

LUCCHINI S.p.A.

Stabilimento di Piombino

**Analisi e Valutazione Relative alla
Sicurezza di Attività Industriali**

**INTEGRAZIONI AL RAPPORTO DI SICUREZZA
(ART. 8 D. LGS. N. 334/99)**

**VERIFICA DELLE IPOTESI DI CALCOLO RELATIVE ALLO
SCENARIO “ROTTURA CATASTROFICA GASOMETRO GAS
D’ACCIAIERIA”**

SANITAS CENTRO SERVIZI S.r.l.

Piombino, Febbraio 2006

NT TH 437(06)

INDICE

1. GENERALITÀ SULL’IMPIANTO	3
1.1 <i>Composizione del gas di acciaieria.....</i>	3
1.2 <i>Caratteristiche geometriche gasometro</i>	4
1.3 <i>Sistemi di sicurezza.....</i>	4
1.4 <i>Capacità gasometro.....</i>	6
2. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI EFFETTUATE.....	7
2.1 <i>Rapporto di sicurezza (dicembre 2003)</i>	7
2.2 <i>Analisi integrative (dicembre 2005).....</i>	7
2.3 <i>Considerazioni ed approfondimenti sullo scenario incidentale.....</i>	8
2.4 <i>Analisi storica.....</i>	10
2.5 <i>Frequenze di accadimento.....</i>	17
2.6 <i>Analisi scenari incidentali con rilascio di gas dal gasometro LDG</i>	20
2.6.1 <i>Valutazione delle conseguenze in caso di dispersione senza innesco</i>	22
2.6.2 <i>Valutazione delle conseguenze in caso di UVCE con innesco immediato</i>	23
2.6.3 <i>Valutazione delle conseguenze in caso di UVCE con innesco ritardato</i>	24
2.7 <i>Analisi scenari incidentali con rilascio di gas dal gasometro COK.....</i>	25
2.7.1 <i>Valutazione delle conseguenze in caso di UVCE.....</i>	27
2.8 <i>Aggiornamento dati riassuntivi top event.....</i>	29
3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	30

ALLEGATI

Allegato 1: Scheda di sicurezza gas d'acciaieria

Allegato 2: Alberi di guasto rilascio gas da gasometro

Allegato 3: Valutazione delle conseguenze: dispersione senza innesco

Allegato 4: Prospetto riassuntivo dei top event modificati

1. GENERALITÀ SULL'IMPIANTO

Il gas prodotto durante il processo di soffiaggio dai convertitori LD dell'acciaieria, dopo essere stato raffreddato e depolverato, essendo un gas energetico, viene in parte recuperato per la sua successiva utilizzazione come combustibile per la CET ELETTRA.

In particolare, essendo la concentrazione di CO variabile durante il processo di soffiaggio, con valori max. ottenuti durante la fase centrale del processo, ne viene recuperata solo la frazione a maggior concentrazione di CO (relativa alla fase centrale del processo di soffiaggio), e bruciata in fiaccola la frazione a minore concentrazione (quella di "testa" e "coda" del processo di soffiaggio).

Il gas recuperato viene inviato ad un gasometro (c.d. gasometro gas LD, o gasometro COMIMP), da 36000 m³, serbatoio di stoccaggio intermedio, da cui viene prelevato ed inviato alla CET ELETTRA mediante una stazione di boosteraggio.

1.1 Composizione del gas di acciaieria

La composizione del gas è variabile, poiché dipende dal materiale di carica e dal convertitore in soffiaggio (livello di aspirazione ventilatori, posizione skirt che determina l'ingresso di aria falsa).

Le prestazioni massime dell'impianto, in termini di massima concentrazione di CO ottenibile nel gas recuperato, sono state valutate nel miglior assetto raggiungibile a valle delle tarature d'impianto effettuate dopo la sua realizzazione e dopo gli interventi mirati ad eliminare e/o a ridurre al minimo possibile gli ingressi di aria falsa. In tali condizioni, è stata determinata la max. performance raggiunta dall'impianto, che è stata assunta come composizione di riferimento per la scheda di sicurezza predisposta ad ottobre 2003 (Allegato 1). Tali prestazioni sono da intendersi come max. performance teorica raggiungibile in termini di concentrazione di CO nel gas recuperato, poiché, l'operatività d'impianto è tale da dar luogo durante l'intera fase di recupero, ad un gas con concentrazione di CO media inferiore a quella considerata nella scheda di sicurezza. La composizione di riferimento del gas è quella riportata nella seguente Tabella 1.

Tabella 1: composizione gas di acciaieria (da scheda di sicurezza).

Sostanza	Nome	% in volume	CAS number	CEE index number	Classificazione 67/548/CEE e successivi adeguamenti (2001/59/CEE)
N ₂	Azoto	18.9	--	--	--
CO	Monossido di carbonio	57	630-08-0	006-001-00-2	F+; R12 Repr. Cat.1; R61 T; R23-48/23
CO ₂ ^(*)	Biossido di carbonio	19.8	--	--	--
H ₂	Idrogeno	3.9	1333-74-0	001-001-00-9	F+; R12
O ₂	Ossigeno	0.2	74-84-0	601-002-00-X	O; R8
Ar	Argon	0.2	--	--	--

(*) La concentrazione aumenta al diminuire della concentrazione di CO.

1.2 Caratteristiche geometriche gasometro

Il gasometro è del tipo a secco, con mantello cilindrico fisso vincolato ad una struttura di base di cemento armato, all'interno del quale scorre un pistone bilanciato mediante un sistema di funi e pulegge collegato a contrappesi esterni, la cui tenuta è assicurata attraverso una membrana in gomma, ancorata da una parte alla struttura fissa, e dall'altra al pistone (si veda anche la Figura 1 e l'elaborato grafico "Pianta e sezione del gasometro", Tavola 9 in Allegato A.1.2.3 *al Rapporto di sicurezza, NT AT056(03), Dicembre 2003*).

All'interno del gasometro, la base ha il profilo di una calotta sferica, poiché su di essa va a poggiare il cielo del pistone, analogamente conformato, sì da garantire la fuoriuscita totale del gas in caso di svuotamento totale dell'apparecchio. Il pistone è costituito da una struttura metallica a bicchiere di altezza complessiva pari a 18 m, che scorre all'interno di un sistema di guide di centraggio interno al gasometro.

Superiormente, a livello della passerella di camminamento, il pistone è ancorato ad un sistema di funi di rimando con pulegge fissate a quota +57 m all'esterno dell'apparecchio, di collegamento ai contrappesi che scorrono esternamente al mantello del gasometro, garantendo così il livellamento del pistone durante la sua escursione. Il sistema di bilanciamento (funi – pulegge – contrappesi) è ancorato alle n. 16 colonne portanti del gasometro, disposte circonferenzialmente allo stesso.

Il mantello esterno (avente alla base diametro interno 36,0 m, e diametro interno di 35,5 m oltre quota +11,5 m) arriva fino a quota 36,565 m. La membrana di tenuta è vincolata al mantello a quota +18 m, mentre il pistone ha una corsa totale di +35,105 m (34,67 m corsa di esercizio + 0,435 m di corsa per il pop test della membrana). La protezione superiore è garantita da un guscio cilindrico (avente diametro 38,5 m), fissato alle colonne portanti, che parte da quota +32 m ed arriva fino a quota +56,5 m. La copertura a cupola dell'apparecchio parte da quota +56 m ed arriva al culmine centrale a quota +64,273 m e garantisce la protezione del duomo interno dalla pioggia. L'intercapedine fra mantello esterno e guscio cilindrico superiore è quindi di 1,5 m, con superficie complessiva di ~174 m².

Bocchette laterali di aerazione dell'intercapedine fra membrana e mantello esterno sono presenti sul mantello, onde consentire l'ingresso e l'espulsione dell'aria nell'intercapedine mantello / membrana durante il moto del pistone. Le bocchette sono disposte circonferenzialmente su n. 3 livelli. A ciascun livello sono presenti n. 16 bocchette, ciascuna avente dimensioni di ~0,30 x 0,15 m. Le bocchette sono presenti a quota +19 m, a quota +25 m, ed a quota +31 m. La superficie complessiva delle n. 48 bocchette ammonta a ~2,1 m².

In caso di rottura della membrana, la quasi totalità del gas fuoriuscito dal gasometro, per effetto delle diverse superfici di efflusso associate, fluirebbe verso l'esterno preferenzialmente attraverso l'intercapedine a quota +32 m (superficie complessiva di circa 174 m²).

1.3 Sistemi di sicurezza

Il gasometro è dotato di un sistema di controllo di livello, pressione e temperatura del gas a cui sono associati una serie di allarmi che determinano l'intervento dei sistemi di protezione di cui è dotato l'apparecchio. Gli allarmi agiscono sulla valvola a farfalla di immissione gas nel gasometro e sulla valvola di intercettazione sull'uscita al gasometro. In aggiunta a quanto sopra, al fine di evitare la formazione di miscele infiammabili nel gasometro, viene monitorata la concentrazione di O₂ nel gas di acciaieria attraverso gli analizzatori operanti sulla linea di alimentazione LD.

Il gasometro è dotato di un ulteriore dispositivo a sicurezza intrinseca che, al raggiungimento della corsa massima del pistone (+34,670 m) o al superamento della pressione di 600 mm c.a., apre meccanicamente una caminella di sfiato di sicurezza (DN 800).

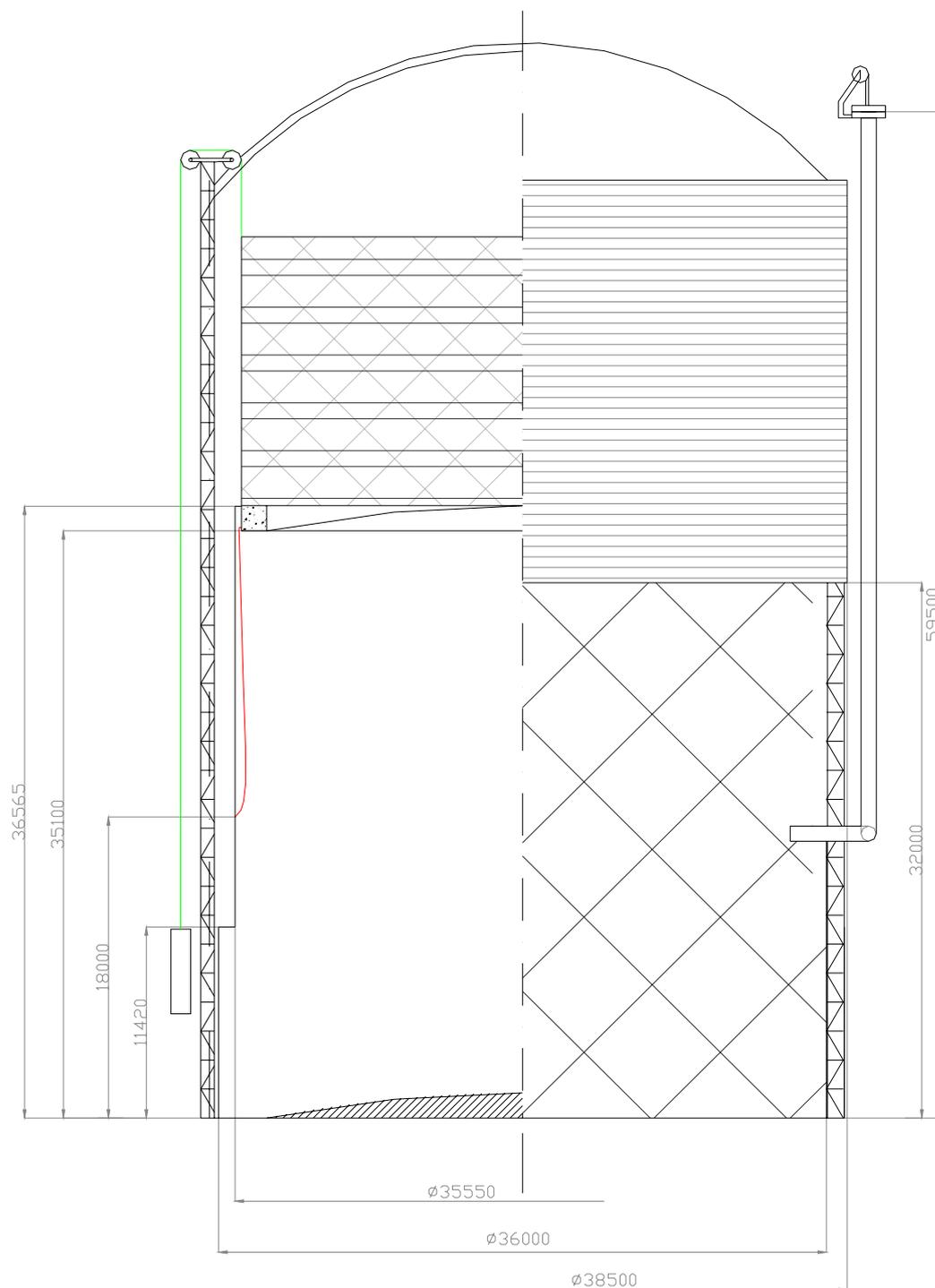


Figura 1: Schematico gasometro gas di acciaieria.

Sul gasometro è operante un sistema di rivelazione CO con analizzatori asserviti a prese di campionamento, disposte a quota zero (n. 3 prese di campionamento perimetrali) ed in corrispondenza del tetto del gasometro stesso (n. 2 prese di campionamento). Gli allarmi dal sistema di rivelazione gas sono centralizzati in sala depurazione gas, sempre presidiata dal personale di stabilimento che gestisce la distribuzione dei gas e dei fluidi di servizio al ciclo produttivo.

Le logiche di allarme e di interblocco, al superamento delle soglie di allarme, prevedono:

- Allarme bassissimo livello (7 m): causa il blocco del gasometro (chiusura valvola a farfalla uscita gas)
- Allarme altissimo livello (32 m): causa il blocco del gasometro (chiusura valvola a farfalla ingresso gas e commutazione in torcia linea LD). Se il livello continuasse a salire, al raggiungimento di 34,67 m, interviene, in automatico, il sistema di sicurezza che provoca l'apertura della caminella di sfiato a quota +59,5 m
- Allarme bassissima pressione linea LD (195 mm c.a.): causa il blocco del gasometro (chiusura valvola a farfalla ingresso gas)
- Allarme altissima temperatura gas in ingresso (60° C): causa il blocco del gasometro (chiusura valvola a farfalla ingresso gas)
- Allarme alta concentrazione O₂ (2%): causa il blocco del gasometro (chiusura valvola a farfalla ingresso gas)
- Le altre cause di blocco (chiusura valvola di a farfalla di ingresso gas), sono dovute ad anomalie di funzionamento dell'impianto di raffreddamento gas, ovvero ad incongruenze sul PLC di regolazione della linea LD.

Al fine di evitare effetti legati al verificarsi di condizioni di depressione sulla linea LD che alimenta il gasometro, al raggiungimento della pressione di 50 mm di c.a. sulla linea LD interviene in automatico l'immissione di N₂ attraverso una valvola con funzionamento ON/OFF che provvede a ristabilire la pressione della linea fino alla pressione di 180 mm c.a.

1.4 Capacità gasometro

Il gasometro opera come stoccaggio intermedio del gas di acciaieria alla pressione di esercizio di ~230 mm c.a. (2300 Pa). Il gasometro ha capacità nominale di 36000 m³, da cui, considerando che il CO a 1 atm e 293 K ha densità di 1,17 kg/m³, stante la concentrazione del CO pari al 57% in volume, deriverebbe una massa max. di CO nel gasometro associata alla sua capacità geometrica di:

$$(36000 * 0,57 * 1,17) = \mathbf{24009 \text{ kg}}$$

Dai dati del costruttore (COMIMP, elaborato E62-95-0002 Rev. 2 aprile 1996) si ricava il volume di progetto del gasometro che è di 34258 m³. Una verifica indipendente, tenente conto dell'apertura del clapet della caminella di sfiato che interviene in caso di superamento dell'altissimo livello (che apre automaticamente al raggiungimento di +34,67 m), e tenendo conto della quota parte legata alla "piega" formata dalla membrana in corrispondenza dell'intercapedine fra mantello esterno e pistone, in posizione di massimo livello (di seguito chiamato V_{membrana}), permette di ricavare un volume max. di:

$$V_{membrana} = \pi * r^2 * h_{piega} = \pi * (17,75^2 - 17,45^2) * 0,5 = 17 \text{ m}^3$$

$$V_{max\ utile} = \pi * r^2 * h_{max} + V_{membrana} = \pi * [18,0^2 * 11,4 + 17,75^2 * (34,67 - 11,4)] + 17 \cong 34653 \text{ m}^3$$

da cui deriva una massa totale effettiva raggiungibile nell'apparecchio prima dell'apertura della caminella di sfiato di:

$$(34653 * 0,57 * 1,17) = \mathbf{23110 \text{ kg}} \quad \text{massa max. di CO}$$

2. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI EFFETTUATE

2.1 Rapporto di sicurezza (dicembre 2003)

Nel rapporto di sicurezza (relazione NT AT056(03), Dicembre 2003) era stato analizzato lo scenario RT23 “Calcolo della dispersione in atmosfera di una nube di gas CO fuoriuscita in seguito a rottura catastrofica del gasometro LDG”.

