

## **SICUREZZA DEI REATTORI CHIMICI**

**Ricchiuti A.1, Capponi G.F.1, Robotto A.2, Scrivanti M.2 e Zonato C.2**

**1 Servizio Rischio Industriale, APAT, Via Brancati 48, Roma, 00144, Italia**

**2 SC03 Area delle attività regionali per l'indirizzo e il coordinamento delle attività per il rischio industriale e sviluppo economico compatibile, Arpa Piemonte, Via Pio VII 9, Torino 10135, Italia**

### **SOMMARIO**

Il presente lavoro illustra i contenuti della Linea Guida “La stabilità termica nella sicurezza dei processi chimici industriali” di prossima pubblicazione da parte dell'APAT. In particolare tale linea guida costituisce l'aggiornamento ed un approfondimento delle tematiche contenute nella guida tecnica “Sicurezza dei reattori chimici” (ANPA, 2000) ed è volta a fornire un valido supporto agli addetti ai lavori relativamente alle problematiche fondamentali che attengono alla sicurezza dei reattori chimici, sia a livello teorico che impiantistico, attraverso la raccolta integrata delle principali nozioni ed esperienze in materia di studio ed analisi dei processi chimici esotermici, in particolare discontinui. Si tratta di argomenti molto vasti e per i quali lo stato dell'arte è in continua evoluzione, grazie a nuovi studi a livello internazionale e ad un sempre maggiore numero di persone che ne studiano ed approfondiscono i fondamenti ed i principi teorici.

La Linea Guida è stata curata da Arpa Piemonte su specifica convenzione con APAT, all'interno della quale sono stati in particolare previsti anche l'acquisto di apparecchiatura sperimentale dedicata e lo svolgimento di un corso specialistico a livello nazionale, per tecnici appartenenti alle diverse Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente.

### **1.0 INTRODUZIONE**

Una delle cause più ricorrenti che sono alla base di molti incidenti industriali collegati alla conduzione dei processi chimici è la mancata o incompleta conoscenza dei fenomeni coinvolti nel corso delle reazioni e delle grandezze ad essi correlati.

A tal proposito il lavoro si pone la finalità di sottolineare che solo attraverso la completa caratterizzazione delle fenomenologie e delle energie potenzialmente coinvolte si può pervenire alla conduzione di un processo sufficientemente sicuro. E' evidente che se i potenziali pericoli vengono identificati, essi possono essere tenuti sotto controllo attraverso l'adozione delle necessarie misure preventive e protettive sia di carattere impiantistico che gestionale.

Tale obiettivo tuttavia non è di semplice realizzazione ed in particolare vengono evidenziati nella linea guida gli stretti rapporti di interdipendenza nell'applicazione di metodi di indagine teorici, di modelli matematici e di tecniche sperimentali allo scopo di acquisire i parametri chimico-fisici e termodinamici caratterizzanti il processo che deve essere condotto in un reattore chimico.

### **2.0 STRUTTURA DELLA LINEA GUIDA**

La prima parte della linea guida è dedicata alla “Caratterizzazione del processo”, a partire dalle sostanze che partecipano alle reazioni chimiche ed affrontando successivamente gli aspetti relativi al processo dal punto di vista della determinazione delle energie in gioco e della loro incidenza sulla sicurezza e stabilità del sistema.

Viene quindi fornita una panoramica delle principali metodologie per la determinazione dei parametri termodinamici e cinetici essenziali ai fini della caratterizzazione del comportamento di un sistema reagente, evidenziando di ognuno le peculiarità, i limiti di impiego ed il grado di affidabilità dell'informazione prodotta.

La raccolta delle informazioni, il più possibile completa ed esaustiva, attraverso l'applicazione di metodi sia teorici che sperimentali, è finalizzata alla definizione del livello di criticità del sistema, a cui corrispondono diversi gradi di approfondimento di studi ed analisi, mirati alla individuazione dei requisiti di tipo

impiantistico e delle modalità di gestione e controllo del processo che devono essere adottati per la sua conduzione in sicurezza.

La seconda parte della linea guida “Cenni di impiantistica e componentistica” è espressamente dedicata alle ricadute impiantistiche dello studio di sicurezza preliminare che deve essere svolto ed è finalizzata ad illustrare gli accorgimenti che possono essere applicati per ridurre il rischio associato alla dinamica runaway, in funzione delle condizioni di processo e delle caratteristiche delle apparecchiature nelle quali è condotto.

Vengono presi in considerazione i principali tipi di reattori industriali e le apparecchiature connesse che ne consentono l'esercizio e vengono in particolare approfonditi gli aspetti di sicurezza propri del reattore batch con la descrizione delle misure tecnico-gestionali che possono essere adottate per la prevenzione dell'innesco di dinamiche runaway e/o per la protezione dell'apparecchiatura in caso di sovrappressione.

