

Analisi del rischio e prevenzione nei processi chimici

ABILITÀ COGNITIVE

- Descrivere la procedura Hazop utilizzando la terminologia specifica.

ABILITÀ PRATICHE

- Applicare la procedura Hazop ad esempi semplici di processo.

ANALISI DEL RISCHIO E PREVENZIONE NEI PROCESSI CHIMICI

1 LA DIRETTIVA SEVESO

Il 10 Luglio del 1976 si verificò un incidente in un piccolo impianto in cui si produceva un pesticida, nel comune di Meda, nei pressi di Milano. A causa di un aumento di temperatura del vapore riscaldante venne attivata una reazione secondaria fortemente esotermica che portò alla formazione di TCDD (2,3,7,8 tetraclorodibenzo-p-diossina, semplicemente *diossina*).

Il calore sviluppato determinò un aumento della temperatura e della pressione all'interno del reattore che determinò l'apertura del disco di rottura, che nei reattori in pressione viene installato proprio per evitare lo scoppio del reattore, molto più dannoso.

Di conseguenza venne rilasciata, su un territorio di 18 km², per lo più ricadente nel comune di Seveso, una quantità di circa 6 tonnellate di materiale che contenevano circa 1 kg di TCDD. A causa della elevatissima tossicità della diossina, si determinarono gravi conseguenze come centinaia di casi di cloroacne, la morte di animali di piccola taglia e la contaminazione del terreno, con divieto di consumare prodotti ortofrutticoli coltivati nella zona.

L'incidente non causò morti immediatamente mentre le ricerche successive riscontrarono una maggiore incidenza di alcune forme di cancro. Tuttavia, per la carenza di informazioni sui livelli di esposizione e per il limitato numero di casi esaminati, non fu possibile stabilire correlazioni statistiche certe con l'esposizione alla diossina.

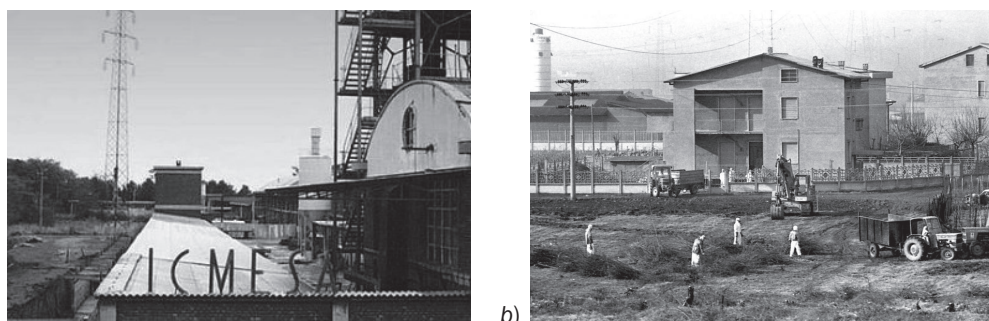


Fig. 1 ▶ a) Stabilimenti dell'ICMESA (Archivio Corriere della Sera);
b) Lavori per costruzione di una vasca per la raccolta del materiale e dei terreni contaminati (Archivio L'Unità).

L'incidente di Seveso, il primo ed ancora oggi il più grave caso di contaminazione da diossina verificatosi in Europa, suscitò profonda impressione e l'Unione Europea emanò nel 1982, pochi anni dopo, la *Direttiva Seveso I*, nell'intento di evitare il ripetersi di incidenti simili e uniformare la normativa degli Stati membri in materia di sicurezza e prevenzione dei rischi. La direttiva in particolare obbliga i fabbricanti a prendere tutte le misure atte a prevenire gli incidenti rilevanti e a limitarne le conseguenze per i lavoratori, la popolazione e l'ambiente.

Alla Direttiva Seveso I ha fatto seguito nel 1996 la *Direttiva Comunitaria Seveso II*, attuata in Italia con il D. Lgs. n° 334 del 1999, che sposta l'attenzione dal tipo di lavorazione alle sostanze trattate e ne fissa i limiti sopra i quali viene applicata la normativa. Questa prevede una serie di obblighi per il gestore degli impianti, tra cui la redazione dei rapporti di sicurezza, e per le autorità competenti, come la stesura dei piani di emergenza e di evacuazione.

