

ANALISI QUANTITATIVA DI RISCHIO ESTERNO DI UNA CENTRALE TERMoeLETTTRICA A CICLO COMBINATO

Sparacino M., Vigano E., Sau S. 1, Torsello G. 2 e Valisi M. 3

1 AEM SPA, Corso di Porta Vittoria 4, Milano, 20122, Italia

2 Sistemi di Generazione, CESIRICERCA, Via Rubattino 54, Milano, 20134, Italia

3 B.U. Sistemi Elettrici, CESI, Via Rubattino 54, Milano, 20134, Italia

SOMMARIO

Nella memoria vengono presentati i risultati di uno studio quantitativo di rischio d'area riferito alla Centrale Termoelettrica a Ciclo Combinato AEM SPA di Cassano d'Adda, limitatamente agli eventi incidentali con perdita di contenimento che comportino rischi esterni all'impianto.

La prima parte dello studio probabilistico ha riguardato la determinazione dei potenziali eventi incidentali che possono dare luogo ad una perdita di contenimento con la possibilità di coinvolgere i materiali infiammabili presenti nel recinto della centrale (metano, idrogeno, benzina naturale e olio lubrificante o dielettrico), utilizzando sia tecniche HAZAN sia valutazioni ingegneristiche.

I risultati dello Studio sono stati espressi in Rischio Individuale e Rischio Collettivo. I fenomeni fisici considerati per il calcolo sono stati i seguenti: cloud fire, jet fire sia verticale sia orizzontale, pool fire, radiazione da fiamme e sovrappressioni da esplosione. I risultati ottenuti hanno mostrato come le zone esterne alla centrale siano raccolte in curve di iso-rischio individuale con probabilità annuale di eventi fatali, estremamente bassa, compresa tra 10^{-5} e 10^{-7} / anno. L'approccio utilizzato ha inoltre mostrato come sia possibile ridurre ulteriormente la zona con probabilità d'evento fatale pari a 10^{-5} / anno adottando, ad esempio, opportune protezioni passive (muri o compartimenti tagliafuoco, ecc.).

Per il calcolo del rischio collettivo, sono stati simulati gli insediamenti urbani attorno alla recinzione della centrale, con densità di popolazione tipiche di zone similari. Si è supposto, cautelativamente, nel calcolo che tutti gli individui fossero all'aperto, senza alcun tipo di protezione ed esposti al danno per tutta la durata significativa dell'incidente. Anche in questo caso i risultati ottenuti hanno mostrato come la probabilità di eventi fatali sia estremamente bassa e tutta contenuta, o in una zona di livello di rischio largamente accettabile o in una zona ALARP in cui il livello di rischio è sempre accettabile, con l'obbligo, tuttavia, di revisioni dettagliate periodiche del/i livello/i di protezione in atto e delle misure atte ad assicurarsi del loro buon funzionamento.

Una delle conseguenze non trascurabili degli incendi di pozza è la produzione di gas e polveri potenzialmente nocivi alle persone ed all'ambiente circostante. Per tal motivo, data la presenza nel recinto della centrale di grandi quantità d'olio (lubrificante e dielettrico) si è effettuato uno studio sulla produzione di gas e polveri in alcuni scenari incidentali tipici. Lo studio, effettuato con il codice ALOFT-FT ha dimostrato che, pur essendo rilevante il potenziale impatto sulle strutture circostanti e sul personale eventualmente presente, le conseguenze al di fuori del recinto di centrale appaiono decisamente più contenute. L'analisi effettuata mostra che il trasporto della nube di fumo, visto in una casistica rappresentativa delle condizioni atmosferiche locali, non dà luogo a scenari gravi dal punto di vista sanitario, specie poiché si tratta in realtà di un'esposizione di bassa probabilità d'accadimento e di durata limitata.

1.0 INTRODUZIONE

Uno Studio Quantitativo di Rischio d'Area (Quantitative Risk Assessment - QRA), è uno strumento per la determinazione del rischio associato all'utilizzo, maneggio, stoccaggio e trasporto di sostanze pericolose. Si fa uso di Studi di Rischio d'Area ogni volta che sia necessario dimostrare l'accettabilità del rischio associato a processi industriali in cui possono verificarsi incidenti con fuoriuscita di sostanze pericolose.

Le sostanze pericolose considerate sono costituite da quei composti chimici che possono provocare effetti avversi sull'organismo umano quando sono inalati, ingeriti o assorbiti per via cutanea (sostanze tossiche) oppure liberare grandi quantità di energia termica (sostanze infiammabili) e/o meccanica (sostanze esplosive). In conclusione, gli incidenti rilevanti sono definibili come eventi che comportano l'emissione incontrollata di materia, e/o di energia all'esterno dei sistemi di contenimento (Incidenti con perdita di contenimento - Loss of Containment - LOC - Accidents). Un tipico diagramma di flusso che illustra le principali fasi di un QRA è riportato in Figura 1.

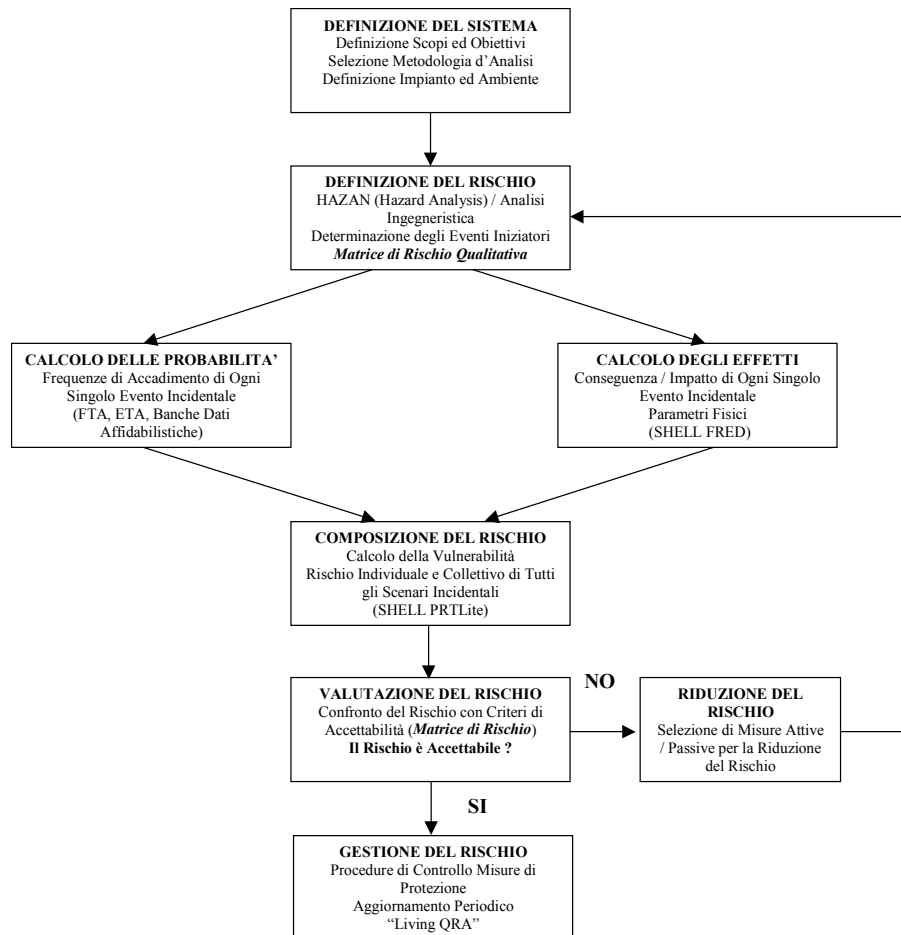


Figura 1 – Tipico Diagramma di Flusso di un QRA

Sebbene le installazioni per la produzione di energia elettrica non rientrano tra gli impianti industriali a rischio di incidente rilevante, in esse sono presenti o transitano notevoli quantità di sostanze infiammabili o tossiche, che possono dare luogo, in caso di emissione incontrollata, ad incidenti con perdita di contenimento di una certa gravità, con possibili conseguenze per persone e/o cose situate anche all'esterno del perimetro della centrale.

