

## **D 11**

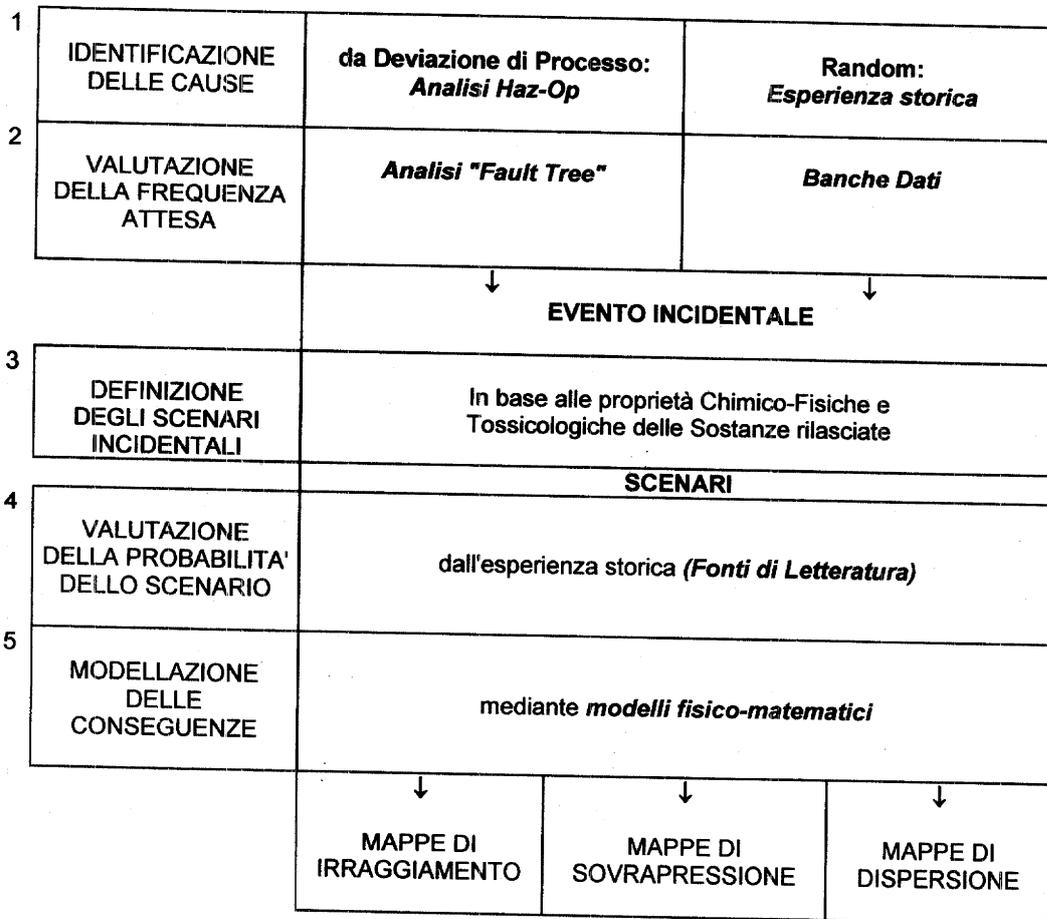
**Analisi del rischio per la proposta impiantistica  
per la quale si richiede l'autorizzazione.**

## 1.C.1.5 ANALISI DELLA SEQUENZA DEGLI EVENTI INCIDENTALI

### 1.C.1.5.1 Individuazione delle ipotesi incidentali

L'analisi di rischio per l'unità in oggetto (identificazione degli eventi incidentali, definizione delle frequenze e stima delle conseguenze) è stata effettuata secondo il seguente schema logico:

#### ANALISI DELLE SEQUENZE DEGLI EVENTI INCIDENTALI



La valutazione delle frequenze è stata effettuata:

- per gli eventi incidentali di origine **random** in base ai ratei di rottura per apparecchiature, tubazioni e accessori contenuti in varie pubblicazioni;
- per gli eventi causati da deviazioni di processo, mediante la tecnica degli Alberi di Guasto (**Fault Trees**), a partire dai parametri affidabilistici (rateo di guasto, intervallo di test, tempo di riparazione) di ciascun componente soggetto a guasto.

I dati affidabilistici sono stati definiti per ciascuna classe di componenti e, ove possibile, per ciascun modo di guasto rilevante ai fini dell'analisi, a seguito di una analisi critica comparativa svolta sui dati riportati nelle seguenti fonti:

- Process Equipment Reliability Date (AICHE);
- Assessment of Industrial Risk in the Rijnmond Area (C&W);
- Loss Prevention in the Process Industries (LESS);
- Rijnmond - Cremer & Warner (USA).

Nel caso particolare, sono stati assunti i seguenti valori:

- per tutte le valvole è stato considerato un tempo di riparazione di 8 ore.
- per tutti i trasmettitori, controllori, termocoppie è stato considerato un tempo di riparazione di 4 ore.
- per tutti gli allarmi e i blocchi è stato considerato un tempo di test di 3 anni
- per le valvole di sicurezza è stato considerato un tempo di test di 2 anni.

Gli alberi di guasto sono stati quantificati mediante l'utilizzo dei codici di calcolo LOGAN, prodotti da R.M. Consultants L.T.D. (Abingdon - UK), riconosciuto ufficialmente dalla B.N.F. (British Nuclear Fuel) ed ASTRA - FTA.

L'evoluzione degli scenari incidentali a partire da quelli primari identificati, la cui frequenza è stata stimata con la tecnica dell'albero dei guasti o da base statistica, è stata sviluppata con la tecnica dell'albero degli eventi.

### **ANALISI DELLE ROTTURE RANDOM**

Le rotture random non sono riconducibili ad anomale condizioni di processo come ad esempio pressioni e/o temperature oltre i valori di progetto, dunque non sono evidenziate attraverso specifiche procedure quali l'analisi HAZOP; la valutazione delle rotture random è condotta supponendo un certo modo di guasto (entità del rilascio) per le apparecchiature di riferimento e stimandone la probabilità/frequenza di accadimento attraverso dati statistici dedotti da banche dati per apparecchiature simili.

Esempi di cause di rotture random possono essere: difetti nel materiale, indebolimento dovuto a corrosione o fatica, errori nell'assemblaggio o nella manutenzione, impatti, ecc.