2 LA PREVENZIONE DEGLI INCIDENTI

Anche se la normativa si è adeguata in tempi relativamente recenti, gli studi e le ricerche per l'applicazione di pratiche produttive più sicure risalgono agli anni '50 del '900. In quegli anni entrano in produzione le prime centrali termonucleari per la produzione di energia elettrica e, con esse, l'esigenza di limitare il più possibile le *probabilità* di incidenti che avrebbero avuto una gravità del danno decisamente grande.

Con l'industria termonucleare civile si sviluppano sia le tecniche del controllo automatico di processo e, allo stesso tempo, le pratiche della analisi e valutazione del rischio nonché le pratiche per limitarne la frequenza e il danno. Dal settore nucleare queste competenze sono state trasferite senza particolari problemi all'industria chimica di processo, caratterizzata da un lato da una frequenza di eventi relativamente elevata ma, per contro, da entità del danno molto più limitate, soprattutto se confrontate con quelle di un incidente nucleare.

2.1 Vocabolario di base

Le diverse tecniche di analisi e valutazione del rischio utilizzano un insieme di variabili definite in maniera precisa ed univoca, di cui è opportuno, prima di affrontare gli esempi di applicazione, passarne in rassegna la definizione ed il significato.

Definizione di "Rischio"

Il più importante è proprio la definizione di *rischio* che è quantitativamente definito dalla relazione:

$$R = P \cdot G \quad (1)$$

dove R è il rischio, P la *probabilità* che si verifichi l'evento e G la *gravità* o *magnitudo* del danno. La gravità può essere espressa, a seconda dei casi, in termini economici o in termini di danni alle persone, alle cose o all'ambiente.

Una definizione quantitativa del rischio può apparire cinica, in particolare se la valutazione della magnitudo è fatta in termini di vite umane. Tuttavia è indispensabile una valutazione scientifica in modo da poter confrontare soluzioni differenti e prendere le decisioni più opportune, nell'ottica di un continuo miglioramento delle condizioni operative.

Inoltre, una valutazione quantitativa sgombra il campo da valutazioni soggettive che potrebbero portare ad una sopravvalutazione quando il rischio viene percepito molto elevato. Ad esempio, la presenza sul territorio di una centrale nucleare desterebbe molto più allarme di un sistema stradale non adeguato, mentre tutti i dati evidenziano che il rischio di morte per incidente nucleare è di molti ordini di grandezza inferiore a quello per incidente stradale.

Altre variabili ricorrenti nelle varie metodologie di analisi e valutazione del rischio sono definite di seguito.

Incidente: evento o sequenza di eventi non prevista che può fornire conseguenze indesiderate;

Evento: qualunque fatto che coinvolga il processo, le apparecchiature o il personale interno o esterno che possa arrecare danno;

Pericolo (hazard): qualunque proprietà chimica, fonte di energia o condizione fisica potenzialmente in grado di causare ferite, malattie o morte del personale, ovvero danneggiare gli impianti, inquinare l'ambiente;

Probabilità: è espressa da un numero compreso tra 0 e 1 che esprime quante volte può accadere un evento in un determinato intervallo di tempo;

Processo: tutte quelle attività che coinvolgono la trasformazione, lo stoccaggio e la manipolazione di materiali rischiosi;

Rischio di processo: specifica condizione chimica o fisica potenzialmente in grado di produrre un danno per il personale, gli impianti o l'ambiente;

Rischio (risk): espressione quantitativa o qualitativa che considera sia la probabilità che un evento accada quanto la gravità del danno che esso può arrecare;

Valutazione del rischio (risk assessment): tecnica di valutazione della probabilità di un evento dannoso e della gravità degli effetti dannosi, allo scopo di intraprendere tutte le iniziative valide a ridurre la frequenza e la gravità;

Analisi dei pericoli (Hazard analysis): il processo di raccolta e valutazione delle informazioni sui pericoli.