Si descrive quindi di seguito l'applicazione della metodologia di Figura 1 per lo svolgimento di un QRA riferito alla Centrale Termoelettrica AEM SPA di Cassano d'Adda, limitatamente agli eventi incidentali con perdita di contenimento che comportino rischi esterni all'impianto [1].

2.0 DEFINIZIONE DEL SISTEMA

L'impianto di Cassano (1.000 MW di potenza) è costituito da un turbogas da 155 MW in ciclo combinato con una turbina a vapore da 75 MW e da due nuovi turbogas da 255 MW, ciascuno in ciclo combinato, con un'unica turbina a vapore da 320 MW (utilizzati solo 270 MW).

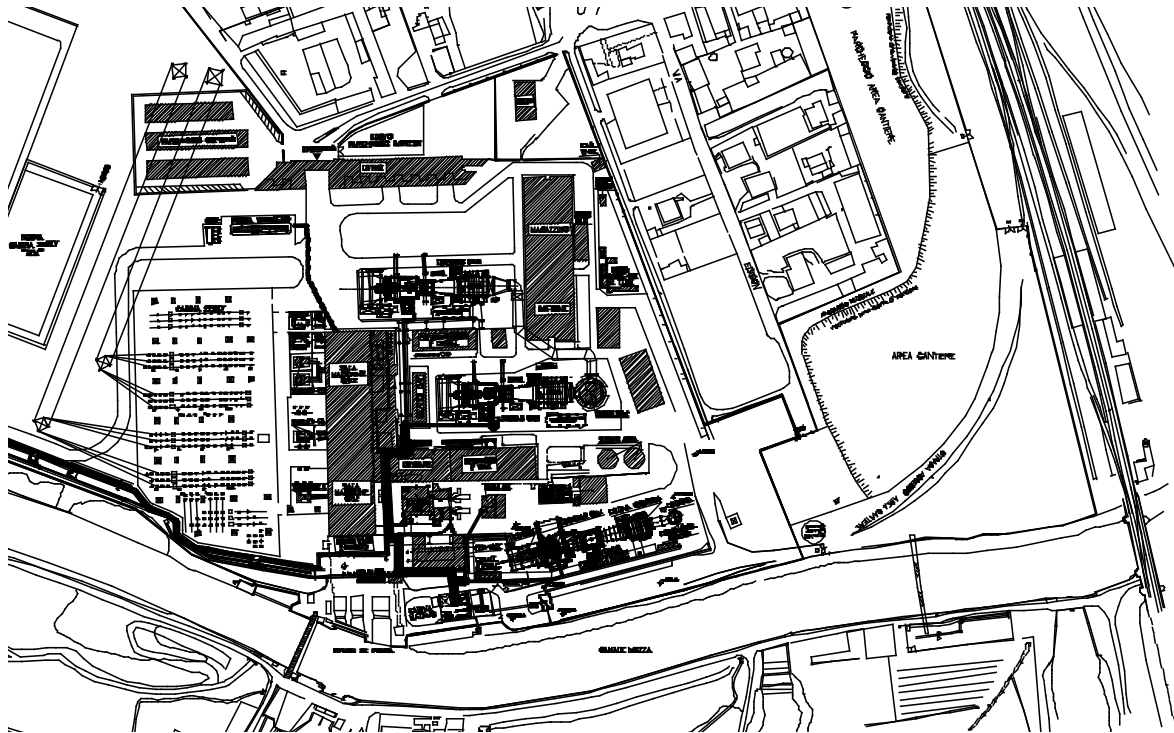


Figura 2 – Mappa del Sito della Centrale AEM SPA di Cassano D'Adda

La centrale nel suo complesso è costituita essenzialmente da (si veda la Figura 2):

- sala macchine contenente le turbine e gli alternatori dei gruppi 1 e 2,
- edificio sala controllo, locali elettrici, impianto trattamento condensato, laboratorio chimico;
- turbina a gas del Gr.4 con relativo GVR asservito alla turbina a vapore del Gr. 1;
- turbina a gas del Gr.5 con relativo GVR asservito alla turbina a vapore del Gr.2;
- turbina a gas del Gr.6 con relativo GVR asservito alla turbina a vapore del Gr.2;
- struttura denominata “heater-bay”;
- ciminiera metallica da 100 m asservita al Gr.4;
- ciminiera in c.a. da 200 m asservita ai Gr.5 e 6;
- opera di presa con relative sala pompe acqua di circolazione e cabina antincendio;
- stazione elettrica 220 kV;
- parco olio combustibile e gasolio (dismesso e in via di demolizione);
- cabina gas metano;
- impianto trattamento acque reflue;
- edificio portineria, uffici e spogliatoi;
- edificio magazzino e officine;
- edificio compressori e gruppi elettrogeni d'emergenza;
- fossa bombole idrogeno;
- locale deposito bombole CO₂;
- area ex raccordo ferroviario;
- aree a verde.

3.0 DEFINIZIONE DEL RISCHIO E CALCOLO DELLE PROBABILITA'

I sistemi della centrale esaminati per l'analisi di rischio sono stati i seguenti:

- Sistema di adduzione, depressurizzazione, riscaldamento e convogliamento del metano, a partire dalla conduttura SNAM, sino ai cabinati dei turbogas relativi ai gruppi 4, 5 & 6, ed alla caldaia ausiliaria;
- Sistema di depressurizzazione e trasferimento dell'Idrogeno, dal magazzino di stoccaggio semi-interrato sino ai sistemi di raffreddamento dei generatori relativi ai gruppi 1, 2, 5 & 6;

- Sistema di lubrificazione e sollevamento dei cuscinetti di turbina, relativo a tutti i gruppi;
- Magazzino di stoccaggio degli oli;
- Diesel d'emergenza;
- Trasformatori elevatori di tutti i gruppi;
- Trasformatori di misura (tensione e corrente) relativi ai sistemi di stazione a 220 kV e 380 kV;
- Sistema di trattamento delle acque reflue (oleose, acide a basiche).

Per alcuni di questi sistemi (Sistemi 1°, 2° e 3° della lista) si è effettuata una HAZAN (Hazard Analysis) parziale (riferita cioè ai soli componenti interessanti dal punto di vista incidentale), al fine della determinazione qualitativa dei possibili eventi iniziatori di un incidente con potenziali rischi esterni. Per altri, la determinazione dei potenziali eventi iniziatori è stata effettuata con analisi semplificate, basate su considerazioni ingegneristiche sviluppate con l'aiuto del personale d'esercizio e manutenzione della centrale. L'analisi HAZAN, in breve una analisi HAZOP (Hazard and Operability) per i soli aspetti di sicurezza, è stata effettuata utilizzando il programma PHA-Pro, versione 6, della Società Dyadem.