La valutazione delle frequenze per gli eventi incidentali di origine random è stata effettuata principalmente in base all'analisi statistica su base storica reperibile in letteratura specializzata.

E' stata seguita la procedura qui di seguito dettagliata.

Di seguito sono riportati i dati statistici, dedotti da letteratura internazionale per la stima della frequenza di rotture random; la stima della frequenza risultante è valutata nel seguito per gli eventi identificati.

Sono state quindi assunte le seguenti frequenze di rottura:

## Rottura casuale tubazione

Questo tipo di evento, ripreso dall'analisi storica, riguarda i componenti delle tubazioni, così come di seguito specificato:

- tratti di tubazione;
- flange;
- guarnizioni.

Alcune delle cause che possono portare a rottura di detti componenti sono le seguenti:

- a) sovrappressione
- b) infragilimento
- c) colpo d'ariete
- d) corrosione
- e) pretensione
- f) errori di manutenzione o montaggio ingegneria
- g) tensioni anomale
- h) dilatazioni di liquido
- i) urti accidentali
- j) scuotimenti e vibrazioni

Ai fini del calcolo della frequenza di accadimento della perdita da tubazioni, in letteratura<sup>2</sup> si possono reperire i seguenti valori di rottura tubazioni, ripartiti in funzione del diametro come appare dalla tabella seguente.

**TABELLA**  
**Ratei di guasto tubazioni**

Diametro Tubazione (mm)	Ratei di guasto (occ./m/h)		Ratei di guasto occ/m/anno (*)	
	Rottura catastrofica	Perdita significativa	Rottura catastrofica	Perdita significativa
< 50	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$8,76 \cdot 10^{-7}$	$8,76 \cdot 10^{-6}$
50+150	$3 \cdot 10^{-11}$	$6 \cdot 10^{-10}$	$2,63 \cdot 10^{-7}$	$5,25 \cdot 10^{-6}$
> 150	$1 \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{-10}$	$8,76 \cdot 10^{-8}$	$2,62 \cdot 10^{-6}$

(\*) Considerando un tempo di esercizio pari a 8760 ore anno

<sup>2</sup> "Risk analysis of six potentially Hazardous Object in the Rijnmond Area, pilot study"

## Perdita da accoppiamento flangiato

Questo tipo di perdite, specialmente sulle tubazioni sollecitate da pressioni elevate e per linee di notevole sviluppo in lunghezza e sulle tenute delle valvole è probabile.

Il più delle volte le perdite sono limitate a gocciolamenti o trasudamenti dai piani di tenuta e raramente sono tali da richiedere una riparazione immediata.

La causa più frequente di tali perdite è dovuta al cedimento delle guarnizioni delle flange, sollecitate in modo anomalo per:

- mancanza di valvole di sicurezza;
- colpi d'ariete;
- tensioni termiche (thermal stress);
- difetto intrinseco.

Pertanto si osserva che una perdita da accoppiamenti flangiati si manifesta solitamente con lievi portate, dato che la sezione di passaggio è sempre molto limitata e corrisponde in genere ad un settore di guarnizione compreso tra due-tre bulloni di serraggio dell'accoppiamento flangiato stesso.

Ai fini del calcolo della frequenza di accadimento, un rilascio da stacchi valvolati e da accoppiamenti flangiati si può assimilare ad una rottura di guarnizione che in letteratura<sup>3</sup> si ritrova un valore di  $1 \cdot 10^{-8}$  occ/ora di impiego.

Considerando un tempo di esercizio pari a 8328 ore/anno, si ottiene una frequenza di rilascio da accoppiamenti flangiati:

$$8,33 \cdot 10^{-5} \text{ occ/flangia/anno}$$

Ove si tenga conto che questi valori sono stati ottenuti nell'ipotesi che le tubazioni siano sempre piene e anche quelle di trasferimento lavorino 24/24 h è opportuno considerare un fattore di esercizio (0,5) globale delle tubazioni che abbassa la frequenza di perdite.

<sup>3</sup> "Risk analysis of six potentially hazardous object in the Rijnmond area, pilot study" - D.Reidel Publishing Company. Dordrecht, Holland/Boston, USA/London, England

## Rottura della tenuta di una pompa

L'evento comporta il rilascio di sostanze infiammabili attraverso il vano anulare esistente tra albero e boccole della scatola di tenuta della pompa.

Il cedimento meccanico della tenuta può essere causale (difetto intrinseco) o provocato dalle vibrazioni e dal surriscaldamento conseguente a disallineamenti o disfunzioni dovute, ad esempio, alla cavitazione della pompa.

Rotture possono essere provocate anche dall'azione abrasiva di particelle solide sospese nei liquidi pompati.

Per le pompe si conoscono da letteratura<sup>4</sup> tassi di guasto riferiti a diversi stati di funzionamento:

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| a) non parte                | $1 \cdot 10^{-3}$ eventi/ora di impiego |
| b) funzionamento irregolare | $1 \cdot 10^{-5}$ eventi/domanda        |
| c) non si ferma             | $1 \cdot 10^{-4}$ eventi/domanda        |
| d) guasti catastrofici      | $1 \cdot 10^{-4}$ eventi/anno           |

A titolo di confronto si trae dalla tabella A 9-2 del Lees la frequenza di guasto di una tenuta rotativa "roating seals" pari a  $7.0 \cdot 10^{-6}$  per ora di impiego.

Assumendo che per ora di impiego si intendano le ore di effettivo servizio della tenuta e avendo stimato tale periodo mediamente in 8760 ore/anno-pompa, si ottiene una frequenza di guasto della tenuta di  $6.1 \cdot 10^{-2}$  occ/anno/pompa.

Le ipotesi incidentali che possono essere considerate per l'impianto in esame e la stima delle relative frequenze di accadimento attese, sono di seguito elencate.

