



QUALI LEZIONI DALL'INCIDENTE DI SEVESO?

Il 2,4,5-triclorofenolo, una molecola da dimenticare

La nube tossica del 1976 è stata un evento storico per l'industria chimica, perché ha segnato un forte cambiamento nella percezione e nella prevenzione del pericolo.

Per l'immagine della chimica è stato, invece, l'inizio di una strada tutta in salita, nei rapporti con l'opinione pubblica, perché niente è più dannoso che riconoscere di non saper prevedere gli incidenti. Le confessioni di un ex direttore tecnico della casa madre svizzera dell'impresa, riportate in un libro recentemente pubblicato, dà l'occasione di ritornare sull'incidente, analizzarne le più recenti interpretazioni delle cause e trarne alcune lezioni di carattere più generale sulla condotta in sicurezza dei processi chimici. Vengono evidenziati sette aspetti della sicurezza, diventati oramai patrimonio indispensabile della cultura chimica nell'industria.

Il 10 luglio scorso sono passati esattamente 28 anni dall'incidente avvenuto a Meda, alle porte di Milano, nell'impianto di produzione di 2,4,5-triclorofenolo presso l'industria Icmesa, filiale italiana della svizzera Givaudan-Hoffmann-La Roche, meglio noto come l'incidente di Seveso. Questo è il comune adiacente a Meda, dove il vento ha trascinato la gran parte della nube tossica emessa dallo stabilimento, che si trovava al confine tra i due comuni. Il 2,4,5-triclorofenolo, fungicida e intermedio per la produzione di disinfettanti come l'esaclorofene e di defoglianti come i sali dell'acido triclorofenossico acetico (l'Agent Orange utilizzato in Vietnam), praticamente non viene più prodotto in nessuna parte del mondo.

L'incidente è passato alla storia per avere dato nome a due direttive comunitarie, la Seveso e la Seveso 2 sulla sicurezza della produzione e dell'immagazzinamento dei prodotti chimici, con lo scopo di diminuire il numero degli incidenti e gli eventuali danni alla popolazione e all'ambiente.

Forse l'incidente non avrebbe avuto bisogno di un ulteriore articolo in una rivista di chimica, se non fosse arrivata la notizia dell'uscita di un libro dal titolo "Zwischenfall in Seveso" scritto dall'ex direttore tecnico della Givaudan, Jorg Sambeth (1). Nel libro Sambeth, colto da una crisi di coscienza, racconta come l'incidente fosse nato molto tempo prima per errori del management e per cattiva politica aziendale.

Andando a riprendere quanto scritto sui libri (2, 3) e sulle pubblicazioni scientifiche (4-9), si può leggere che l'incidente è avvenuto "quasi per una maledizione divina" per una serie successiva di eventi marginali, non noti e poco prevedibili e si rimane stupiti che ancora, dopo 28 anni, una gran parte del chimismo coinvolto sia sconosciuto. L'uscita del libro è stata l'occasione per riesaminare quanto pubblicato sull'incidente, non per ritornare sulle responsabilità dell'azienda, di questo ne parla lo stesso Sambeth in un'altra nota riportata in questo numero della rivista, ma per associare a Seveso un messaggio chiaro sulla gestione sicura delle reazioni chimiche. Non c'è niente di più dannoso per l'immagine della chimica che mostrare di

non avere le conoscenze per prevedere e limitare i danni che essa può provocare.

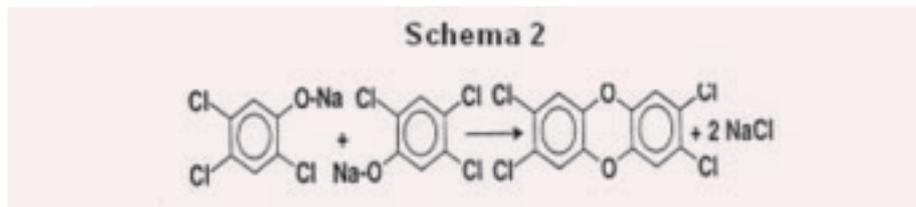
Seveso non è stato il primo incidente nell'industria chimica, né l'ultimo, né il più grave (l'unico morto, il dott. Paolo Paoletti, è stato un dirigente dello stabilimento assassinato quattro anni dopo), ma è stato quello sul quale si è sviluppato il più largo dibattito sull'ignoranza degli aspetti di sicurezza e sull'impreparazione delle industrie e delle istituzioni a gestire incidenti chimici. I ritardi emblematici a prendere iniziative dopo l'incidente, che hanno anche contribuito a fare nascere il dibattito, si possono leggere nella cronistoria allegata.

