

## **Progetto TDI RETE-GNL**

Tecnologie e Dimensionamento di Impianti per la RETE di distribuzione primaria di GNL nei porti dell'area transfrontaliera

### **Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”**

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”

Contributo partner di progetto



## Sommario

INTRODUZIONE .....	6
1 RIFERIMENTI NORMATIVI .....	12
1.1 PRINCIPI NORMATIVI INTERNAZIONALI, EUROPEI E NAZIONALI .....	12
1.2 NORMATIVE RILEVANTI PER L'IMPIEGO DEL GNL .....	15
1.3 NORME TECNICHE (ISO, CEN, UNI) E LINEE GUIDA .....	19
2 METODOLOGIA DI ANALISI DEL RISCHIO .....	32
2.1 PREMESSA .....	32
2.2 IL CONCETTO DI RISCHIO.....	33
2.3 I METODI DI VALUTAZIONE .....	34
2.3.1 Metodo qualitativo .....	37
2.3.2 Applicazione del metodo qualitativo di valutazione (QualRA).....	41
2.3.3 Metodo quantitativo .....	42
2.3.4 Applicazione del metodo quantitativo di valutazione (QRA).....	45
2.4 VALORI DI SOGLIA E CRITERI DI ACCETTABILITÀ .....	48
3 CARATTERISTICHE DEL GNL E TASSONOMIA DEI RISCHI .....	61
3.1 PRINCIPALI EFFETTI FISICI DEL GNL .....	61
3.1.1 Limiti di infiammabilità .....	62
3.1.2 Confronto GNL/GPL.....	65
3.2 RISCHI CONNESSI AL GNL.....	66
3.2.1 Gas di evaporazione (boil-off gas) .....	69
3.2.2 Contatto con il GNL.....	70
3.2.3 Stratificazione e roll-over .....	71
3.2.4 Sloshing.....	73
3.2.5 Transizione rapida di fase (RapidPhaseTransition).....	75
3.2.6 Bleve (boiling liquid expanding vapour explosion) .....	76
3.2.7 Esplosione nube di vapore (Vapor Cloud Explosion) .....	78
3.2.8 Jet fire, pool fire e flash fire .....	79
3.2.9 Asfissia .....	85
3.2.10 Terrorismo.....	86
3.2.11 Terremoti.....	86
3.2.12 Considerazioni conclusive in merito alle perdite di GNL .....	87
3.3 SISTEMI DI TRASFERIMENTO DEL GAS GNL .....	89
3.3.1 Configurazione ship to ship.....	91
3.3.2 Configurazione truck to ship .....	95

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto



3.3.3	Configurazione terminal (o port) to ship.....	99
3.3.4	Configurazione mobile fuel tanks.....	101
4	LA GESTIONE DEL RISCHIO IN AMBITO PORTUALE .....	105
4.1	LA DEFINIZIONE DELLE ZONE .....	108
4.2	ZONA DI PERICOLO .....	114
4.2.1	Standard ISO .....	115
4.2.2	Codice IGF/IGC .....	116
4.2.3	Calcolo computazionale .....	118
4.3	ZONA DI SICUREZZA .....	119
4.3.1	Approccio deterministico .....	120
4.3.2	Approccio probabilistico .....	124
4.3.3	Il calcolo computazionale.....	127
4.4	ZONA DI MONITORAGGIO E DI SORVEGLIANZA .....	130
5	APPLICAZIONE PRELIMINARE IN AMBITO PORTUALE.....	132
5.1	VALUTAZIONE DEL RISCHIO.....	132
5.1.1	Individuazione dei rischi .....	133
5.1.2	La quantificazione del rischio .....	139
5.1.3	L'accettabilità del rischio .....	146
5.2	L'IMPLEMENTAZIONE DELLE ZONE DI CONTROLLO .....	151
6	CONCLUSIONI .....	156
7	BIBLIOGRAFIA .....	160
	ALLEGATO 1.....	162

**TDI RETE-GNL**

**Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto**



## Indice delle figure

Figura 1. Normativa di riferimento per il GNL.....	31
Figura 2. Flow Chart Metodo Qualitativo – .....	39
Figura 3. Schema estratto dalla norma ISO / TS 18683.....	40
Figura 4. Flow Chart Metodo Quantitativo .....	44
Figura 5. Criteri di accettabilità del rischio .....	49
Figura 6. Costi relativi alla riduzione del rischio .....	50
Figura 7. Esempio in cui i valori sono espressi come distanza a cui il danno viene ritenuto intollerabile .....	52
Figura 8. Valori Soglia e criteri di accettabilità – ISO/TS 18683.....	53
Figura 9. Esempio matrice di valutazione del rischio – ISO17776.....	54
Figura 10. Esempi di Mappature iso -rischio e Distribuzioni del rischio individuale .....	57
Figura 11. Esempi di Mappature iso -rischio e Distribuzioni del rischio individuale .....	58
Figura 12. Esempi di criteri di accettabilità .....	60
Figura 13. Intervallo di infiammabilità del GNL .....	64
Figura 14. Rischi specifici del GNL .....	68
Figura 15. Il fenomeno del rollover.....	72
Figura 16. Sistema di serbatoi di stoccaggio di tipo Self Support Prismatic type B (SPB).....	75
Figura 17. RapidPphase Transition (RPT) di GNL.....	76
Figura 18. Fenomeno BLEVE .....	77
Figura 19. Possibile scenario di VCE nel caso di metaniera ormeggiata.....	79
Figura 20. Albero degli eventi relativo al rilascio di GNL .....	81
Figura 21. GNL e pool fire: alcuni esempi.....	82
Figura 22. Pool diameter e surfaceemission power per diverse tipologie di combustibili.....	83
Figura 23. Esempio di fenomeno di flash fire prodotto da fuoriuscita di GNL.....	84
Figura 24. Cause potenziali di perdite di GNL .....	89
Figura 25. Supply chain del GNL.....	90
Figura 26. Potenziali configurazioni di bunkering di GNL.....	91
Figura 27. Rifornimento di GNL secondo configurazione STS .....	92
Figura 28. Nave per il rifornimento di GNL della Argos secondo configurazione STS: rendering. ....	93
Figura 29. Rifornimento di GNL secondo configurazione TTS .....	95
Figura 30. Rifornimento di GNL secondo configurazione PTS.....	99
Figura 31. ISO-container criogenici .....	102
Figura 32. Collocazione di un container ISO per il bunkering di GNL su una nave .....	103
Figura 33. Zone di controllo - Zona pericolosa, di sicurezza e di Monitoraggio.....	111
Figura 34. Zone di controllo - Zona pericolose, di sicurezza, di monitoraggio, marina ed esterna .....	112
Figura 35. Zone di Pericolo -Codice IGC/IGF .....	118
Figura 36. Zone di Pericolo -Calcolo computazionale CFD .....	119
Figura 37. Estensione della zona rispetto al volume di GNL rilasciato ed intrappolato nell'interconnessione .....	121
Figura 38. Estensione della zona rispetto alla pressione nel punto di rilascio di GNL.....	123
Figura 39. Schema di Calcolo - approccio probabilistico .....	125
40Fonte: ns elaborazione da EMSA Guidance on LNG Bunkering .....	138
Figura 41. Esempio di Diagramma di sintesi per singola tecnologia .....	141
Figura 42. Esempio di grafico comparativo dei rischi valutati.....	142
Figura 43. Diagramma a Radar riferita al bunkeraggio Ship to Ship .....	143
Figura 44. Diagramma a Radar riferita al bunkeraggio TTS .....	144
Figura 45. Diagramma a Radar riferita al bunkeraggio PTS.....	145
Figura 46. Matrice di accettabilità del rischio impiegata.....	147

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”

Contributo partner di progetto



Figura 47. Diagramma a Radar riferita al bunkeraggio PTS..... 148  
 Figura 48. Esempi di prossimità porto città (La Spezia – Genova - Cagliari – Ajaccio – Savona)..... 152  
 Figura 49. Situazione di attraversamento via nave della zona di sicurezza - STS ..... 155

## Indice delle Tabelle

Tabella 1. Indice sintetico del documento predisposto dal partner CCIVAR e relativo consulente TECHNIP ..... 8  
 Tabella 2. Fasi tecniche dello sviluppo del metodo quantitativo..... 43  
 Tabella 3. Scenari Standard ed Eccezioni per applicazione QualRA su per Bunkeraggio LNG..... 47  
 Tabella 4. Caratteristiche di infiammabilità ..... 64  
 Tabella 5. Comparison of properties of Liquid Fuels..... 65  
 Tabella 5. Caratteristiche delle zone pericolose ..... 114  
 Tabella 7 Requisiti del progetto per definire le distanze un metodo basato sul rischio ..... 126  
 Tabella 8 Caratteristiche dei principali tools software ..... 128  
 Tabella 9. Metodologia per il calcolo delle distanze di sicurezza ..... 129  
 Tabella 10. Individuazione dei rischi per soluzione tecnologica..... 133  
 Tabella 11. Suddivisione dei maggiori rischi in macroambiti ..... 138  
 Tabella 12. Classificazione delle frequenze di accadimento ..... 139  
 Tabella 13. Classificazione dei danni..... 140  
 Tabella 14. Quantificazione dei rischi di STS per ciascun macro ambito ..... 143  
 Tabella 15. Quantificazione dei rischi di TTS per ciascun macro ambito ..... 144  
 Tabella 16. Quantificazione dei rischi di PTS per ciascun macro ambito ..... 145  
 Tabella 17. Confronto dei rischi per ciascun macro ambito ..... 147  
 Tabella 18. Schema di valutazione del rischio da applicare nel bunkeraggio ..... 150

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto

## INTRODUZIONE

L'intento del presente Report è quello di giungere alla definizione di linee guida per definizione e la valutazione dei rischi associati al bunkeraggio del GNL ai fini di ottenere una chiara metodica per la classificazione ed interpretazione delle aree destinate ad ospitare in ambito portuale tali attività.

Il presente documento si colloca all'interno del progetto TDI RETE-GNL (Capofila UNIGE-CIELI), nell'ambito Programma Interreg Italia-Francia Marittimo 2014-2020, che si pone l'obiettivo di individuare soluzioni tecnologico-produttive per la distribuzione e il *bunkering* di GNL nei porti dell'area transfrontaliera, basate su standard e procedure operative condivise: nell'ambito della Componente T2 prevista a formulario, in particolare, il progetto si dedica all'analisi della possibile localizzazione degli impianti e dei depositi della rete di distribuzione primaria, verificandone le potenziali esternalità e la sostenibilità economico-finanziaria.<sup>1</sup>

Nello specifico, il presente documento rappresenta il prodotto finale T.2.4.1, previsto all'interno dell'attività T2.4, e, come da formulario, vede la partecipazione del **capofila (UNIGE\_CIELI)** e del **consulente del capofila (TECNOCREO)** nonché del **Partner 5 (CCIVAR)** e del relativo consulente (TECHNIP FMC). In particolare, in relazione al report del partner 5 (CCIVAR) e del relativo consulente, in Allegato 1 si riporta l'intero report. Tuttavia, per i fini e per gli scopi dell'attività T.2.4.1, risulta rilevante il Capitolo 3 del citato documento in allegato.

I **Partner P2 (UNIFI)**, **P3 (UNICA/CIREM)**, **P4 (OTC)**, hanno concorso, come da formulario, alle attività tecniche e funzionali alla predisposizione del prodotto finale T2.4.1, fornendo un costante supporto nella definizione dell'ossatura del prodotto, realizzando il monitoraggio in itinere delle attività di ricerca e concorrendo ad assicurare la validazione dei risultati di ricerca, anche mediante il coinvolgimento di stakeholders rilevanti relativi alla propria area geografica di riferimento.

Si precisa che, con riferimento al prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale" va attribuito al CF UNIGE-CIELI la definizione del framework

---

<sup>1</sup> Cfr.: Progetto Interreg Marittimo IT-FR "TDI RETE-GNL", in: <http://interreg-maritime.eu/web/tdiretegnl>

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



concettuale dell'intero documento e la redazione dei capitoli: “1. Riferimenti normativi” e “3. Caratteristiche del GNL e tassonomia dei rischi”. I capitoli “2. Metodologia di analisi del rischio”, “4. La gestione del rischio in ambito portuale”, “5. Applicazione preliminare in ambito portuale” e “6. Conclusioni”, vanno invece attribuiti al consulente esterno TECNOCREO del P1/CF, e l'Allegato 1 al documento è da attribuire al Partner P5 e al relativo consulente.

La realizzazione di infrastrutture e soluzioni tecnologico-produttive per la distribuzione e il *bunkering* di GNL comporta decisioni strategiche circa la localizzazione degli impianti per il rifornimento, lo stoccaggio e l'approvvigionamento del GNL e in merito al loro dimensionamento, secondo logiche sistemiche. Il tema della valutazione del rischio associato alla gestione di questa tipologia di impianti ed alle attività legate al loro esercizio costituisce un nodo sicuramente centrale nella dinamica decisionale in particolare per le scelte che riguardano i criteri localizzativi e l'individuazione dei migliori siti realizzativi.

L'approccio alla tematica è necessariamente transfrontaliero, appunto IT-FR marittimo, è diretta conseguenza della densità di servizi marittimi con origine/destino nell'area e dalla necessità di disporre di impianti con caratteristiche tecnologiche tra loro omogenee in aree che è ragionevole definire limitrofe a prescindere dalla nazionalità.

Il presente documento è articolato in una prima sezione ove si definisce l'ambito normativo applicabile al sistema di *bunkering* di GNL (Capitolo 1) a cui segue una sezione di inquadramento concettuale e tecnico all'analisi e valutazione del rischio (Capitolo 2). Il capitolo successivo (Capitolo 3) mira ad illustrare tutti i possibili rischi derivanti dall'impiego della sostanza GNL, fornendo in relazione ad essa una dettagliata descrizione delle diverse opzioni tecnologiche per il *bunkering* e lo stoccaggio di GNL in ambito marittimo-portuale. Il Capitolo 4 affronta la gestione del rischio nello specifico scenario della catena logistica di piccola scala (Small Scale LNG) all'interno delle aree portuali, illustrando le metodologie e le prassi consolidate per definire le zone di sicurezza e controllo attorno agli impianti ai fini di prevenire gli effetti di eventi negativi.

La contestualizzazione di tutti gli approcci presentati trova spazio nel Capitolo 5, sezione in cui si procedere ad un confronto su base qualitativa dei profili di rischio delle varie soluzioni tecnologiche

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

per il *bunkering*, per giungere ad introdurre alcuni elementi di base associati a specificità degli ambiti portuali interessati dal presente progetto. L'ultimo capitolo è dedicato alle conclusioni (Capitolo 6). Inoltre, come precedentemente menzionato, nell'ambito dell'attività 2.4, che afferiscono al prodotto finale T.2.4.1, rientrano anche le analisi e gli studi svolti anche dal Partner 5 (CCIVAR), anche attraverso il supporto del relativo consulente esterno TECHNIP FMC. La Tabella 1, riportata di seguito, mostra l'indice del report a cura del Partner P5 e del relativo consulente che si colloca nelle attività T.2.4 del Progetto TDI RETE-GNL.