---

(4) "A report to the Rijnmond Public Authority" – Risk analysis of six potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, a pilot study – Holland, 1982

## TABELLA RIASSUNTIVA IPOTESI INCIDENTALI

UNITA' PRODUZIONE IDROGENO			
Ipotesi	Descrizione	Causa	Frequenza attesa di accadimento (occ/anno)
1	Scambiatore 1E214	Sovrapressione	$1,3 \cdot 10^{-5}$
2	Reformer H211	Formazione miscela esplosiva	$1,9 \cdot 10^{-5}$
3	Transfer line reformer H211	Sovratemperatura	$3,5 \cdot 10^{-5}$
4	Reformer H211	Sovratemperatura	$2,0 \cdot 10^{-5}$
5	Scambiatore E 221	Sovratemperatura	$2,3 \cdot 10^{-7}$
	Vessel V202	Sovrapressione	
6	Reattore (R221) conversione CO	Sovratemperatura	$5,3 \cdot 10^{-8}$
7	V601 e circuito Off Gas	Sovrapressione	$5,5 \cdot 10^{-7}$
8	Compressione idrogeno di riciclo	Sovrapressione	$1,6 \cdot 10^{-7}$
9	PSA adsorber R601 + R610	Sovratemperatura	$2,2 \cdot 10^{-11}$
10	Butane surge drum	Sovrapressione	$7,6 \cdot 10^{-5}$
11	Reattori R101 e R102-1/2	Sovrapressione	$3,6 \cdot 10^{-7}$
12	Scambiatore E222	Sovratemperatura	$2,8 \cdot 10^{-8}$
13	Accopp. Flangiato linea metano	Rottura random	$3,33 \cdot 10^{-4}$
14	Accopp. Flangiato linea bulk DMDS	Rottura random	$1,66 \cdot 10^{-4}$
15	Pompa 1 P101 1/2	Rottura random	$6,13 \cdot 10^{-2}$
16	Linea uscita E211	Rottura random	$5,2 \cdot 10^{-5}$
17	Compressore 1C-101	Rottura random	$7,0 \cdot 10^{-4}$

### PROBABILITA' DEGLI EVENTI INCIDENTALI

Al fine della valutazione del livello di probabilità degli eventi incidentali è possibile associare al valore di probabilità stimato una "classe di probabilità" secondo quanto indicato nella tabella seguente, tratta da: "General Guidance On Emergency Planning - Cimahi Regulation":

CLASSE DELL'EVENTO	FREQUENZA ATTESA DI ACCADIMENTO (occ/anno)
PROBABLE (probabile)	$>10^{-1}$ o/a
FAIRLY PROBABLE (abbastanza probabile)	$10^{-2} \div 10^{-1}$ o/a
SOMEWHAT UNLIKELY (abbastanza improbabile)	$10^{-3} \div 10^{-2}$ o/a
QUITE UNLIKELY (piuttosto improbabile)	$10^{-4} \div 10^{-3}$ o/a
UNLIKELY (improbabile)	$10^{-5} \div 10^{-4}$ o/a
VERY UNLIKELY (molto improbabile)	$10^{-6} \div 10^{-5}$ o/a
EXTREMELY UNLIKELY (estremamente improbabile)	$<10^{-6}$ o/a

La classifica di cui sopra può essere espressa anche con riferimento alla classificazione qualitativa prevista dall'All. III al D.P.C.M. 31/03/89, estesa come dalla tabella seguente:

FREQUENZA	CLASSE
Maggiore di 1 volta ogni 10 anni	Molto alta
Tra 10 e 100 anni	Alta
Tra 100 e 1000 anni	Media
Tra 1000 e 10000 anni	Bassa
Minore di 1 volta ogni 10000 anni	Molto bassa

Dove le classi "Bassa, Media e Alta" assumono il seguente significato:

- Bassa : improbabile durante la vita prevista di funzionamento dell'impianto o deposito separato  
Media : possibile durante la vita prevista di funzionamento dell'impianto o deposito separato  
Alta : evento che si può verificare almeno una volta nella vita prevista di funzionamento dell'impianto o deposito separato.

Per quanto riguarda l'impianto, la probabilità degli eventi incidentali associati alle cause iniziatrici (e loro concatenamento) individuate con la metodologia degli alberi di guasto (frequenze di accadimento) dipende dai seguenti parametri/fattori:

- condizioni (P, T e portata) del rilascio;
- percentuale di flash al momento del rilascio;
- possibilità di concatenamento o meno della perdita ipotizzata;
- grado di confinamento dell'area interessata dalla perdita;
- innesco immediato (temperatura del prodotto superiore alla sua temperatura di autoaccensione) o ritardato (a seconda della tipologia dell'intorno ove si verifica la perdita di prodotto).

In relazione a quanto sopra (fattori di incertezza), per l'impianto si assume, in via conservativa, la probabilità dell'evento associata alla frequenza di accadimento individuata a mezzo di alberi di guasto.

Nel seguito sono riportate le descrizioni dettagliate di ogni sequenza incidentale individuata nel corso dell'analisi. In **Allegato 1.C.1.5** si riportano le schede hazop, mentre in **Allegato 1.C.1.5/a** gli "Alberi di guasto".

Allo scopo di evitare dubbi interpretativi sulla terminologia adottata nell'analisi, prima di passare alla formulazione delle singole ipotesi vengono effettuate alcune considerazioni chiarificatrici sulla struttura formale delle ipotesi e sui fenomeni richiamati.

Vengono altresì fornite alcune definizioni sulla terminologia adoperata in maniera da rendere l'interpretazione il più uniforme possibile.

### Struttura dell'ipotesi

Ogni evento ipotetico considerato contiene al suo interno:

- una premessa molto sintetica che richiama brevemente il fenomeno fisico originante l'evento, facendo riferimento alle condizioni di esercizio della sezione esaminata;
- una elencazione dettagliata e circostanziata di cause iniziatrici con richiami alle apparecchiature e alla strumentazione della sezione; verrà inoltre specificato di volta in volta se le cause considerate devono o meno essere fra loro concomitanti ai fini dell'accadimento delle ipotesi;

- una descrizione delle protezioni esistenti sulla sezione (progettate allo scopo di prevenire le cause iniziatrici) e l'ipotetico mancato intervento delle stesse, che in concomitanza all'accadimento delle cause giustificheranno l'evento accidentale.

