








IMPIANTO SPTF+




ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)

00	Ottobre 2023	Emissione per Progetto Preliminare	PROECO	PROECO	PROECO	AVIO
Num. Rev.	Data	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Approvazione Cliente
Client 			Nome Progetto IMPIANTO SPTF+		Documento Cliente N. Commessa Cliente N.	
Designer  Proeco Srl  Novaeka Srl  Consorzio Leonardo			Documento Progettista N. J23024-XX-SP-010 Commessa Progettista N. J23024			
Titolo Documento ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)				Scala -	Foglio di Fogli 1 di 65	




  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 2 / 65	Rev. 00

SUMMARY




1	SCOPO E STRUTTURA DEL DOCUMENTO	5
2	DEFINIZIONI DEI TERMINI E ACRONIMI	6
2.1	Definizioni	6
2.2	Acronimi	7
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PER IL PRESENTE STUDIO	8
3.1	Documentazione tecnica	8
3.2	Banche dati	8
4	SITO DI INSTALLAZIONE	9
5	DESCRIZIONE DELL'UNITÀ OGGETTO DELL'ANALISI	11
6	SOSTANZE PERICOLOSE PRESENTI IN SITO	12
7	METODOLOGIA DI ANALISI	13
7.1	Identificazione degli eventi incidentali e stima della frequenza di accadimento	13
7.2	Stima della frequenza di accadimento degli eventi incidentali	13
7.3	Soglie di credibilità degli eventi incidentali	13
7.4	Definizione dei termini sorgente	15
7.5	Identificazione degli scenari incidentali e stima della frequenza di accadimento	15
7.6	Soglie di credibilità degli scenari incidentali	16
7.7	Valutazione delle conseguenze degli scenari incidentali credibili	17
7.8	Valutazione dell'effetto domino	18
8	IDENTIFICAZIONE DEGLI EVENTI INCIDENTALI	24
9	STIMA DELLA FREQUENZA DI ACCADIMENTO DEGLI EVENTI INCIDENTALI E DETERMINAZIONE DEI TOP EVENTS	25

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 3 / 65	Rev. 00

9.1	Evento #1: rottura catastrofica serbatoio criogenico GNL	25
9.2	Evento #2: rottura manichetta flessibile di carico GNL	25
9.3	Evento #3: rottura tubazione di trasferimento GNL	25
9.4	Evento #4: rottura tubazione GNL e apparecchiature accessorie del banco prova durante i test	26
9.5	Evento #5: rottura tubazione di H2 del banco prova durante la fase di accensione HTE	27
9.6	Riepilogo dei top events	28
10	ANALISI SCENARI INCIDENTALI PER IL TOP EVENT #1 – ROTTURA MANICHETTA FLESSIBILE DI CARICO GNL	29
10.1	Termine sorgente	29
10.2	Punto di rilascio e direzionalità	29
10.3	Portata di rilascio	30
10.4	Identificazione degli scenari incidentali	30
10.5	Valutazione delle distanze di danno associate agli scenari incidentali	32
10.5.1	Flash Fire	32
10.5.2	Conclusioni per il Top Event #1	33
11	ANALISI SCENARI INCIDENTALI PER IL TOP EVENT #2 – ROTTURA TUBAZIONE DI TRASFERIMENTO GNL	34
11.1	Termine sorgente	34
11.2	Punto di rilascio e direzionalità	34
11.3	Portata di rilascio	34
11.4	Identificazione degli scenari incidentali	39
12	ANALISI SCENARI INCIDENTALI PER IL TOP EVENT #3 – ROTTURA TUBAZIONE GNL DEL BANCO PROVA DURANTE I TEST	41
12.1	Termine sorgente	41
12.2	Punto di rilascio e direzionalità	41
12.3	Portata di rilascio	41
12.4	Identificazione degli scenari incidentali	47

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 4 / 65	Rev. 00

12.5	Valutazione delle distanze di danno associate agli scenari incidentali	49
12.5.1	Jet fire	49
12.5.2	Flash Fire	51
12.5.3	Conclusioni per il Top Event #3	52
13	ANALISI SCENARI INCIDENTALI PER IL TOP EVENT #4 – ROTTURA TUBAZIONE DI H2 DEL BANCO PROVA DURANTE LA FASE DI ACCENSIONE HTE	54
13.1	Termine sorgente	54
13.2	Punto di rilascio e direzionalità	54
13.3	Portata di rilascio	54
13.4	Identificazione degli scenari incidentali	55
13.5	Valutazione delle distanze di danno associate agli scenari incidentali	56
13.5.1	Jet fire	56
13.5.2	Conclusioni per il Top Event #4	58
14	VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DOMINO	60
15	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	61
15.1	Conclusioni	61
15.2	Raccomandazioni	65

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 5 / 65	Rev. 00

1 SCOPO E STRUTTURA DEL DOCUMENTO

Il presente documento illustra i risultati relativi all'analisi degli scenari incidentali per l'impianto costituito dal banco prova dei motori ad alta spinta HTE, nell'ambito del progetto denominato SPTF+.

Le analisi quantitative di rischio di seguito riportate sono state sviluppate sulla base di rigorose norme e standard usualmente adottati in Italia per gli stabilimenti soggetti agli adempimenti dettati dal D.Lgs. 105/2015 relativo ai rischi di incidente rilevante (Stabilimenti Seveso).




Si sottolinea che il Centro di sperimentazione oggetto della presente non rientra negli obblighi di cui al D.Lgs. 105/2015, come risultato dall'analisi dei quantitativi di sostanze pericolose che saranno presenti in sito: tuttavia, le disposizioni del Decreto sono state prese come riferimento come guida per il presente studio.

La valutazione delle conseguenze e delle relative distanze di danno è stata condotta con l'impiego del software DNV Phast Risk v. 8.2. Per tutti gli scenari ritenuti credibili sono state rappresentate le distanze di danno.

I risultati raggiunti hanno consentito la valutazione della corretta localizzazione dell'impianto e delle relative, in relazione ai potenziali bersagli posti in prossimità del sito di installazione.

Lo studio è stato strutturato come segue:



- nel Paragrafo 4 è riportata una descrizione del sito prescelto per l'installazione delle facilities dell'impianto SPTF+;
- nel Paragrafo 5 è riportata una breve descrizione dell'unità oggetto del presente studio;
- nel Paragrafo 6 sono riepilogate le sostanze pericolose presenti in sito;
- nel Paragrafo 7 viene descritta la metodologia di analisi applicata al presente studio;
- nel Paragrafo 8 vengono definiti gli eventi incidentali potenziali, mentre nel Paragrafo 9 vengono identificati gli eventi incidentali credibili (Top Events);
- nei Paragrafi da 10 a 13 vengono analizzati gli scenari incidentali per ciascun Top Event identificato e determinate le relative conseguenze;
- nel Paragrafo 14 viene effettuata la valutazione dell'Effetto Domino;
- infine, nel Paragrafo 15 sono descritte le conclusioni derivanti dai risultati emersi dall'analisi.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 6 / 65	Rev. 00

2 DEFINIZIONI DEI TERMINI E ACRONIMI

2.1 DEFINIZIONI




Pericolo	Proprietà intrinseca di una sostanza pericolosa o della situazione fisica esistente in uno stabilimento/sito di provocare danni per la salute umana o per l'ambiente. La probabilità che un determinato evento si verifichi in un dato periodo o in circostanze specifiche (da D. Lgs. 105/2015).
Danno – Livello di danno	Un danno è la conseguenza di un'azione o di un evento che causa la riduzione quantitativa o funzionale di un bene. Frequenza per cui si verifichi un evento di una data gravità (livello di danno).
Rischio	Frequenza che un singolo individuo, un gruppo di individui, o un determinato bene materiale o comparto ambientale subisca effetti negativi di data natura ed entità a causa di uno specifico pericolo.
Probabilità	Numero variabile tra 0 ed 1, indicante la stima numerica della possibilità che un evento possa realizzarsi.
Perdita di contenimento (o perdita - rilascio)	Deterioramento/Lesione delle linee di processo che porta ad una apertura di dimensioni variabili con perdita del contenuto verso l'esterno.
Perdita di natura random	Perdita di contenimento da apparecchiatura / linea non specificamente riconducibile a cause di processo, ma connesse a cause più generali (corrosione, errata selezione materiali, errori operativi, ecc.).
Rateo di guasto	Frequenza attesa di guasto di un componente di un sistema.
Frequenza di accadimento di un evento incidentale	Periodicità statistica stimata di accadimento di un evento incidentale.
Top-Event	Evento incidentale caratterizzato da una perdita di contenimento, credibile in termini quantitativi, a cui consegue uno scenario incidentale.
Scenario incidentale	Sviluppo delle conseguenze di un evento incidentale credibile, in termini generali di rilascio tossico, incendio od esplosioni.
Albero degli eventi	Tecnica analitica che consente di rappresentare in maniera sistematica le possibili evoluzioni di un evento incidentale tra i vari scenari alternativi
Cricca	Perdita di contenimento avente un diametro equivalente significativamente inferiore al foro, corrispondente ad un D variabile fra 5 e 15 mm in funzione del DN della tubazione.
Foro	Perdita di contenimento definibile come importante o significativa, in base a criteri generali adottati nella letteratura specialistica, corrispondente ad un D variabile fra 15 e 50 mm, in funzione del DN della tubazione.
Jet Fire	Dardo di fuoco direzionale dovuto all'incendio di un getto gassoso turbolento che si libera da un componente impiantistico in pressione; può causare danni alle strutture e/o alle persone in relazione all'entità dell'irraggiamento generato.
Flash Fire	Rapida combustione di una nube di gas/vapori infiammabili, senza sviluppo di sovrappressioni. Tale fenomeno ha una durata molto limitata e comporta effetti letali soltanto per le persone che si venissero a trovare all'interno della nube. Non sono da attendersi danni per le strutture e per le persone che dovessero trovarsi all'interno delle strutture.
Fireball	Palla di fuoco, contraddistinta da incendio in atmosfera di una elevata quantità di vapori rilasciata quasi istantaneamente. L'incendio assume la forma di una sfera di gas infuocato; può causare danni alle strutture e/o alle persone in relazione all'entità dell'irraggiamento generato.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 7 / 65	Rev. 00

Pool Fire	Incendio di una pozza di liquido infiammabile al suolo; può causare danni alle strutture e/o alle persone in relazione all'entità dell'irraggiamento generato.
Dispersione	Diffusione di una sostanza pericolosa in atmosfera a seguito di una perdita di contenimento.
BLEVE	(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) Cedimento strutturale di una apparecchiatura (tipicamente i serbatoi di stoccaggio GPL) a seguito del repentino aumento della pressione dovuto ad evaporazione del liquido presente all'interno. Il fenomeno si determina nel caso in cui un serbatoio sia investito direttamente da una sorgente di fiamma (da pozza o da getto) che riscalda il mantello, attenuandone la resistenza meccanica, fino a determinarne il cedimento e la immediata vaporizzazione del liquido contenuto all'interno.
UVCE	(Unconfined Vapor Cloud Explosion) Esplosione non confinata di una nube di gas/vapori infiammabili; può causare danni alle strutture e/o alle persone in relazione all'entità delle onde di sovrappressione che si generano. L'effetto sulle persone all'interno di strutture è indotto dai danneggiamenti provocati sulle strutture stesse.

2.2 ACRONIMI

SPTF	Space Propulsion Test Facility (Centro Prove Spaziali)
HTE	High Thrust Engine
CH4	Metano (fase gassosa)
LNG (GNL)	Liquefied Natural Gas (Gas Naturale Liquefatto)
H2	Idrogeno
DCS	Distributed Control System
HAZOP	HAzard OPerability analysis
PSV	Process Shut-Down
ESD	Emergency Shut Down
LFL	Lower Flammability Limit (Limite inferiore di infiammabilità)
UFL	Upper Flammability Limit (Limite superiore di infiammabilità)
PSV	Pressure Safety Valve (Valvola di sicurezza)
JF	Jet-fire
FB	Fireball
FF	Flash-fire
UVCE	Unconfined Vapor Cloud Explosion

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 8 / 65	Rev. 00

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PER IL PRESENTE STUDIO

3.1 DOCUMENTAZIONE TECNICA

Doc. no.	Title
J23024-ME-DW-003	Layout e configurazione banco di spinta HTE
J23024-PR-DW-004	Process & Instrument Diagrams




3.2 BANCHE DATI

Tag / Ref.	Title
IOGP 434-01	Process release frequencies
IOGP 434-04	Riser & Pipeline release frequencies
IOGP 434-06	Ignition probabilities
AIChE	Chemical Transportation Risk Analysis – CCPS - 1995



ELENCO APPARECCHIATURE

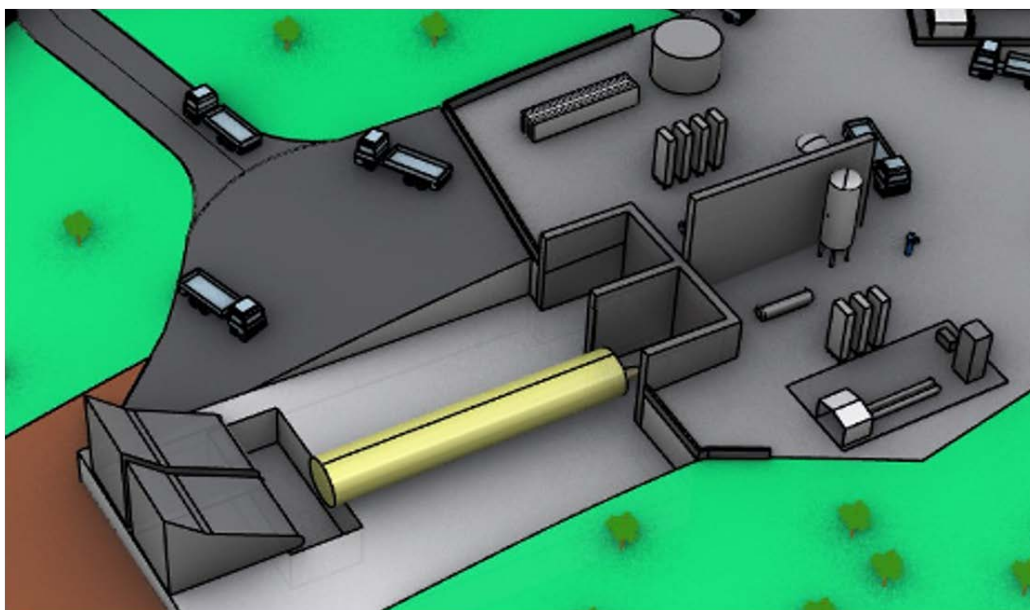
- | | |
|--------------------------------|-----------------------|
| 01 Torcia FL01 | 07 Run Tank LCH4 |
| 02 GPL Tank T901 | 08 Run Tank LOX |
| 03 Piazzola Azoto | 09 LOX Waste Tank T02 |
| 04 Piazzola gassificazione CH4 | 10 Vaporizzatori 02 |
| 05 Vaporizzatori CH4 | 11 Serbatoio Acqua |
| 06 LCH4 Waste Tank | 12 Shelter DCS 40ft |

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 11 / 65 Rev. 00

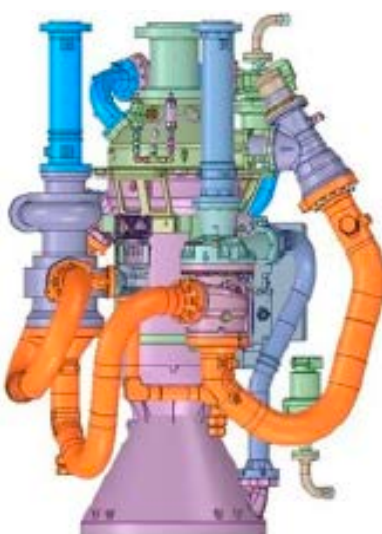
5 DESCRIZIONE DELL'UNITÀ OGGETTO DELL'ANALISI

Il banco prova HTE è destinato a testare motori M60 alimentati da ossigeno liquido (LOX) e Gas Naturale Liquefatto (LNG), caricati e stoccati in serbatoi criogenici. Non è previsto uno stoccaggio permanente in sito dei propellenti criogenici, che saranno approvvigionati di volta in volta e scaricati direttamente in due Start-Tank dall'autocisterna criogenica prima di ogni test.

In particolare, il serbatoio di GNL, riempito periodicamente mediante autocisterna, è collegato all'impianto di prova mediante tubazioni di diametro 6".






Banco prova HTE per motori M60



Motore M60

Il banco prova sarà realizzato per consentire test di breve durata (350 s) sui motori.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 12 / 65	Rev. 00




6 SOSTANZE PERICOLOSE PRESENTI IN SITO

La tabella seguente indica le quantità delle sostanze pericolose detenute presso lo Stabilimento, confrontandole con le soglie specificate nel D.Lgs. 105/2015, al fine di determinare, tramite “sommatoria pesata” se lo stabilimento sia soggetto o meno al decreto sopracitato.

Sostanza	Colonna 1	Numero CAS	Colonna 2	Colonna 3	Quantitativi presenti in Stabilimento (ton)
	Sostanze pericolose		Quantità limite (ton aifini dell'applicazione del D.Lgs.		
			Requisiti di soglia inferiore	Requisiti di soglia superiore	
LNG/LCH4	18. Gas liquefatti infiammabili, categoria 1 o 2 (compreso GPL), e gas naturale	-	50	200	19,5 (46,3.m³)
GPL	18. Gas liquefatti infiammabili, categoria 1 o 2 (compresoGPL), e gas naturale	-	50	200	Max 1,5
H2	15. Idrogeno	1333-74-0	5	50	0,012
LOX	25. Ossigeno	7782-44-7	200	2000	61,5 (53,9 m³)

Quantità di sostanze pericolose detenute e confronto con soglie del D.Lgs. 105/2015

In funzione delle quantità di sostanze e delle soglie inferiori e superiori, lo stabilimento non rientra in Seveso III e, per quanto concerne la Fase 1, non risulta soggetto agli obblighi del D.Lgs. 105/2015.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 13 / 65	Rev. 00

7 METODOLOGIA DI ANALISI

Il modello metodologico adottato nell'esecuzione dell'analisi degli eventi incidentali è sviluppato in accordo alle fasi operative descritte nel seguito. Lo sviluppo logico è coerente con le indicazioni fornite dal Cap 2 dell'Allegato I al DPCM del 31 marzo 1989 e prevede:

- Identificazione degli eventi incidentali di riferimento e stima della relativa frequenza di accadimento;
- Selezione degli eventi classificabili come credibili (Top Events), caratterizzati da una frequenza di accadimento superiore a 10^{-6} occ/anno;
- Definizione dei “termini sorgente” per l'identificazione dei parametri di processo e funzionali che governano la dinamica e lo sviluppo dei Top Events, quali, ad esempio, la valutazione della dinamica del rilascio; la determinazione della portata di efflusso;
- Per ciascun Top Event, individuazione degli scenari incidentali e stima tramite la tecnica dell'albero degli eventi della relativa frequenza di accadimento;
- Individuazione degli scenari incidentali credibili, caratterizzati da una frequenza di accadimento maggiore di 10^{-7} occ/anno;
- Per gli scenari credibili, valutazione delle conseguenze in termini di estensione delle aree di danno caratterizzate da determinati valori di soglia (di seguito descritti);
- Valutazione delle possibili interazioni con altre aree o impianti (Effetto Domino).

