



«Scienza e Tecnica della Prevenzione Incendi»
A.A. 2013 - 2014

ALTRI EVENTI



Docente: ing. Mauro Marchini

mgm@mauromarchini.com



Gli altri eventi

- **I rilasci**
- **Gli scoppi**
- **Il BLEVE**
- **Il flashfire**
- **Il fireball**



Le esplosioni fisiche (scoppi)

- **BURST VESSEL:** scoppio di un recipiente in pressione
- **B.L.E.V.E. (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)** esplosione di un vapore che si espande da un liquido che bolle
- **R.P.T. (Rapid Phase Transition)** rapido cambiamento di fase
- **ROLL OVER (R.O.)**
- **R.A.R. (Run Away Reaction)**
- **ROTTURA FRAGILE**



Gli altri eventi

Scoppi

A differenza di una esplosione che in buona sostanza è una rapida reazione chimica di combustione, si intende per **“scoppio”** un fenomeno soltanto **fisico** di rilascio istantaneo di energia meccanica di sovrappressione e di lancio di proietti, in conseguenza della rottura improvvisa del contenitore in pressione.

Inoltre se all'interno del contenitore vi è ad esempio un gas liquefatto o criogenico allo scoppio fa seguito un rilascio di gas che una volta liberatosi del proprio contenitore riassume, evaporando in tempi brevi (flash), il suo stato di aeriforme per poi diffondersi, secondo le modalità di diffusione proprie dei gas pesanti, nell'ambiente circostante.

Alla istantanea evaporazione, nota nel gergo tecnico come **“rapida transizione di fase”** (*Rapid Phase Transition - RPT*), sono collegati aumenti di pressione che se avvengono in ambiente confinato possono dar luogo ad effetti meccanici con conseguenze sulla stabilità delle strutture di minor resistenza.

In buona sostanza, il fenomeno fin qui descritto si definisce uno **“scoppio”** di un “contenitore in pressione” per via del cedimento del suo involucro esterno.



Gli altri eventi

Ma se all'interno del contenitore vi è ad esempio un gas di petrolio liquefatto (Liquified Petroleum Gas - LPG) allo scoppio fa seguito un rilascio di gas combustibile che una volta liberatosi del proprio contenitore dà luogo ad ulteriori fenomeni, stavolta chimico-fisici.

Infatti se durante la diffusione, la miscela gas/aria che, nel suo espandersi, certamente assume valori interni al cosiddetto campo di infiammabilità, risultando esplosiva, qualora trovi un innesco, si verificano ulteriori rilasci energetici capaci di esiti ancora più gravi.

Le ragionevoli cause che possono condurre ad uno scoppio possono essere raggruppate nelle seguenti categorie:

- azione esterna
- rottura fragile
- aumento di pressione interna (B.L.E.V.E.)



Esaminiamole singolarmente.

Per **azione esterna** si deve intendere una azione meccanica dovuta ad un urto o ad una caduta.

Per **rottura fragile** di un materiale metallico si intende il cedimento che avviene istantaneamente, senza deformazione plastica, in modo analogo a quanto avviene nei materiali comunemente noti come fragili (vetro, porcellana, etc.).

Nei materiali metallici questo tipo di frattura è da considerarsi una eccezione che però deve essere temuta perché si manifesta senza segni premonitori. Il cedimento fragile dei materiali metallici è di norma legato alla esistenza ed alla propagazione di una microlesione passante o non passante (cricca) ed è grandemente influenzato dalla temperatura.

Infatti al decrescere della temperatura la *tenacità* di un materiale metallico degenera bruscamente in *fragilità* e la cricca assume il ruolo di punto di invito alla rottura avendosi in quel punto una forte concentrazione delle tensioni.



Gli altri eventi

L'ipotesi dello scoppio per **aumento di pressione interna** appartiene alla casistica più usuale e frequente riguardante i contenitori gas combustibili liquefatti sotto pressione o compressi.