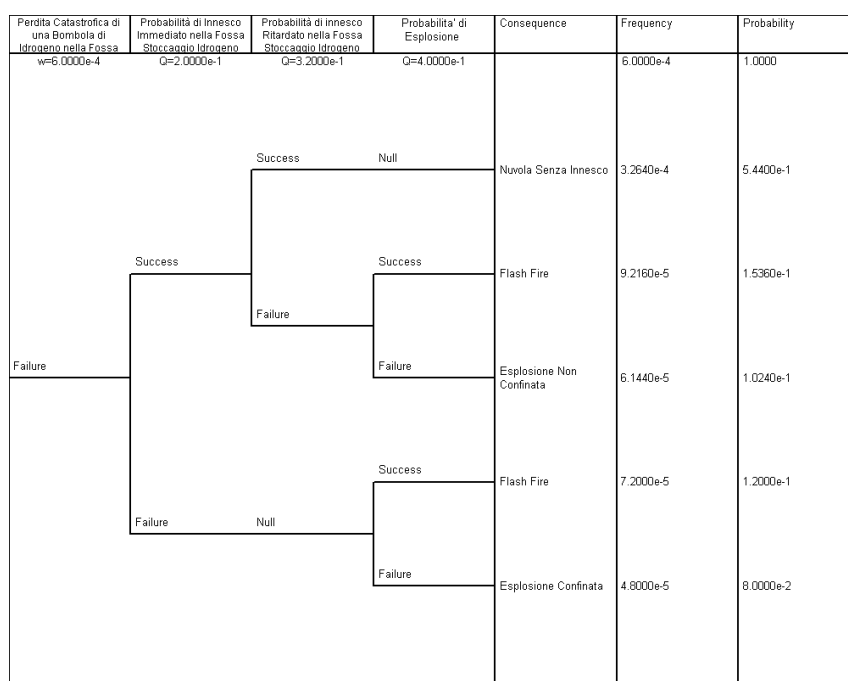


Figura 3 – Albero degli Eventi per l'evento iniziatore:
Perdita Catastrofica di una Bombola di Idrogeno nella Fossa.

Una volta determinata la lista dei potenziali eventi iniziatori, si è utilizzato una tecnica basata su Alberi di Guasto/Alberi degli Eventi (FTA – Fault Tree Analysis/ETA - Event Tree Analysis, es. in Fig. 3) per studiare in maniera quantitativa la probabilità, su base annuale, di accadimento di ciascuno dei possibili scenari incidentali, tenendo conto delle protezione passive e/o attive in essere. L'analisi è stata svolta utilizzando il codice FaultTree+, Versione 10, della Società Isograph [3]. I tassi di guasto dei vari componenti oggetto dello studio sono stati ricavati da banche commerciali (principalmente OREDA ed EIREDA). Per il calcolo delle perdite dai vari componenti del sistema si è utilizzata la procedura illustrata nel "Purple Book" [4] e nel "Hydrocarbon Leak and Ignition Database" [5], utilizzando soprattutto i database recentemente messi a disposizione dal "Health and Safety Executive, Hazardous Installations Directorate" Inglese [6], e che si riferiscono a dati provenienti da piattaforme offshore del Mare del Nord. I tassi di perdita annuali sono stati calcolati in funzione dei diametri equivalenti di perdita nelle varie zone d'impianto considerate nello studio.

Le condizioni operative delle piattaforme offshore sono caratterizzate da ambiente ostile (salinità elevata, elevate vibrazioni dovute al vento ed al moto ondoso) e si riferiscono per la maggior parte a strutture non-presidiate. La rilevazione delle perdite è quindi legata a giri di sorveglianza saltuari, spesso interrotti per lunghi periodi a causa delle condizioni del mare che impediscono l'avvicinamento dei natanti di servizio. La

situazione in oggetto è invece caratterizzata da un'installazione a terra, in condizioni ambientali favorevoli e sottoposta a strette procedure di sorveglianza per la rilevazione delle perdite. In base a queste considerazioni, si è deciso, dopo un riesame della realtà operativa della centrale e di concerto con AEM, di scalare le frequenze HSE (Health and Safety Executive database) di un fattore 10. Le frequenze di perdita così ottenute risultano più aderenti alle situazioni impiantistiche, manutentive e di sorveglianza presenti nella Centrale, pur rimanendo sempre alquanto cautelative dal punto di vista della sicurezza. Le stesse frequenze di perdita sono infine risultate essere anche dello stesso ordine di grandezza di quelle consigliate, per situazioni paragonabili, nel manuale del codice Shell SHEPHERD (si veda al Paragrafo 5.0) che sono derivate da dati riferiti a siti onshore¹. I fenomeni fisici considerati per il calcolo degli Alberi degli Eventi sono stati i seguenti:

- Cloud fire;
- Jet fire, sia verticale sia orizzontale;
- Pool fire;
- Radiazione da fiamme;
- Sovrapressioni da esplosione;

Le probabilità d'innesco dei liquidi (Oli dielettrici e Lubrificanti, Gasolina) e gas (metano e vapori) sono state calcolate utilizzando il metodo semplificato descritto nel Riferimento 5, che deriva da una correlazione tra l'entità del rilascio, espressa in flusso di massa $\dot{m}$ di gas o vapori e la probabilità d'innesco. La probabilità totale (immediata e ritardata) d'innesco per perdita d'ogni dimensione di foro è data da (1):

$$P_{\text{ignition}} = \left[1 - \exp(-0.005 \cdot \dot{m}^{1.5}) \right] \times P_{\text{max-ignition}} \quad (1)$$

dove:

P_{ignition}	Probabilità d'innesco
0.005	Probabilità d'innesco per un rilascio di 1 kg/s di gas (valore storico)
$P_{\text{max-ignition}}$	Valore di probabilità storico per grandi rilasci di gas (> 50 ÷ 100 kg/s)

La probabilità condizionata di innesco ritardato è stata considerata di 0.16, in altre parole, mediamente solo 1 innesco ogni 6 è ritardato [7]. La probabilità condizionata d'esplosione, dato un innesco ritardato della nuvola di gas e/o vapori, è stata considerata di 0.4 [4], mentre quella di Flash Fire il complemento ad uno. La Figura 3 riporta l'albero degli eventi per uno degli eventi iniziatori considerati, e precisamente: Perdita Catastrofica di una Bombola di Idrogeno nella Fossa.

