

# UN MODELLO PER L'ANALISI QUANTITATIVA DELL'EFFETTO DOMINO NEL CASO DI PROIEZIONE DI FRAMMENTI

Maria Francesca Milazzo, Domenica Cambria, Roberto Lisi, Giuseppe Maschio  
Dipartimento di Chimica Industriale ed Ingegneria dei Materiali – Università di Messina  
Salita Sperone, 31 - 98166 Messina - tel. 0906765605, fax. 090391518  
[giuseppe.maschio@unime.it](mailto:giuseppe.maschio@unime.it)

## SOMMARIO

L'analisi quantitativa dei rischi connessa con la presenza sul territorio di attività antropiche quali industrie di processo e trasporti di sostanze pericolose, hanno raggiunto oggi un livello di definizione tale da poter diventare strumento di riferimento per la previsione e la prevenzione degli incidenti, in particolare di quelli classificati come rilevanti. Tuttavia, a fronte di una quasi sempre, notevole gravità di scenari derivanti dalla propagazione di incidenti primari o secondari (effetto domino), non è stata ancor oggi definita una metodologia consolidata per la previsione e la prevenzione di tali eventi.

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di definire una metodologia di analisi quantitativa dei rischi inerenti l'effetto domino, in particolare quando questo venga innescato da esplosione di serbatoi di stoccaggio o vessel di processo in pressione con conseguente proiezione di frammenti.

Dopo una breve descrizione dei metodi di approccio attualmente impiegati per identificare e valutare l'effetto domino, si descrive una metodologia specifica per l'effetto domino innescato da proiezione di frammenti.

La metodologia proposta è stata confrontata e validata con i dati relativi a eventi incidentali realmente accaduti nei quali lo scenario, che si è sviluppato, ha causato proiezione di frammenti.

## 1. L'EFFETTO DOMINO

L'«effetto domino», come accennato in precedenza, è inteso come un effetto di propagazione di un incidente primario da cui possono scaturire eventi secondari con un globale aggravamento delle conseguenze.

L'effetto domino può essere generato da 3 diverse tipologie di fenomeni:

1. Sovrapressioni
2. Irraggiamenti termici
3. Proiezioni di frammenti

Resta esclusa la propagazione di eventi che potrebbero seguire un rilascio tossico, perché per questa tipologia di eventi primari entrano in gioco aspetti legati alla gestione dell'emergenza.

Quindi l'effetto domino, come riportato nello schema di figura 1, è originato da un evento primario che genera uno dei tre effetti fisici elencati, l'effetto colpisce un bersaglio innescando un evento secondario.

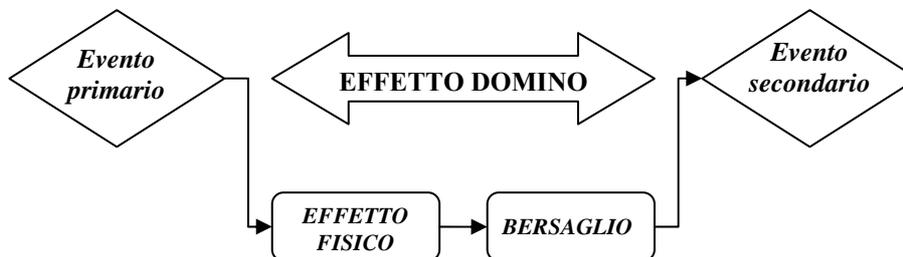


Figura 1. Schema effetto domino.

L'attenzione rivolta ai rischi di incidente rilevante, ovvero ai rischi connessi agli incidenti con grandi conseguenze che si possono originare dalla perdita di controllo di un processo chimico-industriale, è cresciuta nel corso negli ultimi anni traducendosi in normativa e in leggi cogenti. Infatti, una delle principali novità introdotte dalla Direttiva Seveso II e dal suo recepimento, è la prevenzione dell'«effetto domino»,

vale a dire della possibilità che gli effetti derivanti da un dato evento incidentale siano tali da provocare un nuovo incidente a causa del luogo, della vicinanza degli altri stabilimenti e delle sostanze pericolose presenti in essi.

Pertanto si chiede ai gestori degli impianti rientranti nella categoria a rischio di incidente rilevante, di individuare i potenziali effetti domino sia all'interno che all'esterno del proprio stabilimento.

L'analisi dell'effetto domino rappresenta, quindi, il completamento di una analisi di rischio d'area.

## 2. EFFETTO DOMINO E PROIEZIONE DI FRAMMENTI

Gli incidenti industriali che possono provocare proiezione di frammenti sono in genere esplosioni in sistemi chiusi, fenomeni come i BLEVE.

Alcuni incidenti rilevanti che hanno generato missili sono stati individuati in letteratura [1] e sono riportati in tabella 1:

Localizzazione	Anno	Causa	Conseguenze
Feyzin, Francia	1966	BLEVE di una sfera di stoccaggio	Frammenti a 900 m
Colleferro, Italia	1981	Presenza in eccesso di acqua nel ribollitore	Esplosione del serbatoio e proiezione di frammenti
Mexico City, Messico	1984	Rottura linea di alimentazione sfera di stoccaggio	BLEVE ed effetto domino
Milazzo, Italia	1993	Possibile presenza di acqua nel circuito dell'impianto di hot oil	BLEVE, flash fire e frammenti a 200 m

Tabella 1. Alcuni incidenti che hanno generato proiezione di frammenti.

## 3. METODOLOGIE PER LA VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DOMINO INNESCATO DA INCENDI ED ESPLOSIONI

Attualmente l'identificazione dei potenziali effetti domino viene effettuata utilizzando una metodologia semplificata basata sulla definizione di «soglie di danno» per l'effetto domino.

