

Introduzione al Rischio Chimico Industriale

Davide Manca

Dipartimento di Chimica Materiali e Ingegneria Chimica

Politecnico di Milano

davide.manca@polimi.it



Struttura della lezione

- Introduzione al Rischio Chimico Industriale
- Analisi di Rischio e Analisi delle Conseguenze
- Rischio di incidente rilevante e classificazione delle tipologie di evento



II Rischio Chimico-Industriale

- Peculiarità del Rischio Chimico-Industriale
- L'analisi di sicurezza
- Gli strumenti



Peculiarità del Rischio Chimico-Industriale

Il rischio Chimico-Industriale, diversamente dai rischi naturali, ha la peculiarità di essere generato da una **Sorgente Antropica**: l'insediamento produttivo.



Implicazioni

Implicazioni positive:

- La potenziale **sorgente** di rischio è **facilmente individuabile** poiché coincide con l'insediamento produttivo;
- L'intensità massima sviluppabile (**magnitudo**) da un insediamento produttivo a seguito di un evento incidentale è **teoricamente quantificabile**.

Implicazioni

Implicazioni negative:

- La **magnitudo** non è qualcosa che può essere misurato ma **deve essere stimata** (molto complesso);
- **Non è possibile rappresentare** gli impianti **per classi omogenee**: ogni impianto è un mondo a sé;
- **Non** si può definire un **tempo di allerta** contrariamente ad esempio al rischio idrogeologico;
- Nel caso di **rischio da trasporto non esiste** neppure una definizione a priori del **sito incidentale**.
- In genere la **velocità di svolgimento** dell'evento incidentale è superiore a quella di altri rischi (problema sui tempi di intervento)

L'Analisi di Sicurezza

L'analisi di sicurezza presuppone una distinzione tra:

- Analisi di **Rischio**;
- Analisi delle **Conseguenze**.



Analisi di Rischio

L'analisi di rischio ha la necessità di **conoscere le sorgenti di rischio**, vale a dire:

- Sorgente tecnologica: Strumentale e Algoritmica (Hardware e Software);
- Gestionale, organizzativa;
- Umana (Fattori Umani)

Analisi delle Conseguenze

L'analisi delle conseguenze presuppone invece la **conoscenza delle diverse vulnerabilità in funzione delle diverse tipologie d'evento.**



Analisi delle Conseguenze

Tipologia d'evento:

- Rilascio di gas tossico;
- Incendio;
- Esplosione.

Vulnerabilità:

- Tecnologica;
- Gestionale–organizzativa;
- Umana;
- Funzionale;
- Territoriale.



Gli strumenti

Per ognuna delle **TRE sorgenti di rischio** (tecnologica, gestionale–organizzativa, umana) gli strumenti per l'analisi di sicurezza variano da:

- squisitamente Qualitativi;
- squisitamente Quantitativi.

Gli strumenti

Sorgente Tecnologica

Qualitativi

- Liste di controllo (Check Lists);
- Analisi Preliminare dei Pericoli (PHA);
- Analisi "Cosa se" (What if)
- Analisi delle Modalità di Guasto e degli Effetti (FMEA);
- Pericoli e Operabilità (HAZOP).

Quantitativi

- Analisi delle Modalità di Guasto e degli Effetti (FMEA);
- Albero dei guasti (Fault Tree);
- Albero degli eventi (Event Tree);

Gli strumenti

Sorgente Organizzativo-Gestionale

Qualitativi

- TRIPOD (1997);
- RAIT (Railway Accident Investigation Tool, 1990);
- FS Method (SHEL model);
- SMAC (Simple Model of Accident Causation).

Quantitativi



Gli strumenti

Sorgente Umana

Qualitativi

- Analisi delle mansioni (Task Analysis, 1992);
- GEMS (Generic Error Modeling System, 1987);
- SHERPA (Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach, 1986);
- Human HAZOP (1988).

Quantitativi

- HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique, 1992);
- THERP (Technique for Human Error Rate Prediction, 1980);
- JHEDI (Justification of Human Error Data Information);
- CREAM (1998);
- ATHEANA (2000).

Affidabilità degli strumenti per l'Analisi del Rischio

L'affidabilità delle metodologie **decrece** progressivamente passando **dalla sorgente tecnologica**, a quella gestionale–organizzativa **fino a quella umana**.



Affidabilità delle Analisi di Sicurezza

Per poter effettuare delle Analisi di Rischio o delle Analisi delle Conseguenze affidabili è necessario avere a disposizione:

- **Metodologie affidabili**;
- Un **buon analista** di rischio/conseguenze;
- **Dati affidabili** (per un corretto utilizzo delle metodologie).

Tipologia dei dati necessari

Anche in questo caso è opportuno distinguere tra:

- Dati per le **Analisi di Rischio**
- Dati per le **Analisi delle Conseguenze**

Dati per le Analisi di Rischio

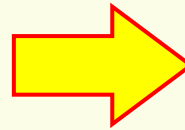
Per le **Analisi di Rischio** saranno necessari i dati intesi a chiarire:

- Modalità di guasto;
- Ratei di Guasto.

Dati per le Analisi delle Conseguenze

Nel caso dell'**Analisi delle Conseguenze** sarà necessario distinguere le richieste di informazione in funzione della tipologia d'evento:

- Rilascio di gas tossico;
- Incendio;
- Esplosione.



**Vulnerabilità
differenti**

Peculiarità del Rischio Chimico-Industriale

Per questa ragione non ha senso parlare d'incidente chimico (tout-court).

Questo perché a seconda della **tipologia** di incidente la **vulnerabilità** cambia sensibilmente.

Peculiarità del Rischio Chimico-Industriale

Inoltre i dati storici associati agli incidenti rilevanti **NON** sono:

- Statisticamente significativi
- Attendibili o estrapolabili alle tecnologie odierne

Peculiarità del Rischio Chimico-Industriale

È quindi necessario lavorare per **scenari incidentali** stimati tramite opportune metodologie note e consolidate.

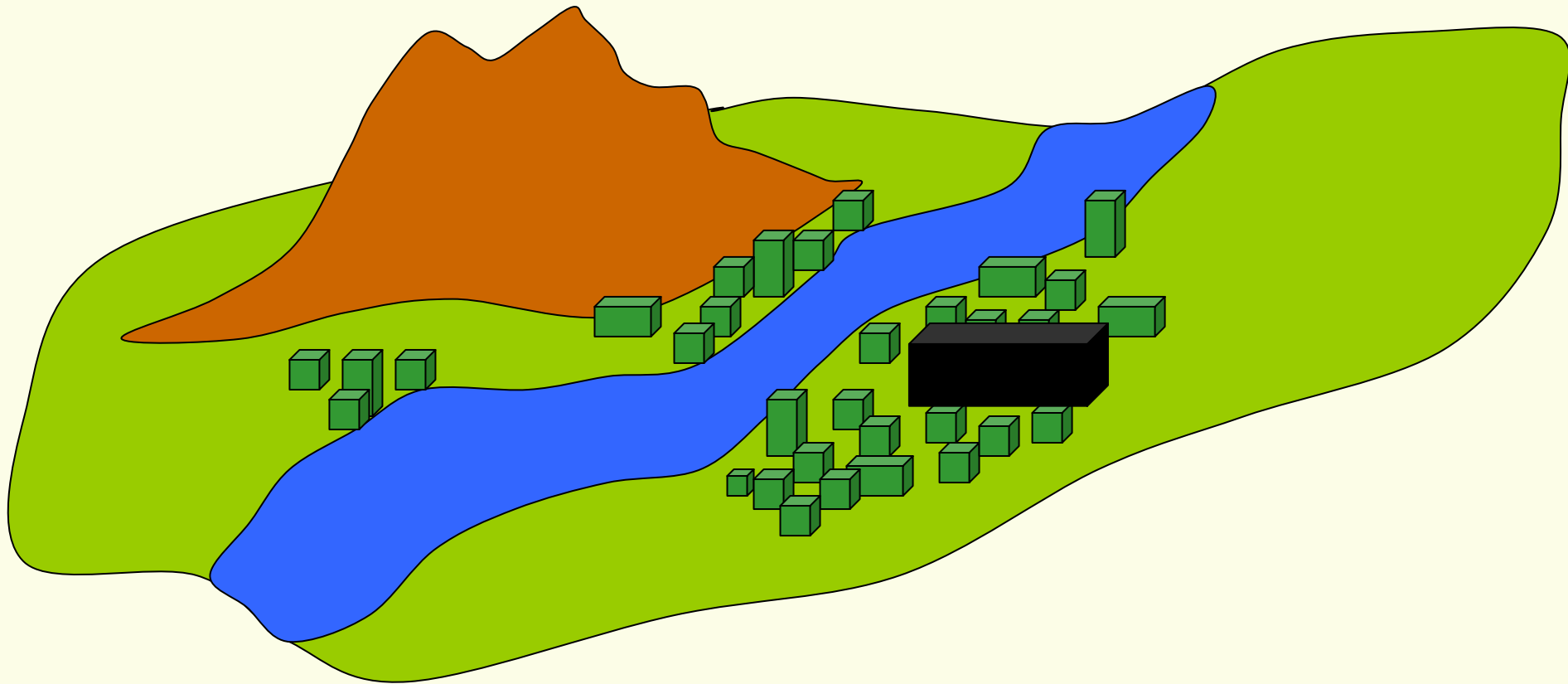
Lo scenario, in quanto tale, **non** è certamente **esaustivo** ma essendo specifico permette soltanto di verificare il comportamento del sistema rispetto ad un singolo evento ipotizzato (esempio: Icmesa di Seveso).