4.0 CALCOLO DEGLI EFFETTI

4.1. Introduzione

Per tutti i potenziali eventi incidentali esaminati solo dal punto di vista probabilistico, esclusi quelli derivanti dal sistema di trattamento delle acque reflue, si sono calcolati gli effetti fisici derivanti in termini di: carico termico, sovra-pressioni, concentrazioni di gas infiammabili, ecc. Si è utilizzato allo scopo il codice FRED, nella sua versione 3.1. Shell FRED (Fire, Release, Explosion, Dispersion) è un sistema di calcolo che consente di modellare le conseguenze di un rilascio di prodotti sia accidentale sia intenzionale. La versione 3.1 include anche un'interfaccia utente grafica che dà la possibilità di visualizzare i risultati delle simulazioni sulla mappa del sito. Shell FRED contiene le ultime versioni dei modelli d'incendio, basati su e validati con un ampio spettro di dati sperimentali. L'ultima versione del codice HGSYSTEM, invece, consente di simulare la dispersione di gas inquinanti e/o infiammabili nell'ambiente. Si possono collegare ad un impianto numerosi scenari incidentali, sebbene FRED non tenga conto della cumulatività degli effetti.

¹ Technica C3045, Three Site Risk Study for Shell Malaysia, February 1992.

Eventuali grafici e mappe risultanti (irraggiamento, onde d'urto) vengono sovrapposti alla mappa dell'impianto. Per una revisione puntuale dei risultati in termini di irraggiamento e onda d'urto si possono poi utilizzare alcuni "recettori" precedentemente posizionati. Per quanto riguarda la simulazione di esplosioni, Shell FRED include lo stato dell'arte dei modelli per esplosioni non confinate di nuvole di vapori [9].

Esaminando le possibili conseguenze esterne all'impianto derivanti da grossi incendi di idrocarburi e/o altri materiali infiammabili, si è anche riscontrato che una delle maggiori incertezze è legata all'analisi del comportamento delle emissioni (fumo, fuliggine, gas tossici, ecc.). Si è deciso di simulare alcuni degli scenari incidentali tipici utilizzando il codice ALOFT-FT [10] (A Large Outdoor Fire plume Trajectory – Flat Terrain), appositamente concepito per l'analisi delle conseguenze della combustione di macchie galleggianti di petrolio, di Pool Fire su terra ferma o, più in generale, di grandi incendi in spazio aperto. ALOFT-FT è stato realizzato negli Anni '90 dal NIST (National Institute of Standards and Technology), l'istituto governativo USA che gestisce studi e ricerche nel campo degli incendi.

Il modello richiede in input la velocità e la variabilità del vento, il profilo della temperatura atmosferica e le caratteristiche della combustione in atto. L'output fornisce una descrizione tridimensionale del pennacchio in termini di concentrazioni dei gas di combustione e del particolato. A differenza dei modelli che applicano correlazioni empiriche e producono un profilo tipicamente gaussiano della concentrazione dei fumi a valle del punto di emissione, non tarati per incendi di idrocarburi, ALOFT-FT è di tipo deterministico in quanto risolve, anche se in modo semplificato, le equazioni che governano il fenomeno di trasporto. Il modello di ALOFT consiste infatti nella risoluzione, per un campo di moto stazionario, delle equazioni di Navier-Stokes (che soddisfano la conservazione di massa, quantità di moto ed energia in fluidi incompressibili con viscosità costante). La turbolenza atmosferica viene descritta in termini di fluttuazioni angolari della direzione del vento. Poiché il trasporto del particolato viene simulato sempre con metodo lagrangiano seguendo la traiettoria delle particelle trasportate dalla convezione, le fluttuazioni della direzione del vento sono tradotte in perturbazioni casuali delle traiettorie delle particelle. La soluzione viene suddivisa in due stadi: uno per analizzare il pennacchio nei primi 1000 m di traiettoria, e un altro per spingere l'analisi sino ad un massimo di 20 km dalla sorgente [10].

I dati meteorologici da applicare nei modelli sono stati ricavati da un precedente studio ambientale della zona, effettuato dal CISE nei primi anni '90 [11].

4.2. Risultati di FRED

La Figura 4 riporta un tipico risultato di FRED, tratto dal calcolo del flusso termico dovuto ad una potenziale perdita di metano a 75 bar-a dalla zona di depressurizzazione e riscaldamento del gas. Si possono vedere le curve isoterme a diversi gradi di flusso termico, da 3 kW/m² a 12.5 kW/m² e sino a 32.5 kW/m².

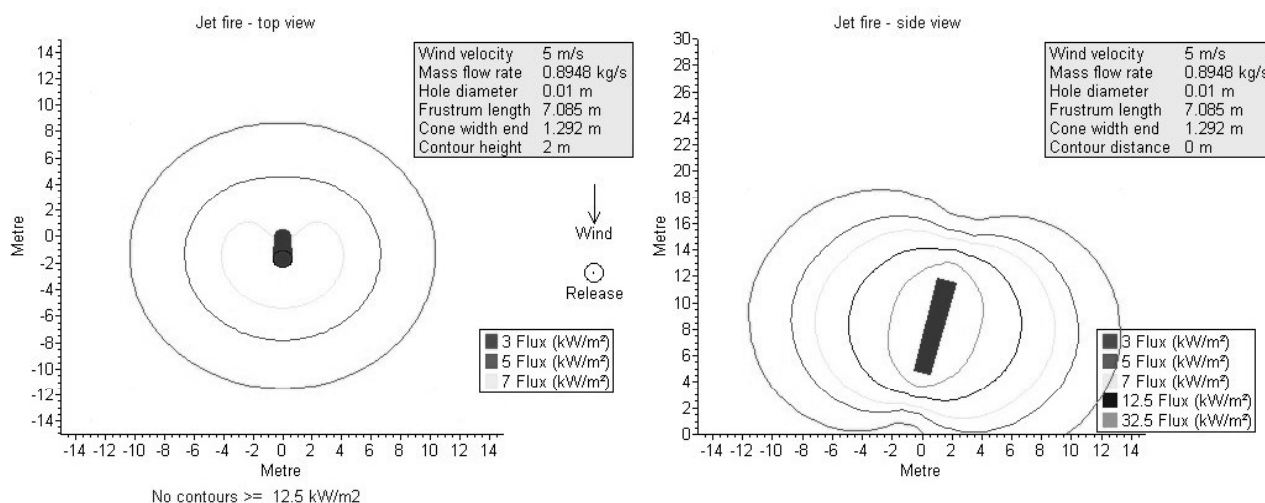


Figura 4 - Jet Fire da Emissione di Metano a 75 bar-a, diametro equivalente del foro 10 mm, FRED 3.1.

Prendendo come riferimento la Linea Guida per la Predisposizione dell'Elaborato tecnico Rischio di Incidenti Rilevanti (ERIR) nei Comuni con Stabilimenti a rischio di incidenti rilevanti”, emanata dalla Regione Lombardia (7/19794) i due primi limiti corrispondono rispettivamente a lesioni irreversibili ed a elevata letalità. L'ultimo valore (37.5 kW/m²) corrisponde invece al limite genericamente utilizzato come corrispondente al 100% di mortalità.