2.2 Metodologie di valutazione del rischio (Risk Assessment)

Nella seconda metà del '900 si è assistito ad una industrializzazione diffusa su tutto il pianeta e, allo stesso tempo, una diminuzione della soglia di accettabilità del rischio.

Divenne ben presto necessario sviluppare una adeguata metodologia di analisi dei pericoli associati ai processi chimici (in inglese *Process Hazard Analysis*, PHA). Ad oggi sono state sviluppate diverse decine di tecniche con lo scopo di individuare i potenziali rischi associati ai processi o ai materiali trattati e ridurre la frequenza ed il danno causato da incidenti o dal rilascio di materiali pericolosi.

Le diverse metodologie affrontano uno o più dei punti seguenti:

1. identificazione dei pericoli, associati al tipo di processo, di materiali trattati o attrezzature utilizzate;
2. valutazione e quantificazione dei rischi;
3. classificazione dei pericoli individuati per livelli di priorità di rischio. In questo modo è possibile stabilire quali casi affrontare prioritariamente tra i casi di pericolo individuati nei primi due punti.

Importanza centrale assume il punto 2, ovvero la valutazione del rischio (*risk assessment*) per cui sono state sviluppate numerose tecniche che vengono classificate secondo diversi criteri. In questo senso si possono avere tecniche di valutazione deterministiche o probabilistiche, oppure tecniche qualitative o quantitative.

TECNICHE DETERMINISTICHE	TECNICHE QUALITATIVE
Mirano ad una valutazione del danno.	Sono condotte da un team multidisciplinare che ha il compito di identificare scenari di potenziale incidente e fornire un giudizio di rischio.
TECNICHE PROBABILISTICHE	TECNICHE QUANTITATIVE
Mirano ad una valutazione della frequenza degli incidenti.	Identificato lo scenario, forniscono valutazioni statistiche di rischio ed ulteriori dettagli che aiutano nella valutazione del rischio.

Tab. 1 ► Classificazione delle metodologie di Risk Assessment.

Alcune tra le tecniche qualitative più comuni sono riepilogate di seguito, con una breve descrizione.

Tecniche
quantitative
e qualitative

What-if analysis. Si utilizza la tecnica del brainstorming a cui partecipano un gruppo di operatori esperti del processo. Si analizzano tutti i componenti e le apparecchiature del processo, o parte di esso, e si analizzano gli effetti di eventi indesiderati con la formula: “Cosa accade se?”

Hazard and Operability analysis (HazOp). Vengono utilizzate una serie di parole guida applicate ad ogni componente del processo, allo scopo di individuare deviazioni dalle operazioni normali che, potenzialmente, possono dare luogo a eventi indesiderati.

Esempi importanti di tecniche quantitative sono riportate di seguito.

Fault tree analysis (albero dei guasti). Viene realizzato un diagramma di flusso, che utilizza gli operatori logici dell'algebra booleana, in cui viene evidenziato tutto ciò che deve accadere affinché un potenziale pericolo (posto al top dell'albero) si trasformi in evento. Ad ogni ramo compete una probabilità dedotta dai casi storici.

Event tree analysis (albero degli eventi). Seguendo un processo logico inverso al precedente, rappresenta tutte le possibili conseguenze che un dato malfunzionamento, posto al top dell'albero, può causare in cascata, andando a riconoscere quali diramazioni portino ad un rischio. Anche in questo caso ad ogni ramo viene attribuita una probabilità dedotta dai casi storici.

3 HAZARD OPERABILITY

L'analisi di pericolo e funzionalità (*Hazard Operability analysis*) è una metodologia di valutazione del pericolo qualitativa elaborata inizialmente per essere applicata in fase di progettazione dei processi, allo scopo di individuare e limitare preventivamente tutti i possibili problemi operativi. Nel tempo la tecnica è stata impiegata con successo anche a processi già in fase produttiva.

L'Hazop viene condotto da un team multidisciplinare in cui sono presenti da un lato un gruppo di esperti nella applicazione della metodologia e dall'altro una rappresentanza qualificata di responsabili del progetto, di tecnologi del processo, della sicurezza di impianto, dei sistemi di controllo e della strumentazione e della manutenzione.