Infatti è noto che a volume costante aumentando la temperatura, la tensione del vapore (pressione) aumenta, cosicché ogniqualvolta un siffatto contenitore viene investito da un apporto calorico (ad es. coinvolgimento in un incendio) lo scoppio deve essere considerato un evento atteso cioè a dire con probabilità di accadimento prossima alla certezza.

Il fenomeno fisico in questione va comunemente sotto l'acronimo di **B.L.E.V.E.** (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) è in effetti un fenomeno fisico cioè a dire uno scoppio che si realizza a seguito di una rapida depressurizzazione di un recipiente in pressione contenente un liquido ad una temperatura sufficientemente superiore a quella di ebollizione, a pressione atmosferica.

Infatti all'aumentare della temperatura della parete esterna del serbatoio, si produce il flash della sostanza contenuta ed un indebolimento della parete del recipiente: il risultato finale è il cedimento della struttura e la liberazione di grossi quantitativi di energia verso l'esterno.

Il termine BLEVE, coniato negli USA è ormai entrato nella terminologia tecnica internazionale per definire la rottura catastrofica di un serbatoio (vessel) contenente un gas liquefatto.

Gli altri eventi

Una esplosione BLEVE si verifica nelle seguenti condizioni:

- liquido surriscaldato;
- brusca riduzione della pressione a seguito della rottura improvvisa del serbatoio;
- condizioni di temperatura e pressione tali da dar luogo al fenomeno di rapida vaporizzazione (flash).



Viste di un poolfire di propano con engulfment del serbatoio e successivi BLEVE e FIREBALL



Si consideri che la quota parte di energia disponibile per la produzione dell'onda d'urto (sovrapressione ad impulso) è pari al 40 % della energia totale rilasciata dal gas durante l'esplosione.

Per la caratterizzazione delle principali grandezze connesse ad un BLEVE sono disponibili molti metodi e modelli di calcolo.

Il metodo del TNT equivalente (tritolo equivalente) si basa sulla equivalenza tra l'energia rilasciata da un gas che si espande dalla pressione iniziale a quella ambiente e l'energia di una massa equivalente di tritolo.

Al riguardo esistono due approcci.

Un primo più conservativo ai fini della sicurezza in fase predittiva delle conseguenze è quella che considera la variazione di energia interna del gas avvenga in modo isoentropico (entropia costante).



Gli altri eventi

Un secondo approccio più recente, meno conservativo in termini di sicurezza, ma più realistico è quello che considera la trasformazione ad entropia crescente, come di fatto avviene in tutti i fenomeni reali (è noto infatti che il mondo è un sistema ad entropia crescente).



Gli altri eventi

L'utilizzo di entrambi i metodi evidenzia che la magnitudo della esplosione, è più grande quando si ipotizza che lo scoppio si verifica quando il serbatoio è pieno e che al diminuire del quantitativo di gas in fase liquida diminuisce in ogni caso tale magnitudo.

Calcolato il quantitativo di TNT equivalente, mediante i normogrammi del TNO e del Baker si può ricavare la sovrappressione alle distanze in esame attraverso la relazione:

$$Z = \frac{d}{\sqrt[3]{M_{TNT}}}$$

dove:

Z = distanza normalizzata

d = distanza effettiva dal centro di esplosione

M_{TNT} = quantitativo di TNT equivalente

Dalla energia rilasciata sotto forma di onda d'urto viene calcolata l'energia conferita ai frammenti.



Gli altri eventi

Dalle condizioni nelle quali avviene la rottura, nota la frazione di evaporato (flash) a pressione atmosferica, si determina:

- l'energia associata alla espansione;

Dalle condizioni al momento del collasso si stabilisce la ripartizione della energia tra:

- energia rilasciata sotto forma di onde d'urto (max 30-40%)
- energia conferita (come energia cinetica) ai frammenti

I danni derivanti da un BLEVE sono dovuti (in ordine di importanza):

- produzione di un onda d'urto;
- proiezione di frammenti;
- formazione di un fireball se il liquido rilasciato è infiammabile.

Il rilascio istantaneo di una sostanza infiammabile, con temperatura di ebollizione inferiore alla temperatura ambiente, comporta un fenomeno di rapida vaporizzazione (flash).