L'analisi effettuata nel suddetto documento è stata condotta a partire dalle seguenti ipotesi:

Volume gas tossico: $(36000 \cdot 0,57) = 20520 \text{ m}^3$

Densità CO a 1 atm e 293 K: $1,17 \text{ kg/m}^3$

Massa iniziale CO: $20520 \cdot 1,17 = 24009 \text{ kg}$ istantaneamente rilasciata in atmosfera

Quota di rilascio: 17 m (baricentro massa di gas)

Condizioni meteorologiche: classe di stabilità D & velocità del vento 5 m/s

classe di stabilità F & velocità del vento 3 m/s

Quota recettore: 1,5 m

Nei calcoli suddetti, i valori di dose soglia cui associare i diversi effetti sui soggetti eventualmente esposti a concentrazioni rilevanti di monossido di carbonio venivano assunti come:

- soglia effetti letali (LC₅₀, 30 minuti) pari a 4000 ppm
- soglia effetti gravi e reversibili (IDLH, 30 minuti) pari a 1000 ppm.

Dall'inviluppo della geometria della nube a diversi istanti dopo il rilascio, lo studio illustrava le dimensioni massime dell'area al cui interno si possono avere concentrazioni superiori ai valori limite (4000 e 1000 ppm). Poiché, per effetto della dispersione, la nube formatasi si portava a valori di concentrazione inferiori alle suddette soglie in tempi inferiori a 30 minuti, si concludeva che non sussistevano in ogni caso situazioni in cui si aveva il superamento dei valori di soglia.

2.2 Analisi integrative (dicembre 2005)

Con Prot. n. 29780 del 11/10/2005, il Gruppo di Lavoro del CTR che conduce l'istruttoria del rapporto di sicurezza, richiedeva chiarimenti e integrazioni in merito alle soglie di danno utilizzate per gli scenari di dispersione, alle condizioni meteorologiche utilizzate per le simulazioni di dispersione, nonché all'applicazione del metodo TNO in relazione agli effetti cumulati di esposizione ai vari livelli di dose che potrebbero interessare un qualsiasi punto raggiunto dalla nube.

I chiarimenti suddetti venivano forniti nella relazione integrativa trasmessa con Prot. SPP 006/06 in data 11/01/2006 (relazione NT AT 240(05) Rev. 1, Dicembre 2005), nella quale si precisava che:

- l'applicazione del metodo TNO per il calcolo del valore limite **LC₅₀(30 minuti, uomo)**, documentato nel c.d. “Green Book” CPR 16E “Methods for the determination of possibile damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials”, pubblicato dal TNO nel dicembre 1989, permette di determinare che per il monossido di carbonio, il valore derivato dall'estrapolazione dei dati disponibili da più specie animali è di **7949 mg/m³** (ovvero **6794 ppm**, cfr. Annex 3 Capitolo 5 “Green Book” CPR 16E, TNO, 1989);
- in relazione alla soglia **IDLH a 30 minuti**, si fa riferimento al valore NIOSH di **1404 mg/m³** (ovvero **1200 ppm**);
- per esposizioni inferiori a 30 minuti, il “Green Book” introduce l'Analisi di Probit, ovvero un modello che, per varie sostanze tossiche, definisce delle funzioni che permettono di correlare la probabilità di avere un certo tipo di danno e la dose (che a sua volta è funzione della concentrazione e della durata di esposizione). Conseguentemente, una funzione di Probit

permette di correlare fra loro concentrazione e durata dell'esposizione, secondo la nota relazione che permette di determinare il c.d. "carico tossico" (toxic load):

$$C(t)^n * t = \text{cost.} \quad \text{dove:}$$

- C(t) è la concentrazione di sostanza tossica a cui si è stati esposti per un tempo t
- t è il tempo di esposizione
- n è un coefficiente dipendente dalla sostanza tossica considerata (n = 1 per il CO).

La valutazione del carico tossico è stata effettuata nelle seguenti condizioni (ovvero quelle dello scenario analizzato nel rapporto di sicurezza trasmesso a dicembre 2003, avendo corretto le condizioni meteorologiche considerate per la dispersione):

- ✓ cedimento catastrofico gasometro con rilascio istantaneo in atmosfera della massa totale del gasometro (24009 kg di CO a quota iniziale +17 m)
- ✓ condizioni meteorologiche: classe di stabilità F e velocità del vento di 2 m/s
- ✓ quota recettore: +1,5 m.

Sulla base di quanto sopra, mediante il codice EFFECTS 2.1 è stato calcolato, ad intervalli di 100 m dal punto di rilascio, il valore massimo di concentrazione raggiunto in ogni punto, nonché il "tempo di transito" della nube nel punto considerato. Tali informazioni hanno permesso di stimare, lungo l'asse longitudinale della nube, il carico tossico, confrontando il valore ottenuto con quello derivante dai prodotti che individuano la soglia di danni gravi e reversibili e la soglia di letalità:

a) $LC_{50}(\text{hmn}, 30 \text{ min.}) * 30 \text{ min.}$ (1)

b) $IDLH * 30 \text{ min.}$ (2)

Dal confronto fra i valori " $C_{MAX} * t_T$ " e i valori relativi alle soglie suddette, riportati nella relazione NT AT 240(05) Rev. 1, Dicembre 2005, si evince che:

- a) in nessun caso viene superato il valore del carico tossico limite LC_{50} risultante dalla (1);
- b) nelle suddette ipotesi si avrebbe il superamento del limite IDLH espresso dalla relazione (2), fra 600 e 2500 m dal punto di rilascio (gasometro, quota di rilascio +17 m), muovendosi lungo l'asse longitudinale della nube.

2.3 Considerazioni ed approfondimenti sullo scenario incidentale

Per una tubazione, con la dizione "rottura catastrofica" si intende normalmente la rottura completa "a ghigliottina" della tubazione. Nel caso di un serbatoio, la rottura catastrofica è correlata alla perdita di integrità strutturale, ovvero al verificarsi di una apertura di entità tale da non essere associabile a piccole perdite (piccoli fori e/o cricche da fenomeni di corrosione e/o altra natura). Lo scenario denominato "cedimento catastrofico del gasometro" è quindi da correlare a condizioni incidentali che comportino il verificarsi di un cedimento macroscopico della struttura o di elementi strutturali del gasometro, che darebbero quindi luogo alla fuoriuscita significativa di gas.

In ogni caso, il meccanismo di fuoriuscita del gas dal gasometro, (quota di rilascio, massa fuoriuscita, portata, durata rilascio) è chiaramente legato alle modalità di "rottura" dell'apparecchio, che dipendono anche dalla tipologia impiantistica.

Occorre a tal punto evidenziare che, l'ipotesi di rilascio istantaneo in atmosfera dell'intero contenuto del gasometro (a quota +17 m) corrisponderebbe all'istantanea "scomparsa del mantello", e pur rappresentando l'involuppo peggiore di qualsiasi scenario di cedimento ipotizzabile, di fatto non è compatibile con l'effettiva consistenza strutturale dell'impianto, e non rappresenta uno scenario applicabile alla tipologia di gasometro in esame, come di seguito illustrato.

Nel caso in esame, il gasometro gas d'acciaieria è del tipo a secco con membrana, ed è costituito da:

- a) mantello metallico esterno;
- b) pistone metallico con annesso sistema di bilanciamento;
- c) membrana in gomma di tenuta fra mantello e pistone.

Un cedimento catastrofico si potrebbe verificare in caso di:

- a) rottura del mantello esterno: il mantello, in acciaio, costituito da virole con irrigidimenti circolari, è sottoposto a modestissima sovrappressione rispetto alla pressione atmosferica, è stato inizialmente dimensionato per operare con sovrappressione di 440 mm c.a., allo stato attuale opera a pressione di esercizio di 230 mm c.a. In caso di "sovrariempimento", intervengono in sequenza il blocco del gasometro (per altissimo livello si ha la chiusura valvola d'ingresso) ed in ultima istanza la caminella di sfiato (che interviene al raggiungimento di quota 34,67 m di corsa del pistone o in caso di superamento della pressione di 600 mm c.a.) che impedisce il verificarsi di sovrassollecitazioni sul mantello. Quanto sopra porta ragionevolmente ad escludere che si possa verificare una rottura catastrofica del mantello con fuoriuscita istantanea del gas contenuto nel gasometro.
- b) rottura del pistone metallico o del sistema di livellamento: il pistone è costituito da una struttura cilindrica "a bicchiere" alta 18 m, avente gioco radiale modesto all'interno del mantello. Il livellamento del pistone è assicurato da un sistema di funi e pulegge con vari rimandi, ancorato alle colonne esterne al gasometro e collegato, mediante n. 8 funi d'acciaio, a n. 4 contrappesi esterni da 5000 kg cadauno, che "assistono" la regolarità del suo movimento di salita e discesa. Il peso del pistone è quindi essenzialmente bilanciato dalla pressione del gas. Anche ipotizzando il collasso del sistema di livellamento, il ridotto gioco radiale e la geometria del pistone (che ne impedisce la rotazione) sono tali da impedire fisicamente il verificarsi di "ribaltamenti" (come verificatosi nel 2001 al piatto del gasometro gas AFO), e quindi di potenziali azioni dinamiche laterali di entità tale da potere gravare significativamente a carico del mantello. In ogni caso, per aversi fuoriuscita di gas, si dovrebbe avere anche il cedimento della membrana (soggetta a sforzi anomali). In aggiunta a quanto sopra, il sistema di monitoraggio del livello del pistone, dotato di tre sensori laser disposti a 120°, permettono il monitoraggio in continuo della corsa del pistone. Si esclude che una rottura del pistone e/o del sistema di livellamento possa dar luogo a rotture catastrofiche.
- c) rottura membrana fra mantello e pistone: la membrana, dimensionata per sopportare la pressione del gas e le sollecitazioni legate al normale movimento del pistone, potrebbe rompersi a seguito del degrado delle proprie caratteristiche di resistenza (a causa di ingresso di gas ad alta temperatura) o per effetto di sollecitazioni anomale dovute al pistone (cfr. punto precedente). In questo caso, la massa di gas che fuoriuscirebbe immediatamente sarebbe quella risultante dall'espansione fino alla pressione atmosferica del contenuto del gasometro, a cui seguirebbe il progressivo svuotamento del gasometro con discesa del pistone fino a quota 0. Il meccanismo di rilascio, è però caratterizzato da modalità molto diverse da quelle di "rilascio immediato dell'intera massa da quota +17 m". Infatti:
 - 1) Anche ipotizzando la rottura totale della membrana, il rilascio di gas si ha all'interno del duomo del gasometro;
 - 2) All'istante della rottura si avrà la fuoriuscita immediata, all'interno del duomo del gasometro, della massa di gas associata all'espansione fino alla pressione atmosferica;
 - 3) Successivamente, per effetto della discesa del pistone, il gas verrà spinto verso l'alto passando dal volume sotto il pistone al volume soprastante, sempre all'interno del duomo;
 - 4) Per effetto del confinamento superiore, nonché della densità del gas che è superiore a quella dell'aria, il gas, parzialmente miscelatosi con l'atmosfera del duomo, inizierà a ridiscendere

e stratificare verso il basso, restando in gran parte all'interno del mantello ed in parte fuoriuscendo in atmosfera, essenzialmente attraverso l'intercapedine fra mantello e guscio di protezione superiore, a quota +32 m.

- 5) Le modalità di rilascio sopra identificate, possono essere conservativamente associate ad un *rilascio immediato in atmosfera di circa 1000 kg di gas (per effetto dell'espansione fino a pressione atmosferica), oltre ad una progressiva fuoriuscita di gas, in un tempo dell'ordine di qualche minuto*. Non essendo quantificabile con esattezza il quantitativo di gas che potrebbe fuoriuscire dall'apparecchio in tale fase, a titolo conservativo si assume un complessivo pari al 50% della massa totale. Il suddetto valore del 50%, maggiora ogni valutazione ipotizzabile a partire da considerazioni sulla dinamica del moto del gas per effetto del transitorio di pressione e di miscelazione con l'aria del duomo. Il rilascio è essenzialmente ipotizzabile dall'intercapedine esistente a quota +32 m fra mantello e guscio cilindrico superiore, il contributo alla quota di fuoriuscita del gas legato alle bocchette è da ritenersi trascurabile, essendo l'area complessiva delle bocchette molto inferiore rispetto alla superficie libera dell'intercapedine (trattasi infatti di $\sim 2 \text{ m}^2$ rispetto a $\sim 174 \text{ m}^2$). Fra l'altro, la spinta ascensionale iniziale comporta anche la fuoriuscita di una quota parte del gas dalla zona del tetto del gasometro (a quote superiori a +60 m), poiché la tenuta che offre il tetto dall'interno è blanda, essendo limitata alla protezione dagli agenti atmosferici.

Sulla base delle considerazioni precedenti, si può quindi concludere che lo scenario incidentale inserito nel rapporto di sicurezza come peggior involuppo ipotizzabile e relativo ad un “cedimento catastrofico del gasometro gas d'acciaieria con rilascio istantaneo in atmosfera dell'intero contenuto di gas del gasometro a quota +17 m” è uno scenario che non si può verificare, stanti la tipologia e le caratteristiche strutturali dell'apparecchio in esame.

Sulla base della tipologia e delle caratteristiche di funzionamento, sono identificate le condizioni impiantistiche che potrebbero portare al verificarsi di un “cedimento catastrofico” credibile, tracciando le relative modalità di rilascio. Inoltre, nelle sezioni seguenti sono riportati i risultati dell'analisi storica degli incidenti registrati per gasometri e serbatoi al fine di completare il quadro degli scenari da analizzare in termini di valutazione delle conseguenze e frequenze di accadimento.

2.4 Analisi storica

In merito all'analisi storica degli incidenti che hanno interessato gasometri, informazioni relative agli incidenti avvenuti in varie parti del mondo sono state ottenute attraverso la consultazione di alcune banche dati su incidenti in industria chimica e di processo. Il quadro storico degli incidenti è stato ricavato dalle banche dati internazionali:

- MHIDAS (Major Hazard Incident DATA Service) sviluppata dal MHAU (Major Hazards Assessment Unit), facente parte del HSE del Regno Unito;
- FACTS (Failure and Accidents Technical information System) sviluppata dal TNO Olandese.

Le schede sono riportate in Allegato C.1.1.2 al rapporto di sicurezza (relazione NT AT056(03), dicembre 2003). Dall'analisi delle stesse schede, si ottengono 71 incidenti coinvolgenti gasometri e serbatoi di stoccaggio gas dal 1900 fino alla fine del 1999 a cui si possono aggiungere le informazioni relative all'evento che ha interessato nel 2001 il gasometro gas AFO di stabilimento e l'esplosione che ha interessato un gasometro gas COK in Giappone (Nagoya) nel 2003. I dati salienti sono riportati nella seguente Tabella 2. Le banche non registrano incidenti nel periodo compreso fra il 1933 ed il 1961.

Data	Apparecchiatura	Sostanza	Luogo	Scenario	Cause	Feriti	Morti
11 luglio 1900	gasometro	AFO	NL	esplosione	errore umano	2	0
22 dicembre 1900	gasometro tenuta a liquido	AFO	D	flash fire	errore umano	1	2
1 gennaio 1901	gasometro tenuta a liquido	AFO	D	incendio	guasto tenuta	nd	nd
1 gennaio 1905	gasometro	AFO	USA	flash fire	corrosione	40	2
1 gennaio 1905	gasometro	AFO	F	incendio	nd	nd	2
1 gennaio 1907	gasometro	AFO	I	flash fire	errore umano	nd	3
1 gennaio 1907	gasometro	AFO	D	flash fire	nd	nd	nd
5 agosto 1908	gasometro tenuta a liquido	AFO	USA	incendio	guasto tenuta	nd	nd
7 dicembre 1910	gasometro tenuta a liquido	AFO	D	incendio	guasto tenuta	23	18
1 settembre 1912	gasometro	AFO	UK	esplosione	errore umano	nd	3
8 dicembre 1912	gasometro tenuta a liquido	AFO	UK	incendio	guasto tenuta	nd	1
1 ottobre 1914	gasometro	AFO	F	esplosione	sabotaggio	nd	nd
4 dicembre 1914	gasometro	AFO	F	incendio	sabotaggio	nd	nd
16 dicembre 1914	gasometro	AFO	UK	incendio	sabotaggio	nd	nd
24 aprile 1916	gasometro	AFO	UK	incendio	sabotaggio	nd	nd
4 maggio 1916	gasometro	AFO	UK	esplosione	sabotaggio	nd	nd
21 agosto 1916	gasometro	GAS	UK-Bradford	esplosione	nd	39	0
24 agosto 1916	gasometro	AFO	UK	esplosione	sabotaggio	nd	nd
1 gennaio 1917	gasometro telescopico	AFO	UK	esplosione	corrosione	nd	nd
19 gennaio 1917	gasometro	AFO	UK	esplosione	sabotaggio	nd	nd
19 gennaio 1917	gasometro	AFO	UK	esplosione	corrosione	nd	nd

Tabella 2: raccolta incidenti coinvolgenti gasometri da banca dati MHDAS e banca dati FACTS.