Ma è stata la presenza di 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-*p*-diossina nelle emissioni durante l'incidente, molecola venuta alla ribalta la prima volta durante la guerra nel Vietnam e caricata per questo di significati inquietanti e per pericolosità assimilata dall'opinione pubblica alla radioattività, la motivazione principale che ha alimentato il dibattito.

L'incidente

La reazione di idrolisi veniva condotta in due stadi: nel primo stadio si otteneva 2,4,5-triclorofenato sodico per trattamento con soda del 1,2,4,5-tetraclorobenzene e nel secondo si realizzava l'idrolisi con HCl per ottenere il 2,4,5-triclorofenolo (Schema 1).

La reazione veniva effettuata in un reattore di acciaio al cromo-molibdeno di 10.000 litri



riscaldato dall'esterno con vapore a 12 bar. Le quantità usuali dei reagenti erano le seguenti: 2.000 kg di 1,2,4,5-tetraclorobenzene, 1.050 kg di NaOH, 3.300 kg di glicole etilenico (il solvente) e 600 kg di xilene (per togliere l'acqua per distillazione azeotropica alla fine della reazione). Il processo veniva condotto a circa 160 °C ed i tempi dei diversi stadi erano i seguenti: caricamento un'ora, reazione 6-8 ore, distillazione del solvente 3-4 ore, raffreddamento veloce 0,25 ore.

Al termine della distillazione del solvente veniva fermata l'agitazione e la miscela di reazione portata a 50 °C. Il raffreddamento avveniva attraverso un circuito esterno raffreddato ad acqua o per aggiunta diretta nel reattore di acqua fredda da un serbatoio di 3.000 litri. Questo serbatoio serviva anche come polmone di sicurezza qualora fosse necessario raffreddare immediatamente il sistema.

Nel giorno dell'incidente, dopo avere eliminato solo il 15% del glicole etilenico, fu chiusa l'immissione di vapore, tolto il vuoto per introduzione di aria e dopo quindici minuti fu fermata l'agitazione, senza raffreddare immediatamente, come era procedura usuale, la

miscela di reazione. Le temperature del reattore fin dove sono state registrate sono riportate in Figura 1, in funzione delle ore trascorse. Dopo 7 ore e mezza dalla fermata dell'agitazione è avvenuta la rottura del disco di sicurezza con emissione all'aria di parte del contenuto del reattore. La prima temperatura registrata alle ore 17, dopo 4 ore e mezza dall'uscita della nube tossica, mostrava che erano stati raggiunti 200 °C e quindi per estrapolazione si può ipotizzare che la massa di reazione si fosse riscaldata al momento dell'incidente fino a 400-500 °C. La nube tossica conteneva anche qualche chilo di 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-*p*-diossina (TCDD), formatasi per l'alta temperatura raggiunta all'interno del reattore (vedi Schema 2).

Spiegazioni dell'incidente

La rottura del disco di sicurezza, posto a valle del reattore, con fuoriuscita di una parte del liquido di reazione (circa 3.000 kg) con contaminazione di persone, animali, vegetali e terreno della zona circostante, è avvenuta attraverso i seguenti tre stadi (2-9):

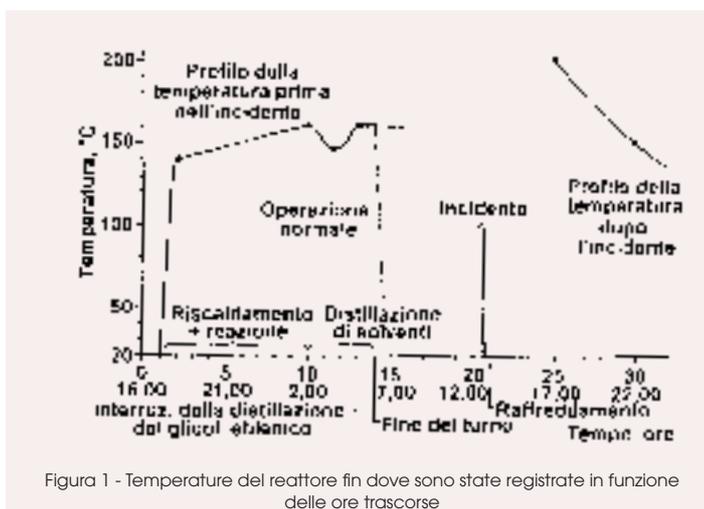
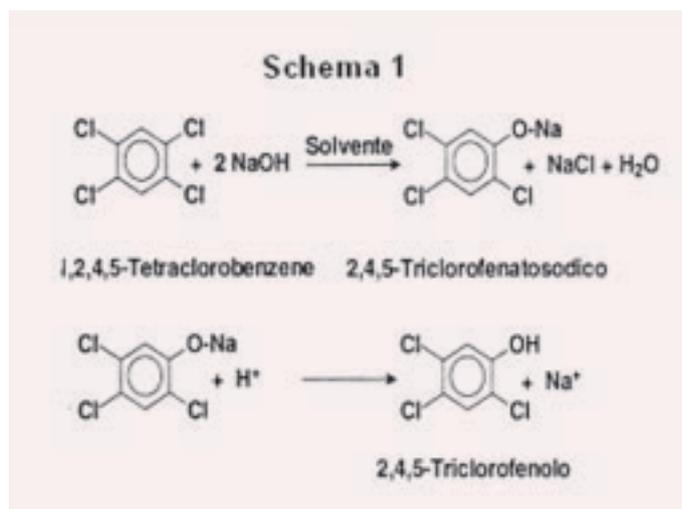