La stima dell'effetto domino mediante la metodologia semplificata si basa su valutazioni tecniche e non probabilistiche, pertanto non si tiene conto dei fattori di incertezza.

Inoltre l'approccio non valuta l'effetto domino innescato dalla proiezione di frammenti e per il quale non esiste ancora una metodologia consolidata.

In letteratura [2] sono riportati alcuni approcci probabilistici per la valutazione dell'effetto domino innescato da incendi ed esplosioni che verranno accennati in quanto segue, mentre il punto principale su cui ci si concentrerà è la definizione di una procedura per effetti domino innescati da proiezione di frammenti.

Nello studio di tali fenomeni si possono utilizzare due diversi approcci: deterministico e probabilistico; nel seguito si espongono in sintesi.

### 2.1 Metodologia semplificata per la stima dell'effetto domino

Si tratta di un approccio puramente deterministico, che stabilisce se l'evento secondario può verificarsi sulla base di una conoscenza dettagliata del lay-out dello stabilimento. L'utilizzo di questo tipo di analisi si colloca a valle dell'analisi di rischio convenzionale.

Il «metodo delle soglie di danno» permette la stima dell'effetto domino qualora questo abbia come evento primario un incendio o un'esplosione, pertanto gli eventi incidentali analizzati sono quelli che comportano il rilascio di sostanze infiammabili.

Il metodo di approccio usato per la valutazione dell'effetto domino è schematizzato nella Figura 2.

Il primo passo del metodo di approccio semplificato è la scelta dei valori di soglia di danno per incendi ed esplosioni.

Successivamente alla definizione delle soglie di danno occorre stabilire se avviene la propagazione dell'evento primario basandosi su opportuni criteri di propagazione.

I criteri di propagazione o criteri di vulnerabilità delle strutture vengono definiti sulla base delle caratteristiche di resistenza delle strutture coinvolte dall'impatto dell'effetto fisico generato dall'evento primario.

Successivamente si procede all'identificazione delle ipotesi incidentali con scenari che generano effetti superiori ai valori di soglia definiti e si passa ad identificare gli elementi dello stabilimento compresi entro i limiti di danno definiti.

Tali elementi possono essere considerati possibili bersagli di un effetto domino.

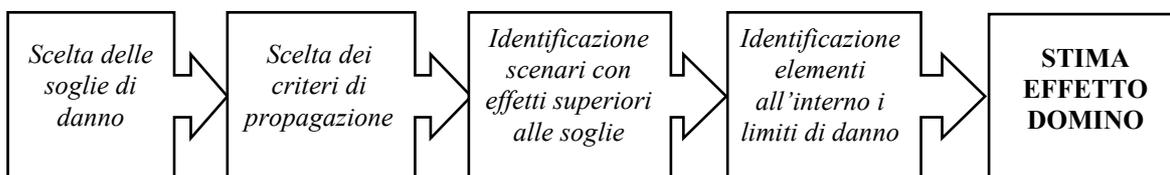


Figura 2. Diagramma di flusso procedura semplificata per la stima dell'effetto domino.

## 2.2 Approccio probabilistico per la stima dell'effetto domino

L'approccio probabilistico per la stima dell'effetto domino segue la procedura schematizzata in figura 3, la metodologia è orientata al completamento dell'analisi del rischio d'area.

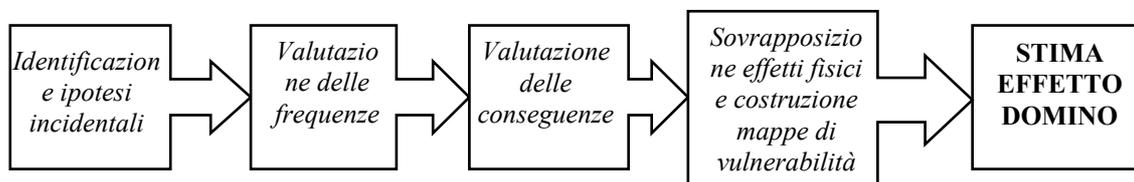


Figura 3. Diagramma di flusso procedura metodo probabilistico per la stima dell'effetto domino.

Il punto critico è la valutazione della probabilità di propagazione, che in genere è fatta con metodi basati sulle soglie di propagazione, mediante formule empiriche oppure con metodi probabilistici in corso di sviluppo basati su funzioni di probit [2].

È poi da notare che la sovrapposizione degli effetti fisici determinati per la costruzione delle mappe delle vulnerabilità si effettua trascurando il loro sinergismo.

## 4. METODOLOGIA PROPOSTA PER L'ANALISI DELL'EFFETTO DOMINO DA PROIEZIONE DI FRAMMENTI

La metodologia proposta nel presente lavoro per l'analisi dell'effetto domino da proiezione di frammenti è basata su un approccio a stadi. Alcuni stadi si affrontano con l'approccio deterministico, altri statistico e altri probabilistico. Quest'ultimo è ancora in fase di sviluppo. Si considerano scenari incidentali innescati da esplosioni di serbatoi in pressione o parti d'impianto.

La modellazione delle esplosioni è piuttosto complessa data la casualità con cui avvengono le frammentazioni e la variabilità dei processi coinvolti.

A tal proposito una metodologia è stata proposta dal Centre for Chemical Process Safety (CCPS) [3] dell'AICHE schematizzata in figura 4 e valida per le esplosioni fisiche (BLEVE).