1 gennaio 1919	gasometro	AFO	UK	nube	guasto meccanico	nd	nd
19 gennaio 1920	gasometro	AFO	D	esplosione confinata	nd	nd	nd
4 aprile 1920	gasometro	AFO	AUS	incendio	nd	nd	nd
16 novembre 1921	gasometro tenuta a liquido	AFO	D	ncendio	guasto tenuta	nd	nd
10 agosto 1922	gasometro	AFO	J	incendio	errore umano	2	0
24 marzo 1924	gasometro	AFO	AUS	incendio	errore umano	nd	nd
1 gennaio 1926	gasometro tenuta a liquido	AFO	USA	incendio	guasto tenuta	nd	nd
26 febbraio 1926	gasometro	AFO	P	esplosione	guasto meccanico	nd	nd
1 gennaio 1927	gasometro tenuta a liquido	AFO	UK	incendio	guasto tenuta	nd	nd
23 agosto 1927	gasometro	AFO	UK	incendio	corrosione	nd	nd
10 ottobre 1927	gasometro	AFO	UK	incendio	nd	nd	nd
14 novembre 1927	serbatoio atmosferico	GN	USA-Pittsburg	esplosione confinata	errore umano	100	28
16 febbraio 1929	gasometro tenuta a liquido	AFO	D	esplosione	guasto tenuta	6	0
2 aprile 1929	gasometro	AFO	UK	esplosione confinata	nd	nd	nd
29 luglio 1930	gasometro	AFO	UK	incendio	nd	nd	nd
6 marzo 1931	gasometro	AFO	UK	esplosione	nd	nd	nd
1 ottobre 1931	gasometro	GAS	DK	esplosione confinata	errore umano	1	2
13 giugno 1932	gasometro	AFO	D	incendio	errore umano	nd	nd
4 ottobre 1932	gasometro	AFO	B	esplosione	nd	nd	nd
2 ottobre 1933	gasometro	AFO	D	esplosione confinata	errore umano	101	65
12 agosto 1962	gasometro	AFO	NL	esplosione	corrosione	nd	nd
1 gennaio 1964	gasometro	AFO	DK	esplosione	errore umano	nd	nd

Tabella 2: raccolta incidenti coinvolgenti gasometri da banca dati MHIDAS e banca dati FACTS (continua).

1 gennaio 1967	gasometro	AFO	Brasile-Santos	esplosione	nd	300	nd
24 agosto 1968	gasometro	GN	Norvegia-Rjukan	esplosione	nd	0	0
19 settembre 1970	serbatoio interrato	AFO	D-Eschenfelden	incendio	guasto meccanico	1	0
10 marzo 1976	gasometro	GN	Ecuador-Guayaquil	esplosione	guasto meccanico	51	nd
3 aprile 1977	serbatoio atmosferico	BUTANO	Qatar-Umm Said	esplosione	guasto meccanico	13	7
5 febbraio 1978	serbatoio atmosferico	AFO	nd	esplosione	guasto meccanico	6	4
19 marzo 1978	gasometro	NH ₃	N-Glomfjord	nube	guasto meccanico	0	0
17 gennaio 1979	gasometro	GN	UK-Greenwich	esplosione	sabotaggio	0	0
9 luglio 1980	gasometro tenuta a liquido	AFO	NL	nube	guasto tenuta	1	0
1 gennaio 1981	gasometro	AFO	UK	nd	sabotaggio	0	0
25 gennaio 1985	gasometro telescopico	AFO	USA	esplosione confinata	nd	nd	1
25 gennaio 1985	gasometro telescopico	AFO	USA	esplosione confinata	nd	2	1
30 luglio 1987	gasometro	H ₂	N-Glomfjord	esplosione	guasto tenuta	nd	nd
15 gennaio 1989	gasometro	AFO	J-Osaka	incendio	corrosione	1	0
22 dicembre 1990	gasometro tenuta a liquido	GN	UK	nube	guasto tenuta	0	0
7 ottobre 1991	gasometro tenuta a liquido	GN	UK	nube	guasto tenuta	0	0
14 dicembre 1991	gasometro tenuta a liquido	AFO	UK	nube	guasto tenuta	0	0
22 novembre 1992	gasometro	GN	USA-Long Beach	esplosione	nd	nd	nd
26 febbraio 1993	gasometro	GN	UK-Warrington	esplosione	sabotaggio	0	0
16 marzo 1993	gasometro	GN	USA+Mertzon TX	incendio	incendio	0	0
9 giugno 1993	gasometro	GN	UK-Gateshead	esplosione	sabotaggio	0	0
20 maggio 1995	gasometro telescopico tenuta a liquido	AFO	UK	nube	guasto meccanico	5	0

Tabella 2: raccolta incidenti coinvolgenti gasometri da banca dati MHDAS e banca dati FACTS (continua).

20 maggio 1995	gasometro telescopico tenuta a liquido	AFO	D	nube	guasto meccanico	5	0
1 novembre 1995	gasometro	GN	R-Yekaterinburg	esplosione	corrosione	nd	nd
4 febbraio 1996	gasometro telescopico tenuta a liquido	GN	UK	nube	guasto tenuta	0	0
31 luglio 1996	gasometro	GN	Canada-Vaughan	esplosione	incendio	2	nd
25 ottobre 1996	gasometro telescopico	CH4	D-Leipzig	nube	guasto meccanico	0	0
6 febbraio 1997	gasometro	GN	UK-Northampton	nube	nd	0	0
10 settembre 2001	gasometro	AFO	I-Piombino	nube	guasto meccanico	0	0
3 settembre 2001	gasometro	COK	J-Nagoja	esplosione	nd	15	0

Tabella 2: raccolta incidenti coinvolgenti gasometri da banca dati MHDAS e banca dati FACTS (continua).

Sono di seguito riportati in forma grafica, per intervalli di circa 20 anni il numero di incidenti, morti e feriti totali nel periodo (Figura 2) e il dato specifico per anno (Figura 3).

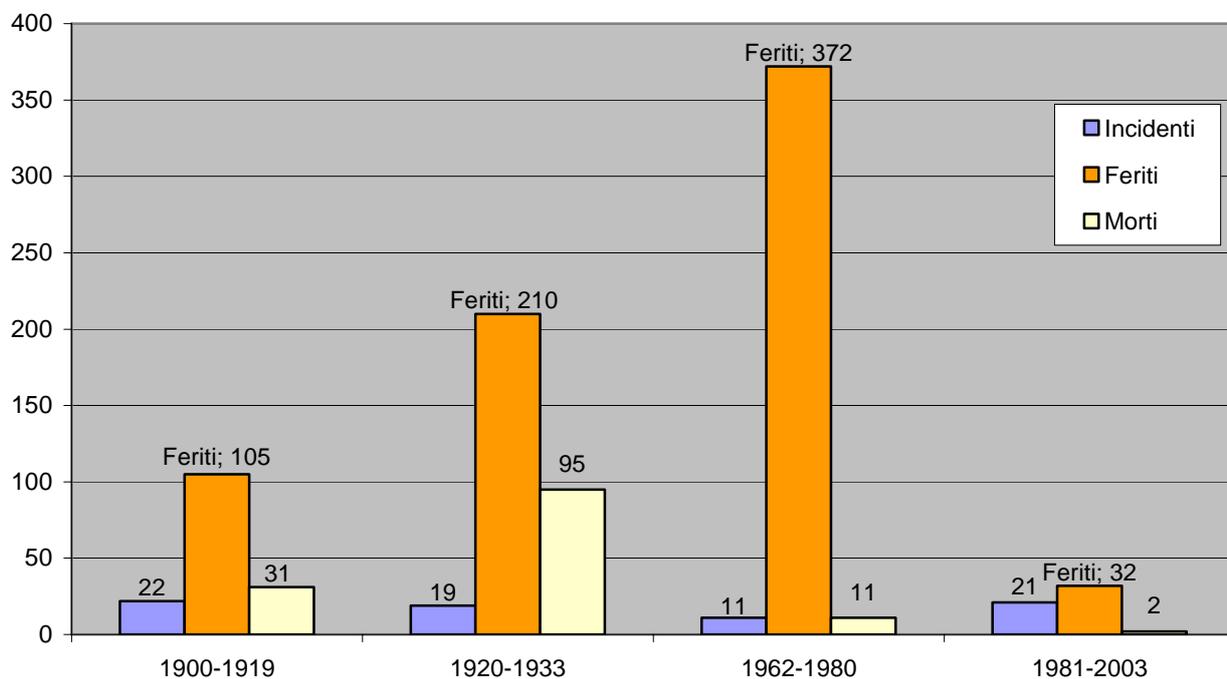


Figura 2: incidenti su gasometri a patire da 1900 fino al 2003, raggruppati per periodi di circa 20 anni (escluso periodo 1934-1961). Numero feriti e morti.

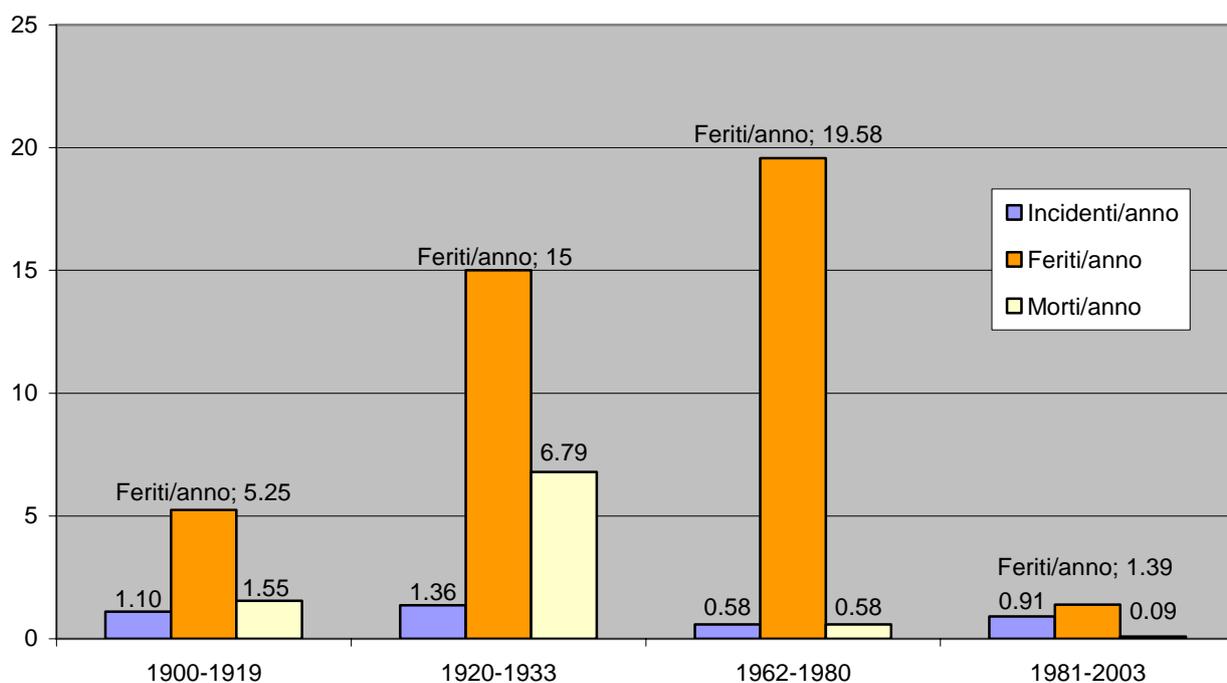


Figura 3: incidenti su gasometri a patire da 1900 fino al 2003, raggruppati per periodi di circa 20 anni (escluso periodo 1934-1961). Numero incidenti, feriti e morti per anno.

I dati evidenziano come, nel tempo, in particolare negli ultimi 25 anni, per effetto del progresso tecnologico e dell'innalzamento degli standard di sicurezza sui luoghi di lavoro, si è drasticamente ridotto il numero di feriti e morti.

Dall'analisi storica, i dati registrati non consentono di identificare gasometri del tipo in esame (gasometri WIGGINS o a membrana). Dall'analisi dei record degli eventi, si desume che fra gli incidenti, circa 16 eventi hanno interessato gasometri con tenuta a liquido, mentre 4 eventi sono relativi a gasometri a secco.

L'analisi delle cause non evidenzia (si veda la Figura 4) cause predominanti, rimarcando comunque una sostanziale equivalenza fra "errore umano", "guasto meccanico", "guasto tenuta", e "sabotaggio" (che include eventi terroristici e bellici del periodo 1914 - 1918). Si noti comunque che il "guasto tenuta" non è da trascurare. Dai dati non è però possibile distinguere fra tenuta a liquido e tenuta a secco.

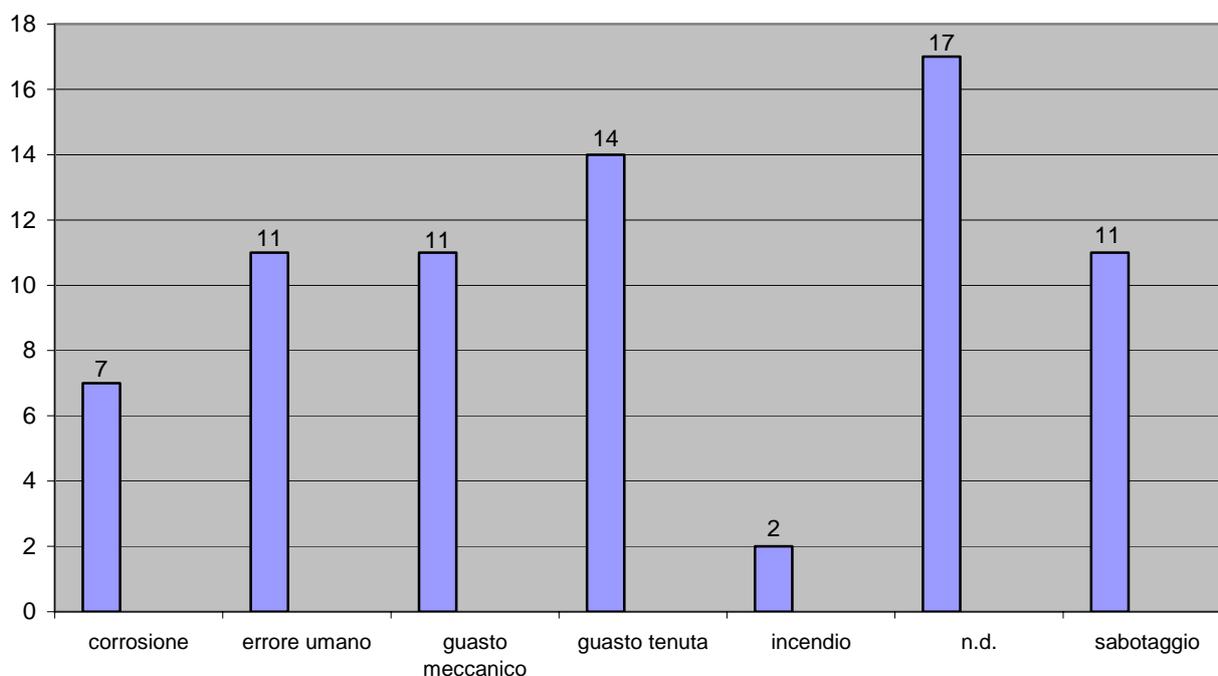


Figura 4: analisi cause incidenti gasometri (n.d. non disponibile).

Dal punto di vista degli scenari incidentali, l'esame delle schede evidenzia che lo scenario incidentale più frequente, è quello del tipo "esplosione", accomunando sia esplosioni non confinate che confinate, interne o esterne al gasometro.

I risultati sono riportati graficamente nella seguente Figura 5, indistintamente rispetto alla tipologia di apparecchio. Stante l'incompletezza dei dati riportati, non si ritiene significativo effettuare dati relativi all'analisi degli scenari per tipologia di apparecchio.

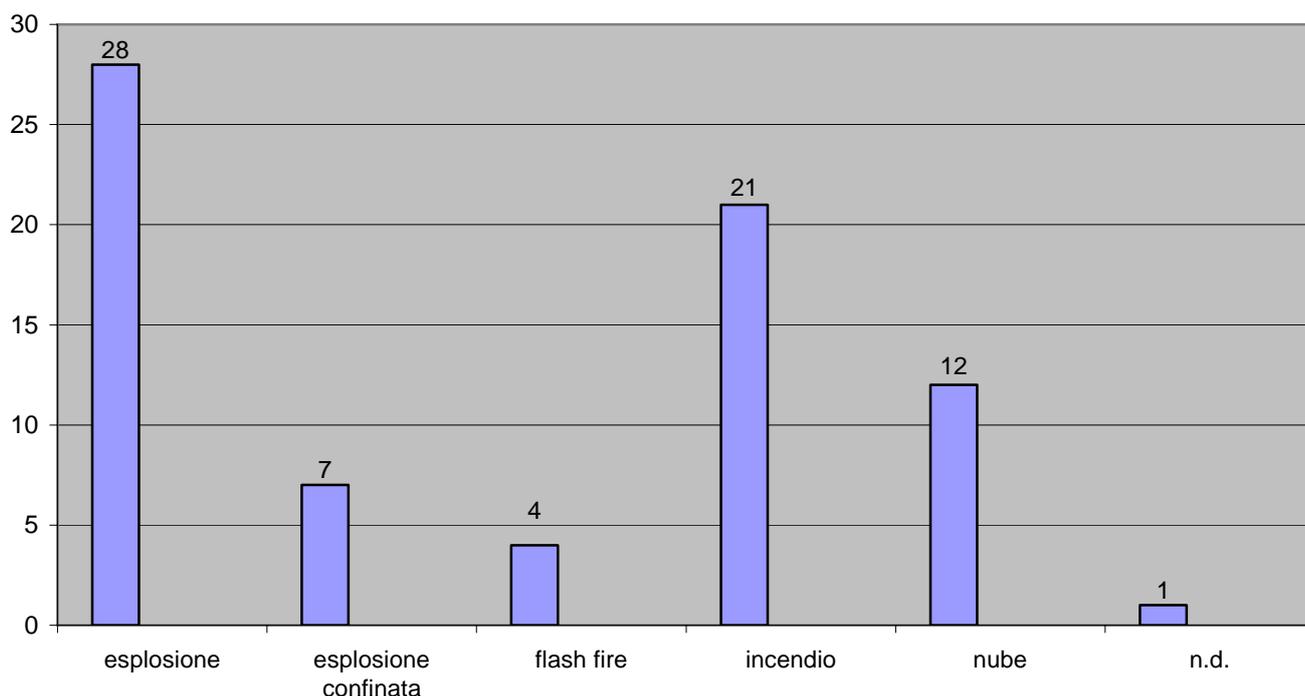


Figura 5: scenari incidentali ricavati dai record delle banche dati (n.d. non disponibile).