Figura 1 - Temperature del reattore fin dove sono state registrate in funzione delle ore trascorse

1) surriscaldamento fino a circa 180 °C dello strato superficiale immobile del liquido di reazione, di qualche centimetro di spessore, che si trovava dopo la fermata dell'agitatore a 158 °C. Questo surriscaldamento è avvenuto per irraggiamento da parte del cielo non bagnato del reattore riscaldato precedentemente dal vapore a 300 °C, fenomeno non previsto ai tempi dell'incidente (7);

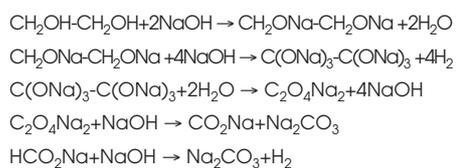
2) sviluppo di una debole reazione esotermica a 180 °C seguita dalla decomposizione della massa a 230 °C, evidenziata con apparecchiature DTA/DSC, con formazione di diossina come prodotto secondario, che portò ad un aumento di temperatura di tutta la massa liquida, con aumento della pressione interna e rottura del disco di sicurezza (4, 8, 9).

3) innesco di una reazione esotermica sconosciuta rivelata successivamente attraverso un'apparecchiatura ARC. Questa reazione ha portato lentamente questo strato superficiale a 230 °C (5, 6).

Una spiegazione alternativa, scartata nel passato, è stata proposta recentemente da Gustin (10).

Il glicole etilenico scaldato in presenza di NaOH produce glicolato sodico che successivamente si decompone sviluppando idrogeno.

Le reazioni proposte sono le seguenti:



Cardillo e Girelli (10) avevano evidenziato queste reazioni a temperature intorno ai 230 °C e con miscele glicol dietilenico-NaOH anche a

70-140 °C. Secondo Gustin le reazioni tra glicol etilenico e NaOH possono avvenire anche a 160 °C. Quindi, in base a questa interpretazione, non bisogna invocare il surriscaldamento del film superficiale da parte del cielo del reattore caldo, per spiegare l'inizio del runaway. A sostegno di questa ipotesi si può ricordare che reazioni di decomposizione violenta dei clorobenzeni non sono mai state osservate, inoltre altre reazioni base catalizzate, non menzionate da Gustin, possono avvenire a partire dal glicole etilenico o suoi derivati.

Le lezioni dall'incidente

L'incidente è stato causato da deviazioni dalle procedure operative prescritte, da carenze nei sistemi di sicurezza, dalla scarsa conoscenza della presenza di reazioni fuggitive/esotermiche secondarie, da errori di localizzazione dell'impianto e dalla non preparazione del personale agli aspetti di sicurezza del processo. Due ulteriori lezioni indirette sono state la necessità di una conoscenza più accurata della tossicità dei prodotti, degli intermedi e dei sottoprodotti di reazione verso l'uomo e l'ambiente, e l'esigenza di una maggiore responsabilità aziendale sul destino dei rifiuti tossici da essi prodotti.

