

**“STUDIO SISTEMATICO DEL SINERGISMO CHE PUÒ DETERMINARSI  
TRA SOSTANZE CHIMICHE PERICOLOSE NEL CASO DI LORO  
RILASCIO CONTEMPORANEO, A SEGUITO DI INCIDENTI  
SU IMPIANTI O DEPOSITI AD ALTO RISCHIO”**

P. Cardillo<sup>(1)</sup>, L. Gigante<sup>(1)</sup>, A. Lunghi<sup>(1)</sup>, C. Di Bari<sup>(2)</sup>

(1) Stazione Sperimentale per i Combustibili, V.le A. De Gasperi, 3 20097 S.Donato Mil. (MI)

(2) ISPESL-DIPIA Via Urbana 167, 00184 Roma

## **1. SOMMARIO**

L'industria chimica di processo prevede l'utilizzo di sostanze talvolta molto reattive, tossiche o infiammabili. Tali sostanze possono essere pericolose per loro stessa natura (il D. Lgs. 334/99 contiene un elenco di sostanze e di categorie di prodotti considerati pericolosi e la cui pericolosità deve essere valutata in fase di previsione del rischio) ma possono anche presentare pericoli potenziali aggiuntivi nel caso vengano accidentalmente miscelate con altri prodotti.

La valutazione delle conseguenze è ancora piuttosto lacunosa, per obiettive difficoltà (dato il numero pressoché infinito di combinazioni chimiche) e per la scarsa conoscenza sulle possibili interazioni delle varie classi di prodotti tra di loro e con l'ambiente (effetto sinergico). Sono infatti molti i fattori che possono influenzare la pericolosità/reattività di tali interazioni, soprattutto a seguito di un incidente.

Il presente lavoro si collega agli studi precedentemente svolti dalla Stazione sperimentale per i Combustibili sulle reazioni fuggitive e sulla reattività di composti e miscele.

Obiettivi primari di questo lavoro sono stati l'acquisizione di conoscenze sulla reattività di sostanze chimiche ottenuta mediante lo studio sistematico sul sinergismo tra varie classi di sostanze considerate ad alto rischio (di cui alla prima e seconda direttiva Seveso) e di proporre una metodologia di prova per uno studio preliminare della pericolosità delle diverse sostanze in seguito al verificarsi di un incidente e al conseguente rilascio di tali sostanze.

## **2. INTRODUZIONE**

Il lavoro si è articolato sostanzialmente in cinque fasi. Inizialmente sono stati definiti alcuni scenari incidentali ipotizzabili. In un impianto gli scenari incidentali ipotizzabili sono numerosi e dipendono dalla tipologia dell'impianto considerato, dai volumi di prodotti utilizzati, dalla presenza di sostanze chimiche in ogni fase della lavorazione e in ogni sezione dell'impianto (serbatoi, cisterne, tubazioni, reattore, ecc.). Tali sostanze possono fuoriuscire o essere rilasciate accidentalmente nell'ambiente a causa di vari fenomeni (reazioni fuggitive e reazioni di decomposizione con conseguente pressurizzazione dei contenitori, anomalie di funzionamento, danni strutturali provocati da cause esterne, da incendi, da corrosione, ecc.). Lo scenario deve anche considerare come si comportano i diversi prodotti chimici, in caso di spargimento o fuoriuscita accidentale, in contatto con materiali comuni come acqua e aria e, ancora, come si comportano se vengono in contatto, in caso di incidente, con altre sostanze. I pericoli da reattività possono continuare anche dopo l'incidente mentre sono in atto le necessarie contromisure. Dall'analisi statistica di incidenti avvenuti in impianti di produzione e stoccaggio di sostanze chimiche (sono stati consultati ad esempio il database EUCLIDE [1], che prende in considerazione 406 incidenti dal 1939 al 1996 e l'Accident DataBase, compilato dall'ICHEME,

l'Institution of Chemical Engineering inglese [2], che ha analizzato oltre 13000 incidenti e le cause) emerge chiaramente che gli scenari incidentali più comuni sono:

- Reazioni fuggitive
- Incendi
- Reazioni non volute o mescolamento accidentale di sostanze reattive

Per ognuno di questi eventi accidentali è stata studiata una dinamica di accadimento e definita una prova sperimentale in grado di simulare tale evento.