Documentazione necessaria per l'analisi Hazop

Le attività del gruppo sono dirette e coordinate da un Team leader di adeguata esperienza e competenza che, durante una serie di incontri, analizzano tutta la documentazione disponibile del processo, come:

- calcoli di progetto;
- manuale operativo dell'impianto;
- fogli specifiche di tutte le apparecchiature (pompe, scambiatori di calore, ecc.), con dati operativi, temperature, pressioni, portate e materiali trattati;
- processi e reazioni;
- sostanze e materiali a stoccaggio e trattati nel processo;
- eventuali informazioni sulla frequenza di guasti e manutenzione delle apparecchiature;
- elenco delle linee trasferimento liquidi e gas e classi delle tubazioni;
- elenco delle valvole di sicurezza, fogli specifiche e pressioni di intervento;
- caratteristiche ambientali del territorio circostante.

Lo scopo dell'Hazop è quello di identificare tutte le possibili deviazioni dalle normali condizioni operative del processo e, qualora venissero verificate conseguenze significative, si segnala il potenziale pericolo.

I responsabili del processo dovranno tenere conto delle informazioni prodotte dall'Hazop per intraprendere tutte le necessarie azioni di limitazione del rischio.

3.1 La procedura operativa dell'Hazop

Tra i documenti da analizzare una particolare importanza assume il *Piping & Instrumentation Diagram* (P&I), ovvero lo schema di marcia del processo. Come già è noto, il P&I non si limita a fornire solamente informazioni sulle apparecchiature principali e i circuiti di regolazione automatica, in maniera da illustrare soltanto i principi generali del processo, ma riporta in dettaglio assolutamente tutti i dispositivi e le apparecchiature presenti nell'impianto. In particolare, tutto il sistema delle valvole di sicurezza alla sovrappressione, le linee di blow down, le linee dei servizi come il

vapore di rete, l'acqua industriale, i gas tecnici, e le linee eventualmente necessarie solo nelle procedure di avviamento o arresto dell'impianto.

In questo modo sarà possibile studiare il processo senza rischiare di trascurare dispositivi ed elementi di linea apparentemente insignificanti durante la conduzione regolare del processo, ma il cui malfunzionamento può innescare una sequenza di eventi negativi.

Il team Hazop, utilizzando una terminologia specifica, applica la seguente procedura standard.

Individuazione di un nodo

Il processo viene suddiviso in stadi operativi elementari, definiti *nodi*, che possono essere apparecchiature come reattori, scambiatori di calore o anche linee di trasferimento. Ad ogni nodo possono essere associati tutti i dispositivi necessari al suo funzionamento, come valvole o circuiti di regolazione. Il livello di dettaglio di un nodo viene scelto dal team leader, in base alla sua esperienza. Tuttavia, l'insieme dei nodi deve essere scelto in modo tale che nessuno dei dispositivi o apparecchiature presenti nel P&I ne rimanga escluso.

Dichiarazione delle intenzioni progettuali del nodo

Questa comprende sia i compiti che il nodo deve assolvere che i parametri di progetto ed i loro range operativi. Ad esempio, se il nodo è costituito da una linea di scarico di sovrappressione comandata da una valvola le intenzioni progettuali includono la pressione alla quale la valvola si deve aprire e i limiti di portata che la linea può scaricare.

In questo modo il team stabilisce se una determinata condizione è all'interno dei limiti di operabilità o può dare luogo ad una *deviazione* dalle condizioni regolari.

Individuazione dei parametri coinvolti nelle intenzioni progettuali del nodo

Una lista dei possibili parametri operativi è riportata nella Tab. 2. Tuttavia l'elenco non si deve intendere esaustivo e sta all'esperienza del team non tralasciare parametri che potrebbero essere fondamentali nella individuazione delle *deviazioni*.

PARAMETRI COINVOLTI NELLA DESCRIZIONE DEL NODO			
PARAMETRI OPERATIVI	AZIONI	PARAMETRI FISICI E CHIMICO/FISICI	PARAMETRI DI CONTROLLO
Portata	Agitazione	Viscosità	Misura
Pressione	Miscelazione	Dimensioni particelle	Controllo
Temperatura	Separazione	Tempo	Sequenza
Livello	Addizione	Fase	Segnale
	Reazione	Velocità	Avvio/Arresto
	Trasferimento	Composizione	Comunicazione
		pH	Servizio

Tab. 2 ► Esempio di possibili parametri per l'analisi Hazop.