### **Terminologia**

Nella trattazione vengono adoperati i seguenti termini fondamentali:

- "sovrappressione": si intenderà il fenomeno dell'incremento della pressione di un sistema (liquido, gassoso o in fase mista), al di sopra dei valori di normale esercizio; in particolare, ai fini di ipotizzabili rilasci, si considererà il campo di valori compresi fra le condizioni di pressione di esercizio e quelli che provocano lo scatto delle valvole di sicurezza;
- "sovratemperatura": si intenderà il fenomeno dell'incremento della temperatura di un sistema al di sopra dei valori di normale esercizio.

## **Ipotesi N. 1 Sovrapressione scambiatore E214**

(Rif. P&I P203-P101-P102 rev.5 del 04.01.2005)

L'ipotesi viene formulata per la possibilità che si venga a creare, all'interno dell'E214, una pressione maggiore rispetto al valore di progetto, o a causa di un fenomeno di vaporizzazione del butano alimentato all'impianto e non del tutto vaporizzato all'interno dell'E101, o per l'arrivo di una quotaparte di NG che fa aumentare la pressione nel circuito.

Nel caso della vaporizzazione del butano all'interno dell'E214, il cambio di fase con il conseguente aumento del volume specifico della fase gassosa, essendo stato previsto in sede di progettazione esclusivamente il preriscaldamento della carica in fase gassosa e non la vaporizzazione della fase liquida, provocherebbe un immediato aumento di pressione che si trasmetterebbe all'intero circuito.

L'arrivo di butano liquido all'E214 può essere provocato da un cattivo funzionamento del sistema di controllo dell'evaporatore E101, nel quale la regolazione della quantità di evaporato è effettuata direttamente mediante afflusso del mezzo riscaldante (vapore ad alta pressione prodotto dall'impianto stesso proveniente dal collettore del vapore HP saturo), mentre l'afflusso del butano liquido è assicurato dalle valvole regolatrici FV12060A/B poste in mandata pompa di alimento P101-1/2. Pertanto una mancanza di evaporazione in E101 in concomitanza di un guasto delle regolatrici di portata del butano, può provocare un invio di prodotto liquido all'E214 nel quale la vaporizzazione avverrebbe comunque, creando l'incremento di pressione citato.

Una eccessiva portata di NG può essere causata dal guasto alla valvola FV13005, che si guasta in apertura durante la marcia a NG (è opportuno puntualizzare che la valvola è del tipo "Fails Closed") o che si apre in maniera spuria durante la marcia a butano.

In sintesi la concatenazione degli eventi per il manifestarsi del fenomeno è la seguente:

### **CAUSE**

- guasto in chiusura della valvola PV13025 che regola l'afflusso del vapore di alta pressione o del controllore PIC13025 o del trasmettitore PT13025;
- guasto in apertura delle valvole FV12060A/B che controllano il flusso di butano liquido da evaporare o del controllore FIC12060 o del trasmettitore FT12060;
- apertura eccessiva o spuria della valvola FV13005 che controlla il flusso di NG o guasto del trasmettitore FT13005 o del controllore FIC13005.

### **MANCATO INTERVENTO DELLE PROTEZIONI**

- mancato intervento della valvola di sicurezza PSV13020 posta sulla linea in uscita da E101;
- mancato funzionamento allarme bassa temperatura TAL13073 posto sulla linea in uscita da E101;
- mancato funzionamento allarme di bassa pressione vapore HP PAL13025 posto sulla linea in ingresso all'E101;
- mancato funzionamento allarme di alta portata butano FAH12060 posto sulla linea in ingresso all'E101;
- mancato funzionamento allarme di alta portata NG FAH13005 posto sulla linea di ingresso NG all'E101;
- mancato funzionamento allarme alta pressione PAH13008 posto sulla linea di ingresso NG all'E101;
- mancato funzionamento allarme alta pressione PAH13062B posto sulla linea in uscita da R102-2;
- mancata apertura valvole PV13062A-C alla torcia;
- mancato intervento operativo su allarme.

$$f = 1,3 \cdot 10^6 \text{ occ/anno}$$

## **Ipotesi N. 2 Formazione miscela esplosiva in camera di combustione Reformer H211**

L'ipotesi in oggetto è stata considerata per la possibilità che possa arrivare gas combustibile in camera combustione a forno spento. Ciò rischia di verificarsi ogni qualvolta intervenga una intercettazione istantanea dei combustibili innescata da un blocco di processo, oppure dai sistemi di protezione fiamma, e contemporaneamente a tale intercettazione, continui ad affluire gas al forno attraverso la valvola di regolazione. Altra eventualità, quantitativamente più probabile, è legata ad un cattivo funzionamento del sistema di regolazione del combustibile, che causi una chiusura delle valvole di regolazione e, a causa della loro non perfetta tenuta, il continuo afflusso di gas al forno.

Una possibile concatenazione degli eventi (cause/mancato intervento protezioni) può essere descritta come segue:

### **CAUSE**

- mancanza fiamma provocata dalla chiusura delle regolatrici FV26009A e contemporaneamente della FV26009B o del trasmettitore di portata FT26009 o del controllore di portata FIC26009;
- presenza di innesco, considerata certa in un forno;
- continuo afflusso di gas provocato dalla mancata tenuta di una delle valvole di regolazione FV26009A o FV26009B (si fa cioè l'ipotesi che la valvola si sia correttamente chiusa, spegnendo i bruciatori, ma non faccia tenuta, lasciando trafilare ancora gas) e dalla mancata tenuta delle valvole di blocco USV26004B e USV26004C, che si chiuderebbero in seguito all'intervento dei blocchi;

### **MANCATO INTERVENTO DELLE PROTEZIONI**

- mancato funzionamento allarme di bassissima pressione PALL26026 posto sulla linea di mandata gas combustibile ai bruciatori (o dei trasmettitori PT26026A+C, funzionanti con logica 2/3);
- mancato funzionamento del blocco PSLL26026 per bassissima pressione posto sulla linea di mandata gas combustibile ai bruciatori (o dei trasmettitori PT26026A+C, funzionanti con logica 2/3);
- mancato funzionamento allarme di bassa pressione PAL26026 posto sulla linea di mandata gas combustibile ai bruciatori (o dei trasmettitori PT26026A+C, funzionanti con logica 2/3);
- mancata apertura valvola di sfioro USV26004A in atmosfera posta sulla linea mandata gas combustibile ai bruciatori e contemporaneo trafilamento di entrambe le valvole di blocco USV26004B e USV26004C (eventi inseriti anche tra le cause).
- mancato intervento operativo su allarme.