Si è quindi giunti alla definizione di reattività, compatibilità e pericolosità nel contesto di tali scenari. Viene genericamente definita reattiva (dal punto di vista della pericolosità) ogni sostanza che può polimerizzare violentemente (per esempio monomeri), decomporre per effetto del calore (perossidi, nitroderivati, ecc.) o di cause meccaniche (frizione, attrito), condensare o reagire con se stessa (isomerizzazione, disproporzionamento), con l'ossigeno (sostanze piroforiche, combustibili, infiammabili), con altre sostanze (metalli, ossidanti, riducenti, acidi, basi, ecc.) o che può reagire violentemente con l'acqua. Le conseguenze possono essere, nel caso peggiore, una reazione chimica veloce o un'esplosione o, in casi meno severi, un aumento indesiderabile di temperatura che può portare la miscela al di sopra del suo punto di infiammabilità o provocare un aumento della tensione di vapore del sistema. Molto più difficile è definire, in modo univoco, la compatibilità, dato il gran numero di variabili che entrano in gioco.

Si è proceduto pertanto al reperimento di Matrici di Interazione Chimica (in forma cartacea o elettronica) già esistenti e alla loro valutazione per verificarne l'utilizzazione nel contesto degli scenari incidentali ipotizzati. Si è operata un'attenta analisi della letteratura esistente (testi fondamentali e di banche dati) per reperire le informazioni necessarie per la compilazione di nuove Matrici di Interazione Chimica (MIC). Informazioni sulle caratteristiche di pericolosità, reattività, ecc. delle singole sostanze si trovano solitamente nelle schede di sicurezza (Material Safety Data Sheet) o in altre fonti della letteratura. Tuttavia, l'esame delle caratteristiche delle singole sostanze utilizzate in un processo può non essere sufficiente poiché, per la maggior parte, i pericoli derivano dalle interazioni tra le sostanze presenti e con l'ambiente circostante.

Nei casi in cui sono state trovate informazioni insufficienti, è stata condotta una sperimentazione con l'impiego di tecniche termoanalitiche e calorimetriche (principalmente calorimetria differenziale a scansione, termogravimetria e calorimetria adiabatica, con analisi degli eventuali prodotti di combustione e/o decomposizione mediante analizzatore FTIR dotato di cella per gas). La reattività delle sostanze è stata definita considerandone il comportamento in caso di rilascio (reattività con l'aria e caratteristiche di infiammabilità), coinvolgimento in incendi esterni (produzione accidentale di prodotti tossici di combustione/decomposizione; eventuale reattività con l'acqua usata come mezzo estinguente), mescolamento accidentale con altre sostanze incompatibili o coinvolgimento in eventi quali reazioni fuggitive.

Dallo studio del comportamento di un numero limitato di sostanze ritenute interessanti industrialmente e con caratteristiche intrinseche di pericolosità, in relazione allo scenario incidentale ipotizzato, si è giunti al successivo sviluppo di Matrici di Interazione Chimica (MIC), ovvero di tabelle bidimensionali in cui viene evidenziata l'interazione delle sostanze studiate con altre sostanze incompatibili, oltre che con l'aria e con l'acqua. Compilando opportunamente tali tabelle è possibile definire l'indice di pericolosità di dette sostanze che a seguito, per esempio, di un incendio, di una esplosione, di un rilascio contemporaneo possano venire in contatto tra di loro, con l'aria circostante o

con l'acqua. La sperimentazione effettuata è stata rivolta alla simulazione degli scenari incidentali ipotizzati: un incendio esterno che coinvolge un magazzino di stoccaggio di prodotti chimici, l'incidente ed il conseguente rilascio di sostanze gassose a seguito di una reazione fuggitiva ed il mescolamento accidentale di sostanze. Quest'ultimo caso è stato ulteriormente sviluppato considerando anche la reattività di una sostanza infiammabile con l'acqua al fine di valutare le conseguenze (in termini di sostanze potenzialmente tossiche rilasciate verso l'ambiente) nel caso che un incendio che coinvolgesse questa sostanza venisse estinto con acqua.

### **3. METODOLOGIA ADOTTATA PER LO SVILUPPO DI MATRICI DI INTERAZIONE CHIMICA**

#### **Informazioni riportate nelle matrici di interazione chimica**

Le matrici di interazione chimica (MIC) forniscono, in un formato facilmente consultabile, informazioni riguardanti i possibili pericoli derivanti dal mescolamento accidentale di sostanze chimiche.

In particolare, dalla loro consultazione, si dovrebbero poter ottenere:

- informazioni circa il grado di pericolosità (Hazard Rating, HR) in relazione all'infiammabilità della miscela dei vapori formati o dei gas di reazione e/o decomposizione che possono generarsi;
- informazioni circa il grado di pericolosità (Hazard Rating, HR) della eventuale reazione esotermica che può aver luogo al contatto dei componenti la miscela;
- informazioni circa il grado di pericolosità (Hazard Rating, HR), intesa come tossicità e/o corrosività della miscela ottenuta;
- particolari informazioni circa la pericolosità accertata del sistema.

Il loro utilizzo si può estendere inoltre ad altri campi di applicazione: ad esempio possono essere utilizzate come fonte di dati di reattività, come materiale didattico per la formazione del personale e come strumenti idonei alla valutazione del rischio.