Peculiarità del Rischio Chimico-Industriale

Il sindaco **non** ha la possibilità di agire direttamente sulla **sorgente di rischio** per diminuirne la pericolosità così come può avvenire per:

- una frana;
- un terremoto;
- un'alluvione.

La Scatola Nera



Peculiarità del Rischio Chimico-Industriale

Al sindaco **non** è pertanto **concesso di condurre un'analisi di rischio** per ridurre la pericolosità attraverso azioni preventive.

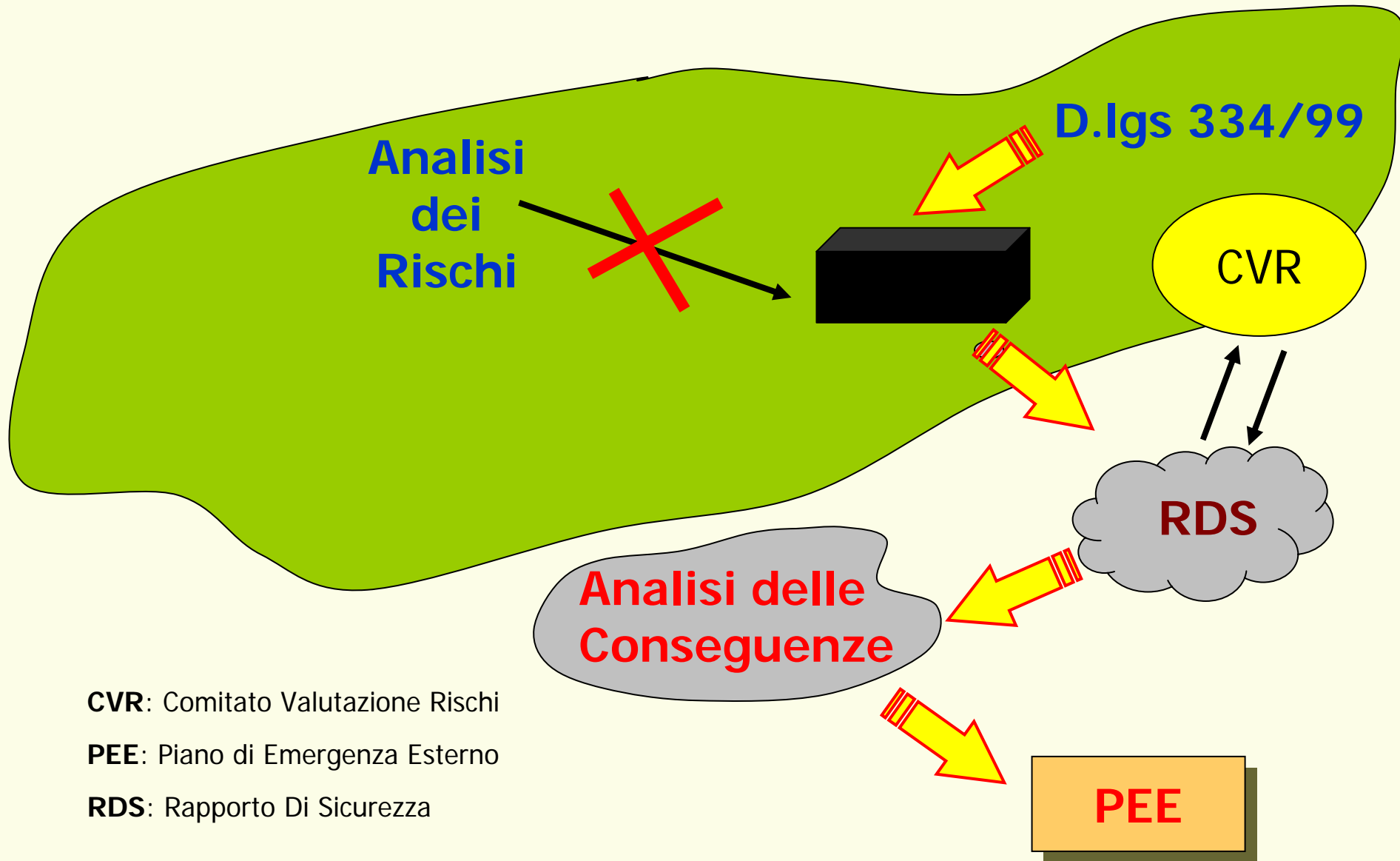


Peculiarità del Rischio Chimico-Industriale

Il Sindaco può però far tesoro delle informazioni contenute nel **RDS** (Rapporto Di Sicurezza) che ogni azienda a rischio d'incidente rilevante è tenuta a produrre (secondo il D.lgs 334/99).

Un'azienda si definisce a Rischio di Incidente Rilevante se ricade nelle condizioni dettate dall'articolo 8 del D.lgs 334/99 e Allegato I a tale legge.

La Scatola Nera



CVR: Comitato Valutazione Rischi

PEE: Piano di Emergenza Esterno

RDS: Rapporto Di Sicurezza

Peculiarità del Rischio Chimico-Industriale

Attraverso la redazione del **PEE** (Piano di Emergenza Esterno, art. 20 D.lgs 334/99) il sindaco può semplicemente mettere in atto **azioni di tipo protettivo**.

N.B.: il **PEE** è redatto dal Prefetto d'intesa con le regioni e gli enti locali interessati, sulla scorta delle informazioni fornite dal gestore (**RDS**). Tale piano viene quindi comunicato dal prefetto alla regione, alla provincia e al sindaco.

Dati per le Analisi delle Conseguenze

Per l'**Analisi delle Conseguenze** è necessario distinguere le richieste di informazione in funzione della tipologia d'evento:

- Rilascio di gas tossico;
- Incendio;
- Esplosione.

Caso di rilascio di gas tossico

Nel **caso di rilascio di gas tossico** è necessario conoscere:

- **L'intensità** (magnitudo) della sorgente;
- I **modelli** di propagazione per l'inquinante;
- **Condizioni meteo** (velocità, direzione del vento, classi di stabilità) nell'intorno dell'insediamento produttivo.

Caso d'incendio

Nel **caso d'incendio** è necessario conoscere:

- **L'intensità** (magnitudo) della sorgente;
- I **modelli di variazione dell'illuminazione** in funzione delle condizioni meteorologiche;
- **Condizioni meteo** (velocità, direzione del vento, classi di stabilità) nell'intorno dell'insediamento produttivo.

Caso d'esplosione

Nel **caso d'esplosione** è necessario conoscere:

- **L'intensità** (magnitudo) dell'esplosione;
- **I modelli di propagazione delle onde d'urto** in funzione del grado di confinamento.

Il rischio chimico industriale

Il rischio chimico proviene principalmente da due sorgenti distinte:

- Sorgenti fisse: impianti, depositi, magazzini, serbatoi di stoccaggio
- Sorgenti in movimento: automezzi, treni merce, chiatte

I possibili eventi incidentali sono:

- Fughe di materiale solido/liquido/gassoso da unità operative o di stoccaggio
- Esplosioni, deflagrazioni (onda subsonica), detonazioni (onda supersonica)
- Incendi, crolli strutturali

I possibili effetti sull'ambiente e quindi sulla flora/fauna/uomo sono:

- Emissione in atmosfera e ricaduta al suolo
- Sversamento su terreno e sua contaminazione
- Inquinamento di linee fluviali, fonti, pozzi



Il Decreto legislativo 334/99

La legge italiana prescrive l'analisi del rischio solo per impianti a **R**ischio di **I**ncidente **R**ilevante (R.I.R.).

Per **incidente rilevante** si intende il rilascio da un impianto di materia e/o energia in quantità o forma tali da poter provocare effetti avversi sulle persone, cose, ambiente.

Gli impianti per i quali la legge prescrive l'analisi del rischio sono quelli che vedono la presenza di prodotti od intermedi in quantità prefissate a seconda della tipologia della sostanza considerata.

Esiste quindi un concetto di qualità e quantità della sostanza potenzialmente a rischio.

Il **D.lgs 334/99** che recepisce la direttiva **SEVESO II 96/082/CEE** fissa due limiti distinti per le sostanze chimiche di maggior diffusione.

Se durante la produzione si ha un reagente, un intermedio o un prodotto finale in quantità superiore ad un **primo** limite, il gestore dell'impianto deve **notificare** il fatto al: Ministero dell'Ambiente, alla regione, alla provincia, al comune, al prefetto, al Comitato tecnico regionale dei VVF (**Articolo 6**).



Il Decreto legislativo 334/99

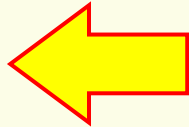
Se durante la produzione si ha un reagente o un intermedio o un prodotto finale in quantità superiore ad un **secondo** limite, il gestore dell'impianto deve **notificare** il fatto al: Ministero dell'Ambiente, alla regione, alla provincia, al comune, al prefetto, al Comitato tecnico regionale dei VVF ed in più deve predisporre un **Rapporto Di Sicurezza (RDS)** (**Articolo 8**).