$$f = 1,9 \cdot 10^6 \text{ occ/anno}$$

### **Ipotesi N. 3 Sovratemperatura linea uscita Reformer H211**

Ci si riferisce alla possibilità di un rilascio di gas (idrogeno, metano, CO) ad elevata temperatura (intorno ai 900 °C) localizzabile sulle linee di transfer dal forno di reforming al reattore R221 di conversione del CO. L'ipotesi è giustificata dall'evidente pericolo rappresentato dal rilascio gassoso che può essere provocato sia da fenomeni di affaticamento del materiale dovuto all'elevata temperatura (infragilimento), sia da modifiche della struttura dell'acciaio costituente il tubo, per decarburazione in presenza di idrogeno a temperatura elevata. Per questi motivi la linea di transfer è protetta da rivestimento interno di refrattario che evita di sottoporre la tubazione a sollecitazioni termiche costantemente gravose. E' quindi particolarmente importante il controllo della temperatura del processo per evitare il superamento delle temperature previste dal progettista. Infatti un incremento anomalo delle soglie termiche prestabilite, anche per brevi periodi, potrebbe comportare la rottura della tubazione di transfer, o il rilascio da accoppiamenti flangiati: infatti lo stato del materiale refrattario interno tubo non è chiaramente verificabile durante la marcia normale e non è quindi un parametro di controllo affidabile. Si noti che il forno è dotato di blocco combustibile, per alta temperatura del prodotto in uscita e che il carico termico del forno non è controllato automaticamente (il TRC21120 in uscita riceve il segnale di ingresso dalle tre termocoppie TE21120A+C con logica 2/3 poste sull'uscita del forno, ed attua l'azione di regolazione sul combustibile). In caso di malfunzionamento del TRC21120 o guasto del trasduttore TSY21120 o delle termocoppie TE21120A+C, può manifestarsi un surriscaldamento a valori di temperatura superiori a quelli di progetto. Un ulteriore controllo di temperatura può venire indirettamente dalle termocoppie poste in uscita dall'E221, TE27002, che fanno capo ad un allarme e ad un blocco.

In sintesi la concatenazione degli eventi che comporti la sovratemperatura e quindi il possibile rilascio per rottura tubazione, può essere la seguente:

#### **CAUSE**

- guasto contemporaneo in apertura delle valvole FV26009A ed FV26009B regolatrici del gas ai bruciatori o del trasmettitore FT26009 o del controllore FIC26009 ai quali le valvole sono asservite e che provochino lo stesso effetto, cioè quello di incrementare in maniera anomala il gas ai bruciatori.

#### **MANCATO INTERVENTO DELLE PROTEZIONI**

- mancato funzionamento dell'allarme di alta temperatura TAH21120 o del blocco di altissima temperatura TSHH21120 dipendenti tutti dalle termocoppie TE21120A+C;
- mancato funzionamento dell'allarme di alta temperatura TAH27002 o del blocco di altissima temperatura TSHH27002 dipendenti tutti dalle termocoppie TE270020A+C;
- mancato funzionamento dell'allarme di alta pressione PAH26026 o del blocco di altissima pressione PSHH26026 dipendenti tutti dai trasmettitori PT26026A+C;
- mancato funzionamento dell'allarme di alta pressione PAH26009 dipendente dai trasmettitori PT26009A+C;
- guasto delle valvole regolatrici FV20101 ed FV20102 regolatrici della carica al reformer H211 o guasto dei relativi trasmettitori FT20101 (logica 2/3) ed FT20102 o dei relativi controllori FIC20101 ed FIC20102;
- mancato intervento operativo su segnalazione di allarme.

$$f = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ occ/anno}$$

#### **Ipotesi N. 4 Sovratemperatura Reformer H211**

L'ipotesi in oggetto viene proposta per la possibilità che si verifichi un incremento di temperatura nel reformer H211 per difetto di alimentazione di gas di processo.

La concatenazione delle cause /mancato intervento delle protezioni, è riportata di seguito:

#### **CAUSE**

- guasto in chiusura della regolatrice FV20101 che regola l'afflusso di gas di processo al reformer H211 o guasto dei relativi trasmettitori di portata FT20101 con logica 2/3 e del controllore di portata FIC20101 e contemporaneo guasto in chiusura della regolatrice FV20102 che regola anch'essa l'afflusso di gas di processo al reformer attraverso un by-pass di size inferiore o guasto dei relativi trasmettitori FT20102 e controllore FIC20102, oppure guasto in chiusura della valvola di shut-down USV20103B oppure guasto in chiusura della valvola di shut-down USV20103C.

#### **MANCATO INTERVENTO DELLE PROTEZIONI**

- mancato funzionamento allarme bassissima portata FALL20101 posto in ingresso della linea gas di processo, o dei trasmettitori FT20101A+C (2/3);
- mancato funzionamento blocco FSLL20101 che fa shut-down dell'impianto, o dei trasmettitori FT20101 A+C (2/3);
- mancato funzionamento allarme di bassa temperatura TAL20156 posto in ingresso R211 o della termocoppia TE20156;
- mancato funzionamento allarme di bassa temperatura TAL21185 posto in uscita R211 o della termocoppia TE21185;
- mancato intervento operativo su allarme.

$$f = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ occ/anno}$$

## **Ipotesi N. 5 Sovratemperatura scambiatore E221 e conseguente sovrappressione del V202**

L'ipotesi si pone in quanto le condizioni di esercizio previste per l'apparecchiatura sono molto gravose, dal momento che il suo compito è quello di ridurre bruscamente la temperatura dell'effluente forno di 900°C ai valori di ingresso al reattore R221 di conversione del CO previsti intorno ai 330°C. La realizzazione di questa operazione di quench è attuata mediante circolazione "per convezione naturale" di acqua pressurizzata e demineralizzata, recuperando il calore per produzione di vapore ad alta pressione.