Queste matrici, generalmente prodotte manualmente, sono anche un metodo valido per individuare rapidamente la mancanza di informazioni circa alcune caratteristiche dei prodotti utilizzati e la loro compilazione è uno strumento per avere un rapido ed efficace "risk assessment" di un processo produttivo o di una lavorazione di laboratorio.

In ogni laboratorio chimico, ma anche in ogni reparto produttivo, dovrebbero pertanto essere presenti delle MIC costruite dal personale stesso impegnato nella lavorazione: sotto la supervisione di un responsabile per gli aspetti di sicurezza e con il contributo di varie competenze presenti all'interno dell'azienda o della istituzione interessata, le MIC dovrebbero essere "costruite", prendendo in considerazione le sostanze e i prodotti presenti nel luogo di lavoro.

La forma di rappresentazione scelta per le MIC, riportate in questo lavoro di ricerca, è quello di matrice bidimensionale recante il composto o la classe di composti considerata su entrambi gli assi della matrice: l'incrocio tra due componenti individua immediatamente le caratteristiche di pericolosità della miscela ottenuta (Fig. 1).

Tale forma di rappresentare le MIC è la più utilizzata ed è raccomandata anche da diverse organizzazioni [3-5].

L'indice di pericolosità, o Hazard Rating (HR), per le diverse combinazioni di sostanze definisce, in funzione di diversi scenari incidentali ipotizzabili, la pericolosità in relazione alla infiammabilità, reattività e tossicità della miscela formata utilizzando una serie di indici numerici (da 0, corrispondente all'assenza di pericolo, a 4, corrispondente al pericolo più alto).

La casella corrispondente all'incrocio tra due sostanze (o classi di sostanze, se la matrice è generica) è pertanto ulteriormente divisa in quattro settori che identificano differenti tipologie di pericoli. (Fig. 2. )

L'attribuzione del HR (Hazard Rating) è stato scelto sulla base del modello fornito dallo standard NFPA 704 [6].

Il significato dei valori di HR è di seguito specificato in Tabella 1.

Per i dati infiammabilità, reattività e tossicità, fonti primarie sono stati il programma Chemical Reactive Worksheet [7] (CRW) del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), dell'Università dell'Illinois e dell'Università della Louisiana, testi quali "Dangerous Properties of Industrial Materials" [8] e "Handbook of Chemical Hazards" [9] e motori di ricerca di informazioni chimiche via Internet [10]; tali informazioni sono state integrate, quando necessario, da calcoli effettuati con programmi di valutazione termodinamica e da dati sperimentali ottenuti mediante DSC (confronto dati aria azoto per individuare eventuali reattività con aria del prodotto studiato), TG-FTIR (analisi qualitativa dei prodotti di decomposizione in aria ed azoto per individuare eventuali gas tossici) e ARC (studio della reattività di miscele).

#### ***Attribuzione del HR di infiammabilità***

Per l'attribuzione del HR relativo all'infiammabilità, ove possibile, possono essere utilizzati alcuni programmi in grado di predire limite inferiore, limite superiore e temperatura di autoaccensione [11]. I suddetti programmi si basano, analogamente al programma di valutazioni termodinamiche CHETAH dell'ASTM [12], sul criterio dei contributi di gruppo; i calcoli vengono effettuati pertanto solamente a partire dalla conoscenza della struttura chimica delle sostanze di interesse (in pratica dal calore di formazione). Tutti i calcoli termodinamici effettuati dal programma si riferiscono a specie in fase gassosa.

Dove non presenti in letteratura, e quando non fosse possibile neppure procedere a valutazioni termodinamiche, le caratteristiche di infiammabilità, intesa in senso lato come la tendenza all'ossidazione di sostanze e miscele, possono essere determinate sperimentalmente mediante l'utilizzo della Calorimetria Differenziale a Scansione (DSC). Per ottenere questo tipo di informazione le prove vengono effettuate prima in aria (l'aria statica che rimane nel crogiolo all'atto della chiusura) e poi in azoto, caricando direttamente il campione in atmosfera inerte, con uno speciale dispositivo messo a punto dalla SSC [13].

La eventuale differente reattività, ovvero presenza di effetti esotermici nella prova in atmosfera di aria ed assenza di effetti in atmosfera di azoto, è evidentemente da attribuire alla ossidazione, da parte dell'aria presente nel crogiolo, della miscela analizzata (Fig. 3).

L'entità di tale effetto, intesa come integrale del picco esotermico rilevato, dipende da diversi fattori (quali ad esempio il rapporto stechiometrico tra ossidante e combustibile, stato fisico del campione analizzato, eventuale presenza di

materiale inerte nella miscela) mentre la temperatura alla quale tale effetto si manifesta dipende, per prove standard di riscaldamento dinamico a 10 °C/min, dalla reattività della miscela studiata.