**Tabella 1. Indice sintetico del documento predisposto dal partner CCIVAR e relativo consulente TECHNIP**

Titolo	N° pagina
<b>1. Introduzione</b>	5
1.1. <i>Scopo e contesto generale</i>	5
1.2. <i>Scopo e contesto specifici</i>	5
1.3. <i>Cronologia</i>	6
1.4. <i>Contenuto</i>	7
<b>2. Il porto di Tolone</b>	8
2.1. <i>Generale</i>	8
2.2. <i>Siti principali</i>	8
2.3. <i>Ambiente del sito</i>	13
<b>3. Installazioni tipiche</b>	16
3.1. <i>Ipotesi e dati generali sul traffico GNL</i>	16
3.2. <i>Flusso - Pressione - Temperatura - Condizioni di temperatura - Dimensioni tipiche</i>	18
<b>4. Classificazione e revisione dei diversi tipi di rischio</b>	23
4.1. <i>Pericoli associati al prodotto</i>	23
4.2. <i>Pericoli di processo</i>	33
4.3. <i>Pericoli ambientali</i>	37
4.4. <i>Incidetologia</i>	39
4.5. <i>In sintesi</i>	43
<b>5. Caratterizzazione del rischio</b>	51
5.1. <i>Generale</i>	51
5.2. <i>Gravità dei fenomeni pericolosi</i>	55
5.3. <i>Frequenza degli eventi pericolosi</i>	68
5.4. <i>Sintesi del rischio</i>	84
<b>6. Raccomandazioni di buona pratica</b>	89
6.1. <i>Generale</i>	89
6.2. <i>Norme generali di sicurezza</i>	89
6.3. <i>Stoccaggio e linee collegate</i>	90
6.4. <i>Catena di sicurezza / mmr chiamato strumentato</i>	91
6.5. <i>Rilevazione</i>	93
6.6. <i>Trattamento</i>	98
6.7. <i>Sistemi di azione d'emergenza</i>	100
6.8. <i>Sistemi di raccolta dello sfiato</i>	102
6.9. <i>Sistemi di raccolta delle perdite</i>	104
6.10. <i>Sistema di protezione antincendio</i>	106
6.11. <i>Effetti domino</i>	109
<b>7. Conclusioni - Sommario</b>	110
<b>8. Riferimenti bibliografici</b>	111

Fonte: Ns. elaborazione dal documento "LOTTO 3 - ANALISI DEI RISCHI DEGLI IMPIANTI GNL NELLE" di CCI del VAR

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto





Il documento risulta molto utile ad integrare non solo il prodotto T2.4.1 ma anche i prodotti T2.4.2 e T2.4.4. Tuttavia, per le finalità e gli scopi di cui al presente prodotto finale si segnala principalmente il **capitolo 3** del documento in Allegato 1, che fornisce la descrizione delle seguenti installazioni:

- La Stazione Fabbrica;
- La Stazione Porto;
- La Stazione Grand Port.

In particolare, con riferimento alla “Stazione Fabbrica” si intende una stazione il cui obiettivo primario è la fornitura continua di Gas Naturale ad una fabbrica situata in un’area non dotata di una rete di trasporto o di distribuzione gas adeguata. Inoltre, grazie alla tecnologia di stoccaggio di tale stazione, ovvero il recipiente a pressione doppia camicia/singola integrità, è garantita un certo livello di flessibilità operativa.

Per quanto concerne la “Stazione Porto”, invece, il cui obiettivo primario è quello di effettuare il bunkeraggio di GNL alle navi, tale stazione offre una capacità di stoccaggio volumetrica superiore rispetto alla stazione fabbrica, risultando quindi maggiormente idonea qualora la domanda di GNL fosse maggiore. La tecnologia impiegata in questa stazione generalmente è identificabile in un serbatoio pressurizzato, caratterizzato da una dimensione media tale per cui risulta necessaria un’installazione orizzontale.

In riferimento all’ultima tipologia di stazione menzionata, ovvero la “Stazione Grand Port”, si evidenzia come essa abbia le stesse funzionalità della Stazione Porto, risultando però maggiormente adatta per il rifornimento e la fornitura di navi aventi una dimensione maggiore. In questo caso la tecnologia idonea ad essere impiegata risulta essere uno, o più serbatoi non pressurizzati caratterizzati dalla presenza di un doppio contenimento. Tale tecnologia di stoccaggio risulta idonea, secondo le indicazioni fornite dal consulente esterno del Partner 5, anche per le installazioni offshore, in qualità di chiatta galleggiante o di Gravity Based Structure (GBS)<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Struttura in calcestruzzo progettata per poggiare sul fondale marino avente una bassa profondità.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

Si evidenzia come, benché i capitoli 4 e 5 del report consegnato dal Partner 5 (CCIVAR) siano stati integrati all'interno del prodotto T2.4.2, essi hanno valenza rilevante anche rispetto alle tematiche approfondite nel Prodotto T2.4.1 del Progetto TDI RETE-GNL (ovvero il presente documento). Sotto questo profilo, infatti, si precisa che il capitolo 4 sopra richiamato fornisce una classificazione dei rischi basati sull'identificazione degli stessi mediante un'analisi a 4 livelli data da:

- pericoli associati al prodotto;
- rischi operativi;
- rischi ambientali;
- rischi legati alle attività antropiche

Con riferimento ai **pericoli associati al prodotto** viene fornita una descrizione generale del Gas Naturale, andando poi nel dettaglio analizzando la sua composizione chimica, le sue proprietà fisiche, con specifico riferimento ai diversi tipi di GNL esistenti<sup>3</sup> e ponendoli inoltre a confronto con il Metano. Il report fornisce anche utili indicazioni in merito alle proprietà di infiammabilità e combustione che caratterizzano il gas naturale.

I **rischi operativi**, denominanti anche i “pericoli di processo”, sono individuabili principalmente nelle operazioni di trasferimento e nello stoccaggio. Sotto questo profilo, nel report del Partner 5, vengono descritti puntualmente i pericoli associati alle operations relative a trasferimento, stoccaggio sotto pressione e stoccaggio non pressurizzato del GNL.

In relazione ai **rischi ambientali**, il documento più volte richiamato, esamina tutti i rischi e i pericoli dovuti a condizioni naturali, quali:

- allagamento o sommersione,
- fulmini,
- terremoti.

---

<sup>3</sup> Il GNL viene distinto in questo documento in base alla sua origine e suddiviso poi in base alla massa molecolare; alla temperatura di ebollizione a pressione atmosferica; alla densità del liquido a temperatura di ebollizione; alla densità di vapore a temperatura di ebollizione; alla densità di vapore alla temperatura di 20°C.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

Il report precisa l'importanza dello studio e dell'analisi di questi elementi di rischio/pericolo durante l'espletamento delle diverse attività di valutazione del rischio; ciascun evento potenziale deve ovviamente essere considerato anche in relazione alla loro probabilità di avvenimento. I **rischi legati ad attività antropiche** sono ovviamente da ricondursi ad attività o compiti espletati dall'uomo e originano prevalentemente nell'ambito delle attività di trasporto/trasferimento o alle attività industriali adiacenti alle zone di bunkering e stoccaggio di GNL in ambito marittimo-portuale.

Per quanto concerne il capitolo 5 invece, il report del Partner 5 fornisce una breve descrizione circa le principali componenti del "rischio", che viene disarticolato in: gravità dei fenomeni e probabilità/frequenza con cui essi possono manifestarsi.

Con riferimento alla valutazione e alla stima della gravità dei fenomeni pericolosi il report fornisce un'applicazione empirica attraverso il ricorso al software "PHAST", che viene impiegato per l'implementazione dei modelli di calcolo delle distanze d'effetto. Si analizza, quindi, in un'ottica prevalentemente tecnica, le distanze degli effetti sia per il fenomeno del BLEVE che di quello del VCE.

Infine, il capitolo 6 documento consegnato dal Partner P5, che è stato inserito all'interno del prodotto T2.4.4, fornisce raccomandazioni di buona pratica da seguire in relazione agli impianti e alle attrezzature per il GNL. Detto capitolo tratta in termini sia tecnici le regole generali di sicurezza, i serbatoi e le linee collegate, le misure di controllo dei possibili rischi con riferimento anche ai sistemi di allarme in caso del superamento di valori soglia, la raccolta di bocchette di ventilazione e delle perdite, i sistemi di protezione antincendio e degli effetti domino.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



# 1 RIFERIMENTI NORMATIVI

## 1.1 PRINCIPI NORMATIVI INTERNAZIONALI, EUROPEI E NAZIONALI

La crescente attenzione alle tematiche della propulsione navale mediante GNL e del relativo bunkeraggio presso apposite aree portuali dedicate, trova nella problematica della sostenibilità ambientale e della sicurezza dei sistemi di trasporto e delle operazioni di bunkeraggio un driver di sviluppo fondamentale. Per porre rimedio alla grave preoccupazione ambientale determinata dai sempre maggiori livelli di inquinamento prodotti dal settore dei trasporti marittimi su scala mondiale, sono state adottate nel tempo da parte degli organismi internazionali e delle autorità competenti una serie di misure e provvedimenti normativi volti alla riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti che determinano impatti negativi sull'aria, sulla salute umana e sul clima. Gli innegabili impatti degli inquinanti atmosferici hanno innescato un processo di regolamentazione che, a partire dagli anni '70, è stato finalizzato in modo crescente per mitigare le suddette problematiche, determinando, allo stesso tempo, una progressiva sensibilizzazione dell'opinione pubblica circa il controllo e il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico. In quest'ottica, l'International Maritime Organization (IMO) ha introdotto nel 1973 la "Convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento causato da navi", nota come MARPOL 73/78<sup>4</sup>. L'allegato VI della Convenzione MARPOL<sup>5</sup> introduce limiti al contenuto di zolfo più rigorosi rispetto al passato in relazione ai combustibili per uso marittimo nelle aree SECA (1,00% dal 1.07.2010 e 0,10% dal 1.01.2015) nonché nelle aree marittime al di fuori delle

---

<sup>4</sup> La Convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento causato da navi (MARPOL) è stata adottata il 2 novembre 1973 all'IMO e riguardava l'inquinamento da idrocarburi, prodotti chimici e sostanze nocive sotto forma di imballaggi, acque reflue e rifiuti. Il protocollo del 1978 relativo alla convenzione internazionale del 1973 per la prevenzione dell'inquinamento causato da navi (protocollo MARPOL del 1978) è stato adottato nel febbraio 1978 in occasione di una conferenza sulla sicurezza delle petroliere e la prevenzione dell'inquinamento, tenutasi in seguito a un'ondata di incidenti in mare nel 1976-1977.

<sup>5</sup> Complessivamente la Convenzione è composta da VI allegati: Annex I Norme per l'inquinamento da oli minerali (2.10.1982); Annex II Norme per la prevenzione dell'inquinamento da sostanze liquide nocive trasportate alla rinfusa (6.04.1987); Annex III Norme per la prevenzione dell'inquinamento da sostanze dannose trasportate in colli (1.07.1992); Annex IV Norme per la prevenzione dell'inquinamento da acque di scolo delle navi (23.09.2003); Annex V Norme per la prevenzione dell'inquinamento da rifiuti solidi scaricati dalle navi (31.12.1988); Annex VI Norme per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico da SO<sub>x</sub> e da NO<sub>x</sub> da scarico dei motori (19.05.2005).

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



SECA (3,50% dal 1.01.2012 e, in linea di principio, 0,50% dal 1.01.2020). In particolare, rispetto agli argomenti trattati si segnala l'importanza della Regolamento n. 14 sulle concentrazioni di emissioni SO<sub>x</sub> e PM e del Regolamento n. 13 sulle concentrazioni di emissioni di No<sub>x</sub>.

Al fine di assicurare la coerenza con il diritto internazionale nonché la corretta applicazione nell'Unione Europea delle norme sul tenore di zolfo stabilite a livello internazionale, la Direttiva 2016/802/UE (Sulphur Directive) dell'11 maggio 2016 risulta conforme all'allegato VI della convenzione MARPOL. Scopo della Direttiva 2016/802 è quello di ridurre le emissioni di anidride solforosa derivanti dalla combustione di alcuni tipi di combustibili liquidi, diminuendo così gli effetti nocivi di tali emissioni per le persone e l'ambiente, coerentemente con le politiche europee sulla tutela del clima. All'interno del quadro normativo comunitario un'ulteriore norma rilevante per l'analisi della strategia per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva, per migliorare la competitività e garantire la sicurezza energetica mediante un uso più efficiente dell'energia e delle risorse è la Direttiva 2014/94/UE (DAFI) del 22 ottobre 2014 relativa alla realizzazione di un sistema infrastrutturale a supporto della diffusione dei combustibili alternativi. La Direttiva DAFI, recepita nella legge di delegazione Europea nell'anno 2014, crea le condizioni in chiave europea per lo sviluppo di un mercato unico e di economie di scala nella realizzazione di un sistema infrastrutturale per la diffusione dei carburanti alternativi. Secondo quanto stabilito nella Direttiva, gli Stati Membri attraverso i rispettivi quadri strategici nazionali, assicurano che:

- Entro il 31 dicembre 2025, nei porti marittimi sia realizzato un numero adeguato di punti di rifornimento per il GNL per consentire la circolazione di navi adibite alla navigazione interna o navi adibite alla navigazione marittima alimentate a GNL nella rete centrale della TEN-T (Trans-EuropeanNetwork- Transport);
- Entro il 31 dicembre 2030, nei porti della navigazione interna sia realizzato un numero adeguato di punti di rifornimento per il GNL per consentire la circolazione di navi adibite alla navigazione interna o navi adibite alla navigazione marittima alimentate a GNL nella rete

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

centrale della TEN-T. Gli Stati membri cooperano se del caso con gli Stati membri confinanti per assicurare l'adeguata copertura della rete centrale della TEN-T;

- Entro il 31 dicembre 2025, sia realizzato un numero adeguato di punti di rifornimento per il GNL accessibili al pubblico almeno lungo la rete centrale della TEN-T per assicurare la circolazione in tutta l'Unione dei veicoli pesanti alimentati a GNL.

L'Italia ha recepito la Direttiva 2014/94/UE (DAFI) del 22 ottobre 2014 sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi con il Dlgs 257/2016, al fine di ridurre la dipendenza dal petrolio e attenuare l'impatto ambientale nel settore dei trasporti. Il Dlgs 257/2016 stabilisce i requisiti minimi per la costruzione di infrastrutture per i combustibili alternativi, inclusi i punti di ricarica per i veicoli elettrici e i punti di rifornimento di gas naturale liquefatto e compresso, idrogeno e gas di petrolio liquefatto, da attuarsi mediante il Quadro Strategico Nazionale, la cui sezione C indica le linee guida da seguire per lo sviluppo del GNL come combustibile per la navigazione marittima, per il trasporto stradale e per altri usi in Italia.

Sul fronte delle autorizzazioni il Decreto 257/2016 copre tutte le fattispecie impiantistiche necessarie alla crescita dell'infrastruttura di distribuzione, delineando i procedimenti necessari per la realizzazione degli stoccaggi, attraverso procedimenti semplificati e con previsione di tempi certi di conclusione degli stessi:

- Impianti di rigassificazione che intendono offrire anche il servizio di trasporto, stoccaggio e distribuzione di GNL (Art. 9);
- Impianti definiti «small scale LNG» (Art. 10);
- Depositi di stoccaggio GNL di piccole dimensioni destinati ad alimentare le utenze finali (Art. 11).

#### TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

## ***1.2 NORMATIVE RILEVANTI PER L'IMPIEGO DEL GNL***

Accanto alla normativa internazionale, comunitaria e nazionale, che ha evidenziato la necessità sempre più stringente di adottare combustibili green, quali il GNL, in grado di assicurare un minor impatto ambientale si sono sviluppati anche convenzioni, codici, norme tecniche e linee guida, redatti da organismi e operatori del settore attingendo alle competenze delle realtà impegnate, sul campo all'interno di questa filiera, che ne hanno aggiornato i contenuti alla luce dell'esperienza.

Secondo quanto riporta la pubblicazione dell'agosto 2013 “Standards and Guidelines for Natural Gas Fuelled Ship Projects” di SIGTTO (Society of International Gas Carrier and Terminal Operators) e SGMF, l'industria del trasporto marittimo di GNL ha un record di sicurezza invidiabile e, nei 49 anni da quando il primo carico commerciale è stato trasportato dall'Algeria nel Regno Unito, 7.200 milioni di m<sup>3</sup> di GNL sono stati consegnati in modo sicuro con circa 75.000 viaggi in condizioni di carico.