La terza parte della linea guida contiene strumenti e metodologie che possono consentire la verifica della corretta applicazione dei criteri per l'individuazione del livello di criticità del sistema reagente (presentati nella prima parte) e dell'adozione di idonee misure di prevenzione e protezione (descritti nella seconda parte) a livello sia impiantistico che gestionale. Le metodologie illustrate sono in particolare mirate all'individuazione del grado di criticità sia di sostanze termicamente instabili che di reazioni chimiche potenzialmente divergenti, alla valutazione dell'attendibilità degli studi di sicurezza ed alle loro ricadute sia impiantistiche che gestionali.

Tali strumenti possono essere di supporto per il valutatore pubblico incaricato di verificare la corretta applicazione dei criteri di prevenzione e protezione a livello impiantistico e gestionale, nell'ambito ad esempio degli approfondimenti discendenti dall'istruttoria tecnica del Rapporto di Sicurezza e delle verifiche ispettive sul Sistema di Gestione della Sicurezza.

Ad integrazione della linea guida sono inserite alcune appendici che costituiscono approfondimenti per la maggior parte degli argomenti trattati e riguardano ad esempio i metodi predittivi teorici, la discussione di alcuni incidenti, raggruppati per evento iniziatore della dinamica runaway, la raccolta critica di dati sperimentali, alcuni dei quali acquisiti in proprio tramite sperimentazioni mirate, risultati di simulazioni applicati a esempi.

## **2.1 La caratterizzazione del processo**

La completa caratterizzazione del processo che deve essere condotto in un'apparecchiatura industriale è la base di conoscenza necessaria per l'adozione delle più idonee misure impiantistiche e gestionali per la sua conduzione in sicurezza.

Uno dei principali pericoli nell'industria chimica deriva infatti dalla considerevole energia latente nelle sostanze e nei processi condotti che, in talune circostanze, può essere rilasciata in quantità e con velocità troppo elevate per essere assorbita dall'ambiente circostante. Per l'identificazione dei pericoli associati al processo è pertanto di fondamentale importanza raccogliere innanzitutto informazioni complete ed approfondite sulle caratteristiche delle sostanze coinvolte nel processo, siano esse reagenti, intermedi, prodotti o sottoprodotti. Non è inoltre di secondaria importanza valutare l'instabilità di una sostanza tal quale, per gli aspetti di sicurezza connessi allo stoccaggio ed alla movimentazione.

Una volta analizzate le problematiche connesse alle sostanze coinvolte, è necessario procedere alla raccolta delle informazioni relative al processo. Per la valutazione del pericolo che può derivare dalla conduzione di un processo chimico in un reattore industriale ed, in particolare, di una reazione chimica esotermica, è necessario essere in grado di valutare sia la massima quantità di calore che può essere sviluppata, sia la massima velocità di generazione del calore, strettamente legata alla velocità di reazione. Lo studio teorico del primo aspetto può essere condotto con gli strumenti di calcolo messi a disposizione dalla termodinamica; quello del secondo aspetto richiede la conoscenza dei fenomeni propri della cinetica chimica.

L'applicazione di un metodo predittivo teorico nelle fasi iniziali del percorso di identificazione e valutazione dei rischi permette di individuare gli elementi e gli aspetti più critici su cui concentrare i successivi approfondimenti da condursi con metodologie più rigorose, soprattutto di tipo sperimentale, per lo studio

delle possibili situazioni di incidente da reazione runaway (come ad esempio le tecniche di calorimetria adiabatica). Al proposito occorre infatti tenere presente che in ogni caso il solo uso di metodi predittivi teorici non può e non deve essere ritenuto esaustivo, né disgiunto da approfondimenti sperimentali, almeno a livello di screening. L'applicazione dei metodi predittivi teorici va vista quindi nell'ottica di poter circoscrivere il campo di indagine delle prove sperimentali in modo da ottimizzare l'approfondimento della ricerca con analisi mirate.

Tale approccio consente di ottimizzare le risorse dal momento che, nella valutazione dei pericoli potenziali associati alla instabilità/reattività di sostanze chimiche, potrebbero nascere problemi pratici dovuti alla necessità di condurre numerose prove sperimentali in apparecchiature sofisticate, che possono richiedere tempi lunghi e costi rilevanti. Occorre precisare infatti che, in generale, i risultati di prove sperimentali non possono essere considerati isolatamente, ma la pericolosità di una certa sostanza o reazione deve essere valutata sulla base di una serie di prove ottenute con apparecchiature diverse ed in condizioni differenti.