Il rapporto di sicurezza contiene anche delle informazioni che possono consentire di prendere delle decisioni in merito alla costruzione di nuovi insediamenti intorno all'impianto già esistente (D.lgs 334/99).

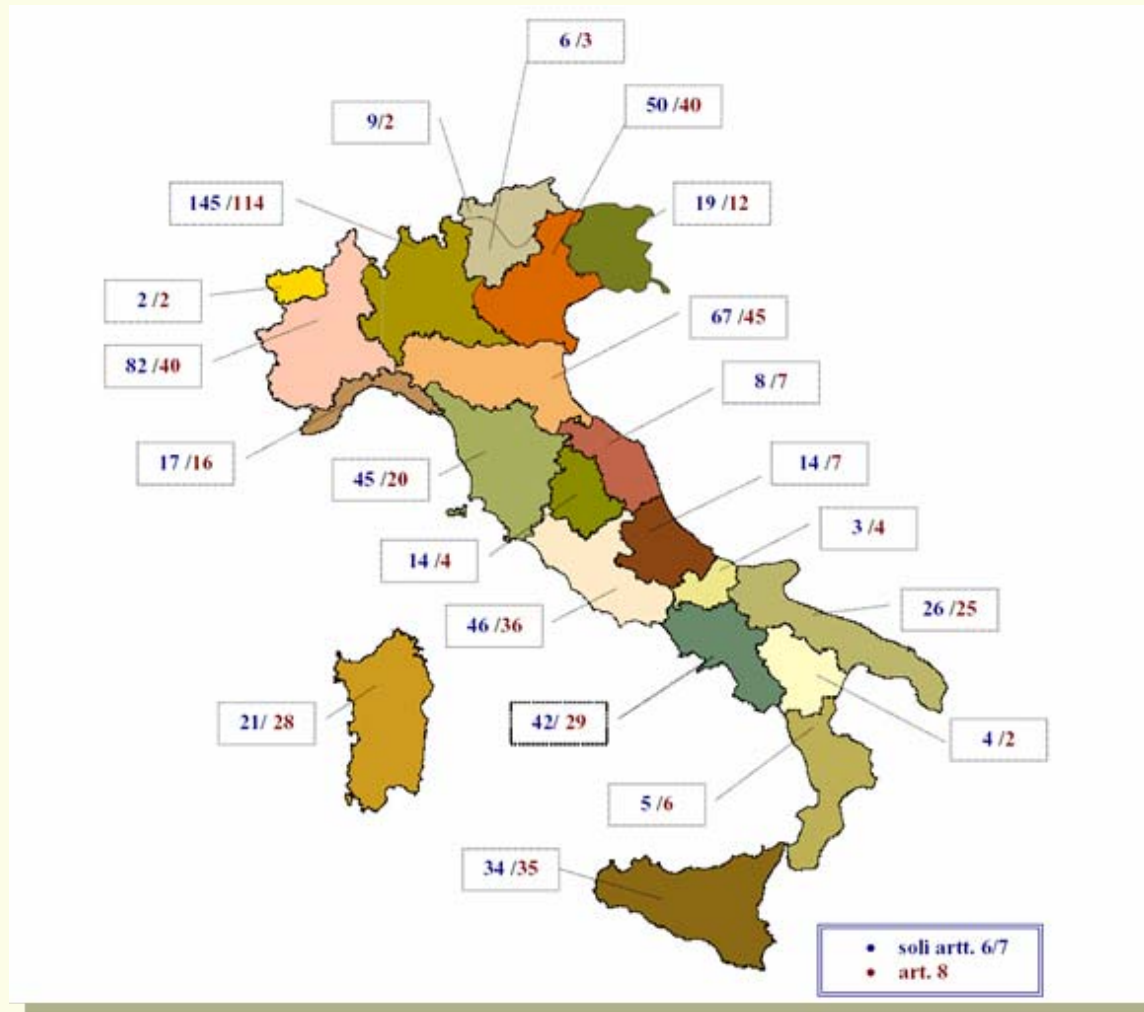
Sostanza	Primo limite [ton]	Secondo limite [ton]
Metil isocianato	0.15	0.15
Cloro	10	25
Formaldeide	5	50
Acido cloridrico	25	250
Ossigeno	200	2000
Nitrato d'ammonio	350	2500
Metanolo	500	5000
Benzina	5000	50000

Censimento Italia

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, in collaborazione con APAT, ai sensi dell'Art. 15, comma 4 del D.lgs 17 Agosto 1999, n. 334, ha redatto un inventario nazionale degli stabilimenti suscettibili di causare incidenti rilevanti. Il censimento aggiornato all'Ottobre 2004 riporta:

• Industrie in classe art. 8 D.lgs 334/99:	461		RdS
• Industrie in classe art. 6 D.lgs 334/99:	644		
TOTALE	1105		

Censimento Italia



Distribuzione regionale stabilimenti soggetti al D.lgs. 334/99

Tratto da "Mappatura del Rischio Industriale in Italia" - APAT rapporto 22/2002

Censimento Italia

La distribuzione regionale degli stabilimenti soggetti al D.Lgs. 334/99

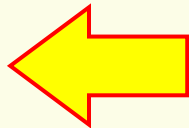
Regione	tot.	art 6/7	art 8
Abruzzo	21	14	7
Aosta	4	2	2
Basilicata	6	4	2
Calabria	11	5	6
Campania	71	42	29
Emilia Romagna	112	67	45
Friuli Venezia Giulia	31	19	12
Lazio	82	46	36
Liguria	33	17	16
Lombardia	259	145	114
Marche	15	8	7
Molise	7	3	4
p.a.di Bolzano e Alto Adige	11	9	2
p.a.di Trento	9	6	3
Piemonte	122	82	40
Puglia	51	26	25
Sardegna	49	21	28
Sicilia	69	34	35
Toscana	65	45	20
Umbria	18	14	4
Veneto	90	50	40
	1136	659	477

Tratto da "Mappatura del Rischio Industriale in Italia" - APAT rapporto 22/2002



Censimento Lombardia

Per quanto riguarda la Lombardia, il censimento aggiornato all'Ottobre 2004 riporta:

• Industrie in classe art. 8 D.lgs 334/99:	110		RdS
• Industrie in classe art. 6 D.lgs 334/99:	148		
TOTALE	258		

Censimento Lombardia

Regione	Provincia	art 6/7	art 8	Totale
Lombardia	Bergamo	17	22	39
	Brescia	18	9	27
	Como	7	2	9
	Cremona	6	6	12
	Lecco	6	3	9
	Lodi	6	4	10
	Mantova	5	8	13
	Milano	49	43	92
	Pavia	11	7	18
	Sondrio	4	0	4
Varese	16	10	26	
Totale Lombardia		145	114	259

Tratto da "Mappatura del Rischio Industriale in Italia" - APAT rapporto 22/2002

Censimento Lombardia

La distribuzione provinciale degli stabilimenti soggetti ad art. 5 comma 3 del D.lgs. 334/99

Regione	Provincia	Totale
Lombardia	Bergamo	12
	Brescia	12
	Como	2
	Cremona	0
	Lecco	3
	Lodi	3
	Mantova	1
	Milano	27
	Pavia	6
	Sondrio	0
Varese	15	
Totale Lombardia		81

Tratto da "Mappatura del Rischio Industriale in Italia" - APAT rapporto 22/2002

Censimento provincia di Milano

Dato l'elevato numero di industrie chimiche in provincia di Milano, classificate in base alle direttive del D.lgs 334/99, si deduce che anche il **TRANSITO di sostanze chimiche**, appartenenti all'Allegato I di tale legge, è elevato.

Conseguentemente il rischio di incidente dovuto a rilascio, esplosione o incendio di sostanze chimiche trasportate in territorio urbano è elevato e per certi versi proporzionale al numero di aziende a rischio di incidente rilevante (quantità stoccate).

Effetto domino

Altro aspetto trattato dal DL 334/99 è quello dell'**effetto DOMINO** (vedi articolo **12**).

Per quanto pertiene il rischio di incidente rilevante esiste sicuramente una possibilità di interazione tra siti produttivi limitrofi (**interazione A—A**).

Esiste altresì una seconda possibilità di interazione tra eventi incidentali di tipologia differente (interazione **A→B** o **B→A**) ad esempio tra rischio chimico industriale e rischio idrogeologico

Interazione A→B: sversamento di sostanze tossiche fluide in un corso d'acqua o nella falda sotterranea.

Interazione B→A: esondazione di un corso d'acqua e dilavamento di sostanze chimiche stoccate.

Effetto domino

Per quanto riguarda l'interazione di tipo **A—A** ovvero tra due unità produttive limitrofe è possibile distinguere due tipologie di influenza:

- **Influenza diretta**: estensione di incendio o conseguenze dell'esplosione (frammenti, onda d'urto) dal sito incidentale a quello limitrofo.
- **Influenza indiretta**: nube tossica rilasciata dal primo sito che può agire sugli operatori del secondo sito (controllabilità e gestione del secondo sito).

N.B.: le due unità produttive coinvolte possono anche NON appartenere allo stesso comune (il Rischio Chimico non conosce confini...)

Effetto domino: Provincia di Milano

Sempre focalizzando l'attenzione sulla provincia di Milano esiste un certo numero di possibili interazioni di tipo $A-A$, $A \rightarrow B$, $B \rightarrow A$ per quanto riguarda l'effetto Domino.