La concatenazione delle cause / mancato intervento delle protezioni, può essere la seguente:

### **CAUSE**

- sovratemperatura linea uscita reformer H211 (vedi ipotesi n° 3)

### **MANCATO INTERVENTO DELLE PROTEZIONI**

- mancato funzionamento dell'allarme di alta pressione PAH 27009 del V202 o del trasmettitore PT 27009;
- mancato scatto PSV 27007 e PSV 27008 su V202;
- mancato intervento operativo su allarme.

$$f = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ occ/anno}$$

## **Ipotesi N. 6 Sovratemperatura sezione conversione del CO (R221)**

In questa parte dell'impianto vengono attivate le reazioni chimiche necessarie per la produzione di ulteriore idrogeno e la conversione del CO in anidride carbonica, mediante interazione col vapore d'acqua e in presenza di catalizzatore.

Il risultato delle reazioni chimiche è ancora produzione di idrogeno e soprattutto anidride carbonica.

Anomalie di temperatura nella carica che si verificano a monte possono ripercuotersi in questa sezione dell'impianto.

La concatenazione cause/mancato intervento delle protezioni, può essere la seguente:

### **CAUSE**

- sovratemperatura gas di processo da E221 (vedi ipotesi 5)

### **MANCATO INTERVENTO DELLE PROTEZIONI**

- mancato funzionamento allarme termocoppie letto catalitico TAH28108+28113 o termocoppie TE28108+28113;
- mancato funzionamento allarme alta temperatura uscita reattore TAH28118 o termocoppia TE28118;
- mancato intervento operativo su allarme.

$$f = 5,3 \cdot 10^{-8} \text{ occ/anno}$$

## **Ipotesi N. 7 Sovrapressione V601 e circuito Off Gas**

I gas adsorbiti all'interno dei PSA Adsorbers R601 + R610 vengono, dopo la fase di "rigenerazione" degli adsorbitori, a bassa pressione, inviati in combustione. E' possibile che, per errore, durante la fase di purificazione dell'idrogeno, e quindi la fase di adsorbimento di tali gas inquinanti (ad alta pressione) un operatore, per errore o per difetto di comunicazione da parte di uno dei responsabili dell'impianto, apra le valvole XCV 60X05 che mettono in comunicazione gli adsorbitori, ad alta pressione, con il circuito Off Gas, a bassa pressione. Poiché possono esserci contemporaneamente 3 adsorbitori in fase di adsorbimento (ad alta pressione), si considererà che l'operatore ha 3 possibilità di commettere l'errore di allineamento descritto in precedenza.

La concatenazione degli eventi potrebbe essere la seguente:

### **CAUSE**

- errore operativo di omissione o commissione (errato allineamento R601+610 attraverso le valvole XCV60X05)

### **MANCATO INTERVENTO PROTEZIONI**

- mancato intervento valvola di sicurezza PSV60079;
- mancato funzionamento allarme di alta pressione PAH60078A (oppure malfunzionamento trasmettitore di pressione PIT90078 oppure malfunzionamento controllore di pressione PIC60078A oppure mancato intervento operativo su allarme);
- mancato funzionamento blocco di altissima pressione PSHH60078A (oppure malfunzionamento trasmettitore di pressione PIT90078 oppure malfunzionamento controllore di pressione PIC60078A oppure valvola PV60078 bloccata in chiusura).

$$f = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ occ/anno}$$

## **Ipotesi N. 8 Sovrapressione circuito compressione idrogeno di riciclo (C641.1/2 )**

La giustificazione dell'ipotesi sta nelle pressioni in gioco ( $43 \text{ kg/cm}^2$ ) necessarie per riciclare una parte dell'idrogeno prodotto in alimentazione all'impianto.

Infatti il gas in uscita dall'unità PSA, viene in parte inviato in aspirazione ai compressori alternativi C641.1/2 (uno di riserva all'altro).

Nel caso di malfunzionamento della regolatrice sulla mandata compressore, è possibile prevedere una sovrapressione del circuito idrogeno di riciclo.

La concatenazione degli eventi potrebbe essere la seguente:  
(ci si riferirà ad uno dei due compressori: C641.1)

### **CAUSE**

- malfunzionamento valvola di regolazione FV13010 che regola l'afflusso di idrogeno di riciclo al circuito di carica d'impianto, oppure guasto del trasmettitore FT13010 o del controllore FIC13010;
- chiusura spuria della valvola di blocco UV13017 posta sulla linea di riciclo al circuito di carica impianto a valle della regolatrice.

### **MANCATO INTERVENTO DELLE PROTEZIONI**

- mancato funzionamento allarme bassa portata FAL13010 posto sulla linea di riciclo al circuito di carica impianto (considerabile solo per la seconda causa), oppure guasto del trasmettitore FT13010 o del controllore FIC13010;
- mancato funzionamento allarme di alta pressione PAH64023 posto sulla linea di mandata compressore, oppure guasto del trasmettitore PT64023;
- mancato intervento blocco per altissima pressione PAHH64023, posto sulla linea mandata compressore, oppure guasto del trasmettitore PT64023;
- mancato scatto della valvola di sicurezza PSV64025 posta in mandata compressore;
- mancata apertura valvola regolatrice del circuito di riciclo del compressore PV64016 o guasto del trasmettitore di pressione PT64016 o guasto del controllore di pressione PIC 64016;
- mancato scatto della valvola di sicurezza PSV64020 posta a valle della regolatrice;
- mancato intervento operativo su allarme.

$$f = 1,6 \cdot 10^7 \text{ occ/anno}$$

## **Ipotesi N. 9 Sovrapressione PSA adsorbers R601+R610**

L'ipotesi è stata presa in considerazione perché, in caso di eccessiva alimentazione di carica (butano o gas naturale; la valutazione è stata fatta per il caso butano, ma la concatenazione degli eventi è la medesima anche per il caso gas naturale), esiste la possibilità che si verifichi una sovrappressione nella sezione PSA, che, al limite, può portarsi a valori superiori alle pressioni di progetto degli adsorbitori.

L'eccesso di alimentazione potrà essere rilevato da anomalie nei valori di portata (alta portata), di pressione (alta pressione) o di temperatura (bassa temperatura)

La concatenazione degli eventi potrebbe essere la seguente:

### **CAUSE**

- malfunzionamento loop di regolazione FV12060A-B (di entrambe le valvole regolatrici) che regola il butano in carica all'impianto, oppure guasto del trasmettitore FT12060 o del controllore FIC12060;
- guasto in apertura della regolatrice FV20101 che regola l'afflusso di gas di processo al reformer H211 o guasto dei relativi trasmettitori di portata FT20101A+C con logica 2/3 e del controllore di portata FIC20101;
- guasto in apertura della regolatrice FV20102 che regola anch'essa l'afflusso di gas di processo al reformer attraverso un by-pass di size inferiore o guasto dei relativi trasmettitori di portata FT20101A+C e controllore FIC20102.