Infatti, lo studio di una reazione potenzialmente divergente necessita di informazioni molteplici, quali il calore sviluppato nel corso della reazione desiderata, il calore specifico della massa di reazione, l'aumento adiabatico di temperatura, i dati sulla cinetica della reazione desiderata, la sensibilità del sistema alle variazioni dei parametri di processo, l'intervallo di temperatura all'interno del quale si può innescare un'eventuale reazione indesiderata ed il suo calore di reazione, la velocità di aumento della temperatura in funzione della temperatura iniziale e del tempo, la velocità di crescita della pressione. Non tutti i sistemi sperimentali di analisi permettono di ricavare queste informazioni né di ottenerle con lo stesso grado di precisione e la scelta dello strumento dipenderà quindi dal livello di approfondimento dell'indagine che si vuole effettuare.

Nella linea guida vengono illustrate le principali tecniche sperimentali utilizzate per la caratterizzazione dell'instabilità termica delle sostanze e delle miscele di reazione al fine di evidenziarne il campo di applicazione e l'affidabilità dei risultati ottenuti. Per un inquadramento comparativo delle problematiche connesse alle principali tecniche sperimentali, si è anche proceduto con una raccolta critica di dati pubblicati nella letteratura specialistica, relativamente a diverse reazioni e sostanze ed un estratto di tale attività di studio è riportato in appendice alla linea guida: gli esempi illustrati dimostrano come i risultati ottenuti con metodi differenti possono variare anche considerevolmente l'uno dall'altro ed è importante che quando si analizzano criticamente dati sperimentali di stabilità termica si faccia sempre riferimento alla tecnica utilizzata per la loro determinazione.

E' interessante che lo studio sperimentale del sistema sia condotto nelle condizioni più critiche, vale a dire in condizioni adiabatiche, cioè senza scambi di calore con l'esterno, per cui tutta l'energia sviluppata dalla reazione esotermica è impiegata per riscaldare il sistema reagente; se il processo risulta sicuro in tali condizioni, lo sarà a maggior ragione in condizioni operative "normali", quando cioè si ha scambio di calore con l'esterno.

## **2.2 Definizione del livello di criticità del sistema**

Come illustrato precedentemente, ai fini di una completa caratterizzazione termica di un processo industriale è necessario raccogliere informazioni sia sulle sostanze coinvolte (dati fisici, tossicologici, dati sulla stabilità e sull'eventuale incompatibilità con altre sostanze, ecc.) che sulla reazione condotta (dati termodinamici e cinetici). Partendo da tecniche predittive teoriche e facendo ricorso a tecniche sperimentali, via via più di dettaglio, in funzione dei dati preliminari di screening, lo scopo è determinare i livelli termici (vale a dire temperatura di ebollizione del sistema, temperatura di innesco di eventuali reazioni secondarie o di decomposizione, massima temperatura che può essere raggiunta dal sistema in condizioni adiabatiche) sulla base dei quali può essere definito il livello di criticità di un sistema reagente.

Tale metodologia non è seguita frequentemente dai gestori di impianti industriali. Spesso nell'industria chimica le politiche di sicurezza si basano su quanto emerge dalla consuetudine operativa senza effettuare approfondimenti teorici e soprattutto sperimentali sulle peculiari caratteristiche termodinamiche e cinetiche della reazione principale e di quelle indesiderate. Inoltre molto spesso non sono note con accuratezza le capacità di scambio termico delle apparecchiature in cui il processo è esercito, soprattutto in termini di

coefficienti di scambio termico. Tale approccio è problematico in quanto al verificarsi di anomalie operative è difficile prevedere l'evoluzione termica del processo.

In sede di istruttoria tecnica o di verifica ispettiva sul sistema di gestione della sicurezza il controllore della pubblica amministrazione dovrebbe poter verificare se il gestore ha tenuto conto della potenziale criticità derivante dalla divergenza di reazioni chimiche esotermiche ed ha preso gli opportuni provvedimenti per la sua prevenzione o eventuale mitigazione degli effetti negativi, ma tali aspetti possono essere approfonditi solamente se sono noti i dati termodinamici e cinetici, frutto di analisi sperimentali mirate.

In mancanza di studi specifici effettuati dal gestore, come proposta di strumento operativo per l'analisi del "rischio termico" e per l'indicazione dei consigli di prudenza di un reattore batch, viene proposta nella linea guida, sotto forma di diagramma di flusso, una metodologia di indagine per l'individuazione del grado di criticità di reazioni chimiche potenzialmente divergenti. Dalla stima della pericolosità intrinseca del processo, è possibile valutare il livello di criticità del sistema rispetto al quale individuare le dotazioni impiantistiche minime per la sua conduzione in sicurezza, anche attraverso gli studi di approfondimento che, nei casi più critici, si rendono necessari.

In particolare, sulla base di tre livelli di temperatura caratteristici del processo, vale a dire temperatura di ebollizione del sistema, eventuale temperatura di innesco di una reazione secondaria (es. di decomposizione), massima temperatura raggiungibile adiabaticamente dal sistema ( $MTSR = T_p + \Delta T_{ad}$ ), può essere stimato il grado di criticità intrinseca del processo ed in funzione di esso il livello di approfondimento delle analisi e delle verifiche che devono essere condotte per l'individuazione dei requisiti di tipo impiantistico e delle modalità di gestione e controllo per la conduzione in sicurezza.