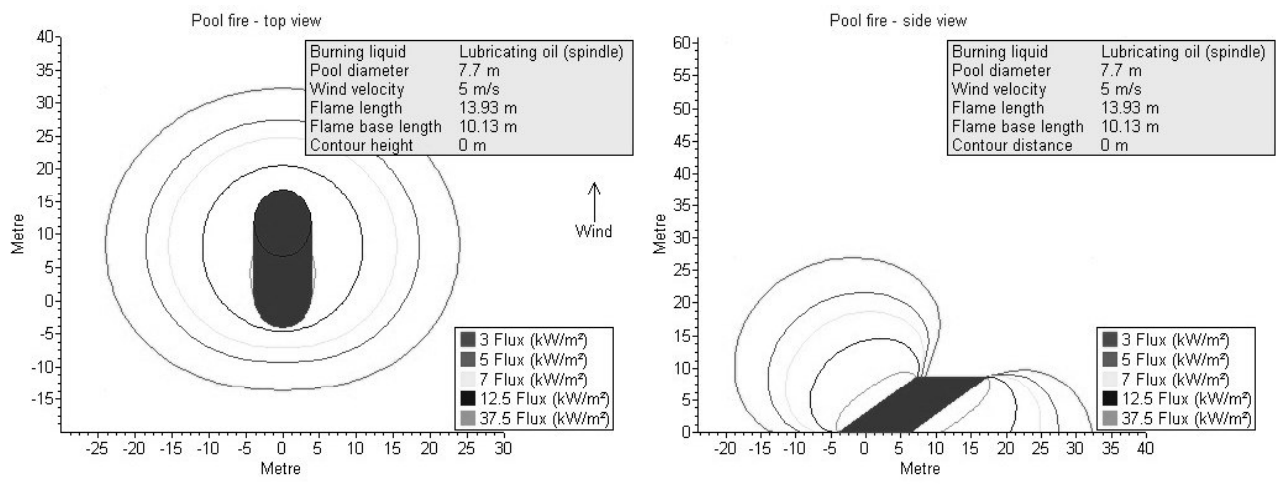


Figura 5 - Pool Fire da Incendio Trasformatore Elevatore di Gruppo – FRED 3.1

La Figura 5 riporta un analogo risultato per un potenziale incendio di pozza (Pool Fire) dell’olio dielettrico di un trasformatore elevatore di gruppo. La velocità del vento è pari a 5 m/s in direzione Nord, classe di stabilità secondo Pasquill D (Condizioni Neutre).

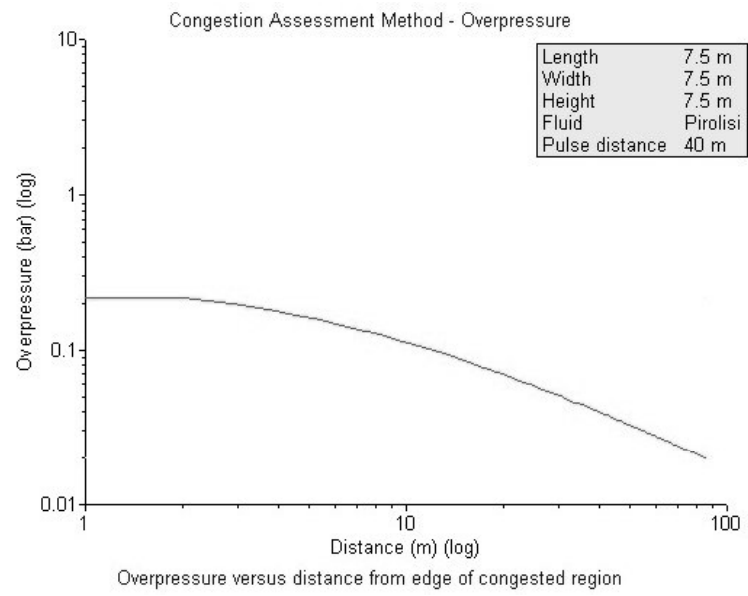


Figura 6 - Potenziale esplosione del trasformatore elevatore di gruppo: sovrappressione generata. FRED 3.1

La Figura 6, infine, presenta i risultati di FRED per la sovrappressione generata da una potenziale esplosione dello stesso trasformatore elevatore, calcolata con il modello proprietario CAM (Congestion Assessment Method), ottimizzato secondo i risultati ottenuti utilizzando il codice 3-D FLACS in uno studio analogo [12].

4.3. Risultati di ALOFT

Un Pool Fire d'olio dielettrico come quello generato dall'incendio di un trasformatore elevatore di gruppo può potenzialmente generare una massa di fuliggine che, in termini di PM10, può essere superiore al 10 ÷ 12% della massa di combustibile interessato. In assenza di sedimentazione o di abbattimento dovuto alla pioggia, per poter dar luogo ad una concentrazione confrontabile con la soglia di attenzione adottata dalla regione Lombardia per le aree urbane², questa massa di particolato dovrebbe essere diluita in un volume pari a circa 65 km³. Oltre alla semplice diluizione, il tiraggio verso l'alto dei fumi caldi dell'incendio potrebbe fornire un ulteriore contributo mitigativo tenendo lontano dal suolo il pennacchio nella zona dove la concentrazione di sostanze tossiche è ancora elevata.

La Figura 7 e la Figura 8 mostrano i risultati ottenuti con il codice ALOFT, in termini di concentrazione di PM10 e CO, per una velocità del vento di 5 m/s ed una classe di stabilità secondo Pasquill D (Condizioni Neutre).

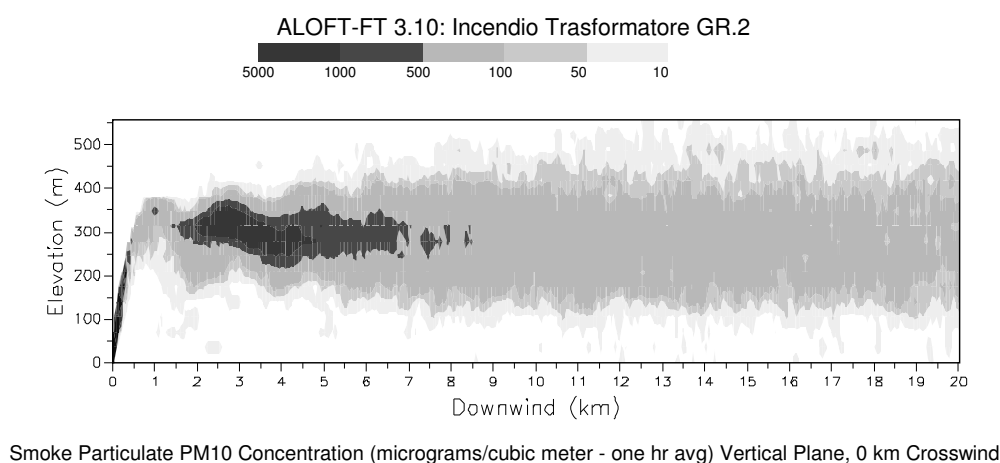


Figura 7 - Incendio di un trasformatore elevatore
Concentrazione di PM10 nel piano verticale. 5 m/s, Classe di Stabilità D.