Arresto dell'agitatore, situazione di pericolo

Molti incidenti nell'industria chimica sono avvenuti per la fermata dell'agitatore, durante la reazione o alla fine presunta di una reazione, per errori umani o per cause tecniche. La fermata dell'agitatore può portare a segregazione di fasi, concentrazioni anomale e non previste dei reagenti, e quindi all'insorgere di reazioni esotermiche loca-

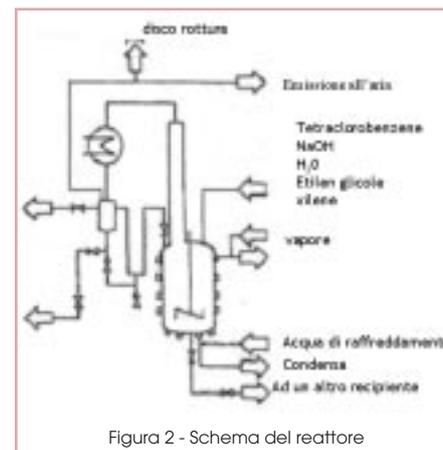


Figura 2 - Schema del reattore

lizzate, con innalzamenti di temperatura che possono innescare altre reazioni parassite esotermiche che portano alla fine all'esplosione del reattore (reazioni fuggitive).

A Seveso la fermata dell'agitatore effettuata mantenendo caldo il reattore, senza la presenza di un sistema automatico di controllo e di allarme, è stata la causa primaria dell'incidente. Questa procedura era anomala rispetto a quelle usuali di fermata della reazione, infatti, la temperatura doveva scendere a 50 °C in 25 minuti per introduzione di acqua fredda (vedi Figura 2, schema del reattore). Ho riletto vecchi lavori sull'incidente ed ho trovato un interessante box, dal titolo "Lezioni imparate dall'incidente di Seveso" firmato da James Carberry (già professore di ingegneria chimica negli Stati Uniti) all'interno di un articolo di Sambeth sempre sullo stesso argomento (8).

Carberry aveva individuato come lezione da imparare, la necessità di una maggiore conoscenza delle condizioni anomale che si raggiungono quando è fermo l'agitatore, per esempio all'inizio o alla fine di una reazione, studiandole anche in presenza degli stessi materiali presenti nel reattore industriale che possono agire da catalizzatori per reazioni parassite. Pur considerando utili i consigli del mio vecchio amico James, la prima lezione da apprendere da Seveso è che è buona norma, una volta che si dovesse fermare l'agitazione in una reazione esotermica, considerare quest'evento una situazione di estremo pericolo. Occorre raffreddare immediatamente la massa di reazione con l'aggiunta di un solvente freddo o se l'arresto è dovuto



Fusti contenenti materiale contaminato da TCDD

a malfunzionamenti, se è possibile, avere un sistema alternativo di agitazione.

Un classico, quando si ferma l'agitazione, a presunta reazione terminata, è la presenza ancora dei reagenti.

Confinare sempre le eventuali emissioni tossiche

Era noto che come sottoprodotto nella reazione si formavano piccole quantità di diossina e che a 230 °C partiva una reazione violenta esotermica accompagnata dalla reazione parassita di condensazione di due molecole di triclorofenolo o triclorofenato a diossina. Che questo pericolo fosse a conoscenza dell'azienda è dimostrato anche dal fatto che il vapore utilizzato per il riscaldamento era a 12 bar proprio per avere, per motivi di sicurezza, una temperatura massima di condensazione di 190 °C. Di fronte alla possibilità di avere emissioni tossiche, una volta raggiunte condizioni anomale che avrebbero portato alla rottura del disco di sicurezza tarato a 3,5 bar (anche se

l'unica sovrappressione prevista a quei tempi era quella dell'aria necessaria per travasare il liquido di reazione), era necessario convogliare queste emissioni in un sistema di raccolta e/o di distruzione, apparecchiatura che mancava nell'impianto di Seveso (per esempio blow down, torcia, adsorbimento su carbone attivo, scrubber).

Maggiore conoscenza del chimismo, in condizioni estreme di reazione

Come ha confessato Sambeth nel suo libro, la lettura dell'articolo apparso su *Nature* nel 1971 (12), dove veniva riportata la spiegazione dell'esplosione avvenuta in Inghilterra nel 1968 in un impianto simile a quello di Seveso (avvenuta durante la reazione per un guasto nel circuito dell'olio diatermico), lo aveva convinto della pericolosità del reattore dell'Icmesa. Sambeth ricorda che aveva per questo mandato una lettera alla direzione dello stabilimento, dove si consigliava di non superare mai la temperatura di 170 °C e che questa temperatura era stata superata già due-tre

