



## Analisi incidente Raffineria Thai Oil - Bangkok



2 dicembre 1999

Si sviluppa un incendio in un serbatoio di stoccaggio della raffineria e si propaga velocemente agli altri 4 serbatoi limitrofi prima di essere messo sotto controllo

In seguito all'incendio si hanno:

- 7 operai morti
- 13 feriti gravi per i quali è necessario il ricorso alle cure ospedaliere
- vengono distrutti 150.000 barili di idrocarburo

Danno economico complessivo: \$ 23 milioni ed esteso periodo di inattività

Identificazione  
delle cause

La causa dell'incidente è stata identificata nella negligenza di un dipendente addetto alla sala di controllo del serbatoio. Durante le operazioni di carico del serbatoio aveva lasciato aperta una valvola del serbatoio principale, che ha riversato parte del idrocarburo direttamente nella zona di contenimento.

L'incendio si è innescato grazie all'accensione del motore della macchina di servizio presente nell'area da parte del personale in ricognizione nella zona, che accorgendosi del pericolo tentava di allontanarsi.



## Incendio di un serbatoio

La squadra di emergenza tenta il raffreddamento della superficie del serbatoio con utilizzo di idranti. L'azione di raffreddamento è finalizzata ad impedire il collasso della struttura



## Collasso della struttura

Nonostante gli sforzi, la struttura cede riversando il liquido infiammabile. Notare l'importanza del perimetro di contenimento che consente al liquido di bruciare in sede e non disperdersi ulteriormente



## Impianto

Impianto chimico per la produzione di nylon, mediante l'ossidazione di cicloesano con aria immessa in una miscela di cicloexanone e cicloesano, normalmente identificata come KA (chetone/aldeide). La reazione si sviluppa all'interno di 6 reattori (serbatoi) ognuno con capacità di 20 tonnellate.

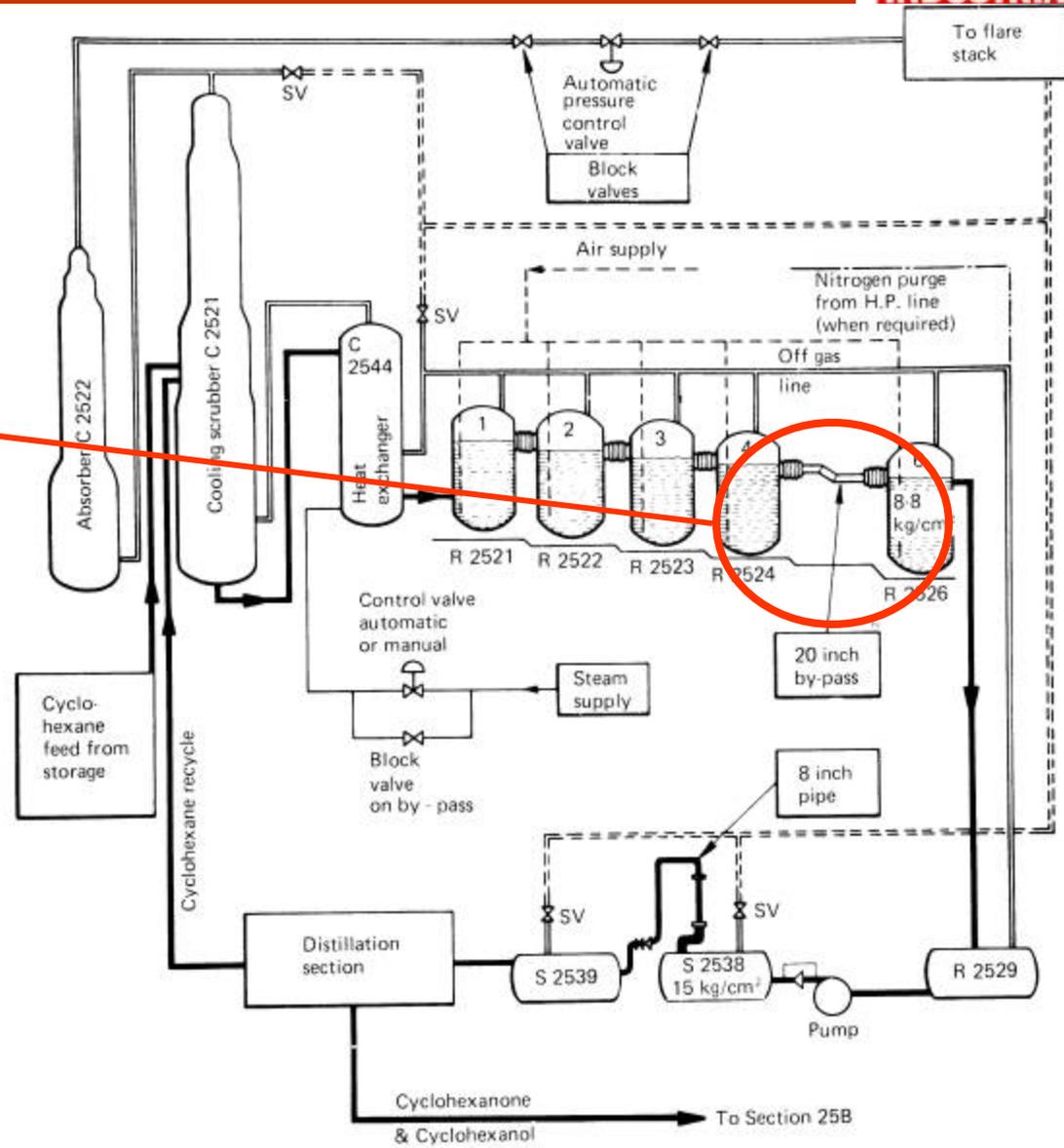
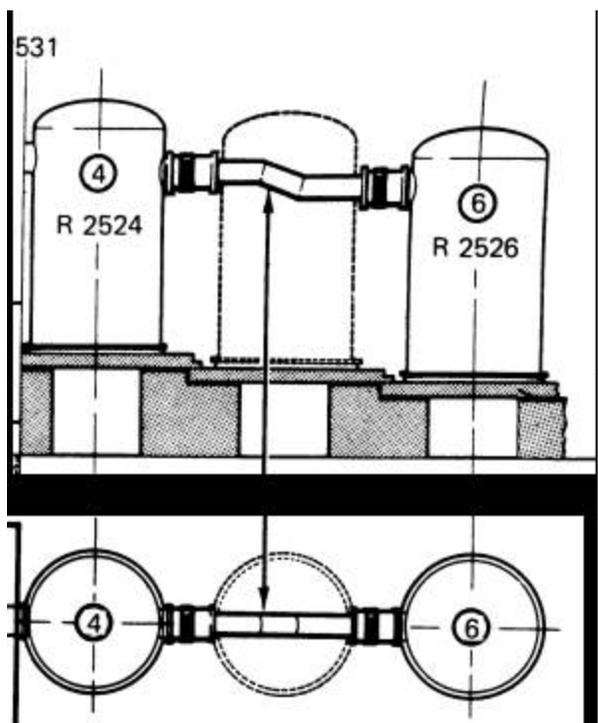
La soluzione passa per caduta da un serbatoio all'altro, mentre l'aria in ingresso viene immessa in ogni singolo serbatoio. Il prodotto non ossidato viene reimpresso in ciclo dopo un trattamento.