### **3.0 STRUMENTI DI VERIFICA DELLA SICUREZZA DEL SISTEMA**

Nella linea guida sono presentati strumenti e metodologie che possono essere di supporto per il valutatore pubblico incaricato di verificare la corretta applicazione dei criteri di prevenzione e protezione a livello impiantistico e tecnico-gestionale, nell'ambito ad esempio degli approfondimenti discendenti dall'istruttoria tecnica del rapporto di sicurezza e delle verifiche ispettive sul sistema di gestione della sicurezza di stabilimenti soggetti al D.Lgs. 334/99 e s.m.i. che siano caratterizzati da produzioni condotte in reattori di tipo batch o dalla presenza di sostanze termicamente instabili.

#### **3.1 Metodologia per la stima della stabilità termica di sostanze e processi**

In particolare viene proposta una metodologia di indagine pratica e speditiva, organizzata sotto forma di diagramma di flusso, per l'individuazione del grado di criticità sia di sostanze termicamente instabili che di reazioni chimiche potenzialmente divergenti.

Ad ognuno dei sei casi che si possono verificare, elencati in ordine crescente di criticità, corrispondono requisiti di tipo impiantistico, di modalità di gestione e controllo del processo modulati sulla base della criticità specifica. Evidentemente se nei campi di temperatura ai quali ordinariamente sono condotte le analisi sperimentali non si osservano inneschi di reazioni secondarie ( $T_s$ ), i livelli di criticità applicabili si riducono a due ( $MTSR < T_{eb}$  e  $MTSR > T_{eb}$ ). Per tali sistemi infatti la criticità è legata alla differenza tra la temperatura di ebollizione della massa in reazione e la massima temperatura che può essere raggiunta in condizioni adiabatiche (MTSR) per effetto dell'accumulo del calore sviluppato dalla reazione principale. Il livello di criticità potenziale del sistema cresce inoltre con l'aumentare del  $\Delta T_{ad}$ .