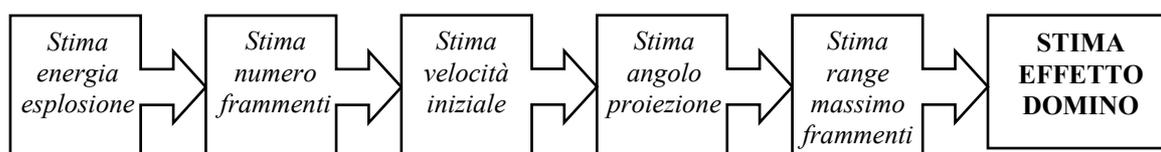


Figura 4. Metodologia per la predizione della proiezione di frammenti (CCPS).

La metodologia si basa sulla determinazione dell'energia dell'esplosione, successivamente si stimano empiricamente il numero di frammenti prodotti dalla perdita di contenimento dell'apparecchiatura.

Noti l'energia, il numero e il peso dei frammenti si stima la velocità iniziale, ed infine attraverso questa si risale alla distanza percorsa.

A questo punto la stima dell'effetto domino viene effettuata analizzando il lay-out dell'impianto, al fine

di individuare quali elementi cadono nel possibile range di ricaduta dei frammenti e che quindi possano essere interessati da un evento secondario.

#### 4.1 Energia dell'esplosione

L'energia liberata (1) da una esplosione si ripartisce in energia chimica, energia dell'onda d'urto, energia cinetica dei frammenti, energia dissipata (riscaldamento aria circostante) ed energia di deformazione plastica dei frammenti.

$$E_{totale} = E_{chimica} + E_{espansione} + E_{cinetica - frammenti} + E_{dissipata} + E_{deformazione - frammenti} \quad (1)$$

Il BLEVE è generato da un collasso meccanico di un serbatoio o di altra apparecchiatura che genera sovrappressione legata all'esplosione fisica e frammentazione del recipiente. Essendo un processo di natura fisica  $E_{chimica}=0$ . Infine si trascura l'energia di deformazione plastica dei frammenti.

L'energia cinetica impartita ai frammenti è solo una piccola frazione dell'energia di esplosione ed è funzione della pressione al momento dello scoppio. Ipotizzando un comportamento ideale per il gas si avrà:

$$E_{espansione} = \left( \frac{PV}{\gamma - 1} \right) \quad (2)$$

Il comportamento dei frammenti in volo dipende dalla loro forma, alcuni frammenti sono pesanti e di forma regolare e altri sono irregolari. In ogni caso il frammento è soggetto a una forza di sollevamento  $F_L$  (lift force), normale alla traiettoria, e una di trascinamento  $F_D$  (drag force). L'energia dissipata per azione della resistenza dell'aria è correlata alle espressioni della  $F_L$  (3) e della  $F_D$  (4).

$$F_L = C_L A_L \rho \cdot u^2 / 2 \quad (3)$$

$$F_D = C_D A_D \rho \cdot u^2 / 2 \quad (4)$$

dove i simboli rappresentano:  $A_L$  e  $A_D$  le aree di sollevamento e di trascinamento,  $C_L$  e  $C_D$  i coefficienti di attrito in aria,  $u$  la velocità dei frammenti e  $\rho$  la densità dell'aria.

$$E_{cinetica - frammenti} = k \frac{(P - P_0)}{\gamma - 1} V \quad \Rightarrow \quad k = \left[ 1 - \left( \frac{P_0}{P} \right)^{\gamma - 1 / \gamma} \right] \quad (5)$$

dove i simboli rappresentano:  $E$  l'energia di esplosione (J);  $P$  la pressione del gas al momento dell'esplosione (Pa);  $P_0$  la pressione atmosferica (Pa);  $V$  il volume della fase gas ( $m^3$ );  $\gamma$  il rapporto tra i calori specifici;  $k$  il fattore che tiene conto che l'energia cinetica dei frammenti è una frazione di quella di esplosione, in genere oscilla tra 0.2 e 0.5.

#### 4.2 Numero di frammenti

L'approccio basato sulla determinazione dell'energia dell'esplosione e sulla stima del numero di frammenti generati in seguito al collasso del serbatoio non è ancora pienamente consolidato.

Purtroppo, come già accennato, vista la molteplicità dei fenomeni coinvolti e la casualità della rottura del serbatoio, i risultati sono inficiati da un certo numero di incertezze e la stima del numero di frammenti prodotti dall'esplosione rappresenta proprio il punto critico di tutta la procedura di stima dell'effetto domino.

Le parti dell'apparecchiatura che a seguito dell'esplosione acquistano energia cinetica e vengono scagliate a distanza si chiamano missili e si classificano come segue:

- ◆ Missili primari: frammenti prodotti dall'esplosione del serbatoio;

- ◆ Missili secondari: oggetti che acquistano energia cinetica quando vengono investiti dall'onda d'urto prodotta dall'esplosione.

Il numero di missili generati da un'esplosione con frammentazione del contenitore varia largamente, nella formazione di missili primari si distinguono tre possibili tipologie di comportamento:

- Esplorazione del serbatoio in un gran numero di piccoli frammenti;
- Separazione e «rocketing» del contenitore o della calotta superiore, in questo caso si generano pochi frammenti di grandi dimensioni in genere 2 o 3;
- Lancio di un singolo pezzo.

Relativamente alle rotture di serbatoi in pressione è interessante osservare che possono essere di due tipi: rotture duttili o rotture fragili. Il primo tipo in genere non produce missili o ne produce un numero ridotto che, per le dimensioni elevate, può produrre gravi danni. Il secondo tipo di rottura è quello che produce il maggior numero di missili.

L'indebolimento della struttura costituente il serbatoio può essere causata da difetti esistenti o da indebolimenti dovuti a pressioni eccessive.