Applicazione delle parole guida ai parametri operativi e ricerca delle deviazioni

Il punto principale della metodologia Hazop consiste nell'applicare ai parametri di processo un certo numero di parole chiave e investigare se la combinazione può dare luogo ad una *deviazione* dalle normali condizioni operative. Se la deviazione costituisce un pericolo potenziale il team produce delle raccomandazioni.

Le parole chiave sono riportate in Tab. 3.

PAROLE GUIDA E SIGNIFICATO	
Assenza (no, none)	Nessuna intenzione progettuale si è ottenuta (assenza di flusso, di scambio termico..).
Aumento (more)	Riferito al parametro operativo considerato (aumento di temperatura, pressione, ecc.).
Diminuzione (less)	Riferito al parametro operativo considerato (diminuzione di temperatura, pressione, ecc.).
Diverso da (other than)	Ad esempio, una composizione differente da quella prevista.
Più di (more than)	Più componenti o attività di quelli previsti.
Altro (other than)	Si ha un'altra attività rispetto alle previste intenzioni progettuali.
Parte di	Si è ottenuta solo una parte delle intenzioni progettuali.
Inverso	Si verifica l'opposto delle intenzioni progettuali (esempio: il flusso è opposto).
Altrove	Applicabile a portate, destinazioni.
Prima/dopo	La sequenza operativa è errata (in particolare per operazioni discontinue).
Prima/dopo	Il tempo delle operazioni è differente.
Più veloce/più lento	L'intenzione è raggiunta troppo presto/troppo tardi.

Tab. 3 ► Parole guida standard della procedura Hazop.

Non tutte le combinazioni tra parole guida e parametri scelti hanno un reale significato. Ad esempio, la condizione "assenza di temperatura", ottenuta associando la parola guida "assenza" ed il parametro "temperatura", non ha significato fisico, mentre ha perfettamente senso la combinazione "assenza di portata".

Questa se riferita ad una portata di acqua di raffreddamento può dare luogo ad una *deviazione* potenzialmente pericolosa.

Individuazione delle cause di deviazione

Individuata una deviazione, ad esempio l'assenza di portata di acqua di raffreddamento, il team deve ricercarne tutte le possibili cause, considerando sia i possibili guasti delle apparecchiature che gli errori umani.

La raccolta di dati storici può essere di grande aiuto nell'approfondire solo le cause realistiche, anche non si deve mai trascurare l'analisi approfondita del caso e l'esperienza dei componenti del team.

Quando tutte le cause che producono la deviazione sono state analizzate si passa allo studio di un'altra combinazione "parola guida-parametro".

Valutazione delle conseguenze

Le conseguenze di ogni causa di deviazione deve essere analizzata per controllare se i parametri di processo escono al di fuori dei range operativi delle intenzioni

progettuali, valutando, eventualmente, anche i tempi in cui i range operativi vengono superati. Questo allo scopo di considerare anche l'intervento degli operatori e delle apparecchiature di controllo e salvaguardia.

Una volta che le conseguenze sono ritenute rilevanti, anche considerando i sistemi di salvaguardia e protezione esistente, il team registra la deviazione come rilevante ed emette delle raccomandazioni per i responsabili del processo.