Ove assenti altre informazioni circa l'infiammabilità di miscele è possibile dunque utilizzare i dati sperimentali ottenuti dalle prove DSC, condotte come sopra descritto (Tab. 2).

#### ***Attribuzione del HR di reattività***

Anche, e soprattutto, le caratteristiche di reattività di sostanze e miscele, possono essere determinate sperimentalmente mediante l'utilizzo di tecniche calorimetriche e termoanalitiche (DCS e ARC). Per ottenere questo tipo di informazione le prove DSC vengono effettuate prima in aria (l'aria statica che rimane nel crogiolo all'atto della chiusura) e poi in azoto (figura 4). La presenza di effetti esotermici sia nella prova in atmosfera di aria, sia in quella in atmosfera di azoto, evidenzia la reattività del campione analizzato (decomposizione, polimerizzazione, ecc.). L'entità di tale effetto, intesa come integrale del picco esotermico rilevato nella prova in atmosfera di azoto, dipende dalla reattività della miscela studiata, tuttavia il valore di HR viene attribuito sulla base della temperatura di inizio dell'effetto esotermico rilevato (Tabella 3). Per l'esperienza maturata sui test di stabilità termica DSC, si considerano non significativi effetti esotermici con un  $\Delta H$  maggiori di 50 J/g di miscela. Le prove ARC, condotte in modo particolare dosando uno dei due componenti la miscela direttamente nella bomba calorimetrica durante la fase strumentale di "search" (di ricerca cioè di effetti esotermici), consentono di valutare e quantificare meglio la reattività di miscele già studiate mediante DSC e risultate reattive (figura 5). Lo strumento consente di misurare la pressione sviluppata per effetto della reazione esotermica oltre che di quantificare l'effetto termico.

#### ***Attribuzione del HR di tossicità***

Per quanto riguarda i dati di tossicità, la fonte primaria è stato il volume Dangerous Properties of Industrial Materials e le MSDS del DataBase della Merck [14]. In assenza di informazioni attendibili, la sperimentazione TG-FTIR e ARC-FTIR ha consentito di individuare le caratteristiche di tossicità dei prodotti ottenuti dalla decomposizione e/o parziale combustione dei prodotti studiati.

In figura 6, è riportata una MIC relativa ad un generico carbammato ottenuta applicando la metodologia sopra descritta.

## **4. CONCLUSIONI**

Le matrici di interazione chimica (MIC) sono strumenti in grado di fornire informazioni riguardanti i possibili pericoli derivanti dal mescolamento accidentale di sostanze chimiche. Generalmente, come nel caso del presente lavoro, possono essere costituite da tabelle bidimensionali in cui viene evidenziata l'interazione delle sostanze studiate con altre sostanze incompatibili, oltre che con l'aria e con l'acqua. Compilando opportunamente tali tabelle è possibile definire l'indice di pericolosità di dette sostanze che a seguito, per esempio, di un incendio, di una esplosione, di un rilascio contemporaneo possano venire in contatto tra di loro, con l'aria circostante o con l'acqua. Queste matrici, quando prodotte manualmente dagli stessi operatori e responsabili di laboratorio o impianto, costituiscono anche un metodo valido per individuare rapidamente la mancanza di informazioni circa alcune caratteristiche dei prodotti utilizzati e la loro compilazione è uno strumento per avere un rapido ed efficace "risk assessment" di un processo produttivo o di una

lavorazione di laboratorio. Da ultimo è opportuno evidenziare il carattere didattico che svolge la compilazione delle MIC.

## RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito di un programma di ricerca finanziato dall'Ispesl, ricerca n. 58/98.