Esempio di interazione di tipo: $A \rightarrow B$ o $B \rightarrow A$ per il comune di Rho:

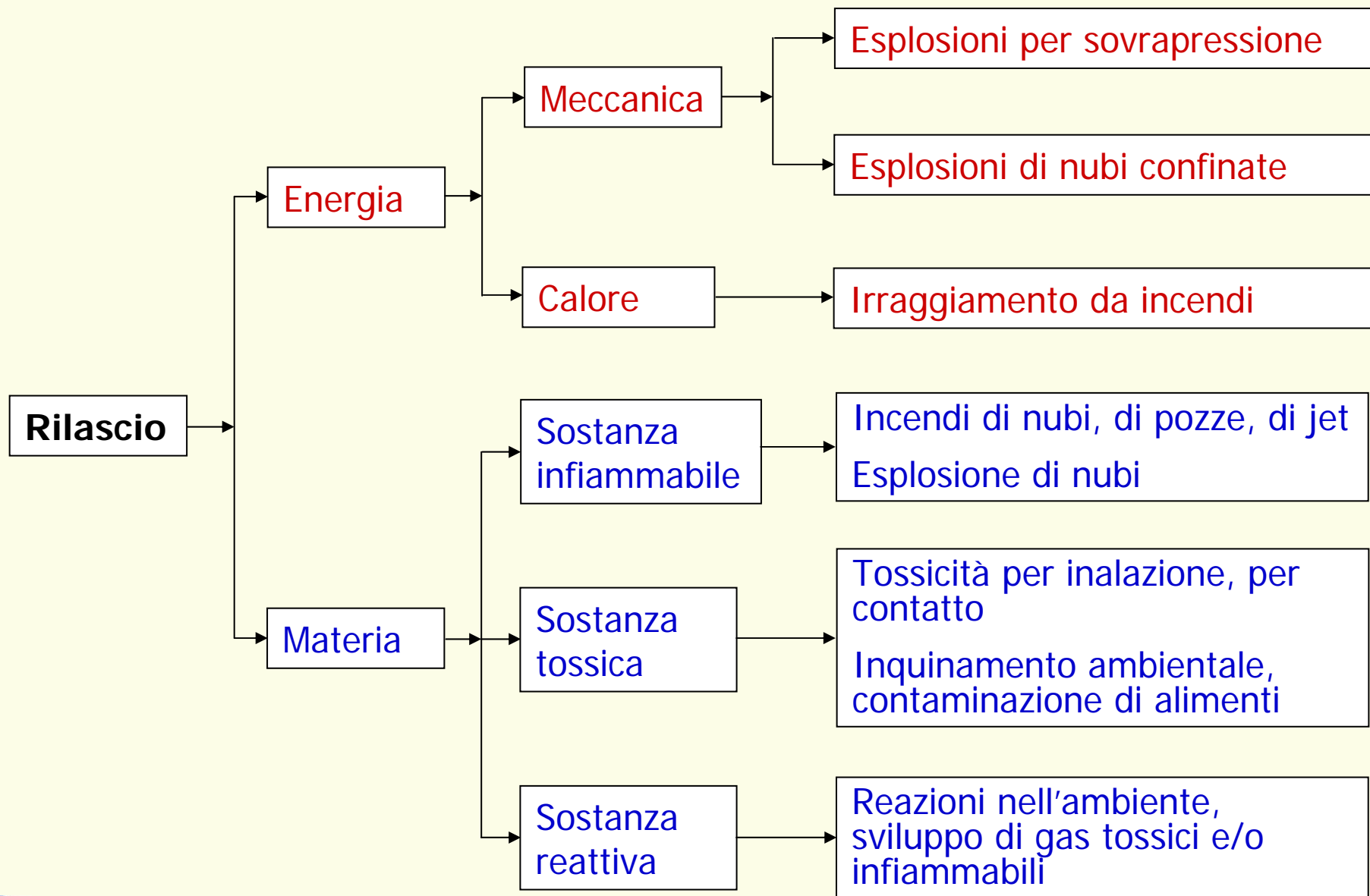
- Ditta: **ATOFINA**
- Corso d'acqua: **BOZZENTE, OLONA**
- Sostanze stoccate: **Acetocianidrina, Ammoniaca**

Effetto domino: Provincia di Milano

Per l'interazione di tipo A—A relativa al comune di Rho si ha:

Comuni interessati	Impianti coinvolti	Tipo di influenza
Rho – Pregnanza	Atofina, Agip Petroli, Scalo FS, Q8, Maxcom	Indiretta
Rho – Pero	Cam Petroli, Rhodengas, Eingemann & Veronelli, Carbotermo, Cromatura rhodense, Fosfantartiglio	Diretta e Indiretta

Classificazione delle sostanze pericolose



Identificazione delle sorgenti di rischio

L'identificazione delle sorgenti di rischio costituisce il primo e fondamentale passo di un'analisi probabilistica del rischio. La capacità di evidenziare il maggior numero di scenari incidentali ne misura la bontà e la completezza.

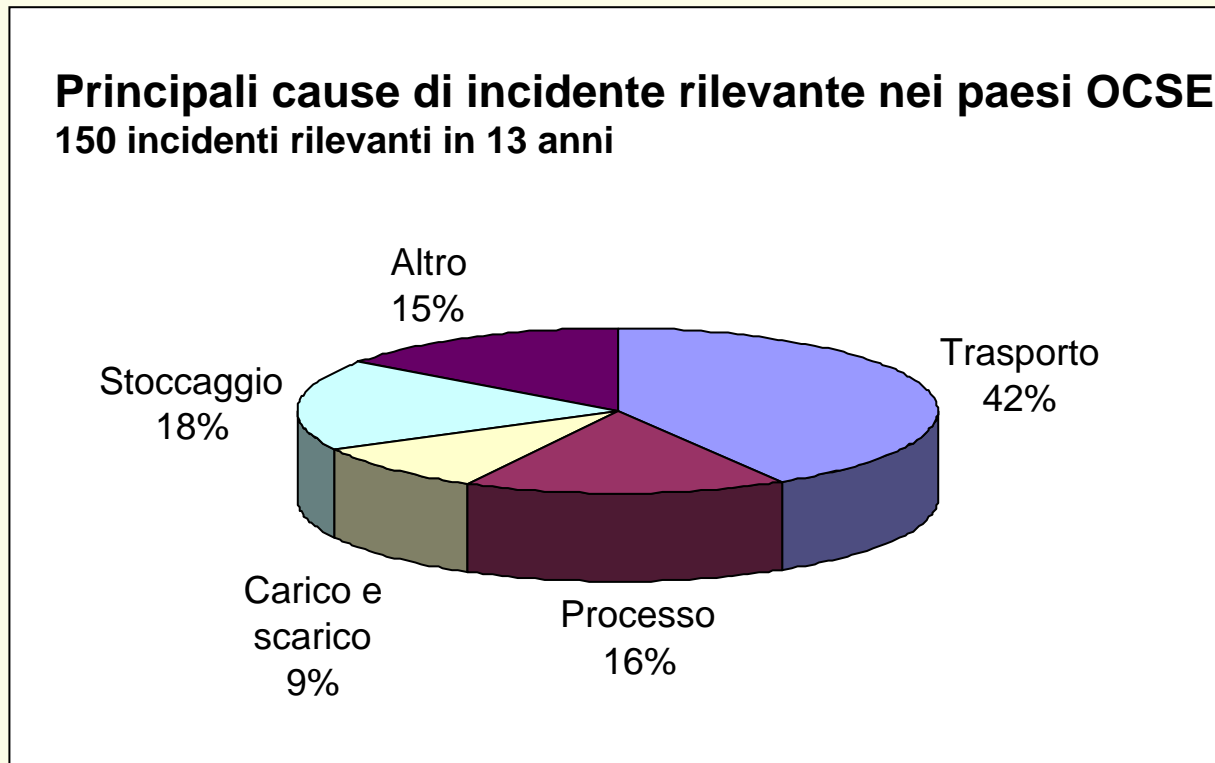
Nell'ambito dell'incidente rilevante, le **sorgenti di rischio** rilevabili sono:

- 1) Erroneo funzionamento dell'impianto o di sue componenti (guasto di componenti, strumentazione, errore dell'operatore)
- 2) Fattori esterni: terremoti, inondazioni, frane, sabotaggi...
- 3) Mancato intervento delle protezioni (valvole di sicurezza, allarmi, blocchi)
- 4) Presenza di composti pericolosi (tossici, infiammabili, reattivi, ...)
- 5) Formazione di composti pericolosi a causa di condizioni operative non convenzionali (polimerizzazioni, reazioni secondarie, cambiamenti di stato)

Identificazione delle sorgenti di rischio

Gli incidenti rilevanti presentano la caratteristica di eventi rari. Ne consegue che le casistiche disponibili sono affette da esiguità numerica, disomogeneità delle fonti informative ed incompletezza.

Esistono numerose banche dati dedicate alla raccolta di informazioni relative ad eventi incidentali nell'industria di processo.



Identificazione delle sorgenti di rischio

Considerando i principali composti chimici responsabili di incidenti rilevanti (statistiche tratte da 150 incidenti avvenuti in 13 anni nei paesi OCSE) si evidenzia il maggior impatto delle sostanze infiammabili per i ratei di decesso. Al contrario le sostanze tossiche dominano i ratei di infortunio.