Questo eccellente risultato nel campo della sicurezza deriva dall'adesione degli operatori dell'industria del GNL a codici e standard rigorosi per la progettazione, costruzione e gestione di entrambe le realtà coinvolte, cioè le navi e i terminali marittimi dove esse effettuano le operazioni di caricamento e scarica. Con l'avvento dell'utilizzo del GNL “su piccola scala” (anche noto come SSLNG, ovvero “Small Scale LNG”), in particolare considerandone il suo impiego come combustibile marino, è essenziale che la conoscenza e l'esperienza siano condivise tra i nuovi partecipanti allo scenario del GNL.

Nel prosieguo sarà fornito un elenco, non esaustivo, delle principali normative e linee guida a livello internazionale ed europeo relative alla safety & security delle operazioni di *bunkering*, installazioni, macchinari e infrastrutture portuali, mentre nel prossimo paragrafo verranno esaminate le principali norme tecniche e standard in relazione al “sistema nave”, fornendo per ciascuno di detti documenti una breve descrizione in merito ai contenuti più rilevanti.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

### ***IMO- SOLAS***

La Convenzione Internazionale Safety of Life At Sea (SOLAS) emanato dall'IMO nel '74 è tra i più importanti accordi internazionali volti a tutelare la sicurezza della navigazione e la salvaguardia della vita in mare. Tra le norme vi sono quelle relative alla costruzione, l'equipaggiamento e il funzionamento delle navi con riferimento alla sicurezza. Gli Stati di bandiera hanno la responsabilità di garantire che le navi battenti la loro bandiera siano conformi ai requisiti della Convenzione, e la Convenzione prescrive una serie di certificati a riprova del fatto che ciò è stato fatto. Le disposizioni in materia di controllo consentono inoltre ai Governi Contraenti di ispezionare le navi di altri Stati Contraenti se vi sono fondati motivi di ritenere che la nave e le sue attrezzature non siano sostanzialmente conformi ai requisiti della Convenzione - questa procedura è nota come controllo da parte dello Stato di approdo. L'attuale Convenzione SOLAS comprende articoli che stabiliscono gli obblighi generali, la procedura di emendamento e così via, seguiti da un allegato suddiviso in 14 capitoli.

### ***IMO – CODICE IGF***

Lo scopo dell'International code of safety for ships using Gases or other low-flashpoint fuels constructions & bunkering of LNG Fueled vessels (IGF) è quello di fornire uno standard internazionale per le navi non coperte dal Codice IGC, che operano con combustibili quali i gas o liquidi con basso punto di infiammabilità. Il Codice prevede criteri obbligatori per la sistemazione e installazione di macchinari, impianti, attrezzature e sistemi per ridurre al minimo il rischio per la nave, il suo equipaggio e l'ambiente.

### ***IMO – CODICE IGC***

L'international code for the construction and equipment of ships carrying liquefied Gases in bulk construction of LNG Carrier vessels (IGC) fornisce uno standard internazionale per la sicurezza del trasporto via mare alla rinfusa di gas liquefatti e di talune altre sostanze. Prescrive le norme di

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



progettazione e costruzione delle bunker ship e le attrezzature che dovrebbero portare a minimizzare i rischi per la nave, il suo equipaggio e l'ambiente.

### ***IMO – CODICE IMDG***

International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code – Questo codice stabilisce i principi fondamentali, nonché le raccomandazioni dettagliate per le singole sostanze e i materiali, e una serie di raccomandazioni di buona pratica operativa, inclusi consigli sulla terminologia, l'imballaggio, l'etichettatura, stivaggio, la segregazione e la manipolazione, e le procedure di emergenza inerenti al trasporto di merci in colli.

### ***IMO - STCW CONVENTION AND CODE***

Lo scopo della Convenzione Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW) adottata dall'IMO nel '78 è quello di promuovere la sicurezza della vita e della proprietà in mare e assicurare la protezione dell'ambiente stabilendo standard internazionale di formazione, certificazione e tenuta della guardia per i marittimi (STCW '95). Oltre alla Convenzione, che fornisce il legal framework e i principi generali, è stato emanato il Codice STCW che fornisce invece gli elementi più tecnici e di dettaglio. Una revisione generale della Convenzione e STCW 1978, iniziata nel gennaio 2006 e culminata nella conferenza dei Contraenti della Convenzione STCW, svoltasi a Manila, Filippine, dal 21 al 25 Giugno 2010, che ha adottato un significativo numero di emendamenti alla Convenzione STCW e al Codice STCW. Tra gli emendamenti sono previsti anche i requisiti di competenza per il personale che serve a bordo di tutti i tipi di navi cisterna, compresi i nuovi requisiti per il personale che rifornisce navi cisterna per gas liquefatto.

### ***IMO - ISPS CODE***

The International Ship and Port facility Security Code è stato emanato nel 2002 e contiene nuove disposizioni di natura obbligatoria, emanate per rafforzare la protezione del trasporto marittimo presentando un insieme di misure di sicurezza articolate su tre livelli (normale, rafforzato ed elevato)

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

la cui attuazione concreta è correlata ad un'analisi dei rischi. Il nuovo ordinamento rende obbligatoria l'individuazione di soggetti responsabili sia a bordo nave che negli impianti portuali e la definizione di un piano di Port Security che deve tenere conto di un'attenta analisi dei rischi sia della nave che dell'impianto/terminal portuale nel *receiving ship*.

### ***IMO – RESOLUTION MSC 285(86) “INTERIM GUIDELINES ON SAFETY FOR NATURAL GAS FUELLED ENGINE INSTALLATIONS IN SHIPS”***

Le linee guida provvisorie sono state sviluppate per fornire uno standard internazionale per le navi, diverse da navi soggette al Codice IGC<sup>6</sup>, munite di sistemazioni inerenti all'alimentazione dei motori con gas naturale. L'obiettivo è fornire i criteri per la sistemazione e l'installazione di macchine di propulsione o ausiliarie che utilizzano il gas naturale come combustibile al fine di ottenere un livello equivalente di integrità in termini di sicurezza e affidabilità a quello in essere per le navi che sono equipaggiate con macchine convenzionali alimentate ad olio combustibile.

### ***DIRETTIVA 2012/18/EU SEVESO III***

La Direttiva c.d. Seveso III stabilisce norme volte a prevenire gli incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose e a limitare le loro conseguenze per la salute umana e per l'ambiente, al fine di assicurare in modo coerente ed efficace un elevato livello di protezione in tutta l'Unione. La direttiva 2012/18/UE, sostituisce integralmente, a partire dal 1° giugno 2015, le direttive 96/82/CE e 2003/105/CE. Adeguamento dell'allegato I (campo di applicazione) alle modifiche del sistema comunitario di classificazione delle sostanze: introduzione di meccanismi correttivi per adeguare l'allegato I alle “future” classificazioni (sostanze che non presentano caratteristiche tali da dare

---

<sup>6</sup> L'international code for the construction and equipment of ships carrying liquefied Gases in bulk construction of LNG Carrier vessels (IGC) è il codice internazionale della costruzione e dell'attrezzatura delle navi che trasportano gas liquefatti alla rinfusa, adottato con risoluzione MSC.5, è obbligatorio ai sensi del capitolo VII della SOLAS dal 1° luglio 1986. Il codice IGC si applica alle navi indipendentemente dalle loro dimensioni, comprese quelle di stazza lorda inferiore a 500 tonnellate, impegnate nel trasporto di gas liquefatti con una pressione di vapore superiore a 2,8 bar assoluti a una temperatura di 37,8 ° C e talune altre sostanze elencate nel capitolo 19 del codice.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto



origine ad un pericolo di incidente rilevante); rafforzamento delle disposizioni relative all' accesso del pubblico alle informazioni sulla sicurezza, alla partecipazione ai processi decisionali e all'accesso alla giustizia, e miglioramento del modo in cui le informazioni vengono raccolte, gestite, rese disponibili e condivise. Introduzione di norme più rigorose per le ispezioni degli impianti per garantire l'attuazione effettiva e il rispetto delle regole di sicurezza e ulteriori modifiche tecniche per chiarire ed aggiornare talune disposizioni, tra cui alcune razionalizzazioni e le semplificazioni per ridurre gli oneri amministrativi superflui.

### ***1.3 NORME TECNICHE (ISO, CEN, UNI) E LINEE GUIDA***

Di seguito, facendo riferimento a quanto riportato dall'Ente Italiano di Normazione e dal sito ufficiale dell'International Organization for Standardization (ISO), si riportano le principali norme tecniche ISO e norme UNI/EN ISO riguardanti il Gas Naturale Liquefatto.

#### ***ISO 8943:2007 - REFRIGERATED LIGHT HYDROCARBON FLUIDS -- SAMPLING OF LIQUEFIED NATURAL GAS -- CONTINUOUS AND INTERMITTENT METHODS***

Tale norma definisce gli specifici standard internazionali metodologici per il rifornimento continuo e intermittente del GNL mentre è trasportato attraverso una linea di trasferimento. La norma inoltre definisce il sistema di campionamento, l'apparato, la procedura di campionamento e le modalità di stesura del rapporto di campionamento.

#### ***ISO 10976:2012 - REFRIGERATED LIGHT HYDROCARBON FLUIDS - MEASUREMENT OF CARGOES ON BOARD LNG CARRIERS***

La norma internazionale definisce i passaggi necessari per misurare e quantificare i carichi di gas naturale liquefatto (GNL). È inclusa, anche se non limitata solo a questo, la misura del volume di liquido, del volume di vapore, temperatura e pressione nonché la contabilizzazione della quantità totale del carico a bordo. La presente norma internazionale descrive l'uso dei sistemi di misurazione

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

comunemente utilizzati a bordo di navi metaniere; l'obiettivo è quello di migliorare le conoscenze generali e dei processi per la misurazione di GNL per tutte le parti interessate. La norma fornisce i requisiti generali per gli operatori del commercio di GNL su navi e onshore.

***ISO 12991:2016 - LIQUEFIED NATURAL GAS (LNG) -- TANKS FOR ON-BOARD STORAGE AS A FUEL FOR AUTOMOTIVE VEHICLES***

La norma specifica i requisiti di costruzione per i serbatoi ricaricabili utilizzati nei veicoli alimentati a gas naturale liquefatto (GNL), nonché le proprietà ed i metodi di prova necessari per garantire un livello ragionevole di protezione da incendi ed esplosioni. È applicabile a serbatoi destinati ad essere fissati in modo permanente ad autoveicoli, ma può essere utilizzato come una guida per altri modi di trasporto.

***ISO 18132-1:2011 - REFRIGERATED HYDROCARBON AND NON-PETROLEUM BASED LIQUEFIED GASEOUS FUELS - GENERAL REQUIREMENTS FOR AUTOMATIC TANK GAUGES - AUTOMATIC TANK GAUGES FOR LIQUEFIED NATURAL GAS ON BOARD MARINE CARRIERS AND FLOATING STORAGE***

La norma stabilisce i requisiti di precisione, installazione, calibrazione e verifica di misuratori automatici (ATGS) utilizzati per la misurazione durante il trasferimento di gas naturale liquefatto (GNL) a bordo di un vettore di GNL o di stoccaggio galleggiante. Il GNL descritto nella norma ISO 18132-1: 2011 è o completamente refrigerato (cioè la condizione criogenica), o parzialmente refrigerato, e quindi il fluido è in prossimità della pressione atmosferica. Vengono inoltre specificati anche i requisiti tecnici per la raccolta, trasmissione e ricezione dei dati.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

***UNI EN ISO 23251:2008 - INDUSTRIE DEL PETROLIO, DELLA PETROLCHIMICA E DEL GAS NATURALE - SISTEMI DI DEPRESSURIZZAZIONE E DI PROTEZIONE CONTRO LE SOVRAPPRESSIONI***

La norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN ISO 23251 (edizione luglio 2007) e dell'aggiornamento A1 (edizione maggio 2008) e tiene conto dell'errata corrige dell'aprile 2008 (AC:2008). La norma si applica ai sistemi di depressurizzazione e di protezione contro le sovrappressioni. Sebbene sia destinata principalmente all'utilizzo nelle raffinerie di petrolio, è anche applicabile agli impianti petrolchimici, agli impianti a gas, agli impianti di gas naturale liquefatto e agli impianti di produzione del petrolio e del gas naturale. Le informazioni fornite sono destinate a fornire supporto nella selezione del sistema più adatto in funzione dei rischi e delle condizioni che si possono verificare nelle varie installazioni. La norma costituisce un'integrazione alle procedure messe in evidenza nella ISO 4126 o nella API RP 520-I per stabilire una base di progettazione.

***UNI EN ISO 28460:2011 - INDUSTRIE DEL PETROLIO E DEL GAS NATURALE - INSTALLAZIONE ED EQUIPAGGIAMENTO PER IL GAS NATURALE LIQUEFATTO INTERFACCIA TERRA-NAVE E OPERAZIONI PORTUALI***

La norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN ISO 28460 (edizione dicembre 2010). La norma specifica ciò che è richiesto per la nave, il terminal e i servizi portuali per assicurare il sicuro transito della materia attraverso l'area portuale e il sicuro ed efficiente trasferimento del suo carico. Tale normativa trova applicazione in relazione al pilotaggio e ai servizi navali di traffico (VTS), all'equipaggio del rimorchiatore, al personale del terminale, all'equipaggio della nave e ai fornitori di bunker, lubrificanti e provviste o altri fornitori di servizi che operano mentre la metaniera è ormeggiata al terminale.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

***EN 1474-1: 2008 – INSTALLAZIONE E IMPIANTI PER GNL – PROGETTAZIONE E SPERIMENTAZIONE DI SISTEMI DI TRASFERIMENTO MARINI – PARTE 1: PROGETTAZIONE E COLLAUDO DI BRACCI DI TRASFERIMENTO***

La normativa in oggetto definisce il design, i criteri minimi di sicurezza richiesti, le ispezioni e i collaudi necessari per le manichette di trasferimento del GNL, destinati all’uso su terminal a terra. Tale norma tratta anche i requisiti minimi in termini di sicurezza per il trasferimento del GNL tra nave e terra. Nonostante i requisiti su un sistema a controllo remoto siano trattati, gli standard non includono però dettagli inerenti alle caratteristiche progettuali e dei materiali associati alle manichette di trasferimento.

***EN 1474-2: 2008 - INSTALLAZIONE E IMPIANTI PER GNL - PROGETTAZIONE E SPERIMENTAZIONE DI SISTEMI DI TRASFERIMENTO MARINI - PARTE 2: PROGETTAZIONE E COLLAUDO DI TUBI DI TRASFERIMENTO***

La norma fornisce le linee generali per la progettazione, la selezione dei materiali, la qualificazione, la certificazione e le prove per il GNL per le manichette di trasferimento usate “offshore” o nelle zone costali esposte a intemperie. Nonostante tale normativa sia applicabile a tutte le manichette, risulta necessario considerare ulteriori requisiti specifici in caso di manichette galleggianti o sottomarine.

***BS EN 1160 1997 – PROPRIETÀ E MATERIALI PER IL GNL (IN FASE DI REVISIONE COME ISO - CD 16903)***

La presente norma internazionale fornisce indicazioni sulle caratteristiche del gas naturale liquefatto (GNL) e i materiali criogenici utilizzati nell'industria del GNL. La norma offre anche indicazioni in materia di salute e sicurezza, con lo scopo di essere utilizzata come linea guida da coloro che costruiscono o operano con facilities di GNL. Al fine della determinazione di standard viene inoltre fornita una definizione del GNL, delle sue proprietà e della modalità di erogazione. Per quanto

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

concerne i materiali di costruzione viene fornita una lista esemplificativa dei materiali, distinguendoli in materiali a stretto contatto, non a stretto contatto durante il normale funzionamento.

### ***IEC60092-502:1999-IMPIANTIELETTRICI SULLE NAVI: TANKERS - CARATTERISTICHE SPECIALI***

Questa parte della norma IEC 60092 si occupa di impianti elettrici in petroliere che trasportano liquidi infiammabili, o intrinsecamente o grazie alla loro reazione con altre sostanze, o di gas liquefatti infiammabili.