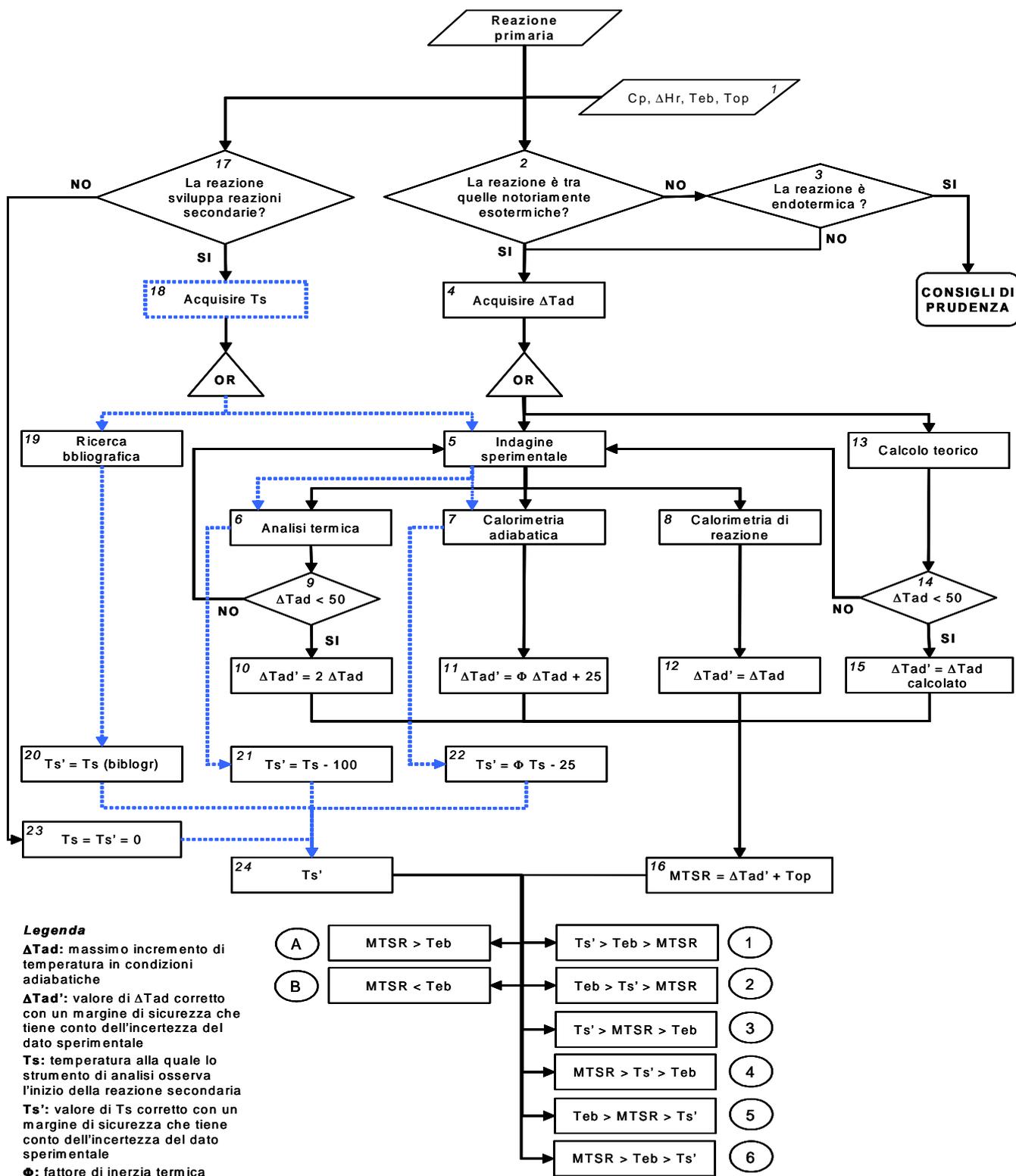


Figura 1. Diagramma di flusso per la valutazione della stabilità termica di un processo

### 3.2 Valutazione della sicurezza del sistema

Viene presentata nella linea guida una proposta di metodologia da applicare nel suo complesso a processi a cui è stato attribuito un livello di criticità elevato, sulla base dei criteri illustrati. Essa è strutturata come un percorso guidato di approfondimenti successivi e si configura come sintesi degli aspetti teorici e pratici che sono già stati anticipati nelle prime due parti della linea guida, armonizzandoli in un flusso logico unitario. Vengono presi in considerazione gli aspetti che definiscono le caratteristiche intrinseche della pericolosità di un processo e le anomalie che possono essere causa di perdita di controllo in modo da metterli in relazione con le dotazioni impiantistiche da adottare per ridurre il rischio associato alla dinamica runaway. Per la maggior parte delle domande da porsi e per le quali formulare una risposta, positiva o negativa, sono presentati nei paragrafi di approfondimento che contengono alcuni richiami ai concetti più significativi già esposti nei capitoli precedenti e alcuni dati che possono costituire un riferimento indicativo e di primo orientamento per il valutatore.

La prima parte della metodologia ripercorre le domande necessarie alla raccolta delle informazioni su sostanze e processi, al fine della valutazione del livello di criticità del processo che deve essere condotto. La seconda parte, prendendo in considerazione le caratteristiche del reattore e dei connessi dispositivi per la conduzione del processo industriale, porta il valutatore alla verifica della capacità di smaltimento delle energie in gioco, mentre la terza parte, avendo l'obiettivo di verificare la capacità di smaltimento della pressione, prende in esame l'idoneità dei sistemi di protezione attiva e passiva installati sul reattore.

### 3.3 Lista di controllo per il reattore discontinuo

Viene infine presentata una lista di controllo che ripercorre, in sequenza logica, le diverse domande da affrontare ai fini di una disamina sistematica delle problematiche di sicurezza di un sistema. In questo modo il percorso di valutazione, già illustrato e commentato nella linea guida, viene riproposto in modo unitario per la verifica del pericolo di innesco di reazioni runaway nel caso dei reattori batch. È stata volutamente focalizzata l'attenzione unicamente su quegli aspetti che costituiscono le finalità della specifica trattazione: tutti gli aspetti di sicurezza riguardanti altre problematiche (ad esempio potere corrosivo delle sostanze, schiumeggiamento, atmosfere infiammabili, esplosioni da polveri) necessitano senz'altro di altrettanta attenzione, ma esulano dal campo di interesse della linea guida e meritano quindi una trattazione a parte.