7.1 IDENTIFICAZIONE DEGLI EVENTI INCIDENTALI E STIMA DELLA FREQUENZA DI ACCADIMENTO

Ai fini del presente studio, gli eventi incidentali sono stati individuati mediante l'analisi delle rotture “random”, definite come eventi determinati da fenomeni casuali, non direttamente collegabili con cause di processo.

L'analisi è stata effettuata considerando le seguenti forme caratteristiche di perdita di contenimento:




- Cricca: diametro di efflusso assunto pari a 5 mm;
- Foro: diametro di efflusso assunto pari a 25 mm;
- Rottura: diametro di efflusso assunto pari a 75 mm.

7.2 STIMA DELLA FREQUENZA DI ACCADIMENTO DEGLI EVENTI INCIDENTALI

Le frequenze di rottura, relativamente ai rilasci di tipo random, sono state ricavate dalle banche dati specializzate. Nel presente studio si è fatto riferimento alla banca dati IOGP (International Association of Oil & Gas Producers), che raccoglie dati a livello globale sugli incidenti di sicurezza delle aziende associate. I dati raccolti vengono inseriti nel database di sicurezza IOGP, che è il più grande database di prestazioni di sicurezza nei settori E&P e O&G.

7.3 SOGLIE DI CREDIBILITÀ DEGLI EVENTI INCIDENTALI

In relazione alla frequenza di accadimento, ad ogni potenziale evento incidentale individuato è possibile associare una “classe di frequenza”, secondo quanto indicato nella seguente tabella:

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 14 / 65	Rev. 00

Classe dell'evento	Frequenza (occ/anno)
PROBABLE (probabile)	$> 10^{-1}$
FAIRLY PROBABLE (abbastanza probabile)	$10^{-2} \div 10^{-1}$
SOMEWHAT UNLIKELY (abbastanza improbabile)	$10^{-3} \div 10^{-2}$
QUITE UNLIKELY (piuttosto improbabile)	$10^{-4} \div 10^{-3}$
UNLIKELY (improbabile)	$10^{-5} \div 10^{-4}$
VERY UNLIKELY (molto improbabile)	$10^{-6} \div 10^{-5}$
EXTREMELY UNLIKELY (estremamente improbabile)	$< 10^{-6}$

Classi di frequenza di accadimento di eventi incidentali (fonte: "General Guidance on Emergency Planning within the CIMAH regulation")

La normativa italiana (Cap. 2 dell'Allegato III al DPCM del 31 marzo del 1989) utilizza un criterio qualitativo di classificazione, come da tabella seguente.

Classe dell'evento	Frequenza (occ/anno)
Maggiore di 1 volta ogni 10 anni	Molto Alta
Maggiore di 1 volta tra 10 e 100 anni	Alta
Maggiore di 1 volta tra 100 e 1.000 anni	Media
Maggiore di 1 volta tra 1.000 e 10.000 anni	Bassa
Minore di 1 volta ogni 10.000 anni	Molto Bassa




Classi di frequenza di accadimento di eventi incidentali – Normativa italiana (31/03/89)

Le indicazioni riportate in tabella per ciascuna classe di frequenza assumono il seguente significato:

- **BASSA:** evento improbabile durante la vita prevista di funzionamento dell'impianto;
- **MEDIA:** evento possibile durante la vita prevista di funzionamento dell'impianto;
- **ALTA:** evento che può verificarsi almeno una volta nella vita prevista di funzionamento dell'impianto.

L'analisi e la rappresentazione degli eventi incidentali è stata quindi effettuata applicando un criterio di credibilità dell'evento. Nel caso in cui, in funzione della frequenza di accadimento stimata, l'evento sia ritenuto credibile, si è proceduto alla successiva analisi degli scenari incidentali. Nel caso opposto, il rischio è stato ritenuto marginale e non si procederà a determinare i termini delle conseguenze.

Le indicazioni riportate sopra, consentono di ritenere un evento come credibile (Top Event) qualora la frequenza di accadimento ad esso associata risulti superiore a $1,0 \times 10^{-6}$ occ/anno. Al di sotto di questa soglia gli eventi incidentali non verranno sviluppati.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 15 / 65	Rev. 00

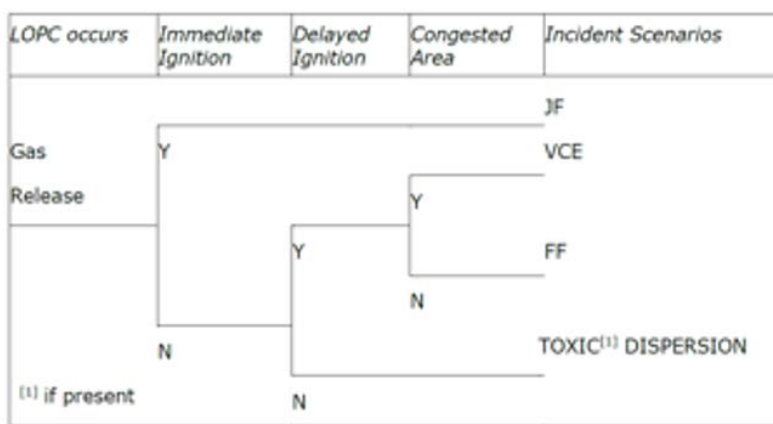
7.4 DEFINIZIONE DEI TERMINI SORGENTE

Per ciascun evento incidentale classificato come credibile, si è proceduto alla identificazione dei parametri di processo e funzionali che governano la dinamica e lo sviluppo del Top Event, in conseguenza alla perdita di contenimento e al rilascio di materia e/o energia in atmosfera.

In questo modo è stato possibile individuare i valori dei parametri fisici e le ipotesi di base per la modellazione degli scenari, la valutazione delle relative conseguenze e stimare la durata dello scenario incidentale.

7.5 IDENTIFICAZIONE DEGLI SCENARI INCIDENTALI E STIMA DELLA FREQUENZA DI ACCADIMENTO

Questa fase è stata sviluppata con l'ausilio della tecnica dell'albero degli eventi. Questo strumento consente di identificare e quantificare le frequenze associate a ciascuno dei possibili scenari incidentali che possono svilupparsi a partire da un dato Top Event.



Albero degli eventi per rilascio di solo gas

In funzione del tempo in cui può avvenire l'ignizione della miscela infiammabile, si possono avere i seguenti scenari incidentali:

- Nel caso di ignizione immediata: Jet-fire (JF, se presente solo fase gassosa) o Fireball (FB, in presenza di fase liquida)
- Nel caso di ignizione ritardata: Unconfined Vapor Cloud Explosion (UVCE), Flash-fire (FF) o Pool fire (PF, in presenza di sversamenti di liquido infiammabile)
- Nel caso di assenza di ignizione: Gas Dispersion.

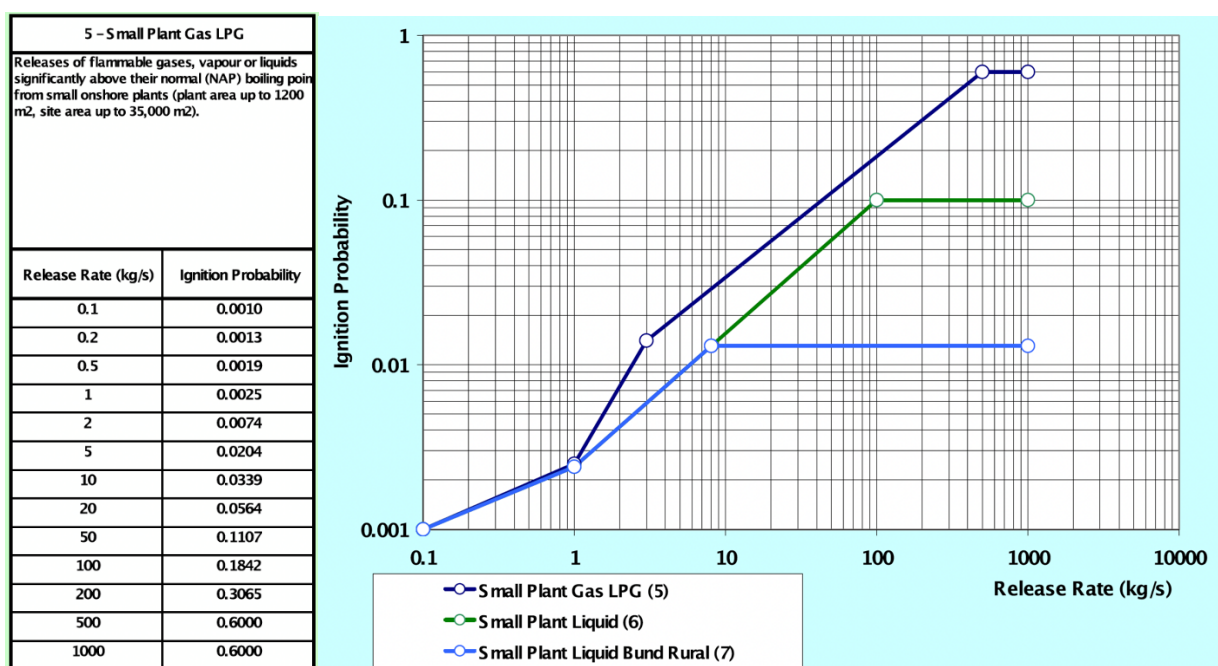
La scelta delle probabilità dei diversi percorsi possibili è stata approfondita e dettagliata con considerazioni in merito alla effettiva possibilità di innesco basate sulle dimensioni e portata del rilascio.

Per la scelta dei fattori di probabilità di innesco si è fatto riferimento ai valori indicati nella figura che segue, i cui valori sono validi per il caso di rilascio di gas e gas liquefatti per impianti a terra di estensione limitata (Fonte: Data base IOGP 434-6 – "Ignition probabilities").

Le probabilità di innesco in tabella si riferiscono, per ogni valore della portata di efflusso, alla somma delle probabilità di innesco immediato e ritardato.

La metodologia applicata per ricavare i valori in tabella è basata sull'assunzione che la probabilità di innesco immediato può essere assunta pari a 0,001, indipendentemente dalla portata del rilascio. Ciò implica che è sufficiente un quantitativo di sostanza infiammabile di 0,1 kg/s (valore iniziale di tabella cui corrisponde la probabilità di innesco di 0,001) per avere un innesco immediato. Di conseguenza, la probabilità di innesco ritardato è pertanto calcolabile come differenza tra il valore della probabilità di innesco totale e quello dell'innesco immediato assunto per quanto sopra pari a 0,001.

In caso di innesco ritardato, il fenomeno risultante può essere una UVCE o un Flash Fire.






Probabilità di innesco in funzione della portata di rilascio (Fonte: Data base IOGP 434 – 6 – Ignition probabilities)

Nella valutazione della probabilità di scenario, è possibile fare riferimento ai criteri riportati nella normativa italiana (DM del 15 maggio.1996), che, seppure non applicabile al caso in esame in quanto riferita a stabilimenti soggetti alla normativa Seveso, classifica come marginale il rischio di esplosione non confinata nel caso in cui la massa di vapori all'interno del campo di infiammabilità sia inferiore a 1.500 kg, in aree parzialmente confinate (tipicamente gli impianti di processo).

Tenendo in considerazione il fatto che, per il caso di studio, le condizioni di miscela infiammabile in atmosfera sono possibili esclusivamente a seguito di rilascio di gas metano, che è un gas più leggero dell'aria che tende a diffondere rapidamente verso gli strati alti dell'atmosfera, il limite di massa all'interno del campo di infiammabilità applicato per ritenere credibile l'evoluzione dello scenario come UVCE, fissato a 1500 kg, risulta cautelativo.

7.6 SOGLIE DI CREDIBILITÀ DEGLI SCENARI INCIDENTALI

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 17 / 65	Rev. 00

La soglia di credibilità per l'analisi e la rappresentazione degli scenari incidentali (originati da ipotesi o eventi incidentali credibili) è fissata pari al valore di 10^{-7} occasioni/anno. Tale assunzione è coerente all'applicazione dei criteri di pianificazione territoriale presenti nel DM del 9 maggio 2001, utilizzabili quali riferimento guida.

Pertanto, nel presente studio sono stati considerati scenari incidentali credibili quelli con frequenza di accadimento superiore o uguale a $1,0 \times 10^{-7}$ occ/anno: per essi sono stati sviluppati gli effetti.

7.7 VALUTAZIONE DELLE CONSEGUENZE DEGLI SCENARI INCIDENTALI CREDIBILI

La valutazione delle conseguenze di uno scenario incidentale credibile è stata condotta utilizzando il software DNV Phast Risk v. 8.2, che ha consentito di determinare le distanze di danno, definite come le dimensioni caratteristiche delle aree entro cui si raggiungono determinati valori di soglia corrispondenti a specifici danni alle persone, all'ambiente e agli asset.




Il modello numerico sviluppato mediante il software ha consentito di effettuare valutazioni molto dettagliate, che tengano conto della dinamica dello sviluppo del rilascio e delle condizioni ambientali in cui avviene l'efflusso.

La rappresentazione delle conseguenze è stata condotta seguendo come guida i livelli di danno selezionati dalla normativa sul rischio di incidente rilevante, con particolare riferimento al DM del 9 maggio 2001 *"Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate a rischio di incidente rilevante"*, per quanto si ribadisce non sia direttamente applicabile al caso.

Le soglie di danno considerate nel presente studio sono riportate nella tabella che segue.

Valori di soglia in funzione del livello di danno					
Scenario	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili	Danni alle strutture
Incendio (radiazione termica stazionaria)	12,5 kW/m ²	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²	12,5 kW/m ²
BLEVE/ Fireball (radiazione termica variabile)	Raggio fireball	350 kJ/m ²	200 kJ/m ²	125 kJ/m ²	200 - 800 m
Flash-fire (radiazione termica istantanea)	LFL	1/2 LFL	-	-	-
UVCE (sovrapressione di picco)	0.3 bar 0.6 bar (spazi aperti)	0.14 bar	0.07 bar	0.03 bar	0.3 bar
Rilascio tossico (dose assorbita)	LC50 (30 min, hmn)	-	IDLH	-	-

Valori di soglia di danno secondo il D.M del 9 maggio 2001

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 18 / 65	Rev. 00

In accordo alla normativa italiana, la valutazione delle conseguenze è stata condotta sulla base dei dati meteorologici riportati nella tabella sottostante.

Parametro	Valore
Classe di Pasquill e velocità del vento	2F (2 m/s) 3F (3 m/s) 5D (5 m/s)
Temperatura ambiente	15°C
Umidità relativa	70%
Irraggiamento solare	0,7 kW/m ²
Rugosità terreno	0,17 m

Condizioni meteorologiche di riferimento per la valutazione delle conseguenze

La condizione D (neutrale) è maggiormente rappresentativa delle ore diurne, mentre la condizione F (elevata stabilità) è da prendersi a riferimento per le condizioni notturne con vento debole.

7.8 VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DOMINO

L'effetto domino è classificabile come il meccanismo con il quale un incidente iniziale ("primario"), generato in una apparecchiatura, causa un ulteriore evento incidentale ("secondario"), per energia termica o meccanica, in un'altra apparecchiatura. L'evento secondario incrementa in grande misura lo scenario iniziale: questo comporta che lo scenario "secondario" generato sia di gravità superiore a quella dello scenario iniziatore.

L'approccio metodologico proposto per l'analisi prevede lo sviluppo consecutivo di alcune fasi applicative, di seguito riportate in sequenza:




- Definizione degli scenari sorgente;
- Definizione delle aree di influenza degli scenari sorgente;
- Individuazione delle apparecchiature bersaglio, presenti nelle aree di influenza, e selezione dei bersagli critici;
- Valutazione della possibilità di effetti domino;
- Stima della credibilità degli effetti domino.

Definizione degli scenari sorgenti

Con riferimento agli scenari incidentali credibili individuati nell'analisi di rischio, gli scenari potenziali sorgenti di effetti domino sono quelli in grado di determinare danni meccanici a seguito di irraggiamento stazionario oppure per sovrappressione.

Gli scenari di riferimento potenzialmente generabili sono i seguenti:

- pool fire

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 19 / 65	Rev. 00

- jet fire
- esplosioni, con o senza frammenti
- BLEVE-fireball.

Lo scenario di Flash-Fire non è compreso tra gli scenari potenzialmente causanti effetto domino e danni alle apparecchiature/strutture, in quanto la radiazione termica emessa è di tipo istantaneo e le soglie di danno sono da attribuirsi solamente in relazione a danni all'uomo.

Definizione delle aree di influenza degli scenari sorgente

Per il caso allo studio, le soglie di danno (e le relative aree limite) da considerare per l'effetto domino sono quelle suggerite dall'Allegato E del D. Lgs 105/2015:

Scenario	Parametro Critico
Incendio (radiazione termica stazionaria)	12,5 kW/m ²
Proiezione frammenti	200 – 800 m
UVCE	0,3 – 0,6 bar




Soglie di danno per effetto domino

I valori riportati in tabella sono concordi con la soglia di "Effetto Domino" specificata nel DM del 9 maggio 2001.

Valutazione della possibilità di effetti domino (P_{ed})

Per quanto riguarda la possibilità di effetto domino (P_{ed}) si applicano i valori riportati nelle tabelle seguenti, concordemente a quanto definito dal D.Lgs. 105/2015.

Radiazione termica - Effetto sorgente	Probabilità	Note
Interessamento da jet fire con durata inferiore a 5 min	0	
Interessamento da jet fire con durata tra 5 e 10 min	0,5	
Ingolfamento con jet fire con durata superiore a 10 min.	1	
Irraggiamento superiore a 37.5 kW/m ² con durata inferiore a 10 min o interessamento da pool fire con durata inferiore a 10 min	0	(1)
Irraggiamento superiore a 37.5 kW/m ² con durata superiore a 10 min o interessamento da pool fire con durata superiore a 10 min (per obiettivi tipo serbatoi e apparecchiature atmosferici)	1	(2)
Irraggiamento superiore a 37.5 kW/m ² con durata superiore a 10 min o interessamento da pool fire con durata superiore a 10 min (per obiettivi tipo serbatoi e apparecchiature a pressione e tubazioni)	0,5	(2)

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 20 / 65	Rev. 00

Irraggiamento superiore a 37.5 kW/m ² con durata superiore a 20 min	1	(2)
Irraggiamento inferiore a 12.5 kW/m ²	0	(1)
Irraggiamento tra 12.5 e 37.5 kW/m ² con durata inferiore a 10 min	0	(1)
Irraggiamento tra 12.5 e 37.5 kW/m ² con durata superiore a 10 min	vedere nota	(3)
Irraggiamento tra 12.5 e 37.5 kW/m ² con durata superiore a 20 min	vedere nota	(3)

(1) Salvo i casi in cui sia ipotizzabile una propagazione dell'incendio a causa di materiale strutturale o componentistico infiammabile (es. pannellature di materiale plastico, etc.) ovvero un danneggiamento di componenti particolarmente vulnerabili (es. recipienti o tubazioni in vetroresina, serbatoi o tubazioni con rivestimenti plastici, etc.) per i quali si assume una probabilità pari a 1.

(2) Nel caso in cui siano presenti sistemi di protezione attivi (raffreddamento) automatici o manuali, aventi probabilità P di mancato intervento su domanda o di efficacia per tutta la durata dell'effetto sorgente, le probabilità di effetto domino vanno moltiplicate per P. Nel caso in cui siano presenti sistemi di protezione passiva (fireproofing, interrimento, barriere tagliafiamme), le probabilità di effetto domino sono trascurabili per durata dell'effetto fisico pari o inferiore a quello eventuale di resistenza del sistema. Per la distinzione tra apparecchiature atmosferiche e in pressione, si può fare riferimento alla pressione di progetto, che per apparecchiature in pressione deve essere superiore a 2 bar assoluti.

