica l'applicazione degli strumenti dell'analisi di rischio permette una valutazione più critica e realistica del problema ed un maggiore adeguamento alle innovazioni tecnologiche.

ELENCO DEI SIMBOLI

A= Area di scarico del dispositivo di sicurezza
F= Fattore di isolamento termico
f= Frequenza di accadimento dell'evento
HAZOP (Hazard & Operability study)= Analisi di operabilità
HV (Hand Valve)= Valvola manuale
K= Coefficiente di efflusso
L= Calore latente di vaporizzazione
M= Massa molecolare
P= Pressione
p= Probabilità
PASH (Pressure Alarm Switch High)= Allarme e blocco di alta pressione
PIC (Pressure Indicator Controller)= Controllore indicatore di pressione
PSV (Pressure safety valve)= Valvola di sicurezza
q= portata
S= Superficie
T= Temperatura
t= tempo
TE= Top Event
U= coefficiente di trasmissione di calore
Z= Fattore di comprimibilità

BIBLIOGRAFIA

- [1] Raccolta E, E1B5 Articolo 9 punto 3.1 del Decreto Ministeriale 21 maggio 1974, Norme integrative del regolamento approvato con R.D. 12 maggio 1927, n. 824.
- [2] Mulé G., Caldi M.L., Protezione dai pericoli di sovrappressione interna dei componenti di impianto esposti ad incendio, Tecnologie chimiche n° 2/99, pp. 90-101.
- [3] D.M. 21 maggio 1974 Capo IV e Raccolta E capitoli E1D2 ed E1D4.