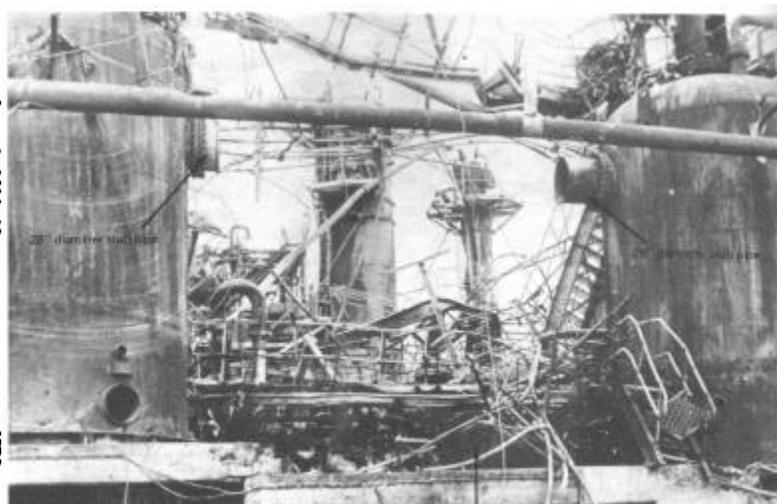
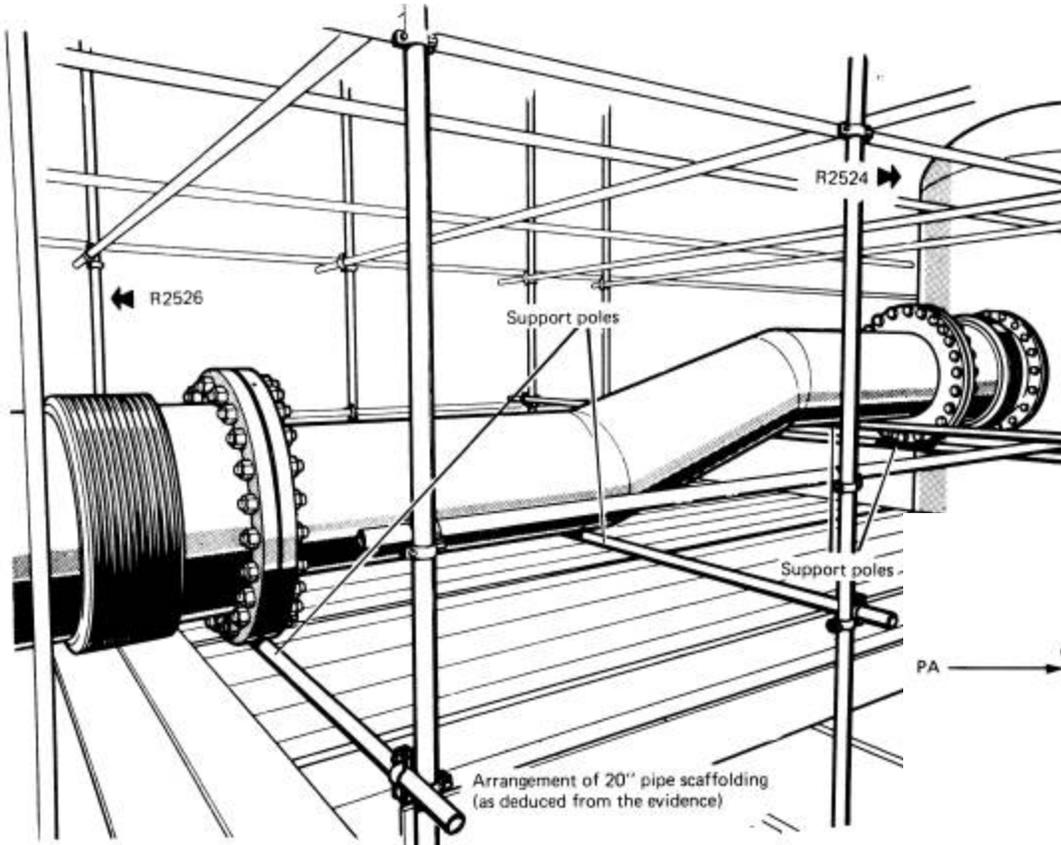
La reazione è lenta e quindi si accumula molto materiale nell'impianto.

## Intervento su un serbatoio

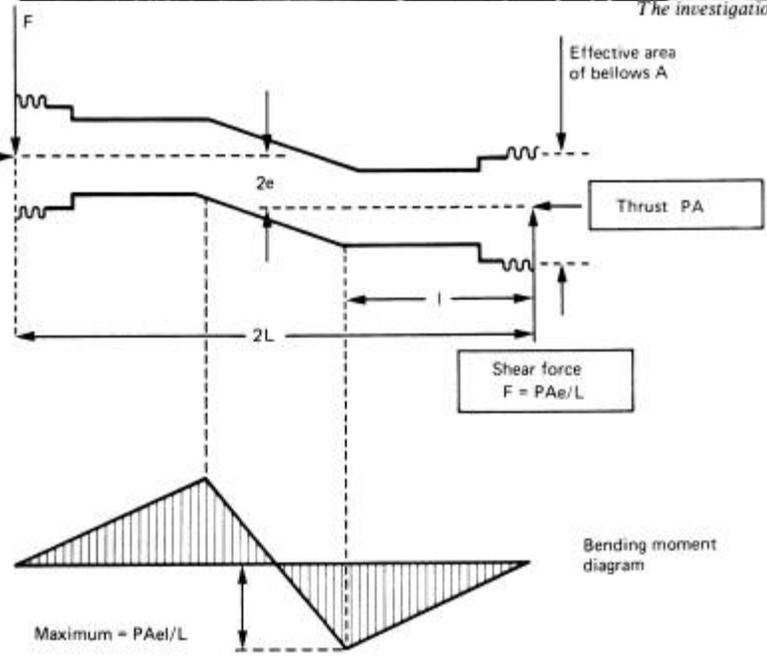
Per effetto dell'insorgenza di una fessura, al fine di operare le riparazioni, si elimina dalla linea di trattamento un serbatoio.

Per mantenere attiva la produzione, il serbatoio viene sostituito con una tubazione di giunzione di dimensioni tali da far procedere la miscela alla velocità sufficiente per non alterare la qualità del prodotto finale.





The investigation





## Osservazioni

L'intervento viene effettuato da personale specializzato, che aveva partecipato alla costruzione dell'impianto, con grande esperienza in conduzione e manutenzione, ma privo di alcuna conoscenza ingegneristico-strutturale.

## Evento:

1 Giugno 1974

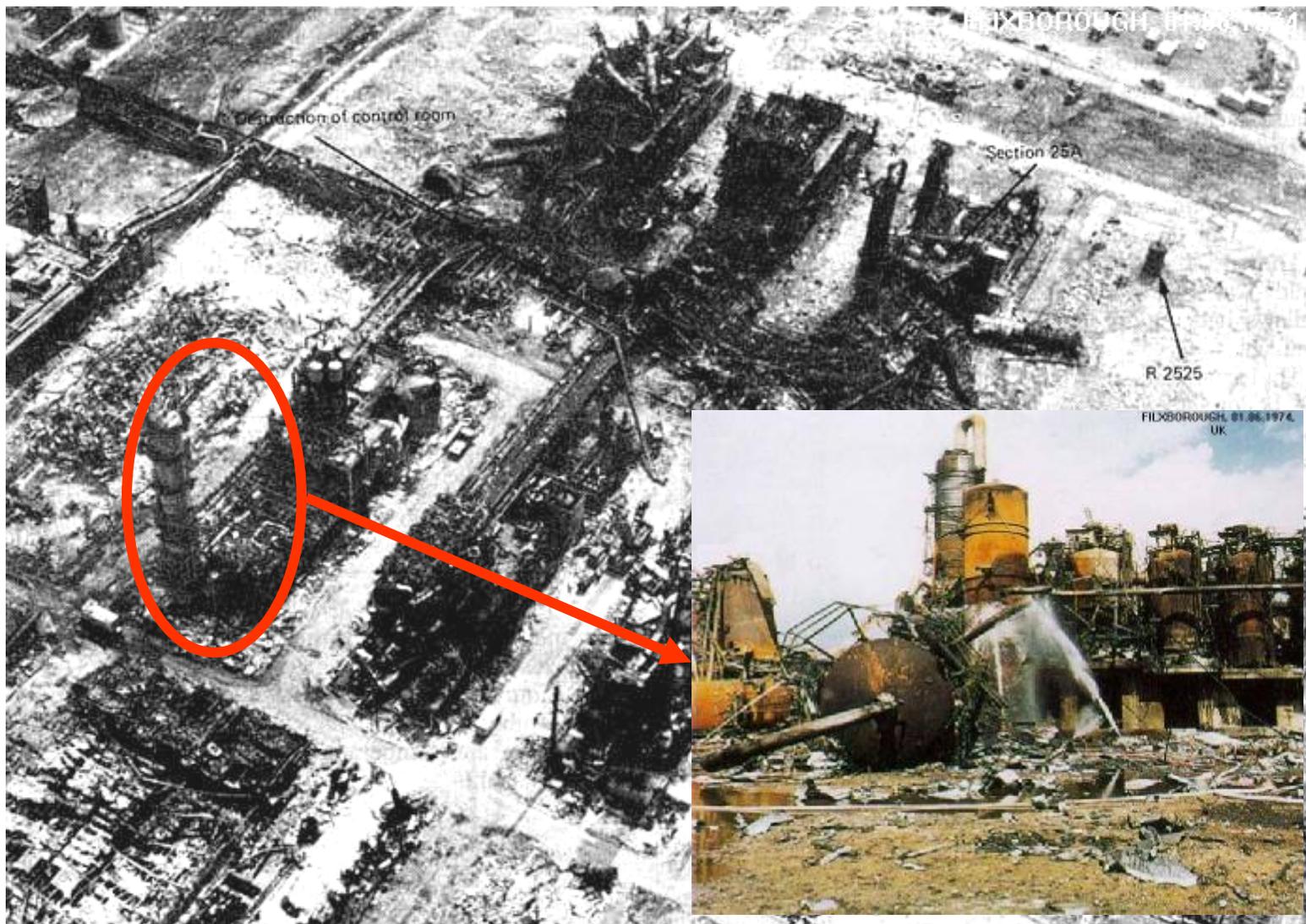
(ore 17.00 Sabato)

L'impianto resta in funzione per tre mesi fino a quando l'insorgenza di una sovrappressione (al di sotto del valore di targa della valvola di sicurezza) provoca il disassamento della tubazione (forze di taglio). Si apre il foro di connessione della tubazione al serbatoio (700 mm).