2.5 Frequenze di accadimento

Fra le frequenze di accadimento riportate nel rapporto di sicurezza (relazione NT AT056(03), trasmessa a Dicembre 2003) per il top event “rilascio di gas dal gasometro LD” è indicato il valore di $5,80 \times 10^{-5}$ eventi/anno. Il suddetto valore di frequenza di accadimento è calcolato per il top event nel suo complesso, e tiene conto del rilascio da caminelle, da cricche, come desumibile dal relativo albero dei guasti (riportato in Allegato C1.5.1, che per comodità si riporta anche in Allegato 2/A al presente documento).

Una verifica dei calcoli fatti dei valori di frequenza per l’evoluzione dei possibili scenari (UVCE, dispersione, ecc.) a seguito del rilascio di gas dal gasometro, riportati nella relazione di integrazioni (NT AT 240(05) Rev. 1, dicembre 2005) ha evidenziato che nella stessa sono stati riportati valori errati, poiché in ogni caso il valore di $5,80 \times 10^{-5}$ eventi/anno non è relativo al cedimento catastrofico della membrana, e in ogni caso non rappresentativo di uno scenario di “cedimento catastrofico” definito come rilascio immediato dell’intero contenuto del gasometro a quota +17 m.

L’analisi delle frequenze di accadimento, viene effettuata a partire dai dati di base sui ratei di guasto desunti da Banche Dati o dalla letteratura specialistica internazionale (Rijnmond Report, Reliability Technology, Chem Eng., ... ecc.); fra essi, salvo differente specificazione, risultano di norma adottati i ratei riportati nella seguente Tabella 3.

Voce (elemento/componente) – problema	Rateo di riferimento e unità di misura		Fonte
Serbatoi atmosferici – rottura grave	2.0×10^{-5}	occ/anno	API
Serbatoi atmosferici – collasso	2.0×10^{-6}	occ/anno	API
Apparecchi a pressione (serb. metallici) – rottura grave	2.5×10^{-5}	occ/anno	CCPS
Apparecchi a pressione (serb. metallici) – collasso	3.2×10^{-6}	occ/anno	CCPS
Bilancia – guasto generale	2.7×10^{-6}	occ/anno	RM Consultants
Pompe – rottura grave	1.0×10^{-4}	occ/anno	Rijnmond
Tubazioni DN ≤ 50 - rottura significativa	1.0×10^{-9}	occ/m-h	Rijnmond
Tubazioni DN ≤ 50 - rottura catastrofica	1.0×10^{-10}	occ/m-h	Rijnmond
Tubazioni $50 < DN \leq 150$ – rottura significativa	6.0×10^{-10}	occ/m-h	Rijnmond
Tubazioni $50 < DN \leq 150$ – rottura catastrofica	3.0×10^{-11}	occ/m-h	Rijnmond
Tubazioni DN > 150 - rottura significativa	3.0×10^{-10}	occ/m-h	Rijnmond
Tubazioni DN > 150 - rottura catastrofica	1.0×10^{-11}	occ/m-h	Rijnmond
Flessibili di travaso - rottura significativa	4.0×10^{-5}	occ/h	Rijnmond
Flessibili di travaso - rottura grave	4.0×10^{-6}	occ/h	Rijnmond
Braccio articolato – rottura grave	3.0×10^{-6}	occ/h	Rijnmond
Braccio articolato – collasso	3.0×10^{-8}	occ/h	Rijnmond
Valvole manuali – guasto, perdita	3.0×10^{-4}	occ/dom	Rijnmond
Valvole pneumatiche – mancato intervento	2.2×10^{-3}	occ/dom	CCPS
Valvole motorizzate – mancato intervento	1.0×10^{-3}	occ/dom	Rijnmond
Valvola di sicurezza – mancato intervento	2.1×10^{-4}	occ/dom	CCPS
Scambiatore di calore – rottura grave	6.0×10^{-6}	occ/anno	API
Ventilatori raffreddamento – rottura grave	2.0×10^{-8}	occ/anno	API
Filtri – rottura grave	1.0×10^{-5}	occ/anno	API
PSE – non si rompe	4.0×10^{-3}	occ/anno	Rijnmond
Strumentazione controllo pneumatico – rottura grave	2.1×10^{-4}	occ/h	CCPS
Strumentazione controllo elettronica – rottura grave	4.3×10^{-5}	occ/h	CCPS
Computer Hardware – funzionamento anomalo	6.1×10^{-4}	occ/h	Lees
Computer Software – errore generale	1.2×10^{-4}	occ/h	Lees
PLC – mancato intervento	3.5×10^{-5}	occ/h	OREDA
PLC/DCS – guasto generale	6.0×10^{-5}	occ/h	OREDA
Errore umano esercizio - non rileva anomalia	1.0×10^{-2}	occ/dom	Rijnmond
Errore umano esercizio – omette procedura	3.0×10^{-3}	occ/dom	Rijnmond
Errore umano manutenzione – disattenzione	1.0×10^{-3}	occ/dom	ICI
Incastellatura – rottura grave	9.0×10^{-6}	occ/h	Lees
Incendio esterno	1.0×10^{-4}	occ/anno	Rijnmond
Inondazione	1.0×10^{-7}	occ/anno	Rijnmond
Urto con veicoli	2.0×10^{-7}	occ/anno	Rijnmond
Terremoto	1.0×10^{-8}	occ/anno	Rijnmond
Subsidenza	2.0×10^{-9}	occ/anno	Rijnmond

Tabella 3: sintesi dati di affidabilità per componenti di processo.

Nel caso di rilascio accidentale di fluidi infiammabili, l'evoluzione dello scenario è determinata da differenti parametri (condizioni di efflusso, tempo di intervento e quantità rilasciata, rateo di evaporazione e condizioni atmosferiche, massa compresa entro il campo di infiammabilità, caratteristiche del luogo di rilascio, presenza di sistemi di mitigazione, ..., ecc.) ed in particolare dalle ipotizzabili condizioni di innesco.

La frequenza attesa dei singoli fenomeni che possono verificarsi a seguito di un rilascio di infiammabili (Pool fire, Flash fire, UVCE) viene stimata, in base ad indicazioni e dati di letteratura [The Chemical Engineer (1971), Guidelines for CPQRA - AIChE (1989), Loss Prevention in the Process Industry - F.P. Lees (1996)], tenendo conto della probabilità che sia presente un innesco nella zona interessata da presenza di miscela in campo di infiammabilità.

Per le aree industriali in cui si movimentano o sono processati gas e liquidi infiammabili le sorgenti continue di innesco (fiamme libere, motori a scoppio, ecc.) sono in genere assenti, sotto controllo in modo da eliminarle in caso di pericolo, o ben note essendo una caratteristica intrinseca legata all'operatività dell'area.

Analogamente, per aree dove anche gli impianti elettrici sono realizzati secondo normative riconosciute e dove siano adottati i criteri e tecnologie per evitare scariche elettrostatiche, l'eventuale innesco può essere solo a carattere stocastico. In linea generale, la probabilità di innesco in aree industriali può essere stimata pari a $P = 0,1$ per aree non AD e pari a $P = 0,01$ per aree AD.

Più analiticamente la probabilità è funzione sia della vastità dell'area interessata dalla presenza di miscela, sia della sua persistenza (minore è il tempo di presenza della miscela infiammabile, minori sono le probabilità di un innesco). Cautelativamente, i dati probabilistici riferiti al solo tempo di presenza del mix infiammabile (da modelli di calcolo) seguono il criterio della seguente Tabella 4.

Tempo di persistenza mix infiammabile	Probabilità di innesco
$t_{mix} < 1$ minuto	5%
1 minuto $< t_{mix} < 5$ minuti	10%
5 minuti $< t_{mix} < 1$ h	20%
$t_{mix} > 1$ h	50%

Tabella 4: probabilità di ignizione sulla base del tempo di persistenza di un mix infiammabile.

Nel caso di specie, per l'assegnazione delle probabilità di innesco in atmosfera, si può fare riferimento ai dati della Tabella 5, che riporta la probabilità di ignizione sulla base della portata rilasciata (che considerano, implicitamente, un tempo di persistenza compreso fra 5 minuti ed 1 ora):

Evento	Probabilità per un rilascio	
	< 2 kg/s	> 2 kg/s
Ignizione immediata	0,005	0,05
Ignizione ritardata	0,005	0,15

Tabella 5: probabilità di ignizione sulla base della portata di rilascio (fonte: E & P Forum).

In relazione alla probabilità di accadimento di una UVCE, sono utilizzati i seguenti criteri (fonte A. D. Little), che a partire dal quantitativo di gas prevedono che:

- ✓ se la quantità di gas all'interno del campo di infiammabilità è inferiore a 500 kg, la probabilità è nulla (il limite è ridotto a 200 kg solo nel caso dell'idrogeno);
- ✓ se la quantità di gas all'interno del campo di infiammabilità è superiore ai suddetti limiti, la probabilità di evoluzione come UVCE è pari al 30% (dati sperimentali, fonte A. D. Little).

Sulla base di quanto sopra, in relazione alla possibile evoluzione dello scenario, può essere quindi costruito l'albero degli eventi riportato nella seguente Figura 6.

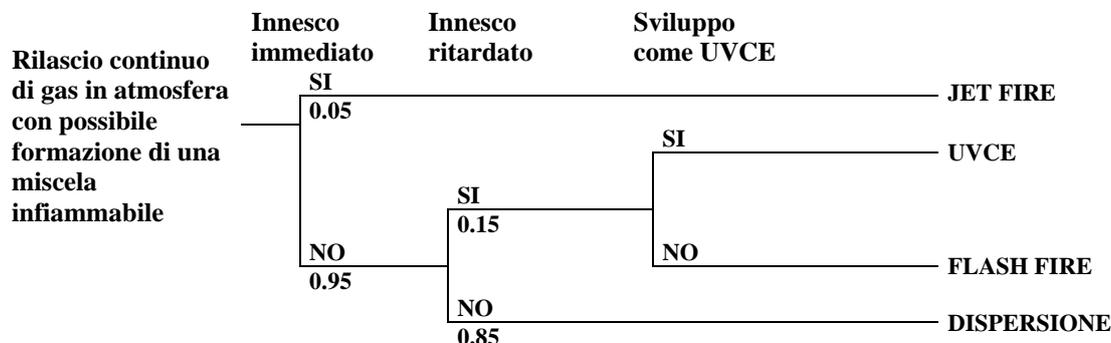


Figura 6: albero degli eventi conseguenti ad un rilascio in atmosfera di gas.

Considerando il valore di frequenza associabile a “eccessiva sollecitazione della membrana” ricavabile dall’albero dei guasti in Allegato 2/A (G0, ottenuto sottraendo dal TOP i valori E20, E21, E22, E23), si ottiene una frequenza dell’ordine di 10^{-9} . Tale valore tiene però conto solo delle sollecitazioni legate ai guasti al sistema di raffreddamento gas con mancata chiusura valvola, e non tiene conto di difetti alla membrana, o di sollecitazioni dal pistone. Conseguentemente, si assume come valore di riferimento per la frequenza di accadimento quella data dalla Tabella 3, nel caso di collasso di serbatoi atmosferici ($2,0 \cdot 10^{-6}$). La valutazione delle frequenze di accadimento per le varie tipologie di scenario, a partire da tale valore risulta quella della seguente tabella:

Evento finale	Frequenza
Jet fire /UVCE (1)	$1,0 \cdot 10^{-7}$
UVCE innesco ritardato (2)	$8,55 \cdot 10^{-8}$
Flash fire (3)	$2,0 \cdot 10^{-7}$
Dispersione (4)	$1,62 \cdot 10^{-6}$

(1): $2,0 \cdot 10^{-6} * 0,05$

(2): $2,0 \cdot 10^{-6} * 0,95 * 0,15 * 0,3$

(3): $2,0 \cdot 10^{-6} * 0,95 * 0,15 * 0,7$

(4): $2,0 \cdot 10^{-6} * 0,95 * 0,85$

2.6 Analisi scenari incidentali con rilascio di gas dal gasometro LDG

Al paragrafo §2.3 è stato illustrato come lo scenario incidentale relativo ad un “cedimento catastrofico del gasometro gas d’acciaieria con rilascio istantaneo in atmosfera dell’intero contenuto di gas del gasometro a quota +17 m” è uno scenario impossibile a verificarsi, stanti la tipologia e le caratteristiche strutturali dell’apparecchio in esame. Sono state quindi analizzate le modalità incidentali che potrebbero verificarsi e risultare in un rilascio di gas dal gasometro, nelle condizioni

ed ipotesi che sono di seguito richiamate, e che costituiscono la base delle ipotesi dello scenario analizzato nell'ambito degli approfondimenti oggetto della presente relazione.

Le modalità di rilascio, e quindi le ipotesi caratteristiche dello scenario incidentale sono:

- 1) Rottura totale della membrana, con rilascio di gas all'interno del duomo del gasometro;
- 2) All'istante della rottura si avrà la fuoriuscita immediata, all'interno del duomo del gasometro, della massa di gas associata alla differenza fra pressione di esercizio gasometro (230 mm c.a.) e pressione atmosferica;
- 3) Per effetto della discesa del pistone (non più bilanciato dalla pressione interna del gas nel gasometro) il gas verrà spinto verso l'alto passando dal volume interno al mantello sotto il pistone al volume sopra il pistone, sempre all'interno del duomo del gasometro, con transitorio ipotizzabile in un tempo di 1 minuto;
- 4) Per effetto dell'azione di confinamento esercitata nella zona superiore dalla copertura e dal guscio di protezione laterale in lamiera, nonché della densità del gas che è superiore a quella dell'aria, il gas, parzialmente miscelatosi con l'atmosfera del duomo, inizierà a ridiscendere e stratificare verso il basso, restando in gran parte all'interno del mantello ed in parte fuoriuscendo in atmosfera, essenzialmente attraverso l'intercapedine fra mantello e guscio di protezione superiore, a quota +32 m.

Le modalità di rilascio sopra schematizzate, possono essere associate ad uno scenario incidentale aventi le seguenti caratteristiche:

- a) cedimento della membrana e blocco del gasometro;
- b) rilascio immediato in atmosfera, da quota +32 m, di circa 1000 kg di gas (per effetto dell'espansione fino a pressione atmosferica);
- c) rilascio semicontinuo e dispersione (in condizioni meteorologiche "D5" e "F2"), da quota +32 m, di una portata di gas tale da risultare, dopo 30 s. alla fuoriuscita in atmosfera di una massa complessiva di gas pari al 50% della massa totale restante nel gasometro (sono stati effettuati calcoli parametrici variando la durata del rilascio semicontinuo con tempi compresi fra 0,5, 1 ÷ 5 minuti);
- d) valutazione del carico tossico risultante dalla combinazione degli effetti legati alla dispersione del puff istantaneo (1000 kg) ed alla dispersione della nube formatasi a seguito del rilascio semicontinuo.

Valutazione dei quantitativi. Nella fase iniziale dello scenario sopradescritto, per effetto della differenza di pressione fra interno (pressione d'esercizio, 230 mm c.a.) ed esterno (pressione atmosferica), la massa che fuoriuscirebbe immediatamente sarebbe quella risultante dall'espansione fino alla pressione atmosferica del contenuto del gasometro. Trascurando la miscelazione con l'aria contenuta nel duomo, la massa che immediatamente fuoriuscirebbe sarebbe data da:

$$p_{ese} * V_{max.} = p_{atm} * (V_{max.} + \Delta V) \quad \text{da cui}$$

$$p_{ese} / p_{atm} * V_{max.} = V_{max.} + \Delta V \quad \text{da cui}$$

$$(p_{ese} / p_{atm} - 1) * V_{max.} = \Delta V \quad \text{e}$$

$$\Delta M_{CO} = \Delta V * C_{\%CO} * \rho_{CO} \quad \text{sostituendo i valori}$$

$$\Delta V = (102300 / 100000 - 1) * 34653 = 797 \text{ m}^3 \quad \text{da cui}$$

$$\Delta M_{CO} = 797 * 0,57 * 1,17 \cong 532 \text{ kg}$$

Considerando 1000 kg di massa di CO immediatamente rilasciata (praticamente il doppio di quella calcolata, e trascurando i fenomeni di miscelazione con l'aria del duomo del gasometro), sempre in condizioni conservative, per la valutazione degli effetti legati al rilascio nella fase successiva a quella iniziale, poiché la massa max. nel gasometro è di 23110 kg di CO, si ipotizza il rilascio, nel corso dei successivi 30 s di una portata pari a:

$$(23110 - 1000) / 2 / 30 = 368.5 \text{ kg/s di CO (per 30 s in totale)}$$

Essendo state ridefinite le modalità di rilascio, si riporta di seguito un aggiornamento della valutazione delle conseguenze per le possibili evoluzioni (UVCE, ...).