### ***UNI EN 1160:1998 - INSTALLAZIONI ED EQUIPAGGIAMENTI PER IL GAS NATURALE LIQUEFATTO - CARATTERISTICHE GENERALI DEL GAS NATURALE LIQUEFATTO***

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 1160 (edizione giugno 1996). La norma prescrive le caratteristiche del gas naturale liquefatto (GNL) e dei materiali criogenici utilizzati nell'industria del GNL e fornisce raccomandazioni riguardanti la sicurezza e la salute delle persone coinvolte nel funzionamento degli impianti a GNL.

### ***UNI EN 1473:2007 - INSTALLAZIONI ED EQUIPAGGIAMENTI PER IL GAS NATURALE LIQUEFATTO (GNL) - PROGETTAZIONE DELLE INSTALLAZIONI DI TERRA***

La norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 1473 (edizione gennaio 2007). La norma definisce le linee guida per la progettazione, la costruzione e l'esercizio di tutte le installazioni di terra per il gas naturale liquefatto (GNL), comprese quelle per la liquefazione, lo stoccaggio, la gassificazione, il trasporto e il passaggio del GNL.

La norma è applicabile per i seguenti tipi di installazione: - terminali di esportazione tra il limite di batteria definito di entrata del gas e i bracci di carico; - terminali di ricezione tra i collettori della nave metaniera e il limite di batteria definito di uscita del gas; - impianti di livellamento dei picchi, tra i limiti di batteria definiti di entrata e di uscita del gas. Una breve descrizione di ogni installazione è riportata nell'appendice G. La norma non si applica alle stazioni satellite. Le stazioni satellite con capacità di stoccaggio minore di 200 t sono trattate nella UNI EN 13645.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

***UNI EN 1474-1:2009 - INSTALLAZIONI ED EQUIPAGGIAMENTI PER GAS NATURALE LIQUEFATTO - PROGETTAZIONE E PROVE DELLE ATTREZZATURE DI TRASFERIMENTO MARITTIME - PARTE 1: PROGETTAZIONE E PROVE DEI BRACCI DI CARICO/SCARICO***

La norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 1474-1 (edizione dicembre 2008). La norma specifica la progettazione ed i requisiti minimi per la sicurezza, l'ispezione e le procedure di prova per i bracci di carico/scarico utilizzati nei terminali di terra del gas naturale liquefatto (GNL). Essa definisce inoltre i requisiti minimi per i trasferimenti in sicurezza del GNL fra nave e terra.

***UNI EN 1474-2:2009 - INSTALLAZIONI ED EQUIPAGGIAMENTI PER GAS NATURALE LIQUEFATTO - PROGETTAZIONE E PROVE DELLE ATTREZZATURE DI TRASFERIMENTO MARITTIME - PARTE 2: PROGETTAZIONE E PROVE DELLE MANICHETTE DI TRASFERIMENTO***

La norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 1474-2 (edizione dicembre 2008). La norma fornisce le linee guida generali per la progettazione, la selezione dei materiali, la qualificazione, la certificazione e le prove per gas naturale liquefatto (GNL) per le manichette di trasferimento utilizzate "offshore" o nelle attrezzature costali esposte a intemperie, condizionate da configurazioni naturali galleggianti o sottomarine o una combinazione delle stesse. La norma si applica a tutte le manichette di GNL ma si deve tener conto che possono esserci ulteriori specifici requisiti per le manichette galleggianti e sottomarine.

***UNI EN 1474-3:2009 - INSTALLAZIONI ED EQUIPAGGIAMENTI PER GAS NATURALE LIQUEFATTO - PROGETTAZIONE E PROVE DELLE ATTREZZATURE DI TRASFERIMENTO MARITTIME - PARTE 3: SISTEMI DI TRASFERIMENTO OFFSHORE***

La norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 1474-3 (edizione dicembre 2008). La norma fornisce le linee guida generali per la progettazione di gas naturale liquefatto (GNL),

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto





di sistemi di trasferimento destinati ad essere utilizzati nelle attrezzature di trasferimento offshore o nelle attrezzature costali esposte alle intemperie. Le attrezzature di trasferimento considerate possono essere fra unità galleggianti o fra unità galleggianti e fisse. I dettagli specifici per i comandi dei sistemi di trasferimento del GNL non sono considerati nella norma.

***UNI EN 12065:1999 - INSTALLAZIONI ED EQUIPAGGIAMENTI PER IL GAS NATURALE LIQUEFATTO (GNL) - PROVE DEGLI EMULSIONANTI PER LA PRODUZIONE DI SCHIUMA A MEDIA ED ALTA ESPANSIONE E DI POLVERI PER L'ESTINZIONE DI INCENDI DI GAS NATURALE LIQUEFATTO***

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 12065 (edizione settembre 1997). La norma specifica le prove che devono essere effettuate per valutare l'attitudine all'impiego degli emulsionanti per la produzione di schiuma a media espansione o ad alta espansione e delle polveri estinguenti conformi alla UNI EN 615, utilizzati in modo singolo o combinato, su incendi di gas naturale liquefatto. La norma non riguarda le disposizioni generali relative agli emulsionanti ed alle polveri estinguenti.

***UNI EN 12066:1999 - INSTALLAZIONI ED EQUIPAGGIAMENTI PER IL GAS NATURALE LIQUEFATTO (GNL) - PROVE SUI RIVESTIMENTI ISOLANTI DEI BACINI DI CONTENIMENTO DI GAS NATURALE LIQUEFATTO***

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 12066 (edizione settembre 1997). La norma specifica le prove da effettuare per valutare l'idoneità all'impiego dei rivestimenti isolanti dei bacini di contenimento del GNL.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

***UNI EN 12308:2001 - INSTALLAZIONI ED EQUIPAGGIAMENTI PER IL GNL - PROVE DI  
ATTITUDINE ALL'IMPIEGO DELLE GUARNIZIONI PER RACCORDI FLANGIATI NELLE  
TUBAZIONI DI GNL***

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 12308 (edizione giugno 1998). La norma specifica le prove per valutare l'attitudine all'impiego delle guarnizioni per raccordi flangiati utilizzate nelle tubazioni di gas naturale liquefatto (GNL). Essa si applica alle guarnizioni caratterizzate da: -intervallo di pressione nominale, compreso tra PN 16 e PN 100; - intervallo di diametro nominale compreso tra DN 10 e DN 1 000; - intervallo di Classe, compreso tra Classe 150 e Classe 900; - intervallo di diametro nominale, per le flange definite da un numero di Classe, compreso tra NPS 1/4 e NPS 42.

***UNI EN 12567:2002 - VALVOLE INDUSTRIALI - VALVOLE DI ISOLAMENTO PER GNL -  
PRESCRIZIONI PER LE POSSIBILITÀ DI IMPIEGO E METODI DI PROVA APPROPRIATI***

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 12567 (edizione luglio 2000). La norma definisce i requisiti prestazionali generici delle valvole di intercettazione (valvole a saracinesca, valvole a globo, valvole a maschio, valvole a sfera e valvole a farfalla) utilizzate per la produzione, l'immagazzinamento e il trasporto (mediante gasdotto, ferrovia, trasporto su strada o trasporto marittimo) di gas naturale liquefatto (GNL). Non rientrano nello scopo e campo di applicazione della norma, le valvole di riempimento per GNL destinate ai sistemi di rifornimento per autoveicoli.

***UNI EN 12838:2003 - INSTALLAZIONI ED EQUIPAGGIAMENTI PER GAS NATURALE  
LIQUEFATTO - PROVE DI ATTITUDINE ALL'IMPIEGO DI SISTEMI DI  
CAMPIONAMENTO DI GAS NATURALE LIQUEFATTO***

La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 12838 (edizione gennaio 2000). La norma specifica le prove che devono essere effettuate per valutare l'attitudine all'impiego dei sistemi di campionamento di gas naturale liquefatto progettati per determinare la composizione

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

del gas naturale liquefatto, insieme all'utilizzo di dispositivi di analisi, quali ad esempio un cromatografo.

***UNI EN 13645:2006 - INSTALLAZIONI ED EQUIPAGGIAMENTI PER IL GAS NATURALE LIQUEFATTO (GNL) - PROGETTO DI INSTALLAZIONI DI TERRA A CAPACITÀ DI STOCCAGGIO FRA 5 T E 200 T***

La norma è la versione ufficiale in lingua inglese e italiana della norma europea EN 13645 (edizione dicembre 2001). La norma definisce i requisiti per la progettazione e la costruzione delle installazioni di terra, fisse, per il gas naturale liquefatto (GNL) con capacità di stoccaggio totale compresa tra 5 t e 200 t.

***UNI EN 13766:2010 - TUBI E TUBI RACCORDATI MULTISTRATO DI MATERIALE TERMOPLASTICO (NON VULCANIZZATO) PER IL TRASFERIMENTO DI GAS DI PETROLIO LIQUEFATTO E DI GAS NATURALE LIQUEFATTO - SPECIFICHE***

La norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 13766 (edizione giugno 2010). La norma specifica i requisiti per due tipi di tubi e tubi raccordati multistrato di materiale termoplastico (non vulcanizzato) per il trasferimento di gas di petrolio liquefatto e di gas naturale liquefatto.

***UNI EN 14620-1:2006 - PROGETTAZIONE E FABBRICAZIONE DI SERBATOI DI ACCIAIO VERTICALI, CILINDRICI, A FONDO PIATTO, COSTRUITI IN SITO, PER LO STOCCAGGIO DI GAS LIQUEFATTI REFRIGERATI OPERANTI A TEMPERATURE TRA 0 °C E -165 °C - PARTE 1: GENERALITÀ***

La norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 14620-1 (edizione settembre 2006). La norma definisce i requisiti generali dei serbatoi di acciaio verticali, cilindrici, a fondo piatto costruiti in sito, fuori terra per lo stoccaggio di gas liquefatti refrigerati operanti a temperature comprese tra 0 °C e -165 °C. Un eventuale serbatoio esterno può essere costruito in

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

acciaio, in calcestruzzo o essere una combinazione dei due. La norma non tratta i serbatoi interni realizzati esclusivamente in calcestruzzo precompresso.

Oltre alle norme tecniche e agli standard sopra menzionati ci sono ulteriori documenti molto importanti nel settore quali le linee guida. Vista la molteplicità delle linee guida (NFPA 59A Standard for the production, storage, and handling of liquefied natural gas (LNG); IACS REC 142 LNG bunkering guidelines; IACS REC 146 Risk assessment as required by the IGF Code; BV NI 618 DT R00 E Guidelines on LNG bunkering (guidance note); ABS (2014) Guide for propulsion and auxiliary systems for gas-fuelled ships (guide); PRS rules No. 116/P Bunkering guidelines for LNG as marine fuel) si riporta di seguito un elenco, non esaustivo, di alcune linee guida ritenute di particolare interesse.

### **SIGTTO - ESD ARRANGEMENTS AND LINKED SHIP/SHORE SYSTEMS FOR LIQUEFIED GAS CARRIERS**

Questa procedura di SIGTTO (Society of International Gas Tanker & Terminal Operators) è stata predisposta come riferimento per l'industria in relazione alle diverse interpretazioni dei requisiti funzionali per i sistemi di ESD (Emergency Shut Down), in particolare del settore GNL e del settore GPL e su come queste possano interagire con i sistemi di arresto collegati nave/terra. Il documento intende anche promuovere e incoraggiare un uso più diffuso dei sistemi ESD collegati sia nei terminali GNL che in quelli a GPL, in particolare quando le velocità di trasferimento del carico sono elevate o quando il carico movimentato è uno dei prodotti di cui al capitolo 17 dell'edizione 1993 del Codice IGC.

### **SGMF - GUIDELINES FOR LNG BUNKERING SAFETY, SIMULTANEOUS OPERATIONS, AND PERSONNEL TRAINING.**

Questo documento realizzato dalla Society for Gas as a Marine Fuel (SGMF) organizzazione quadro che copre il settore emergente del gas come combustibile marino, lavorando con altri enti industriali,

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

agenzie governative e intergovernative, tra cui l'IMO,) fornisce una sintesi delle linee guida per l'approvvigionamento e il bunkeraggio di GNL per le navi marittime e per l'ambiente (ad esempio il porto), in cui avvengono questi trasferimenti di GNL, insieme alle conoscenze che ne sono alla base, tenendo debitamente conto delle migliori pratiche e delle competenze esistenti nel settore. Il documento è concepito in modo da essere applicabile a tutto il personale che può essere coinvolto nello svolgimento dei compiti richiesti, indipendentemente dal suo background o dalla sua ubicazione. Queste linee guida riguardano solo l'operazione di bunkeraggio/trasferimento e mirano ad integrare e ad aumentare, piuttosto che sostituire, altri programmi di formazione del settore (come, ad esempio, formazione STCW per i marittimi su navi alimentate a GNL, norme IGC, programmi di formazione locali o nazionali per i conducenti di autocisterne di GNL, ecc.).

#### **API - PROTECTION AGAINST IGNITIONS ARISING OUT OF STATIC, LIGHTNING, AND STRAY CURRENTS – API RECOMMENDED PRACTICE 2015, 8TH EDITION**

Il documento dell'American Petroleum Institute presenta lo stato attuale delle conoscenze e delle tecnologie nel campo dell'elettricità statica, fulmini e correnti vaganti, applicabili alla prevenzione di accensione di idrocarburi nel settore del petrolio e si basa su ricerche scientifiche ed esperienze pratiche. I principi discussi sono applicabili ad altre operazioni in cui vengono manipolati i liquidi infiammabili e gas. Il loro utilizzo dovrebbe portare a migliorare le pratiche di sicurezza e le valutazioni degli impianti e delle procedure esistenti.

#### **OCIMF (OIL COMPANIES INTERNATIONAL MARINE FORUM) - LINEE GUIDA PER I SISTEMI DI ORMEGGIO**

Queste linee guida forniscono un'ampia panoramica dei requisiti per l'ormeggio sicuro, compreso il calcolo dei requisiti di ormeggio di una nave, la selezione dei tipi di cavo, dei tipi di sistemazioni, montaggio e dei criteri di messa in tensione per i cavi di ormeggio.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

A livello nazionale, in Italia non si ha un corpus di norme esplicitamente dedicato al GNL, ma il Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile ha emesso due documenti di linee guida molto importanti relative rispettivamente alle installazioni di stoccaggio al di sotto<sup>7</sup> e al di sopra<sup>8</sup> delle 50 tonnellate. Tali linee guida sono incentrate sull'analisi di rischio e sul layout dell'impianto e dei suoi elementi potenzialmente pericolosi. Documenti utili come riferimento aggiornato sono anche le linee guida di sicurezza e gestione emesse rispettivamente dai porti di Helsinki (Port of Helsinki Safety manual on LNG bunkering procedures, 2017) e Göteborg (Göteborg Energy Port Regulations regarding LNG cargo handling and LNG bunkering, 2017).

---

<sup>7</sup> Lettera Circolare Prot. n. 5870 del 18.05.15 con la quale vengono emanate delle linee guida per redazione dei progetti di prevenzioni incendi diverse fattispecie impiantistiche, e nello specifico: • impianti di distribuzione per autotrazione di tipo L-GNL, L-GNC E L-GNC/GNL • impianti di alimentazione GNL con serbatoio criogenico fisso a servizio di impianti di utilizzazione diversi dall'autotrazione (impianti off-grid). La Regola Tecnica di Prevenzione incendi Dicembre 2019, approvata al CCTS la regola tecnica di prevenzione incendi per la realizzazione delle stazioni di servizio per GNL che sostituirà le guide tecniche del 2015 fornendo uno strumento normativo aggiornato.