volte prima dell'incidente, ma che subito era stata introdotta acqua fredda nel reattore e questo aveva scongiurato ogni pericolo. Nel reattore non esisteva un sistema di controllo automatico della temperatura e della pressione, ma solo manuale da parte degli operatori presenti (che mancavano durante l'incidente per fermata del turno). La conoscenza sulle reazioni fuggitive accumulate in questi anni ci permette di affermare che non si può condurre una reazione esotermica a 160 °C sapendo che a 180 °C può partire una reazione esotermica parassita (ai tempi dell'incidente sconosciuta) che può portare successivamente all'esplosione del reattore, senza un sistema sicuro ed efficace di raffreddamento e di controllo automatico della temperatura. Prima di portare una reazione a processo industriale, occorre conoscere tutte le possibili reazioni parassite, anche in condizioni molto diverse da quelle ottimali di sintesi. Studi con calorimetri adiabatici e con analisi termica differenziale sono necessari per conoscere soprattutto possibili reazioni o transizioni esotermiche.

Cronistoria dell'incidente di Seveso

1976

9/7 16 il reattore viene riempito con i reagenti
10/7 Alle 02,30 in base alla lettura della temperatura del reattore la reazione è terminata
10/7 Alle 04,45 viene interrotta la distillazione del solvente ed in 15 minuti fermata l'agitazione
10/7 Alle ore 06 termina il turno di lavoro, rimangono solo gli addetti alle pulizie e alla manutenzione
10/7 Alle ore 12,37 salta il disco di sicurezza (un ragazzo che si trovava a 150 metri ricorda di avere prima sentito un fischio fortissimo per circa 15 minuti e dopo un odore insopportabile ed intenso)
10/7 Alle ore 13,10 arriva il vice direttore dello stabilimento
10/7 Alle ore 13,45 viene innescato il sistema di raffreddamento e si ferma l'emissione di sostanze tossiche
10/7 Alle ore 20,30 vengono avvisati i carabinieri

Giorni successivi

11/7 Viene avvisato il sindaco di Meda e di Seveso e vengono prelevati i primi campioni dall'interno del reattore e dalle zone circostanti
12/7 Viene chiuso l'edificio dove si trova il reattore e mandati i primi campioni da analizzare in Svizzera

13/7 Morte di piccoli animali
14/7 Vengono rilevati segni di cloracne in alcuni bambini. Tracce di diossina sono trovati nei campioni e vengono fatte le prime ipotesi sulle quantità emesse, da qualche grammo a qualche chilo
15/7 Vengono avvisati i cittadini di non mangiare o toccare frutta e verdura locali
16/7 Sedici bambini sono ricoverati all'ospedale. Sono osservati 193 casi di cloracne e 447 di bruciature della pelle. L'evacuazione proposta dall'Icmesa viene posticipata
17/7 Viene chiuso lo stabilimento per precauzione e annunciata ufficialmente la presenza di diossina nei campioni esaminati
21/7 Il direttore dello stabilimento viene arrestato e viene chiesta assistenza ad altre aziende straniere che hanno avuto lo stesso tipo di incidenti
26/7 Ha inizio l'evacuazione di 208 persone da 35 case dell'area contaminata, 3.300 animali vengono uccisi
30/7 L'area contaminata viene divisa in tre zone: zona A con più di 50 µg/m² di diossina, zona B con 5-50 µg/m² di diossina e zona R con <5 µg/m² di diossina. Vengono evacuate 736 persone dalla zona A
2/8 Nuove analisi consigliano di evacuare altre

500 persone dalla zona A. Viene permesso alle donne incinte di abortire. La Roche comunica che pagherà tutti i danni

Anni successivi

Maggio 1977 - Inizia la decontaminazione della zona A. Gli edifici interni vengono puliti con speciali apparecchiature, gli esterni lavati con una speciale soluzione e vengono decorticati tutti i terreni; il materiale di risulta della decontaminazione è immagazzinato in appositi fusti
Ottobre 1977 - Le prime famiglie evacuate tornano alle loro case
Gennaio 1980 - La provinciale Meda-Milano viene aperta al traffico, dopo i lavori di decontaminazione
Febbraio 1980 - Viene aperto uno speciale sito per l'immagazzinamento di materiali contaminati
Novembre 1981 - Tutta la zona R torna all'attività agricola
Luglio 1981 - Viene svuotato il reattore
Settembre 1982 - Quarantuno fusti contenenti materiale contaminato lasciano l'Italia
Aprile 1984 - La decontaminazione di tutta la zona A è completata
Luglio 2004 - Nella zona A dove sorgeva la fabbrica oggi si trova un bosco di querce, faggi e carpini