2.6.1 Valutazione delle conseguenze in caso di dispersione senza innesco

Lo scenario di riferimento è quello denominato nel rapporto di sicurezza RT23 (*Dispersione di nube gas LD fuoriuscita dal gasometro LDG*). Gli effetti dovuti alla tossicità del gas sono stati valutati attraverso una serie di calcoli parametrici, variando il tempo di discesa del pistone e quindi di svuotamento del gasometro (calcoli effettuati in ½, 1, 2, 3, 4, 5 minuti). I calcoli sono stati effettuati nelle seguenti condizioni di dispersione: classe di stabilità F e velocità del vento 2 m/s (F2), nonché con classe di stabilità D e velocità del vento 5 m/s (D5).

In Tabella 6 e 7 sono riportati i valori del carico tossico calcolati nel caso in cui il rilascio semicontinuo si abbia in 30 s, con condizioni di dispersione D5 e F2 rispettivamente. I risultati dei calcoli effettuati con condizioni "D5" evidenziano, rispetto agli analoghi effettuati in condizioni "F2" che la maggiore velocità del vento è efficace nel favorire la dispersione rapida della nube, portando a valori del carico tossico nettamente inferiori a quelli ottenuti in condizioni "F2".

L'esame dei risultati relativi alle simulazioni effettuate con il codice EFFECTS 2.1, in condizioni di dispersione "F2", evidenzia che all'aumentare del tempo di rilascio del gas in atmosfera, l'effetto dispersivo è progressivamente più efficace nel ridurre l'entità del carico tossico complessivo previsto in ogni punto. In ogni caso, anche considerando il caso con minor tempo di fuoriuscita (30 s) non si hanno mai valori del carico tossico, durante l'evoluzione della nube, tali da comportare il superamento di nessuna delle soglie di danno (soglia LC₅₀ e soglia IDLH).

Distanza lungo l'asse longitudinale della nube [m]	Concentrazione max. raggiunta C _{MAX} [mg/m ³]	t _{MAX} Istante a cui si ha C _{MAX} [s]	t _A Istante di "arrivo" nube (C = 1% C _{MAX}) [s]	t _F Istante di "fine" nube (C = 1% C _{MAX}) [s]	t _T Tempo di transito (t _F - t _A) [s]	Carico tossico C _{MAX} x t _T [mg/m ³ s]
200	21410	58	32	91	59	736595
400	25320	95	62	147	85	1266522
600	14780	137	91	209	118	1014984
800	8492	163	118	266	148	734113
1000	5529	202	147	326	179	575340
1200	3759	241	174	386	212	461854
1400	2662	279	207	442	235	364057
1600	1954	318	235	501	266	302122
1800	1477	356	264	572	308	263098
2000	1145	395	293	633	340	225010

Nota: soglia IDLH per carico tossico: 2527200 mg/m³ s

Tabella 6: risultati valutazione carico tossico per scenario dispersione nube tossica a seguito rilascio gas da gasometro LD (quota +32 m, puff istantaneo di 1000 kg di CO, rilascio semicontinuo di 11055 kg di CO in 30 sec., condizioni meteorologiche D5).

Distanza lungo l'asse longitudinale della nube [m]	Concentrazione max. raggiunta C_{MAX} [mg/m ³]	t_{MAX} Istante a cui si ha C_{MAX} [s]	t_A Istante di "arrivo" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_F Istante di "fine" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_T Tempo di transito ($t_F - t_A$) [s]	Carico tossico $C_{MAX} \times t_T$ [mg/m ³ s]
200	0	0	0	0	0	0
400	918	238	164	384	220	106187
600	3375	328	234	532	298	535200
800	4934	434	297	692	395	1041675
1000	5250	540	367	833	466	1325854
1200	5144	587	447	986	539	1502769
1400	4775	684	508	1136	628	1620679
1600	4281	780	573	1286	713	1647627
1800	3777	876	654	1438	784	1598772
2000	3309	973	725	1593	868	1549709
2200	2894	1069	796	1748	952	1485644
2400	2534	1165	867	1903	1036	1412964
2600	2225	1262	939	2017	1078	1295875
2800	1961	1358	1010	2169	1159	1225943
3000	1734	1455	1081	2321	1240	1161440

Nota: soglia IDLH per carico tossico: 2527200 mg/m³ s

Tabella 7: risultati valutazione carico tossico per scenario dispersione nube tossica a seguito rilascio gas da gasometro LD (quota +32 m, puff istantaneo di 1000 kg di CO, rilascio semicontinuo di 11055 kg di CO in 30 sec., condizioni meteorologiche F2).

I risultati delle simulazioni effettuate, nelle due condizioni di dispersione, ed al variare del tempo ipotizzato di fuoriuscita in atmosfera, sono riportati, in forma sintetica nelle Tabelle in Allegato 3.

2.6.2 Valutazione delle conseguenze in caso di UVCE con innesco immediato

Lo scenario di riferimento è quello denominato nel rapporto di sicurezza RT20 (*Esplosione istantanea di nube gas LD fuoriuscita dal gasometro LDG*).

Le ipotesi di calcolo sono di seguito richiamate:

- l'intera massa fuoriuscita dal gasometro (rilascio istantaneo di 1000 kg + rilascio semicontinuo del 50% del contenuto in 30 s) è nel campo di infiammabilità;
- la nube trova un innesco immediato nell'area adiacente al gasometro subito dopo la sua fuoriuscita;
- si tiene conto della presenza in composizione dell'idrogeno maggiorando al 60% la percentuale di CO, per un totale di 12690 kg di CO equivalente).

In tali condizioni, le simulazioni effettuate con il codice EFFECTS 1.0 del TNO permettono di valutare le seguenti distanze di danneggiamento in termini di sovrappressione:

Soglia danni gravi (0,3 bar)	: ---
Soglia danni moderati (0,1 bar)	: 66 m
Soglia rottura vetri (0,03 bar)	: 221 m

2.6.3 Valutazione delle conseguenze in caso di UVCE con innesco ritardato

Lo scenario di riferimento nel rapporto di sicurezza è quello denominato RT22 (*Dispersione di nube gas LD fuoriuscita dal gasometro e successiva esplosione*).

Le ipotesi di calcolo sono quelle dello scenario precedente, ma con innesco ritardato, tenendo conto della diluizione della nube. La massa esplosiva iniziale considerata è di 12690 kg di CO, ovvero quella legata al puff ed al rilascio semicontinuo del 50% della massa del gasometro in 30 s.

Lo scenario è stato valutato nelle condizioni atmosferiche: velocità del vento 2 m/s e stabilità "F"; velocità 5 m/s e stabilità "D". Per ciascun istante temporale considerato è stata valutata l'estensione della nube in termini di distanza dalla sorgente (il gasometro) ed i raggi di danno che un'eventuale esplosione della nube stessa genererebbero. La simulazione dello scenario è stata fatta in due fasi:

1. simulazione del processo di dispersione della nube legato al suo spostamento, con individuazione della massa di gas ancora compresa nell'intervallo di esplosività del CO, nonostante l'effetto di diluizione realizzato dal fenomeno di dispersione atmosferica.
2. simulazione dell'esplosione della nube, tenendo conto degli effetti di diluizione suddetti, nel caso in cui, spostatasi dalla verticale del gasometro, questa trovi innesco altrove.

I risultati sono sintetizzati nella seguente Tabella 8.

Condizioni dispersione atmosferica	Secondi da inizio rilascio	Massa esplosiva [kg]	Max dist. LEL [m]	Min dist. LEL [m]	Max dist. UEL [m]	Min dist. UEL [m]	Danno	Dist. dal centro della nube		
								Min [m]	Max	
Velocità vento: 2 m/s Classe F	10	333	25	0	22	0	0.3 bar	//	//	
							0.1 bar	7	20	
							0.03 bar	22	66	
	30	1940	70	3	61	3	0.3 bar	//	//	
							0.1 bar	12	35	
							0.03 bar	39	118	
	60	7000	135	48	107	59	0.3 bar	//	//	
							0.1 bar	18	54	
							0.03 bar	60	181	
	120	7026	157	24	0	0	0.3 bar	//	//	
							0.1 bar	18	54	
							0.03 bar	61	182	
180	2186	370	284	0	0	0.3 bar	//	//		
						0.1 bar	12	37		
						0.03 bar	41	123		
210	247	409	364	0	0	0.3 bar	//	//		
						0.1 bar	6	18		
						0.03 bar	20	59		
220	0	0	0	0	0	0	//	//	//	
Velocità vento: 5 m/s Classe D	10	2295	51	1	20	1	0.3 bar	//	//	
							0.1 bar	13	38	
							0.03 bar	42	125	
	30	4404	111	0	20	1	0.3 bar	//	//	
							0.1 bar	16	47	
							0.03 bar	52	155	
	45	352	114	79	6	0	0.3 bar	//	//	
							0.1 bar	7	20	
							0.03 bar	22	67	
	50	0	0	0	0	0	0	//	//	//

Tabella 8: risultati delle conseguenze per dispersione e successiva esplosione della nube.

Dall'esame dei risultati ottenuti, le condizioni per cui sono attese conseguenze a maggiore distanza dal gasometro sono quelle in cui, con condizioni di dispersione F2, si dovesse avere un innesco della nube dopo 180 s dall'inizio del rilascio (attesa rottura vetri fino a circa 490 m dal gasometro). In termini di estensione dell'area di danneggiamento, le condizioni peggiori si avrebbero in caso di innesco dopo 120 s.

I risultati ottenuti sono in ogni caso conservativi, in quanto avendo scelto per le simulazioni come sostanza di riferimento il CO (LEL 12.5% vol., UEL 74% vol.), tenendo conto del fatto che per il gas LD si ha un campo di esplosività più ristretto (LEL 18% vol. e UEL 74% vol.), la massa esplosiva calcolata è sempre superiore rispetto a quella reale.

2.7 Analisi scenari incidentali con rilascio di gas dal gasometro COK

Considerazioni analoghe a quelle già illustrate per il gasometro LD al paragrafo §2.3, portano ad escludere la possibilità di accadimento di un cedimento catastrofico nei termini rappresentati nel Rapporto di sicurezza NT AT056(03), dicembre 2003 e successivamente ripresi nella nota integrativa NT AT 240(05) Rev. 1, dicembre 2005.

Occorre a tal punto evidenziare che, l'ipotesi di rilascio istantaneo in atmosfera dell'intero contenuto del gasometro (a quota +17 m) corrisponderebbe all'istantanea "scomparsa del mantello", e pur rappresentando l'involuppo peggiore di qualsiasi scenario di cedimento ipotizzabile, di fatto non è compatibile con l'effettiva consistenza strutturale dell'impianto, e non rappresenta uno scenario applicabile alla tipologia di gasometro in esame.

Il gasometro gas di cokeria è del tipo a membrana con tenuta ad olio, ed è costituito da:

- a) mantello metallico esterno;
- b) pistone metallico con annesso sistema di bilanciamento;
- c) membrana in tela con sistema di tenuta a bagno d'olio fra mantello e pistone.

Per ragioni analoghe a quanto già visto per il gasometro gas d'acciaieria, è da escludere la rottura del mantello esterno. Ne consegue che un cedimento catastrofico si potrebbe verificare solo in caso di rottura catastrofica della membrana.

In ogni caso, la massa di gas che fuoriuscirebbe immediatamente sarebbe quella risultante dall'espansione fino alla pressione atmosferica del contenuto del gasometro, a cui seguirebbe il progressivo svuotamento del gasometro con discesa del pistone fino a quota 0. Il meccanismo di rilascio, è però caratterizzato da modalità molto diverse da quelle di "rilascio immediato dell'intera massa da quota +17 m". Infatti:

- a) Anche ipotizzando la rottura totale della membrana, il rilascio di gas si ha all'interno del duomo del gasometro;
- b) All'istante della rottura si avrà la fuoriuscita immediata, all'interno del duomo del gasometro, della massa di gas associata all'espansione fino alla pressione atmosferica, quindi, per effetto della discesa del pistone, il gas verrà spinto verso l'alto passando dal volume interno al mantello sotto il pistone al volume sopra il pistone, sempre all'interno del duomo del gasometro;
- c) Il gas, più leggero dell'aria, si miscela con l'atmosfera del duomo, e inizierà a fluire verso l'esterno attraverso le aperture finestrate a quota +42 m (n. 16 aperture ciascuna avente superficie di 0,3 m², normalmente protette da vetro, che si possono ipotizzare essere rotti), restando in parte all'interno del mantello ed in parte fuoriuscendo in atmosfera, essenzialmente attraverso tali aperture poste a quota +42 m.

- d) Le modalità di rilascio sopra identificate, possono essere conservativamente associate ad un rilascio immediato in atmosfera di circa 100 kg di gas (per effetto dell'espansione fino a pressione atmosferica), oltre ad una progressiva fuoriuscita di gas, in un tempo dell'ordine di alcuni minuti, per un complessivo pari al 100% della massa totale. Il rilascio è essenzialmente ipotizzabile dalle finestrate esistenti a quota +42 m.

Sulla base delle considerazioni precedenti, si può quindi concludere che lo scenario incidentale inserito nel rapporto di sicurezza come peggior involuppo ipotizzabile e relativo ad un "cedimento catastrofico del gasometro gas di cokeria con rilascio istantaneo in atmosfera dell'intero contenuto di gas del gasometro" è uno scenario non rappresentativo della realtà impiantistica, stanti le caratteristiche strutturali dell'apparecchio.

Frequenza di accadimento. In relazione al gasometro gas COK ed alle frequenze di accadimento dei relativi scenari incidentali, in Allegato 2/B è riportato l'albero dei guasti predisposto per il top event rilascio di gas dal gasometro gas COK (già incluso in Allegato C1.5.1 al Rapporto di sicurezza NT AT056(03), dicembre 2003), da cui si evince una frequenza di accadimento complessiva pari a $9,78 \cdot 10^{-4}$. Il valore suddetto non è rappresentativo del cedimento catastrofico della membrana, laddove nell'ambito dello stesso albero viene preso a riferimento un valore di $1.0 \cdot 10^{-5}$ per la rottura (non catastrofica) della membrana, finalizzato a valutare le condizioni di non tenuta del pistone per insufficienza olio. Nuovamente, con riferimento alla Tabella 3, si può assumere il valore di frequenza previsto per collasso di un serbatoio atmosferico, ovvero $2.0 \cdot 10^{-6}$.

Applicando l'albero degli eventi già riportato in §2.5 (cfr. Figura 6), a partire da tale valore si ricavano quindi frequenze di accadimento analoghe a quelle già valutate per l'evoluzione del cedimento catastrofico del gasometro gas LD.

Valutazione dei quantitativi. Nella fase iniziale dello scenario sopradescritto, per effetto della differenza di pressione fra interno (pressione d'esercizio gasometro, 400 mm c.a.) ed esterno (pressione atmosferica), la massa che fuoriuscirebbe immediatamente, prima nel duomo del gasometro e poi in esterno attraverso le finestrate a quota +42 m, sarebbe quella risultante dall'espansione fino alla pressione atmosferica del contenuto del gasometro. Trascurando la miscelazione con l'aria contenuta nel duomo, la massa che immediatamente fuoriuscirebbe sarebbe data da:

$$p_{ese} * V_{max.} = p_{atm} * (V_{max.} + \Delta V) \quad \text{da cui}$$

$$p_{ese} / p_{atm} * V_{max.} = V_{max.} + \Delta V \quad \text{da cui}$$

$$(p_{ese} / p_{atm} - 1) * V_{max.} = \Delta V \quad \text{e}$$

$$\Delta M_{H_2} = \Delta V * C_{\%H_2} * \rho_{H_2} \quad \text{sostituendo i valori}$$

$$\Delta V = (104000 / 100000 - 1) * 20000 = 800 \text{ m}^3 \quad \text{da cui}$$

$$\Delta M_{H_2} = 800 * 0,75 * 0,08 \cong 50 \text{ kg}$$

Considerando 100 kg di massa di H₂ immediatamente rilasciata (praticamente il doppio di quella calcolata, e trascurando i fenomeni di miscelazione con l'aria del duomo del gasometro), per la valutazione degli effetti legati al rilascio nella fase successiva a quella iniziale, il rilascio all'esterno del gasometro, sempre attraverso le suddette aperture, è legato al galleggiamento del gas rispetto all'aria.

Per la valutazione del tempo di fuoriuscita del gas dal gasometro, ipotizzando una velocità attraverso la sezione di uscita di ciascuna finestra dell'ordine di $2\div 3$ m/s, avendo ciascuna delle 16 aperture una superficie di $0,3\text{ m}^2$, si ricava una portata pari a:

$$Q_{\text{rilascio}} = S \times v_{\text{out}} = 16 \times 0,3 \times 2 = 9,6\text{ m}^3/\text{s} \text{ (gas COK)}$$

Il tempo di svuotamento totale dell'apparecchio, trascurando la miscelazione con l'atmosfera interna del duomo, sarà quindi dato da:

$$(20000 - 1600) / 9,6 \cong 1900\text{ s}$$

2.7.1 Valutazione delle conseguenze in caso di UVCE

In caso di innesco ritardato, lo scenario di riferimento nel rapporto di sicurezza è quello denominato RT13 (*Dispersione di nube gas COK fuoriuscita dal gasometro e successiva esplosione*).