<sup>8</sup> Guida tecnica prevenzione incendi per l'analisi dei progetti di impianti di stoccaggio di GNL di capacità superiore a 50 tonnellate emanato nel settembre 2018 a cura della Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica, il Corpo Nazionale dei VVF. La guida tecnica, ideata con lo scopo di supportare il personale del CNVVF impegnato nella valutazione dei progetti ai fini di prevenzione incendi, risulta di fondamentale importanza per uno sviluppo armonico e coerente degli impianti small scale su tutto il territorio nazionale

**TDI RETE-GNL**

**Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"**  
**Contributo partner di progetto**



**Figura 1. Normativa di riferimento per il GNL**

	<i>Denominazione</i>	<i>Ente di normazione</i>	<i>Anno</i>
<b>Livello internazionale</b>	<i>Marpol 73/78</i>	IMO	1973
	<i>Solas</i>	IMO	1974
	<i>International code of safety for ships using Gases or other low-flashpoint fuels constructions &amp; bunkering of LNG Fueled vessels</i>	IMO	2017
	<i>International code for the construction and equipment of ships carrying liquefied Gases in bulk construction of LNG Carrier vessels code</i>	IMO	1986
	<i>International Maritime Dangerous Goods code</i>	IMO	2018
	<i>Convenzione Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers</i>	IMO	1978
	<i>International Ship and Port facility Security Code</i>	IMO	2002
<b>Livello europeo</b>	<i>Direttiva 2016/802/UE (Sulphur Directive)</i>	UE	2016
	<i>Direttiva 2014/94/UE (DAFI)</i>	UE	2014
	<i>Direttiva 2012/18/UE (Seveso III)</i>	UE	2018
<b>Livello nazionale</b>	<i>Dlgs 257/2016</i>	PdR	2016
<b>Norme tecniche</b>	<i>ISO 8943:2007</i>	ISO	2007
	<i>ISO 10976:2012</i>	ISO	2012
	<i>ISO 12991:2016</i>	ISO	2016
	<i>ISO 18132-1:2011</i>	ISO	2011
	<i>EN 1474-1: 2008</i>	EN	2008
	<i>EN 1474-2: 2008</i>	EN	2008
	<i>BS EN 1160 1997</i>	BS EN	1997
	<i>UNI EN ISO 23251:2008</i>	UNI EN ISO	2008
	<i>UNI EN ISO 28460:2011</i>	UNI EN ISO	2011
	<i>UNI EN 1160:1998</i>	UNI EN	1998
	<i>UNI EN 1473:2007</i>	UNI EN	2007
	<i>UNI EN 1474-1:2009</i>	UNI EN	2009
	<i>UNI EN 1474-2:2009</i>	UNI EN	2009
	<i>UNI EN 1474-3:2009</i>	UNI EN	2009
	<i>UNI EN 12065:1999</i>	UNI EN	1999
	<i>UNI EN 12066:1999</i>	UNI EN	1999
	<i>UNI EN 12308:2001</i>	UNI EN	2001
	<i>UNI EN 12567:2002</i>	UNI EN	2002
	<i>UNI EN 12838:2003</i>	UNI EN	2003
	<i>UNI EN 13645:2006</i>	UNI EN	2006
<i>UNI EN 13766:2010</i>	UNI EN	2010	
<i>UNI EN 14620-1:2006</i>	UNI EN	2006	
<i>IEC60092-502:1999</i>	IEC	1999	
<b>Linee guida</b>	<i>Interim guidelines on safety for natural gas fuelled engine installations in ships</i>	IMO	1986
	<i>Esd arrangements and linked ship/shore systems for liquefied gas carriers</i>	SIGTTO	2009
	<i>Guidelines for LNG bunkering safety, simultaneous operations, and personnel training</i>	SGMF	2017
	<i>Protection against ignitions arising out of static, lightning, and stray currents</i>	API	2015
	<i>Linee guida per i sistemi di ormeggio</i>	OCIMF	2008

Fonte: N.s. elaborazione

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto



## 2 METODOLOGIA DI ANALISI DEL RISCHIO

### 2.1 *PREMESSA*

L'impiego del Gas Naturale Liquefatto (GNL) nella storia industriale è oramai consolidato, tanto che gli aspetti costruttivi, gestionali e di sicurezza associati al suo impiego sono trattati in numerose norme tecniche e di sicurezza europee e internazionali.

La normativa tecnica nazionale e internazionale svolge un ruolo fondamentale nell'assicurare la sicurezza dei prodotti e degli impianti sia in sede di progettazione e valutazione che in fase di scelta dei materiali e di realizzazione degli stoccaggi.

La progettazione di sistemi e operazioni GNL sicuri richiede infatti non solo una profonda comprensione degli aspetti di sicurezza del GNL, una modellizzazione adeguata degli scenari di incidente, ma soprattutto un solido sistema di valutazione del livello di rischio basato su metodi e valori soglia omogenei ed armonizzati.

È infatti questo l'elemento che può permettere l'individuazione e lo sviluppo di misure di protezione e mitigazione in grado di prevenire il rilascio di GNL, la presenza di fonti di innesco ed il verificarsi di gravi e significativi danni.

Se da un lato, da un punto di vista tecnologico, i sistemi di sicurezza legati direttamente all'impiego del GNL hanno raggiunto livelli elevatissimi<sup>9</sup>, dall'altro occorre sottolineare come le analisi del rischio delle attività legate allo stoccaggio e al rilascio del GNL, pur tenendo in considerazione tutti gli specifici dispositivi impiegati, dei sistemi di shut-down e controllo degli impianti, devono limitarsi ad una valutazione a favore di sicurezza di alcuni degli scenari più conservativi (con importanti assunzioni e ipotesi sui rilasci e sulle perdite durante le fasi di travaso) così da consentire la

---

<sup>9</sup> Ad esempio, nel rifornimento di veicoli commerciali pesanti, i sistemi di erogazione sono dotati di attacchi rapidi basati su tecnologie avanzate, mentre gli impianti sono dotati di sistemi di sicurezza in grado di sezionare rapidamente tutte le loro componenti limitando al minimo l'entità di dispersioni.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



minimizzazione della probabilità di accadimento di eventi incidentali più importanti indipendentemente dall'aderenza alle condizioni reali del sito del bunkeraggio.

Nelle sezioni successive si procederà, partendo dal concetto di rischio, ad illustrare i diversi metodi impiegati nell'individuazione e quantificazione dei rischi, mettendone in evidenza il campo di applicazione, le peculiarità, i punti di forza e di debolezza, arrivando infine ad introdurre i criteri ed i valori soglia impiegati per la valutazione dei rischi e la definizione della loro tollerabilità o meno. La parte conclusiva si dedicherà infine ad un breve sintesi delle misure di mitigazione e di riduzione del rischio attuabili.

## ***2.2 IL CONCETTO DI RISCHIO***

Il presente report si occuperà principalmente della definizione di linee guida per la valutazione delle esternalità e dell'impatto ambientale causati da possibili incidenti e malfunzionamenti, legandosi in modo più stretto all'ultimo concetto di rischio citato.

In senso assoluto è possibile comunque esprimere il concetto di rischio come la probabilità che accada un certo evento capace di causare un danno a cose e persone.

La nozione di rischio implica pertanto l'esistenza di una sorgente di pericolo e di un insieme probabilistico, ovvero un numero più o meno significativo di possibilità, che essa si trasformi in un danno.

In ciascun contesto citato, indipendentemente dal tipo di minaccia, è divenuto nel corso degli anni sempre più necessario e cogente utilizzare un approccio preventivo, di gestione del rischio stesso a tutti i livelli, affinché tutti gli eventi negativi possano essere limitati o mitigati sin dalle fasi iniziali di un progetto, ed al loro manifestarsi non trovino impreparati tutti gli stakeholders coinvolti.

La Gestione dei Rischi – o Risk Management – richiede inevitabilmente una quantificazione, o per meglio dire, una valutazione dei singoli rischi presenti in un determinato scenario e per consentire tale valutazione nella molteplicità di situazioni, la stima del Livello del **Rischio** [R] viene ottenuta

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

dal prodotto tra la **Frequenza** [F] che l'evento accada e la **Magnitudo** [M] o intensità del danno conseguente, secondo la nota formulazione:

$$R = F \times M.$$

### 2.3 I METODI DI VALUTAZIONE

Le attività di valutazione del rischio possono essere condotte con gradi di approfondimento diversi, partendo da metodi di più alto livello e qualitativi, fino a metodi capaci di fornire output utili alle fasi di progettazione esecutiva degli impianti e dei siti.

Il livello di dettaglio da raggiungere è sicuramente un requisito della valutazione, e quindi orienta nella scelta del metodo da impiegarsi, ma spesso è la qualità e la tipologia delle informazioni disponibili, ovvero il grado di conoscenza del dominio, che determina la scelta del metodo adatto.

Compreso questo, non dobbiamo tuttavia dimenticare che il contesto normativo impone specifici sistemi o algoritmi di riferimento, funzionali al tipo di output che la valutazione deve fornire e che posso riguardare sia le fasi autorizzative di un impianto\sito che le ottemperanze periodiche, sia le certificazioni dei materiali che le procedure di conduzione operativa del sistema.

Nonostante ciò, in via generale è possibile considerare due insiemi metodologici:

- metodi di livello più elevato – di tipo deterministico – finalizzati a valutare la fattibilità e a procedere nel percorso autorizzativo. Comprende sia valutazioni a carattere preliminare di tipo qualitativo, che valutazioni quantitative per il dimensionamento di massima. Sono tipicamente identificati come **Consequence-Based**.
- metodi di livello progettuale – di tipo probabilistico – che comprendono tutte quelle analisi puntuali sul sistema\impianto\sito, prendendo in considerazione ogni elemento e le sue probabilità di guasto\rottura\perdita. Sono tipicamente identificati come **Risk-Based**,

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

Ciò premesso, prendendo in esame la prassi consolidata nell'utilizzo dei metodi impiegati in ambito europeo sui diversi progetti, è opportuno considerare:

### **Metodi qualitativi di “Valutazione delle conseguenze” – Consequence-Based - QualRA**

L'approccio si basa sulla valutazione delle conseguenze di incidenti ipotizzabili (o credibili sulla base casistica storica), senza tuttavia quantificare esplicitamente la probabilità accadimento di tali incidenti.

Le conseguenze degli incidenti vengono in gran parte prese in considerazione e quindi valutate, calcolando la distanza raggiunta da determinati impatti, sulla base degli effetti degli impatti stessi (ad esempio effetto sulla salute umana della radiazione di calore), fissando un determinato periodo di esposizione e riferendosi alla comparsa/verificarsi di determinati valori di soglia (ad es. effetti sulla salute reversibili/irreversibili/mortalità, etc.).

Alla luce di queste distanze si ottengono delle aree o delle zone di sicurezza, che permettono l'implementazione di specifiche azioni di mitigazione, gestione delle emergenze o di conduzione operativa degli impianti.

### **Metodi qualitativi di “Valutazione delle conseguenze semplificati” – Consequence-Based - SQualRA**

È una valutazione delle conseguenze condotta secondo scenari codificati e semplificati, definiti prendendo in esame e utilizzando successivamente distanze di separazione "generiche".

Si tratta di scenari selezionati e sviluppati su base conservativa, che sebbene nella loro forma più semplice, possono essere definiti da commissioni di esperti, sono tipicamente inserite nella normativa tecnica di riferimento ed ottenuti dall'analisi dei dati storici e dall'esperienza diretta e derivante dal funzionamento di impianti simili.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

## Metodi quantitativi di “Valutazione di tipo probabilistico” – Risk Based - QRA

Gli approcci basati sul rischio definiscono il rischio stesso come il risultato delle conseguenze prodotte da una serie di possibili incidenti e della probabilità che gli incidenti accadano.

Tipicamente i dati ottenuti vengono rappresentati nella duplice forma di rischio individuale<sup>10</sup> e di rischio sociale<sup>11</sup>, ed i criteri di confronto si basano su valori di accettabilità specifici rispetto al rischio calcolato.

## Metodi quantitativi di “Valutazione di tipo semiquantitativo o ibrida” - Risk Based - HQRA

L’impiego di metodi semiquantitativi, che combinano quindi la valutazione probabilistica, basata sul concetto di rischio, e l’approccio deterministico, basato sulle conseguenze o effetti, sono stati sviluppati e ampiamente utilizzati nel tempo per dare una risposta più flessibile e adattabile alle numerose situazioni in cui si deve procedere allo studio dei possibili eventi negativi.

Con questi metodi è solitamente la probabilità di accadimento che viene, per evidenti ragioni, valutata in modo più qualitativo, ovvero utilizzando classi o categorie, piuttosto che numeri o quantificazioni puntuali, ma esistono metodi di valutazione semi-quantitativi o ibridi che impiegano un approccio basato sulle conseguenze per la determinazione delle zone attraverso soglie di danno, ed approcci basati sul rischio per la determinazione degli scenari di incidenti considerati.

Esistono infine metodi, impiegati anche in Italia, che utilizzano un approccio basato sul rischio per tener conto delle probabilità, che tuttavia vengono viste più nell’ottica di fattore su cui intervenire con le azioni di mitigazione (garantendo scarsi accadimenti in luogo di accadimento più o meno certi)

---

<sup>10</sup>È espresso dal valore di frequenza (annua) con cui, in un certo punto di un’area geografica, si può verificare il danno di riferimento, cioè il decesso di un individuo. La rappresentazione del rischio individuale può essere fatta lungo prefissate direzioni diramanti dalla sorgente di rischio, tramite tabelle o grafici che mostrino come varia il rischio al variare della distanza; oppure può essere fornita la distribuzione del rischio su tutta l’area mediante curve di livello che congiungono punti a ugual rischio, o mappe in cui le zone comprese in prefissate fasce di valori di rischio sono indicate con colori diversi.

<sup>11</sup>Il rischio sociale non riguarda singoli punti di un’area, bensì l’area nel suo complesso. I più noti sistemi di rappresentazione sono le tabelle F-N e I-N, dove il rischio sociale viene graficato rispettivamente in curve e in istogrammi. Nelle curve F-N sono riportati i valori F di frequenza (annua) cumulata con la quale, a seguito di tutti gli incidenti ipotizzabili, si ha nell’area considerata un danno di riferimento non inferiore a N (e quindi, per come è stato definito il danno di riferimento, un numero di decessi maggiore o uguale a N unità). Gli istogrammi I-N mostrano invece la ripartizione della popolazione dell’area in diverse classi di rischio individuale (N persone appartenenti alla classe di rischio I)

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto



per limitare o ridurre le estensioni delle aree di danno, che al contrario vengono identificate usando un approccio tipo conservativo e deterministico.

I metodi presentati costituiscono tutti alternative valide e la scelta è strettamente collegata alla tipologia di informazioni disponibili, alla finalità della valutazione in corso e –più di ogni altra cosa – alle disposizioni normative che regolano il percorso autorizzativo di un progetto e di una realizzazione impiantistica.

Stante il focus geografico del presente progetto di ricerca, è opportuno evidenziare come in Italia (e per certi versi in Francia)<sup>12</sup>, i metodi di valutazione richiesti ed impiegati siano di tipo ibrido, con un approccio significativamente Risk-Based, ovvero molto legato al concetto di rischio, frequenza x magnitudo, inizialmente espresso.

È quindi evidente che sia doveroso affrontare con maggiore specificità gli elementi del metodo probabilistico e del metodo deterministico impiegati nelle nazioni coinvolte in questo progetto.

### 2.3.1 Metodo qualitativo

La norma ISO/TS18683 indica il campo di applicabilità del metodo di valutazione qualitativa del rischio, limitando agli impianti di bunkeraggio corrispondenti agli scenari standard, ovvero a quelle tipologie indicate dalla norma ISO/TS 18683 e precisamente le installazioni TTS, PTS o STS che rispettano determinate condizioni di impiego, realizzazione ed ubicazione.

**Per gli impianti di bunkeraggio che si discostino da tali scenari “standard” o che, per meglio dire, non soddisfino tutti i requisiti previsti**, la valutazione qualitativa del rischio per quanto attendibile deve essere completata da una valutazione di dettaglio delle differenze rispetto allo standard, valutazione che potrà essere anche di tipo quantitativo e limitarsi appunto ai soli elementi di difformità.