I serbatoi cilindrici tipicamente si rompono nella direzione assiale e successivamente la rottura si propaga circolarmente. La rottura per recipienti contenenti gas in pressione può portare a produzione di un grande numero di missili o scissione in due pezzi principali, a seconda che si produca una rottura fragile o duttile [4].

Sono stati considerati un grande numero di incidenti coinvolgenti serbatoi in pressione [5], distinguendoli tra cilindrici e sferici, mettendo in correlazione il numero di frammenti, la pressione e il volume dei serbatoi studiati. In figura 5 e figura 6 sono riportate tali correlazioni.

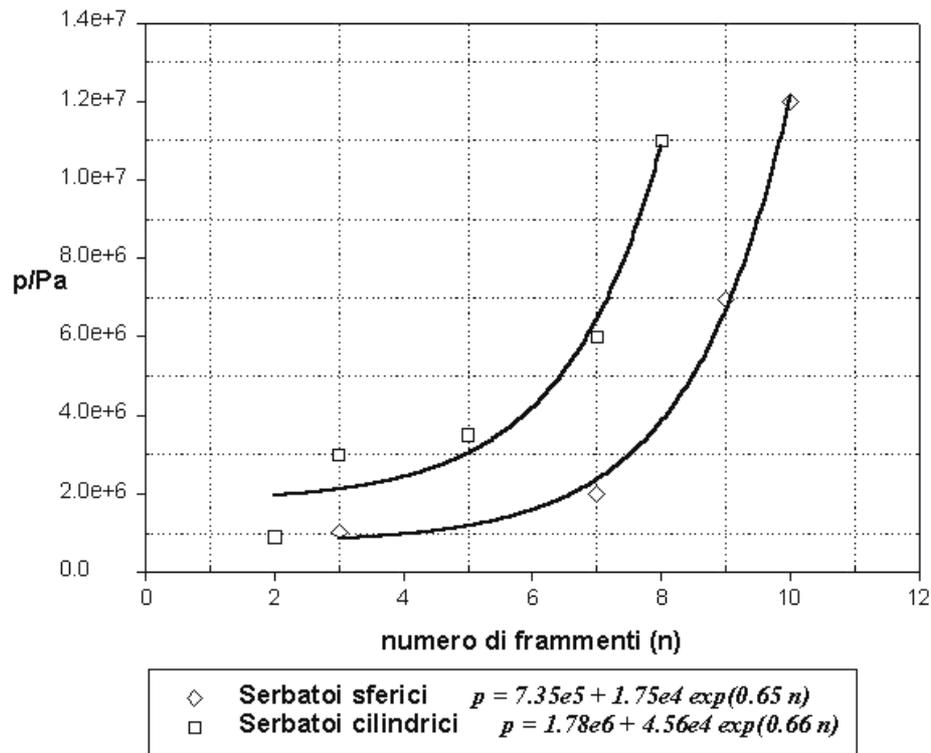


Figure 5. Correlazione tra numero di frammenti e pressione nel vessel.

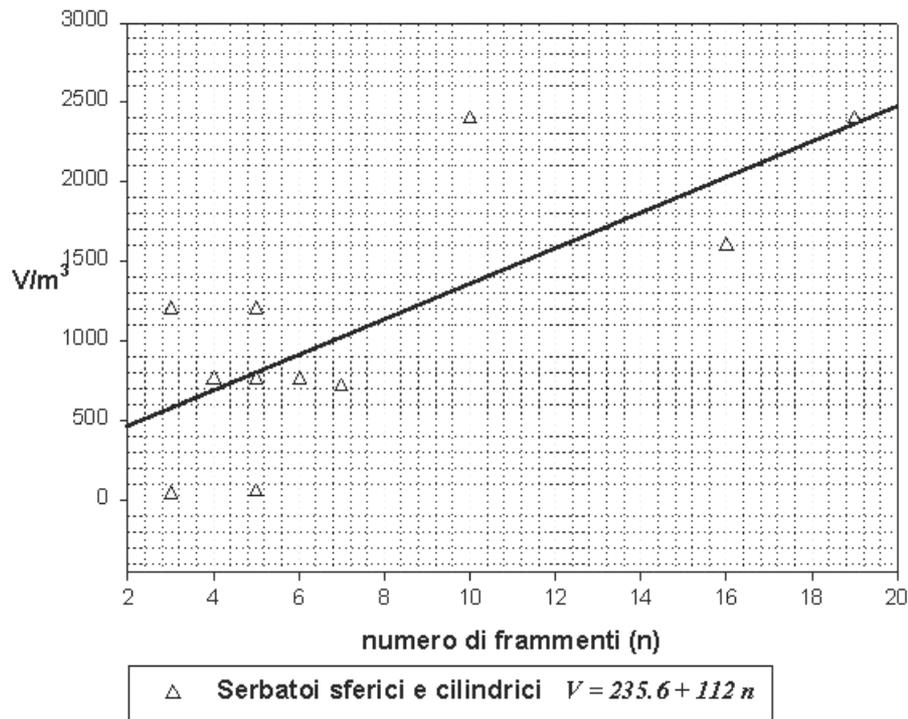


Figure 6. Correlazione tra numero di frammenti e volume del vessel.

La figura 5 mostra una buona correlazione tra il numero di frammenti e la pressione di esplosione. Il numero di frammenti generato durante l'esplosione aumenta quasi linearmente con il volume del vessel (figura 6). La correlazione tra i dati di letteratura e quelli sperimentali e il numero di frammenti primari è limitata dalla difficoltà di identificare con certezza l'effettivo numero di frammenti principali.