	Linea Guida	Check list SGS
<b>A.1.4 Sono adottati criteri e procedure gestionali per ridurre i rischi associati allo stoccaggio e movimentazione di sostanze pericolose?</b>		4 iii
A.1.4.1 Gli stoccaggi di sostanze pericolose sono strettamente commisurati alle reali necessità di gestione del processo?		
A.1.4.2 Il numero e le dimensioni dei serbatoi sono quelli effettivamente necessari?		
A.1.4.3 Il processo e le apparecchiature sono progettati per ridurre al minimo gli stoccaggi pericolosi?		
A.1.4.4 Le sostanze pericolose solide possono essere movimentate come tali anziché in soluzione?		
A.1.4.5 E' prevista la riduzione al minimo dello stoccaggio di prodotti intermedi pericolosi?		
A.1.4.6 La pressione di alimentazione dei materiali base può essere mantenuta inferiore alla pressione di esercizio dei vessel che li ricevono?		
A.1.4.7 Le fasi del processo possono essere realizzati in una serie di recipienti distinti e in cascata per ridurre la complessità e la portata di alimentazione, dei servizi e dei sistemi ausiliari?		
<b>A.2 Rischi generali connessi alla reazione chimica e al processo</b>	<b>Capitoli 3-4-5</b>	3 i
<b>A.2.1 E' nota o valutata sperimentalmente l'esotermia della reazione?</b>		
A.2.1.1 La reazione globale (primaria) appartiene ad una delle famiglie che sono più note per la loro esotermia?	Tabella 3.1	
A.2.1.2 E' noto il calore di reazione (entalpia della reazione $\Delta H_r$ )?	Paragrafo 3.2	
A.2.1.3 E' disponibile un valore sperimentale del calore di reazione riferito all'unità di massa della miscela di reazione?		
<b>A.2.2 Sono noti o sono stati valutati sperimentalmente i principali parametri chimico-fisici della miscela di reazione?</b>	<b>Capitolo 5</b>	3 i
A.2.2.1 E' nota la temperatura di ebollizione della miscela reagente a pressione ambiente?		
A.2.2.2 E' noto il calore specifico medio della miscela di reazione?		
A.2.2.3 E' noto il calore latente di evaporazione?		

Figura 2. Stralcio della lista di controllo

In generale le liste di controllo, com'è facile intuire, non esauriscono il novero delle domande da porsi rispetto agli elementi che incidono sulla sicurezza di un sistema, ma rappresentano comunque uno strumento utile a delineare un quadro d'insieme degli aspetti essenziali che devono essere considerati ed indagati con diverso grado di approfondimento rispetto alla peculiarità del caso in esame.

Tale precisazione è importante in quanto, giova ricordarlo, la risposta ad un quesito non implica aver immediatamente chiarito l'aspetto specifico; al contrario, ogni risposta richiede comunque una successiva analisi che pretende, per essere efficace, un adeguato livello di comprensione delle fenomenologie ed una approfondita conoscenza impiantistica.

La lista di controllo vuole infatti essere uno stimolo per l'utente a farsi carico di determinate problematiche qualora non adeguatamente affrontate, orientandolo eventualmente nell'individuazione di soluzioni migliorative. Essa tuttavia non può sostituire un'analisi sistematica di dettaglio né tanto meno rappresenta una norma tecnica rispetto alla quale formulare prescrizioni, diffide, provvedimenti. L'approccio da tenere in caso di risposta negativa non è definibile a priori ma è da valutarsi volta per volta, in quanto i singoli punti della lista di controllo non possono ritenersi contemporaneamente applicabili all'intero spettro delle situazioni di processo e di impianto riscontrabili nel panorama industriale corrente. Pertanto l'adozione di soluzioni tecnico-gestionali migliorative individuate a valle dell'applicazione della lista di controllo implica comunque una fase ragionata di disamina e confronto tra il valutatore e il gestore, sempre in termini relativi e non assoluti.

	<b>Linea Guida</b>	<b>Check list SGS</b>
<b>A.2.6 Il processo è stato progettato adottando qualcuno dei seguenti criteri di mitigazione?</b>		3iii, 4 iii
2.6.1 Scelta di temperature e pressioni di processo il più possibile ridotte e vicine alle condizioni ambientali	<i>Paragrafo 9.2.1</i>	
2.6.2 Scelta di sostanze (esclusi i reagenti, quindi ad esempio i solventi di reazione) che iniziano ad evaporare a temperature superiori a quelle massime raggiungibili	<i>Paragrafo 10.1.2</i>	
2.6.3 Scelta di sostanze (esclusi i reagenti, quindi ad esempio i solventi di reazione) che iniziano ad evaporare a temperature inferiori a quelle di decomposizione delle sostanze presenti	<i>Paragrafo 10.1.2</i>	
<b>B.1 Rischi specifici connessi al reattore (per i sistemi di agitazione e scambio termico, controllo temperatura e pressione si rimanda ai paragrafi specifici)</b>		
<b>B.1.1 Caratteristiche costruttive ed aspetti generali</b>	<b>Capitolo 8</b>	5.i
B.1.1.1 Il reattore è del tipo multi purpose oppure è dedicato a una reazione specifica che viene condotta secondo una formulazione sempre identica?		
B.1.1.2 I materiali di costruzione del reattore e delle apparecchiature sono stati scelti, oltre che per la loro resistenza alla corrosione, anche per la loro inattitudine ad influire sulla reazione?	<i>Paragrafo 8.1.2</i>	

**Figura 3. Stralcio della lista di controllo**

Nella lista di controllo il percorso viene presentato in maniera sequenziale con l'indicazione dei riferimenti ai contenuti della linea guida ed alla lista di controllo utilizzata in ambito di verifiche sul sistema di gestione della sicurezza.