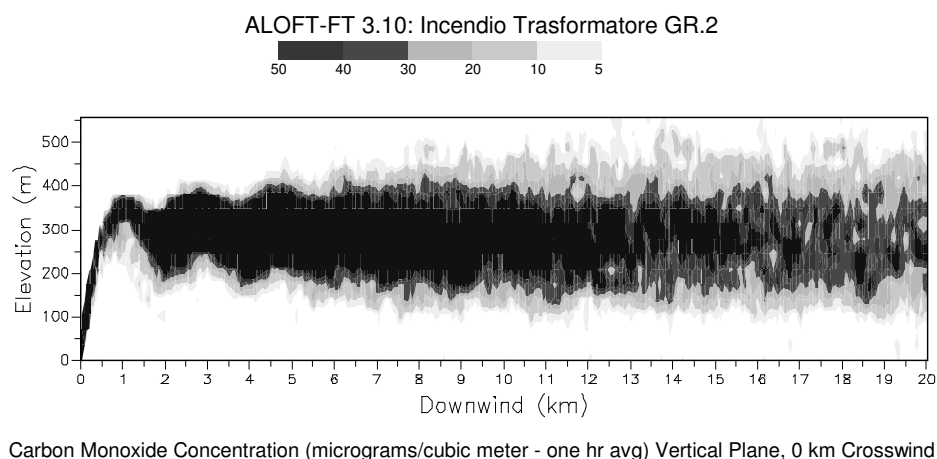


Figura 8 - Incendio di un trasformatore elevatore di gruppo
Concentrazione di CO nel piano verticale. 5 m/s, Classe di Stabilità D.

Si noti come la concentrazione al suolo rimane sempre inferiore ai limiti di attenzione.

² Soglia di attenzione per il PM10: 50 mg/m³ (media giornaliera), soglia per il CO: 10 mg/m³ (media su 8 ore).

5.0 COMPOSIZIONE DEL RISCHIO

5.1. Introduzione

La parola "rischio" è correntemente associata ai concetti d'incertezza e di perdita o danno. Il rischio industriale corrisponde agli aspetti negativi, monetari e non, della tecnologia e delle attività produttive dell'uomo. In generale, un'analisi di rischio consiste nel rispondere alle seguenti domande:

1. Cosa può non funzionare correttamente e causare un incidente con perdita di contenimento;
2. Che probabilità esiste che accada;
3. Se accade, a che conseguenze (danni) porta.

Le conseguenze esterne sono, come già detto, causate nella centrale di Cassano D'Adda da un rilascio di sostanze infiammabili, che provoca concentrazioni di sostanze dannose o pericolose nello spazio dell'impianto o in zone immediatamente limitrofe, eventualmente causando un irraggiamento termico e/o una sovrappressione eccessivi (innescando incendi e/o esplosioni), in funzione della vulnerabilità dei recettori (o bersagli) nei confronti degli impatti di energia. Da un punto di vista metodologico, gli approcci ed i criteri generalmente adottati nella valutazione possono essere distinti in metodi basati sulle "conseguenze" di determinati incidenti definiti come "incidenti di riferimento", ed in metodi basati sul "rischio", che tiene conto delle frequenze di accadimento delle diverse sequenze incidentali, e delle loro probabilità di causare un determinato danno, definito come "danno di riferimento" che può essere: invalidità temporanea, invalidità permanente o morte di un certo numero N di persone poste ad una certa distanza dal recinto dell'impianto, o danno esterno ambientale e/o alla proprietà tale da costringere ad operazioni di bonifica e/o risarcimento di un danno di costo maggiore di una cifra prefissata. Il primo metodo è quello delineato nelle Linee Guida della Regione Lombardia di cui al Riferimento [13].

In quest'analisi, si è preferito invece adottare il secondo, ritenuto più adatto per l'analisi di un impianto per la produzione di energia elettrica. Seguendo quest'ultimo metodo, il Rischio Individuale cumulativo R_i , definito come frequenza con cui si può verificare la morte di un individuo all'esterno del recinto della centrale per effetto di un qualunque incidente nell'area dell'impianto, può essere calcolato come somma dei contributi delle i-esime sequenze incidentali (scenari) indipendenti considerate:

$$R_i = \sum_j R_j \quad (2)$$

con :

$$R_j = P_j \cdot C_j \quad (3)$$

dove :

P_j è la frequenza di accadimento del generico scenario incidentale i-esimo, desumibile dalla frequenza dell'evento iniziatore e dalle probabilità che da esso seguano scenari diversi;

C_j è la probabilità che tale scenario determini la morte di un individuo posto in una certa zona limitrofa a quella del recinto della centrale.

Si suppone nel calcolo che l'individuo sia all'aperto, non abbia nessun tipo di protezione e sia esposto al danno per tutta la durata significativa dell'incidente.

Il rischio collettivo rappresenta invece la frequenza di accadimento di un incidente che dia luogo ad un numero di morti contemporanee superiore ad un numero N. Si può supporre che una percentuale degli individui coinvolti nell'incidente possano essere parzialmente protetti. Il Rischio Collettivo si rappresenta solitamente come una curva FN, con in ascissa il numero di morti N ed in ordinata la frequenza cumulativa F di incidenti che provocano più di N morti.

L'analisi è stata eseguita utilizzando il codice PRTLite della Società Shell Global Solution, utilizzando anche l'interfaccia grafica Shell SHEPHERD Desktop, Versione 1.1 [14].

La stima del danno conseguenza di un incidente richiede, oltre alla valutazione degli effetti fisici sopra descritti, anche la valutazione della vulnerabilità delle persone o delle cose che sono esposte a queste conseguenze. In altre parole, sono necessari dei criteri e dei modelli che rappresentino la relazione fra una dose ed il danno finale, dove la dose esprime una misura dell'entità dell'effetto nocivo per la durata di esposizione dell'individuo esposto.

5.2. Modelli di Vulnerabilità

Nel modello esistente in PRTLite, i decessi possibili sono dovuti alla radiazione termica, piuttosto che all'impatto con una fiamma. Il contributo al rischio che proviene dalla radiazione termica viene derivato dalle frequenze con cui può essere presente nella zona uno scenario con potenziale sviluppo di fiamme (jet fire orizzontali o verticali, pool fire).

I modelli di vulnerabilità si basano generalmente sull'osservazione che la probabilità di danno di un soggetto esposto ad una determinata dose, espressa in forma logaritmica, abbia una distribuzione di tipo lineare (metodo Probit). PRTLite non applica questo metodo ma definisce invece una probabilità di effetti letali (P_{mort}) fissa per tre livelli di radiazione, che possono essere decisi dall'utilizzatore. Si sono effettuate le seguenti scelte:

1. Livello di radiazione termica $\geq 50 \text{ kW/m}^2$: $P_{mort} = 1.0$;
2. Livello di radiazione termica $\leq 7 \text{ kW/m}^2$: $P_{mort} = 0.0$;
3. Livello di radiazione termica da 7 a 50 kW/m^2 : $P_{mort} = 0.7$.

Il livello di 7 kW/m^2 è stato scelto cautelativamente in base ai livelli di radiazione derivati dal Riferimento [13], dove per questo valore si immagina solo un inizio di letalità.

Il contributo del flash fire (lampo di fuoco) viene ricavato dalla frequenza con cui lo scenario in esame genera una nuvola di materiale infiammabile in una data zona della centrale e dalla probabilità di innesco ritardato legata alla zona stessa. La probabilità di effetti letali è unitaria sino al raggio di dispersione massimo a $\frac{1}{2}$ LEL.