**Tabella 1 - Significato degli indici di HR per tipo di pericolo**

<b>TIPO DI PERICOLO</b>													
<table border="1"> <thead> <tr> <th><b>INFIAMMABILITA'</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4 - PUO' GENERARE GAS INFIAMMABILI</td> </tr> <tr> <td>3 - PUO' GENERARE PRODOTTI INFIAMMABILI</td> </tr> <tr> <td>2 - E' COMBUSTIBILE</td> </tr> <tr> <td>1 - E' COMBUSTIBILE IN ALCUNE PROPORZIONI</td> </tr> <tr> <td>0 - NON E' COMBUSTIBILE</td> </tr> </tbody> </table>	<b>INFIAMMABILITA'</b>	4 - PUO' GENERARE GAS INFIAMMABILI	3 - PUO' GENERARE PRODOTTI INFIAMMABILI	2 - E' COMBUSTIBILE	1 - E' COMBUSTIBILE IN ALCUNE PROPORZIONI	0 - NON E' COMBUSTIBILE	<table border="1"> <thead> <tr> <th><b>REATTIVITA'</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4 - ESPLOSIVO IN CONDIZIONI NORMALI</td> </tr> <tr> <td>3 - ESPLOSIVO PER URTI, FRIZIONI, RISCALDAMENTO</td> </tr> <tr> <td>2 - VIOLENTA REAZIONE</td> </tr> <tr> <td>1 - MODERATA REAZIONE</td> </tr> <tr> <td>0 - NON REATTIVO</td> </tr> </tbody> </table>	<b>REATTIVITA'</b>	4 - ESPLOSIVO IN CONDIZIONI NORMALI	3 - ESPLOSIVO PER URTI, FRIZIONI, RISCALDAMENTO	2 - VIOLENTA REAZIONE	1 - MODERATA REAZIONE	0 - NON REATTIVO
<b>INFIAMMABILITA'</b>													
4 - PUO' GENERARE GAS INFIAMMABILI													
3 - PUO' GENERARE PRODOTTI INFIAMMABILI													
2 - E' COMBUSTIBILE													
1 - E' COMBUSTIBILE IN ALCUNE PROPORZIONI													
0 - NON E' COMBUSTIBILE													
<b>REATTIVITA'</b>													
4 - ESPLOSIVO IN CONDIZIONI NORMALI													
3 - ESPLOSIVO PER URTI, FRIZIONI, RISCALDAMENTO													
2 - VIOLENTA REAZIONE													
1 - MODERATA REAZIONE													
0 - NON REATTIVO													
<table border="1"> <thead> <tr> <th><b>PERICOLI PER LA SALUTE</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4 - PERICOLO DI TOSSICITA' ACUTA</td> </tr> <tr> <td>3 - CORROSIVO E/O TOSSICO</td> </tr> <tr> <td>2 - DANNOSO SE INALATO O ASSORBITO</td> </tr> <tr> <td>1 - IRRITANTE</td> </tr> <tr> <td>0 - NESSUN PARTICOLARE PERICOLO</td> </tr> </tbody> </table>	<b>PERICOLI PER LA SALUTE</b>	4 - PERICOLO DI TOSSICITA' ACUTA	3 - CORROSIVO E/O TOSSICO	2 - DANNOSO SE INALATO O ASSORBITO	1 - IRRITANTE	0 - NESSUN PARTICOLARE PERICOLO	<table border="1"> <thead> <tr> <th><b>SPECIALI RACCOMANDAZIONI</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T - PUO' GENERARE PRODOTTI TOSSICI</td> </tr> <tr> <td>I - MISCELA IPERGOLICA</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	<b>SPECIALI RACCOMANDAZIONI</b>	T - PUO' GENERARE PRODOTTI TOSSICI	I - MISCELA IPERGOLICA			
<b>PERICOLI PER LA SALUTE</b>													
4 - PERICOLO DI TOSSICITA' ACUTA													
3 - CORROSIVO E/O TOSSICO													
2 - DANNOSO SE INALATO O ASSORBITO													
1 - IRRITANTE													
0 - NESSUN PARTICOLARE PERICOLO													
<b>SPECIALI RACCOMANDAZIONI</b>													
T - PUO' GENERARE PRODOTTI TOSSICI													
I - MISCELA IPERGOLICA													

**Tabella 2 - Infiammabilità di miscele: HR da dati DSC**

Reattività = 0	Le miscele considerate sono normalmente stabili. Le miscele in questa classe di HR non evidenziano effetti esotermici durante una prova standard DSC condotta fino ad una temperatura di 300 °C in atmosfera di aria statica.
Reattività = 1	Le miscele considerate sono normalmente stabili, ma possono divenire instabili in condizioni di riscaldamento esterno. Le miscele in questa classe di HR danno luogo ad effetti esotermici ad una temperatura > 150 °C ma ≤ 300 °C durante una prova standard DSC in aria (nessun effetto termico in atmosfera azoto).
Reattività = 2	Le miscele considerate diventano instabili in condizioni di riscaldamento esterno. Le miscele in questa classe di HR danno luogo ad effetti esotermici ad una temperatura ≤ 150 °C durante una prova DSC standard.
Reattività = 3	Le miscele considerate possono reagire violentemente se innescate da una forte sorgente di ignizione o se riscaldate in ambiente confinato. Le miscele in questa classe di HR danno luogo ad effetti esotermici ad una temperatura ≤ 50 °C durante una prova DSC.
Reattività = 4	Le miscele considerate possono dar luogo ad una combustione esplosiva nelle normali condizioni di temperatura e pressione.