Il cicloesano si trova ad una pressione di 10 bar ed una temperatura di 150°C (punto di ebollizione 81°C alla pressione atmosferica).

Si ha la formazione di una nube esplosiva (in 50 sec sono fuoriuscite 30-50 tonnellate).

La nube si innesca per la presenza di una fornace posta vicino all'impianto.





Conseguenze 28 Morti

Area impianto di ossidazione completamente distrutta e danni pesanti alle strutture e industrie limitrofe

La palazzina uffici che si trovava a 100 m completamente distrutta.

Osservazioni

In seguito all'evento in U.K. fu istituita una "Advisory Committee on Major Hazard" per fare chiarezza e vigilare sulle altre industrie chimiche presenti sul territorio. Dopo 10 anni l'ACMH ha dato luogo alla regolamentazione CIMAH (Control of Industrial Major Accident Hazards).

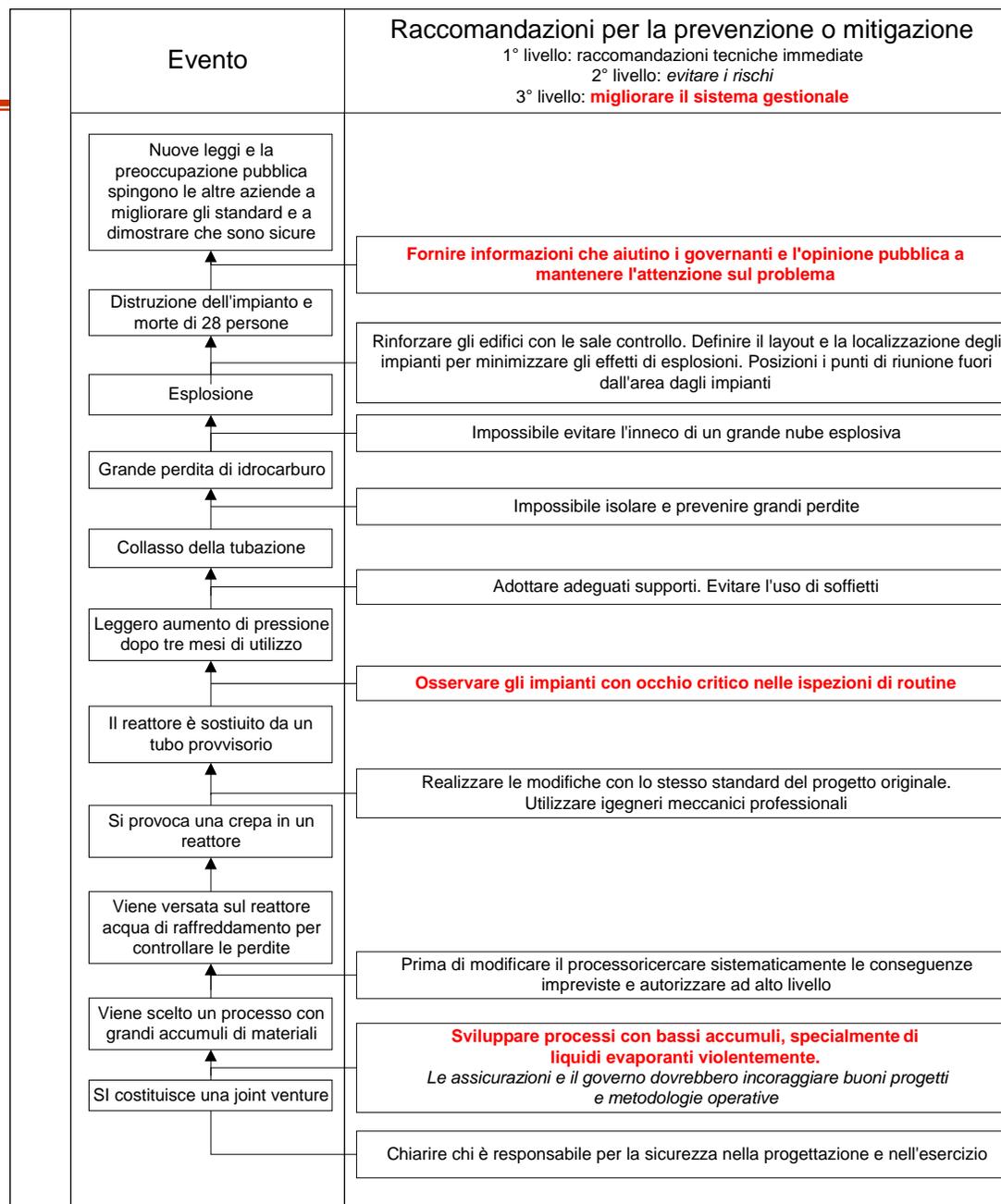
Due anni dopo Flixborough si verificava l'incidente di Seveso, che dava luogo alla Direttiva Seveso, recepita all'interno della CIMAH.

Negli Stati Uniti non si fece niente fino a dopo Bhopal, e comunque molto è lasciato alle misure volontarie delle aziende.

Lo stabilimento era proprietà Dutch State Mines (55%) e UK National Coal Board (45%)

Molti hanno ritenuto eccessive le misure del dopo Flixborough

Nell'impianto ricostruito il cicloexanolo si otteneva con l'idrogenazione del fenolo, che è di gran lunga più sicura. Ma il fenolo, prodotto all'estero ha un processo produttivo pericoloso quanto quello precedente





## Impianto

Impianto chimico per la produzione di TCP (2,4,5 – Triclorofenolo) a partire da 1,2,4,5 – Tetraclorobenzene e Soda Caustica in presenza di glicole etilenico.

La diossina non si forma normalmente, ad eccezione di piccole quantità. Tuttavia quando il reattore e, di conseguenza, la miscela raggiungono elevate temperature si sviluppa una reazione con formazione di diossina con aumento della pressione.

Tale pressione è sufficiente all'intervento dei sistemi di protezione (caso specifico disco di rottura, con fuoriuscita di una nube).

## Evento

10 Luglio 1976

La normativa italiana prevedeva l'obbligo di effettuare lo spegnimento dell'impianto per tutto il fine settimana, a prescindere dallo stadio di sviluppo della reazione.

La miscela all'interno del reattore si trovava, nella fase di avvio della procedura di spegnimento, a 158°C abbondantemente al di sotto del valore di innesco della reazione esotermica con produzione di diossina (attivabile con temperatura compresa fra 180-230°C).

All'inizio della fase di spegnimento il reattore non si trovava alla conclusione della reazione (reattore ancora pieno per metà con presenza di soluzione di glicole etilenico – attivatore).



Evento  
continua...

Il reattore è mantenuto alla temperatura di esercizio da una serie di fasci tubieri che recuperano energia dal vapore esausto (190°C alla pressione di 12 bar) già utilizzato da una turbina.

Sempre a causa della fase di spegnimento viene ridotto il carico sulla turbina, ... la temperatura del vapore si porta a 300°C.

Questa variazione della temperatura porta la miscela ad una temperatura di 180-190°C in 15 minuti e anche se successivamente viene abbassata la temperatura del vapore esausto, si ha l'inizio della reazione con formazione di diossina che si sviluppa molto lentamente.

Dopo 7 ore di reazione si raggiunge la pressione sufficiente alla rottura del disco di rottura. Si disperde una nube di 6 tonnellate di prodotto, con 1 kg di diossina.