---

<sup>12</sup>Study on the completion of an eu framework on lngfuelled ships and its relevant fuel provision Infrastructure - Lot 1- Report IHJCT2Q-4 - 2015

Muovendo dai dettami contenuti nelle norme tecniche di riferimento<sup>13</sup>, è divenuta prassi consolidata assumere come obiettivi della valutazione del rischio da applicare anche nel caso di bunkeraggio i seguenti profili:

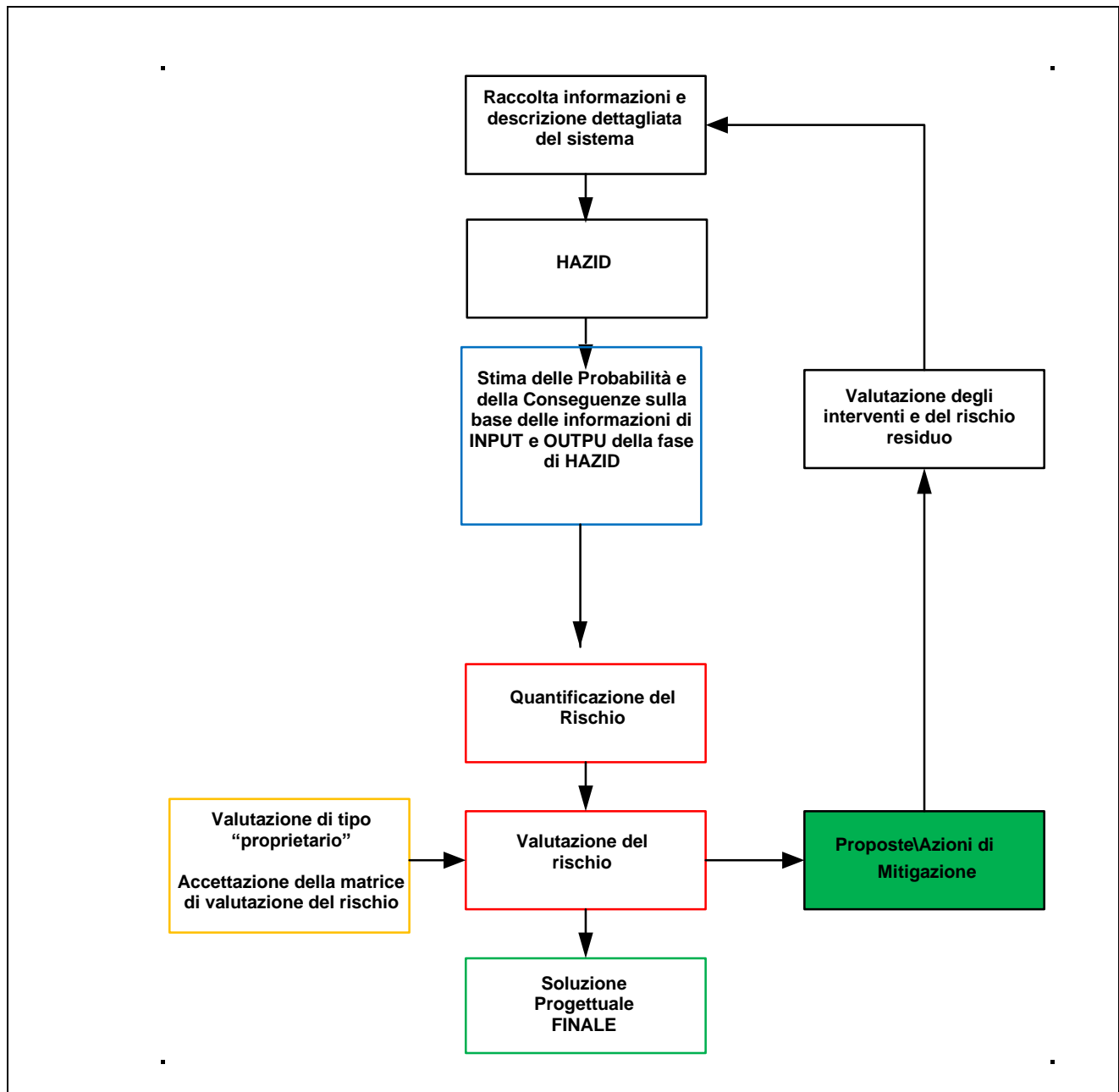
- Ottenimento di un livello di rischio conforme ai livelli soglia\limite fissati e comunque il più basso ragionevolmente ottenibile, dimostrando che tutte le minacce per le persone e per l'ambiente siano state analizzate, valutate, eliminate ove possibile o mitigate se necessario;
- Definizione di misure, indicazioni ed informazioni per classificare le aree attorno alle infrastrutture e sovrastrutture per il bunkeraggio e le relative “operations”.

Infine, come richiamato dalla norma ISO / TS 18683, la valutazione del rischio deve essere effettuata in accordo agli standard riconosciuti, quali ISO 31010, ISO 17776 e ISO 16901 ed utilizzando una delle più note pratiche in termini di valutazione, vale la maggiore indipendenza possibile del gruppo tecnico di valutazione rispetto ai progettisti, alla proprietà e in generale agli stakeholder coinvolti.

---

<sup>13</sup> ISO/TS 18683 e ISO 20519

Figura 2. Flow Chart Metodo Qualitativo –

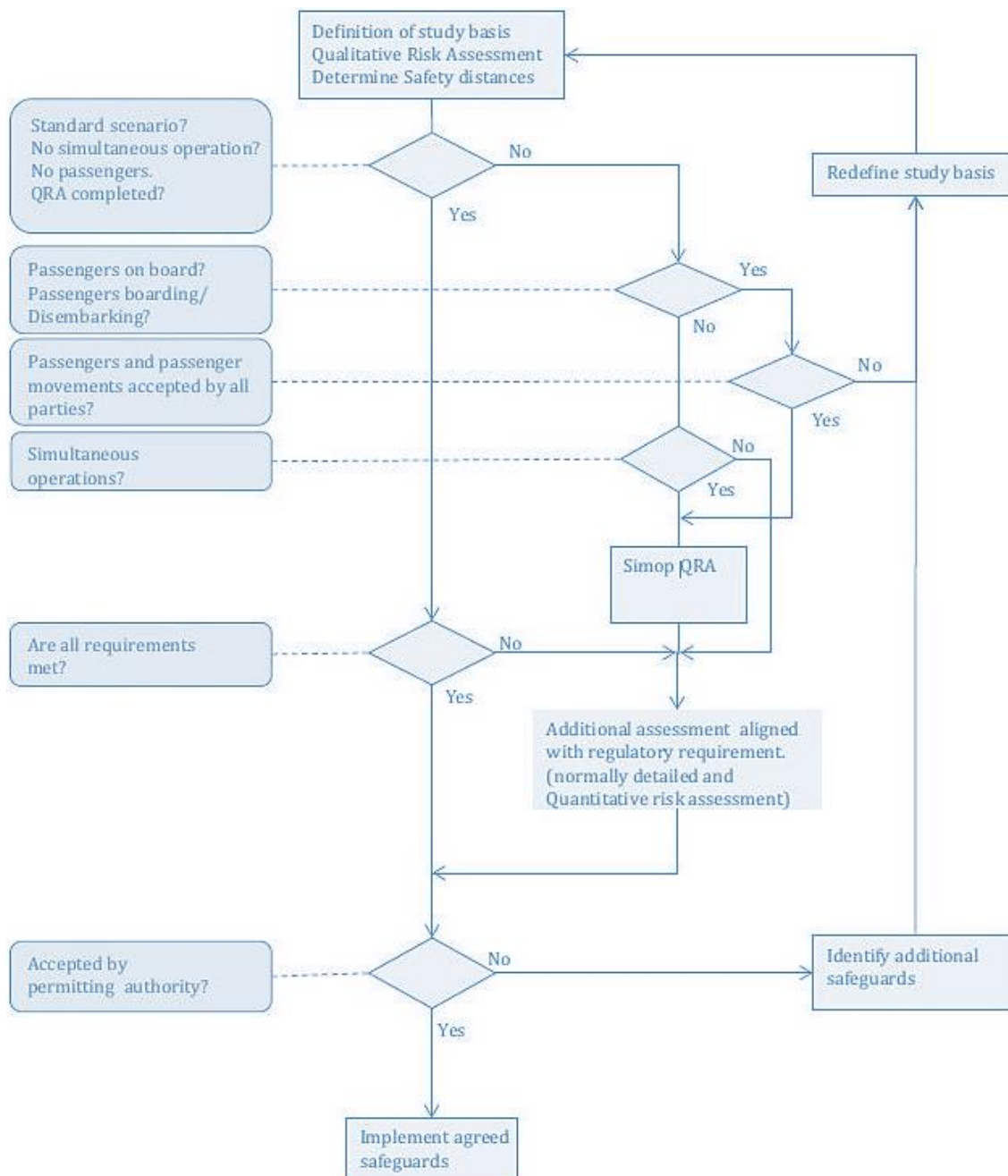


Fonte: ns elaborazione da norma ISO / TS 18683

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

Figura 3. Schema estratto dalla norma ISO / TS 18683



Fonte: ISO TS 18683:2013

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



### 2.3.2 Applicazione del metodo qualitativo di valutazione (QualRA)

Il riferimento tecnico per l'elaborazione di una valutazione di tipo deterministico o qualitativo è rappresentato dalla norma ISO/TS 18683, che indica quali elementi minimi della valutazione la definizione dei seguenti aspetti:

- A. CAMPO DI APPLICAZIONE:** definizione dei limiti di batteria della valutazione, la familiarizzazione – intesa come presa di conoscenza e padronanza - con la progettazione e il funzionamento della struttura di bunkeraggio.
- B. HAZID:** analisi approfondita volta a identificare i pericoli e valutare i rischi utilizzando una matrice di rischio. È in questa, inoltre, che conseguentemente si identificano anche le misure di mitigazione dei rischi con livello medio o alto e si procede con l'individuazione dello scenario di “perdita\rilascio massimo credibile” da utilizzare come input per la determinazione delle zone di sicurezza;
- C. ZONA DI SICUREZZA:** Determinazione delle zone di controllo e delle zone di sicurezza,
- D. MATERIALE TECNICO:** elaborazione secondo standard internazionali di report, planimetrie etc.

Al fine di raggiungere tali obiettivi minimi, la valutazione del rischio viene condotta secondo questo metodo prendendo in considerazione le cinque attività/operazioni più critiche, ovvero:

- L'allestimento preventivo all'arrivo della nave e durante l'ormeggio;
- Preparazione, controllo ed il collegamento delle apparecchiature (lato porto e lato nave);
- Il trasferimento vero e proprio di GNL con la conseguente Gestione del boil-off gas (BOG);
- La fase di completamento e termine del trasferimento (disconnessione delle apparecchiature)
- La possibilità di operazioni contemporanee durante il trasferimento (SIMOPS).

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

### 2.3.3 Metodo quantitativo

Un metodo quantitativo (QRA) può fornire informazioni sui rischi, per la vita umana o per gli oggetti in senso lato, di una determinata attività, calcolando i potenziali effetti pericolosi di una varietà di scenari e considerando la probabilità che essi si verifichino<sup>14</sup>.

Gli obiettivi tipici di uno studio QRA sono comunemente identificati con:

- Quantificare il livello dei rischi per la sicurezza (per persone o cose) associati al funzionamento di un impianto o alle attività che implicino l’handling di materiali pericolosi.
- Verificare che i livelli di rischio siano conformi ai criteri di accettazione del rischio concordati con le autorità.
- Definire misure di riduzione e gestione del rischio, valutandone l’efficacia.

Il metodo si articola per fasi, che si prefiggono di rispondere in modo sequenziale a cinque domande, elaborando per ciascuna risposta una specifica analisi. Nella tabella<sup>15</sup> seguente si riportano le 5 fasi tecniche con la relativa domanda.

<sup>14</sup> “Qualitative Risk Assessment for an LNG Refueling Station and Review of Relevant Safety Issues.” Siu, N, Herring, J S, Cadwallader, L, Reece, W, and Byers, J. - United States: N. p., 1998. “Model-based qualitative risk assessment for availability of IT infrastructures” Emmanuele Zambon, Sandro Etalle, Roel J. Wieringa & Pieter Hartel. “The application of qualitative risk assessment methodology to prioritize issues for fisheries management “ W.J. Fletcher ICES Journal of Marine Science, Volume 62, Issue 8, 2005. “Qualitative risk assessment fulfils a need “- Paul Krause, John Fox, Philip Judson and Mukesh Patel -School of Chemistry, University of Leeds, LS2 9JT.

<sup>15</sup> Elaborazione su dati e tabelle “Hazop and Hazan: Identifying and Assessing Process Industry Hazards Di Trevor A. Kletz” e European Maritime Safety Agency - Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities/Administrations