Nei serbatoi in pressione il numero di frammenti dipende dal modo di rottura e, quindi, dal tipo di materiale dalla temperatura, ecc.. Si è inoltre osservato che la rottura duttile generalmente non dà formazione di missili o, se li produce, lo fa in numero limitato. La rottura fragile, invece, produce un grande numero di frammenti.

#### 4.3 Velocità dei frammenti

La velocità iniziale dei frammenti  $u_i$  è stata calcolata usando il modello di Baker et al. [6] per serbatoi sferici e cilindrici che si rompono in due o  $n$  parti di dimensione uguale (figura 7). Si ottiene risolvendo l'equazione del moto e i risultati sono correlati ai parametri dimensionali definiti come:

$$\bar{P} = \frac{(p - p_0)V_0}{M_c a_g} \quad (6)$$

$$\bar{u}_i = \frac{u_i}{K a_g} \quad (7)$$

dove  $a_g = (\gamma RT)^{1/2}$  è la velocità del suono nel gas,  $M_c$  e  $V_0$  sono la massa e il volume del serbatoio,  $p$  la pressione nel serbatoio,  $p_0$  la pressione atmosferica,  $R$  è la costante dei gas,  $T$  la temperatura assoluta del gas,  $\gamma$  il rapporto dei calori specifici del gas e  $K$  una costante (pari a 1 per frammenti uguali dimensioni). La correlazione tra i parametri dimensionali è riportata in figura 8.

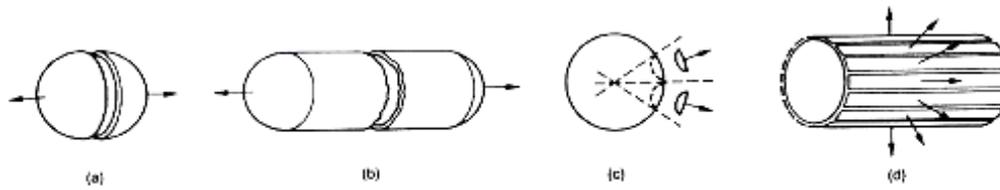


Figure 7. Rottura di serbatoi sferici e cilindrici in due frammenti uguali (a) e (b) e in  $n$  frammenti uguali (c) e (d).

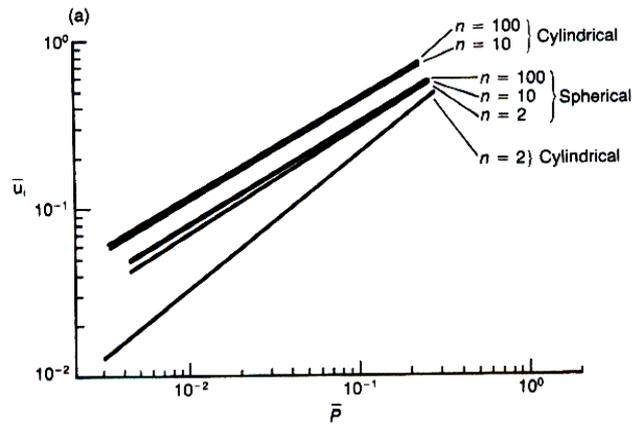


Figure 8. Correlazione velocità iniziale.

#### 4.4 Angolo di proiezione dei frammenti e range di ricaduta

L'angolo iniziale di proiezione nel caso di esplosione di un serbatoio di gas in pressione con generazione di un grande numero di frammenti non è ben definito. L'assunzione comune è che questo possa essere proiettato in tutte le direzioni. La definizione dell'angolo deve essere fatta con metodi probabilistici in fase di sviluppo.

Il range di ricaduta dei missili si determina calcolando l'equazione del volo dei proiettili tenendo conto della resistenza dell'aria e di un fattore di forma.

Un approccio per la stima del range di ricaduta dei frammenti è stato sviluppato da Baker e si basa sullo sviluppo di equazioni di moto, i valori della distanza di ricaduta sono correlati a dei fattori adimensionali (8), (9) e (10) e la correlazione è riportata in figura 9.

$$\bar{u}_i = \frac{C_D A_D \rho u_0}{Mg} \quad (8)$$

$$\bar{R} = \frac{C_D A_D \rho R}{M} \quad (9)$$

$$lift/drag\ ratio = C_L A_L / C_D A_D \quad (10)$$

dove i simboli rappresentano:  $u_0$  la velocità dei frammenti,  $\rho$  la densità dell'aria e  $M$  è la massa del frammento.

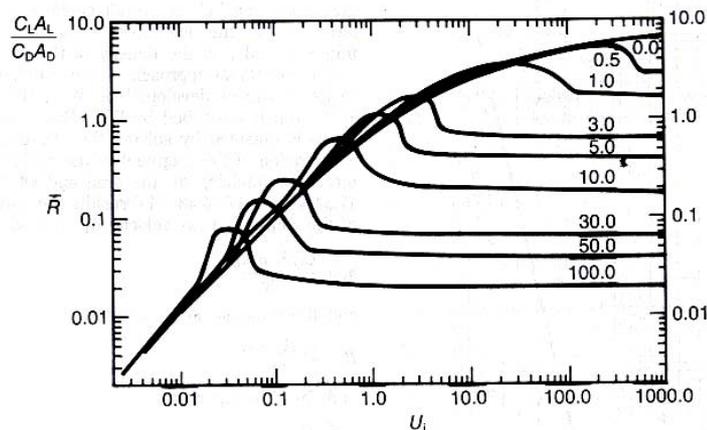


Figura.9. Correlazione distanza di ricaduta del frammento-velocità.

## 5. ESPLOSIONE DI UN SERBATOIO DEL CIRCUITO «HOT OIL»-MILAZZO (ME) 1993

L'incidente realmente accaduto preso a riferimento per confrontare e validare la metodologia proposta ha interessato il circuito «hot-oil» dedicato a fornire calore ai reboiler di alcune colonne dell'impianto di Topping della raffineria di Milazzo (ME).