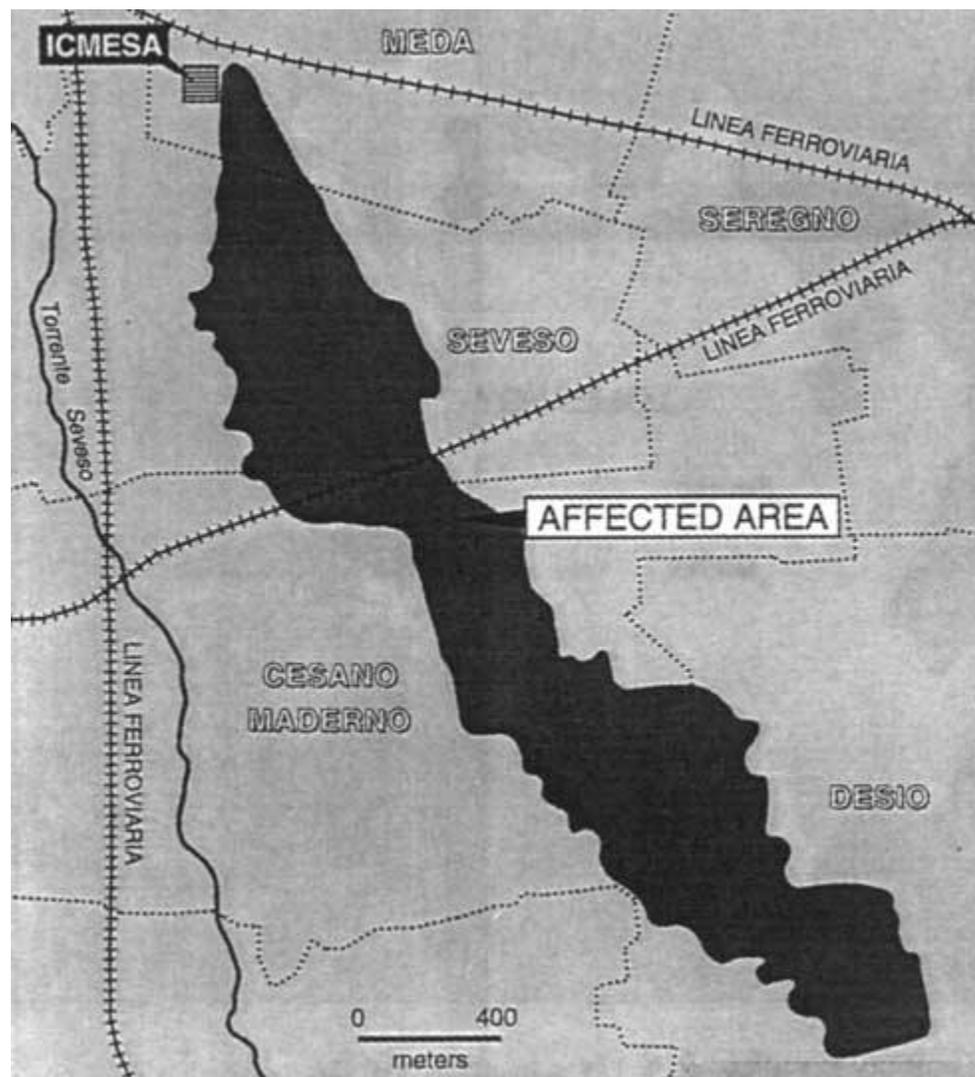
Conseguenze

Nessun morto

Insorgenza di cloracne sulla popolazione (250 persone) ed area limitrofa resa inabitabile.

In diverse condizioni meteorologiche la nube avrebbe potuto colpire un'area con 30.000 abitanti

**Cloracne:** dermatosi provocata da esposizione al cloro e a suoi derivati. Si manifesta da poche settimane a qualche mese dall'esposizione, protraendosi talvolta per alcuni anni, sotto forma di lesioni e cisti sebacee gialle dal forte odore di cloro.



## Interventi di ripristino

Va comunque segnalato come, nel corso degli anni successivi, siano stati attuati anche interventi di ripristino degli equilibri naturali compromessi dall'incidente.

Tale recupero, oggi evidente nel **Bosco delle Querce di Seveso**, è avvenuto tramite l'applicazione di tecniche di **fitodepurazione**, **piantumazione** e trattamento di inquinanti per la produzione di **biomasse**.



Ciò ha consentito, oltre al rimboschimento ottenuto con la creazione di aree umide e l'inserimento di cespugli a bacche ed altri tipi di vegetazione, anche la ripopolazione faunistica

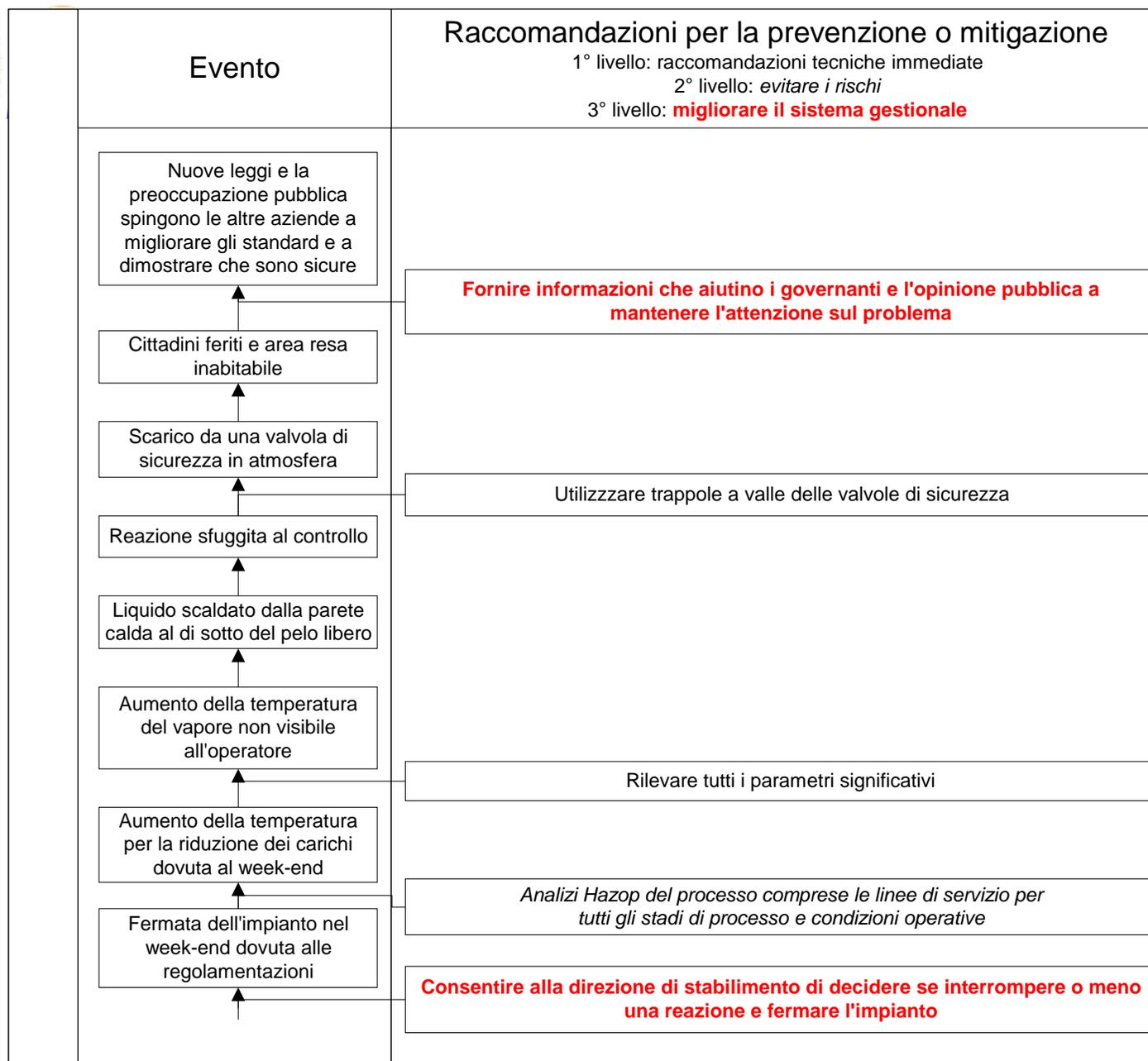


*Le responsabilità del disastro* – direttore e vicedirettore dell'ICMESA sono arrestati il 21 luglio 1976 per disastro colposo;

Il Triclorofenolo veniva prodotto in Svizzera dalla fabbrica **GIVAUDAN**; si decise in seguito di produrlo in Italia malgrado ci fosse una legge che ne proibisce l'uso.

I lavoratori non lo sapevano, ma la GIVAUDAN-ICMESA sì:

- sapeva che si sarebbe sviluppata diossina con l'aumento della temperatura;
- sapeva che aumentando la temperatura sarebbe diminuito il tempo di reazione (da 5 a 1 ora) e quindi si aveva più produzione in meno tempo;
- sapeva che impianti simili erano già esplosi con produzione di diossina e conseguenze gravissime in altri paesi;
- sapeva tutto ciò che produceva TCF in un reattore che aveva come sfiato un camino che dava sul tetto senza abbattitore;
- sapeva che i termometri erano insufficienti per controllare la reazione.





### Impianto

Impianto per la produzione di insetticida.

Per la produzione viene utilizzato il MIC (metil-isocianato) un composto organico estremamente tossico per l'uomo (formazione di edema polmonare, bronchite, broncopolmonite).

Presso lo stabilimento è presente un serbatoio contenente circa 40 tonnellate di MIC. Sono presenti anche 5-10 kg di MIC nelle tubazioni.