Nel caso in cui la nube di vapori infiammabili formatasi dopo il rilascio venga immediatamente innescata si ha il fenomeno del **fireball** o sfera di fuoco.

Per fireball si intende una combustione turbolenta a seguito di innesco durante la fase di espansione della nube (vapore + goccioline) prodotta dalla evaporazione a flash.

La rapida combustione dei vapori e la conseguente riduzione della densità della nube provoca l'ascensione dei gas con la formazione di un volume di fuoco a forma di fungo che termina appunto con la sfera di fuoco.

All'aperto, la breve durata del fireball (pochi secondi in funzione del quantitativo di gas coinvolto), malgrado l'intensa radiazione termica che si sviluppa, comporta minori danni per le sostanze combustibili bersaglio, in quanto esse necessitano in genere tempi più lunghi per autoincendiarsi, mentre per l'uomo il fireball può causare ustioni molto gravi ed anche il decesso



Gli altri eventi

La stima della radiazione termica sui bersagli richiede il calcolo delle seguenti grandezze:

- la superficie totale del fireball, funzione della massa del combustibile;
- l'energia irraggiata;
- la posizione del bersaglio;
- la durata del fenomeno;
- la trasmissività atmosferica.

Per poter stimare il calore irraggiato esternamente da un fireball, occorre determinare:

- dimensioni del fireball (diametro Φ e altezza H);
- durata del fenomeno (T);
- calore sviluppato.

Per risolvere questo tipo di problema esistono due approcci: il primo, più semplice, che consiste nel "congelare" il fenomeno al suo valore massimo, il secondo, decisamente più complesso, consiste nel seguire il fenomeno durante l'evolversi.

Mentre per il secondo metodo è necessario l'ausilio di complicati metodi numerici, per il primo sono disponibili in letteratura numerosi algoritmi di altrettanti autori.

- Roberts
- Fay-Lewis
- Hasegawa
- Moorhouse
- TNO



Gli altri eventi

Quando un incendio viene attivato mediante la **immediata** accensione dei vapori provenienti da spandimento (**flash**) volontario di un liquido infiammabile (accelerante di fiamma), le prime due fasi dell'incendio coincidono talché esso ha inizio con una **flashfire** la cui intensità dipende dalla natura del liquido (tensione del vapore, etc.) e dal suo quantitativo.

Ciò attiva anche l'evaporazione del combustibile ancora in fase liquida talché al **flashfire** fa seguito un altro e più duraturo fenomeno che va sotto il nome di **poolfire**.

Se tra lo spandimento del liquido infiammabile e l'accensione dei vapori provenienti dalla pozza (pool) intercorre un lasso di tempo sufficiente a formare una nube di vapori/aria nel campo di esplosibilità, possono aversi delle deflagrazioni che nei loro effetti poco si discostano dalle esplosioni vere e proprie dovute ad ordigni esplosivi (detonazioni).



Flashfire

A seguito di uno spandimento di liquido infiammabile ad elevata tensione del vapore (come ad esempio la benzina), anche a temperature non elevate si ha il fenomeno della evaporazione (flash), con produzione di vapori inizialmente al di sopra della fase liquida che, se accesi **prima** che gli stessi abbiano il tempo di formare con l'aria una *nube* di più grandi dimensioni nel campo di esplosibilità, danno luogo ad una *vampata* che va sotto il nome di **flashfire**.

Il *flashfire* è caratterizzato da un rilascio di energia prevalentemente termica e da un modesto rilascio di energia meccanica ed in genere presuppone una immediatezza tra l'evaporazione (flash) e l'innesco.



Gli altri eventi

Poolfire

In presenza di uno spandimento di liquido infiammabile anche a temperature non elevate si ha il fenomeno della evaporazione (flash), con produzione di vapori inizialmente al di sopra della fase liquida che, una volta accesi, sostengono la combustione fino all'esaurimento della fase liquida sottostante.

Il *poolfire* è caratterizzato da un rilascio di energia esclusivamente termica.