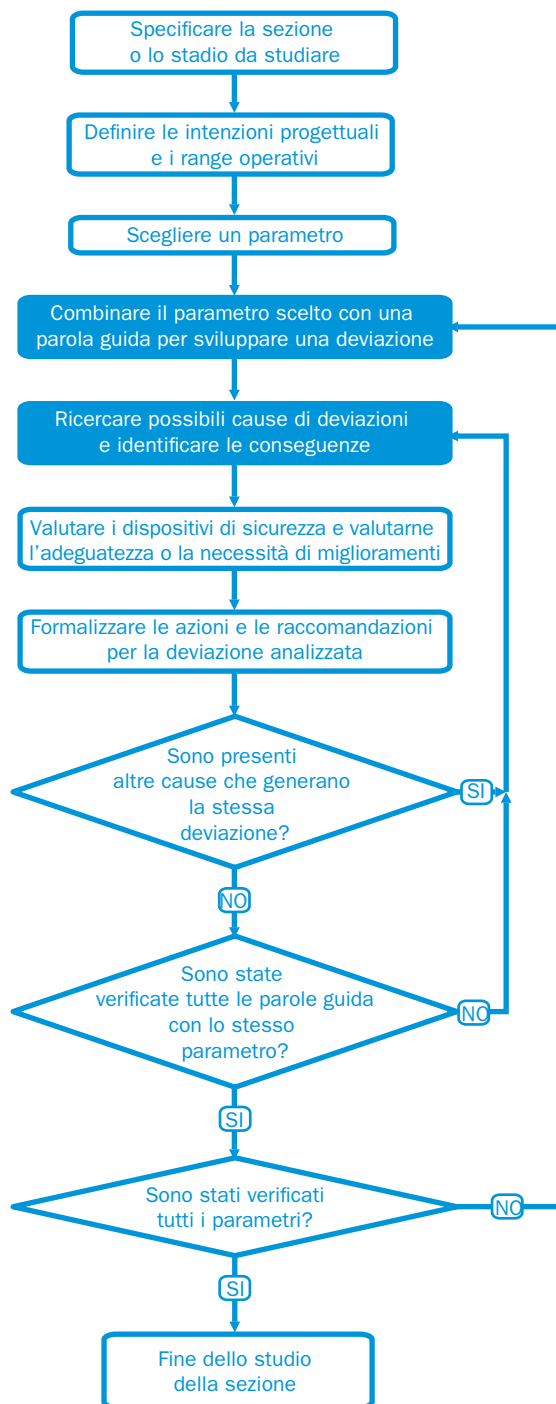


Fig. 2 ► Diagramma di flusso della metodologia Hazop.

4 ESEMPIO DI APPLICAZIONE DELL'HAZOP

Con l'esempio seguente si vuole semplicemente presentare la metodologia senza la pretesa di rappresentare in ogni dettaglio un realistico studio di caso. Il numero e il tipo dei documenti necessari non consente una trattazione esaustiva, che andrebbe, peraltro, oltre gli obiettivi di questo corso. Basti pensare che il P&I diagram di un processo semplice come la distillazione vacuum ha una lunghezza di 7 metri, mentre quello del cracking catalitico di circa 10 metri.

Per questi motivi, nel prossimo esempio si fornirà una versione solo leggermente più completa di un consueto schema di processo.

Come esempio di applicazione si è scelto il forno di riscaldamento di una carica che deve essere destinata ad una reazione endotermica. Il forno utilizza un combustibile gassoso, come gas naturale o gas di raffineria, ed è presente un controllore della temperatura in uscita della carica (variabile controllata) che comanda la valvola di regolazione della portata del combustibile.

Processi simili sono comuni nell'industria petrolifera e petrolchimica, come, ad esempio, l'idrodesolforazione della virgin naphta da inviare a reforming e il platforming stesso, dove la virgin naphta proveniente dall'impianto di desolforazione viene preriscaldata sino alla temperatura in cui il platino del catalizzatore è attivo.

Si ipotizza che una portata di 250 m³/h deve essere riscaldata da 150 °C a 325 °C.