### Evento

3 dicembre  
1984

Il serbatoio di stoccaggio del MIC viene contaminato da una notevole quantità di acqua e cloroformio.

In seguito all'immissione di acqua si sviluppano reazioni violente con aumento della temperatura e della pressione fino a quando non si ha l'apertura della valvola di sicurezza ed il rilascio in atmosfera del composto tossico.

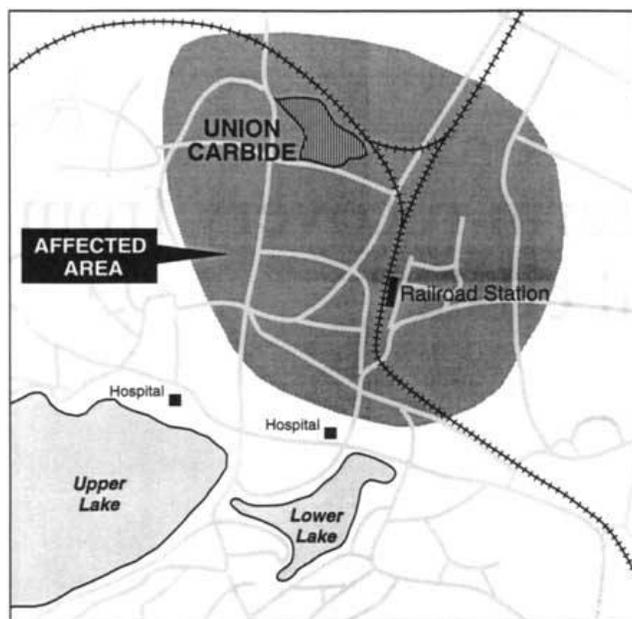
Non si hanno documentazioni precise su quale fosse stata la causa di immissione di acqua e cloroformio nel serbatoio. Sono state formulate varie ipotesi in proposito:

- 1) Fuoriuscita di acqua di spurgo presente poco lontano dal serbatoio di stoccaggio di MIC ed utilizzata per altre sezioni di impianto
- 2) Ingresso di acqua dalla linea di mandata appartenente al circuito di azoto
- 3) sabotaggio

### Evento, Continua...

La sostanza si distribuisce in modo uniforme sull'area limitrofa all'impianto densamente popolata, a causa di una forte urbanizzazione proprio in seguito all'installazione dell'impianto.

### Osservazioni



- Numero di vittime ufficiali 1754 – stimate da alcuni rapporti 10.000
- I sistemi di controllo sulla temperatura e pressione del serbatoio completamente disabilitati in quanto era difficile settare i valori di riferimento e continuamente segnalavano sovrapressioni o aumenti di temperatura
- Impianto di raffreddamento del serbatoio disabilitato per manutenzione e comunque non collaudato
- Impianto scrubber che doveva proteggere dal rilascio della sostanza tossica dalla valvola di sicurezza completamente by-passato e comunque mai attivato.
- urbanizzazione eccessiva con baracche nell'aria limitrofa all'impianto (nessun controllo da parte dell'amministrazione locale)
- totale assenza di piano di emergenza ed informazione alla popolazione (riversatasi nelle strade)

| Evento   | Raccomandazioni per la prevenzione o mitigazione<br>1° livello: raccomandazioni tecniche immediate<br>2° livello: <i>evitare i rischi</i><br>3° livello: <b>migliorare il sistema gestionale</b> |
|--|--|
| La preoccupazione pubblica spinge le altre aziende a migliorare gli standard                                 |  |
| ↑<br>Emergenza gestita malamente   | <b>Fornire informazioni che aiutino i governanti e l'opinione pubblica a mantenere l'attenzione sul problema</b>   |
| ↑<br>Circa 2000 morti  | Adottare e sperimentare piani di emergenza   |
| ↑<br>Depuratore non in perfetto ordine. Fiamma pilota fuori uso, ma probabilmente entrambi sottodimensionati | <b>Controllare l'urbanizzazione vicino agli impianti</b>   |
| ↑<br>Scarico da una valvola di sicurezza   | Mantenere gli impianti di sicurezza in ordine. Dimensionarli per le situazioni prevedibili   |
| ↑<br>Sistema di raffreddamento fuori uso   | Mantenere i dispositivi di sicurezza in funzione anche a impianto spento   |
| ↑<br>Reazione sfuggita al controllo  |  |
| ↑<br>Aumento di temperatura  | <b>Addestrare gli operatori a non ignorare letture dei parametri insolite</b>  |
| ↑<br>Ingresso di acqua nel serbatoio di MIC  | <i>Condurre analisi Hazop sui nuovi progetti. Evitare la presenza di acqua vicino al MIC</i>   |
| ↑<br>Scelta di immagazzinare 100 tonnellate di MIC   | Minimizzare i depositi di materiale pericoloso   |
| ↑<br>Decisione di utilizzare MIC   | <i>Evitare l'uso di sostanze pericolose</i>  |
| ↑<br>SI costituisce una joint venture  | <b>Chiarire chi è responsabile per la sicurezza nella progettazione e nell'esercizio</b>   |



## Impianto

Impianto di Polietilene. La sezione interessata dall'evento è l'unità di polimerizzazione dell'etilene mediante reazione catalitica in pressione.

La sostanza coinvolta è costituita da idrocarburi in fase di vapore ed idrogeno.

Il processo coinvolto è quello della polimerizzazione dell'etilene in soluzione di isobutano che svolge il ruolo di vettore del catalizzatore.

Il prodotto di reazione è costituito da particelle solide che precipitano in soluzione e si accumulano nelle apposite tramogge poste sul fondo del reattore. Nel tempo le tramogge si intasano e richiedono interventi di manutenzione.



Evento  
23 Ottobre  
1989

Intorno alle ore 13.00 di lunedì 23 ottobre 1989 si è verificata un'esplosione; l'esplosione è stata causata dall'innesco di una nube di vapore formatosi in prossimità di uno dei reattori di polimerizzazione dell'impianto, a seguito di manutenzione effettuata su una tramoggia di sedimentazione del reattore. Successivamente per effetto domino da incendio si sono verificate altre esplosioni con conseguente estensione dei danni. L'incidente ha provocato 23 morti ed un numero di feriti variabile tra 130-300. L'estensione dei danni ha ricoperto un raggio di 10 km.

La fuga è avvenuta nell'impianto V, uno dei due impianti di polietilene attivi del complesso che operava ad elevata pressione (700 psi) e temperatura 106 °C.



Analisi degli  
eventi  
antecedenti  
all'esplosione

Ore 8.00 dello stesso giorno:

Iniziano le operazioni di manutenzione per la pulizia di 3 su 6 tramogge. Il lavoro viene affidato a tecnici di una ditta appaltatrice (Fish Engineering). La procedura di stabilimento (per altro errata ed in contrasto con quella della casa madre) prevede:

- l'isolamento della tramoggia del reattore in pressione mediante la chiusura della valvola a sfera
- l'interruzione del collegamento dell'aria strumenti della valvola
- lo smontaggio del pezzo intasato e la pulizia dello stesso.

Gli operai intervengono sulla tramoggia senza operarne l'isolamento.

Smontano parzialmente la tramoggia e ripuliscono la parte sicuri di non avere fuoriuscite di gas visto che l'azionatore della valvola era sulla posizione di chiusura.



Analisi degli  
eventi  
antecedenti  
all'esplosione  
Continua...

In realtà il rilascio non si è verificato poiché un momentaneo contenimento era assicurato dal tappo di sedimento impaccato, rimasto sotto la valvola, che comunque era aperta contrariamente alle indicazioni dell'azionatore.

Ciò era dovuto ad un errato collegamento dell'aria strumenti per cui un comando di chiusura si traduceva in un comando di apertura (connessioni incrociate e raccordi per le posizioni di apertura e chiusura identici quindi era facile confonderli).

Ore 13.00 stesso giorno:

Al procedere della rimozione del tappo si verifica il collasso del residuo ed il rilascio.

La massa di gas rilasciata in pochi secondi è stata valutata in 40 t di miscela di etilene ed isobutano.

Si è formato una massiccia nube di vapori che si è rapidamente mossa per effetto del vento.



Analisi degli  
eventi  
antecedenti  
all'esplosione  
Continua...

In 90-120 secondi la nube ha trovato l'innesco in una delle possibili seguenti fonti:

- fornetto di rigenerazione del catalizzatore (ipotesi più attendibile)
- operazione di saldatura e taglio effettuata nelle vicinanze della zona di rilascio
- operazioni di trasporto in corso con utilizzo di carrello elevatore a forza
- dispositivo elettronico nel quadro di comando (non sufficientemente protetto)
- piccola gru diesel nelle vicinanze
- veicolo parcheggiato vicino agli uffici dell'impianto di polietilene

Si sono manifestate successivamente 10 esplosioni nell'arco di 2 ore.