**Tabella 3 - Reattività di miscele: HR da dati DSC e ARC**

Reattività = 0	Le miscele considerate sono normalmente stabili. Le miscele in questa classe di HR non evidenziano effetti esotermici durante una prova standard DSC condotta fino ad una temperatura di 300 °C in atmosfera statica di azoto.
Reattività = 1	Le miscele considerate sono normalmente stabili, ma possono divenire instabili in condizioni di riscaldamento esterno. Le miscele in questa classe di HR danno luogo ad effetti esotermici ad una temperatura > 150 °C ma ≤ 300 °C durante una prova standard DSC in atmosfera di azoto.
Reattività = 2	Le miscele considerate diventano violentemente instabili in condizioni di riscaldamento esterno. Le miscele in questa classe di HR danno luogo ad effetti esotermici ad una temperatura ≤ 150 °C durante una prova standard DSC in atmosfera di azoto.
Reattività = 3	Le miscele considerate possono decomporre violentemente se riscaldate in ambiente confinato. Le miscele in questa classe di HR danno luogo a violenti effetti esotermici ad una temperatura ≤ 50 °C durante una prova standard DSC in atmosfera di azoto e sono sensibili ad urti e frizioni.
Reattività = 4	Le miscele considerate possono a reazioni esplosive nelle normali condizioni di temperatura e pressione. Le miscele in questa classe di HR danno luogo a violenti effetti esotermici e sviluppo di pressione dalle caratteristiche esplosive determinate mediante prova ARC standard.