(3) Probabilità interpolata linearmente rispetto alle probabilità corrispondenti ai due estremi del valore di irraggiamento.

Probabilità di effetto domino per irraggiamento (D.Lgs 105/2015)




UVCE - Effetto sorgente	Probabilità	Note
Sovrapressione inferiore a 0,3 bar	0	
Sovrapressione superiore 0,6 bar (per obiettivo serbatoi e apparecchiature atmosferici)	1	(1)
Sovrapressione superiore 1 bar (per obiettivo serbatoi e apparecchiature in pressione e tubazioni)	1	(1)
Sovrapressione tra 0,3 e 0,6 bar (per obiettivo serbatoi e apparecchiature atmosferici)	vedere nota	(2)
Sovrapressione tra 0,3 e 1 bar (per obiettivo serbatoi e apparecchiature in pressione e tubazioni)	vedere nota	(2)

(1) Per la distinzione tra apparecchiature atmosferiche e in pressione, si può fare riferimento alla pressione di progetto, che per apparecchiature in pressione deve essere superiore a 2 bar assoluti.

(2) Probabilità interpolata linearmente rispetto alle probabilità corrispondenti ai due estremi del valore di sovrappressione.

Probabilità di effetto domino per sovrappressione (D.Lgs. 105/2015)

Proiezione frammenti - Effetto sorgente	Probabilità	Note
Frammenti da componenti minori (tubazioni, bombole, ecc.)	vedere nota	(1)

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 21 / 65	Rev. 00

Frammenti da collasso di recipiente essenzialmente isometrico o equivalente (sfere, serbatoi verticali)	vedere nota	(1)
Frammenti da collasso di recipiente a sviluppo longitudinale o equivalente (serbatoi orizzontali)	vedere nota	(2)
(1) Probabilità pari a 1, dato l'impatto con l'obiettivo vulnerabile, fino a distanze dell'ordine di 200m. (2) Probabilità pari a 1, dato l'impatto con l'obiettivo vulnerabile, fino a distanze dell'ordine di 800m.		

Probabilità di effetto domino per proiezione frammenti (D.Lgs 105/2015)

Stima della credibilità degli effetti domino

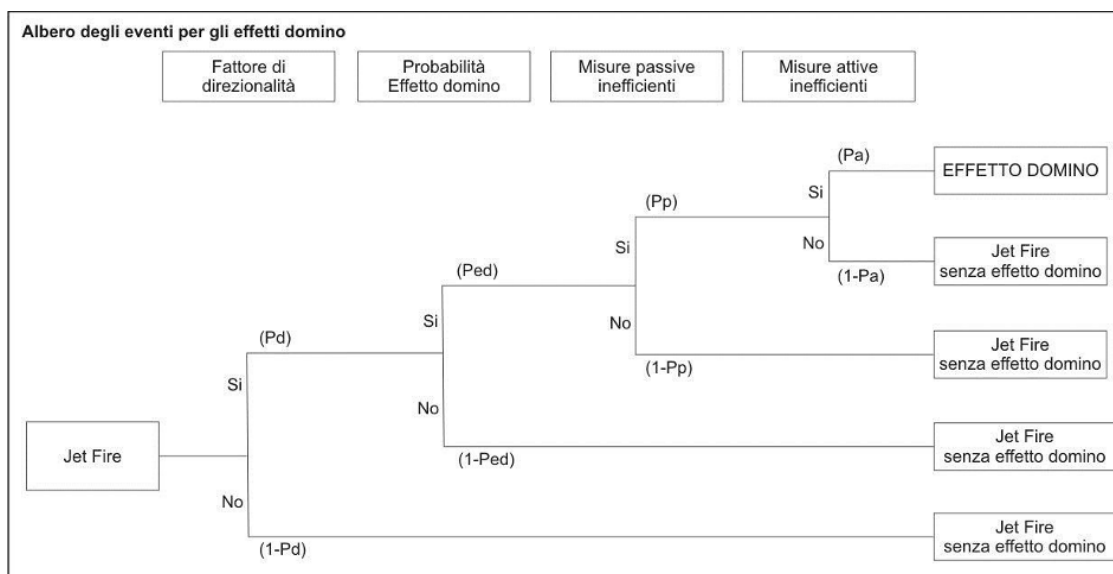
La metodologia adottata applicando esclusivamente i valori di probabilità descritti nelle tabelle precedenti prevede la valutazione degli effetti domino basata sulla valutazione probabilistica semplificata, senza tenere conto di fattori di mitigazione, quali il tempo, i sistemi di raffreddamento disponibili e le modalità di intervento delle squadre di emergenza.




Per definire la probabilità finale di effetto domino occorre quindi tenere in considerazione gli altri fattori mitigativi e questo viene fatto attraverso la tecnica dell'albero degli eventi, con una opportuna attribuzione dei parametri probabilistici, fondate sull'analisi della disponibilità dei sistemi di protezione antincendio.

Nel caso in cui la frequenza di effetto domino risulti essere superiore o uguale alla soglia di credibilità fissata in $1,0 \times 10^{-7}$ occ/anno, l'effetto domino è ritenuto credibile e dovrà essere sviluppato quantitativamente.

In generale, vista la complessità dei fenomeni fisici conseguenti e dei potenziali effetti catastrofici ad essi associati, nel caso di effetto domino credibile è opportuno procedere alla identificazione di misure tecniche o gestionali aggiuntive rispetto a quelle considerate nell'analisi, che consentano di fornire una barriera protettiva aggiuntiva alla propagazione degli effetti fino a rendere non credibile lo scenario.

Nell'immagine seguente si riporta l'albero degli eventi adottato per la valutazione di effetto domino relativo ad uno scenario di jet-fire.



  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 22 / 65	Rev. 00

Albero degli eventi degli effetti domino per lo scenario di Jet Fire

Il jet fire può dare origine ad effetto domino quando la struttura/apparecchiatura critica sia investita dal getto.

Il getto ha variabilità della sua direzione, in dipendenza della posizione della apertura e di eventuali co-fattori che possono indirizzarne l'orientamento. La Probabilità di Effetto Domino (PED) da Jet Fire risulta quindi combinazione della P_{ed} , definita precedentemente, e di un Fattore di Direzionalità (P_d) secondo la formula:

$$PED_{jet-fire} = P_{ed} * P_d$$

Il fattore P_d può essere a sua volta calcolato in accordo ai seguenti principi:

- Il jet fire è un fenomeno direzionale che si estende in forma conica in un angolo che può essere esteso al massimo al valore di 45° (valore stimato anche sulla base delle valutazioni condotte con i modelli di simulazione). In relazione a tale considerazione, la probabilità che un jet fire colpisca una apparecchiatura bersaglio localizzata in specifica direzione è pari a $45^\circ/360^\circ = 0,125$.
- Nel caso in cui l'apparecchiatura bersaglio sia ubicata a distanza dal punto di rilascio simile a quella della lunghezza del jet fire, è possibile applicare direttamente il fattore di probabilità di base;
- Nel caso in cui l'apparecchiatura bersaglio sia ubicata a distanza punto di rilascio inferiore o molto inferiore a quella della lunghezza del jet fire, è opportuno applicare un coefficiente più elevato per tenere conto del fatto che la maggiore vicinanza determina potenzialmente un maggiore rischio per il bersaglio.

I valori di riferimento sono riportati nella tabella che segue.




Fattore P_d	Distanza del bersaglio
0,125	Superiore al 66% della lunghezza del getto
0,25	Compresa tra il 33% ed il 66% della lunghezza del getto
0,50	Compresa tra il 10% ed il 33% della lunghezza del getto
1,00	Inferiore al 10% della lunghezza del getto

Probabilità di Effetto Domino per la presenza di Protezioni Passive (P_p)

La presenza di protezioni passive a protezione dei bersagli (rivestimenti, muri, ecc.) viene considerata nella valutazione degli effetti domino tramite il fattore P_p mirato alla valutazione dell'effetto della disponibilità dei sistemi di protezione passiva.

I valori del parametro P_p considerati per tenere conto della presenza di protezioni passive a protezione dei bersagli viene sono riportati di seguito.

- 0,01 in caso di presenza di sistemi passivi con grado di protezione R120, in grado di proteggere, secondo opportune normative o standard di riferimento, il bersaglio;
- 0,1 in caso di presenza di sistemi passivi non certificati, ma mantenuti in buono stato di conservazione (da ispezione visiva);

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 23 / 65	Rev. 00

- 1 in caso di mancanza di protezione.

Tali valori devono necessariamente essere valutati caso per caso.

Fattori intermedi potranno essere utilizzati, previa apposita giustificazione, per tenere conto delle condizioni specifiche dell'impianto, ad esempio la disponibilità di protezione attiva estesa esclusivamente ai supporti delle apparecchiature e non al mantello delle stesse.




Probabilità di Effetto Domino per la presenza di Protezioni Attive (P_a)

I valori di probabilità P_a da assegnare alla indisponibilità dei sistemi attivi antincendio oppure al mancato intervento della squadra di emergenza possono essere calcolati mediante sviluppo di apposito albero dei guasti.

Nel caso di mancanza di informazioni di dettaglio, è possibile assumere i valori generali che seguono:

- 0,01 in caso di presenza di sistemi attivi antincendio attivabili da rete fissa, attivabili da sala controllo (postazione remota e sicura) in grado di proteggere, secondo opportune normative o standard di riferimento, il bersaglio;
- 0,05 in caso di presenza di sistemi attivi antincendio attivabili da rete fissa, attivabili da postazione in campo protetta, in grado di proteggere, secondo opportune normative o standard di riferimento, il bersaglio;
- 0,1 in caso di necessità di intervento della squadra di emergenza (con l'ausilio di idranti/monitori e/o mezzi mobili).

Tali valori devono necessariamente essere valutati caso per caso.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)	J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+	Pag. 24 / 65	Rev. 00

8 IDENTIFICAZIONE DEGLI EVENTI INCIDENTALI




Gli eventi incidentali sono stati individuati mediante studio delle rotture “random” (eventi determinati da fenomeni casuali, non direttamente collegabili con cause di processo).

Per quanto concerne eventi/scenari incidentali derivanti da cause di processo, in virtù della fase iniziale di progettazione, si assume che lo studio HAZOP per gli impianti in oggetto conterrà opportune analisi ed eventuali risultanti raccomandazioni, al fine di escludere l'eventualità, o rendere non credibile la frequenza di accadimento, di Top Event causati da deviazioni di processo.

Gli eventi incidentali di tipo “Random” identificati per l'impianto HTE sono elencati nella seguente tabella.

No. Evento incidentale	Descrizione
1	Rottura catastrofica del serbatoio criogenico GNL di alimentazione dei motori M60
2	Rottura manichetta durante il caricamento del serbatoio di GNL
3	Rottura tubazione di trasferimento di GNL dal serbatoio criogenico al motore durante la fase di prova
4	Rottura tubazione GNL e apparecchiature accessorie del banco prova durante le fasi operative
5	Rottura tubazione di H2 del banco prova durante la fase di accensione HTE

Quale soglia di credibilità del verificarsi di un evento incidentale è stato assunto il valore di $1,0 \times 10^{-6}$ occ/anno. Al di sotto di questa soglia non sono stati investigati scenari incidentali e le relative conseguenze.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 25 / 65	Rev. 00

9 STIMA DELLA FREQUENZA DI ACCADIMENTO DEGLI EVENTI INCIDENTALI E DETERMINAZIONE DEI TOP EVENTS

9.1 EVENTO #1: ROTTURA CATASTROFICA SERBATOIO CRIOGENICO GNL

La rottura catastrofica del serbatoio criogenico (Evento 1) è stata considerata in base alle frequenze di accadimento di tipo random derivanti da studi referenziati e analisi storica, coprendo un'elevata gamma di casistiche per la stima di frequenze di accadimento di rotture catastrofiche e perdite da serbatoi di stoccaggio criogenici.

I valori di seguito riportati si riferiscono a serbatoi "Full Containment", ovvero progettati in modo tale che la doppia parete sia in grado di contenere sia il liquido criogenico e allo stesso tempo sia dotata di sistemi di sfiato per proteggere l'integrità del serbatoio dalla produzione di vapori risultante in sovrappressioni.

Frequenza	Rottura catastrofica della parete interna	Rottura catastrofica della parete esterna
Frequenza (per 1 serbatoio)	$1,0 \times 10^{-7}$ occ/anno	$1,0 \times 10^{-8}$ occ/anno

In quanto caratterizzati da valori di frequenza $< 1,0 \times 10^{-6}$ occ/anno, l'evento di rottura catastrofica del serbatoio di GNL è ritenuto non credibile. Non si procede pertanto all'analisi delle conseguenze.

9.2 EVENTO #2: ROTTURA MANICHETTA FLESSIBILE DI CARICO GNL

Per quanto concerne l'Evento 2, la banca dati consultata come riferimento (AIChE – Chemical Transportation Risk Analysis – CCPS - 1995) attesta un valore medio di $5,7 \times 10^{-7}$ occ/ora per un guasto della manichetta flessibile.

Per lo sviluppo del presente evento sono state considerate le seguenti ipotesi:

- tempo medio di caricamento del serbatoio: 2 ore;
- numero caricamenti per anno: pari al numero di test per anno (36).




Ne discende un valore di frequenza di accadimento di $4,1 \times 10^{-5}$ occ/anno.

In funzione della frequenza calcolata, l'evento è quindi ritenuto credibile (**Top Event #1**).

9.3 EVENTO #3: ROTTURA TUBAZIONE DI TRASFERIMENTO GNL

L'Evento 3 considera il rilascio di GNL dalla tubazione DN 6", lunghezza circa 20 m, che collega il serbatoio criogenico di GNL al motore nella fase di alimentazione di propellente che avviene durante i test.

Il motore è alimentato per 350 secondi (tempo massimo necessario per l'esecuzione della prova) con una portata di circa 160 kg/s.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 26 / 65	Rev. 00

Per i rilasci da tubazione l'analisi è stata effettuata considerando le seguenti forme caratteristiche di perdita:

- Cricca (diametro di efflusso assunto pari a 5 mm);
- Foro (diametro di efflusso assunto pari a 25 mm);
- Rottura (diametro di efflusso assunto pari a 75 mm).

La frequenza di accadimento dell'evento incidentale è stata valutata assumendo i valori ottenibili dal data base OGP 434 – 1 (Process release frequencies, 2010), ipotizzando un fattore operativo pari a 36 prove/anno, ciascuna della durata prevista di 350 secondi per complessive 210 ore/anno.

Sulla base di quanto sopra descritto, sono stati ottenuti i valori di frequenza di accadimento riportati nella tabella che segue.

DN linea	Frequenze di perdita occ/anno		
	Cricca	Foro	Rottura
6"	$4,08 \times 10^{-6}$	$1,29 \times 10^{-6}$	$2,88 \times 10^{-7}$

Dell'esame della tabella il rilascio di materiale infiammabile in atmosfera è possibile nei casi di cricca e di foro, caratterizzati da valori di frequenza maggiori di $1,0 \times 10^{-6}$ occ/anno. L'evento di rottura, con estensione pari alla metà della dimensione nominale del diametro, non è ritenuto credibile. L'analisi delle conseguenze verrà pertanto condotta per i due eventi credibili di Cricca e Foro (**Top Event #2**).




9.4 EVENTO #4: ROTTURA TUBAZIONE GNL E APPARECCHIATURE ACCESSORIE DEL BANCO PROVA DURANTE I TEST

L'Evento 4 considera il rilascio di GNL durante tutte le fasi operative, durante il periodo in cui le linee possono trovarsi piene di propellente liquido.

Sono state considerate le seguenti dimensioni delle tubazioni e delle apparecchiature presenti:

- ≈ 5 m di tubazione da 6"
- ≈ 15 m di tubazione da 3"
- ≈ 20 m di tubazione da 2"
- 10 valvole attuate
- 6 valvole manuali
- 8 connessioni strumenti
- 1 Scambiatore a piastre
- 1 Pompa centrifuga
- 1 filtro.

Come per l'Evento 3, anche in questo caso il fattore operativo è stato assunto pari a 36 prove/anno. Le frequenze per i casi di cricca, foro e rottura hanno presentato i risultati riepilogati in tabella.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 27 / 65	Rev. 00

DN linea	Frequenze di perdita occ/anno		
	Cricca	Foro	Rottura
2"-3"-6"	$1,12 \times 10^{-4}$	$4,17 \times 10^{-5}$	$8,13 \times 10^{-6}$

In funzione delle frequenze calcolate, l'evento è ritenuto credibile per tutti i casi considerati di guasto "random" considerati, per i quali verranno valutate le relative conseguenze (**Top Event #3**).

9.5 EVENTO #5: ROTTURA TUBAZIONE DI H2 DEL BANCO PROVA DURANTE LA FASE DI ACCENSIONE HTE

L'Evento in questione considera il rilascio di H2 durante la fase operativa di accensione del banco prova. I diametri delle linee coinvolte sono da 1" e la pressione operativa massima dell'idrogeno è di 200 bar assoluti.

Per il calcolo delle frequenze di rilascio, sulla base delle apparecchiature coinvolte e del posizionamento delle stesse si considerano i seguenti elementi che possono contribuire al rilascio di H2:




- ≈ 200 m di tubazione da 1" (lunghezza di tutta la tubatura dal parco bombole fino alla posizione del motore);
- 2 valvole attuate;
- 2 valvole PSV;
- 3 valvole manuali;
- 2 connessioni strumenti;
- fattore operativo pari a 36 prove/anno per 10 secondi per la fase di accensione di ogni prova da cui si ottiene un totale conservativo di 0,1 ora/anno.

Le frequenze per i casi di cricca, foro e rottura hanno presentato i risultati riepilogati in tabella.

DN linea	Frequenze di perdita occ/anno		
	Cricca	Foro	Rottura
1"	$2,68 \times 10^{-6}$	$8,21 \times 10^{-8}$	-----

(Nota: il caso di rottura, che corrisponde al caso di perdita la cui dimensione è uguale al DN della tubazione, è compreso nel caso del Foro).




In funzione delle frequenze calcolate, l'evento è ritenuto credibile per il caso di cricca, per il quale verranno valutate le relative conseguenze (**Top Event #4**).

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 28 / 65	Rev. 00

9.6 RIEPILOGO DEI TOP EVENTS

Nella tabella che segue vengono riassunti gli eventi credibili individuati nell'analisi.