# Pasadena Texas, USA

**Sezione  
IMPIANTI e  
TECNOLOGIE  
INDUSTRIALI**





## Emergenza

Appena avvertita la nube di gas, gli operatori che si trovano nell'area immediatamente vicina al rilascio sono fuggiti.

È stata attivata la sirena di allarme, ma il rumore nella sala finitura era tale da impedire al personale di avvertirla.

La squadra di antincendio locale è intervenuta prestando soccorso ai feriti e cercando di contenere l'incendio.

L'area dell'esplosione è rimasta a lungo inaccessibile.

## Difficoltà riscontrate nel domare l'incendio

- Mancata disponibilità di sufficiente acqua antincendio (errore di progettazione, i serbatoi fuori terra sono stati danneggiati dall'esplosione)
- Impossibilità di prelevare acque da altre fonti di approvvigionamento (torri di raffreddamento, impianto di trattamento acqua, tubazione principale dell'acqua,...)
- Pompe antincendio danneggiate dalle fiamme.



Emergenza  
esterna

Oltre 100 persone sono state evacuate dall'edificio di amministrazione attraverso lo Ship Channel di Huston utilizzando le barche antincendio di Huston; in alternativa le persone avrebbero dovuto attraversare la zona di esplosione. L'informazione dei media è stata rapida.

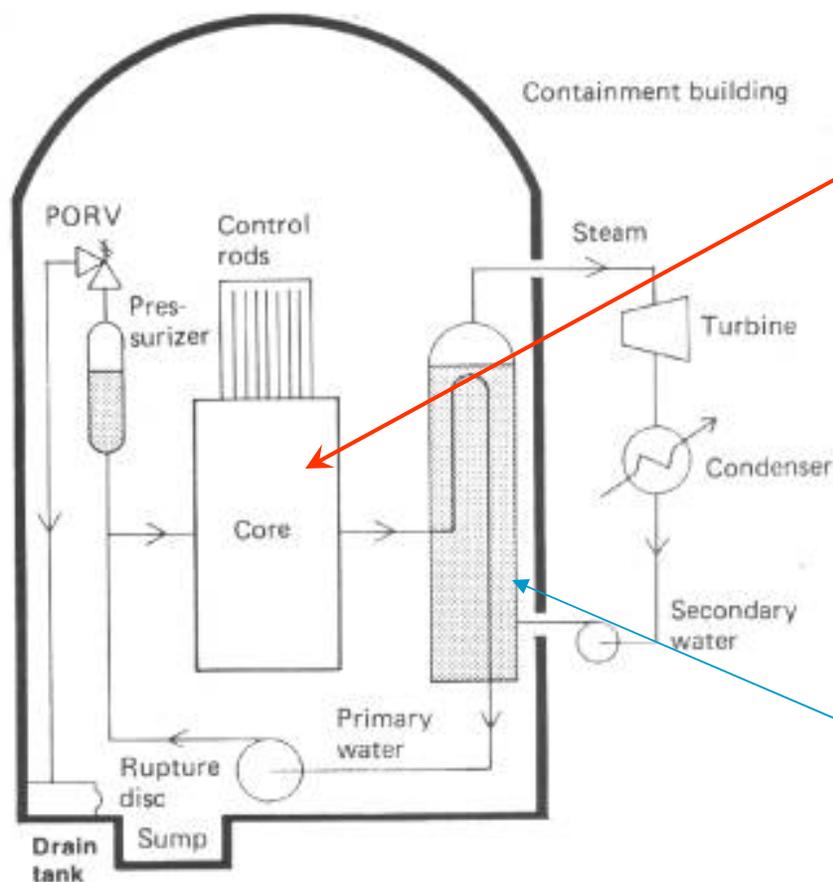
La gestione dell'emergenza, benchè rapida è stata ostacolata dall'interruzione delle linee telefoniche e dal danneggiamento del centro di comando. La gestione è stata operata dall'ufficiale capo antincendio locale.

Carenze tecnico  
gestionali  
riscontrate oltre  
a quelle già  
evidenziate  
(fonte OSHA)

**Valutazione dei rischi:** non è stata redatta un'appropriata valutazione dei rischi da parte dell'azienda

**Lay out impianto: distanze di sicurezza e vie di sicurezza non idonee** (la palazzina dell'amministrazione aveva come via di fuga quella interessata dall'esplosioni quindi direttamente all'interno dell'impianto di processo e si trovava in prossimità dello stesso)

Fissione nucleare con trasferimento di calore all'acqua (primary water) che è mantenuta sottopressione al fine di evitarne l'ebollizione



L'Acqua Primaria cede calore alla Acqua Secondaria che giunge all'ebollizione. Il vapore prodotto viene convogliato ad una turbina dopo di che condensa e viene recuperato

Schema semplificato del reattore presente a TMI  
Pressurized Water Reactor (PWR)



Fase A:  
Inizio  
dell'evento

L'acqua contenuta nel circuito secondario viene indirizzata su un circuito parallelo ausiliario parallelo con presenza di una particolare resina al fine di eliminare le eventuali impurità.

Il sistema è costituito da una serie di percorsi paralleli di cui uno risulta intasato.

*Osservazione: il sistema ausiliario era stato ritenuto non significativo per la sicurezza dell'impianto e per tale ragione non era stato sottoposto ad analisi di affidabilità.*

L'operatore tenta di liberare il canale con l'immissione di aria della linea strumenti. Tuttavia, il circuito di aria si trova ad una pressione di esercizio più bassa di quella del circuito di acqua. Si ha per tale ragione l'ingresso di acqua all'interno del circuito aria.

Il circuito aria è dotato di valvola di non ritorno. Tuttavia, la valvola non si attiva.

*Osservazione: la valvola di non ritorno non era inserita nei piani di manutenzione in quanto ritenuta componente non significativo di un circuito ausiliario dell'impianto.*



Fase A:  
Inizio  
dell'evento  
Continua..

L'acqua ormai entrata nel circuito aria danneggia la strumentazione di controllo e monitoraggio di quest'ultimo. Per effetto della strumentazione danneggiata, la turbina va in blocco. Il sistema automatico di controllo blocca la fissione; nonostante questo il decadimento della reazione produce ancora calore portando l'acqua nel circuito primario allo stato di ebollizione. La valvola di sicurezza PORV (*pilot operated relief valve*) si attiva, con conseguente attivazione della pompa per il ripristino dell'acqua evaporata nel circuito primario. La valvola PORV rimane bloccata nella posizione aperta.

Fase B:  
sequenza  
critica degli  
interventi

L'operatore non si accorge che la valvola PORV è aperta in quanto il sistema di controllo segnala la valvola in posizione chiusa.  
*Osservazione: il quadro di controllo poteva segnalare solo all'operatore lo stato di attivazione della valvola e non la posizione in cui la valvola si trovava. La luce spenta è stata interpretata come segnale di valvola chiusa (errore umano legato alla cattiva configurazione del sistema di controllo)*



Fase B:  
sequenza  
critica degli  
interventi  
Continua

Tuttavia erano presenti altri sistemi di monitoraggio che dovevano suggerire all'operatore che la valvola si trovava in posizione aperta e che l'acqua nel circuito primario stava bollendo:

A) La linea in uscita dalla PORV si trovava ad una temperatura superiore a quella di targa (140°C invece di 90°C)

B) La pressione e la temperatura del circuito acqua primaria era più bassa che i livelli di normale esercizio.

C) Era segnalato alto livello nel serbatoio di raccolta acqua contaminata

D) La pompa del circuito acqua primaria stava vibrando.

L'operatore decide di accettare il segnale della PORV e di ignorare gli altri segnali.

La causa di questa decisione è probabilmente legata al fatto che l'operatore non ha piena conoscenza di motivi che possono far variare i livelli di pressione e temperatura ed imputa ad altre cause il fenomeno.



Fase B:  
sequenza  
critica degli  
interventi  
Continua

L'operatore ritiene (in base alle informazioni ricevute nell'attività di formazione) che riversare troppa acqua nel circuito primario sarebbe stato estremamente pericoloso, considerando di fatto la valvola PORV chiusa. Per tale ragione ferma la pompa di alimentazione.

Fase C:  
Danno

Con la pompa bloccata il livello dell'acqua nel circuito primario inizia a diminuire drasticamente.

Il nocciolo del reattore viene scoperto ed il vapore presente viene in contatto con le barre in lega di zirconio che contengono l'uranio e si libera idrogeno gassoso.