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto

**Tabella 2. Fasi tecniche dello sviluppo del metodo quantitativo**

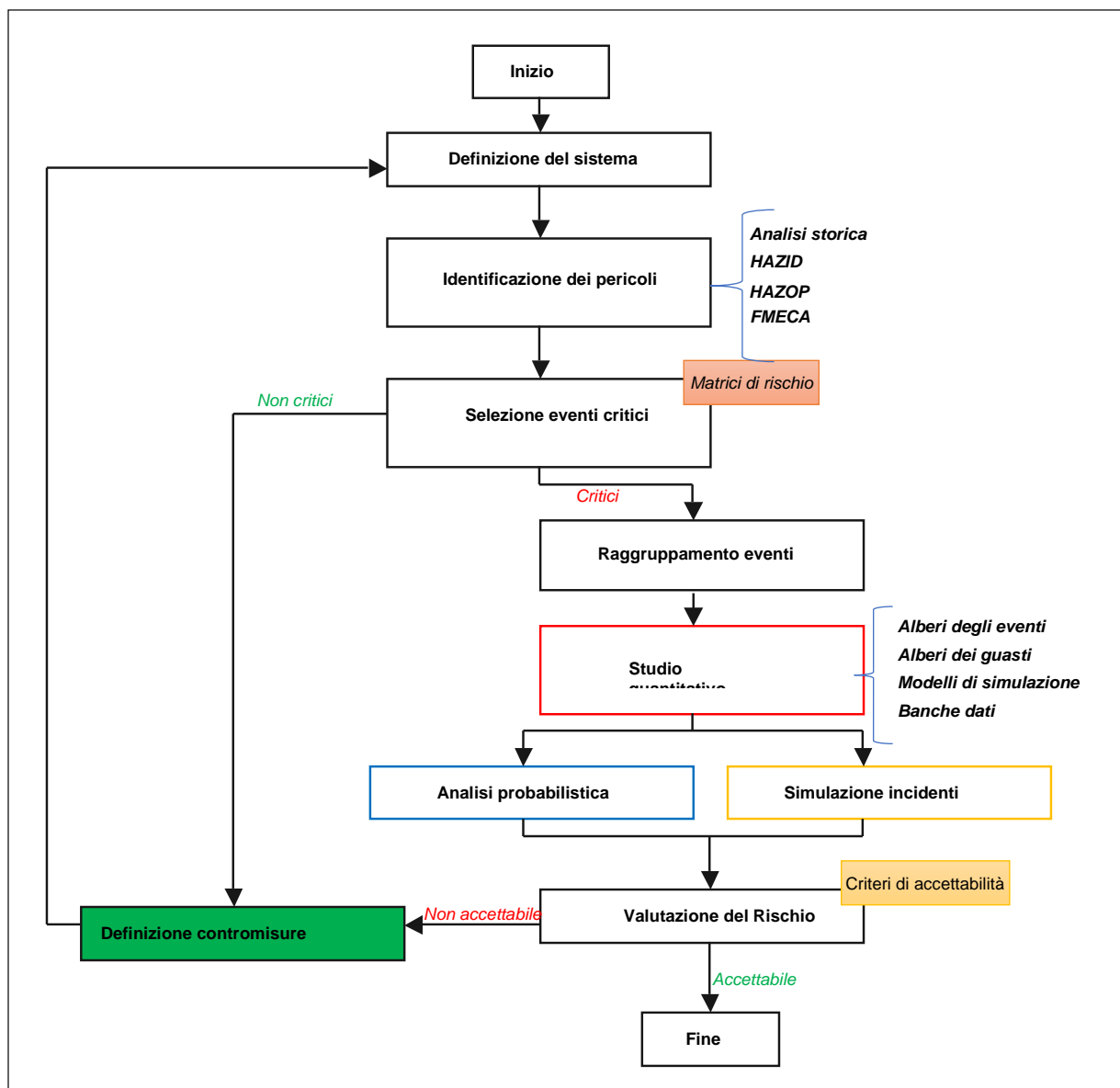
ATTIVITÀ	DOMANDA	TERMINOLOGIA	NOTE
Identificazione dei rischi	Che cosa può accadere?	<b>HazId (Hazard Identification)</b>	Identificazione dei pericoli (HAZID) per identificare e sottoporre a screening potenziali situazioni. Gli scenari tipici di anomalia sono basati su dati storici relativi agli incidenti e possono essere valutati in base alla pertinenza con il sito specifico.
Simulazione numerica degli eventi	Quale sarà il danno?	<b>Modelling</b>	La valutazione delle conseguenze deve essere effettuata utilizzando strumenti di modellazione riconosciuti dagli enti di controllo e dalla comunità scientifica. Sono in grado di determinare gli effetti risultanti e il loro impatto sulla popolazione, sugli operatori, sulle attrezzature e sulle strutture. Questi strumenti sono normalmente validati da dati sperimentali, riferiti alla specifica dimensioni ed alle precise del sito da valutare.
Calcolo probabilistico degli eventi	Con che probabilità avverrà?	<b>Frequency Estimation</b>	La stima della frequenza con cui gli eventi possono verificarsi è svolta con tecniche e strumenti quali: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisi dei dati storici relativi agli incidenti;</li> <li>• Analisi dell'albero dei guasti;</li> <li>• Analisi dell'albero degli eventi;</li> <li>• Simulazioni.</li> </ul> La tecnica selezionata dipende dalla disponibilità di dati storici e statistiche
Valutazione del livello di rischio	Qual è il livello di rischio	<b>Risk Assessment</b>	I risultati devono essere valutati mediante il confronto con valori soglia, limiti o criteri così da poter definire se i rischi siano "accettabili", "tollerabili" o "trascurabili". È in questo punto che si iniziano a introdurre considerazioni non solo tecniche sull'accettabilità del rischio e sul processo decisionale
Definizione di procedure operative e piano di emergenza	Che cosa devo fare?	<b>Risk Management</b>	Al fine di rendere accettabili i rischi, possono essere necessarie misure di riduzione del rischio, il cui beneficio deve essere valutato ricalcolando il rischio e definendo non solo l'efficacia ma soprattutto il rischio residuo ( <i>rischio tanto basso quanto ragionevole - in inglese As Low as Reasonably Practical ALARP</i> )

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto



Figura 4. Flow Chart Metodo Quantitativo



Fonte: Carpignano A., Il rischio tecnologico, in: Pianificazione del Territorio e Rischio Tecnologico, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Politecnico e Università di Torino, CELID, 2002

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

### 2.3.4 Applicazione del metodo quantitativo di valutazione (QRA)

Come nel caso qualitativo, anche il metodo quantitativo è anch'essa fortemente basata su quanto previsto dalla norma tecnica ISO/TS 18683 e la sua elaborazione può rendersi necessaria sia per approfondimenti di sezioni di impianto o scenari non standard esclusi dal campo di applicazione di un metodo QualRA, sia in casi completi quali quelli di seguito riportati:

- Il progetto afferisce a sistemi di bunkeraggio non standard (PTS, TTS o STS diversi dalla semplice configurazione standard definita nella norma ISO / TS 18683).
- Il progetto e le modalità operative risultano diverse dalle indicazioni fornite nella norma ISO/TS 18683 o IACS Rec.142.
- Il progetto prevede che si svolgano Operazioni Simultanee (SIMOPS) durante il bunkeraggio di GNL.
- Il progetto prevede l'impiego di sistemi di automazione per ridurre l'intervento umano nelle operazioni.
- La valutazione in oggetto è volta ad accertare l'esatta dimensione di una zona di sicurezza calcolandola, sulla base di dati sito specifici.
- Ogni volta che è richiesto un numero, un valore, un calcolo numerico per quantificare un elemento di rischio (per es. per verificare la conformità con uno specifico limite o criterio)

L'esigenza di svolgere una valutazione quantitativa è di norma determinata dagli enti di controllo, sulla base delle conclusioni e dei risultati del QualRA o per specifici disposti normativi. In ambedue i casi, la valutazione quantitativa richiede la presenza dei seguenti elementi:

- A. CAMPO DI APPLICAZIONE: definizione dei limiti di batteria della valutazione, la familiarizzazione – intesa come presa di conoscenza e padronanza - con la progettazione e il funzionamento della struttura di bunkeraggio

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto



- B. HAZID: un'approfondita analisi allo scopo di identificare i pericoli e valutare i rischi utilizzando una matrice di rischio. È in questa, inoltre, che conseguentemente si identificano anche le misure di mitigazione dei rischi con livello medio o alto e si procede con l'individuazione dello scenario di “perdita\rilascio massimo credibile” da utilizzare come input per la determinazione delle zone di sicurezza;
- C. ZONA DI SICUREZZA: Determinazione delle zone di controllo e delle zone di sicurezza
- D. MATERIALE TECNICO: L'elaborazione secondo standard internazionali di report, planimetrie etc.

La valutazione quantitativa deve esaustivamente trattare e prendere in considerazione:

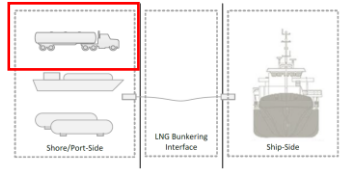
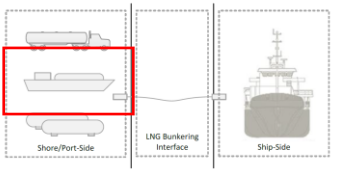
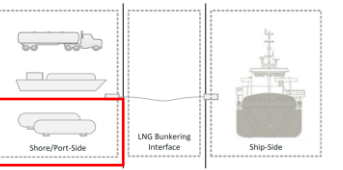
- a. Individuazione degli scenari critici;
- b. Il Software utilizzato per la modellazione e le Assunzioni utilizzate per la modellazione
- c. Dati di probabilità e Semplificazioni utilizzate nel modello computazionale;
- d. Calcoli di rischio;
- e. La perimetrazione delle aree rischio su scala adeguata.

Nella Tabella 3 si riportano le casistiche più frequenti che richiedono l'impiego di una valutazione di tipo quantitativo ad integrazione o in totale sostituzione di una qualitativa.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

**Tabella 3. Scenari Standard ed Eccezioni per applicazione QualRA su per Bunkeraggio LNG**

Sistema		
Truck-to-Ship – TTS	Ship-to-Ship - STS	Terminal (Port)-to-Ship - PTS
		
<b>Caratteristiche tipiche del sistema</b>		
Volume V ≈ 50-100m <sup>3</sup> Portata Q ≈ 40- 60m <sup>3</sup> /h	Volume V ≈ 100 -6500m <sup>3</sup> Portata Q ≈ 500 – 1000 m <sup>3</sup> /h	Volume V ≈ 500- 20000m <sup>3</sup> Portata Q ≈ 1000- 2000m <sup>3</sup> /h
<b>Situazioni di eccezionalità previste dalla ISO 18683 che richiedono metodi QRA</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combinazione TTS con Truck multipli e simultanei e con una o più interconnessioni in comune.</li> <li>• Portata del bunkeraggio superiore rispetto ai valori medi comuni.</li> <li>• Utilizzo di tecnologie automatizzate o semi-automatizzate per la gestione e la movimentazione delle tubazioni.</li> <li>• Operazioni di rifornimento di GNL con truck\camion incustodito.</li> <li>• Casi in cui le procedure di spurgo e inertizzazione delle tubazioni sono oggetto di particolari specifiche richieste\esenzioni o sono dotate di sistemi di controllo particolari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ogni volta che la valutazione del rischio in ambito nautico\navale individua particolari criticità in alcune situazioni, come manovre, maggiore intensità del traffico nautico, etc.</li> <li>• Portata del bunkeraggio superiore rispetto ai valori medi comuni.</li> <li>• Casi di navi bunker senza auto-propulsione, che richiedo quindi rimorchiatori per manovre e propulsione.</li> <li>• Casi in cui le procedure di spurgo e inertizzazione delle tubazioni sono oggetto di particolari specifiche richieste\esenzioni o sono dotate di sistemi di controllo particolari.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• QRA è generalmente raccomandato per le installazioni PTS, al fine di affrontare correttamente gli elementi di stoccaggio del GNL e il routing della pipeline di distribuzione all'interno dell'area portuale.</li> <li>• Ogni volta che i sistemi di gestione del BOG presentano particolari o sono sufficientemente esaustivi nella trattazione.</li> <li>• QRA raccomandato per tutte le situazioni PTS, al fine di indirizzare correttamente gli elementi di stoccaggio del GNL e il routing della pipeline di distribuzione nell'area della porta.</li> <li>• Casi in cui le procedure di spurgo e inertizzazione delle tubazioni sono oggetto di particolari specifiche richieste\esenzioni o sono dotate di sistemi di controllo particolari.</li> <li>• Portata del bunkeraggio superiore rispetto ai valori medi comuni.</li> </ul>

Fonte: Ns Elaborazione su dati e tabelle “European Maritime Safety Agency - Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities/Administrations

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto



## 2.4 VALORI DI SOGLIA E CRITERI DI ACCETTABILITÀ

La quantificazione del rischio sin qui descritta, per quanto estremamente importante, resta tuttavia fine a sé stessa se non può essere impiegata come strumento decisionale in merito all'accettabilità o meno di un nuovo impianto o infrastruttura.

Questo processo decisionale deve tuttavia essere basato su un criterio comparativo che permetta sia il confronto della situazione precedente alla realizzazione della nuova opera e quella che si avrà a seguito della nuova realizzazione, sia, più frequentemente, una valutazione di carattere assoluto.

La prassi adottata nei diversi paesi è alquanto differenziata, l'approccio però formalmente più avanzato è rappresentato dall'utilizzo di soglie di accettabilità e inaccettabilità del rischio, pratica ormai consolidata nei paesi del Nord Europa dove la cultura del rischio è ben radicata ed implementata<sup>16</sup>.

È importante sottolineare come sia nelle valutazioni qualitative sia in quelle quantitative debbano essere stabiliti i criteri e i limiti di confronto del livello di rischio calcolato, così da consentire la valutazione e l'approvazione di un ben determinato progetto, comprensivo di azioni di mitigazione e di un piano di gestione.

È bene evidenziare come i criteri di soglia che possono essere utilizzati per valutare il livello di rischio, definendo di fatto l'accettabilità del rischio stesso, siano spesso impiegati anche per stabilire le distanze di sicurezza esterne o interne.

Detti criteri di soglia o valori limite sono fissati e devono essere vincolati sia che essi abbiano un valore non legale, ovvero costituiscano un obiettivo/target progettuale, sia che rappresentino un valore normativamente obbligatorio. In generale, è possibile distinguere il seguente tipo di criteri:

---

<sup>16</sup>“La prima evoluzione ha portato verso l'uso dei diagrammi FN e i primi criteri di accettabilità proposti sono nati nel campo nucleare (Regno Unito) soprattutto con lo scopo di chiarire la questione sulla sicurezza dei reattori nucleari (“how safe is safe enough”)” tratto da fonte : “ANALISI COMPARATIVA DEI CRITERI DI ACCETTABILITÀ DEL RISCHIO E CONSIDERAZIONI SUL D.M. 9 MAGGIO 2001 Andrea Carpignano, Sara Tuninetti Dipartimento di Energetica – Politecnico di Torino Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino [andrea.carpignano@polito.it](mailto:andrea.carpignano@polito.it) [sara.tuninetti@polito.it](mailto:sara.tuninetti@polito.it) - D.J. Higson, Nuclear Safety, “Nuclear safety assessment criteria”, Vol.31, No.2 Aprile-giugno 1990

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

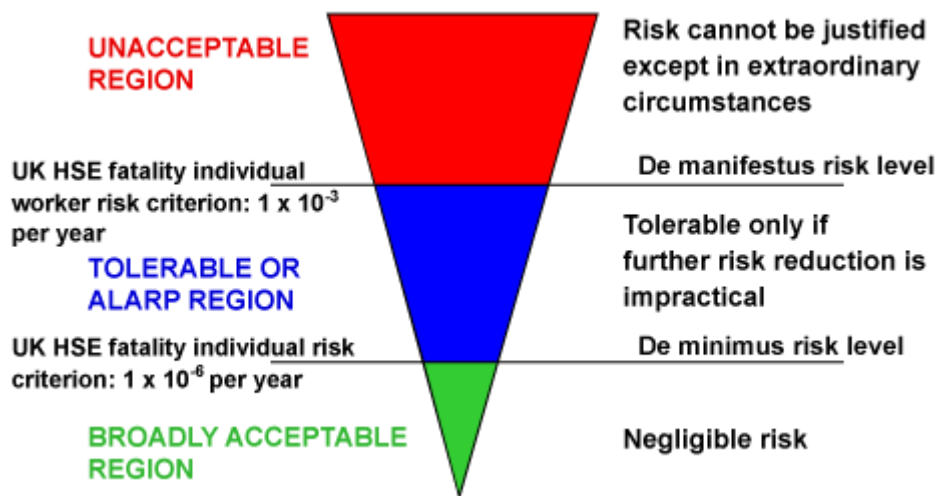


- A. Valori generici
- B. Valori espressi come distanza a cui il danno viene ritenuto intollerabile
- C. Valori di riferimento espressi in normativa tecnica
- D. Rischio individuale
- E. Rischio sociale

### A. Valori generici

Un primo schema di definizione del livello di rischio calcolato può essere semplicemente costituito una scala a due o tre bande, che divida con un criterio dentro/fuori, ed un singolo livello di rischio che divida i rischi tollerabili da quelli intollerabili (ovvero attività accettabili da attività inaccettabili). Si impiega cioè una gradazione a due fasce o bande che implica un unico criterio di rischio, oppure possono essere considerati due criteri; dividendo quindi i livelli di rischio in tre bande:

Figura 5. Criteri di accettabilità del rischio



Fonte: Web <https://www.primatech.com/technical/alarp-principle> - HSE Principles for Cost Benefit Analysis (CBA) in Support of ALARP Decisions, <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarpcba.htm>.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

La **fascia superiore** è quella in cui il rischio è generalmente considerato intollerabile, qualunque sia il beneficio che l'attività può portare o in fase di definizione delle misure di mitigazione, le azioni di riduzione del rischio sono essenziali qualunque sia il loro costo.

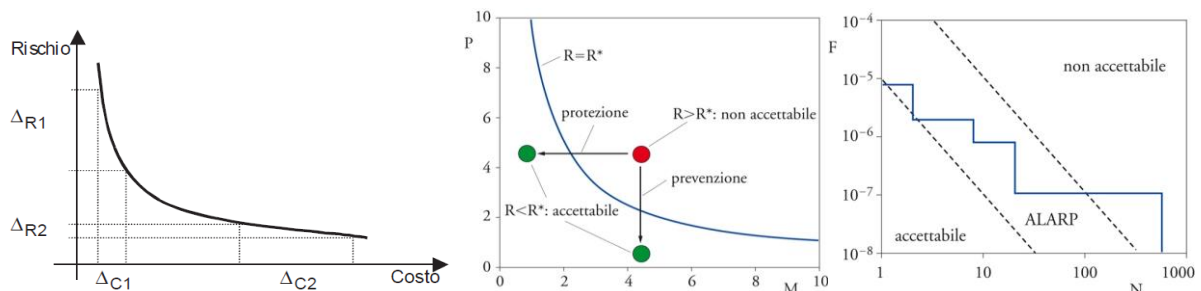
La **banda intermedia** è il punto in cui è auspicabile in fase di valutazione del rischio la definizione di misure di mitigazione, l'opportunità di realizzarle può essere ragionata in termini di **ALARP** (As Low As Reasonably Achievable) o **ALARA** (As Low As Reasonably Achievable) ovvero di minimo rischio ragionevolmente raggiungibile.