Evento incidentale	Evento credibile	Frequenza (occ/anno)	# Top Event
Rottura catastrofica del serbatoio criogenico GNL di alimentazione dei motori M60	NO	---	----
Rottura manichetta durante il caricamento del serbatoio di GNL	Full rupture	$4,1 \times 10^{-5}$	1
Rottura tubazione di trasferimento di GNL dal serbatoio criogenico al motore durante la fase di prova	Cricca Foro	$4,08 \times 10^{-6}$ $1,29 \times 10^{-6}$	2
Rottura tubazione GNL e apparecchiature accessorie del banco prova durante le fasi operative	Cricca Foro Rottura	$1,12 \times 10^{-4}$ $4,17 \times 10^{-5}$ $8,13 \times 10^{-6}$	3
Rottura tubazione di H2 del banco prova durante la fase di accensione HTE	Cricca	$2,68 \times 10^{-6}$	4

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 29 / 65	Rev. 00

10 ANALISI SCENARI INCIDENTALI PER IL TOP EVENT #1 – ROTTURA MANICHETTA FLESSIBILE DI CARICO GNL




10.1 TERMINE SORGENTE

Top Event #1	Identificazione dell'evento incidentale
Unità coinvolte:	Manichetta di caricamento GNL liquido a serbatoio
Sostanza:	GNL
Temperatura di rilascio:	Liquido saturo alla pressione di 1,05 bar (circa -160°C)
Capacità serbatoio GNL	46,5 m ³
Tempo di caricamento	120 min
Portata di caricamento	2,6 kg/s (massa volumica GNL 410 kg/m ³)
Dimensioni manichetta	Diametro esterno 2", lunghezza massima stimata 10 m
Dinamica incidentale	Perdita di materiale infiammabile in fase liquida per full rupture della manichetta. Il rilascio in atmosfera comporta la diffusione della fase liquida, con formazione di pozza (pool) in rapida evaporazione. In seguito al rilascio può aversi la formazione di uno scenario di fireball, nel caso di presenza di una fonte di innesco immediato, di un flash-fire o una UVCE in caso di presenza di una fonte di innesco ritardato e massa del combustibile superiore a 1500 kg. Il gas si disperde senza conseguenze in mancanza di innesco.
Durata del rilascio	A seguito all'azionamento della valvola automatica di intercettazione del flusso in caricamento (sul serbatoio è presente una valvola di non ritorno), il rilascio è valutato in regime transitorio fino al completo svuotamento della tubazione dall'intera massa di GNL presente nella manichetta. Tempo di intervento della valvola di intercettazione stimato in 2 secondi (conservativo). Si ipotizza rilascio continuo in fase stazionaria come assunzione conservativa.
Inventory	Data dalla portata per il tempo di intervento più la massa contenuta all'interno della manichetta.
Diametro di efflusso	50 mm (Full rupture).
Portata di efflusso	Determinata dal modello di calcolo (vedere di seguito).

10.2 PUNTO DI RILASCIO E DIREZIONALITÀ

Il punto di rilascio è stato ipotizzato ad una quota di 1 m dal suolo.

Come assunzione conservativa, nel presente studio si è considerato un getto orizzontale, da cui deriva una maggiore distanza di danno.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 30 / 65	Rev. 00

10.3 PORTATA DI RILASCIO

A seguito della dinamica ipotizzata, precedentemente illustrata, si riportano di seguito i principali dati di input del modello e i valori dei principali parametri del fluido rilasciato.

INPUT DATA

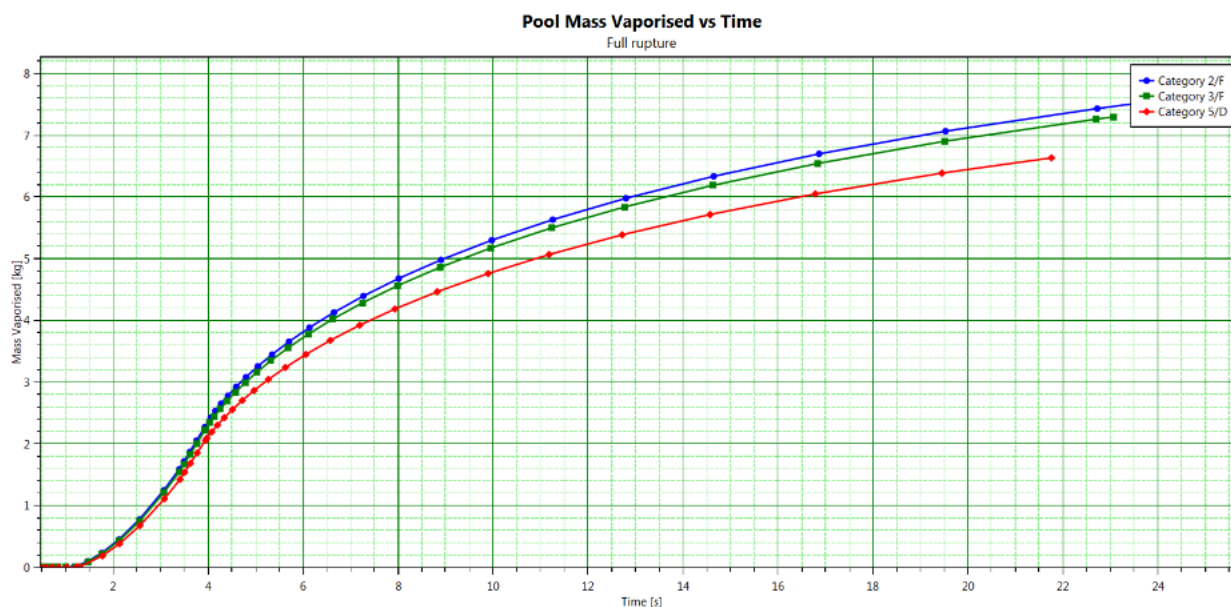
Inventory data

Initial pressure (gauge)	0,05	bar
Initial temperature	-160,896	degC
Fluid state	Saturated liquid	

OUTPUT DATA




Scenario	Peak Flowrate [kg/s]	Temperature [degC]	Liquid mass fraction in material [fraction]	Droplet diameter [um]	Velocity [m/s]	End time of release [s]
Leak 50 mm	4,52152	-161,484	0,995901	622,654	9,10246	2,91937

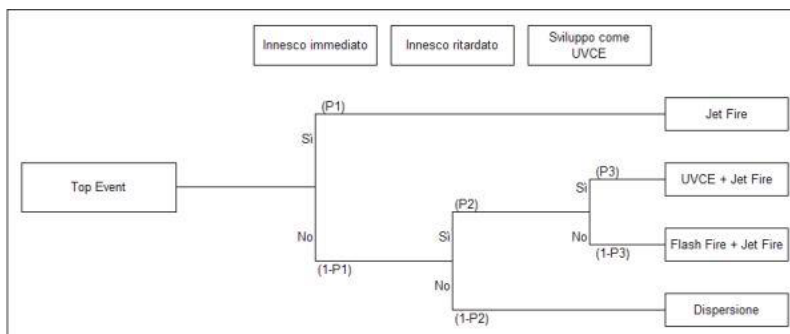
In funzione delle condizioni meteo assunte, nella figura che segue è rappresentata la portata vaporizzata nel tempo.



10.4 IDENTIFICAZIONE DEGLI SCENARI INCIDENTALI

La valutazione dei possibili scenari è stata analizzata mediante il seguente albero degli eventi.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 31 / 65	Rev. 00



Le probabilità associate all'albero degli eventi sono le seguenti:

Top Event #1 Definizione delle probabilità di innesco		
Caso Rottura		
Innesco immediato	P ₁	Assunta pari a 0,001, indipendentemente dalla portata di efflusso.
Innesco ritardato	P ₂	La probabilità di innesco ritardato è valutata in relazione alla portata del rilascio. Sulla base del Data base IOGP, è assunta pari a 0,009.
UVCE Assunto pari a 0	P ₃	Assunta pari a 0. La probabilità di UVCE è stata valutata in relazione alla quantità di vapori all'interno del campo di infiammabilità (inferiore a 1500 kg).

Moltiplicando la frequenza di accadimento del Top Event per la probabilità di ignizione di ciascuno scenario incidentale si ottengono le frequenze di accadimento.

Top Event #1								
Scenario incidentale	P1	1-P1	P2	1-P2	P3	1-P3	Frequenza scenario incidentale (occ/anno)	Credibile
Caso Rottura – Frequenza $4,10 \cdot 10^{-5}$ occ/anno								
Jet fire	0,001						$4,10 \cdot 10^{-8}$	No
Flash fire	0,999	0,009	0,009			0,009	$3,69 \cdot 10^{-7}$	Sì
UVCE					0		0	No
Dispersione				0,991			$4,06 \cdot 10^{-5}$	Nessun effetto

L'unico scenario ritenuto credibile è il Flash fire, presentando una frequenza di accadimento maggiore di $1,0 \times 10^{-7}$ occ/anno. Per tale scenario si procede all'analisi delle conseguenze.

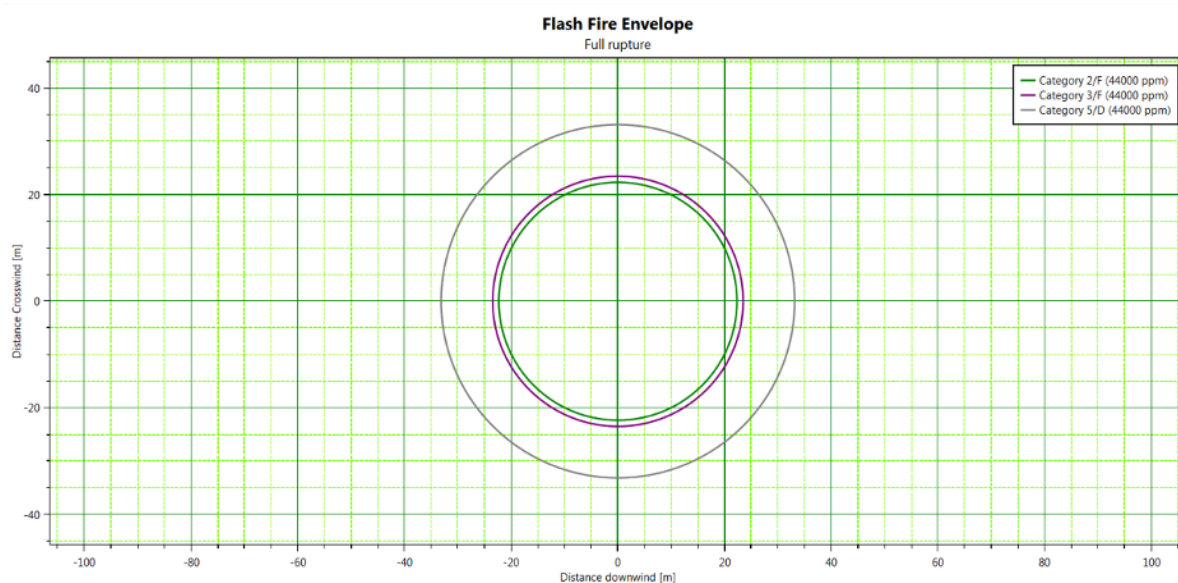
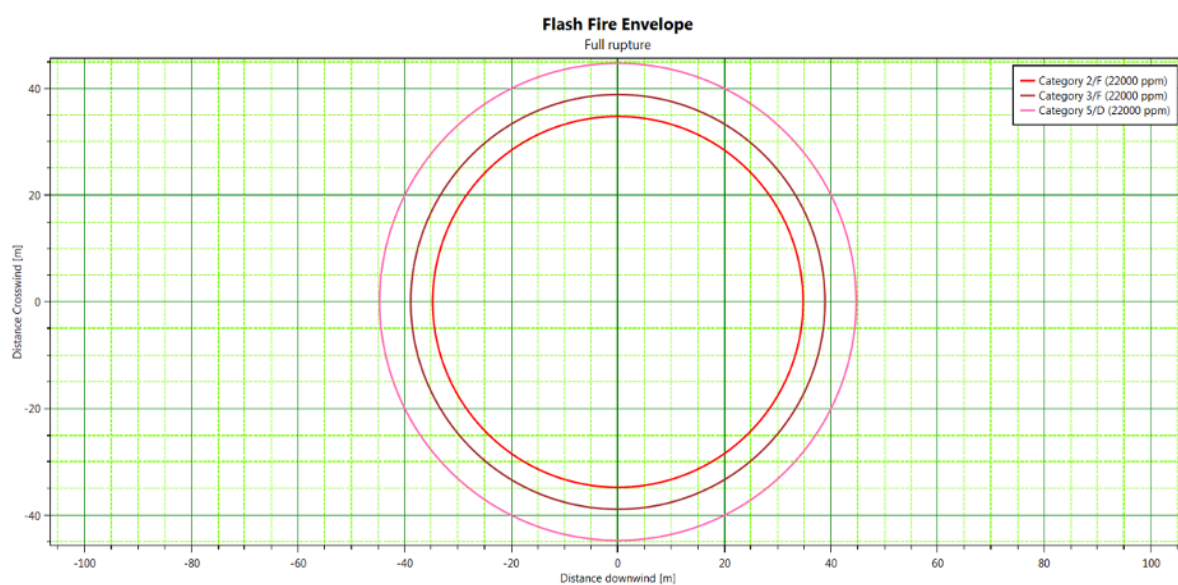
10.5 VALUTAZIONE DELLE DISTANZE DI DANNO ASSOCIATE AGLI SCENARI INCIDENTALI


10.5.1 Flash Fire

Maximum distance to LFL at any height

Scenario	Weather	Distance downwind to LFL [m]	Distance downwind to L ½ LFL [m]
Full rupture	Category 2/F	22,3189	34,7505
	Category 3/F	23,473	38,8596
	Category 5/D	33,1372	44,7072

Nelle figure che seguono si riportano le distanze di danno rispettivamente per ½ LEL e LEL.






  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 33 / 65	Rev. 00

10.5.2 Conclusioni per il Top Event #1

Nella tabella che segue sono riportate le distanze di danno associate agli scenari incidentali ritenuti credibili per il Top Event #1.

Top Event #1	Distanze di danno (m)	
Caso Rottura		
Scenario incidentale: FLASH FIRE		
	LFL	LFL / 2
Stab. Atmosf. 2F	22,3	34,7
Stab. Atmosf. 3F	23,4	38,8
Stab. Atmosf. 5D	33,1	44,7

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 34 / 65	Rev. 00

11 ANALISI SCENARI INCIDENTALI PER IL TOP EVENT #2 – ROTTURA TUBAZIONE DI TRASFERIMENTO GNL

11.1 TERMINE SORGENTE

Top Event #2	Identificazione dell'evento incidentale
Unità coinvolte:	Tubazione di trasferimento GNL dal serbatoio criogenico al banco prova del motore M60
Sostanza:	GNL
Temperatura di rilascio:	Liquido saturo alla pressione di 1,05 bar
Inventory	0,40 m ³ (stimato)
Dinamica incidentale:	Perdita di materiale infiammabile per fenomeno random di cricca (apertura di 5 mm di diametro) e foro (apertura di 25 mm di diametro). Il rilascio in atmosfera comporta la diffusione della fase gassosa per flash dovuto ad evaporazione istantanea e il rainout di una frazione di liquido, con formazione di pozza (pool) in rapida evaporazione. In seguito al rilascio può aversi la formazione di un jet-fire e/o fireball, nel caso di presenza di una fonte di innesco immediato, di un flash-fire o una UVCE in caso di presenza di una fonte di innesco ritardato. Il gas si disperde senza conseguenze in mancanza di innesco.
Durata del rilascio:	A seguito dell'intervento della valvole automatiche di intercettazione, che isolano in circa 1 secondo la tubazione a monte (serbatoio criogenico) e a valle (banco prova motori), il rilascio è valutato in regime transitorio fino alla svuotamento della tubazione dall'intera massa di GNL presente. Si ipotizza rilascio continuo in fase stazionaria come assunzione conservativa.
Diametro di efflusso	5 mm (cricca) 25 mm (foro).
Portata di efflusso:	Determinata dal modello di calcolo, in funzione delle dimensioni della rottura nelle fasi considerate (gassosa per flash istantaneo e evaporazione di pozza di liquido a seguito di rainout, vedere di seguito)




11.2 PUNTO DI RILASCIO E DIREZIONALITÀ

Il punto di rilascio è stato ipotizzato ad una quota di m. 1 dal suolo.

Come assunzione conservativa, nel presente studio si è considerato un getto orizzontale, da cui deriva una maggiore distanza di danno.

11.3 PORTATA DI RILASCIO

A seguito della dinamica ipotizzata, precedentemente illustrata, il modello di calcolo prevede il rilascio immediato in atmosfera del GNL in fase liquida. Subito dopo la rottura si verifica il flash

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 35 / 65	Rev. 00

istantaneo di parte della fase liquida, mentre si assiste al rainout di parte della fase liquida emessa, che produce una pozza in rapido dissolvimento per evaporazione.

INPUT DATA

Inventory data

Initial pressure (gauge)	0,05	bar
Initial temperature	-160,896	degC
Fluid state	Saturated liquid	

OUTPUT DATA

Scenario	Peak Flowrate [kg/s]	Temperature [degC]	Liquid mass fraction in material [fraction]	Droplet diameter [um]	Velocity [m/s]	End time of release [s]
Leak 5 mm	0,0631444	-161,484	0,995934	536,511	12,7116	600
Leak 25 mm	1,57861	-161,484	0,995934	536,511	12,7116	106,837

DISPERSION REPORT

Leak 5 mm

Weather: Category 2/F

Observer Release Data and Observer Mass Data

Masses or mass rates								
Observer number	Release type	Start time [s]	Start downwind distance [m]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	Continuous	0	0	kg/s	0,0631444	0,000671557	0	0,0624728
2	Continuous	600	0	kg/s	0,0631444	0,000671557	0	0,0624728

Weather: Category 3/F




Observer Release Data and Observer Mass Data

Masses or mass rates								
Observer number	Release type	Start time [s]	Start downwind distance [m]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	Continuous	0	0	kg/s	0,0631444	0	0	0,0631444
2	Continuous	600	0	kg/s	0,0631444	0	0	0,0631444

Weather: Category 5/D

Observer Release Data and Observer Mass Data

Masses or mass rates								
Observer number	Release type	Start time [s]	Start downwind distance [m]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	Continuous	0	0	kg/s	0,0631444	0	0	0,0631444
2	Continuous	600	0	kg/s	0,0631444	0	0	0,0631444

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 36 / 65	Rev. 00

Scenario (Leak) : Leak 25 mm

Weather: Category 2/F




Observer Release Data and Observer Mass Data

Observer number	Start time [s]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	0	kg/s	1,57861	0,691307	0	0,887303
2	22,9576	kg/s	1,57861	0,69719	0,427222	1,30864
3	38,9261	kg/s	1,57861	0,698788	0,477935	1,35776
4	53,6378	kg/s	1,57861	0,699903	0,507072	1,38578
5	67,685	kg/s	1,57861	0,700738	0,526132	1,404
6	81,292	kg/s	1,57861	0,701435	0,540878	1,41805
7	94,5681	kg/s	1,57861	0,702044	0,551484	1,42805
8	106,837	kg/s	1,57861	0,702974	0,569633	1,44527
9	106,838	kg/s	0	0	0,569633	0,569633
10	110,861	kg/s	0	0	0,382762	0,382763
11	127,86	kg/s	0	0	0,240645	0,240646
12	170,011	kg/s	0	0	0,108137	0,108138

Weather: Category 3/F

Observer Release Data and Observer Mass Data

Observer number	Start time [s]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	0	kg/s	1,57861	0,615936	0	0,962674
2	22,7818	kg/s	1,57861	0,620661	0,383405	1,34135
3	38,4572	kg/s	1,57861	0,621891	0,429451	1,38617
4	52,9072	kg/s	1,57861	0,622775	0,454349	1,41018
5	66,6941	kg/s	1,57861	0,623453	0,472197	1,42735
6	80,0514	kg/s	1,57861	0,623983	0,482972	1,4376
7	93,0893	kg/s	1,57861	0,624422	0,494492	1,44868
8	105,943	kg/s	1,57861	0,62506	0,518131	1,47168
9	106,837	kg/s	1,57861	0,625126	0,508075	1,46156
10	106,838	kg/s	0	0	0,508075	0,508075
11	110,886	kg/s	0	0	0,365127	0,365128
12	123,688	kg/s	0	0	0,248048	0,248049
13	159,593	kg/s	0	0	0,11714	0,117141