Composto	Numero di incidenti	Numero di decessi	Numero di infortuni	Rateo di decesso	Rateo di infortunio
Ammoniaca	14	9	803	0.6	57.4
Cloro	34	20	2150	0.6	63.2
GPL	16	110	215	6.9	13.4
GNL	31	185	690	6.0	22.3
TOTALE	95	324	3858	3.4	40.6

Da ciò si deduce che i composti infiammabili ed esplosivi hanno un impatto maggiore sugli individui direttamente esposti; al contempo coprono un'area di azione inferiore rispetto alle sostanze tossiche.

Identificazione degli eventi iniziatori

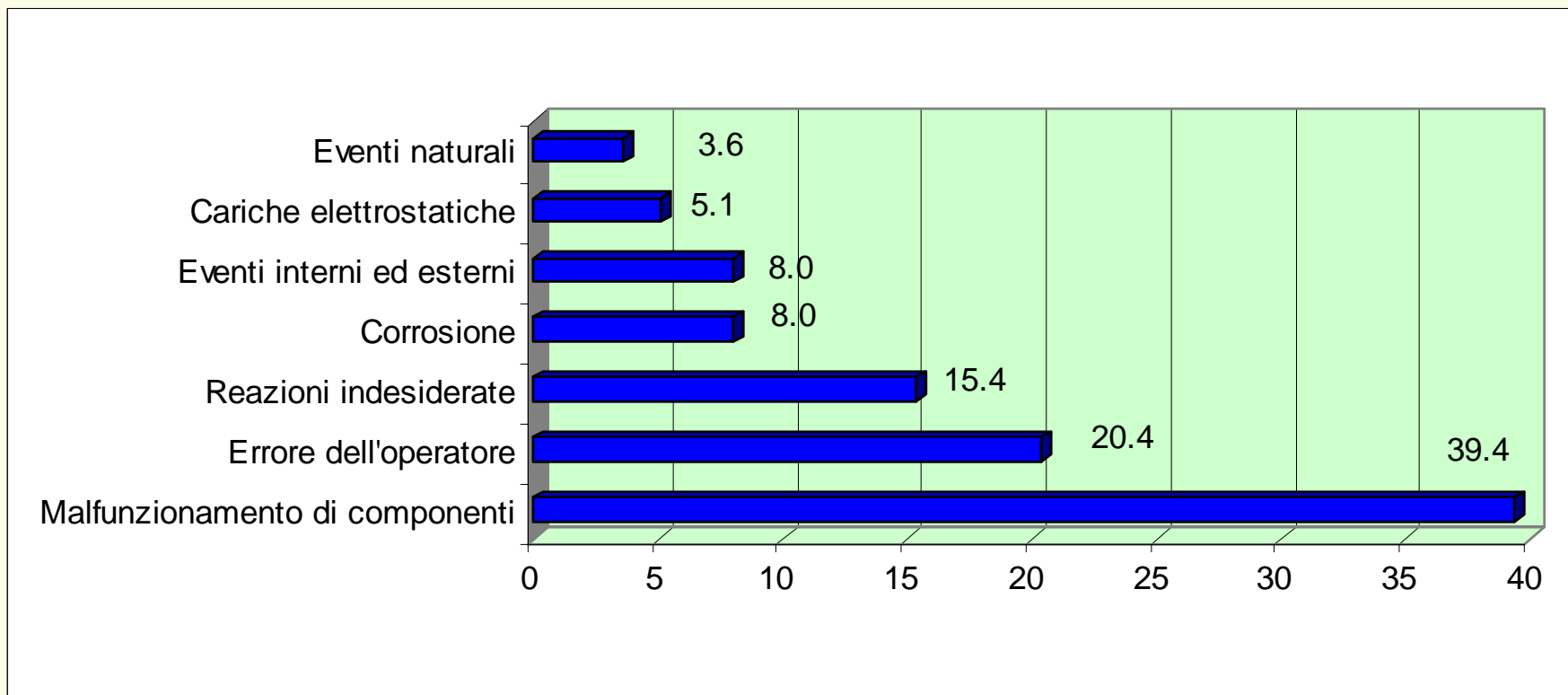
Per comprendere le cause di un incidente si parte evidentemente dagli eventi che ne hanno dato l'inizio.

Uno studio condotto a partire dalla banca dati **FACTS** su 216 eventi incidentali ha mostrato che:

Eventi iniziatori	%
Errori di progetto	1
Assemblaggio o costruzione difettosi	6
Procedure incorrette, inadeguate condizioni operative	6
Reazioni incontrollate, instabilità dei prodotti	7.5
Materiali non idonei	8.5
Malfunzionamento di allarmi, protezioni, reti di servizio	9.5
Errori di processo (sovrapressioni, sovrariempimenti)	26
Errori umani	32

Cause di rilascio

Facendo capo ad un'altra banca dati: **MARS** è possibile estrarre le seguenti informazioni relative alle più frequenti cause di rilascio per impianti a rischio di incidente rilevante. Su 121 incidenti notificati (**direttiva 96/082/CEE**) si ha che:



Banche dati incidenti

Esistono numerose banche dati che raccolgono informazioni relative ad incidenti nell'industria di processo.

Banca dati FACTS (Failure and Accidents Technical Information System)

Contiene circa 16,000 incidenti industriali accaduti in tutto il mondo negli ultimi 60 anni. Le informazioni principali ivi contenute sono: tipo di attività, causa, data e luogo, tipologia dell'evento, unità di processo coinvolte, operazioni umane intraprese.

Banca dati MHIDAS (Major Hazards Incident Data System)

Contiene circa 6,500 incidenti industriali accaduti in circa 90 paesi. Le informazioni principali ivi contenute sono: origine, cause generali, cause specifiche, data e luogo, danni, tipo di incidente.

Banche dati incidenti

Banca dati MARS (Major Accidents Reporting System)

Contiene oltre 200 incidenti industriali in paesi CEE riportati in seguito alla direttiva comunitaria: 96/082/CEE. Le informazioni principali ivi contenute sono: origine, cause generali, cause specifiche, incidente, unità coinvolte, sostanze coinvolte, danni.

Banca dati SONATA

Contiene 5,000 incidenti industriali accaduti in tutto il mondo negli ultimi 70 anni. La maggior fonte di informativa è rappresentata dal personale ENI e dalla stampa internazionale. Le informazioni principali ivi contenute sono: tipologia dell'incidente, tipo di attività, data e luogo, conseguenze, cause.

Identificazione delle sorgenti di pericolo

Nell'ambito dell'analisi di rischio da incidente rilevante, **l'identificazione delle deviazioni dell'impianto** dalle condizioni operative nominali (previste durante la fase di progettazione) rappresenta un'attività centrale che deve essere perseguita tramite **adeguate procedure analitiche, riproducibili e sistematiche**.

Per caratterizzare un evento incidentale non è sufficiente individuare **l'evento iniziatore** ma occorre considerare anche gli eventi **secondari** ad esso concatenati. L'obiettivo è quello di razionalizzare la pianificazione degli interventi preventivi da adottare per migliorare la sicurezza di un progetto o di un impianto.

Per l'espletamento di tale analisi di rischio sono richiesti:

- Completa documentazione dei componenti dell'impianto, dei processi chimico-fisici, delle sostanze presenti e dei flussi coinvolti
- Un adeguato team in grado di coprire i vari campi di indagine (multidisciplinarietà) con esperienza operativa in campo

Identificazione delle sorgenti di pericolo

Per l'individuazione delle sorgenti di rischio è possibile operare secondo due approcci distinti:

- **Utilizzazione della esperienza accumulata** nella progettazione e gestione di impianti a rischio
- **Analisi logica, passo-passo**, dell'impianto finalizzata all'identificazione di tutte le possibili sorgenti di rischio

Nel primo caso si parla di "*check-list*" di progetto o di sistema che definiscono degli standard operativi o di conduzione volti al mantenimento della qualità e della sicurezza (vedi enti: **ANCC-ISPEL**, **ASME**, **API**, metodo: **PHA**).

Nel secondo caso l'applicabilità del metodo è estendibile anche a casi dove non si sia ancora raccolta una sufficiente esperienza operativa in campo. Questo approccio è certamente più esaustivo e rigoroso del primo (metodi: **What if**, **FMEA**, **HAZOP**).

Alla seconda categoria appartengono anche i **METODI ad INDICI**, tra i quali è possibile citare quelli ad indice di pericolosità: **DOW** e **MOND**. Tali metodi cercano di classificare allo stesso tempo gli indici di pericolosità legati alle sostanze presenti e quelli relativi ai dispositivi di sicurezza che mitigano il rischio.

Check-list di processo o sistema

Obiettivi: analisi degli elementi che compongono un sistema e controllo della loro corrispondenza con uno standard.

Campo di applicazione: materiali, componenti, condizioni operative, manutenzione, sicurezza.

Metodologia: risposta ad una serie di quesiti riguardanti lo specifico elemento del progetto. La serie di quesiti (check-list) deve essere posta da personale altamente esperto del processo analizzato. In generale si verifica la rispondenza a norme di legge o procedure operative interne (ISO 9000).

Pro: semplicità.

Contro: tecnica qualitativa, analisi separata dei singoli elementi. Non è possibile valutare l'affidabilità delle apparecchiature o dell'intero impianto.