Le ipotesi di calcolo sono di seguito richiamate:

- rottura catastrofica della membrana, con fuoriuscita istantanea di un puff da 100 kg di H_2 nel duomo del gasometro e successivo passaggio del gas sotto il volume del pistone nella zona soprastante, sempre all'interno del duomo, in tempi dell'ordine di qualche minuto;
- fuoriuscita del gas in atmosfera dalle finestrate (a quota +42 m), con modalità di rilascio date da un puff iniziale di 100 kg di H_2 e di un successivo rilascio semicontinuo, dispersione atmosferica della nube ed innesco ritardato della frazione nel campo di infiammabilità;
- per la valutazione delle conseguenze si tiene conto della composizione effettiva del gas COK, prendendo come sostanza di riferimento l'idrogeno e considerando una concentrazione del 75% (invece che l'effettivo valore del 63,5% vol.).

La massa esplosiva iniziale considerata è di 1200 kg di H_2 , ovvero quella legata al puff ed ad un rilascio semicontinuo della massa restante del gasometro in ~ 1900 s.

Lo scenario è stato valutato nelle condizioni atmosferiche F2 e D5, ovvero: velocità del vento 2 m/s e stabilità "F", velocità 5 m/s e stabilità "D". Per ciascuna condizione, a vari step temporali, è stata valutata l'estensione della nube in termini di distanza dalla sorgente (il gasometro) e di raggi di danno che un'eventuale esplosione della nube stessa genererebbero.

La simulazione dello scenario è stata eseguita in due fasi:

- simulazione del processo di dispersione della nube legato al suo spostamento, con individuazione della massa di gas COK ancora compresa nell'intervallo di esplosività del gas ($5\div 33\%$ vol.).
- simulazione dell'esplosione della nube (gas di riferimento per la valutazione delle conseguenze H_2 , con concentrazione pari al 75% vol.), tenendo conto degli effetti di diluizione suddetti, nel caso in cui, spostatasi dalla verticale del gasometro, questa trovi innesco altrove.

In relazione alla dispersione del gas, essendo stata verificata l'inadeguatezza del modello di dispersione del codice EFFECTS specificatamente per l'idrogeno (il modello non tiene adeguatamente conto della differenza di densità fra idrogeno ed aria, e calcola un'ampiezza verticale della nube fortemente ridotta), è stato considerato un gas equivalente al gas COK, avente campo di infiammabilità $5\div 33\%$ vol., e le altre caratteristiche, inclusa la densità, analoghe a quelle del metano (in merito alla densità, il valore considerato sovrastima di circa il 40% il valore effettivo del gas COK, che ha densità media di $0,484\text{ kg/m}^3$, a favore di una maggiore persistenza del gas).

A partire dai valori di massa di gas COK all'interno del campo di infiammabilità così stimati, dalla composizione del gas è stata valutata la massa di idrogeno corrispondente, maggiorata per tenere conto della presenza degli altri infiammabili. I risultati sono sintetizzati nella seguente Tabella 9. La massa rilasciata per effetto del puff iniziale è sovrapposta al rilascio semicontinuo, ma non fornisce contributo già oltre il primo minuto.

Condizioni dispersione atmosferica	Secondi da inizio rilascio	M gas cok ⁽¹⁾ /M H ₂ [kg]	Max dist. LEL [m]	Min dist. LEL [m]	Max dist. UEL [m]	Min dist. UEL [m]	Danno	Dist. dal centro della nube	
								Min [m]	Max
Velocità vento: 2 m/s Classe F	10	54 7	28	12	20	0	0.3 bar	11	30
							0.1 bar	32	63
							0.03 bar	108	174
	30	240 30	61	1	20	0	0.3 bar	18	48
							0.1 bar	53	103
							0.03 bar	175	283
	120	313 39	136	1	20	1	0.3 bar	19	53
							0.1 bar	57	112
							0.03 bar	191	309
	240	309 38	135	3	20	3	0.3 bar	19	52
							0.1 bar	57	111
							0.03 bar	189	306
	480	298 37	133	1	20	1	0.3 bar	19	52
							0.1 bar	56	110
							0.03 bar	188	303
	720	307 38	135	0	19	0	0.3 bar	19	52
							0.1 bar	57	111
							0.03 bar	189	306
	960	298 37	133	1	20	1	0.3 bar	19	52
							0.1 bar	56	110
							0.03 bar	188	303
	1200	306 38	130	1	19	1	0.3 bar	19	52
							0.1 bar	57	111
							0.03 bar	189	306
	1440	301 37	135	1	19	1	0.3 bar	19	52
							0.1 bar	56	110
							0.03 bar	188	303
	1680	299 37	134	2	19	2	0.3 bar	19	52
							0.1 bar	56	110
							0.03 bar	188	303
1920	293 36	132	1	19	1	0.3 bar	19	51	
						0.1 bar	56	109	
						0.03 bar	186	300	
1940	33 4	132	83	0	0	0.3 bar	9	25	
						0.1 bar	27	53	
						0.03 bar	89	144	
1950	0	0	0	0	0	0	//	//	//

(1): Viene riportata la massa di gas COK all'interno dei limiti di infiammabilità, e la massa di idrogeno equivalente associata, a fronte della quale si valutano i raggi di danno.

Tabella 9: risultati delle potenziali conseguenze per dispersione e successiva esplosione della nube.

Condizioni dispersione atmosferica	Secondi da inizio rilascio	M gas cok ⁽¹⁾ /M H ₂ [kg]	Max dist. LEL [m]	Min dist. LEL [m]	Max dist. UEL [m]	Min dist. UEL [m]	Danno	Dist. dal centro della nube	
								Min [m]	Max
Velocità vento: 5 m/s Classe D	10	55 7	58	1	0	0	0.3 bar	11	30
							0.1 bar	32	63
							0.03 bar	108	174
	30	25 3	22	1	0	0	0.3 bar	8	22
							0.1 bar	24	48
							0.03 bar	81	131
	120 240 480	26 3	22	0	0	0	0.3 bar	8	22
							0.1 bar	24	48
							0.03 bar	81	131
	720	26 3	21	1	0	0	0.3 bar	8	22
							0.1 bar	24	48
							0.03 bar	81	131
	960	27 3	21	1	0	0	0.3 bar	8	22
							0.1 bar	24	48
							0.03 bar	81	131
	1200	27 3	22	1	0	0	0.3 bar	8	22
							0.1 bar	24	48
							0.03 bar	81	131
1440	28 3	22	1	0	0	0.3 bar	8	22	
						0.1 bar	24	48	
						0.03 bar	81	131	
1680	27 3	22	1	0	0	0.3 bar	8	22	
						0.1 bar	24	48	
						0.03 bar	81	131	
1900	27 3	22	1	0	0	0.3 bar	8	22	
						0.1 bar	24	48	
						0.03 bar	81	131	
1910	0	0	0	0	0	0	//	//	//

(1): Viene riportata la massa di gas COK all'interno dei limiti di infiammabilità, e la massa di idrogeno equivalente associata, a fronte della quale si valutano i raggi di danno.

Tabella 9: risultati delle potenziali conseguenze per dispersione e successiva esplosione della nube (continua).

2.8 Aggiornamento dati riassuntivi top event

In Allegato 4 è riportato lo stralcio della Tabella 3 “prospetto riassuntivo dei top event e delle relative conseguenze”, già inclusa nella relazione NT AT 240(05) Rev. 1, relativamente agli scenari che hanno subito modifiche per effetto della presente analisi.

3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nell'ambito delle attività di supporto all'istruttoria del rapporto di sicurezza ex art. 8 D. Lgs. 334/99, è stata presentata una relazione (NT AT 240(05) Rev. 1, dicembre 2005), che fra le altre informazioni e chiarimenti, include lo studio degli effetti legati alla rottura catastrofica del gasometro gas d'acciaieria, che includeva l'esistenza di una zona con superamento della soglia IDLH (danni reversibili).

L'attività di verifica delle informazioni che concorrono allo scenario ha permesso di verificare che le condizioni riportate nella suddetta NT AT 240(05) Rev. 1 sono estremamente conservative e considerabili come peggior involuppo di uno scenario che non si può verificare, stante la tipologia e le caratteristiche strutturali dell'apparecchio in esame. In aggiunta a ciò, le frequenze indicate nella NT AT 240(05) Rev. 1 non sono rappresentative di un cedimento catastrofico.

Le analisi hanno permesso di identificare, sulla base dell'analisi storica, della tipologia di apparecchio e delle caratteristiche di funzionamento, le condizioni impiantistiche che potrebbero portare al verificarsi di un "cedimento catastrofico" credibile, tracciando le relative modalità di rilascio. Le simulazioni relative alle suddette condizioni hanno permesso di evidenziare che per le condizioni che possono portare ad una fuoriuscita significativa di gas sono essenzialmente legate alla rottura della membrana. In ogni caso, le modalità di rilascio sono caratterizzate da:

- a) Rottura totale della membrana, con rilascio di gas all'interno del duomo del gasometro;
- b) All'istante della rottura si avrà la fuoriuscita immediata, all'interno del duomo del gasometro, della massa di gas associata alla differenza fra pressione di esercizio gasometro (230 mm c.a.) e pressione atmosferica;
- c) Per effetto della discesa del pistone (non più bilanciato dalla pressione interna del gas nel gasometro) il gas verrà spinto verso l'alto passando dal volume interno al mantello sotto il pistone al volume sopra il pistone, sempre all'interno del duomo del gasometro, con transitorio ipotizzabile in un tempo dell'ordine di qualche minuto;
- d) Per effetto dell'azione di confinamento esercitata nella zona superiore dalla copertura e dal guscio di protezione laterale in lamiera, nonché della densità del gas che è superiore a quella dell'aria, il gas, parzialmente miscelatosi con l'atmosfera del duomo, inizierà a ridiscendere e stratificare verso il basso, restando in gran parte all'interno del mantello ed in parte fuoriuscendo in atmosfera, essenzialmente attraverso l'intercapedine fra mantello e guscio di protezione superiore, a quota +32 m.

Le condizioni di rilascio sono tali che, ipotizzare la fuoriuscita complessiva del 50% della massa del gasometro rappresenta comunque un'ipotesi ampiamente conservativa. Le simulazioni effettuate per le evoluzioni del suddetto scenario con danni da sovrappressione (UVCE, dispersione con UVCE ritardata) hanno permesso di valutare le distanze di danneggiamento nelle varie condizioni, mentre nel caso di dispersione senza innesco è stato verificato che non sono mai superate le soglie di danno per effetti tossici.

Analoghi approfondimenti condotti sul gasometro gas di cokeria, hanno permesso di aggiornare le frequenze di accadimento degli scenari legati al suo cedimento catastrofico, oltre che modalità effettivamente rappresentative di un potenziale rilascio di gas dal gasometro, a fronte delle quali sono state rivalutate le condizioni di innesco ritardato a seguito di dispersione della nube.

Allegato 1: Scheda di sicurezza gas d'acciaieria

Lucchini spa Stabilimento di PIOMBINO	SCHEDA DI SICUREZZA GAS di ACCIAIERIA pagina 1 di 7	data compilazione 01.10.2003
		Rev.0 01.10.2003

1. Identificazione del prodotto e della società

<i>Denominazione</i>	GAS DI ACCIAIERIA, GAS LD
<i>Tipo di utilizzo:</i>	Combustibile gassoso
<i>Identificazione della società</i>	LUCCHINI S.p.A. STABILIMENTO DI PIOMBINO.
<i>Indirizzo</i>	VIALE DELLA RESISTENZA, 2 - PIOMBINO (LI)
<i>Numero telefonico</i>	0565/64111

2. Composizione: PREPARATO

2.1 Caratterizzazione chimica: Miscela gassosa ottenuta come sottoprodotto dalla reazione chimica, all'interno dei convertitori, per la produzione di acciaio a partire da ghisa liquida.

2.2: Componenti che contribuiscono al pericolo Di seguito è riportato l'elenco delle sostanze che compongono il gas LDG (valori max, % in volume) e loro classificazione:

Sostanza	Nome	% in volume	CAS number	CEE index number	Classificazione 67/548/CEE e successivi adeguamenti (2001/59/CEE) ^(*)
N ₂	Azoto	18.9	-	-	-
CO ^(**)	Monossido di carbonio	57	630-08-0	006-001-00-2	F+; R12 Repr. Cat.1; R61 T; R23-48/23
CO ₂ ^(***)	Biossido di carbonio	19.8	-	-	-
H ₂	Idrogeno	3.9	1333-74-0	001-001-00-9	F+; R12
O ₂	Ossigeno	0.2	74-84-0	601-002-00-X	O; R8
Ar	Argon	0.2	-	-	-

(*) Il testo completo delle frasi di rischio (R) è riportato nella sezione 16 della scheda.

(**) valore massimo ottenibile durante il processo di soffiaggio.

(***) La concentrazione aumenta al diluire del tenore di CO.

<i>Lucchini spa</i> Stabilimento di PIOMBINO	SCHEDA DI SICUREZZA GAS di ACCIAIERIA pagina 2 di 7	data compilazione 01.10.2003
		Rev.0 01.10.2003

3. **Identificazione dei pericoli:**

Il preparato "gas d'acciaieria " è classificato pericoloso ai sensi delle disposizioni di cui alle direttive 67/548/CEE e 1999/45/CEE e successive modifiche ed adeguamenti. Il preparato pertanto richiede una scheda dati di sicurezza conforme alle disposizioni della direttiva 91/155/CE e successive modifiche. Eventuali informazioni aggiuntive riguardanti i rischi per la salute e/o l'ambiente sono riportate alle sez. 11 e12 della presente scheda.

3.1 *Classificazione del preparato:*

F+, T

Frasi: R12; R23; R61

3.2 *Identificazione dei pericoli:*

Il prodotto, in base alle sue caratteristiche chimico-fisiche e di composizione è da considerarsi altamente infiammabile e tossico per inalazione.

4. **Misure di primo soccorso:**

4.1 *Contatto con gli occhi:*

Non pertinente

4.2 *Contatto con la pelle:*

Non pertinente

4.3 *Ingestione*

Non pertinente

4.4 *Inalazione*

Allontanare l'infortunato dalla zona inquinata

Somministrare ossigeno ed effettuare la respirazione artificiale se necessario

Chiamare il medico

<p><i>Lucchini spa</i></p> <p>Stabilimento di PIOMBINO</p>	<p>SCHEDA DI SICUREZZA</p> <p>GAS di ACCIAIERIA</p> <p>pagina 3 di 7</p>	<p>data compilazione 01.10.2003</p>
		<p>Rev.0 01.10.2003</p>

5. Misure antincendio:

- 5.1 Mezzi di spegnimento: Si possono usare tutti i mezzi estinguenti conosciuti
- Raffreddare le strutture con acqua
- 5.2 Mezzi di estinzione da evitare: Nessuno
- 5.3 Altre informazioni: Brucia in presenza di aria e/o ossigeno, liberando anidride carbonica e notevole calore

-
- 6. Misure in caso di fuoriuscita accidentale:** Rimuovere ogni sorgente di accensione
- Nell'impossibilità di combustione controllata in torcia, favorire la dispersione del gas lontano da fonti di accensione

7. Manipolazione e stoccaggio:

- 7.1 Manipolazione: Indossare i dispositivi di protezione individuale.
- Non manipolare in presenza di fiamme o scintille
- Manipolare in ambienti ben ventilati
- 7.2 Prevenzione incendio ed esplosione: Eliminare le fonti di accensione
- Bonificare ed inertizzare i contenitori prima di ogni intervento sugli stessi
- 7.3 Situazioni di emergenza: in caso di fuoriuscite di gas, indossare l'autorespiratore
-

<i>Lucchini spa</i> Stabilimento di PIOMBINO	SCHEDA DI SICUREZZA GAS di ACCIAIERIA pagina 4 di 7	data compilazione 01.10.2003
		Rev.0 01.10.2003

8. Esposizione / Protezione Personale:

8.1 *Dati tossicologici:* Non sono noti

8.2 *Dispositivi di protezione individuale:*

8.2.1 *Protezione dell'apparato respiratorio* Maschera con filtro per monossido di carbonio, autorespiratore

8.2.2 *Protezioni delle mani:* Guanti

8.2.3 *Protezione degli occhi:* Occhiali antipolvere

8.2.4 *Altre:* Abiti da lavoro

9. proprietà fisiche e chimiche:

9.1 *Aspetto:* Gas

9.2 *Colore:* Incolore

9.3 *Odore::* Inodore

9.4 *Limiti di infiammabilità* (Assunto LSE del CO, valore del preparato non noto)

Inferiore: 18% in volume

Superiore: 74% in volume

9.5 *Temperatura di accensione:* 600° C

<i>Lucchini spa</i> Stabilimento di PIOMBINO	SCHEDA DI SICUREZZA GAS di ACCIAIERIA pagina 5 di 7	data compilazione 01.10.2003
		Rev.0 01.10.2003

10. Stabilità e reattività:

- 10.1 *Decomposizione termica:* Nessuna
- 10.2 *Prodotti di decomposizione pericolosa:* Nessuna
- 10.3 *Reazioni pericolose:* Infiammabile od esplosivo se miscelato con aria, ossigeno
- 10.4 *Altre informazioni:* Nessuna.