CONCENTRAZIONE

$$\%C = 100 \cdot \frac{Q_g}{Q_a + Q_g} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{Q_g + Q_a}{V^*} \cdot t \right)} \right]$$

dove:

- $\%C$ = concentrazione in volume
- Q_g = portata del gas in m^3/h
- Q_a = ricambio orario aria in m^3/h
- V^* = volume effettivamente occupato dalla miscela gas/aria in m^3 (volume compreso tra l'intradosso del soffitto ed un piano orizzontale ideale a quota della sorgente del rilascio)
- t = tempo in ore



I RILASCI: PORTATA EVAPORANTE DA POZZA

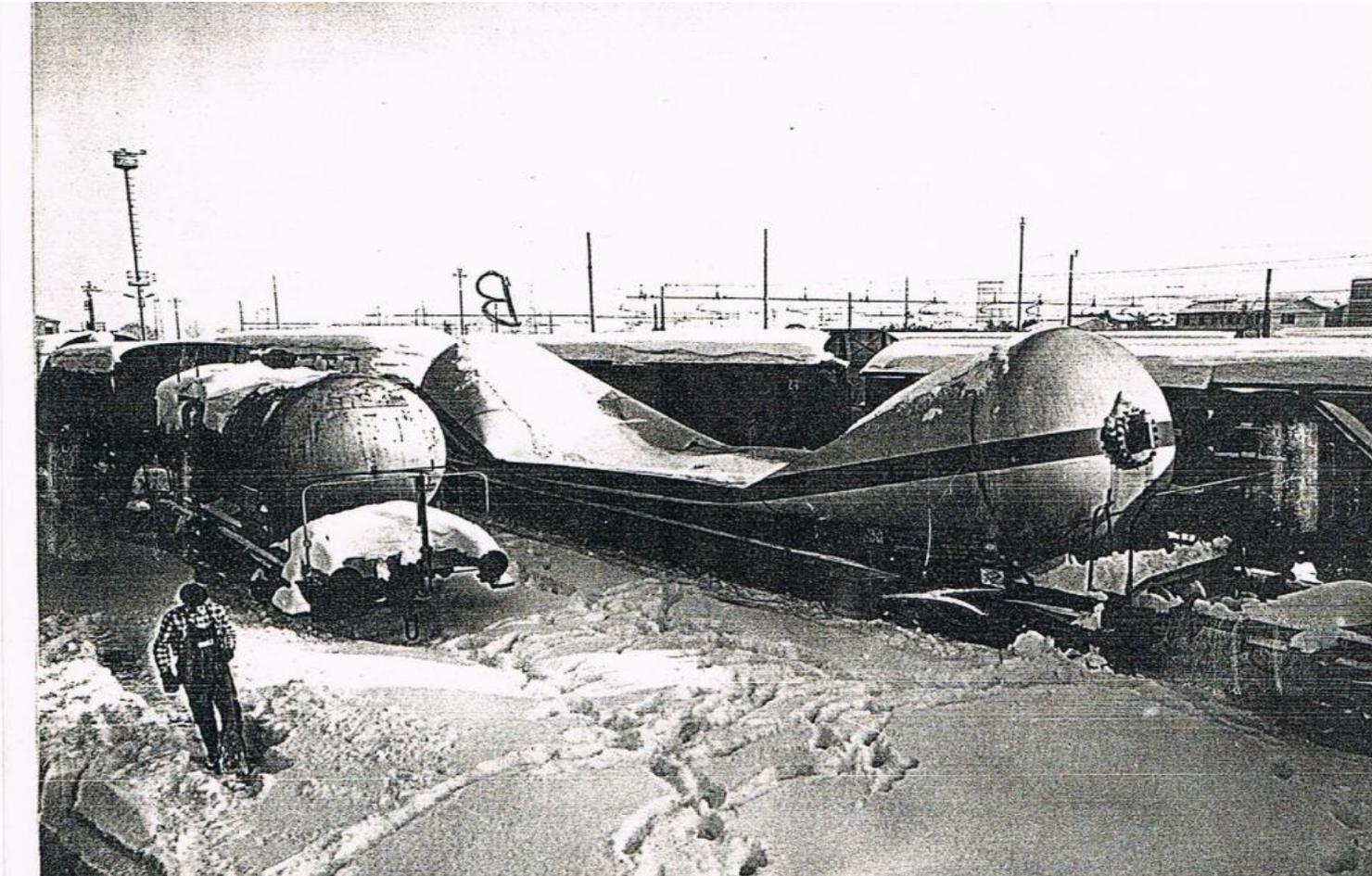
		$Q_v = \dot{Q} \cdot A_p$		$\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$	
essendo					
		$\dot{Q} = K_m \cdot P_{v(Tps)} \cdot \frac{M}{R \cdot T_{ps}}$		$\left[\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right]$	
		$A_p = \text{area} \cdot \text{pozza}$		$\left[\text{m}^2 \right]$	
e dove					
		$K_m = C_{m\&m} \times U_w^{0,78} \times (2 \times R_{pool})^{-0,11} \times S_c^{-0,67}$		m/s	
essendo					
Costante	$C_{m\&m}$	0.004786	$\text{m}^{0,33} / \text{s}^{0,22}$		
Numero di Schmidt	S_c	0.8	[-]		
Velocità aria	U_w	0.005	[m/s]		
Diametro pozza eq.	d_{eq}	1.129	[m]		
Superficie pozza	A_p	1.00	[mq]		$d_{eq} = \sqrt{\frac{4 \times A_p}{\pi}}$
Peso molecolare	M	0.1595	kg/mole		
Pressione ambiente	P_t	101315	[Pa]		
Costante dei gas	R	8.315	J/molexK		
Temperatura pozza	T_{ps}	283	[°K]		
Tensione vapore	$P_w(Tps)$	16000	[Pa]		Rault
Coeff. evaporazione	K_m	0.000088	[m/s]		
Portata evaporante	Q'	0.00009540	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right]$	0.343	kg/h