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 37 / 65	Rev. 00

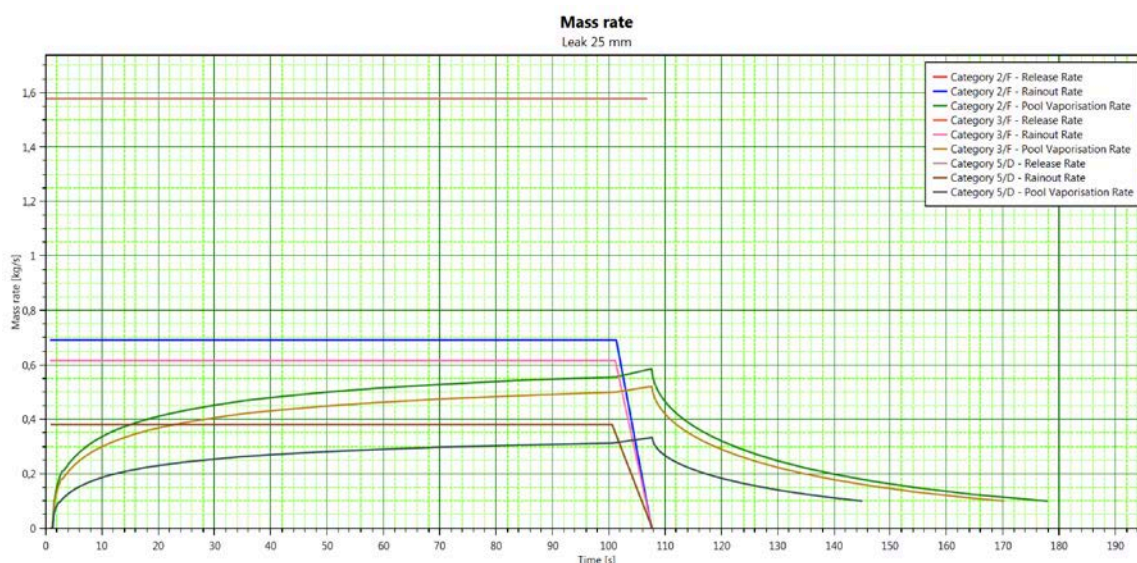
Weather: Category 5/D

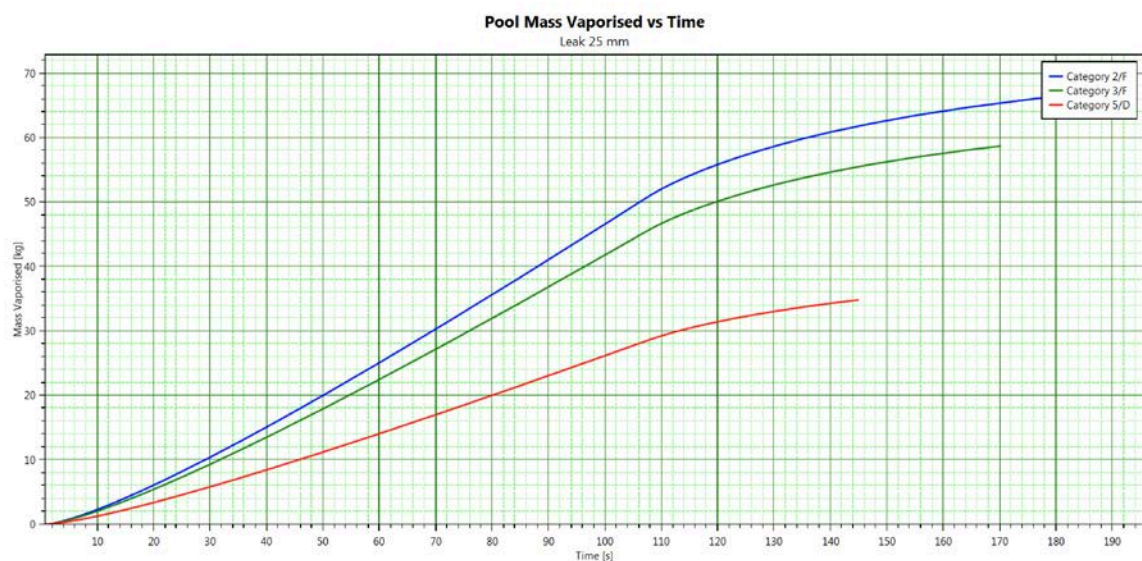
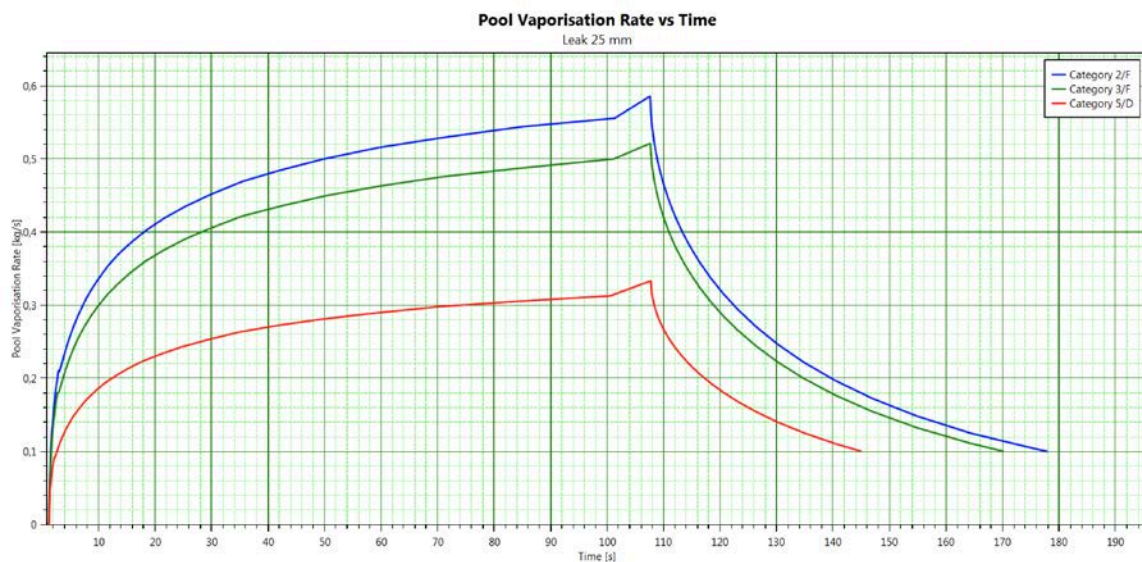
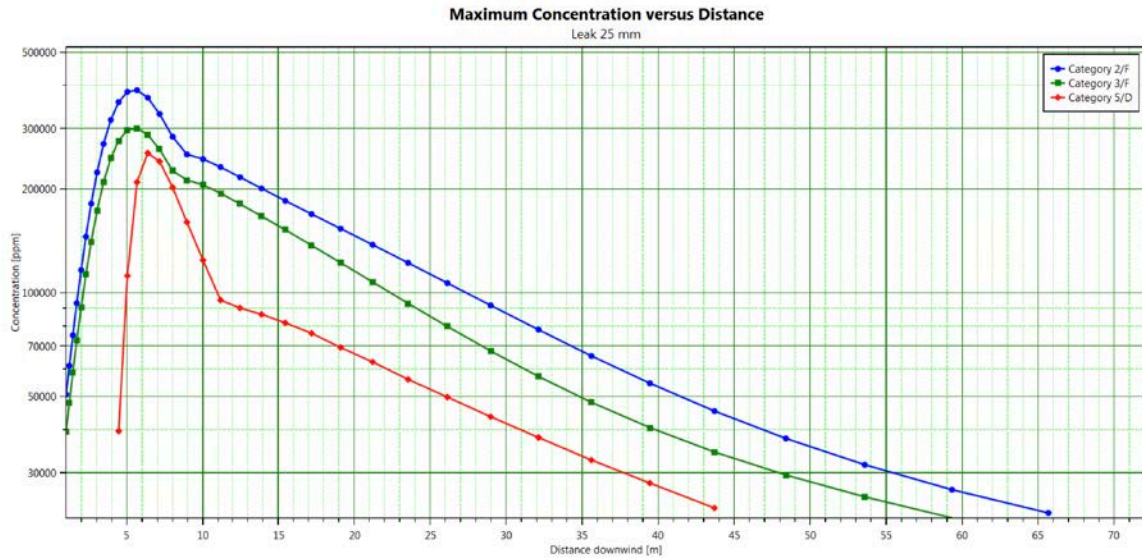
Observer Release Data and Observer Mass Data




Observer number	Start time [s]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	0	kg/s	1,57861	0,380825	0	1,19778
2	22,2736	kg/s	1,57861	0,381945	0,238453	1,43512
3	37,1299	kg/s	1,57861	0,382316	0,26725	1,46354
4	50,8246	kg/s	1,57861	0,382449	0,282506	1,47867
5	63,8599	kg/s	1,57861	0,382617	0,293765	1,48976
6	76,4931	kg/s	1,57861	0,382757	0,301618	1,49747
7	88,8329	kg/s	1,57861	0,382874	0,307395	1,50313
8	100,98	kg/s	1,57861	0,382998	0,316876	1,51249
9	106,837	kg/s	1,57861	0,383134	0,326822	1,5223
10	106,838	kg/s	0	0	0,326822	0,326822
11	110,738	kg/s	0	0	0,251174	0,251175
12	114,05	kg/s	0	0	0,218968	0,218969
13	137,454	kg/s	0	0	0,11692	0,116921

In funzione delle condizioni meteo assunte, nelle figure che seguono vengono riportate per il **caso di foro (perdita da diametro di 25 mm)**, che comporta un rilascio di massa maggiore per i casi di perdita esaminati per questo evento, nell'ordine:

- la portata massica liberata in funzione del tempo, distinta per fase
- la distribuzione della concentrazione della sostanza infiammabile investigata in funzione della distanza dal punto di rilascio
- la portata di vaporizzazione della pozza nel tempo di osservazione
- l'andamento della portata di liquido vaporizzato



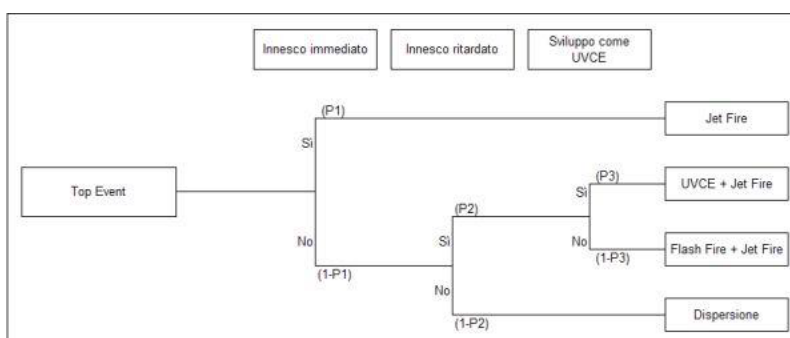


  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 39 / 65	Rev. 00

Come si può osservare dalle figure sopra riportate, la vaporizzazione della fase liquida precipitata per rainout avrà una rapida evaporazione, differente per ciascuna delle condizioni meteorologiche assunte e che terminerà in un tempo massimo di 180 secondi (condizioni di stabilità atmosferica 2/F).

11.4 IDENTIFICAZIONE DEGLI SCENARI INCIDENTALI




La valutazione dei possibili scenari è stata analizzata mediante il seguente albero degli eventi.



Le probabilità associate all'albero degli eventi sono le seguenti:




Top Event #2 Definizione delle probabilità di innesco		
Caso Cricca		
Innesco immediato	P ₁	Assunta pari a 0,001, indipendentemente dalla portata di efflusso.
Innesco ritardato	P ₂	La probabilità di innesco ritardato è valutata in relazione alla portata del rilascio. Assunta 0,0001 in quanto la portata di efflusso è < 0,1 kg/s.
UVCE Assunto pari a 0	P ₃	Assunta pari a 0. La probabilità di UVCE è stata valutata in relazione alla quantità di vapori all'interno del campo di infiammabilità (inferiore a 1500 kg).
Caso Foro		
Innesco immediato	P ₁	Assunta pari a 0,001, indipendentemente dalla portata di efflusso.
Innesco ritardato	P ₂	La probabilità di innesco ritardato è valutata in relazione alla portata del rilascio. Sulla base del Data base IOGP, è assunta pari a 0,005.
UVCE	P ₃	Assunta pari a 0. La probabilità di UVCE è stata valutata in relazione alla quantità di vapori all'interno del campo di infiammabilità (inferiore a 1500 kg).

Moltiplicando la frequenza di accadimento del Top Event per la probabilità di ignizione di ciascuno scenario incidentale si ottengono le frequenze di accadimento.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)					J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+					Pag. 40 / 65	Rev. 00

Top Event #2								
Scenario incidentale	P1	1-P1	P2	1-P2	P3	1-P3	Frequenza scenario incidentale (occ/anno)	Credibile
Caso Cricca – Frequenza 4,08 · 10 ⁻⁶ occ/anno								
Jet fire	0,001						4,08·10 ⁻⁹	No
Flash fire		0,999	0,0001			0,0001	4,08·10 ⁻¹⁰	No
UVCE				0		0	No	
Dispersione				0,9999		4,07·10 ⁻⁶	Nessun effetto	
Caso Foro – Frequenza 1,29 · 10 ⁻⁶ occ/anno								
Jet fire	0,001						1,29·10 ⁻⁹	No
Flash fire		0,999	0,005			0,0045	6,45·10 ⁻⁹	No
UVCE				0		0	No	
Dispersione				0,994		1,28·10 ⁻⁶	Nessun effetto	

In virtù dei valori di frequenza calcolati, gli scenari rilevanti di jet-fire e flash-fire sono risultati non credibili; non si procede pertanto all'analisi delle conseguenze.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 41 / 65	Rev. 00

12 ANALISI SCENARI INCIDENTALI PER IL TOP EVENT #3 – ROTTURA TUBAZIONE GNL DEL BANCO PROVA DURANTE I TEST

12.1 TERMINE SORGENTE

Top Event #3	Identificazione dell'evento incidentale
Unità coinvolte:	Tubazione di alimentazione GNL ai motori e apparecchiature accessorie
Sostanza:	GNL
Temperatura di rilascio:	Liquido saturo alla pressione di 1,05 bar
Inventory	0,22 m ³ (stimato)
Dinamica incidentale:	Perdita di materiale infiammabile per fenomeno random di cricca (apertura di 5 mm di diametro), foro (apertura di 25 mm di diametro) e rottura (apertura di 75 mm di diametro). Il rilascio in atmosfera comporta la diffusione della fase gassosa per flash dovuto ad evaporazione istantanea e il rainout di una frazione di liquido, con formazione di pozza (pool) in rapida evaporazione. In seguito al rilascio può aversi la formazione di un jet-fire e/o fireball, nel caso di presenza di una fonte di innesco immediato, di un flash-fire o una UVCE in caso di presenza di una fonte di innesco ritardato. Il gas si disperde senza conseguenze in mancanza di innesco. Si ipotizza rilascio continuo in fase stazionaria come assunzione conservativa.
Durata del rilascio:	A seguito dell'intervento della valvole automatiche di intercettazione, che isolano in circa 1 secondo la tubazione a monte, il rilascio è valutato in regime transitorio fino alla svuotamento dell'intera massa di GNL presente.
Diametro di efflusso	5 mm (cricca) 25 mm (foro) 75 mm (rottura).
Portata di efflusso:	Determinata dal modello di calcolo, in funzione delle dimensioni della rottura nelle fasi considerate (gassosa per flash istantaneo e evaporazione di pozza di liquido a seguito di rainout vedere di seguito) .




12.2 PUNTO DI RILASCIO E DIREZIONALITÀ

Il punto di rilascio è stato ipotizzato ad una quota di m. 2 dal suolo.

Come assunzione conservativa, nel presente studio si è considerato un getto orizzontale, da cui deriva una maggiore distanza di danno.

12.3 PORTATA DI RILASCIO

A seguito della dinamica ipotizzata, precedentemente illustrata, il modello di calcolo prevede il rilascio immediato in atmosfera del GNL in fase liquida. Subito dopo la rottura si verifica il flash

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 42 / 65	Rev. 00

istantaneo di parte della fase liquida, mentre si assiste al rainout di parte della fase liquida emessa, che produce una pozza in rapido dissolvimento per evaporazione.

INPUT DATA

Inventory data

Initial pressure (gauge)	0,05	bar
Initial temperature	-160,896	degC
Fluid state	Saturated liquid	

OUTLET FLUID

Scenario	Peak Flowrate [kg/s]	Temperature [degC]	Liquid mass fraction in material [fraction]	Droplet diameter [um]	Velocity [m/s]	End time of release [s]
Leak 5 mm	0,0394805	-161,484	0,995892	682,65	7,94803	600
Leak 25 mm	0,987014	-161,484	0,995892	682,65	7,94803	93,9802
Leak 75 mm	8,88312	-161,484	0,995892	682,65	7,94803	10,4422

DISPERSION REPORT

Scenario (Leak) : Leak 5 mm

Weather: Category 2/F

Observer Release Data and Observer Mass Data

Observer number	Release type	Start time [s]	Start downwind distance [m]	Unit	Masses or mass rates			
					Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	Continuous	0	0	kg/s	0,0394805	0,00794834	0	0,0315322
2	Continuous	600	0	kg/s	0,0394805	0,00794834	0	0,0315322

Weather: Category 3/F




Observer Release Data and Observer Mass Data

Observer number	Release type	Start time [s]	Start downwind distance [m]	Unit	Masses or mass rates			
					Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	Continuous	0	0	kg/s	0,0394805	0,00627316	0	0,0332074
2	Continuous	600	0	kg/s	0,0394805	0,00627316	0	0,0332074

Weather: Category 5/D

Observer Release Data and Observer Mass Data

Observer number	Release type	Start time [s]	Start downwind distance [m]	Unit	Masses or mass rates			
					Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 43 / 65	Rev. 00

1	Continuous	0	0	kg/s	0,0394805	0,00330713	0	0,0361734
2	Continuous	600	0	kg/s	0,0394805	0,00330713	0	0,0361734

Scenario (Leak) : Leak 25 mm

Weather: Category 2/F




Observer Release Data and Observer Mass Data

Observer number	Start time [s]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	0	kg/s	0,987014	0,563941	0	0,423072
2	20,2486	kg/s	0,987014	0,570785	0,339799	0,756027
3	34,0869	kg/s	0,987014	0,572534	0,380466	0,794946
4	46,793	kg/s	0,987014	0,573683	0,403768	0,817099
5	58,9222	kg/s	0,987014	0,574601	0,420768	0,833181
6	70,6277	kg/s	0,987014	0,575216	0,431907	0,843704
7	82,0248	kg/s	0,987014	0,575778	0,440918	0,852153
8	93,2443	kg/s	0,987014	0,57672	0,468743	0,879036
9	93,9802	kg/s	0,987014	0,576864	0,455457	0,865607
10	93,9812	kg/s	0	0	0,455457	0,455457
11	97,7292	kg/s	0	0	0,308633	0,308634
12	108,626	kg/s	0	0	0,219015	0,219016
13	138,199	kg/s	0	0	0,114297	0,114298

Weather: Category 3/F

Observer Release Data and Observer Mass Data

Observer number	Start time [s]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	0	kg/s	0,987014	0,519703	0	0,46731
2	20,3628	kg/s	0,987014	0,525074	0,314941	0,77688
3	34,1991	kg/s	0,987014	0,526616	0,353713	0,814111
4	46,8943	kg/s	0,987014	0,527635	0,375425	0,834804
5	59,0211	kg/s	0,987014	0,528388	0,390661	0,849287
6	70,7235	kg/s	0,987014	0,528998	0,401381	0,859396
7	82,1208	kg/s	0,987014	0,529428	0,409525	0,867111
8	93,3359	kg/s	0,987014	0,530227	0,433189	0,889976
9	93,9802	kg/s	0,987014	0,530282	0,422068	0,8788
10	93,9812	kg/s	0	0	0,422068	0,422068
11	97,7666	kg/s	0	0	0,303928	0,303929
12	108,675	kg/s	0	0	0,210843	0,210844
13	138,194	kg/s	0	0	0,107386	0,107387