PHA: Preliminary Hazard Analysis

Obiettivi: analisi ed identificazione delle sorgenti di pericolo con obiettivo l'incremento della sicurezza tramite modifiche di progetto o definizione di condizioni operative diverse.

Campo di applicazione: durante la progettazione dell'impianto o del processo con attenzione specifica a: sostanze, componenti, materiali, utilities, condizioni operative, fattori ambientali.

Metodologia: analisi storica e conoscenze accumulate rispetto allo specifico processo ed alle apparecchiature coinvolte. Interazione continua tra progettisti ed esperti della sicurezza.

Pro: semplicità e basso costo dato che opera in fase di progettazione.

Contro: natura qualitativa del metodo. Dipendenza dei risultati dall'esperienza e qualificazione del team di analisi. Limitatezza dei dati disponibili.



Analisi “What – if”

Obiettivi: analisi sistematica di singole apparecchiature dell'impianto. Individuazione delle sorgenti di rischio e loro classificazione. Proposta di soluzioni alternative e di metodologie volte alla mitigazione delle conseguenze.

Campo di applicazione: sia in fase di progetto che di conduzione dell'impianto.

Metodologia: procedura rigida operativa: identificazione delle componenti dell'impianto a rischio, nomina di un team multidisciplinare. Creazione della documentazione su: sostanze, processo, PFD e P&ID, procedure operative e manutentive, dispositivi di sicurezza. Risposta a quesiti: “cosa accade se...”.

Pro: tecnica analitica e semplice, utilità, bassi costi, qualità dei risultati.

Contro: dipendenza dall'esperienza del team multidisciplinare di analisi. Carattere ancora qualitativo e non completamente quantitativo dell'analisi.

Cosa accade se...	Conseguenze	Livello di criticità	Intervento suggerito
Errori dell'operatore...	...	grave / medio / basso	...
Malfunzionamento componenti...	...	grave / medio / basso	...
Eventi esterni...	...	grave / medio / basso	...
Eventi multipli o concatenati...	...	grave / medio / basso	...

FMEA: Failure Model and Effect Analysis

Obiettivi: individuazione, tramite un metodo sistematico, delle cause che possono originare il guasto di uno specifico componente e degli effetti che tali guasti possono provocare sul sistema di cui fanno parte.

Metodologia: si applica in modo sistematico ad ogni componente dell'impianto. Occorre conoscere anche le interazioni tra i singoli componenti del sistema analizzato, nonché i legami tra: apparecchiatura–sistema di alimentazione–strumentazione.

Pro: capacità di rilevare singoli eventi. Facilità di comunicazione e di utilizzo dei risultati.

Contro: analisi incentrata sul singolo componente. Dipendenza dal team che conduce l'analisi. Eccessiva soggettività delle valutazioni quantitative.

HAZOP: HAZard and OPerability

Obiettivi: identificazione sistematica delle cause e delle conseguenze dovute alle possibili **deviazioni** dei parametri operativi del processo dai valori previsti di progetto. Definizione delle azioni da intraprendere per l'evidenziazione ed il contenimento delle conseguenze.

Campo di applicazione: sia in fase di progetto che di conduzione dell'impianto.

Metodologia: analisi sistematica degli specifici punti dell'impianto detti *nodi*: apparecchiature/procedure operative. Per ogni nodo si considerano le possibili **deviazioni** dai valori di progetto operando con **parole guida** ed utilizzando dei **parametri** che quantifichino lo scostamento.

Parole guida: nessuno, inverso, minore, maggiore, diminuzione di, aumento di, invece di, ...

Pro: affidabilità, qualità e completezza. È la tecnica più completa. Capacità di individuare anche sorgenti di rischio legate a sequenze di eventi. Output chiaro e completo.

Contro: composizione eterogenea del team con conoscenze relative a: progettazione, processo, materiali, chimica, tossicologia. Risorse umane. Tempi e costi elevati.



Metodi ad indice: DOW e MOND

Obiettivi: produrre, per ogni unità di processo, degli indicatori numerici di pericolosità che consentano una stima delle aree circostanti l'unità potenzialmente interessate da: incendi, esplosioni, rilascio di sostanze tossiche.

Campo di applicazione: sia in fase di progetto che di conduzione dell'impianto.

Metodologia: i due indici DOW e MOND sono molto simili. MOND è uno sviluppo del DOW e pone maggior attenzione sulla tossicità delle sostanze utilizzate. Le singole unità logiche dell'impianto vengono analizzate attribuendo loro dei fattori di penalizzazione e di compensazione basati su elementi di pericolosità e di sicurezza.

Fattori di penalizzazione: pericolosità delle sostanze presenti, del processo (P, T, concentrazioni, reazioni esotermiche, corrosione).

Fattori di compensazione: sistemi di controllo di processo, generatori elettrici tampone, gas inerti, manuali e training operatori, isolamento delle sostanze, protezioni antincendio.

Pro: idoneo a comparare differenti unità logiche dell'impianto. Facile ed economico. Metodo richiesto nella produzione del rapporto di sicurezza secondo il **DL 334/99**.

Contro: non è in grado di individuare specifiche sorgenti di rischio.



Effetti delle sostanze pericolose

Gli effetti avversi prodotti sull'uomo dal rilascio accidentale di materia e/o energia da un impianto si classificano in:

- **Effetti fisici**: ustioni e traumi provocati da crolli, incendi, esplosioni
- **Effetti dovuti a tossicità acuta**: edemi polmonari, lesioni oculari, eritemi, infiammazioni
- **Effetti dovuti a tossicità subacuta, subcronica, cronica**: tumori, mutazioni genetiche.

Esistono anche degli effetti sull'ambiente misurati in termini di ecotossicità (flora e fauna).

N.B.: Una sostanza deve essere classificata in base alle sue caratteristiche: chimico-fisiche, tossicologiche ed ecotossicologiche.

Proprietà chimico-fisiche

- Stato di aggregazione: S, L, G.
- Miscele: polveri e aerosol.
- Densità, peso molecolare, tensione di vapore, viscosità, solubilità.
- Infiammabilità: punto di autoaccensione, punto di fuoco. LFL, UFL.
- Limiti inferiore e superiore di esplosività
- Acidità o basicità
- Persistenza ambientale, BOD



Proprietà tossicologiche

Occorre sondare la **tossicità** della sostanza rispetto ai vari organi umani:

- epatotossicità, nefrotossicità, neurotossicità, azione sul sistema omopoietico (emoglobina), azione diretta sui polmoni.

Azione: irritante, asfissiante, anestetica, sensibilizzante, cancerogena, mutante, teratogena (riproduzione).

Asfissia

Percentuale volumetrica di O ₂ nell'aria	Sintomi
21	Normale
17	Aumento dell'inspirazione. Diminuzione coordinazione muscolare. Difficoltà di concentrazione
12-15	Abbreviazione del respiro, mal di testa, vertigini, tachicardia, affaticamento e perdita di coordinazione
10-12	Nausea e vomito, paralisi del moto
6-8	Collassamento e stato di incoscienza
< 6	Decesso in 6-8 minuti

Proprietà tossicologiche

Nell'ambito della tossicità acuta (singola somministrazione o esposizione per tempi inferiori alle 4 ore) si esprimono le seguenti grandezze:

DL = dose letale per esposizione orale o cutanea

CL = concentrazione letale per inalazione

Le grandezze più utilizzate sono: **DL₅₀** e **CL₅₀**. Esistono in letteratura anche: **DL01** e **DL99**. Tali grandezze sono riferite al ratto e/o coniglio in mg di sostanza per kg di peso corporeo. Nel caso del CL in mg per litro di inalazione su 4 ore di esposizione.

Classificazione CEE

Classificazione	DL orale nel ratto [mg/kg]	DL cutanea nel ratto/coniglio [mg/kg]	CL inalatoria nel ratto [mg/l/4h]
Molto tossiche	< 25	<50	< 0.5
Tossiche	25-200	50-400	0.5-2
Nocive	200-2000	400-2000	2-20

Banche dati proprietà tossicologiche

Esistono numerose banche dati internazionali relative alle proprietà tossicologiche di migliaia di sostanze chimiche nocive per l'uomo:

TOXNET, HSDB, OROS, ECDIN, TOXLINE, CHEMABS, HSLINE,...

In italiano: **INSC** = **I**ntervario **N**azionale **S**ostanze **C**himiche

TLV: Threshold Limit Value

TLV-TWA: Time Weighted Average

TLV-STEL: Short Term Exposure Limit

PEL: Permissible Exposure Limit

IDLH: Immediately Dangerous to Life or Health

EEGL: Emergency Exposure Guidance Limits

SPEGL: Short-term Public Emergency Guidance Levels

ERPG: Emergency Response Planning Guidelines



Valutazione delle conseguenze

In commercio esistono dei pacchetti software, programmi, in grado di simulare gli effetti conseguenti al rilascio di sostanze nocive, ad incendio o ad esplosione.

Tipicamente tali programmi cercano di modellare fisicamente l'evento incidentale affrontando tre principali tematiche:

- 1) **Effetti sorgente**: stoccaggio e modalità di rilascio, sezione di efflusso e quantità riversata.
- 2) **Dispersione ambientale**: modalità di trasporto del contaminante nell'ambiente. Esposizione dell'individuo alla sostanza nociva.
- 3) **Stima dei danni**: all'ambiente (uomo, flora e fauna) ed alle cose. Ustioni, traumi, intossicazioni. Attenzione alle modalità di mitigazione dell'evento tramite pianificazione esterna nella gestione dell'evento incidentale.