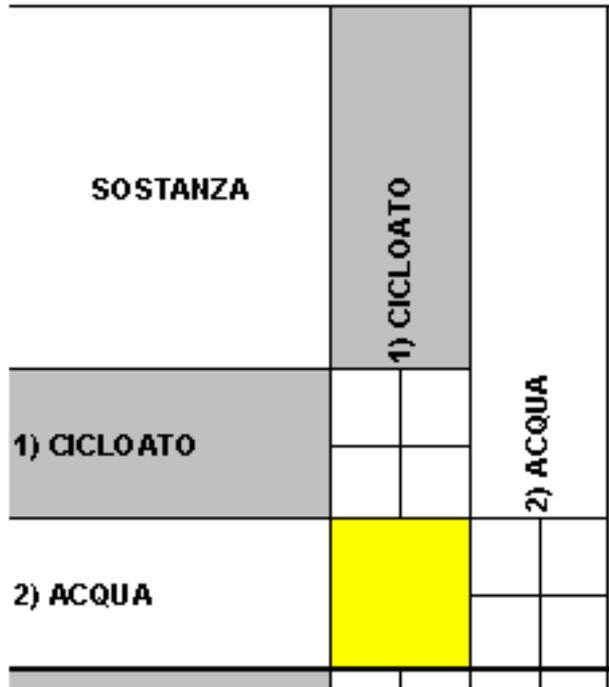


Fig. 1. - Schema di MIC

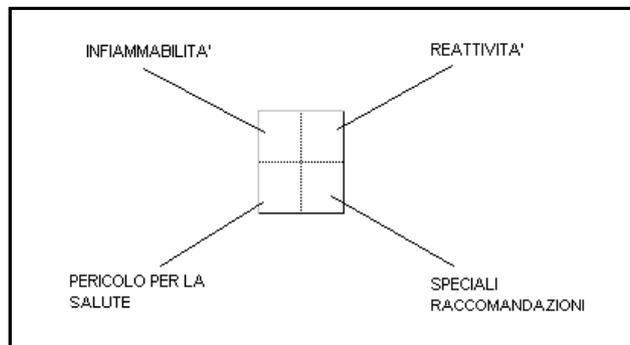


Fig. 2. - indicazione di pericolo presente nelle MIC

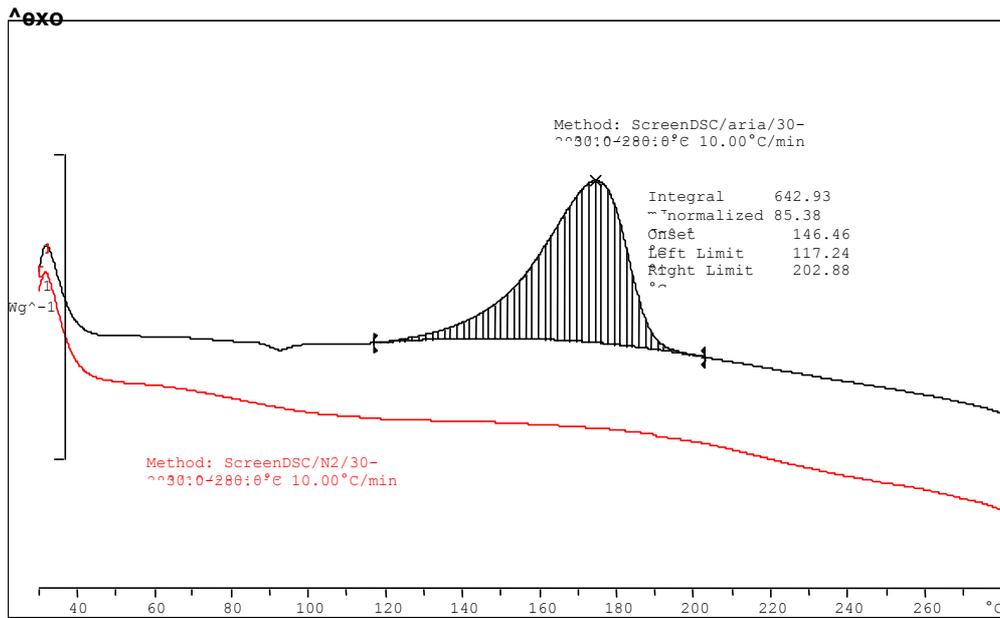
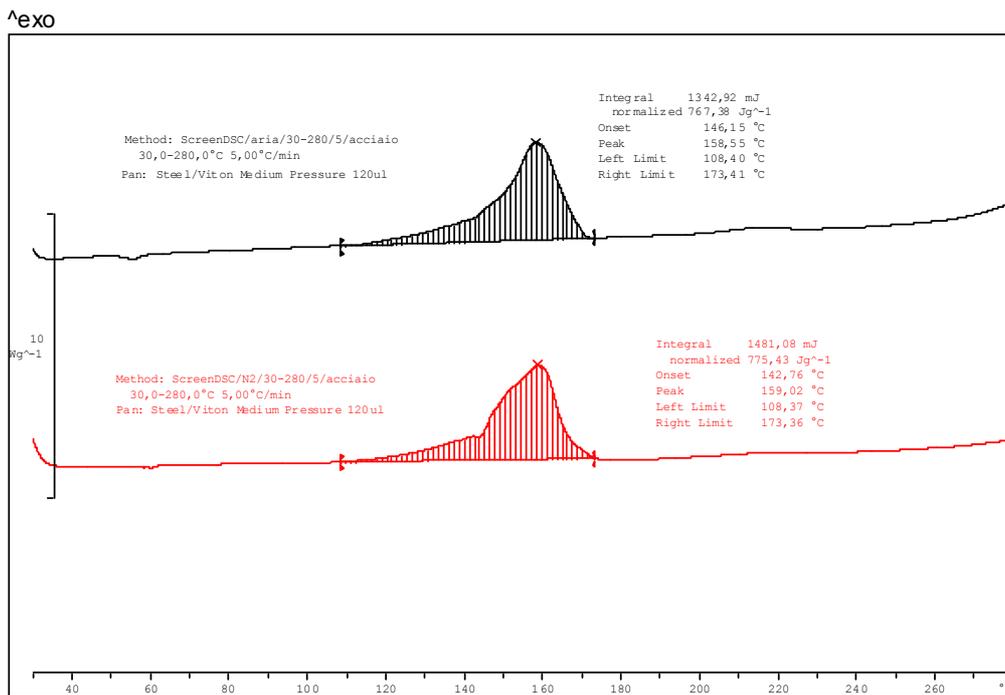


Fig. 3. – Prova DSC in atmosfera di aria (curva nera) e in atmosfera di azoto (curva rossa)



Stazione Sperimentale per i Combustibili: Fig. METTLER TOLEDO STAR® System

Fig. 4 - Prova standard DSC in atmosfera di aria (curva nera) e in atmosfera di azoto (curva rossa), per determinare il valore di HR di reattività