La funzione del circuito «hot-oil» era di fornire energia ai prodotti di fondo di alcune colonne tramite dei ribollitori e di alimentare alcune utenze ubicate nell'impianto di trattamento nafta e nel Reformer Catalitico. L'impianto era costituito da una pipeline, un accumulatore dell'olio caldo (150°C), da due pompe per la circolazione dell'olio nel forno di riscaldamento (300÷310°C) e nei ribollitori. L'hot oil è generalmente costituito da una miscela di olii diatermici particolarmente indicata per le sue caratteristiche chimico-fisiche per il trasporto di energia. Le fluttuazioni di pressione nel serbatoio erano compensate con l'introduzione automatica di azoto, nel caso di decremento, e con l'apertura di una valvola di scarico collegata al sistema di "off gas" nel caso di incremento di pressione. Il serbatoio era in più protetto da una PSV.

All'atto dell'incidente l'olio diatermico era stato sostituito con una frazione di olio pesante meno stabile; mentre l'azoto del sistema di polmonazione del vessel, necessario per compensare le fluttuazioni di pressione era stato sostituito con fuel gas (miscela di idrocarburi leggeri).

### 5.1 Dinamica dell'esplosione e analisi conseguenze

Durante lo start up dell'impianto, quando la temperatura del gasolio pesante aumentava sino a circa 300°C, il sistema di venting del circuito risultava insufficiente a ventilare i vapori delle componenti più volatili. Ciò anche a causa dell'elevata solubilità del fuel gas nell'olio pesante.

L'incidente fu causato dalla presenza di un limitata quantità di acqua, circa 500 litri, accidentalmente introdotta nel circuito. L'acqua nel circuito era dovuta probabilmente alla condensazione del vapore usato nelle precedenti operazioni di pressatura, lavaggio o flussaggio compiute a termine dei lavori di manutenzione. Il flusso di olio ha spinto l'acqua verso l'accumulatore, che si trovava a temperatura alta (circa 250°C), e qui l'acqua vaporizzava istantaneamente; la valvola di sicurezza non era in grado di scaricare tutto il vapore prodotto, si aveva così l'aumento repentino della pressione e la conseguente esplosione del serbatoio. L'incidente, quindi, è stato generato dal collasso strutturale dell'accumulatore del circuito «hot-oil», illustrato in figura 10, dovuto ad un brusco incremento della pressione al suo interno. Gli eventi verificatisi in seguito all'esplosione sono descritti nella figura 11.