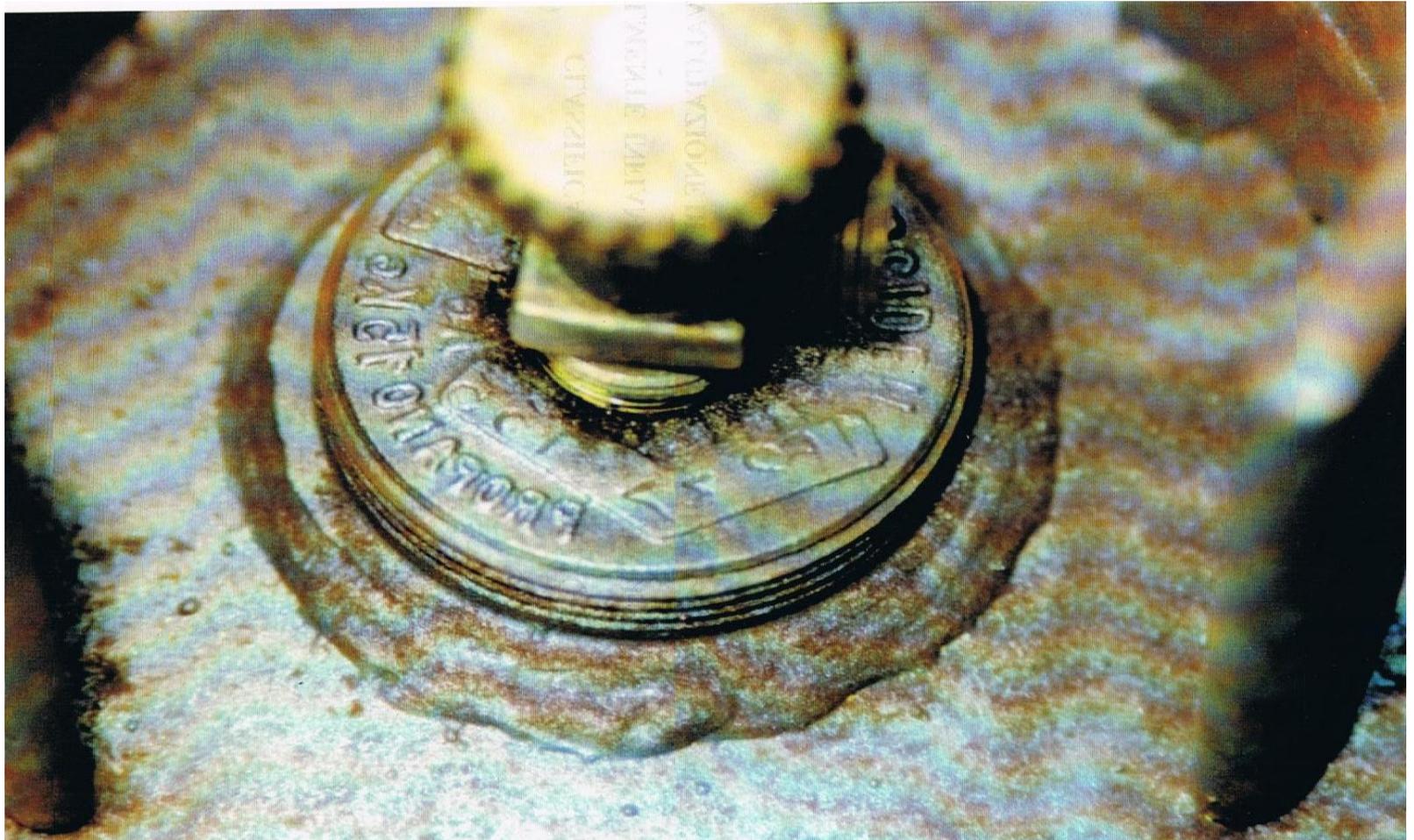
RILASCIO PROPANO IN FASE GAS

RILASCIO PROPANO FASE GAS					
(da regolatore di pressione, bombola diritta)					
Dati per il calcolo					
A ₀ =	5.02E-05	m ²		D =	0.008 m
CD =	0.61				
P ₀ =	100030	Pa		$\frac{P_a}{P_0} =$	0.9997
P _a =	100000	Pa			
T =	288	°K			
M =	50				
R =	8315				
$\gamma =$	1.13				
$\rho_0 =$	2.2	kg/m ³		$\frac{P_a}{P_0} \geq \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$	0.9709 > 0.9390 (rilascio subcritico)
	$\frac{2}{\gamma} =$	1.7699		$\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} =$	16.3846
				$\frac{\gamma - 1}{\lambda} =$	0.1150
	$\frac{2}{\gamma - 1} =$	8.6923		$\frac{2}{\gamma + 1} =$	0.9390
				$\frac{\gamma + 1}{2} =$	1.065
$q_s = C_d \cdot A_0 \cdot \psi_0 \cdot \sqrt{\rho_0 \cdot P_0 \cdot \gamma \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}}$				0.0002646 Kg/s	
dove per rilascio in condizioni subcritiche ψ vale					
$\psi_0 = \sqrt{\frac{2}{\gamma - 1} \cdot \left(\frac{\gamma + 1}{2}\right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}} \cdot \left(\frac{P_a}{P_0}\right)^{\frac{2}{\gamma}} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_a}{P_0}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}\right]}$				0.0290	
	Q	=	1.0	Kg/h	
v	$\frac{Q \cdot R \cdot T}{M \cdot P}$	=	0.5	m ³ /h	