1. Effetti sorgente

La valutazione degli effetti sorgente nell'analisi del rischio di incidente rilevante focalizza l'attenzione sull'immissione nell'ambiente di contaminanti allo stato liquido o vapore, i quali possono diffondere espandendosi in pozze o nubi che vengono trasportate dal vento e/o dai moti convettivi atmosferici.

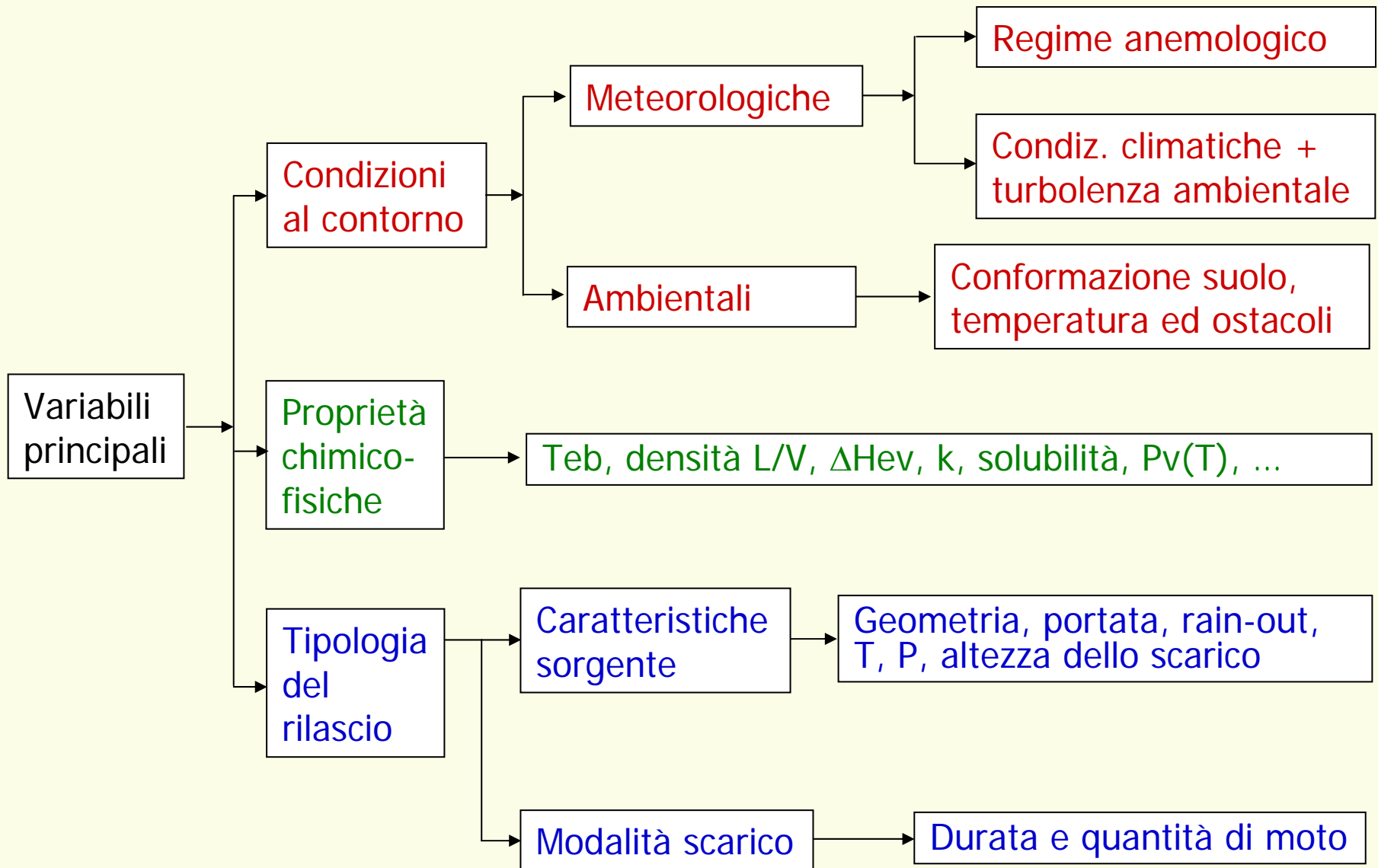
Emissione diretta: rilascio di contaminante allo stato vapore o bifasico

Emissione indiretta: evaporazione del contaminante da pozze di liquido sul terreno

Le variabili principali necessarie a quantificare questi effetti sono:

1. Portata di efflusso (in fase liquida o vapore)
2. Velocità di efflusso
3. Durata del rilascio
4. Temperatura del fluido rilasciato (laminazione isoentalpica, flash)
5. Frazione di liquido presente nel fluido rilasciato (rain out)
6. Dimensione delle gocce di liquido rilasciate (aerosol o evaporazione)

2. Dispersione ambientale



2. Dispersione ambientale

Classificazione meteorologica

Categoria ambientale di Pasquill	Stabilità atmosferica	Velocità del vento [m/s]	Gradiente termico verticale [°C/100 m]
A	forte instabilità	2-3	< -2
B	moderata instabilità	2-5	-1.9 / -1.7
C	debole instabilità	2-7	-1.7 / -1.5
D	neutralità	3-7	-1.5 / -0.5
E	debole stabilità	2-5	-0.5 / 1.5
F	moderata stabilità	2-3	1.5 / 4
G	forte stabilità	< 3	> 4

[Demo Emissioni](#)

3. Stima dei danni

Nell'ambito della normativa italiana, **D.M. 9-May-2001**, relativa all'analisi di **Rischio da Incidente Rilevante**, si richiede di individuare **quattro aree di rischio** circostanti l'impianto:

- alta letalità
- inizio letalità
- danni irreversibili
- danni reversibili alle persone.

In modo analogo, per quanto riguarda i rischi da incendio o esplosione, si definiscono i livelli di irraggiamento e sovrappressione che delimitano le aree suddette.

3. Stima dei danni

D.M. 9-Maggio-2001

6.2 Determinazione delle aree di danno

6.2.1 Valori di soglia

Il danno a persone o strutture è correlabile all'effetto fisico di un evento incidentale mediante modelli di vulnerabilità più o meno complessi. Ai fini del controllo dell'urbanizzazione, è da ritenere sufficientemente accurata una trattazione semplificata, basata sul superamento di un valore di soglia, al di sotto del quale si ritiene convenzionalmente che il danno non accada, al di sopra del quale viceversa si ritiene che il danno possa accadere.

Scenario incidentale	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili	Danni alle strutture Effetti domino
Incendio (radiazione termica stazionaria)	12.5 kW/m ²	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²	12.5 kW/m ²
BLEVE / Fireball (radiazione termica variabile)	Raggio fireball	350 kJ/m ²	200 kJ/m ²	125 kJ/m ²	200-800 m
Flash-fire (radiazione termica istantanea)	LFL	0.5 LFL			
VCE (sovrappressione di picco)	0.3 bar (0.6 spazi aperti)	0.14 bar	0.07 bar	0.03 bar	0.3 bar
Rilascio tossico (dose assorbita)	CL50 (30 min, hm)		IDHL		

3. Stima dei danni

D.M. 9-Maggio-2001

POOL FIRE e **JET FIRE**: radiazione termica stazionaria emessa da un incendio di vapori o fluido bifasico, misurata in kW/m². Originati da rilascio di materiale da serbatoi a pressione atmosferica.

BLEVE/Fireball: *Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*, radiazione termica variabile nel tempo (10-40 s) originata da rilascio di materiale da serbatoi pressurizzati. La dose termica assorbita è molto importante ai fine della valutazione dei danni: (kJ/m²)³.



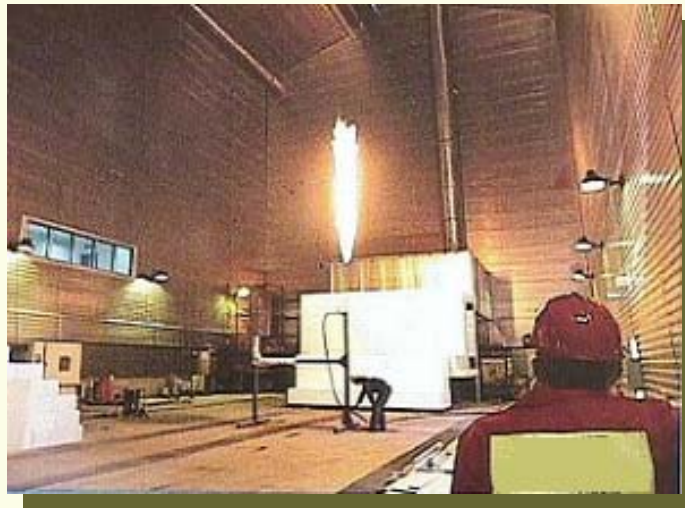
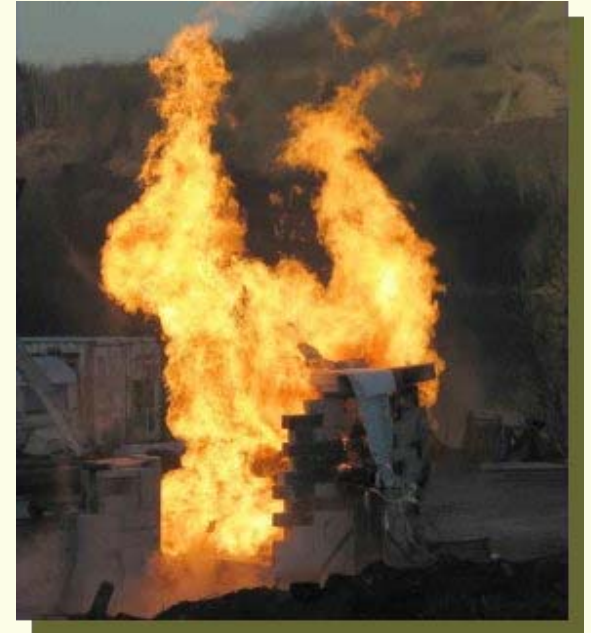
Pool fire



Tipico esempio di pool-fire
riprodotto in laboratorio.