### **MANCATO INTERVENTO DELLE PROTEZIONI**

- mancato intervento allarme di alta pressione PAH13008 posto sulla linea in ingresso E101, oppure guasto del trasmettitore PT13008;
- mancato intervento allarme di alta pressione PAH13062B posto sulla linea in uscita R102/2, oppure guasto del trasmettitore PT13062;
- mancato intervento allarme di bassa temperatura TAL20156 posto sulla linea in ingresso R211, oppure guasto della termocoppia TE20156;
- mancato intervento allarme di bassa temperatura TAL21185 posto sulla linea in uscita R211, oppure guasto della termocoppia TE21185;
- mancato intervento allarme di bassa temperatura TAL27002 posto sulla linea in uscita E221, oppure guasto delle termocoppie TE27002A+C funzionanti con logica 2/3;
- mancato intervento allarme di bassa temperatura TAL27115B posto sulla linea in uscita V221, oppure guasto della termocoppia TE27115A+C funzionanti con logica 2/3;
- mancato intervento allarme di alta portata FAH27120 posto sulla linea in uscita V221, oppure guasto del trasmettitore FT27120;
- mancato scatto della valvola di sicurezza PSV60X09 posta a protezione degli adsorbitori;
- mancato intervento operativo su allarme.

$$f = 2,2 \cdot 10^{-11} \text{ occ/anno}$$

## **Ipotesi N. 10 Sovrapressione Butane Surge Drum V103**

L'ipotesi è stata presa in considerazione perché, in caso di cattivo funzionamento del loop di regolazione del livello del butane surge drum, che ne causi l'overfilling, o in caso di guasto allo split range, è possibile che si raggiunga all'interno dell'apparecchiatura V103 una pressione tale da causare lo scatto della valvola di sicurezza. In caso di mancata apertura della valvola di sicurezza, verrebbe superata la pressione di progetto dell'apparecchiatura.

La concatenazione degli eventi potrebbe essere la seguente:

### **CAUSE**

- malfunzionamento loop di regolazione LV12010 che regola il butano in arrivo al V103, oppure guasto dei trasmettitori LT12010A+C (funzionanti con logica 2/3) o del controllore LIC12010;
- guasto dello split range che fa capo al trasmettitore di pressione PT12031 (guasto in apertura della valvola in ingresso PV12033B o guasto controllore PIC12031A, o guasto in chiusura della valvola in uscita PV12031B o guasto controllore PIC12031B).

### **MANCATO INTERVENTO DELLE PROTEZIONI**

- mancato intervento allarme di alto livello LAH12010, oppure guasto dei trasmettitori LT12010A+C (funzionanti con logica 2/3);
- mancato intervento blocco di altissimo livello LAHH12010, oppure guasto dei trasmettitori LT12010A+C (funzionanti con logica 2/3) o mancata chiusura della valvola LV12010 e USV90112;
- mancato scatto della valvola di sicurezza PSV12013 posta a protezione dell'accumulatore;
- mancato intervento operativo su allarme.

$$f = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ occl/anno}$$

## **Ipotesi N. 11 Sovrapressione Reattori R101 e R102-1/2**

L'ipotesi è stata presa in considerazione perché, in caso di cattivo funzionamento del loop di regolazione della portata di carica all'impianto che porti allo spalancamento della valvola di regolazione FV12060A, potrebbe verificarsi una sovrappressione, al limite fino a raggiungere e superare il valore di progetto. La regolazione avviene sia in base alla portata, attraverso il controllore FIC12060, che in base alla pressione, attraverso il controllore PIC13062B.

La concatenazione degli eventi potrebbe essere la seguente:

### **CAUSE**

- apertura eccessiva o spalancamento della valvola FV12060V a causa del malfunzionamento del loop di regolazione della portata FIC12060 o del loop di regolazione della pressione PIC13062B;

### **MANCATO INTERVENTO DELLE PROTEZIONI**

- mancato intervento allarme di alta pressione PAH20115, oppure guasto dei trasmettitori PT20115A+C (funzionanti con logica 2/3);
- mancato intervento blocco di altissima pressione PAHH20115, oppure guasto dei trasmettitori PT20115A+C (funzionanti con logica 2/3) o mancata chiusura valvola di blocco;
- mancata apertura valvola PV27171 a torcia per guasto al trasmettitore PT27121 o per guasto al controllore PIC27121;
- mancato scatto della valvola di sicurezza PSV27001 posta a protezione dell'accumulatore;
- mancato intervento operativo su allarme.

$$f = 3,6 \cdot 10^{-7} \text{ occl/anno}$$

## **Ipotesi N. 12 Sovratemperatura E222**

L'ipotesi è stata presa in considerazione perché, in caso di arrivo di gas a temperatura troppo elevata da R221 o in caso di mancanza di boiler water da V202, esiste la possibilità che lo scambiatore E222 possa raggiungere temperature eccessive e superare i valori di progetto. Lo stesso problema si verificherebbe, a cascata, anche per tutti gli altri scambiatori del treno di recupero termico.