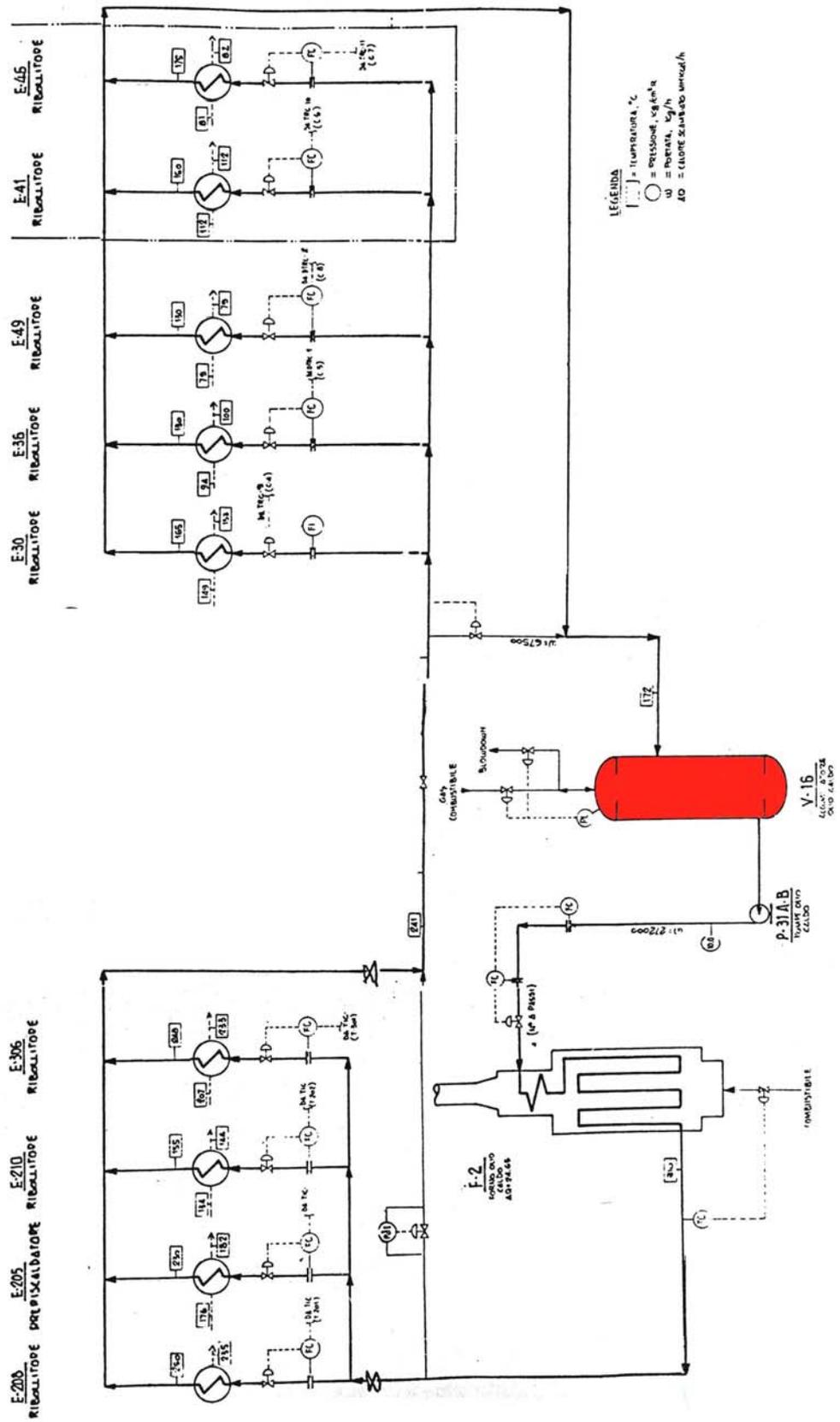


Figura 10. Schema sistema «hot-oil» (semplificato).

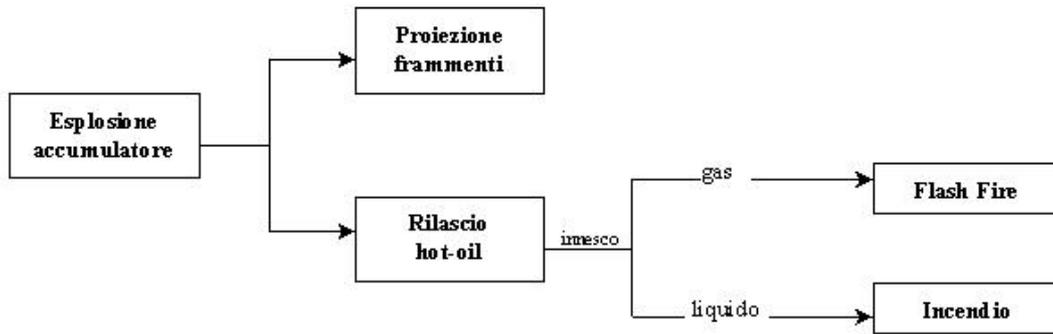


Figura 11. Sequenza incidentale circuito «hot-oil».

Il violento rilascio di energia ha prodotto la rottura del fasciame cilindrico e il distacco, quindi con proiezione dei frammenti nell'area circostante, nonché la fuoriuscita della miscela liquido-vapore in esso contenuta.

A seguito della fuoriuscita del contenuto dell'accumulatore si è prodotto un flash fire di brevissima durata della frazione allo stato vapore, che ha causato 7 morti, e quindi l'incendio del gasolio fuoriuscito che è stato proiettato sugli impianti circostanti.

La pressione massima sopportabile dal serbatoio dovuta a perdita della resistenza meccanica era intorno ai 14 kg/cm<sup>2</sup>, pertanto è stato il raggiungimento del valore di 30÷35 kg/cm<sup>2</sup> a provocare il distacco della calotta superiore e del fasciame del fondo inferiore. Lo scenario incidentale si è completato con la proiezione di 41 frammenti principali, cinque dei quali di grande dimensione, su un'area circolare di circa 200 metri di raggio. In figura 12 si evidenziano le linee di frattura sull'accumulatore. In tabella 2 si riportano i principali frammenti indicandone il peso, la percentuale in peso rispetto al serbatoio, la distanza e la posizione rispetto al punto di partenza.

Mentre in figura 13 è riportata la mappa di ricaduta dei frammenti prodotti dall'esplosione.

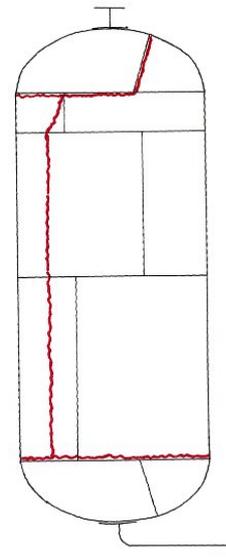


Figura 12. Linee di frattura

Frammenti	Peso [kg]	%	Distanza [m]	Posizione
Mantello	3860	55.14	100	70°NO
Frammento n.3	130	1.86	120	50°NO
Calotta superiore	970	13.86	190	70°NO
Frammento n.5	60	0.86	130	60°NO
Frammento n.14	23	0.33	115	90°O
Frammento n.19	230	3.28	150	0°N
Frammento n.40	15	0.21	140	250°SE
Frammento n.41	31	0.44	140	250°SE
Calotta inferiore	1000	14.28	0	0°
<b>Totale massa serbatoio</b>	<b>≈ 7000</b>	<b>100</b>		

Tabella 2. Frammenti principali.