Seveso: dall'inquinamento alla regolamentazione

Nel caso della nube di Seveso dove la TCDD era stata portata a contatto con la gente e le cose, questa era stata vista come una specie di flagello, come una malattia spaventosa; e questa sensazione di essere contaminati aumentò l'angoscia personale, sociale ed economica della popolazione. I prodotti dell'area implicata venivano rifiutati a causa della paura di contaminazione, imponendo così un marchio su tutta la comunità... L'impossibilità di arrivare ad una sola rigorosa prova di morte e malattia ha portato qualcuno a parlare di Seveso in termini di un disastro che non è mai avvenuto, nel tentativo di minimizzare la responsabilità e persino la colpa.

.... L'incidente di Seveso ha permesso che non fosse più accettabile sia per le autorità e sia per la popolazione la presenza di migliaia di installa-

zioni chimiche in tutta Europa, potenzialmente pericolose a causa della inadeguatezza delle misure di sicurezza e delle capacità di controllo da parte del management e dell'amministrazione pubblica. Così l'incidente diede impulso alla creazione di un sistema di regolamentazione, incorporato poi nella Direttiva Seveso del 1982, poi modificata due volte, sui rischi di incidenti rilevanti di alcune attività industriali... Gli obiettivi della direttiva erano stati duplici: prima provvedere alla protezione contro il pericolo e poi uniformare il comportamento in Europa.

Disuguaglianze delle regolamentazioni fra gli stati membri avrebbero portato a non accettabili vantaggi economici per quei Paesi che avessero mantenuto leggi meno restrittive.

Bruna de Marchi, *Int. J. Environment and Pollution*, 1997, 17(N4), 526

Informare i cittadini della pericolosità degli insediamenti chimici

Nessuna delle autorità locali era a conoscenza della pericolosità delle operazioni che venivano condotte nell'impianto e questo ha causato dei ritardi negli interventi dopo l'incidente. Le direttive che sono nate successivamente, e che hanno preso il nome di Seveso, hanno avuto come obiettivo, tra l'altro, anche l'informazione dei cittadini e delle autorità delle diverse localizzazioni chimiche che possono essere soggette a rischio di incidente rilevante. Un impianto come quello di produzione del triclorofenolo non sarebbe più autorizzato in una zona densamente abitata come quella di Meda/Seveso, anche se corredato di tutti i sistemi di sicurezza.

Codifica di tutte le procedure operative

Il personale non era informato, né formato a tutti i pericoli del processo. Tutte le normative che sono state promulgate successivamente all'incidente anche se non legate a questo direttamente, sulla sicurezza negli ambienti di lavoro, e che hanno portato alla fine alla 626, hanno riempito queste carenze legislative. L'incidente ha anche evidenziato la necessità di una codificazione scritta ben precisa e conosciuta da tutti gli operatori di tutte le procedure operative.

Maggiore conoscenza della tossicità dei prodotti chimici

Uno dei più grossi problemi emersi dopo l'incidente è stata la poca conoscenza della tossicità delle diossine. Si è sopravvalutata la tossicità e questo ha creato molto panico nella popolazione. L'incidente è stato, comunque, l'occasione per uno studio accurato sugli effetti tossici della TCDD e questi studi, che sono ancora in corso, sono senz'altro fra quelli condotti a più a lungo termine sugli effetti di una molecola di sintesi sull'uomo. Circa 40 mila cittadini che hanno avuto contatto con le sostanze emesse

durante l'incidente sono costantemente tenuti sotto controllo. Seveso ha insegnato che non si possono più iniziare produzioni chimiche senza un'approfondita conoscenza degli effetti dei loro prodotti e sottoprodotti sull'uomo e sull'ambiente. Nel 1981 fu redatto un inventario dei prodotti chimici con il relativo livello di tossicità (direttiva Eines) ed in questi mesi si sta discutendo presso la comunità europea il progetto Reach su uno studio più accurato della tossicità dei prodotti chimici di maggior consumo.