11. Informazioni tossicologiche

- 11.1 *Tossicità acuta:* Non sono noti dati specifici sulla tossicità per inalazione, le problematiche sono quelle del monossido di carbonio.
- 11.2 *Altre informazioni:* Nessuna.

12. Informazioni ecologiche

Non sono noti danni all'ambiente provocati dal prodotto

13. Smaltimento

Non scaricare in aree con rischio di formazione di atmosfere esplosive con aria. Il gas deve essere smaltito in opportuna torcia con dispositivo anti-ritorno di fiamma.

Non scaricare dove l'accumulo può essere pericoloso. Contattare il fornitore se si ritengono necessarie istruzioni per l'uso.

<i>Lucchini spa</i> Stabilimento di PIOMBINO	SCHEDA DI SICUREZZA GAS di ACCIAIERIA pagina 6 di 7	data compilazione 01.10.2003
		Rev.0 01.10.2003

14. Informazioni sul trasporto

Trasporto stradale o ferroviario:

Classe ADR/RID: 2, 1TF,

n° ONU: 1953

Etichetta: 2.3+2.1

N° identificazione del pericolo: 263

Denominazione: Gas compresso tossico,
inflammabile n.a.s.

15. Informazioni sulla regolamentazione

15.1 Simbolo di pericolo:

Fiamma "F+" e Teschio "T".

15.2 Frasi di rischio:

R12 Estremamente infiammabile

R23 Tossico per inalazione

R61: Può danneggiare i bambini non ancora nati

S16 Conservare lontano da fiamme e scintille

S23 Non respirare i gas

S36 Usare indumenti protettivi adatti

S43 In caso di incendio usare estintori a polvere o
ad anidride carbonica

15.3 Consigli di prudenza:

<i>Lucchini spa</i> Stabilimento di PIOMBINO	SCHEDA DI SICUREZZA GAS di ACCIAIERIA pagina 7 di 7	data compilazione 01.10.2003
		Rev.0 01.10.2003

16. Altre informazioni:

Le informazioni qui contenute sono date al meglio delle nostre conoscenze al momento dell'emissione di questa scheda di sicurezza e sono conformi alla normativa sulla classificazione ed etichettatura delle sostanze e dei preparati pericolosi.

Si raccomanda coloro i quali ricevono queste informazioni di verificare loro stessi le citate informazioni in relazione alle particolari applicazioni a cui da loro il prodotto viene destinato.

Testo delle frasi di rischio e dei consigli di prudenza utilizzate nella presente scheda:

R8: Può provocare l'accensione di materie combustibili

R12: Estremamente infiammabile

R23: Tossico per inalazione

R61: Può danneggiare i bambini non ancora nati

R48/23: Tossico: pericolo di gravi danni alla salute in caso di esposizione prolungata per inalazione

S16: Conservare lontano da fiamme e scintille

S23: Non respirare i gas

S36: Usare indumenti protettivi adatti

S43: In caso di incendio usare estintori a polvere o ad anidride carbonica

Allegato 2: Alberi di guasto rilascio gas da gasometro

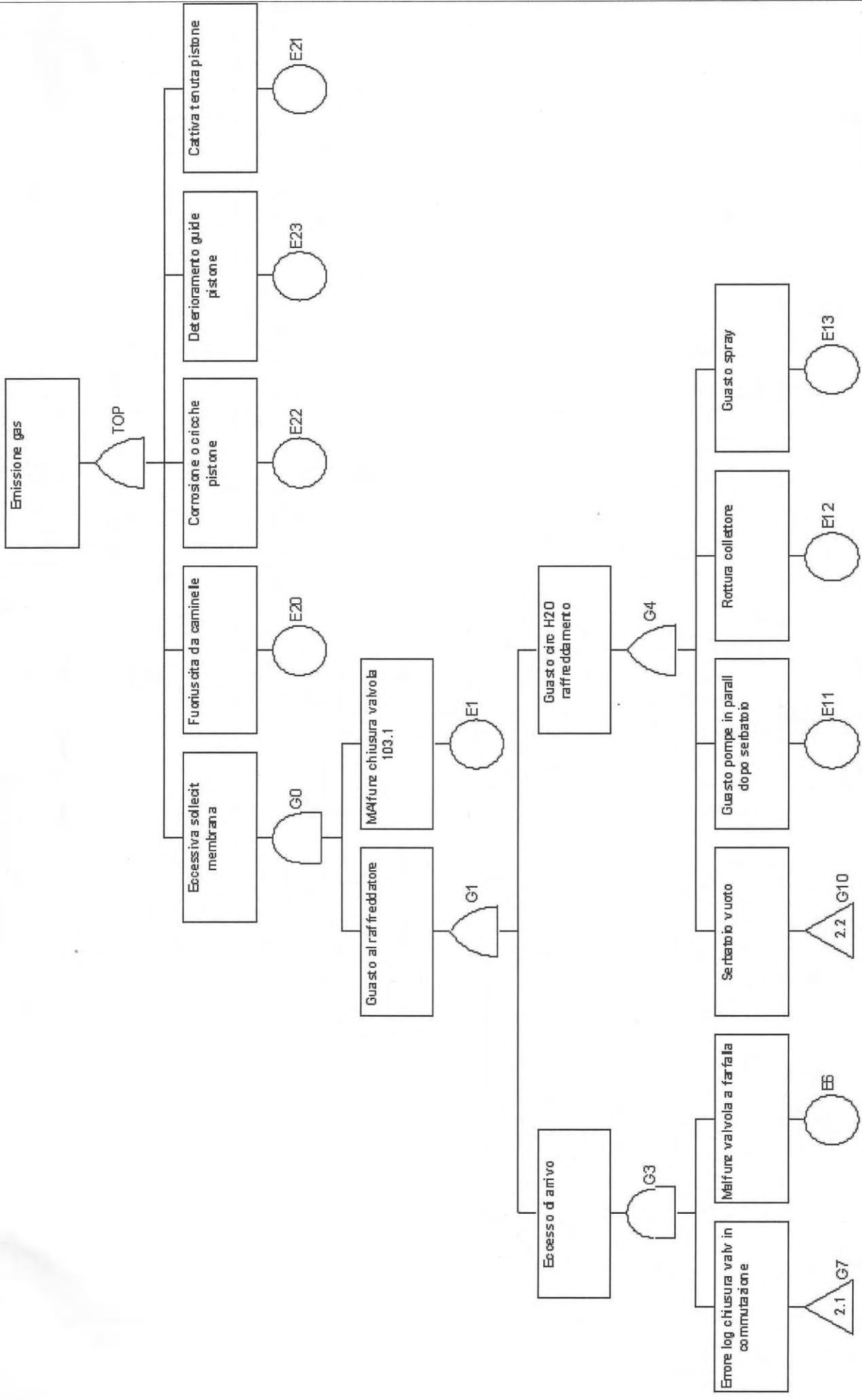
Allegato 2/A: rilascio di gas da gasometro gas LD

Allegato 2/B: rilascio di gas da gasometro gas COK

ASTRA-FTA for Windows: SUMMARY OF INPUT DATA

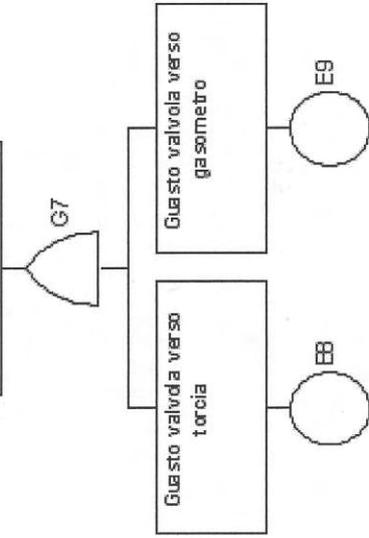
§ 2.3.1 T.E. 21

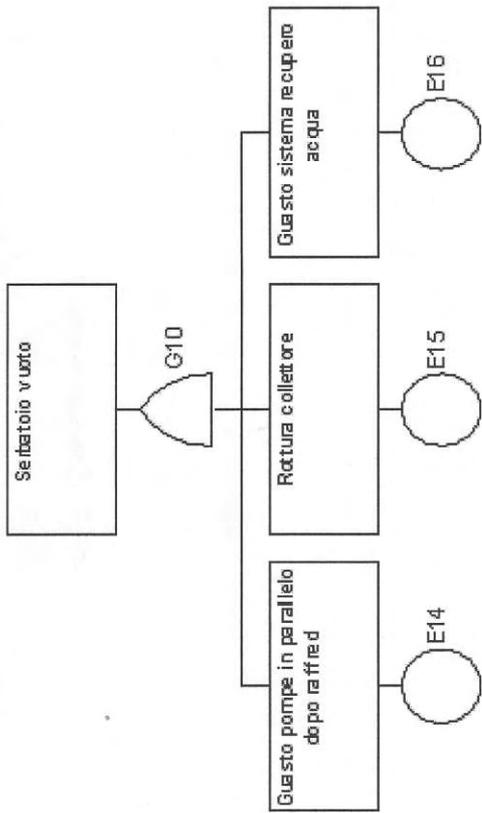
Tree name : GASLDG
Description : Fuoriuscita gas per sollecit membrana
Problem type : quantitative analysis
Number of events : 14
Number of gates : 7
Number of Boundary-Conditions GOOD : 0
Number of Boundary-Conditions FAILED : 0
Logical cutoff : 10
Probabilistic cutoff : 1.000000e-012
Mission time : 8.760000e+003
Truncation error calculation : required
Type of probabilistic analysis : unavailability



Fuoriuscita gas per sollecit membrana

Errore log chiusura valv in
commutazione





FAULT TREE INPUT DESCRIPTION

Gate	Type	Sons	Description
TOP	OR	G0	Emissione gas
G0	AND	G1	Eccessiva sollecit m
G1	OR	G3	Guasto al raffreddat
G3	AND	G7	Eccesso di arrivo
G4	OR	G10	Guasto circ H2O raff
G10	OR	E14	Serbatoio vuoto
G7	OR	E8	Errore log chiusura
		E20	
		E1	
		G4	
		E6	
		E11	
		E15	
		E9	
		E22	
		E12	
		E16	
		E23	
		E13	
		E21	

PRIMARY EVENTS INPUT DATA

Event name	Failure rate	Repair time	Unavailability	Test interval	Description
E1			2.9000E-06		Malfunz chiusura valvola 103.1
E11			2.9000E-05		Guasto pompe in parall dopo serbatoio
E12			1.9000E-05		Rottura collettore
E13			2.6000E-06		Guasto spray
E14			2.9000E-05		Guasto pompe in parallelo dopo raffred
E15			1.0000E-06		Rottura collettore
E16			1.9000E-06		Guasto sistema recupero acqua
E20			3.0000E-05		Fuoriuscita da caminelle
E21			2.0000E-05		Cattiva tenuta pistone
E22			4.0000E-06		Corrosione o cricche pistone
E23			4.0000E-06		Deterioramento guide pistone
E6			1.2000E-06		Malfunz valvola a farfalla
E8			1.2000E-06		Guasto valvola verso torcia
E9			1.2000E-09		Guasto valvola verso gasometro

CROSS-REFERENCE MAP OF EVENTS

Event	Ancestors
E1	G0
E11	G4
E12	G4
E13	G4
E14	G10
E15	G10
E16	G10
E20	TOP
E21	TOP
E22	TOP
E23	TOP
E6	G3
E8	G7
E9	G7

CROSS-REFERENCE MAP OF GATES

Gate	Ancestors
G0	TOP
G1	G0
G10	G4
G3	G1
G4	G1
G7	G3
TOP	

UNAVAILABILITY OF EVENTS

Event name	Unavailability	Description
E20	3.0000E-05	Fuoriuscita da caminelle
E14	2.9000E-05	Guasto pompe in parallelo dopo raffred
E11	2.9000E-05	Guasto pompe in parall dopo serbatoio
E21	2.0000E-05	Cattiva tenuta pistone
E12	1.9000E-05	Rottura collettore
E23	4.0000E-06	Deterioramento guide pistone
E22	4.0000E-06	Corrosione o cricche pistone
E1	2.9000E-06	MALfunz chiusura valvola 103.1
E13	2.6000E-06	Guasto spray
E16	1.9000E-06	Guasto sistema recupero acqua
E8	1.2000E-06	Guasto valvola verso torcia
E6	1.2000E-06	Malfunz valvola a farfalla
E15	1.0000E-06	Rottura collettore
E9	1.2000E-09	Guasto valvola verso gasometro

SUMMARY OF RESULTS

Number of minimal cutsets .: 10
Unavailability of TOP event : 5.800024e-005
Mission time (hours)
ÿÿÿ : 8.760000e+003
Truncation error : 4.174178e-018

SUMMARY TABLE OF MINIMAL CUTSETS VS. ORDER

Order	Number of mcs	QTOT	% of QTOP	WTOT	% of WTOP
1	4	5.80E-05	100.00		
2	6	2.39E-10	< 0.01		

IMPORTANCE OF PRIMARY EVENTS

Event	Importance	Description
E20	5.1724E-01	Fuoriuscita da caminelle
E21	3.4483E-01	Cattiva tenuta pistone
E22	6.8966E-02	Corrosione o cricche pistone
E23	6.8966E-02	Deterioramento guide pistone
E1	4.1250E-06	MALfunz chiusura valvola 103.1
E14	1.4500E-06	Guasto pompe in parallelo dopo raffred
E11	1.4500E-06	Guasto pompe in parall dopo serbatoio
E12	9.5001E-07	Rottura collettore
E13	1.3000E-07	Guasto spray
E16	9.5001E-08	Guasto sistema recupero acqua
E15	5.0000E-08	Rottura collettore

LIST OF MINIMAL CUTSETS SORTED VS. ORDER

#	Minimal cutsets
1	E21
2	E20
3	E22
4	E23
5	E1
6	E1
7	E1
8	E1
9	E1
10	E1

E14
E11
E12
E13
E16
E15

LIST OF MINIMAL CUTSETS SORTED VS. Q / W

#	Q	W	Minimal cutsets
1	3.0000E-05	3.0000E-05	E20
2	2.0000E-05	2.0000E-05	E21
3	4.0000E-06	4.0000E-06	E22
4	4.0000E-06	4.0000E-06	E23
5	8.4100E-11	8.4100E-11	E1
6	8.4100E-11	8.4100E-11	E1
7	5.5100E-11	5.5100E-11	E1
8	7.5400E-12	7.5400E-12	E1
9	5.5100E-12	5.5100E-12	E1
10	2.9000E-12	2.9000E-12	E1

E14
E11
E12
E13
E16
E15

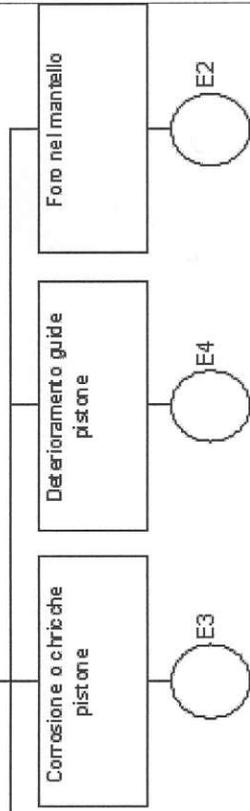
ASTRA-FTA for Windows: SUMMARY OF INPUT DATA

2.2.1 T.E. 17

Tree name : RILGASOM
Description : Rilascio gas da gasometri
Problem type : quantitative analysis
Number of events : 11
Number of gates : 4
Number of Boundary-Conditions GOOD : 0
Number of Boundary-Conditions FAILED : 0
Logical cutoff : 10
Probabilistic cutoff : 1.000000e-012
Mission time : 8.760000e+003
Truncation error calculation : required
Type of probabilistic analysis : unavailability

Rilascio gas da gasometri

TOP



Non tenuta pistone x insufficienza olio

G2

2.1 G4

Fuoriuscita da camminelle

Rottura pompa olio

G3

Rott collettore adduzione

Rottura membrana

E5

Rottura pompa 1

E7

Rottura pompa 2

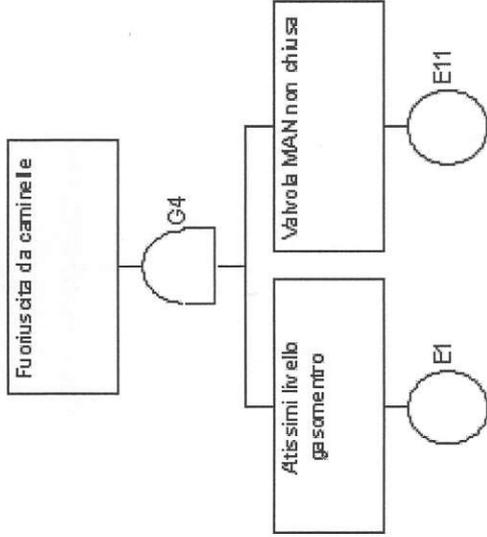
E8

Rottura pompa 3

E9

Rottura pompa 4

E10



FAULT TREE INPUT DESCRIPTION

Gate	Type	Sons	Description
TOP	OR	G2	Rilascio gas da gaso
G2	OR	G3	Non tenuta pistone x
G3	AND	E7	Rottura pompa olio
G4	AND	E1	Fuoriuscita da camin
		E3	
		E5	
		E9	
		E4	
		E10	
		E2	