Combustibile JP-8

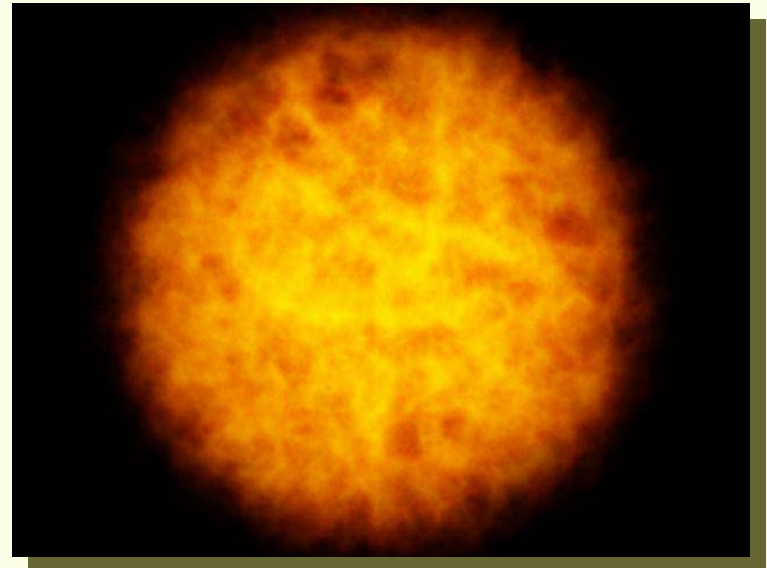
Jet fire



BLEVE



Fire ball



Stima dei danni

D.M. 9-Maggio-2001

CVE: *Confined Vapour Explosion*, onda di pressione e proiezione di frammenti. Letalità indiretta prodotta da caduta dell'individuo e impatto con frammenti.

UVCE: *Unconfined Vapour Cloud Explosion*.

IDLH: *Immediately Dangerous to Life or Health* (NIOSH/OSHA), concentrazione massima di una sostanza chimica alla quale l'individuo sano, dopo 30 min di esposizione, non subisce per inalazione danni irreversibili alla salute e sintomi tali da impedire le adatte azioni protettive.

CL50 (30 min, hmn): concentrazione di sostanza tossica, letale per inalazione nel 50% dei soggetti umani esposti per 30 minuti.



Rischio da Trasporto di Sostanze Pericolose

Per quanto riguarda il panorama italiano il volume maggiore di sostanze chimiche (a parità di altre merci convenzionali) viaggia su **gomma** e su **ferro**.

Il trasporto di merci pericolose non è disciplinato da leggi nazionali ma è classificato in base ad accordi internazionali: **ADR** cui l'Italia ha deciso di aderire: "**European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)**".

La nuova normativa **ADR 2005** è entrata in vigore il 1° Gennaio 2005.

Fonte internazionale: <http://www.unece.org/trans/danger/danger.htm>



Rischio da Trasporto di Sostanze Pericolose

Per quantificare la pericolosità connessa al trasporto di sostanze tossiche occorre definire:

1. Quantità e qualità delle sostanze trasportate per ogni viaggio
2. Percorsi utilizzati
3. Frequenza dei viaggi
4. Punti o tratti critici percorsi dal trasporto su gomma, ferro, acqua (fluviale o marittimo)

Rischio da Trasporto di Sostanze Pericolose

Per quanto riguarda la qualità delle merci trasportate esistono le **classi ADR** che suddividono le merci pericolose nelle seguenti categorie:

1. Materie ed oggetti esplosivi
2. Gas compressi, liquefatti o disciolti sotto pressione
3. Materie liquide infiammabili
- 4.1 Materie solide infiammabili
- 4.2 Materie soggette ad accensione spontanea
- 4.3 Materie che a contatto con l'acqua sviluppano gas infiammabili
- 5.1 Materie comburenti
- 5.2 Perossidi organici
- 6.1 Materie tossiche
- 6.2 Materie infettanti
- 7 Materie radioattive
- 8 Materie corrosive
- 9 Materie e oggetti pericolosi di altra natura

Rischio da Trasporto di Sostanze Pericolose

In provincia di Milano ogni anno vengono movimentati **su gomma**:

- **8 milioni di tonnellate di sostanze ADR 3** (materie liquide infiammabili)
- **5.7 milioni di tonnellate di sostanze ADR 8** (materie corrosive)



Rischio da Trasporto di Sostanze Pericolose

Le direttive più trafficate e conseguentemente anche più esposte ad eventi incidentali sono: **le autostrade e le tangenziali**.

Ancora una volta il territorio del comune di **Rho** è significativamente esposto al rischio di incidenti da trasporto causa l'attraversamento di tratti stradali ad elevato flusso di traffico.

N.B.: nell'ultimo decennio in provincia di Milano, avvengono ogni anno in media **8.3 incidenti** in cui sono coinvolti carichi di sostanze pericolose.

Le arterie cruciali sono risultate essere: **A4, SS11, SS415, Tangenziale Ovest**

Rischio da Trasporto di Sostanze Pericolose

Per quanto riguarda la **movimentazione su ferrovia** è una tipologia di trasporto intrinsecamente più sicura rispetto a quella su gomma.

Problematica è invece l'esistenza di **depositi merci** spesso situati all'interno di centri abitati, dove vengono stoccate ingenti quantità di sostanze pericolose.

Altra sezione a rischio di incidenti è rappresentata dal **terminale di ferrovia**, il punto cioè dove il trasporto su ferro si raccorda con quello su gomma (scalo intermodale).

N.B.: nel comune di Rho è situato un deposito merci ferroviario.

Rischio da Trasporto di Sostanze Pericolose

Non sono disponibili dei dati relativi alle merci in **solo transito** ferroviario sul territorio della provincia di Milano.

Viceversa per le merci pericolose che **sostano** negli scali ferroviari (depositi) della provincia di Milano ogni anno si hanno:

- **180,000 tonnellate di sostanze ADR 3** (materie liquide infiammabili)
- **67,000 tonnellate di sostanze ADR 8** (materie corrosive)



Rischio da Trasporto di Sostanze Pericolose

Per quanto riguarda le tipologie di eventi incidentali legate al trasporto di sostanze pericolose è possibile identificare le seguenti classi:

- **Rilascio di gas tossico;**
- **Incendio;**
- **Esplosione.**

perfettamente in analogia agli eventi incidentali da sorgente fissa.

Rischio da Trasporto di Sostanze Pericolose

In prima battuta è quindi possibile condurre un'analisi delle conseguenze relativa ad un evento incidentale **da trasporto** di sostanze pericolose utilizzando le **stesse metodologie** di indagine adottate nel caso di **sorgente fissa** (unità produttiva, deposito materiali).

Al momento dell'incidente infatti la sorgente originariamente **mobile** diviene **fissa** e si comporta analogamente ad una apparecchiatura di un impianto chimico che sperimenta un cedimento o una rottura con conseguente rilascio di sostanze tossiche, incendio o esplosione.

Bibliografia

- AA. VV. "Programma Provinciale di Previsione e Prevenzione dei Rischi – Relazione Generale", Servizio Protezione Civile, 2002
- APAT e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, "Mappatura del rischio industriale in Italia", Rapporto 22/2002, 2002
- Gifford, F. A. "Atmospheric dispersion calculations using generalized Garrison plume model", Nuclear Safety, 1961a, 2, 56
- Gifford, F. A. "Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion", Nuclear Safety, 1961b, 2, 56
- Lees, F. P. "Loss Prevention in the Process Industries", Vol. 1-2-3, Butterworth, 1996 e 2004
- Marsili, G. "Dal concetto teorico all'analisi del rischio – 1", Milano, IPSOA, (1996a)
- Marsili, G. "Identificazione delle sorgenti di pericolo – 2", Milano, IPSOA, (1996b)
- Marsili, G. "Stima delle probabilità di accadimento degli eventi incidentali – 3", Milano, IPSOA, (1996c)
- Marsili, G. "Stima delle conseguenze per l'uomo e l'ambiente – 4", Milano, IPSOA, (1996d)
- Pasquill, F. "The estimation of the dispersion of windborne materials", Metallurgical Magazine, 1961, 90, 33

davi.de.manca@polimi.it

www.chem.polimi.it/homes/dmanca/SDCEDT