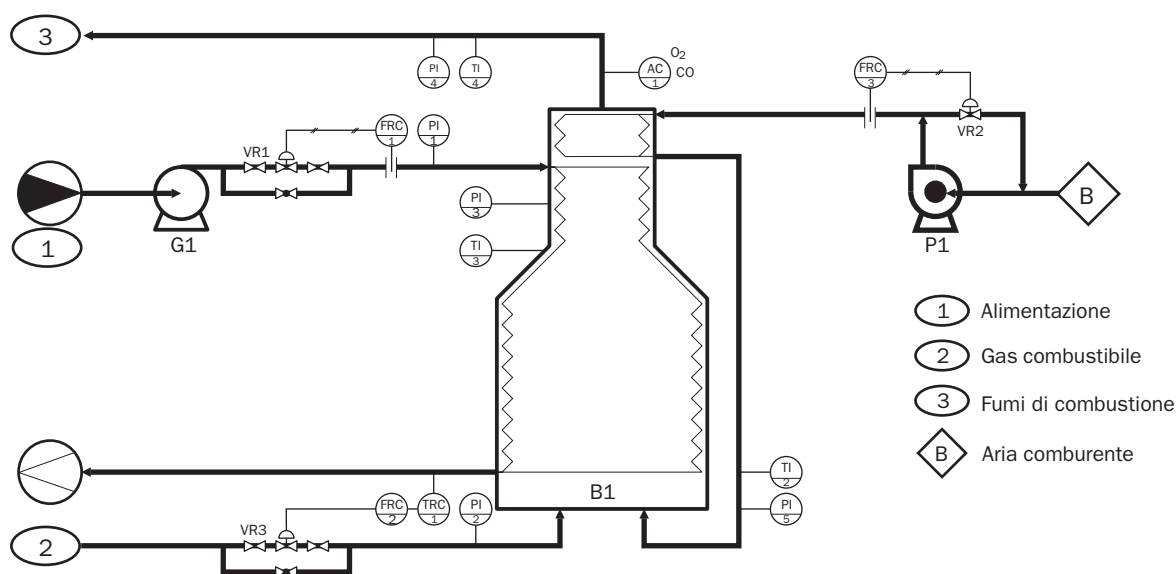


Fig. 3 ▶ Schema di marcia di un forno di preriscaldamento.

La procedura Hazop prevede al primo punto la suddivisione del processo in diversi nodi che andranno affrontati singolarmente. Come primo nodo si consideri la

linea di trasferimento dell'alimentazione dalla pompa G1 alla zona convettiva del forno B1 (v. Fig. 4).

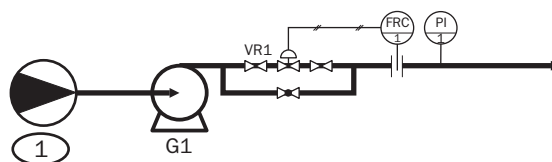


Fig. 4 ► Nodo 1 del processo “Forno di preriscaldamento”.

Definito il Nodo 1 si applicano i passi della procedura illustrati in Fig. 2. Solo a scopo esplicativo nella tabella seguente vengono riportati gli stessi blocchi del flow sheet di Fig. 2, mentre nella pratica la metodologia Hazop viene presentata come tabella.

Nodo 1	Linea trasferimento dell'alimentazione dalla pompa G1 al forno B1.
Intenzioni progettuali	Trasportare la portata $F = 250 \text{ m}^3/\text{h}$, sotto controllo di portata, all'interno del forno B1 tramite la pompa G1.
Scelta parametro 1	Portata
Parola guida 1	Assenza (no)
Deviazione 1 Ottenua dalla combinazione parametro-parola guida.	Assenza di flusso nella linea di trasferimento.
Analisi della deviazione ed individuazione delle cause.	L'analisi del P&I porta alle seguenti possibili cause di deviazione: <ul style="list-style-type: none"> ■ il motore della pompa non funziona; ■ la valvola di regolazione VR1 è bloccata in posizione chiusa; ■ la tubazione o la flangia tarata (il misuratore di portata) sono ostruite; ■ c'è un problema a monte della linea di trasferimento.
Valutare le possibili conseguenze della deviazione.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Il fluido nel serpentino del forno si surriscalda e va incontro a reazioni di decomposizione termica (cracking); ■ il serpentino nel forno rimane senza liquido si surriscalda e si danneggia; ■ il serpentino si rompe e rilascia liquido infiammabile nella zona radiante, dove sono presenti fiamme libere: di conseguenza si sviluppa un incendio; ■ perdita di produzione nelle unità a valle del processo.
Valutazione dei dispositivi di sicurezza presenti e proposta di adeguamenti.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Installare un allarme di bassa portata; ■ utilizzare una valvola di controllo del tipo aria chiude che, in caso di guasto alla rete aria compressa strumentale, mette in sicurezza il forno B1 aprendo la valvola VR1; ■ a monte della linea di trasferimento, installare un allarme di basso livello nel serbatoio che alimenta la pompa G1.
Raccomandazioni.	Installare un sistema strumentato di sicurezza che, al verificarsi della deviazione, provveda a: <ul style="list-style-type: none"> ■ bloccare l'ingresso del combustibile ai bruciatori del forno; ■ continuare l'immissione di aria ai bruciatori; ■ utilizzare più misuratori di portata sulla linea di alimentazione; ■ utilizzare allarmi sonori e visivi attivati dalla bassa portata di alimentazione; ■ aprire la valvola a serrande del camino del forno.