LA CONDENSAZIONE



Gli altri eventi



Gli altri eventi



Gli altri eventi



Gli altri eventi



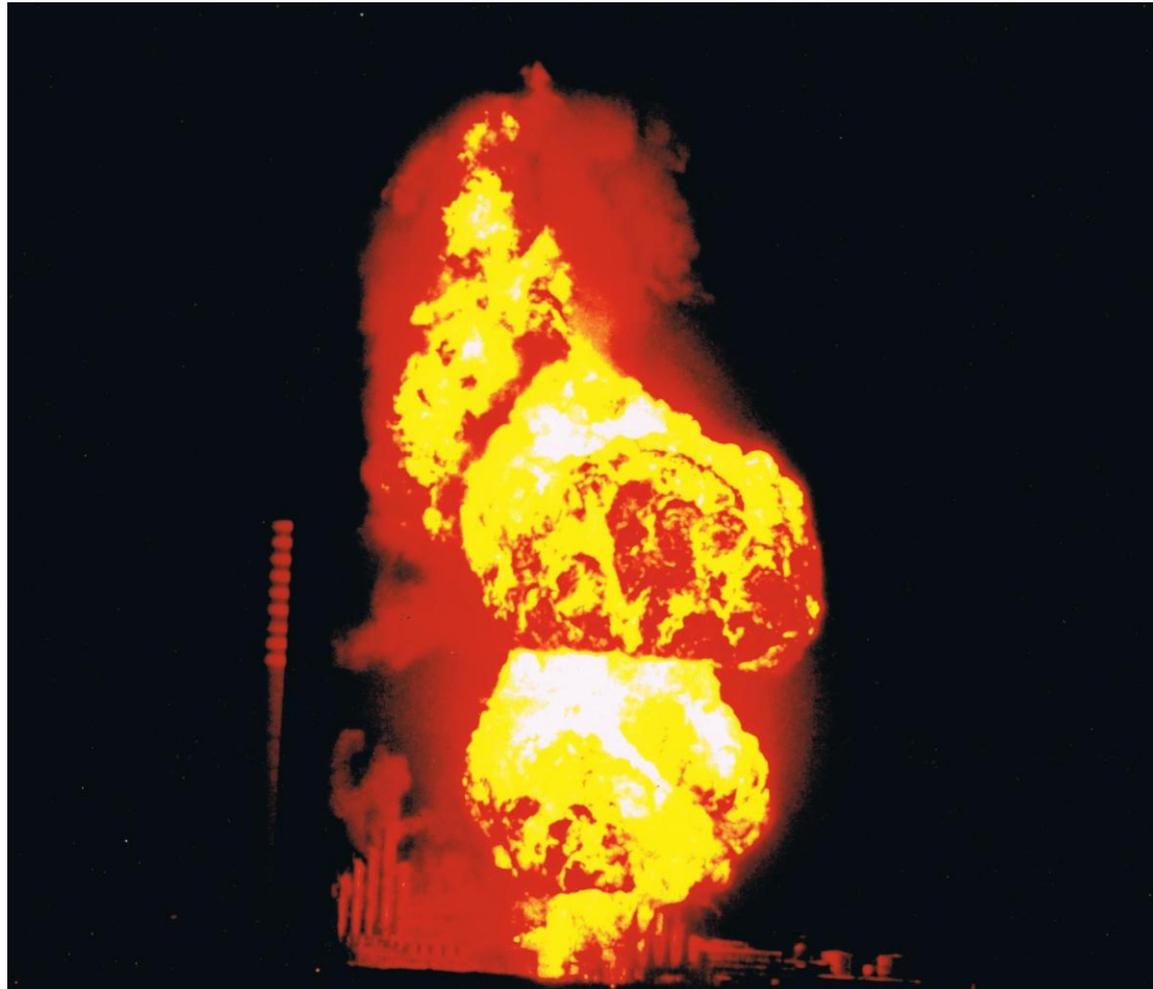
Gli altri eventi

FIRE BALL





Eventi: FIREBALL





Eventi: FIREBALL

Irraggiamento da Fireball - Modello a sorgente puntiforme

$$Q = \tau \cdot E \cdot F$$

20 kW/m²

dove:

$$F = \frac{D^2}{4 \cdot d^2}$$

fattore di vista (recettore a terra)

0.0625

$$E = \frac{\eta \cdot m \cdot H_c}{\pi \cdot D^2 \cdot t}$$

potere emissivo fiamma

0.474 MJ/s*m¹

$\tau =$ **trasmissività atmosferica**

0.675

essendo:

$\eta =$ **la frazione di Q che viene irradiata**

0.4

d = distanza dal recettore

100 m

m = massa che partecipa al fireball (propano)

1000 kg

H_c = calore di combustione (propano)

46.49 MJ/kg

D = diametro palla di fuoco

50 m

t = durata palla di fuoco

5 s

La condensazione