Allo stesso tempo il vapore che era stato scaricato attraverso la PORV condensa nel serbatoio raggiungendo il livello massimo, per tale motivo viene pompato fuori dalla struttura di contenimento.

| Evento  | Raccomandazioni per la prevenzione o mitigazione<br>1° livello: raccomandazioni tecniche immediate<br>2° livello: <i>evitare i rischi</i><br>3° livello: <b>migliorare il sistema gestionale</b>                |
|---|---|
| Sviluppo dell'industria nucleare in US bloccato                     |   |
| Violenta reazione dell'opinione pubblica                            | <b>Fornire informazioni che aiutino i governanti e l'opinione pubblica a mantenere l'attenzione sul problema</b>  |
| Danno al nocciolo   | <b>Pianificare la gestione delle pubbliche relazioni in condizioni di emergenza</b>   |
| Caduta del livello dell'acqua                                       | Varie modifiche al progetto   |
| L'operatore spegne le pompe   | <b>Mettere a conoscenza degli operatori gli incidenti o i guasti avvenuti in altre centrali</b>   |
| L'operatore da fede alla spia della PORV e ignora gli altri segnali | <b>Addestrare gli operatori sulla diagnosi<br/>Fornire aiuti per la diagnosi<br/>Addestrare gli operatori a capire, non solo a seguire le regole<br/>Considerare i guasti minori, non solo quelli rilevanti</b> |
| La PORV rimane bloccata aperta ma la spia segnala la chiusura       | Misura diretta del parametro che interessa (non il segnale ma la posizione della PORV)  |
| Ebollizione dell'acqua primaria e apertura della PORV               |   |
| Turbina in blocco   |   |
| Guasti alla strumentazione  |   |
| Dell'acqua entra nella linea strumenti                              | Ispezionare regolarmente le valvole di non ritorno  |
| Tentativo di rimuovere l'intasamento con aria della linea strumenti | Non connettere le linee di servizio a quelle di processo e pressione maggiore.<br>Non usare l'aria degli strumenti per soffigi nelle linee  |
| Filtro a resine intasato  |   |
| Minore attenzione nella progettazione degli ausiliari               | Dare agli ausiliari altrettanta importanza che ai componenti principali   |
| Decisione di costruire un PWR                                       | <i>Considerare progetti intrinsecamente sicuri</i><br><b>Costringere i progettisti a dimostrare la sicurezza del progetto</b>   |



### Impianto

La centrale di Chernobyl generava 4000Mw di elettricità.

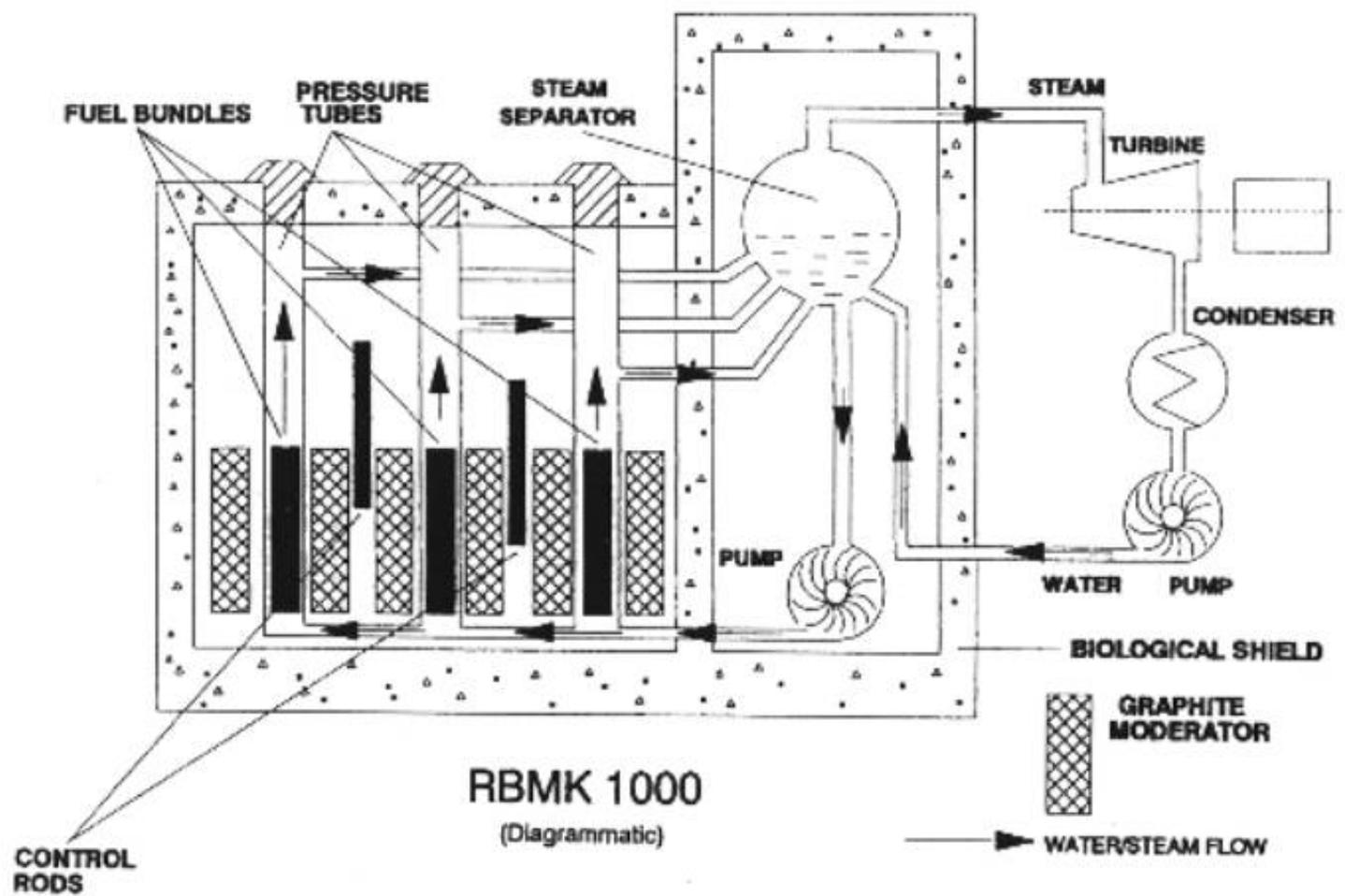
E' classificabile come una centrale *del vecchio tipo* in quanto utilizzava la grafite come moderatore.

Questo tipo di reattore ha una particolarità: in caso di fusione del nocciolo, cioè se la temperatura sale in modo incontrollato, la grafite inizia reagire con l'acqua di raffreddamento, aggiungendo danno a danno.

L'uranio è contenuto all'interno di barre in lega di zirconio attraverso le quali viene fatta circolare acqua.

Il 15% dell'acqua passa allo stato di vapore e viene indirizzata direttamente ad una turbina.

Il vapore esausto viene recuperato e direttamente reinserito nel reattore. Se la reazione si interrompe si produce intorno al 6% della velocità normale per effetto del decadimento della radioattività.



Schema semplificato di uno dei reattori di Chernobyl



### Evento

26 aprile 1986

La notte dell'incidente, nella centrale nucleare di Chernobyl, era in corso un esperimento sul reattore numero 4, un RBMK1000 da 1000MW, per verificare per quanto tempo i generatori di elettricità avrebbero continuato a funzionare a reattore spento.

Per ottenere ciò, i tecnici ridussero via via la potenza del reattore, e interruppero il flusso di vapore alle turbine.

Purtroppo l'RBMK ha un difetto progettuale che lo rende instabile a bassi regimi di funzionamento, per cui si possono verificare improvvise e incontrollabili aumenti dell'energia prodotta dal reattore.

A peggiorare la situazione, i sistemi di sicurezza automatici (che avrebbero potuto segnalare ai tecnici il pericolo) erano stati disattivati perché non interferissero nei risultati del test.



Evento  
26 aprile 1986  
Continua...

Alle ore 1.23 del 26 aprile, i tecnici si accorsero del pericolo e tentarono di spegnere il reattore.

In pochi secondi, la produzione di energia all'interno del reattore aumentò di oltre 100 volte il normale, la temperatura si innalzò fino a fondere il reattore stesso, e l'aumento di pressione fece letteralmente saltare in aria il coperchio metallico di 2000 tonnellate che ricopriva il reattore, e distrusse l'edificio che lo ospitava.

Per i dieci giorni successivi, la grafite usata come moderatore bruciò e disperse nell'atmosfera fumi e vapori contenenti uranio e plutonio, più altri isotopi radioattivi prodotti dalla fissione, in particolare lo **Iodio131**, lo **Stronzio90** e il **Cesio137**.