Se è evidente l'intento di indirizzare l'utente alla migliore comprensione delle problematiche attraverso il richiamo ai capitoli e ai paragrafi della linea guida in cui determinati argomenti vengono trattati, si ritiene necessaria una precisazione in merito alla scelta di proporre a riferimento anche i contenuti del SGS.

Come già evidenziato, sono essenzialmente due i contesti in cui il valutatore si trova a dover considerare la sicurezza di un sistema rispetto al pericolo di reazioni runaway, ovvero l'istruttoria tecnica del rapporto di sicurezza e la verifica ispettiva sul SGS. Ovviamente, a seconda del contesto, il percorso di disamina e valutazione della medesima problematica si dovrà concretizzare secondo un approccio diverso in quanto diverse sono le finalità dei due procedimenti.

La medesima lista di controllo, quale possibile strumento di supporto al valutatore nel percorso di disamina di pericoli di reazione runaway, potrà quindi essere utilizzata secondo approcci differenti. In particolare, se

in corso di istruttoria tecnica si auspica un'applicazione sistematica della lista di controllo finalizzata ad evidenziare, ancorché in modo non assoluto ed esaustivo, l'adeguatezza delle scelte processistiche e delle soluzioni impiantistiche adottate dal gestore per prevenire e mitigare le conseguenze derivanti da dinamiche runaway, in corso di verifica SGS la valenza della lista di controllo consiste invece nel portare all'attenzione della commissione ispettiva le problematiche rispetto alle quali ricercare i riscontri dell'attuazione del sistema di gestione.

In questo ambito quindi il punto di vista del valutatore sarà spostato dal particolare al generale, nell'intento di verificare non tanto l'adeguatezza dei sistemi di prevenzione e protezione rispetto ai pericoli di quel determinato contesto (processo e impianto) quanto l'adeguatezza dei criteri con cui il gestore ha affrontato le medesime problematiche nell'ambito del proprio sistema di gestione.

Per maggiore chiarezza rispetto a quanto esposto, si propongono nella linea guida alcune esemplificazioni dell'applicazione della lista di controllo nei due ambiti, istruttoria tecnica e verifica ispettiva sul SGS.

In ambito di istruttoria tecnica la verifica dell'adeguatezza dell'impianto rispetto ai pericoli associati a possibili dinamiche di tipo runaway rappresenta certamente l'aspetto nodale nell'ambito degli approfondimenti in sede di istruttoria tecnica. L'analisi dei rischi condotta dal gestore in ambito di rapporto di sicurezza dovrebbe contenere analisi specifiche (quali HAZOP, what if, ecc...) volte all'identificazione delle apparecchiature e delle strumentazioni critiche che, in caso di anomalia funzionale, potrebbero essere causa di innesco di evoluzioni pericolose del processo.

L'adeguatezza del sistema dal punto di vista impiantistico in termini di sistemi di prevenzione, sistemi di controllo, interblocchi o ridondanze adottati con l'obiettivo di ridurre gli eventi iniziatori della spirale che conduce alla divergenza dovrebbe essere sostenuta dal gestore alla luce della caratterizzazione cinetica e termodinamica del processo. Notevole rilevanza assumono anche gli studi per la caratterizzazione del regime fluidodinamico che si può instaurare in condizioni normali e in condizioni anomale, per la valutazione dell'adeguatezza dei dispositivi di scarico.

L'esperienza maturata nell'ambito delle istruttorie dei rapporti di sicurezza consente ad oggi di affermare che solitamente ad oggi il problema delle reazioni runaway è affrontato al limite dal punto di vista della probabilità di accadimento dell'evento senza valutare le conseguenze dello scenario se non in casi estremamente particolari. L'attenzione del valutare dovrà pertanto essere orientata prioritariamente ad accertare l'adeguatezza e la coerenza delle ipotesi assunte nell'ambito ad esempio dell'albero dei guasti per la verifica della stima della frequenza di tale tipologia di scenari. Le successive valutazioni, se ritenute opportune, dovranno necessariamente tenere conto in modo sistematico della situazione impiantistica e la lista di controllo proposta può costituire un valido supporto.

Nell'ambito di una verifica ispettiva sul sistema di gestione della sicurezza condotta ai sensi dell'art. 25 del D.Lgs. 334/99 e s.m.i., il controllo degli aspetti correlati alla conduzione in sicurezza dei reattori industriali rispetto ai pericoli di reazioni runaway assume un ruolo essenziale. Le questioni sollevate dalla lista di controllo proposta hanno infatti ricadute su tutti gli elementi fondamentali del SGS definiti dal D.M. 9 agosto 2000 e possono essere lo spunto, per la commissione di verifica, per la ricerca di riscontri dell'attuazione di un sistema di gestione che si fa concretamente carico delle problematiche del contesto specifico.