Gli effetti di un'esplosione sugli individui non sono presi in considerazione nel modello di PRTLite, anche se le sovrappressioni dovute a rotture catastrofiche sono considerate come fonte di mortalità (nel presente studio, ad esempio, il vessel burst dei trasformatori di misura). Il motivo è una combinazione di più considerazioni:

- Non esistono modelli uniformemente accettati di vulnerabilità da esplosione di gas di idrocarburi. Esistono cioè in letteratura numerose correlazioni, che sono principalmente basate su di una molteplicità di incidenti. Questi incidenti non sono però normalmente dello stesso tipo di quelli modellati dal codice, ma estremamente più complessi e di difficile estrapolazione.
- E' difficile, se non addirittura impossibile, modellare gli effetti di proiettili derivati da esplosioni sulla popolazione, almeno nei limiti di un tool come PRTLite;
- La sovrappressione è, in un modello di QRA, il risultato di una nuvola di gas o vapori infiammabili che viaggia in un spazio confinato e/o congestionato e che trova una fonte d'innesco. Si può sostenere che il corrispondente Flash Fire (come calcolato dal codice) causa in realtà un numero superiore di eventi fatali nella stessa zona della corrispondente esplosione.

5.3. Calcolo del Rischio Individuale

Tutti gli eventi iniziatori sono stati posizionati nel punto di origine su una mappa che rappresenta la Centrale di Cassano e le sue immediate vicinanze. Sono stati utilizzati i seguenti parametri: caratteristiche dei materiali infiammabili, frequenze annue di perdita di gas (metano, idrogeno, benzina naturale, olio dielettrico

e lubrificante), flussi di massa di emissione, temperature di uscita del fluido, tempi di risposta dei sistemi di protezione, probabilità di innesco immediato e ritardato, distanze di dispersione a concentrazioni pari al LEL (Lower Explosive Limit) ed a $\frac{1}{2}$ LEL, lunghezze di fiamma del Jet Fire, valori di sovrappressione dovuti a rotture improvvise a distanze di riferimento nelle potenziali zone confinate e/o congestionate e meteorologia locale come dal Riferimento 11.

La zona della centrale è stata simulata con una griglia a celle di 10x10 m di lato. Tutte le emissioni sono state simulate come equiprobabili in tutte le direzioni ed il codice ha diviso le perdite in 12 settori di 30 °, attribuendo a ciascun settore 1/12 della probabilità di perdita totale. I risultati ottenuti sono riportati in Figura 9. Si noti come le zone esterne alla centrale sono raccolte in curve di iso-rischio con probabilità annuale di eventi fatali tra 10^{-5} e 10^{-7} / anno, valori cioè estremamente bassi. Le zone all'interno della centrale con rischio individuale più alto sono ovviamente quelle all'interno della stazione di decompressione e riscaldamento del metano e delle tubazioni d'adduzione del metano ai gruppi, inclusi i cabinati dei TG. Tutte queste zone sono recintate e vi è ammesso per brevi periodi solo il personale addetto alla manutenzione, adeguatamente equipaggiato con protezioni passive ed addestrato a minimizzare il tempo di permanenza nelle zone di potenziale pericolo.

Un'altra zona, peraltro molto ristretta, a rischio individuale elevato è quella immediatamente limitrofa ai trasformatori di potenza (anche questa zona è recintata e normalmente chiusa durante l'esercizio) e ai trasformatori di misura (la zona è molto piccola, e situata anch'essa in una zona recintata ad accesso limitato).

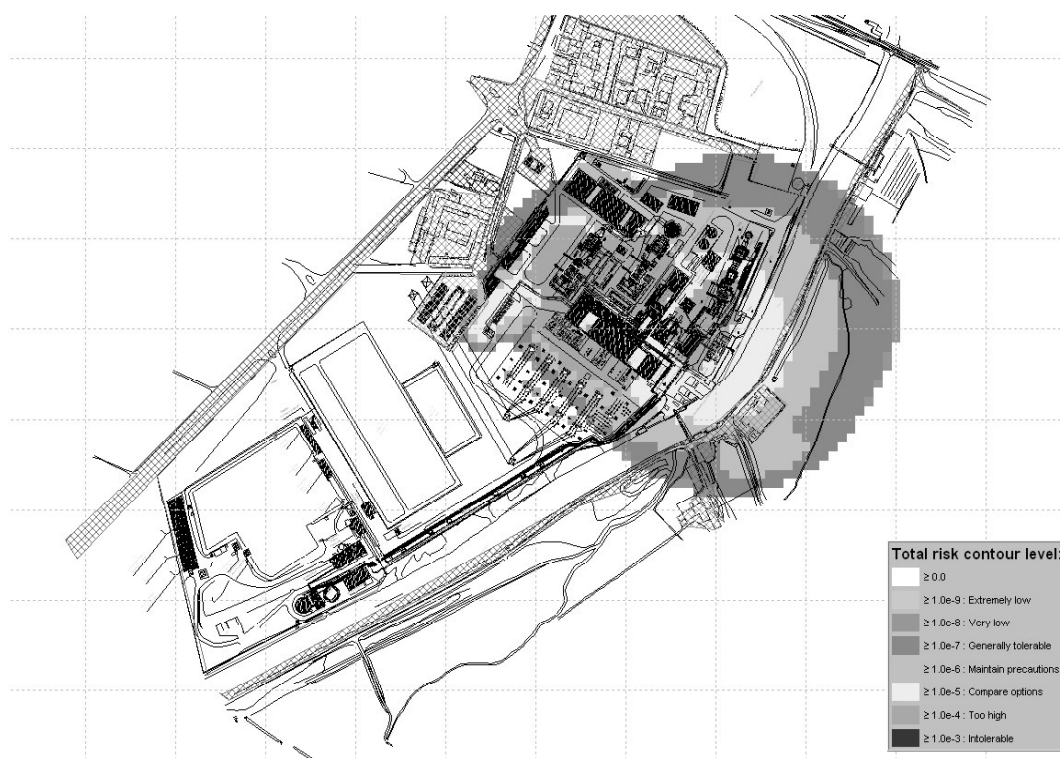


Figura 9 - Curve di Rischio Individuale – Griglia di 10 m di lato – PRTLite

5.4. Calcolo del Rischio Collettivo

Attorno alla recinzione della centrale sono stati simulati gli insediamenti urbani, con densità di popolazione che corrispondono rispettivamente a “quiet residential area”, “high density of personnel” ed al 50% di “quiet residential area”, come consigliato nel “Green Book” TNO (CPR16E) [15]. Si è supposto cautelativamente nel calcolo che tutti gli individui fossero all'aperto, senza alcun tipo di protezione ed esposti al danno per tutta la durata significativa dell'incidente. La Figura 10 riporta la curva F/N ottenuta dal codice PRTLite.

Si nota anche in questo caso che la probabilità di eventi fatali è estremamente bassa, tutta contenuta nelle zone verde e gialla della griglia, e che è quella normalmente consigliata per impianti a rischio rilevante dalla

Health Safety Authority Inglese. La zona inferiore corrisponde ad una zona di livello di rischio largamente accettabile, ed occorrono solo misure atte ad assicurarsi del buon funzionamento delle protezioni. La zona intermedia è la cosiddetta “Zona ALARP”, dove per ALARP si intende As Low As Reasonably Practicable (Il più basso ragionevolmente realizzabile). Il livello di rischio è accettabile con l’obbligo di revisioni dettagliate periodiche del/dei livello/i di protezione in atto e delle misure atte ad assicurarsi del loro buon funzionamento.