Tab. 4 ► Applicazione del Flow sheet Hazop al nodo “Transfer line alimentazione”.

L'applicazione di altre parole guida allo stesso parametro non fornisce altre deviazioni degne di considerazione ad eccezione di flusso-inverso che richiede semplicemente l'applicazione di una valvola di ritegno sulla mandata della pompa G1.

Passando all'analisi di altri parametri, l'unico che può dare deviazioni significative è la pressione. Tuttavia l'aumento di pressione fino alla rottura delle tubazioni all'interno del forno può essere causato solo dalla chiusura di una valvola a valle del forno e conseguente assenza di flusso.

Quindi tutte le cause e le conseguenze e le azioni correttive sono già state considerate nel caso precedente.

È possibile passare all'analisi del secondo nodo, costituito dalla linea di alimentazione dell'aria, illustrata in Fig. 5.

I risultati dello studio Hazop sono riportati in Tab. 5.

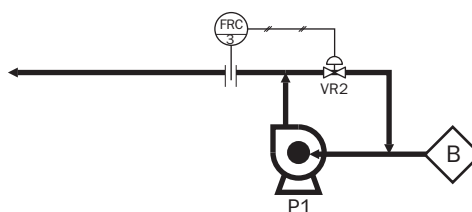


Fig. 5 ► Nodo 2 del processo "Forno di preriscaldamento".

COMPOSIZIONE DEL TEAM							
P&I N°:		FOGLIO:					
NODO: 2		LINEA DI TRASFERIMENTO DELL'ARIA DAL VENTILATORE P1 AL FORNO B1					
INTENZIONI PROGETTUALI		Trasferimento della portata di aria necessaria alla combustione completa ed efficiente del combustibile, in modo che l'analizzatore dei fumi rilevi valori corretti di O ₂ e CO.					
No	PARAMETRO	PAROLA GUIDA	DEVIAZIONE	CAUSE	CONSEGUENZE	PROTEZIONI PRESENTI	AZIONI
2	Portata	Assenza (No)	Assenza di portata di aria comburente.	Il motore del compressore non funziona.	La fiamma si spegne mentre il gas combustibile continua a fluire.	Sistema motore al compressore più affidabile.	Installare più sistemi di rilevazione della portata nella linea aria comburente.
				Il motore funziona ma l'accoppiamento con il compressore si è rotto.	La camera della fornace non è a tenuta e aria potrebbe essere presente. Se l'aria non viene fornita al bruciatore ed il gas combustibile si accumula nella camera l'aria presente e le superfici calde potrebbero determinare una esplosione.	Il controllore dell'aria deve essere di tipo aria apre che in mancanza di aria strumentale chiude la valvola ed evita la mancanza di aria al bruciatore.	Bloccare la portata di combustibile in assenza di portata aria comburente.
				La valvola VR2 di controllo portata a riciclo si è aperta completamente.	L'esplosione può provocare danni alle persone, alle apparecchiature e mancata produzione.		Utilizzare un sistema strumentato di sicurezza con un sistema di allarmi anche sonori e visivi.
				La tubazione si è intasata per qualche motivo.			Accorciare i tempi di intervento del sistema di sicurezza.
							Utilizzare schermi e reti di sicurezza nella aspirazione del compressore e verificare anche visivamente l'assenza di ostruzioni che coprono la rete di aspirazione.

Tab. 5 ► Applicazione del Flow sheet Hazop al nodo "Transfer line aria comburente".