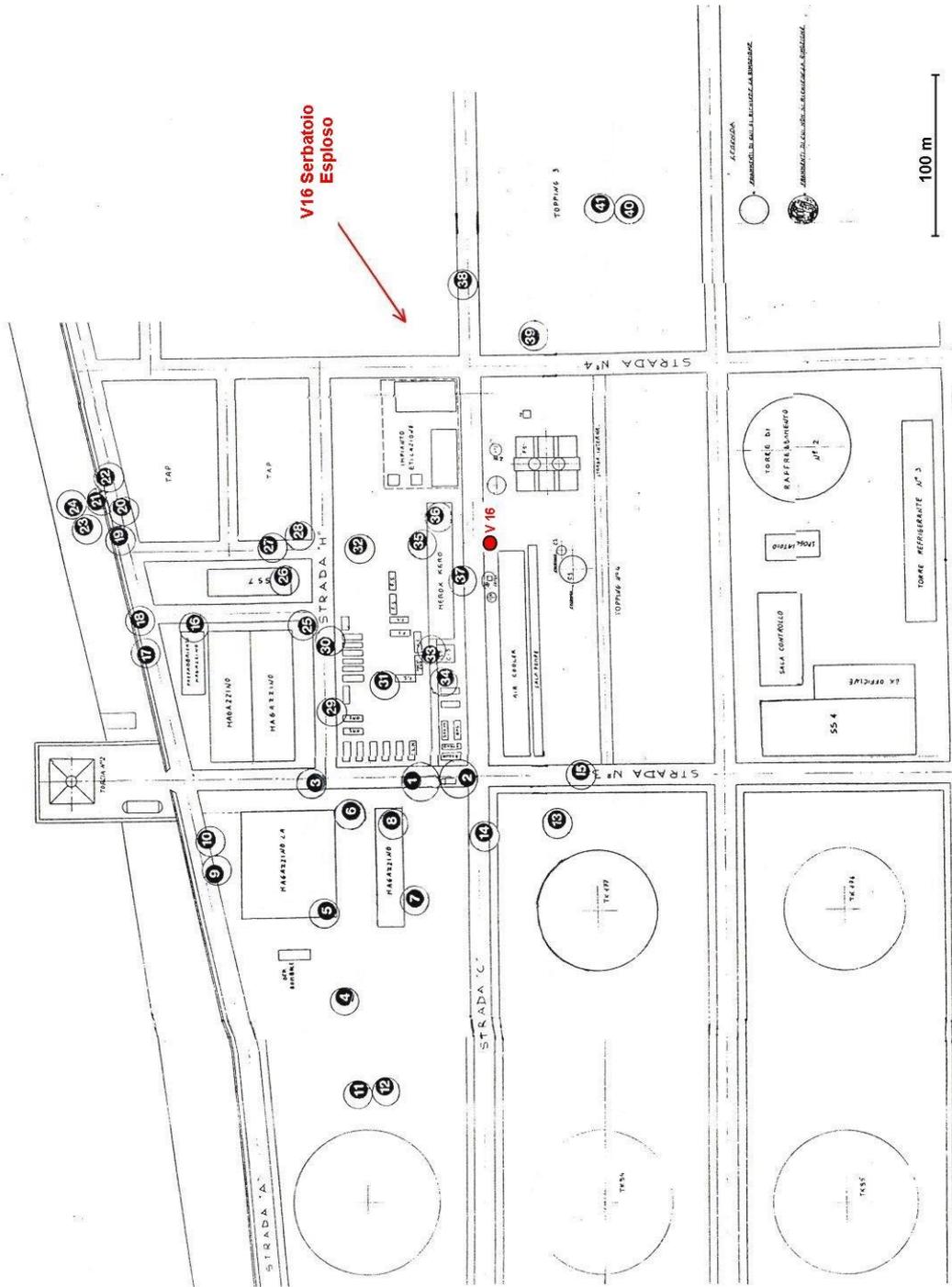


Figura 13. Mappa di ricaduta dei frammenti dall'esplosione del serbatoio.

## 5.2 Applicazione metodologia

Il numero di frammenti calcolato applicando la metodologia proposta è pari a 5. Questo risultato è comparabile con i dati rilevati dal caso reale considerando i frammenti di dimensioni più significative.

La pressione generata all'interno del serbatoio durante l'esplosione si è calcolata pari a  $\approx 3.4$  MPa, usando le equazioni (6) e (7) è stata determinata la velocità iniziale di un proiettile, che è risultata circa 45÷60 m/s.

Questo valore è stato usato per calcolare la distanza di ricaduta del singolo missile con l'equazione di volo dei proiettili, come da metodologia proposta. Considerando l'angolo di partenza peggiore ( $45^\circ$ ) si hanno distanze di caduta all'interno delle massime misurate nel caso reale e riportate in tabella 2.

## 6. CONCLUSIONI

Il calcolo del numero di frammenti confrontato con le equazioni pressione/n° frammenti sviluppato dimostra una buona correlazione con l'incidente reale.

La correlazione tra il numero di frammenti e il volume del serbatoio è caratterizzata da un'incertezza riducibile solo con la conoscenza dell'effettivo numero di frammenti prodotti. È necessario considerare, infatti, la forma e la massa dei missili e ciò è possibile con un approccio probabilistico del problema che si vuole sviluppare nel seguito.

Il calcolo probabilistico permetterebbe la valutazione del più probabile angolo di partenza e del range minimo e massimo di gittata dei frammenti.

Associando il calcolo proposto ad una appropriata valutazione delle frequenze basata su un approccio probabilistico e sovrapponendo effetti fisici e mappe di vulnerabilità, si potrebbe determinare il contributo al rischio d'area dovuto al possibile effetto domino da proiezione di frammenti.

## 7. RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'Università di Messina per il supporto finanziario offerto alla ricerca svolta nell'ambito del Progetto Interdisciplinare PRIN 2002

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Lees F.P. *Loss prevention in the process industries*, Butterworth Heineman, UK (1996).
- [2] V.Cozzani, F.Franchi, P.Pierno, E.Vitale, S.Zanelli, *Il contributo dell'effetto domino al rischio industriale*. Atti convegno VGR 2002, Pisa (2002).
- [3] Centre for Chemical Process Safety, CCPS, *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis*, AIChE, New York (2000).
- [4] Baum M.R. *Rupture of a gas-pressurised cylindrical vessel: the velocity of a detached end-cap.*, Elsevier, 8: 149-161 (1985).
- [5] Holden P.L. and Reeves A.B. *Fragments hazards from failures of pressurised liquefied gas vessel*, I.Chem E. Sym., 93: 205-220 (1985).
- [6] Baker W.E. et al. *Explosion hazards and evaluation*, Elsevier, New York (1983).