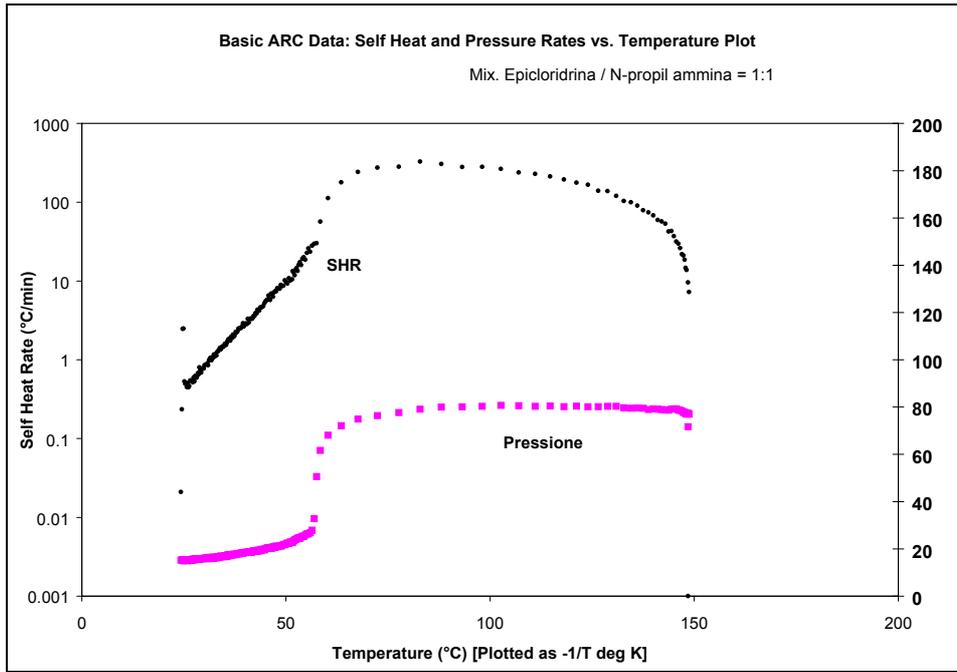


Fig. 5 - Prova ARC per determinare la reattività tra due composti

MATRICE DI INTERAZIONE CHIMICA

SOSTANZA	1) CARBAMMATO		2) ACQUA		3) ARIA		4) ALDEIDI		5) NITRURI		6) IDRURI		7) ACIDI		8) PEROSSIDI		9) CLORURI ACILICI	
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
1) CARBAMMATO	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
2) ACQUA	4	1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
3) ARIA	1	1	0	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
4) ALDEIDI	4	2	2	0	2	2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
5) NITRURI	4	2	4	2	4	2	4	4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
6) IDRURI	4	2	4	2	4	4	2	2	1	2	/	/	/	/	/	/	/	
7) ACIDI	4	2	0	2	0	0	4	2	4	4	4	4	/	/	/	/	/	
8) PEROSSIDI	2	2	1	0	2	3	2	2	4	3	4	4	4	4	/	/	/	
9) CLORURI ACILICI	2	2	4	2	3	0	2	0	3	4	3	2	3	2	3	3	/	

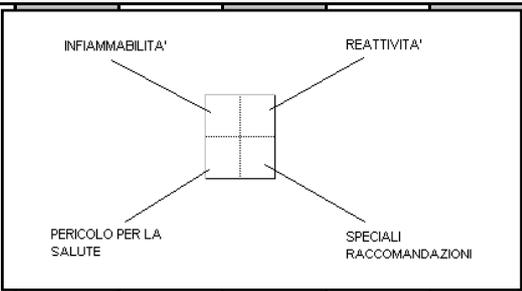


Fig. 6 - MIC per un carbammato generico

5. BIBLIOGRAFIA

1. V. Cozzani, e S. Zanelli, **EUCLID. A Study on Emission of Unwanted Compounds Linked to industrial Disasters, EUR 17351 EN**, Commission of the European Communities, Luxembourg (1997)
2. ICHME, Institution of Chemical Engineeing – “The Accident Database” 2001
3. ASTM E 2012-00, “Standard Guide for the Preparation of a Binary Chemical Compatibility Chart”
4. “Comaptibility of Cargoes”, pubblicato in 46 CFR cap. 1 (10-1-93) e nel rapporto finale della Coast Guard (CGD 92-100) per “Bulk Hazardous Materials”

5. H.K. Hatayama et al.: "*A method for determining Hazardous Waste Compatibility*", US EPA Document 600/2-80-076, Government Printing Office, Washington DC, USA, 1985
6. NFPA 49, "Hazardous Chemicals Data" Edition National Fire Protection Association, 1994 1 Batterymarch Park, PO Box 9101, Quincy, MA 02269-9101, include NFPA 704, "Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response"
7. J.K. Farr: **Chemical Reactive Worksheet**, ver. 1.2 NOAA, Hazardous Materials Response and Assessment Division, 7600 Sand Point Way NE, Seattle, WA 98115
8. N.I. Sax, R.J. Lewis: **Dangerous Properties of Industrial Materials**. 7<sup>a</sup> Ed., Van Nostrand-Reinhold, New York, 1987
9. L. Bretherick: **Handbook of Reactive Chemical Hazards**. Butterworth, Londra, 5<sup>a</sup> Ed., 1995
10. <http://www.chemfinder.com>
11. **LFLair**, ver. 94b, **UFLair**, ver. 94a, **AITMP**, ver. 95c, 1996 - Seadata
12. W.H.Seaton, E. Freedman, D.N. Treweek: **CHETAH - The ASTM Chemical Thermodynamic and Energy Release Potential Evaluation Program**, ASTM DS 51, Philadelphia, 1974
13. P. Cardillo, M. Cattaneo: Application of DSC with atmospheric control in thermal hazard evaluation: a discussion of the sources of error. *J. Loss Prev.Process Ind.*, 4 [5] 283 (1991)
14. DataBase **Schede di Sicurezza** (Safety Data Sheet), ver. 1995/1, Merck - Schuchardt