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 44 / 65	Rev. 00

Weather: Category 5/D

Observer Release Data and Observer Mass Data




Observer number	Start time [s]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	0	kg/s	0,987014	0,386472	0	0,600542
2	20,2092	kg/s	0,987014	0,387554	0,236282	0,835742
3	33,5032	kg/s	0,987014	0,387954	0,264384	0,863444
4	45,7041	kg/s	0,987014	0,388259	0,280981	0,879736
5	57,3427	kg/s	0,987014	0,388488	0,292709	0,891235
6	68,5801	kg/s	0,987014	0,388679	0,301312	0,899647
7	79,5258	kg/s	0,987014	0,388841	0,307377	0,905549
8	90,2966	kg/s	0,987014	0,389089	0,324135	0,922059
9	93,9802	kg/s	0,987014	0,389188	0,324352	0,922178
10	93,9812	kg/s	0	0	0,324352	0,324352
11	97,5331	kg/s	0	0	0,25103	0,251031
12	102,588	kg/s	0	0	0,203199	0,2032
13	124,723	kg/s	0	0	0,110723	0,110724

Scenario (Leak) : Leak 75 mm

Weather: Category 2/F

Observer Release Data and Observer Mass Data

Observer number	Start time [s]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	0	kg/s	8,88312	7,10522	0	1,7779
2	5,85756	kg/s	8,88312	7,23136	3,02287	4,67463
3	8,19422	kg/s	8,88312	7,24605	3,6318	5,26888
4	10,1919	kg/s	8,88312	7,25776	4,1991	5,82446
5	10,4422	kg/s	8,88312	7,25935	4,10834	5,73211
6	10,4432	kg/s	0	0	4,10834	4,10834
7	12,0461	kg/s	0	0	1,38455	1,38455
8	12,1794	kg/s	0	0	1,37224	1,37224
9	15,4395	kg/s	0	0	1,10941	1,10941
10	20,6065	kg/s	0	0	0,82133	0,821331
11	28,8895	kg/s	0	0	0,552903	0,552904
12	43,2902	kg/s	0	0	0,318929	0,31893
13	75,0322	kg/s	0	0	0,12904	0,129041

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 45 / 65	Rev. 00

Weather: Category 3/F

Observer Release Data and Observer Mass Data

Observer number	Start time [s]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	0	kg/s	8,88312	6,87615	0	2,00697
2	5,86024	kg/s	8,88312	6,98555	2,94428	4,84185
3	8,194	kg/s	8,88312	7,00009	3,52548	5,40852
4	10,1937	kg/s	8,88312	7,0118	4,07461	5,94593
5	10,4422	kg/s	8,88312	7,01341	3,97514	5,84485
6	10,4432	kg/s	0	0	3,97514	3,97514
7	12,0333	kg/s	0	0	1,69991	1,69991
8	12,1969	kg/s	0	0	1,67516	1,67516
9	15,466	kg/s	0	0	1,27575	1,27575
10	20,6184	kg/s	0	0	0,903997	0,903998
11	28,8521	kg/s	0	0	0,587903	0,587904
12	43,1597	kg/s	0	0	0,330142	0,330143
13	74,924	kg/s	0	0	0,128455	0,128456

Weather: Category 5/D

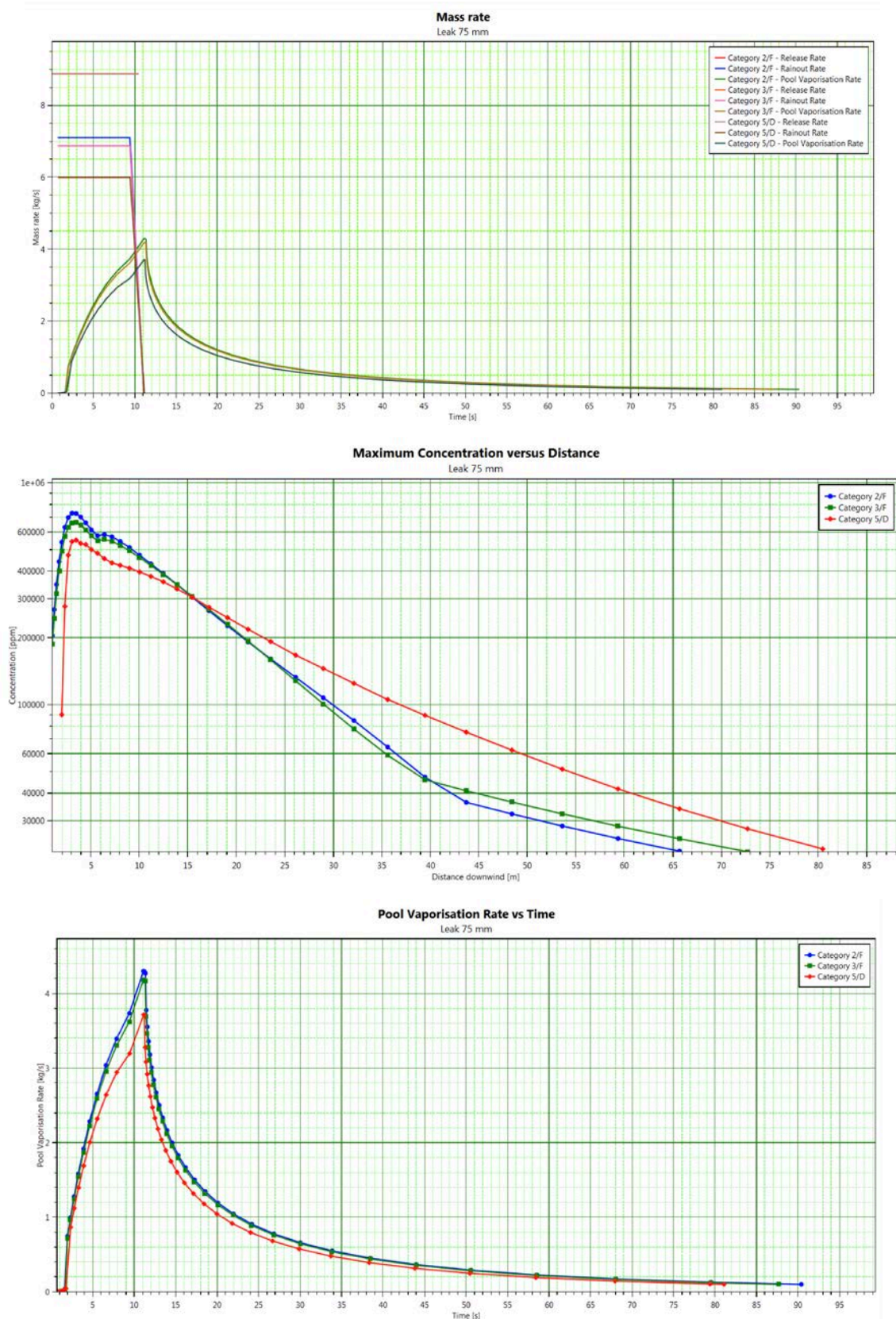
Observer Release Data and Observer Mass Data

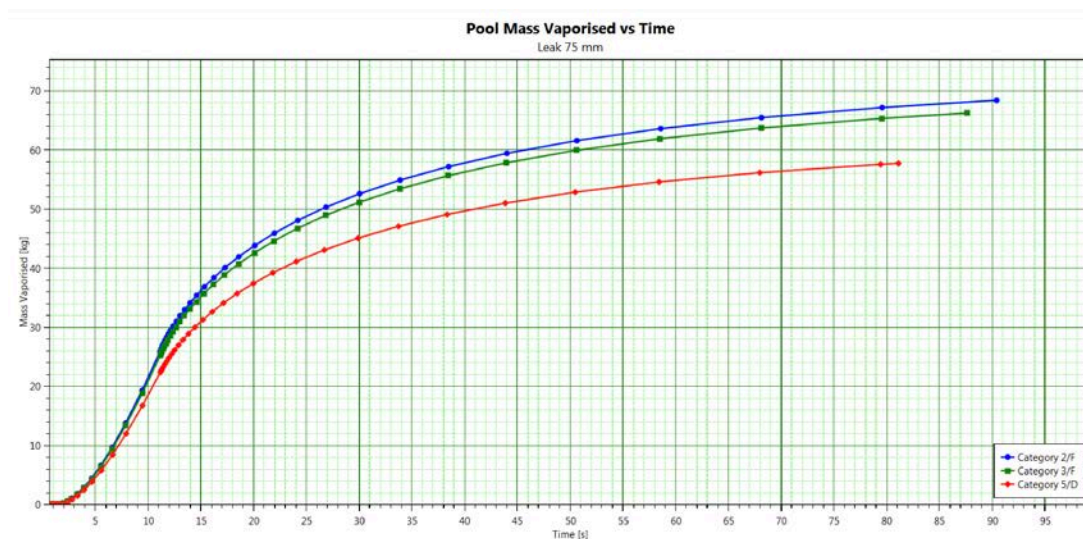
Observer number	Start time [s]	Unit	Release	Rainout	Pool vapour pick-up	Final
1	0	kg/s	8,88312	6,00079	0	2,88233
2	5,92456	kg/s	8,88312	6,07904	2,64175	5,44583
3	8,21765	kg/s	8,88312	6,09348	3,11644	5,90609
4	10,2034	kg/s	8,88312	6,10598	3,58778	6,36492
5	10,4422	kg/s	8,88312	6,10746	3,44796	6,22363
6	10,4432	kg/s	0	0	3,44796	3,44796
7	11,9168	kg/s	0	0	2,16742	2,16742
8	12,2491	kg/s	0	0	2,05915	2,05915
9	15,5521	kg/s	0	0	1,40354	1,40354
10	20,6893	kg/s	0	0	0,934317	0,934318
11	28,8344	kg/s	0	0	0,582357	0,582358
12	42,9674	kg/s	0	0	0,315729	0,31573
13	74,7237	kg/s	0	0	0,117488	0,117489

In funzione delle condizioni meteo assunte, nelle figure che seguono vengono riportate per il **caso di rottura (perdita da diametro di 75 mm)**, che comporta un rilascio di massa maggiore per i casi di perdita esaminati per questo evento, nell'ordine:

- la portata massica liberata in funzione del tempo, distinta per fase
- la distribuzione della concentrazione della sostanza infiammabile investigata in funzione della distanza dal punto di rilascio
- la portata di vaporizzazione della pozza nel tempo di osservazione

- l'andamento della portata di liquido vaporizzato

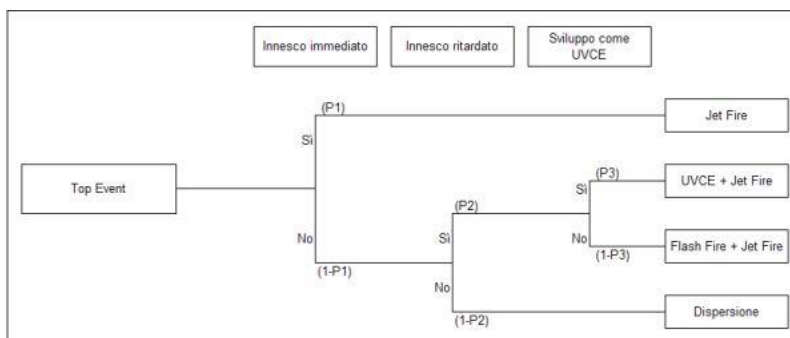




Come si può osservare dalle figure sopra riportate, la vaporizzazione della fase liquida precipitata per rainout avrà una rapida evaporazione, differente per ciascuna delle condizioni meteorologiche assunte e che terminerà entro un tempo massimo di 95 secondi (condizioni di stabilità atmosferica 2/F).




12.4 IDENTIFICAZIONE DEGLI SCENARI INCIDENTALI

La valutazione dei possibili scenari è stata analizzata mediante il seguente albero degli eventi.



Le probabilità associate all'albero degli eventi sono le seguenti:




Top Event #3 Definizione delle probabilità di innesco		
Caso Cricca		
Innesco immediato	P ₁	Assunta pari a 0,001, indipendentemente dalla portata di efflusso.
Innesco ritardato	P ₂	La probabilità di innesco ritardato è valutata in relazione alla portata del rilascio. Assunta 0,0001 in quanto la portata di efflusso è < 0,1 kg/s.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)			J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+			Pag. 48 / 65	Rev. 00

UVCE Assunto pari a 0	P ₃	Assunta pari a 0. La probabilità di UVCE è stata valutata in relazione alla quantità di vapori all'interno del campo di infiammabilità (inferiore a 1500 kg).
Caso Foro		
Innesco immediato	P ₁	Assunta pari a 0,001, indipendentemente dalla portata di efflusso.
Innesco ritardato	P ₂	La probabilità di innesco ritardato è valutata in relazione alla portata del rilascio. Sulla base del Data base IOGP, è assunta pari a 0,0025.
UVCE	P ₃	Assunta pari a 0. La probabilità di UVCE è stata valutata in relazione alla quantità di vapori all'interno del campo di infiammabilità (inferiore a 1500 kg).
Caso Rottura		
Innesco immediato	P ₁	Assunta pari a 0,001, indipendentemente dalla portata di efflusso.
Innesco ritardato	P ₂	La probabilità di innesco ritardato è valutata in relazione alla portata del rilascio. Sulla base del Data base IOGP, è assunta pari a 0,029.
UVCE	P ₃	Assunta pari a 0. La probabilità di UVCE è stata valutata in relazione alla quantità di vapori all'interno del campo di infiammabilità (inferiore a 1500 kg).

Moltiplicando la frequenza di accadimento del Top Event per la probabilità di ignizione di ciascuno scenario incidentale si ottengono le frequenze di accadimento.

Top Event #3								
Scenario incidentale	P1	1-P1	P2	1-P2	P3	1-P3	Frequenza scenario incidentale (occ/anno)	Credibile
Caso Cricca – Frequenza 1,12 ·10 ⁻⁴ occ/anno								
Jet fire	0,001						1,20·10 ⁻⁷	Sì
Flash fire		0,999	0,0001			0,0001	1,20·10 ⁻⁸	No
UVCE					0		0	No
Dispersione					0,9999			1,11·10 ⁻⁴
Caso Foro – Frequenza 4,17 ·10 ⁻⁵ occ/anno								
Jet fire	0,001						4,17·10 ⁻⁸	No
Flash fire		0,999	0,0025			0,0045	1,04·10 ⁻⁷	Sì
UVCE					0		0	No
Dispersione					0,9975			4,16·10 ⁻⁵

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)				J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+				Pag. 49 / 65	Rev. 00

Caso Rottura – Frequenza $8,13 \cdot 10^{-6}$ occ/anno							
Jet fire	0,001					$8,13 \cdot 10^{-9}$	No
Flash fire		0,999	0,029		0,0045	$2,37 \cdot 10^{-7}$	Sì
UVCE					0	0	No
Dispersione					0,970	$7,89 \cdot 10^{-6}$	Nessun effetto

Gli unici scenari ritenuti credibili, che presentano una frequenza di accadimento maggiore di $1,0 \times 10^{-7}$ occ/anno, risultano essere:

- Jet fire nel caso di cricca;
- Flash fire nei casi di foro e rottura.

Per tali casi si procede all'analisi delle conseguenze.

12.5 VALUTAZIONE DELLE DISTANZE DI DANNO ASSOCIATE AGLI SCENARI INCIDENTALI

12.5.1 Jet fire

Scenario (Leak): Leak 5 mm

INPUT DATA

Mass flow rate	0,0394805	kg/s
Temperature after atmospheric expansion	-161,484	degC
Liquid fraction	0,995892	fraction
Velocity after atmospheric expansion (input)	7,94803	m/s
Rainout fraction time averaged	0,201323	fraction

Weather: Category 2/F




OUTPUT DATA

Flame emissive power	18,1926	kW/m2
Fraction of emissivity	0,314677	fraction
Jet velocity	7,94803	m/s
Flame length	6,19717	m
Frustum length	6,10421	m
Frustum base width	0,227148	m
Frustum tip width	2,68357	m
Frustum lift off distance	0,0929575	m
Flame length in still air	5,57282	m

Weather: Category 3/F

OUTPUT DATA

Flame emissive power	24,351	kW/m2
Fraction of emissivity	0,314677	fraction

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 50 / 65	Rev. 00

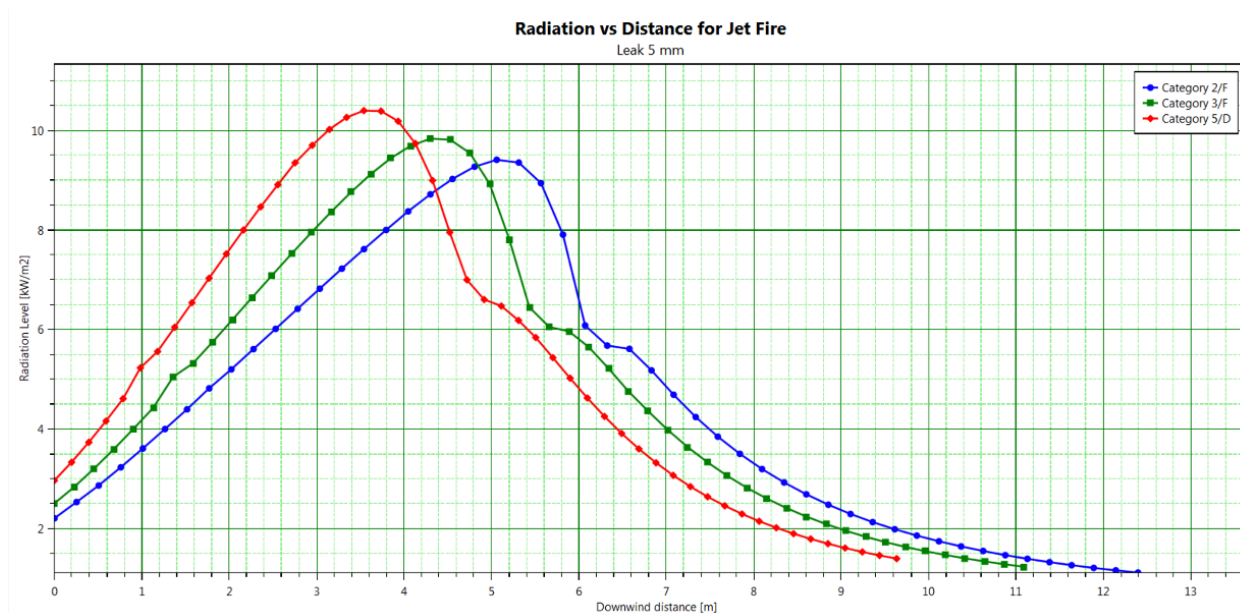
Jet velocity	7,94803	m/s
Flame length	5,54614	m
Frustum length	5,46295	m
Frustum base width	0,162061	m
Frustum tip width	2,28595	m
Frustum lift off distance	0,0831922	m
Flame length in still air	5,57282	m




Weather: Category 5/D

OUTPUT DATA

Flame emissive power	35,8973	kW/m2
Fraction of emissivity	0,314677	fraction
Jet velocity	7,94803	m/s
Flame length	4,81723	m
Frustum length	4,74497	m
Frustum base width	0,106125	m
Frustum tip width	1,83083	m
Frustum lift off distance	0,0722584	m