PRIMARY EVENTS INPUT DATA

Event name	Failure rate	Repair time	Unavailability	Test interval	Description
E1			5.0000E-01		Altissimi livello gasomentro
E10			1.0000E-03		Rottura pompa 4
E11			1.0000E-04		Valvola MAN non chiusa
E2			9.0000E-04		Foro nel mantello
E3			4.0000E-06		Corrosione o chricche pistone
E4			4.1000E-06		Deterioramento guide pistone
E5			1.0000E-05		Rottura mebrana
E6			1.0000E-05		Rott collettore adduzione
E7			1.0000E-03		Rottura pompa 1
E8			1.0000E-03		Rottura pompa 2
E9			1.0000E-03		Rottura pompa 3

CROSS-REFERENCE MAP OF EVENTS

Event	Ancestors
E1	G4
E10	G3
E11	G4
E2	TOP
E3	TOP
E4	TOP
E5	G2
E6	G2
E7	G3
E8	G3
E9	G3

CROSS-REFERENCE MAP OF GATES

Gate	Ancestors
G2	TOP
G3	G2
G4	TOP
TOP	

UNAVAILABILITY OF EVENTS

Event name	Unavailability	Description
E1	5.0000E-01	Altissimi livello gasomentro
E7	1.0000E-03	Rottura pompa 1
E10	1.0000E-03	Rottura pompa 4
E8	1.0000E-03	Rottura pompa 2
E9	1.0000E-03	Rottura pompa 3
E2	9.0000E-04	Foro nel mantello
E11	1.0000E-04	Valvola MAN non chiusa
E5	1.0000E-05	Rottura membrana
E6	1.0000E-05	Rott collettore adduzione
E4	4.1000E-06	Deterioramento guide pistone
E3	4.0000E-06	Corrosione o chricche pistone

SUMMARY OF RESULTS

Number of minimal cutsets	.: 7
Unavailability of TOP event	: 9.781000e-004
Mission time (hours)	: 8.760000e+003
Truncation error	: 0.000000e+000

SUMMARY TABLE OF MINIMAL CUTSETS VS. ORDER

Order	Number of mcs	QTOP	% of QTOP	WTOT	% of WTOPT
1	5	9.28E-04	94.89		
2	1	5.00E-05	5.11		
4	1	1.00E-12	< 0.01		

IMPORTANCE OF PRIMARY EVENTS

Event	Importance	Description
E2	9.2021E-01	Foro nel mantello
E11	5.112	
3E-02	Valvola MAN non chiusa	
E1	5.1123E-02	Altissimi livello gasometro
E5	1.0224E-02	Rottura membrana
E6	1.0224E-02	Rott collettore adduzione
E4	4.1921E-03	Deterioramento guide pistone
E3	4.0898E-03	Corrosione o chricche pistone
E8	1.0224E-09	Rottura pompa 2
E7	1.0224E-09	Rottura pompa 1
E10	1.0224E-09	Rottura pompa 4
E9	1.0224E-09	Rottura pompa 3

LIST OF MINIMAL CUTSETS SORTED VS. ORDER

#	Minimal cutsets
1	E5
2	E2
3	E6
4	E4
5	E3
6	E11 E7
7	E8 E9

LIST OF MINIMAL CUTSETS SORTED VS. Q / W

#	Q	W	Minimal cutsets
1	9.0000E-04	9.0000E-04	E2
2	5.0000E-05	5.0000E-05	E1
3	1.0000E-05	1.0000E-05	E5
4	1.0000E-05	1.0000E-05	E6
5	4.1000E-06	4.1000E-06	E4
6	4.0000E-06	4.0000E-06	E3
7	1.0000E-12	1.0000E-12	E10
			E7
			E8
			E9

Allegato 3: Valutazione delle conseguenze: dispersione senza innesco

Tabella 1: sintesi risultati valutazione carico tossico per scenario dispersione nube tossica a seguito rilascio gas da gasometro LD (quota rilascio +32 m, puff istantaneo di 1000 kg di CO, rilascio semicontinuo di 11055 kg di CO in 0,5 minuti, condizioni meteorologiche F2).

Distanza lungo l'asse longitudinale della nube [m]	Concentrazione max. raggiunta C_{MAX} [mg/m ³]	t_{MAX} Istante a cui si ha C_{MAX} [s]	t_A Istante di "arrivo" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_F Istante di "fine" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_T Tempo di transito ($t_F - t_A$) [s]	Carico tossico $C_{MAX} \times t_T$ [mg/m ³ s]
200	0	0	0	0	0	0
400	918	238	164	384	220	106187
600	3375	328	234	532	298	535200
800	4934	434	297	692	395	1041675
1000	5250	540	367	833	466	1325854
1200	5144	587	447	986	539	1502769
1400	4775	684	508	1136	628	1620679
1600	4281	780	573	1286	713	1647627
1800	3777	876	654	1438	784	1598772
2000	3309	973	725	1593	868	1549709
2200	2894	1069	796	1748	952	1485644
2400	2534	1165	867	1903	1036	1412964
2600	2225	1262	939	2017	1078	1295875
2800	1961	1358	1010	2169	1159	1225943
3000	1734	1455	1081	2321	1240	1161440

Nota: soglia IDLH per carico tossico: 2527200 mg/m³ s

Tabella 2: sintesi risultati valutazione carico tossico per scenario dispersione nube tossica a seguito rilascio gas da gasometro LD (quota rilascio +32 m, puff istantaneo di 1000 kg di CO, rilascio semicontinuo di 11055 kg di CO in 1 minuto, condizioni meteorologiche F2).

Distanza lungo l'asse longitudinale della nube [m]	Concentrazione max. raggiunta C_{MAX} [mg/m ³]	t_{MAX} Istante a cui si ha C_{MAX} [s]	t_A Istante di "arrivo" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_F Istante di "fine" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_T Tempo di transito ($t_F - t_A$) [s]	Carico tossico $C_{MAX} \times t_T$ [mg/m ³ s]
200	0	0	0	0	0	0
400	802	252	166	409	243	102650
600	3143	338	239	556	317	530491
800	4845	444	313	700	387	1004718
1000	5262	550	373	850	477	1357591
1200	4983	656	445	1007	562	1516684
1400	4595	693	525	1155	630	1568754
1600	4159	789	599	1304	705	1587498
1800	3692	886	657	1459	802	1598680
2000	3250	982	724	1614	890	1559853
2200	2852	1078	789	1734	945	1455670
2400	2504	1175	875	1885	1010	1364872
2600	2203	1271	946	2037	1091	1298337
2800	1944	1367	1018	2189	1171	1227755
3000	1721	1464	1089	2340	1251	1162846

Tabella 3: sintesi risultati valutazione carico tossico per scenario dispersione nube tossica a seguito rilascio gas da gasometro LD (quota rilascio +32 m, puff istantaneo di 1000 kg di CO, rilascio semicontinuo di 11055 kg di CO in 2 minuti, condizioni meteorologiche F2).

Distanza lungo l'asse longitudinale della nube [m]	Concentrazione max. raggiunta C_{MAX} [mg/m ³]	t_{MAX} Istante a cui si ha C_{MAX} [s]	t_A Istante di "arrivo" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_F Istante di "fine" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_T Tempo di transito ($t_F - t_A$) [s]	Carico tossico $C_{MAX} \times t_T$ [mg/m ³ s]
200	0	0	0	0	0	0
400	401	279	165	470	305	66359
600	2461	391	245	610	365	481458
800	4177	465	310	748	438	981973
1000	4920	571	390	894	504	1342444
1200	4860	677	454	1029	575	1513711
1400	4436	783	526	1181	655	1574119
1600	3909	889	598	1336	738	1563871
1800	3426	904	665	1503	838	1553682
2000	3059	1001	755	1625	870	1444268
2200	2714	1097	829	1776	947	1393179
2400	2402	1193	883	1927	1044	1354196
2600	2127	1290	951	2078	1127	1295165
2800	1886	1386	1019	2229	1210	1230573
3000	1677	1482	1086	2381	1295	1172218

Tabella 4: sintesi risultati valutazione carico tossico per scenario dispersione nube tossica a seguito rilascio gas da gasometro LD (quota rilascio +32 m, puff istantaneo di 1000 kg di CO, rilascio semicontinuo di 11055 kg di CO in 5 minuti, condizioni meteorologiche F2).

Distanza lungo l'asse longitudinale della nube [m]	Concentrazione max. raggiunta C_{MAX} [mg/m ³]	t_{MAX} Istante a cui si ha C_{MAX} [s]	t_A Istante di "arrivo" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_F Istante di "fine" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_T Tempo di transito ($t_F - t_A$) [s]	Carico tossico $C_{MAX} \times t_T$ [mg/m ³ s]
200	0.5	198	99	548	449	112
400	160	343	167	657	490	44407
600	984	462	245	786	541	298497
800	2000	585	315	919	604	671210
1000	2746	695	390	1063	673	1026633
1200	3165	812	465	1189	724	1262191
1400	3288	844	547	1351	804	1443105
1600	3177	950	620	1474	854	1478029
1800	2954	1056	693	1623	930	1491798
2000	2681	1162	765	1774	1009	1466167
2200	2394	1268	838	1935	1097	1421209
2400	2129	1374	911	2078	1167	1342624
2600	1884	1480	983	2220	1237	1261854
2800	1666	1586	1055	2365	1310	1180773
3000	1476	1692	1127	2562	1435	1145390

Tabella 5: sintesi risultati valutazione carico tossico per scenario dispersione nube tossica a seguito rilascio gas da gasometro LD (quota rilascio +32 m, puff istantaneo di 1000 kg di CO, rilascio semicontinuo di 11055 kg di CO in 0,5 minuti, condizioni meteorologiche D5).

Distanza lungo l'asse longitudinale della nube [m]	Concentrazione max. raggiunta C_{MAX} [mg/m ³]	t_{MAX} Istante a cui si ha C_{MAX} [s]	t_A Istante di "arrivo" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_F Istante di "fine" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_T Tempo di transito ($t_F - t_A$) [s]	Carico tossico $C_{MAX} \times t_T$ [mg/m ³ s]
200	21410	58	32	91	59	736595
400	25320	95	62	147	85	1266522
600	14780	137	91	209	118	1014984
800	8492	163	118	266	148	734113
1000	5529	202	147	326	179	575340
1200	3759	241	174	386	212	461854
1400	2662	279	207	442	235	364057
1600	1954	318	235	501	266	302122
1800	1477	356	264	572	308	263098
2000	1145	395	293	633	340	225010

Tabella 6: sintesi risultati valutazione carico tossico per scenario dispersione nube tossica a seguito rilascio gas da gasometro LD (quota rilascio +32 m, puff istantaneo di 1000 kg di CO, rilascio semicontinuo di 11055 kg di CO in 1 minuto, condizioni meteorologiche D5).

Distanza lungo l'asse longitudinale della nube [m]	Concentrazione max. raggiunta C_{MAX} [mg/m ³]	t_{MAX} Istante a cui si ha C_{MAX} [s]	t_A Istante di "arrivo" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_F Istante di "fine" nube ($C = 1\% C_{MAX}$) [s]	t_T Tempo di transito ($t_F - t_A$) [s]	Carico tossico $C_{MAX} \times t_T$ [mg/m ³ s]
200	10710	69	32	122	90	586950
400	13480	116	61	178	117	979002
600	10110	148	92	232	140	850664
800	7134	190	120	292	172	719229
1000	4794	232	153	353	200	559894
1200	3272	275	182	412	230	439680
1400	2301	317	211	472	261	351553
1600	1734	327	240	529	289	292803
1800	1344	365	269	589	320	250680
2000	1061	404	297	642	345	213383

Allegato 4: Prospetto riassuntivo dei top event modificati

TABELLA 3	PROSPETTO RIASSUNTIVO DEI TOP EVENT				
TOP EVENT	Identificativo unità / zona stabilimento	Descrizione sintetica dell'evento Ipotesi di calcolo	Conseguenze stimate	Frequenza di accadimento (occ./anno)	Misure di mitigazione attuabili Scenari domino – altre osservazioni
RETI GAS					
RT 11	2.2.1 Gasometro gas COK	<p><i>Esplosione istantanea di nube gas COK fuoriuscita dal gasometro COK (cedimento catastrofico)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Massa di gas: 100% volume totale gasometro COK - Calcolo: H₂, massa 75% volume gas COK fuoriuscito (15000 m³) - Innescò immediato all'interno del duomo del gasometro o subito all'esterno, legato a condizioni impiantistiche non precisate 	<p>169 m 280 m 740 m 989 m</p>	1.0E-7	<p>Per effetto dell'esplosione della nube, nell'area circostante al gasometro sono da attendersi danni molto gravi alla batteria 27 F e al forno di ossidazione termica in area sottoprodotti, nonché la distruzione del pipe rack delle tubazioni gas AFO, COK, CH₄, LD, O₂</p> <p>Probabili scenari conseguenti:</p> <p>CK 01: Esplosione batteria 27F</p> <p>CK 08: Fuoriuscita ed esplosione gas dal bariletto</p> <p>RT 06/ RT 16 /RT 30 / RT 32: Esplosione a seguito rottura delle tubazioni gas AFO, COK, LD, CH₄</p> <p>RT 35: Rilascio di O₂ da cedimento tubazione.</p> <p>La gravità e l'estrema ramificazione di impianti e reti dello stabilimento, rendono tale scenario domino difficile da definire in modo più dettagliato.</p>

TABELLA 3		PROSPETTO RIASSUNTIVO DEI TOP			EVENT
TOP EVENT	Identificativo unità / zona stabilimento	Descrizione sintetica dell'evento Ipotesi di calcolo	Conseguenze stimate	Frequenza di accadimento (occ./anno)	Misure di mitigazione attuabili Scenari domino – altre osservazioni
RT 13	2.2.1 Gasometro COK	<p><i>Dispersione di nube gas COK fuoriuscita dal gasometro e successiva esplosione (cedimento catastrofico)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Massa di gas: 100% volume totale gasometro COK, rilasciata in atmosfera attraverso un puff iniziale di 100 kg di H₂, ed un progressivo ricambio dell'intero volume di gas del gasometro in ~1900 s (rilascio da quota +42 m) - Dispersione atmosferica e calcolo massa esplosiva in condizioni meteorologiche D5 e F2, effettuato per miscela gas COK - Esplosione di massa H₂ associata a nube così calcolata, riportati risultati caso condizioni F2, innesco dopo 120 s (danni a maggiore distanza) 	(F2 a 120 s): 136+53 m 136+85 m 136+230 m 136+309 m	8.55E-8	<p>Lo scenario si configura in modo simile a quanto già analizzato in RT 11. Le quantità di gas si riducono in funzione del tempo intercorso tra il rilascio stesso e l'innesco. Infatti un ritardo di innesco provoca una maggiore dispersione della nube.</p> <p>Nelle simulazioni, data la distanza raggiunta dalla nube e le condizioni di diluizione ottenute, a seconda della direzione del vento, l'incidente potrebbe investire l'area cokeria, l'acciaieria, il capannone treno rotaie.</p>
RT 20	2.3.1 Gasometro gas LD	<p><i>Esplosione istantanea di nube gas LD fuoriuscita dal gasometro LDG (cedimento catastrofico)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Massa di gas: 100% volume totale gasometro LDG - Calcolo: CO, massa 60% volume gas LD fuoriuscito in atmosfera (12690 kg CO equivalente) - Innesco immediato legato a condizioni impiantistiche 	--- 50 m 95 m 221 m	1.0E-7	<p>Non applicabile Non ricorre (domino)</p>

TABELLA 3		PROSPETTO RIASSUNTIVO DEI TOP			EVENT
TOP EVENT	Identificativo unità / zona stabilimento	Descrizione sintetica dell'evento Ipotesi di calcolo	Conseguenze stimate	Frequenza di accadimento (occ./anno)	Misure di mitigazione attuabili Scenari domino – altre osservazioni
RT 22	2.3.1 Gasometro gas LD	<p><i>Dispersione di nube gas LD fuoriuscita dal gasometro e successiva esplosione (cedimento catastrofico)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Massa di gas: 100% volume totale gasometro LDG - Calcolo: CO, massa 60% volume gas LD fuoriuscito in atmosfera con dispersione - Dispersione atmosferica e calcolo massa esplosiva in condizioni meteorologiche D5 e F2, e successiva esplosione - Risultati riportati caso condizioni F2, innesco dopo 180 s 	<p>---</p> <p>370+ 30 m</p> <p>370+ 48 m</p> <p>370+123 m</p>	8.55E-8	<p>Non applicabile</p> <p>Non ricorre (domino)</p>
RT 23	2.3.1 Gasometro gas LD	<p><i>Dispersione di nube gas LD fuoriuscita dal gasometro LDG (cedimento catastrofico)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Massa di gas: 100% volume totale gasometro LDG - Calcolo: CO, puff da 1000 kg + 50% massa residua gas fuoriuscito da quota +32 m (totale 11055 kg) - Calcoli effettuati in condizioni meteorologiche D5 e F2 	<p>---</p> <p>---</p>	1.62E-6	<p>Confinamento in luoghi chiusi della popolazione nelle zone sottovento immediatamente vicine allo stabilimento, eventuale evacuazione zone più distanti.</p> <p>Arresto recupero gas LD e combustione in torcia (impianto aspirazione e trattamento fumi primari acciaieria).</p> <p>Non ricorre (domino)</p>

Nota: i valori delle soglie di danneggiamento sono quelli previsti dal DM 09/05/2001 (UVCE: 0.3 bar, 0.14 bar, 0.07 bar, 0.03 bar, effetti tossici: LC50, IDLH 30 minuti).