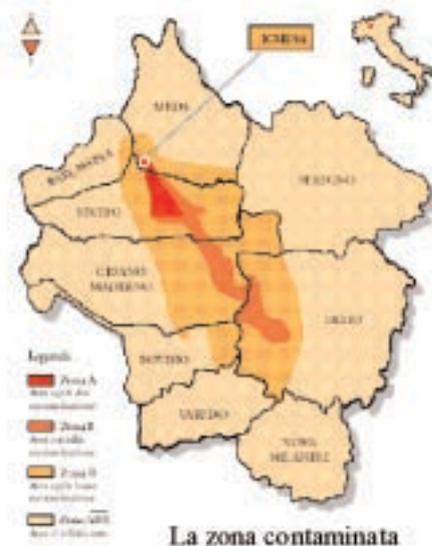
Controllo della destinazione dei rifiuti tossici

Molti anni dopo l'incidente ci fu un "giallo" riguardo al destino dei 41 fusti contenenti i rifiuti ottenuti dalla decontaminazione del sito. Questi erano stati visti l'ultima volta a Ventimiglia dopo essere partiti da Seveso per destinazione ignota e poi scomparvero per sette mesi. Dopo avere fatto il giro del nord della Francia furono trovati in un mattatoio e poi, sembra per intervento di Mitterand, guardati a vista da 400 soldati. Pare che siano stati smaltiti a Basilea, dopo proteste dei verdi nella ex Germania Est, dove sembrava fossero diretti dalla Francia. In seguito a questi episodi fu ratificata una convenzione internazionale a Basilea nel marzo 1989 che poneva un controllo sul movimento transnazionale dei rifiuti tossici e sulla loro destinazione finale. Questa convenzione ha portato poi a definire i codici CER per i rifiuti, validi in tutta Europa.

Conclusioni

Le sette lezioni che possono essere imparate dall'incidente di Seveso, qui sopra descritte, sono applicabili a tutte le reazioni industriali, soprattutto a quelle esotermiche che hanno reazioni parassite che sviluppano gas o sottoprodotti tossici o corrosivi. In un recente articolo è stato scritto che le lezioni che provengono da Seveso, ora sembrano banali, ma sono comunque sempre importanti (13).

Per concludere rimane da rispondere a due curiosità: qual è stata la responsabilità dell'azienda nell'incidente in oggetto e come adesso, con tutte le conoscenze che abbiamo, si dovrebbe realizzare la sintesi del 2,4,5-triclorofenolo con estrema sicurezza.



Per quello che riguarda le responsabilità dell'azienda ne tratta Sambeth nella sua nota con nuove rivelazioni che sono un'ulteriore lezione per tutti i chimici e che susciteranno, senz'altro, un grande interesse a leggere il suo libro.

Alla seconda domanda cercherò di rispondere di seguito.

Prima di realizzare il processo bisogna capire quali sono le reazioni responsabili degli effetti esotermici che sono stati osservati rispettivamente a 180 °C e 230 °C: sono dovuti a impurezze, al solvente, ai reagenti, al prodotto o a sottoprodotti? Dopo 28 anni dall'incidente non si trova ancora una risposta chiara a queste domande. Nel caso dell'incidente avvenuto in Inghilterra nel 1968 in un impianto simile (12) l'esplosione era stata attribuita a reazioni di decomposizione del glicole etilenico in presenza di NaOH. Questa ipotesi era stata scartata per Seveso, ma recentemente di nuovo proposta. Ciò aggrava le responsabilità aziendali, in accordo con le confessioni di Sambeth, perché evidenzia che, se non l'incidente, la pericolosità del processo doveva essere prevedibile.

Comunque, se si dovesse realizzare la sintesi ancora con lo stesso solvente, si dovrebbero abbassare le concentrazioni dei reagenti e le quantità assolute utilizzate (soprattutto quelle di NaOH), in maniera tale che il calore di reazione, nel caso di un guasto nello scambio termico, non sia sufficiente a portare la temperatura a 180 °C. Inoltre il calore di reazione dovrebbe essere eliminato in modo efficace con refrigeranti interni o con ricicli forzati del liquido di reazione attraverso un refrigerante esterno o per evaporazione di un nuovo solvente, non con una camicia esterna al reattore.

La temperatura del vapore di riscaldamento dovrebbe essere diminuita, così come la sua temperatura di condensazione che deve scendere a 170 °C. Tutte le possibili emissioni devono essere convogliate in un blow down, o meglio il reattore deve essere inserito in una vasca di confinamento per contenere e raffreddare tutte le eventuali emissioni accidentali. Inoltre, è necessario avere un sistema di sicurezza che, ad una fermata accidentale dell'aggitatore o al superamento di 170 °C, introduca immediatamente un solvente