Radiation v Distance Effects Graph

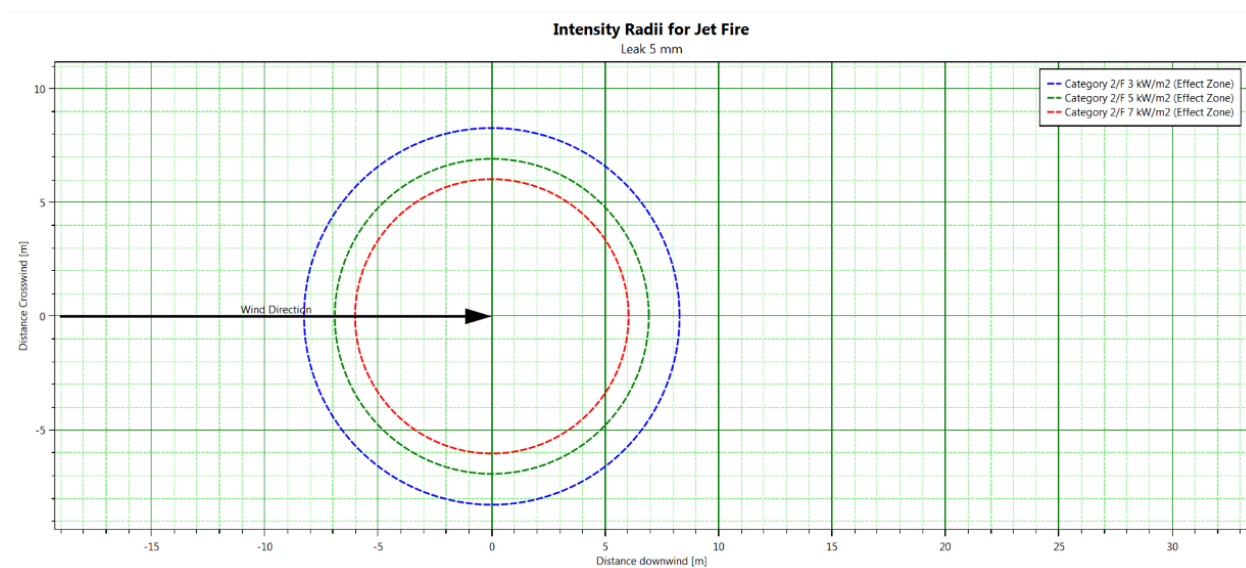


  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 51 / 65	Rev. 00

Distance downwind to defined radiation levels

Scenario	Weather	Flame length [m]	Distance downwind to intensity level 1 (3 kW/m ²) [m]	Distance downwind to intensity level 2 (5 kW/m ²) [m]	Distance downwind to intensity level 3 (7 kW/m ²) [m]	Distance downwind to intensity level 4 (12,5 kW/m ²) [m]	Distance downwind to intensity level 5 (37,5 kW/m ²) [m]
Leak 5 mm	Category 2/F	6,19717	8,27677	6,9201	6,02758	n/a	n/a
	Category 3/F	5,54614	7,75127	6,45172	5,4095	n/a	n/a
	Category 5/D	4,81723	7,13804	5,91058	4,7595	n/a	n/a




Nella figura che segue si riportano le aree di danno nello scenario di rottura con diametro del foro di 5 mm, in cui la massima estensione delle soglie di danno si ha nella condizione 2/F.



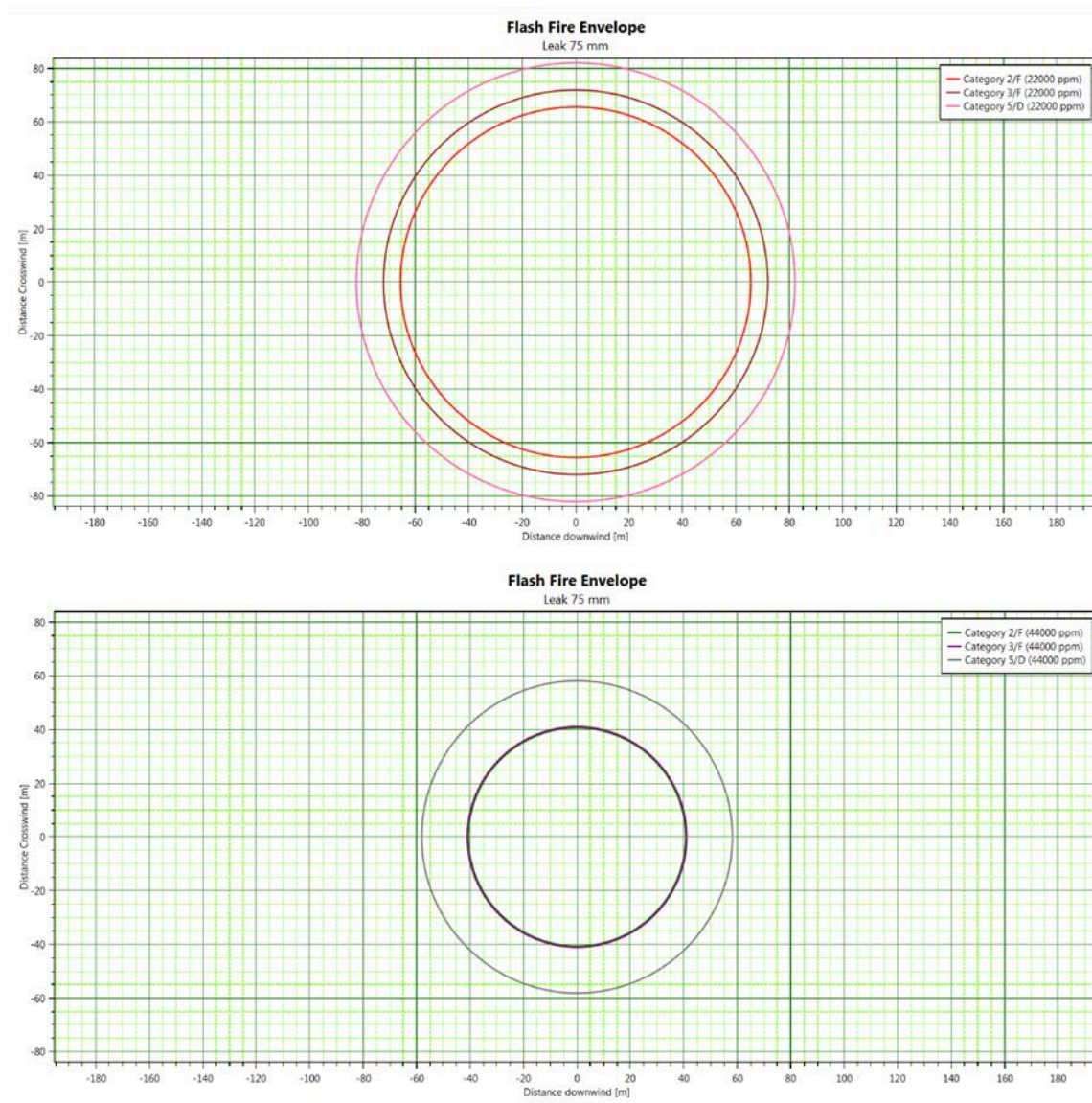
12.5.2 Flash Fire

Maximum distance to LFL fraction at any height

Scenario	Weather	Distance downwind to LFL [m]	Distance downwind to ½ LFL Fraction [m]	Max flash fire distance [m]	Time [s]
Leak 25 mm	Category 2/F	35,7598	61,7024	61,398	137,756
	Category 3/F	29,7745	54,4193	52,4324	123,974
	Category 5/D	20,0528	34,9765	34,6401	97,1868
Leak 75 mm	Category 2/F	40,6124	65,5486	65,124	102,447
	Category 3/F	41,0139	71,8994	71,2076	77,4013
	Category 5/D	58,1016	82,0435	74,4957	23,5796




  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE) AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+	J23024-XX-SP-010	
		Pag. 52 / 65	Rev. 00

Nelle figure che seguono si riportano le distanze di danno rispettivamente per ½ LEL e LEL nel caso di rottura, presentando questo scenario le aree di danno più estese.






12.5.3 Conclusioni per il Top Event #3

Nella tabella che segue sono riportate le distanze di danno associate agli scenari incidentali ritenuti credibili per il Top Event #3.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 53 / 65	Rev. 00

Top Event #3	Distanze di danno (m)			
Caso Cricca				
Scenario incidentale: JET FIRE				
	12,5 kW/m²	7 kW/m²	5 kW/m²	3 kW/m²
Stab. Atmosf. 2F	--	6,0	6,9	8,3
Stab. Atmosf. 3F	--	5,4	6,5	7,8
Stab. Atmosf. 5D	--	4,8	5,9	7,1
Caso Foro				
Scenario incidentale: FLASH FIRE				
	LFL		LFL / 2	
Stab. Atmosf. 2F	35,8		61,7024	
Stab. Atmosf. 3F	29,8		54,4193	
Stab. Atmosf. 5D	20,1		34,9765	
Caso Rottura				
Scenario incidentale: FLASH FIRE				
	LFL		LFL / 2	
Stab. Atmosf. 2F	40,6		65,5	
Stab. Atmosf. 3F	41,0		71,9	
Stab. Atmosf. 5D	58,1		82,0	

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 54 / 65	Rev. 00

13 ANALISI SCENARI INCIDENTALI PER IL TOP EVENT #4 – ROTTURA TUBAZIONE DI H2 DEL BANCO PROVA DURANTE LA FASE DI ACCENSIONE HTE

13.1 TERMINE SORGENTE

Top Event #4	Identificazione dell'evento incidentale
Unità coinvolte:	Tubazione di alimentazione idrogeno al motore HTE per l'accensione.
Sostanza:	Idrogeno (H2)
Temperatura di rilascio:	Ambiente (25 °C)
Inventory	12 kg (stimato)
Dinamica incidentale:	Perdita di idrogeno per fenomeno random di cricca (apertura di 5 mm di diametro). Il rilascio in atmosfera comporta la diffusione della fase gassosa. In seguito al rilascio può aversi la formazione di un jet-fire, nel caso di presenza di una fonte di innesco immediato, di un flash-fire o una UVCE in caso di presenza di una fonte di innesco ritardato. Il gas si disperde senza conseguenze in mancanza di innesco.
Durata del rilascio:	Si ipotizza rilascio continuo in fase stazionaria come assunzione conservativa fino allo svuotamento dell'intera massa stoccata in bombole.
Diametro di efflusso	5 mm (cricca).
Portata di efflusso:	Determinata dal modello di calcolo, in funzione delle dimensioni della rottura nelle fasi considerate (vedere di seguito)

13.2 PUNTO DI RILASCIO E DIREZIONALITÀ

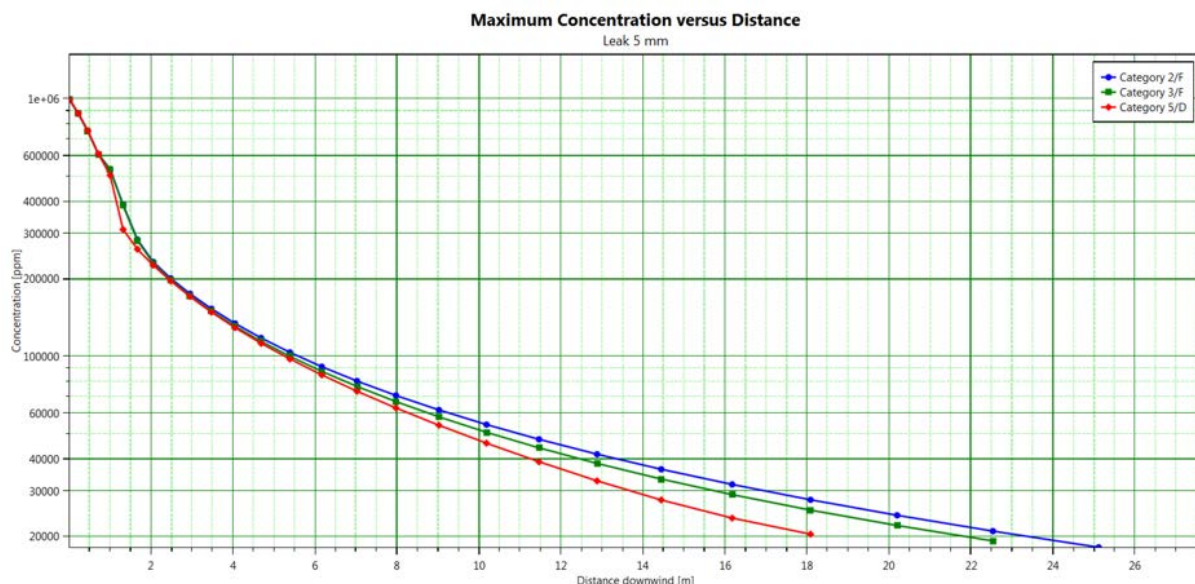
Il punto di rilascio è stato ipotizzato ad una quota di m. 2 dal suolo.

Come assunzione conservativa, nel presente studio si è considerato un getto orizzontale, da cui deriva una maggiore distanza di danno.

13.3 PORTATA DI RILASCIO

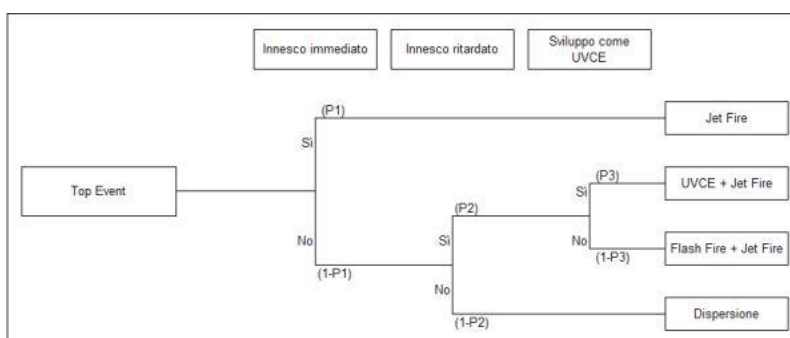
Scenario	Peak Flowrate [kg/s]	Temperature [degC]	Liquid mass fraction in material [fraction]	Droplet diameter [um]	Velocity [m/s]	End time of release [s]
Leak 5 mm	0,207347	-132,209	0	0	2100,3	57,8741

La figura che segue illustra la variazione di concentrazione dal punto di rilascio.






13.4 IDENTIFICAZIONE DEGLI SCENARI INCIDENTALI

La valutazione dei possibili scenari è stata analizzata mediante il seguente albero degli eventi.



Le probabilità associate all'albero degli eventi sono le seguenti:

Top Event #4 Definizione delle probabilità di innesco		
Caso Cricca		
Innesco immediato	P ₁	Assunta pari a 0,05, indipendentemente dalla portata di efflusso.
Innesco ritardato	P ₂	La probabilità di innesco ritardato è valutata in relazione alla portata del rilascio. Sulla base del Data base IOGP, è assunta pari a 0,0015.
UVCE Assunto pari a 0	P ₃	Assunta pari a 0. La probabilità di UVCE è stata valutata in relazione alla quantità di vapori all'interno del campo di infiammabilità (inferiore a 1500 kg).

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)			J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+			Pag. 56 / 65	Rev. 00

Moltiplicando la frequenza di accadimento del Top Event per la probabilità di ignizione di ciascuno scenario incidentale si ottengono le frequenze di accadimento.

Top Event #4								
Scenario incidentale	P1	1-P1	P2	1-P2	P3	1-P3	Frequenza scenario incidentale (occ/anno)	Credibile
Caso Cricca – Frequenza $2,68 \cdot 10^{-6}$ occ/anno								
Jet fire	0,05						$1,34 \cdot 10^{-7}$	Sì
Flash fire		0,95	0,0015			0,0001	$4,02 \cdot 10^{-9}$	No
UVCE					0		0	No
Dispersione					0,99485		$2,54 \cdot 10^{-6}$	Nessun effetto

L'unico scenario ritenuto credibile è il Jet fire, presentando una frequenza di accadimento maggiore di $1,0 \times 10^{-7}$ occ/anno. Per tale scenario si procede all'analisi delle conseguenze.

13.5 VALUTAZIONE DELLE DISTANZE DI DANNO ASSOCIATE AGLI SCENARI INCIDENTALI

13.5.1 Jet fire

Scenario (Leak): Leak 5 mm




INPUT DATA

Mass flow rate	0,207347	kg/s
Temperature after atmospheric expansion	-132,209	degC
Liquid fraction	0	fraction
Velocity after atmospheric expansion (input)	2100,3	m/s
Rainout fraction time averaged	0	fraction

Weather: Category 2/F

OUTPUT DATA

Flame emissive power	118,81	kW/m2
Fraction of emissivity	0,0269054	fraction
Jet velocity	2100,3	m/s
Flame length	6,89405	m
Frustum length	3,65035	m
Frustum base width	0,389941	m
Frustum tip width	0,532537	m
Frustum lift off distance	3,24951	m
Flame length in still air	8,01496	m

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 57 / 65	Rev. 00

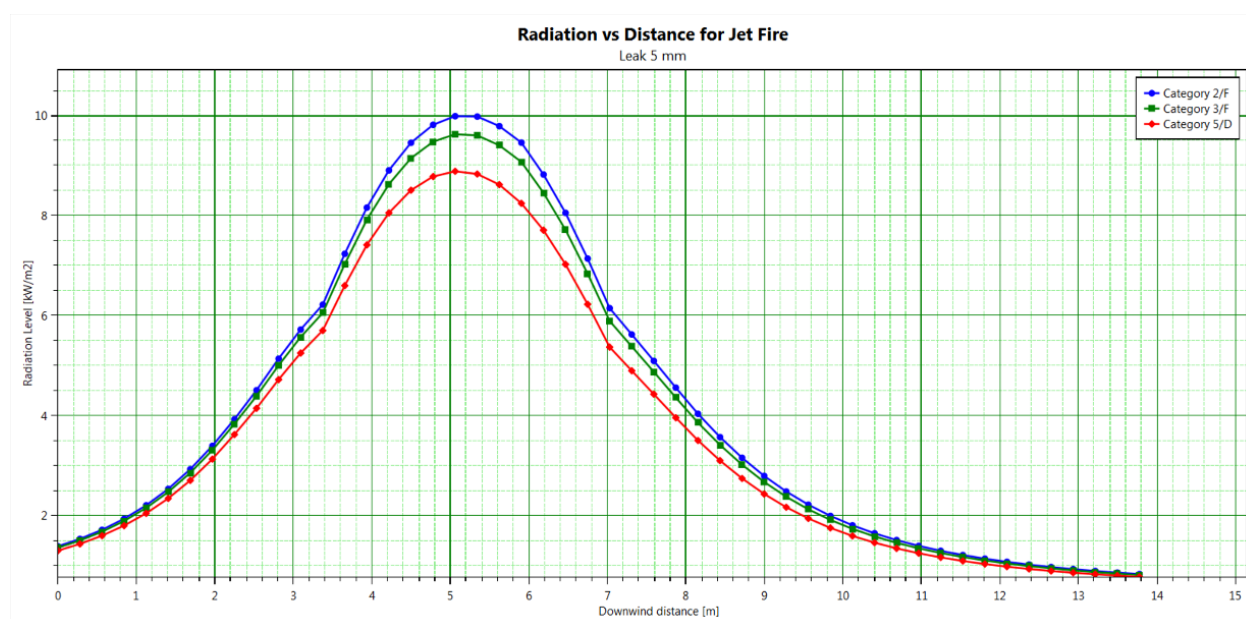
Weather: Category 3/F




Flame emissive power	117,241	kW/m2
Fraction of emissivity	0,0257887	fraction
Jet velocity	2100,3	m/s
Flame length	6,89382	m
Frustum length	3,64993	m
Frustum base width	0,389941	m
Frustum tip width	0,508025	m
Frustum lift off distance	3,24951	m
Flame length in still air	8,01496	m