A titolo esemplificativo e facendo riferimento alla lista di controllo adottata per le verifiche ispettive, partendo dai fondamenti del SGS, vale a dire l'identificazione e valutazione dei pericoli, è evidente che un sistema di acquisizione ed aggiornamento delle informazioni di base (3.i – Identificazione delle pericolosità di sostanze e processi e definizione di criteri e requisiti di sicurezza) che prevede di procedere anche ad approfondimenti sperimentali qualora i dati di letteratura non siano sufficientemente affidabili dà garanzie sul corretto approccio alle problematiche di stabilità termica connesse a sostanze e processi.

La raccolta dell'esperienza operativa dello stabilimento ha sempre una grande importanza, ma assume un ruolo strategico nel caso di stabilimenti in cui vengono condotti processi chimici.

Dall'esame sistematico di incidenti, quasi incidenti, anomalie verificatisi in stabilimento (7.ii – Analisi degli incidenti e dei quasi incidenti), condotto ad esempio con l'ausilio di tecniche strutturate di analisi quali

quelle presentate nella Linea Guida APAT “Analisi post-incidentale nelle attività a rischio di incidente rilevante” n. 33/2005, emerge quanto il sistema di gestione della sicurezza sia costruito ed attuato in modo consapevole per prendersi carico dei pericoli connessi alla pericolosità delle sostanze detenute e dei processi condotti e possono essere individuati gli ambiti che necessitano di azioni di miglioramento.

In sintesi, tutti i punti della lista di controllo utilizzata per le verifiche ispettive sul sistema di gestione della sicurezza possono essere caricati di profondo significato se contestualizzati in uno stabilimento in cui si conducono processi esotermici in reattori di tipo batch ed i riscontri che il verificatore può raccogliere possono essere innumerevoli ed ovviamente non generalizzabili per l’originalità e la peculiarità di ciascun processo industriale e dello specifico sistema di gestione della sicurezza che lo prende in carico.

#### **4.0 CONCLUSIONI**

L’obiettivo della linea guida è quello di fornire uno strumento di lavoro che possa risultare utile agli operatori della sicurezza, in particolare del settore pubblico, che nel loro percorso professionale non hanno, o non hanno ancora avuto, la possibilità di occuparsi in modo specifico della materia.

Una materia così complessa, difatti, richiede una dedizione ed una prolungata esperienza diretta, circostanza che raramente può essere riscontrata in ambito pubblico, tra figure tecniche che svolgono a diverso titolo attività di controllo, vigilanza, prevenzione in settori spesso maggiormente orientati ad aspetti diversi dalle problematiche specifiche del rischio industriale.

Al contempo, le problematiche e le metodologie di approccio presentate nella linea guida possono trovare interesse e utilità anche presso il settore privato, costituendo per le figure aziendali che operano nel settore della sicurezza un valido strumento di supporto all’approfondimento delle problematiche connesse con la realtà specifica di impianti e processi.

In questo senso, la linea guida può rappresentare un contributo importante al confronto tra pubblica amministrazione e imprese industriali sulla base di linguaggi, criteri ed approcci comuni, configurandosi come strumento per la promozione e la diffusione della cultura della sicurezza.

#### **RIFERIMENTI**

- [1] ANPA Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente, Dipartimento rischio tecnologico e naturale, Sicurezza dei reattori chimici, ottobre 2000, Roma.
- [2] Cardillo, P., Le reazioni fuggitive e le decomposizioni esotermiche: sicurezza e ottimizzazione dei processi, *La Chimica e l’Industria*, Vol. 75, 1993, pp. 202-210.
- [3] Cardillo P. Cattaneo M., Meloni M.T., New examples of reaction calorimetry application in evaluating safety and in process development, *La Rivista dei Combustibili*, Vol. 48, No. 5, maggio 1994, pp. 199-206.
- [4] Chervin S., Bodman G.T., Method for estimating decomposition characteristics of energetic chemicals, *Process Safety Progress*, Vol. 22, No. 4, December 2003, pp. 241-243.
- [5] Barton J.A., Nolan P.F., Incidents in the chemical industry due to thermal-runaway chemical reactions, *Hazards X, IChemE Symposium Series No. 115*, 1989.
- [6] McIntosh R.D., Nolan P.F., Review and experimental evaluation of runaway chemical reactor disposal design methods, *J. Loss Prev. Process Ind.*, Vol. 14, 2001, pp. 17-26.
- [7] Van Gils E., Evaluation and assessment of runaway reactions hazards – an inspector’s point of view, *Safety and Runaway Reactions - Joint Research Centre, European Commission*, 1997.
- [8] Kao C.S., Hu K.H., Acrylic reactor runaway and explosion accident analysis, *J. Loss Prev. Process Ind.*, Vol. 15, pp. 2002, 213-222.