freddo. Questo processo, che non si discosta molto da quello che ha causato l'incidente, se non per la maggior sicurezza, è ancora fortemente penalizzato economicamente dagli stadi di purificazione del prodotto dalla TCDD presente, e dalla sua distruzione nelle code di distillazione, che deve essere realizzata per combustione a temperatura superiore ai 1.000 °C. Pochi siti, ai nostri giorni, accetterebbero un inceneritore per diossine. Per questo, si dovrebbe pensare ad una via di sintesi alternativa del triclorofenolo come, per esempio, la clorurazione del fenolo, che potrebbe essere realizzata in un sito dove è disponibile il cloro e sono presenti competenze di clorurazione (per es. Torviscosa). Ma oramai nessun chimico è più interessato alla sintesi del 2,4,5-triclorofenolo, con sei grossi incidenti alle spalle; con il suo passaggio di intermedio per un defogliante utilizzato nel Vietnam, citato anche nel famoso libro di Rachel Carson "Silent Spring" (1962), per il suo uso indiscriminato e i suoi allora poco noti effetti sull'ambiente; con il ricordo di avere un impianto intero, dopo un incidente in Olanda, intombato nel cemento ed immerso nell'Atlantico; con un bosco ed un museo fra Meda e Seveso dedicati ad un incidente occorso in un suo impianto a futura memoria e con tutti gli strascichi legali che ancora si porta dietro. Senz'altro il 2,4,5-triclorofenolo è una fra le molecole più chiacchierate della storia della chimica, "molecola da dimenticare", anche se la sua cattiva fama è dovuta ad un suo

derivato, o impurezza, la diossina (TCDD).

Non si può però non ricordare che è servito per produrre il primo erbicida di sintesi nel lontano 1941, che è stato di grande beneficio per l'umanità alleviando il lavoro umano e rendendolo più sicuro. Proprio recentemente è stato scritto (14) che per costi/benefici e per selettività è ancora il migliore, superiore agli attuali come il glyphosate, il picloram e molti altri e che i suoi effetti dannosi sull'ambiente dopo più di trent'anni di studi sono ancora tutti da dimostrare.

In futuro potrebbe succedere, come a molti farmaci orfani, che qualche chimico ne trovi un nuovo utilizzo per un prodotto utile (sembra che una piccola quantità venga prodotta ancora per scopi farmaceutici) e la sua strategia di sintesi, questa volta realizzata senza minime tracce di TCDD, diventerà ancora d'interesse.

In conclusione Seveso è stato uno dei tanti incidenti che hanno posto in dubbio la credibilità scientifica presso l'opinione pubblica, per le incertezze non solo nella conduzione dei processi, ma soprattutto sulla conoscenza degli effetti tossici sull'uomo e sull'ambiente delle relative emissioni, ma si può senz'altro affermare che è stato fra i pochi, forse l'unico, in cui la società ha saputo reagire al trauma dandosi anche nuove regole (14) e dove la comunità scientifica si è sforzata di cercare la verità. La presenza di pubblicazioni scientifiche, che hanno per oggetto, Seveso, anche in anni recenti, così come l'uscita del libro di Sambeth ne sono una testimonianza.

Bibliografia

- (1) J. Sambeth, Zwischenfall in Seveso, Unionverlag, Zurich, 2004.
- (2) I. Pasquon, Rischi potenziali sicurezza e protezione ambientale nell'industria chimica, Clup, Milano, 1989.
- (3) P. Cardillo, Incidenti in ambiente chimico. Guida allo studio e alla valutazione delle reazioni fuggitive, Stazione sperimentale per i Combustibili, San Donato Milanese, 1998.
- (4) P. Cardillo, A. Girelli, *Chimica e Industria*, 1980, **62**, 651.
- (5) P. Cardillo, A. Girelli, *ibid.*, 1983, **65**, 611.
- (6) P. Cardillo, A. Girelli, G. Ferraiolo, *J. Hazard Materials*, 1984, **9**, 221.
- (7) T.G. Theofanous, *Chem Eng. Sci.*, 1983, **38**, 1615.
- (8) H. Kunzi, *Chimica*, 1982, **36**, 162.
- (9) J. Sambeth, *Chem. Eng. News*, 1983, May 16, 44.
- (10) J.L. Gustin, *Institutions of Chemical Engineers Trans.*, 2002, **60B**, 16.
- (11) P. Cardillo, A. Girelli, *Chimica e Industria*, 1982, **64**, 781.
- (12) M.H. Milnes, *Nature*, 1971, **232**, 395.
- (13) G. Bernecker, *Chemie Technik*, 1999, **28**(7), 14.
- (14) M. Newton, A.L. Young, *Environ Sci. & Pollut. Res.*, 2004, **4**, 11.