6.0 CONCLUSIONI

I risultati ottenuti hanno mostrato come le zone esterne alla centrale siano raccolte in curve di iso-rischio individuale con probabilità annuale di eventi fatali compresa tra 10^{-5} e 10^{-7} / anno, valori cioè estremamente bassi. Le zone all’interno della centrale con rischio individuale più alto sono ovviamente quelle all’interno della stazione di decompressione e riscaldamento del metano e delle tubazioni di adduzione del metano ai gruppi, inclusi i cabinati dei TG. Tutte queste zone sono recintate e vi è ammesso per brevi periodi solo il personale addetto alla manutenzione, adeguatamente equipaggiato con protezioni passive ed addestrato a minimizzare il tempo di permanenza nelle zone di potenziale pericolo.

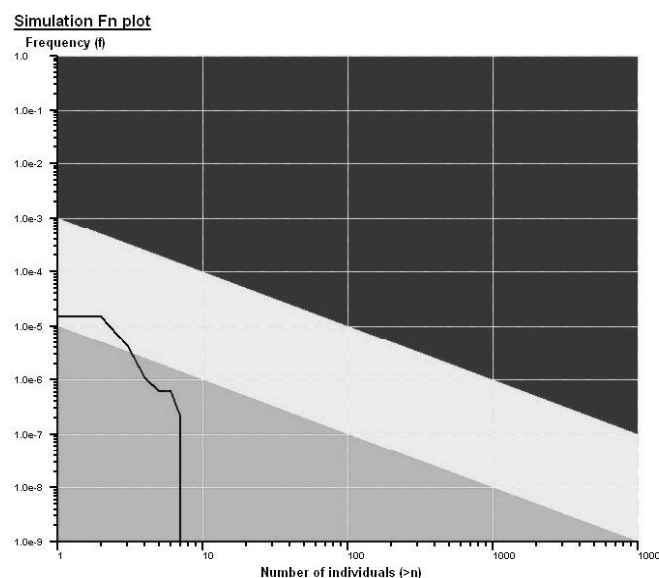


Figura 10 - Curva F/N di Rischio Collettivo – Griglia di 10 m di lato – PRTLite.

L'approccio utilizzato ha inoltre mostrato come sia possibile ridurre ulteriormente la zona con probabilità d'evento fatale pari a 10^{-5} / anno adottando, ad esempio, opportune protezioni passive (muri o compartimenti tagliafuoco, ecc.).

Un'altra zona, peraltro molto ristretta, a rischio individuale elevato è quella immediatamente limitrofa ai trasformatori di potenza (anche questa zona è recintata e normalmente chiusa durante l'esercizio) e ai trasformatori di misura (la zona è molto piccola, e situata anch'essa in una zona recintata ad accesso limitato).

Per il calcolo del rischio collettivo, sono stati simulati gli insediamenti urbani attorno alla recinzione della centrale, con densità di popolazione tipiche di zone similari. Si è supposto cautelativamente nel calcolo che tutti gli individui fossero all'aperto, senza alcun tipo di protezione ed esposti al danno per tutta la durata significativa dell'incidente

Anche in questo caso i risultati ottenuti hanno mostrato come la probabilità di eventi fatali sia estremamente bassa, e tutta contenuta o in una zona di livello di rischio largamente accettabile, in cui occorrono solo misure atte ad assicurarsi del buon funzionamento delle protezioni, o in una “Zona ALARP” (As Low As Reasonably Practicable - Il più basso ragionevolmente realizzabile). Il livello di rischio è sempre accettabile,

ma con l'obbligo di revisioni dettagliate periodiche del/dei livello/i di protezione in atto e delle misure atte ad assicurarsi del loro buon funzionamento.

Lo studio, effettuato con il codice ALOFT-FT ha dimostrato che, pur essendo sicuramente rilevante il potenziale impatto sulle strutture circostanti e sul personale eventualmente presente in centrale, le conseguenze al di fuori del sito appaiono decisamente più contenute. L'analisi eseguita mostra anche che il trasporto della nube di fumo, analizzato in una casistica rappresentativa delle condizioni atmosferiche locali, non dà luogo a scenari particolarmente gravi dal punto di vista sanitario, specie per il fatto che si tratta in realtà di un'esposizione di bassa probabilità di accadimento e di durata limitata.

RIFERIMENTI

1. Torsello G., Valisi M., Studio Quantitativo di Rischio Esterno per la Centrale Termoelettrica AEM di Cassano D'Adda, Rapporto CESI A5/042847, 30 Ottobre 2005.
2. PHA-Pro 5, Diadem International Ltd., version 5.0. HAZOP Study
3. FaultTree+ for Windows, Version 10.1, Fault Tree Analysis & Event Tree Analysis, 1986-2001 Isograph Limited.
4. S. Uitgevers, D. Haag: "Guidelines for quantitative risk assessment" (Purple Book), Committee for the Prevention of the Disasters caused by dangerous substances, The Hague: Directorate-General of Labour of the Ministry of Social Affairs and Employment, III, CPR 18E, First Edition, 1999.
5. Hydrocarbon Leak and Ignition Database, The Oil Industry International E&P Forum, May 1992.
6. OFFSHORE HYDROCARBON RELEASES STATISTICS, 2001 - HID STATISTICS REPORT - HSR 2001 002, Health and Safety Executive, Hazardous Installations Directorate, Central Division - CD4C Data Management. Room 201b Merton House, Stanley Road – Bootle Merseyside L20 3DL.
7. Cox A W, Lees F P and Ang M L (1990) Classification of hazardous locations, I.Chem.E.
8. Example of journal paper. Graham, T.L., Makhviladze, G.M. and Roberts, J.P., On the Theory of Flashover Development, Fire Safety Journal, 25, No. 3, 1995, pp. 229-259.
9. Shell FRED 4.0 - Fire, Release, Explosion, Dispersion Hazard consequence modelling package Technical Guide", Rev. 3, Shell Research Ltd, April 2004 Consequences Study.
10. NISTIR 5958 Smoke Plume Trajectory From In Situ Burning of Crude Oil in Alaska: Field Experiments and Modeling of Complex Terrain. McGrattan, K. B.; Baum, H. R.; Walton, W. D.; Trelles, J. J.
11. G. M. Riva, R. Villa: "Centrale Termoelettrica di Cassano D'Adda: Analisi degli Effetti del Piano di Adeguamento sulla Qualità dell'Aria", Rapporto CISE 7335, Dicembre 1992.
12. F. Chillè, F. Parozzi, M. Valisi: "Valutazione della sicurezza dell'impianto di La Casella a fronte di ipotetici eventi incidentali (perdite di metano, scoppio e incendio di trasformatori elevatori)", Rapporto CESI A4501289, 2004.
13. "Linea Guida per la Predisposizione dell'Elaborato tecnico Rischio di Incidenti Rilevanti (ERIR) nei Comuni con Stabilimenti a rischio di incidenti rilevanti", emanata dalla Regione Lombardia con Deliberazione della Giunta Regionale del 10 Dicembre 2004, n. 7/19794.
14. Shell PRTLite Technical Guide, SHEPHERD – Version 1.0.4.5, 10/09/2003, QRA Study.
15. TNO-MEP: "Groene Boek (CPR 16E) - Methods for determining the possible damage to people and subjects resulting from releases of hazardous materials", First Edition 1992, TNO Environment, Energy and Process Innovation.