La concatenazione cause/mancato intervento delle protezioni, può essere la seguente:

### **CAUSE**

- sovratemperatura gas di processo da R221 (vedi ipotesi 5)
- mancanza di boiler water per arresto pompe P201 o per chiusura spuria valvola FV27420 su linea da V201 a V202

### **MANCATO INTERVENTO DELLE PROTEZIONI**

- mancato funzionamento allarme termocoppie letto catalitico TAH28108+28113 o termocoppie TE28108+28113;
- mancato funzionamento allarme alta temperatura uscita reattore TAH28118 o termocoppia TE28118;
- mancato funzionamento allarme alta temperatura TAH27002 o termocoppie TE27002A+C funzionanti con logica 2/3;
- mancato funzionamento allarme alta temperatura uscita E224 TAH27107 o termocoppia TE27107;
- mancato funzionamento allarme deviazione portata boiler water FAL27420 o trasmettitore FT27420;
- mancato funzionamento allarme bassa pressione boiler water PAL27419 o trasmettitore PT27419;
- mancato funzionamento allarme basso livello V202 LAL27005 o trasmettitori LT27005A+C funzionanti con logica 2/3;
- mancato funzionamento blocco bassissimo livello V202 LALL27005 o trasmettitori LT27005A+C funzionanti con logica 2/3;
- mancato intervento operativo su allarme.

$$f = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ occ/anno}$$

**Ipotesi N. 13 Rottura random accoppiamento flangiato da 6" su linea di alimentazione metano a impianto**

Numero flangie considerate: 4

Diametro flangie: 6"

Frequenza calcolata:  $3,33 \cdot 10^{-4}$  occ/anno

**Ipotesi N. 14 Rottura random accoppiamento flangiato da 2" su linea di collegamento con bulk dimedildisolfuro**

Numero flangie considerate: 2

Diametro flangie: 2"

Frequenza calcolata:  $1,66 \cdot 10^{-4}$  occ/anno

**Ipotesi N. 15 Rottura random tenuta pompa 1 P101 1/2**

Frequenza di guasto della tenuta pompa:  $7,0 \cdot 10^{-6}$  ora/pompa

Ore di effettivo servizio della tenuta: 8760 ore/anno-pompa

Frequenza calcolata:  $6,13 \cdot 10^{-2}$  occ/anno

**Ipotesi N. 16 Rottura random (perdita significativa) linea uscita E211**

Frequenza di perdita significativa linea:  $2,6 \cdot 10^{-6}$  occ/metro/anno

Lunghezza linea: 20 m

Frequenza calcolata:  $5,2 \cdot 10^{-5}$  occ/anno

**Ipotesi N. 17 Rottura random tenuta compressore 1 C101**

La frequenza di guasto di una tenuta è pari a  $7 \cdot 10^{-6}$  per ora di impiego (estratto dalla Tabella A 9-2 del Lees).

Assumendo che per ora di impiego si intendano le ore di effettivo servizio del compressore e avendo stimato tale periodo mediamente in 100 ore/anno si ottiene una frequenza di guasto di  $7 \cdot 10^{-4}$  occ/anno.

\*\*\*

La seguente tabella riporta l'elenco degli eventi incidentali identificati, con l'indicazione per ciascuno di essi degli specifici accorgimenti di prevenzione/protezione adottati.

EVENTI INCIDENTALI IDENTIFICATI PER L'IMPIANTO		
N.	Evento	Prevenzione/Protezioni
1	Sovrapressione scambiatore di preriscaldamento 1 E214	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Sistema di rilevamento gas</li> </ul>
2	Formazione di miscela esplosiva in camera di combustione reformer H 211	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Sistema di rilevamento gas</li> </ul>
3	Sovratemperatura transfer-line reformer H 211	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> </ul>
4	Sovratemperatura Reformer H 211	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> <li>• Sistema di rilevamento gas</li> </ul>
5	Sovratemperatura scambiatore E221 e conseguente sovrapressione V202	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> <li>• Sistema di rilevamento gas</li> </ul>
6	Sovratemperatura sezione conversione del CO (R221)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvola di sicurezza</li> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> </ul>
7	Sovrapressione V601 e circuito Off Gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvola di sicurezza</li> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> </ul>
8	Sovrapressione circuito compressione idrogeno di riciclo 1C641 1/2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvola di sicurezza</li> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> <li>• Sistema di rilevamento gas</li> </ul>
9	Sovrapressione gas a PSA Adsorber R601 + R610	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvola di sicurezza</li> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> <li>• Sistema di rilevamento gas</li> </ul>
10	Sovrapressione butane surge drum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvola di sicurezza</li> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> <li>• Sistema di rilevamento gas</li> </ul>
11	Sovrapressione reattori R101 e R102-1/2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvola di sicurezza</li> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> </ul>
12	Sovratemperatura E222	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> <li>• Sistema di rilevamento gas</li> </ul>
13	Rottura random accoppiamento flangiato su linea di alimentazione metano a impianto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvole di blocco telecomandate</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> <li>• Sistema di rilevamento gas</li> </ul>
14	Rottura random accoppiamento flangiato su linea di collegamento bulk DMDS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema di contenimento impermeabilizzato</li> </ul>
15	Rottura random tenuta pompa 1P101-1/2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvole di blocco</li> <li>• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo</li> <li>• Sistema di rilevamento gas</li> </ul>

EVENTI INCIDENTALI IDENTIFICATI PER L'IMPIANTO		
N.	Evento	Prevenzione/Protezioni
16	Perdita significativa linea uscita scambiatore di preriscaldo E211	• Allarmi ed indicatori in Sala Controllo
17	Rottura random tenuta compressore 1 C101	• Sistema di rilevamento gas

Il D.M. LL.PP. 09/05/01 stabilisce requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti soggetti agli obblighi di cui al D.Lgs. 334/99, con riferimento alla destinazione ed all'utilizzazione dei suoli esterni agli stabilimenti, al fine di prevenire gli incidenti rilevanti connessi a determinate sostanze pericolose e a limitarne le conseguenze per l'uomo e per l'ambiente.

L'analisi di sicurezza effettuata per l'impianto ha consentito l'individuazione delle ipotesi di incidenti credibili, la stima delle frequenze di accadimento e gli effetti conseguenti in termini di impatto per l'ambiente e/o le persone.

Tutti gli scenari incidentali considerati e sviluppati con i modelli di calcolo, mostrano che gli effetti conseguenti rimangono confinati entro l'area dello Stabilimento e nessuno di essi interessa aree esterne. Gli stessi scenari ipotizzati non interessano la linea ferroviaria Siracusa-Catania.

Le aree di danno corrispondenti alle categorie di effetti considerati, sono sintetizzate nella tabella seguente:

Classe di probabilità degli eventi	Categoria degli effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
< 10 <sup>-6</sup>	Nessun effetto al di fuori dell'area di Stabilimento	Nessun effetto al di fuori dell'area di Stabilimento	Nessun effetto al di fuori dell'area di Stabilimento	Nessun effetto al di fuori dell'area di Stabilimento
10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-5</sup>				
10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-4</sup>				
> 10 <sup>-3</sup>				