Weather: Category 5/D

Flame emissive power	113,578	kW/m2
Fraction of emissivity	0,0235225	fraction
Jet velocity	2100,3	m/s
Flame length	6,89339	m
Frustum length	3,6491	m
Frustum base width	0,389941	m
Frustum tip width	0,459006	m
Frustum lift off distance	3,24951	m
Flame length in still air	8,01496	m

Radiation v Distance Effects Graph

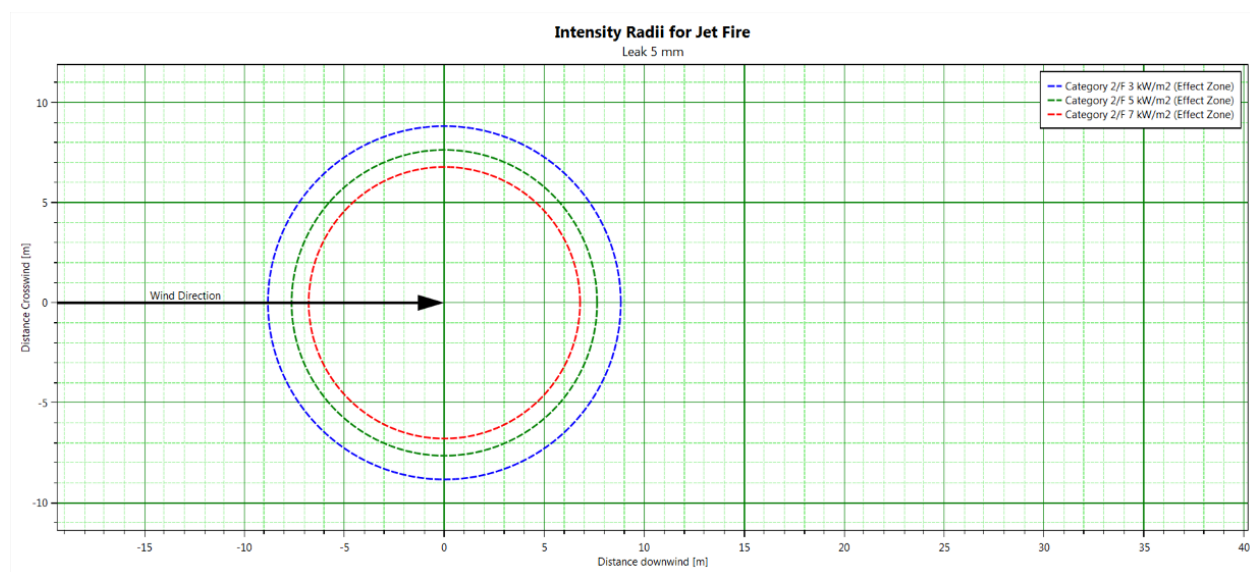


  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 58 / 65	Rev. 00

Distance downwind to defined radiation levels




Scenario	Weather	Flame length [m]	Distance downwind to intensity level 1 (3 kW/m ²) [m]	Distance downwind to intensity level 2 (5 kW/m ²) [m]	Distance downwind to intensity level 3 (7 kW/m ²) [m]	Distance downwind to intensity level 4 (12,5 kW/m ²) [m]	Distance downwind to intensity level 5 (37,5 kW/m ²) [m]
Leak 5 mm	Category 2/F	6,89405	8,82572	7,63918	6,78524	n/a	n/a
	Category 3/F	6,89382	8,72538	7,52244	6,69939	n/a	n/a
	Category 5/D	6,89339	8,50669	7,2442	6,47431	n/a	n/a

Nella figura che segue si riportano le aree di danno nello scenario di rottura con diametro del foro di 5 mm, in cui la massima estensione delle soglie di danno si ha nella condizione 2/F.






13.5.2 Conclusioni per il Top Event #4

Nella tabella che segue sono riportate le distanze di danno associate agli scenari incidentali ritenuti credibili per il Top Event #4.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 59 / 65	Rev. 00

Top Event #4	Distanze di danno (m)			
Caso Cricca				
Scenario incidentale: JET FIRE				
	12,5 kW/m ²	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²
Stab. Atmosf. 2F	--	6,78524	7,63918	8,82572
Stab. Atmosf. 3F	--	6,69939	7,52244	8,72538
Stab. Atmosf. 5D	--	6,47431	7,2442	8,50669

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 60 / 65	Rev. 00

14 VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DOMINO

Come anticipato nel Paragrafo 7 relativo alla descrizione della metodologia di analisi seguita nel presente studio, l'effetto domino può aversi:




- nei casi in cui è credibile uno scenario di Jet fire con irraggiamento termico maggiore o uguale a 12 kW/m^2
- lo scenario ha una probabilità di accadimento superiore a 5 minuti
- la fiamma ha una lunghezza tale che potrebbe investire altre apparecchiature contenenti gas infiammabile (a meno del fattore di direzionalità)
- è da considerare una probabilità di fallimento delle protezioni attive.

Nel caso allo studio il Jet fire è originabile esclusivamente da cricca, con le seguenti frequenze di accadimento:

Top Event	Frequenza (occ/anno)	Aree di influenza
Rottura tubazione GNL e apparecchiature accessorie del banco prova durante le fasi operative	$1,12 \times 10^{-4}$	Tempo < 5 min. Lunghezza fiamma = 6,2 Dim.area $12 \text{ kW/m}^2 = \text{n/a}$
Rottura tubazione di H2 del banco prova durante la fase di accensione HTE	$2,68 \times 10^{-6}$	Tempo < 5 min. Lunghezza fiamma = 6,9 m Dim.area $12 \text{ kW/m}^2 = \text{n/a}$

Secondo quanto definito dal D.Lgs. 105/2015 si associa pertanto allo scenario una probabilità di effetto domino pari a 0, in quanto vengono a mancare le condizioni di irraggiamento uguale o superiore a $12,5 \text{ kW/m}^2$, sia perché il tempo di accadimento è inferiore a 5 minuti.

Pertanto, gli scenari di effetto domino sono da considerare non credibili.

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 61 / 65	Rev. 00

15 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

15.1 CONCLUSIONI

Relativamente al banco prova HTE dei motori M60 e relative facilities, gli eventi incidentali credibili (Top Events), contraddistinti da una probabilità di accadimento maggiore di $1,0 \times 10^{-6}$ occ/anno, sono risultati i seguenti:

- Rottura manichetta di caricamento GNL in condizioni criogeniche (Top Event 1)
- Rottura tubazione di trasferimento di GNL dal serbatoio criogenico al motore durante la fase di prova (Top Event 2);
- Rottura tubazione GNL e apparecchiature accessorie del banco prova durante le fasi operative (Top Event 3);
- Rottura tubazione di H2 del banco prova durante l'accensione del motore HTE (Top Event 4).

Le conseguenze di tali eventi comportano gli effetti derivanti dai seguenti scenari incidentali:

- ignizione istantanea di miscela gassosa (Jet fire) proveniente da rilascio di gas in atmosfera o di vapori per flash istantaneo di fase liquida o per rapida evaporazione della pozza sottostante la perdita (Fireball);
- rapida combustione di una nube di gas/vapori infiammabili, senza sviluppo di sovrappressioni (Flash fire).

In tutti i casi esaminati non si ha esplosione (UVCE) per accensione ritardata della miscela infiammabile in quanto i sistemi di interruzione del flusso di combustibile ed isolamento degli impianti è tale per cui non si raggiunge una massa tale da dare origine al fenomeno.




Per ciascuno dei Top Events determinati, gli scenari incidentali credibili, aventi una frequenza di accadimento maggiore di $1,0 \times 10^{-7}$ occ/anno, sono risultati i seguenti:

- Per il Top Event 1:
 - Flash fire per rottura totale
- Per il Top Event 2 nessuno scenario incidentale è risultato credibile
- Per il Top Event 3:
 - Jet fire per guasto tipo cricca
 - Flash fire per guasti tipo foro e rottura
- Per il Top Event 4:
 - Jet fire per guasto tipo cricca

Il modello di calcolo delle conseguenze sviluppato con il software DNV Phast Risk ha consentito di individuare l'estensione delle potenziali aree di danno per i valori di soglia corrispondenti agli scenari incidentali individuati, in accordo al D.M. del 9 maggio 2001.

Per tutti gli scenari investigati sono state considerate le seguenti condizioni meteo:

- 2F, elevata stabilità (ore notturne), velocità media del vento 2 m/s
- 3F, elevata stabilità (ore diurne), velocità media del vento 3 m/s
- 5D, neutrale (ore diurne), velocità media del vento 5 m/s

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)	J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+	Pag. 62 / 65	Rev. 00

In maniera conservativa, le estensioni delle aree di danno sono state determinate nella condizione di vento omnidirezionale, definendo in tal modo delle circonferenze con al centro in punto di emissione (Effect zone).




Nelle figure che seguono sono state rappresentate le estensioni massime delle aree di danno relative alle seguenti soglie di danno:

- Jet fire: la soglia per lesioni reversibili (3 kW/m²)
 la soglia per lesioni irreversibili (5 kW/m²)
 la soglia per danni alle strutture (12,5 kW/m²) (non presente per nessun Top Event)
- Flash fire: la soglia di inizio letalità all'interno della nube (½ LFL).

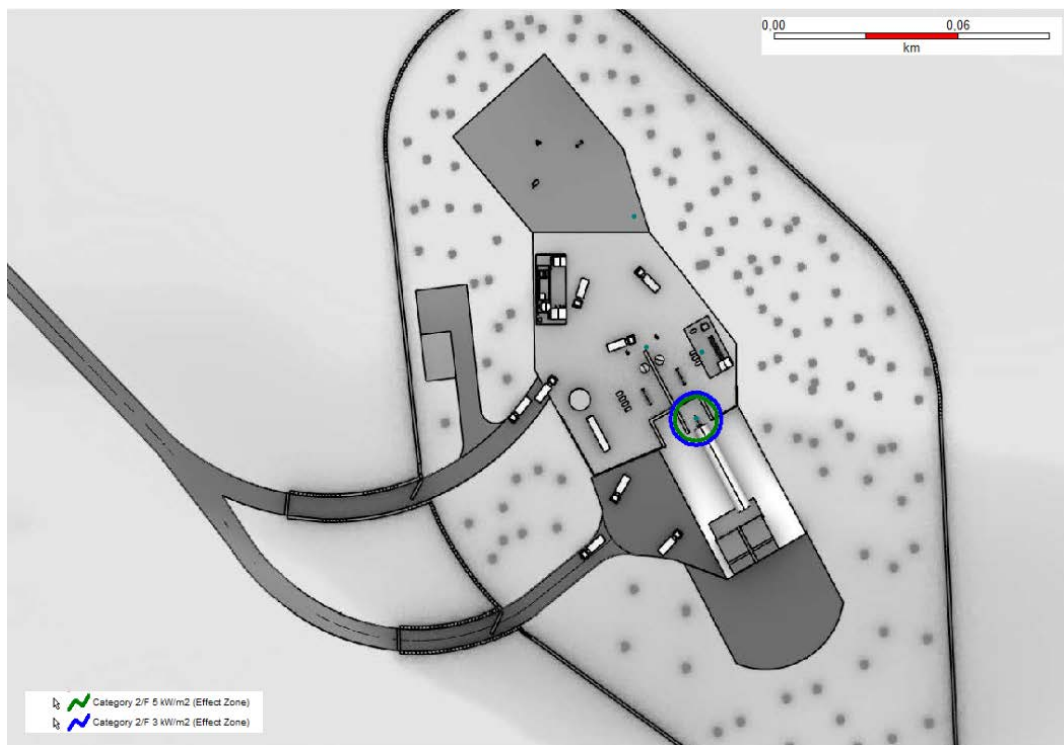
Top Event 1



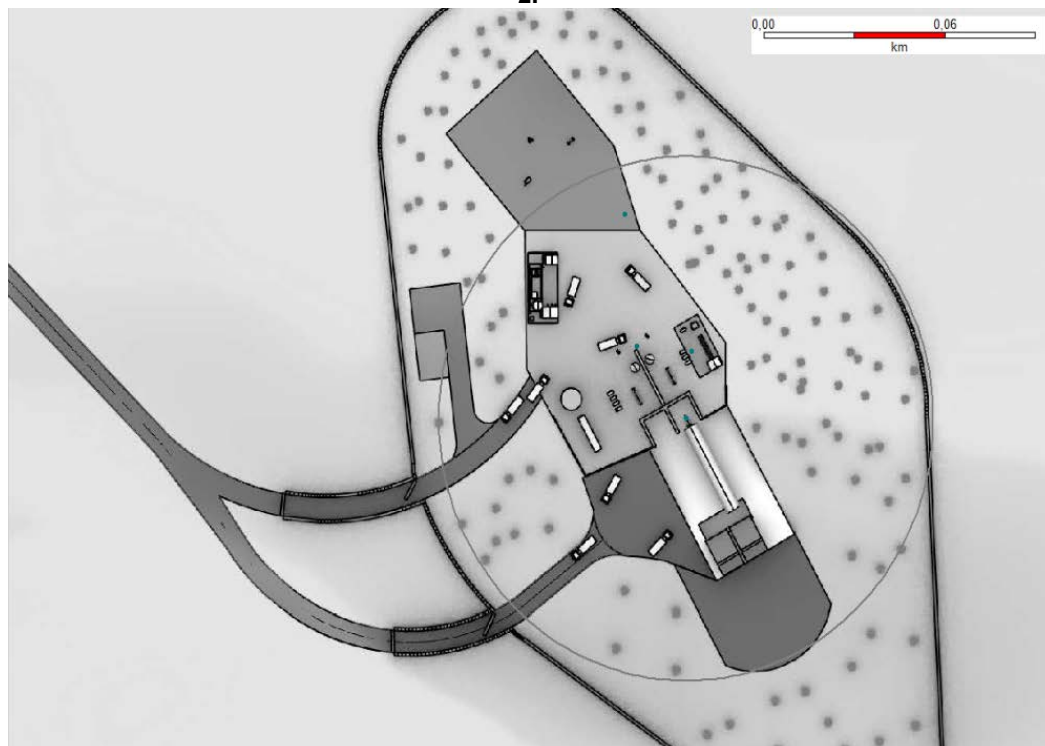
Flash fire: aree di danno per il valore di soglia di ½ LEL (inizio letalità), condizioni meteo 5D

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE) AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+	J23024-XX-SP-010	
		Pag. 63 / 65	Rev. 00




Top Event 3



Jet fire: aree di danno per valori di soglia di 3 kW/m² (lesioni reversibili), 5 kW/m² (lesioni irreversibili) e 12,5 kW/m² (lesioni alle strutture, non rappresentata in quanto adiacente al punto di emissione), condizioni meteo 2F



Flash Fire: aree di danno per il valore di soglia di ½ LEL (inizio letalità), condizioni meteo 5D

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)		J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+		Pag. 64 / 65	Rev. 00

Top Event 4






Jet fire: aree di danno per valori di soglia di 3 kW/m² (lesioni reversibili), 5 kW/m² (lesioni irreversibili) e 12,5 kW/m² (lesioni alle strutture, non rappresentata in quanto adiacente al punto di emissione), condizioni meteo 2F

Dall'esame delle figure si può osservare che per quanto concerne gli scenari incidentali che possono verificarsi immediatamente dopo il rilascio per ignizione istantanea della miscela infiammabile rilasciata (Jet fire), nelle condizioni di stabilità dell'aria considerate:

- per i Top Event 1 e 2 lo scenario di Jet fire non è stato considerato in quanto non credibile (probabilità di accadimento maggiore di $1,0 \times 10^{-7}$)
- per il Top Event 3 l'estensione della zona di danni irreversibili (soglia di 5 kW/m²) si verifica ad una distanza massima di circa 6,9 m dal punto di rilascio (condizioni 2F), mentre la zona per danni permanenti alle strutture (soglia di 12,5 kW/m²) è adiacente dal punto di rilascio; la lunghezza massima della fiamma risulta di 6,2 m.
- per il Top Event 4 l'estensione della zona di danni irreversibili (soglia di 5 kW/m²) si verifica ad una distanza massima di circa 7,6 m dal punto di rilascio (condizioni 2F), mentre la zona per danni permanenti alle strutture (soglia di 12,5 kW/m²) è adiacente dal punto di rilascio; la lunghezza massima della fiamma risulta di 6,9 m.

Per quanto concerne gli scenari conseguenti ad una ignizione ritardata della miscela infiammabile (Flash fire), si può osservare che nelle condizioni di stabilità dell'aria considerate:

- per i Top Event 2 e 4 lo scenario di Flash fire non è stato considerato in quanto non credibile (probabilità di accadimento maggiore di $1,0 \times 10^{-7}$)

  	ANALISI DEGLI SCENARI INCIDENTALI BANCO DI PROVA MOTORI AD ALTA SPINTA (HTE)	J23024-XX-SP-010	
	AVIO S.p.A. IMPIANTO SPTF+	Pag. 65 / 65	Rev. 00

- per il Top Event 1 la maggiore estensione per inizio letalità (soglia corrispondente alla metà del LEL) si ha per rottura completa ad una distanza massima di circa 45 m dal punto di rilascio (classe di stabilità 5D).
- per il Top Event 3 la maggiore estensione per inizio letalità (soglia corrispondente alla metà del LEL) si ha per rottura ad una distanza massima di circa 82 m dal punto di rilascio (classe di stabilità 5D).

L'ubicazione dell'impianto HTE e delle relative facilities non presenta rischi di letalità per Jet fire per il personale dell'impianto SPTF+, né di danni permanenti alle strutture presenti.

Relativamente al rischio per Flash fire, l'area potenzialmente investita in caso di dispersione di sostanza infiammabile in atmosfera con ignizione ritardata non è destinata durante le prove del motore alla presenza personale.

Infine, in accordo al D.Lgs. 105/2015 la probabilità di avere un effetto domino è pari a 0, sia perché vengono a mancare sia le condizioni di irraggiamento di 12,5 kW/m², sia perché il tempo di accadimento è inferiore a 5 minuti. Pertanto, gli scenari di effetto domino sono da considerare come non credibili.

15.2 RACCOMANDAZIONI

Al fine di garantire la sicurezza del personale e delle strutture, si riportano di seguito le principali raccomandazioni da applicare nella gestione dell'operatività del sito:

1. Durante le prove sul motore HTE inibire l'accesso del personale alle aree potenzialmente interessate allo scenario di Flash fire.
2. Garantire che i sistemi di sezionamento delle linee e delle apparecchiature siano affidabili e indipendenti in tutte le sue parti dal sistema di controllo (esempio: trasmettitori indipendenti)
3. Assicurare, durante la fase operativa di scarico delle autobotti, la presenza in campo di almeno due operativi, oltre che la presenza di adeguate procedure di scarico (che prevedano una serie di controlli di sicurezza prima del trasferimento) e di emergenza, in maniera tale che l'intervento in caso di rilascio da manichetta possa avvenire tempestivamente.
4. Accertarsi che le tubazioni siano mantenute contro gli effetti della corrosione e protette meccanicamente contro urti accidentali.
5. Accertare mediante controlli periodici la regolare funzionalità delle valvole di sezionamento manuali e automatiche.