### Evento

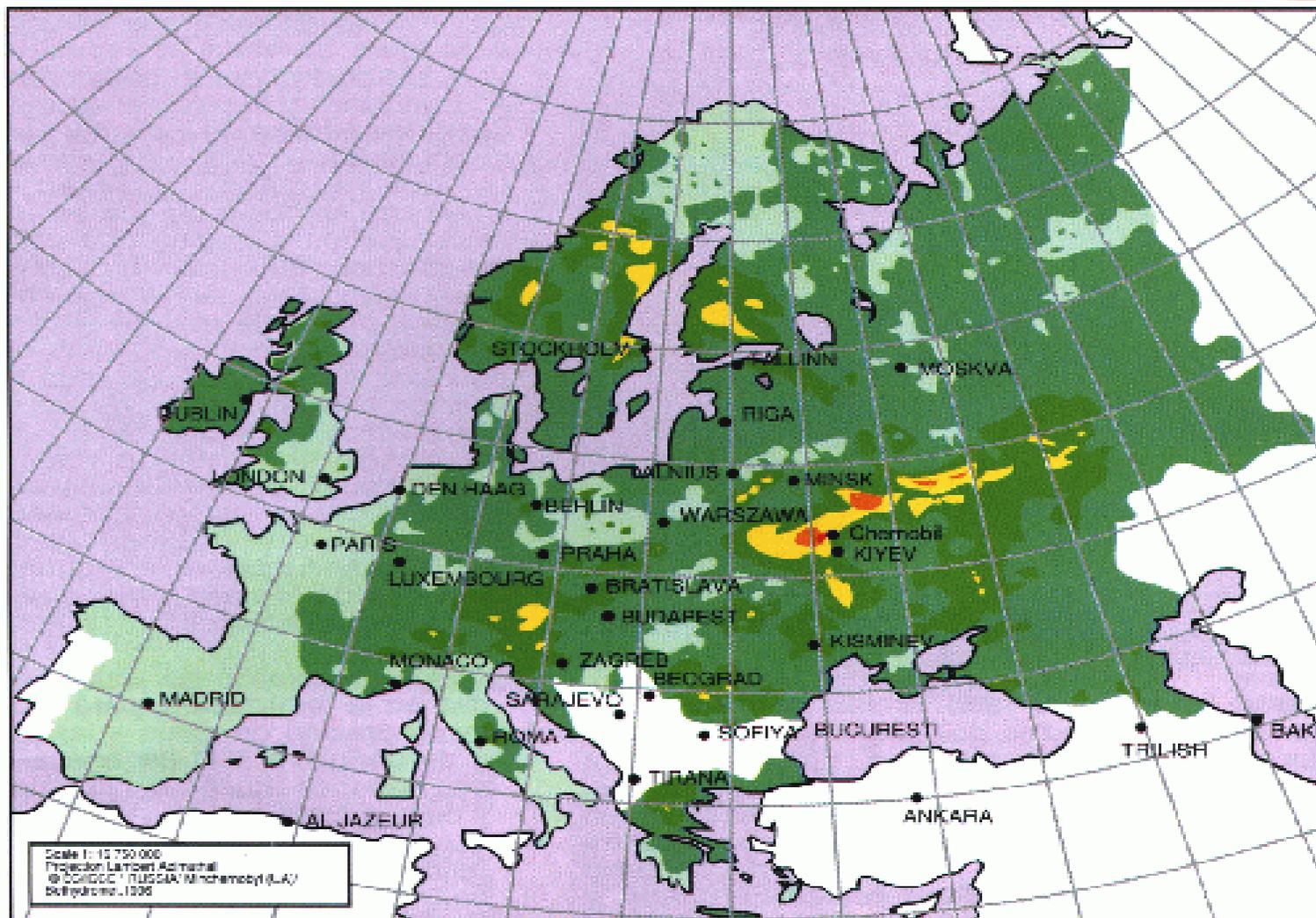
26 aprile 1986

Continua...

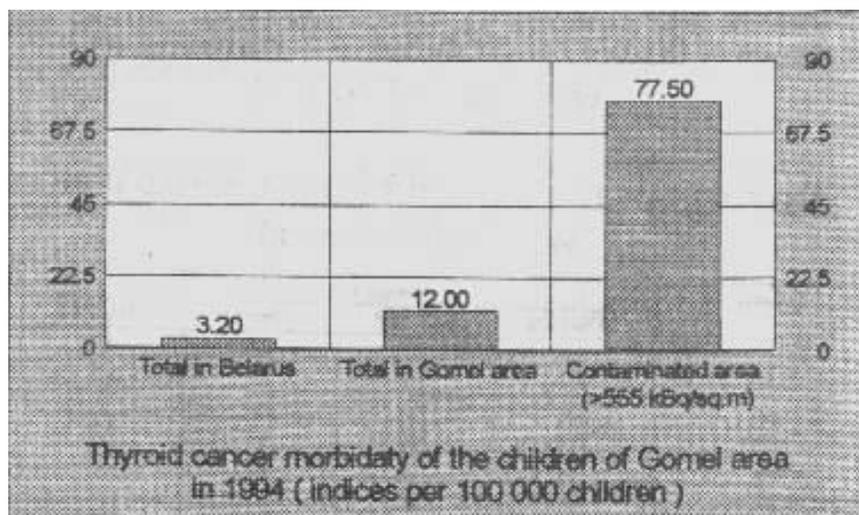
La nube radioattiva contaminò praticamente tutti i paesi europei, in particolare Polonia, Austria, Germania, i paesi baltici. Anche negli Stati Uniti e in Giappone furono rilevati aumenti significativi della radioattività al passaggio della nube tossica.

Se le conseguenze non furono ancora più catastrofiche lo si deve all'intervento di fatto eroico di centinaia di persone che si adoperarono per spegnere le fiamme gettando tonnellate di sabbia e schiumogeni sul reattore in fiamme, dapprima dagli elicotteri, e poi dal tetto dell'edificio, pur sapendo che stavano assorbendo dosi letali di radiazione.

Spento l'incendio attorno al reattore esploso fu costruito un sarcofago in acciaio e cemento per racchiudere i resti dell'esplosione. Questo sarcofago é attualmente fonte di preoccupazione per gli scienziati che ritengono si stia deteriorando molto rapidamente.



La mappa si riferisce alla contaminazione di Cs137



aumento di casi di cancro alla tiroide in bambini dell'area di Gomel

malformazioni in bambini ucraini



| Evento   | Raccomandazioni per la prevenzione o mitigazione<br>1° livello: raccomandazioni tecniche immediate<br>2° livello: evitare i rischi<br>3° livello: <b>migliorare il sistema gestionale</b>  |
|--|--|
| Sfiducia nel nucleare  | <b>Spiegare le differenze di progetto fra Chernobyl e gli altri reattori</b>   |
| 30 morti, migliaia a rischio, 100.000 evacuati                       |  |
| Perdita di diverse tonnellate di combustibile e prodotti di fissione |  |
| Esplosione del tetto del reattore                                    |  |
| Reazione dello Zr e dell'acqua, fusione dei tubi                     | <i>Progettare reattori meno soggetti all'effetto di knock-on</i>   |
| Surriscaldamento peggiora  | <i>Non usare materiali che reagiscono fra di loro</i>  |
| Barre di controllo inserite manualmente                              | <i>Aumentare il numero di barre e la velocità di inserimento<br/>Non costruire reattori con coefficienti di potenza positivi</i>   |
| Surriscaldamento del reattore  | <i>Prima di fare esperimenti chiedersi cosa può accadere e pianificare le misure</i>   |
| Reattore non va in blocco  | <i>Progettare blocchi di emergenza che non possono essere disinseriti</i>  |
| Rallentamento delle pompe a seguito del rallentamento della turbina  |  |
| Decisione di fare l'esperimento senza spegnere il reattore           | <i>Progettare in modo da impedire il funzionamento a regimi intollerabili</i><br><b>Seguire le norme di sicurezza durante gli esperimenti</b><br><b>Consentire una maggior comprensione del problema a manager e operatori</b><br><b>Controllare che le norme siano seguite</b><br><b>Non dare istruzioni contrastanti</b> |
| Decisione di fare l'esperimento                                      |  |
| Decisione di costruire un PWR  | <i>Considerare progetti intrinsecamente sicuri</i>   |



Carenze tecnico gestionali riscontrate oltre a quelle già evidenziate  
Continua...  
(fonte OSHA)

**Prese aria edificio:** non a norma secondo le prescrizioni previste dal rilascio di gas

**Minimizzazione dell'esposizione del personale:** eccessivo affollamento della sala controllo e della sala finitura

**Gas – Detector:** non era presente un impianto per la rilevazione delle fughe di gas

**Controllo sorgenti di innesco:** non coordinamento in sicurezza tra differenti lavori di manutenzione (saldatura, accesso mezzi area a rischio,...)

**Procedure di isolamento per la manutenzione:** Non era previsto un doppio sistema di blocco né una flangia cieca, nonostante fosse previsto dalle procedure della casa madre.