La **banda inferiore** include in cui i rischi il cui livello è da ritenersi trascurabili tanto da non essere necessaria l'adozione obbligatoria di ulteriori misure di mitigazioni rispetto a quelle già previste, lasciando quindi al proponente e ad una valutazione di opportunità\benefici l'eventuale adozione di misure aggiuntive.

Ogni incidente potrà quindi essere rappresentato quindi partendo da un diagramma come un punto in funzione della sua frequenza e da un teorico danno. La sua posizione del diagramma porterà ad una valutazione e potenzialmente alla necessità di intervenire.

La fascia centrale prevede una valutazione della possibilità, introducendo un concetto di "ragionevolezza" che nasce dalla constatazione che dell'andamento iperbolico della variazione del rischio al crescere degli investimenti.

Figura 6. Costi relativi alla riduzione del rischio



Fonte: Treccani - [http://www.treccani.it/enciclopedia/curve-f-n\\_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)](http://www.treccani.it/enciclopedia/curve-f-n_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)) e Carpignano A., **Il rischio tecnologico**, in: Pianificazione del Territorio e Rischio Tecnologico, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Politecnico e Università di Torino, CELID, 2002

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



## B. Valori espressi come distanza a cui il danno viene ritenuto intollerabile

Utilizzando questo “insieme di criteri di soglia”, i valori vengono espressi come distanza a cui il danno viene ritenuto intollerabile. È evidente che in caso il valore di soglia dipenda in primis dallo specifico evento generante che si sta analizzando (ad. esplosione, incendio, etc.), in secondo ordine dall’effetto generato che si sta valutando (es. radiazione di calore, concentrazione di contaminanti nell’aria, danno fisiologico all’individuo) ed in terzo, ma non meno importante ordine, dalla sensibilità con cui si vuole valutare (es. percentuale di concentrazione più o meno alta, danno lieve o grave, ustione di diverso livello, etc.).

Questo sistema comporta che i diversi livelli di soglia possano essere diversi da progetto a progetto anche prendendo in considerazione gli stessi eventi generanti. Ad esempio è possibile avere:

- ✓ Evento rilascio di vapori tossici: concentrazione per letalità dell'1% (abbrev. LC1% - Lethal Concentration% 1<sup>17</sup>) utilizzando valori la cui presenza è immediatamente pericoloso per la vita o la salute (abbrev. IDLH) oppure valori di dose equivalente per periodi di esposizione fissati (Ad esempio Dose Letale mediana, Lethal Dose 50 o LD50, che esprime il valore come dose della sostanza che determina la morte del 50% degli individui entro un determinato tempo dall’evento generante).

---

<sup>17</sup> “Il valore di LC% esprime il valore di concentrazione di una sostanza di un ambiente (es. atmosfera) che risulta letale per un determinato valore % dell’insieme della popolazione preso in esame. Ad esempio il LC50 (Lethal Concentration 50) è definita come la Concentrazione letale per il 50% degli individui di una popolazione. Nel nostro caso il LC1 identifica il valore di concentrazione della sostanza nell’atmosfera che causa il decesso di un individuo tra la popolazione presente nell’area interessata dall’evento”. Fonte: “Il rischio delle sostanze chimiche e il regolamento REACH Dott.ssa Silvia Marchini – ISS - Presentazione ISPRA Ambiente”

“Esistono molteplici valori di riferimento per l’acceptabilità su cui poter fissare una distanza massima, ad esempio

- **LOAEL**: Lowest-Observed Adverse-Effect Level. Rappresenta il livello (generalmente dose) più basso al quale è possibile evidenziare un effetto negativo.
- **LOEC**: Lowest-Observed Effect Concentration. Rappresenta la concentrazione più bassa alla quale è possibile evidenziare un effetto.
- **LOEL**: Lowest-Observed-Effect Level. Rappresenta il livello più basso al quale è stato possibile evidenziare un effetto.
- (...)
- **LT50**: Lethal Time 50. Tempo Letale mediano. Rappresenta il tempo necessario a determinare la morte del 50% degli individui esposti a una concentrazione determinata di una sostanza.
- **NOAEC**: No-Adverse Effect Concentrations. Concentrazione che non produce effetti avversi.
- **NOEC**: No-Observed Effect Concentration. Concentrazione di nessun effetto osservato.
- **NOEL**: No-Observed Effect Level. Rappresenta il livello più alto (concentrazione o dose) al quale non si è manifestato alcun effetto. “

Fonte: “Rapporto dei Confronti Iterlaboratorio in ambito ecotossicologico: l’esperienza di ISPRA (2003 -2016)” – ISPRA

TDI RETE-GNL

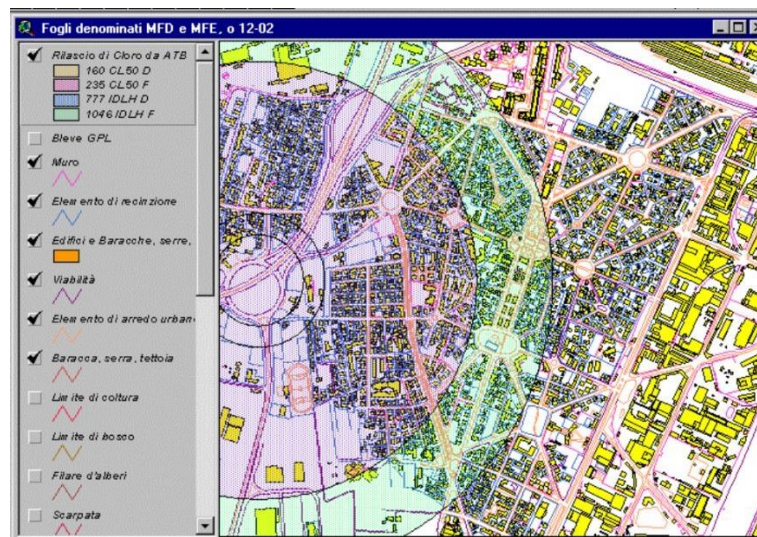
Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto



- ✓ Evento Incendio: esposizione a radiazioni di calore, con soglie fissate considerando una durata fissata di esposizione e valutando la possibile insorgenza di effetti più o meno lievi, ad esempio effetti gravi (ustioni di 3 ° grado) o meno gravi (ustioni di 1° e 2° grado).
- ✓ Onda di pressione: soglia di danno al sistema uditivo, verificando in termini di dB di pressione il raggiungimento di alcuni livelli che possono causare danni permanenti, reversibili o temporanei (perdita di intellegibilità del suono, ipoacusia, perforazione del timpano, etc.).

A fini dell'applicazione, una volta fissato il valore soglia di intollerabilità specifico ( ad esempio livello IDLH di una sostanza chimica emessa nell'atmosfera ) non si fa altro che mappare più o meno puntualmente, con definizione dipendente dallo strumento di calcolo utilizzato, l'area interessata dall'evento ottenendo quindi curve iso-livello dell'effetto (nel ns caso valori di concentrazione, ovvero si avranno curve iso-concentrazione) e quindi distanze a cui il danno si verificherà con livelli (i.e. concentrazioni) uguali a livello di soglia di intollerabilità. Giunti a questo punto è sufficiente verificare che la distanza calcolata a cui si verifica il valore fissato sia inferiore rispetto alla distanza del valore di soglia assunto.

Figura 7. Esempio in cui i valori sono espressi come distanza a cui il danno viene ritenuto intollerabile



Fonte "Le analisi di rischio d'area, stato dell'arte, diffusione ed utilità" – E. Galatola - Eidos Servizi Ambientali Padani  
C. Clini e R. Caroselli -Ministero Ambiente – G. Macchi ANPA

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

#### D. Valori di riferimento espressi in normativa tecnica

I valori tecnici di riferimento possono essere inoltre espressi nell’ambito della normativa tecnica di riferimento. Sotto questo profilo, in particolare, nella norma ISO18683, a titolo esemplificativo, sono evidenziati valori di soglia limite di rischio individuale, che diventano molto utili nel caso in cui si debba procedere con una valutazione dei risultati di un metodo QRA applicato agli scenari pericolosi selezionati.

I criteri di rischio nelle valutazioni quantitative del rischio si riferiscono comunemente al rischio individuale (ed in parte al rischio della popolazione) e questi sono correlati alla mortalità o ad altre misure di danno<sup>18</sup>.

Figura 8. Valori Soglia e criteri di accettabilità – ISO/TS 18683

	Acceptance criteria	Comment
Individual risk 1 <sup>st</sup> party personnel	$IR < 10^{-5}$	Applies to crew and bunkering personnel directly involved in the activity.
Individual risk 2 <sup>nd</sup> party personnel	$IR < 5 \cdot 10^{-6}$	Port personnel and terminal personnel.
Individual risk 3 <sup>rd</sup> party personnel with intermittent risk exposure	Risk contour for $IR < 5 \cdot 10^{-6}$	3 <sup>rd</sup> party personnel should not have access for prolonged period.
Individual risk 3 <sup>rd</sup> party personnel with prolonged risk exposure	Risk contour for $IR < 10^{-6}$	General public without involvement in the activity. No residential areas, schools, hospitals etc. inside this risk contour.

Fonte: ns elaborazione da ISO/TS 18683

Le categorie di probabilità, tuttavia, possono essere correlate alla vita utile di impiego di un asset, un “equipment”, ecc. o ad un altro orizzonte temporale di riferimento in relazione alla valutazione da compiere.

Si pensi al caso di una nave per il *bunkering* di GNL, supponendo che la vita utile dell’asset sia di 25 anni, se si ipotizza uno scenario con una probabilità annuale di 1 su un milione (cioè valutazione 1 -

<sup>18</sup> La tematica è nel dettaglio affrontata in IACS Rec. 142: “... il rischio per qualsiasi individuo può essere” basso”, ma il rischio di danneggiare molte persone in un singolo incidente / incidente potrebbe essere sufficiente a giustificare una riduzione del rischio. Le parti interessate dovrebbero considerare ciò che costituisce un numero significativo di persone che richiedono una valutazione del rischio sociale.

Remoto), la probabilità che si verifichi l’evento nel corso della vita della nave è 1 su 40.000 (ovvero  $1/(10^{-6} \times 25)$ ).

Se invece di considerare la durata di una nave venisse considerato un intervallo tipico coerente con la durata di un'operazione di bunkeraggio, avremmo (per un'operazione TTS) 2 ore, ovvero 0.00024 anni, lo stesso scenario con una probabilità annuale di 1 su un milione (cioè valutazione 1- Remoto) avrebbe una probabilità di accadimento durante l'operazione di bunkeraggio pari a 1 su 4.166.666.667 (ovvero  $1 / (10^{-6} \times 0.00024)$ ).

Questa è una probabilità estremamente bassa, tanto da mettere in luce come il criterio della media annuale possa non essere adatto a rappresentare probabilità di accadimento con riferimento a durate limitate o ad operazioni infrequenti.

L’adeguatezza dei criteri, pertanto, gioca un ruolo fondamentale e, nel caso, del bunkeraggio è più ragionevole stabilire criteri di probabilità “per operazione”.

Figura 9. Esempio matrice di valutazione del rischio – ISO17776

Consequence (Severity)	Multiple fatalities	C	1	2	3	4	5	HIGH MEDIUM LOW
	Single fatality or multiple major injuries	B	1	2	3	4	5	
	Major injury	A	1	2	3	4	5	
			1 Remote	2 10 <sup>-6</sup> /y Ext. Unlikely	3 10 <sup>-5</sup> /y V. Unlikely	4 10 <sup>-4</sup> /y Unlikely	5 10 <sup>-3</sup> /y Likely	
			Likelihood (Chance per year)					

Fonte: ns elaborazione su fonte ISO17776

### E. Rischio individuale

Il rischio individuale definisce la probabilità annua che un individuo subisca un certo livello di danno in prossimità di un elemento/sistema a seguito di evento di qualsiasi natura che origina\influisce dalle o sulle attività di processo. La rappresentazione del rischio individuale è una

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto





modalità più complessa e dettagliata, che tuttavia può fornire un quadro molto preciso del livello di rischio associato ad una installazione. Si tratta di determinare lungo prefissate direzioni che si diramano dalla sorgente di rischio, utilizzando tabelle o grafici, come varia il rischio individuale al variare della distanza oppure in modo simile si può fornire la distribuzione del rischio individuale su tutta un'area mediante curve di livello che congiungono punti a ugual rischio.

A tal scopo, il rischio individuale viene quindi calcolato, nei punti geografici ubicati attorno allo stabilimento, come somma, su tale punto, del rischio derivante da ciascun evento incidentale ipotizzabile. La formula di base che viene impiegata è:

$$I.R.(x, y) = \sum_{i=1}^n I.R.(x, y)_i$$

dove:

*I.R.(x,y) = Rischio individuale nel punto geografico (x,y) (espresso in frequenza di decesso per anno)*

*I.R.(x,y)<sub>i</sub> = Rischio Individuale nel punto geografico (x,y) derivante dallo scenario i-esimo (espresso in frequenza di decesso per anno)*

*n = numero totale di eventi incidentali considerati nell'analisi.*

Il termine  $I.R.(x,y)_i$  è invece ottenuto dalla formula:

$$I.R.(x, y)_i = f_i \cdot pd_i \cdot Pf_i$$

dove:

*f<sub>i</sub> = frequenza dell'evento i-esimo (occasioni/anno), derivante dalla stima delle frequenze;*

*pd<sub>i</sub> = fattore associato all'evento (tiene in considerazione la direzionalità del rilascio, le condizioni meteo, ecc.);*

*Pf<sub>i</sub> = probabilità che gli effetti dell'evento i-esimo, determini un decesso nel punto geografico (x,y).*

Il risultato finale dell'analisi è costituito da una mappatura con **curve iso-rischio**, ciascuna delle quali perimetra una regione geografica all'interno della quale la frequenza attesa di decesso di una persona è pari ad un determinata probabilità.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto



Si pensi ad esempio, alla probabilità annua che un individuo possa riportare un infortunio non mortale durante un incidente stradale, ovvero si tratta di determinare la probabilità che un qualunque cittadino possa subire un infortunio non mortale rimanendo vittima di un incidente stradale durante ciascun anno della sua vita. Si noti che il valore precedente è semplicemente ottenuto dividendo il numero di infortuni della strada in un determinato anno per la popolazione dello stato nello stesso anno.

Nel calcolo non si tiene conto che alcuni cittadini viaggiano pochissimo mentre altri non viaggiano affatto (ad esempio i bambini o degenti in ospedali) o altri ancora passano il loro tempo principalmente in viaggio (ad autisti di autobus). Non si tiene conto, in sintesi, della variabilità del rischio individuale rispetto ai diversi gruppi sociali, ovvero rispetto alla diversa esposizione al rischio (cioè il tempo effettivo in cui sono esposti ad un ben definito rischio).

A fronte di ciò il rischio individuale è di prassi calcolato ed espresso per individui appartenenti a gruppi di caratteristiche omogenee, ovvero ad insiemi di individui che risultino esposti ad un determinato rischio per durata annue, se non identiche, confrontabili.

Di conseguenza, i livelli di accettabilità sono anch'essi generalmente distinti per categorie di persone potenzialmente esposte, come ad esempio:

- ✓ La frequenza pari a  $10^{-4}$  occasioni/anno (probabilità annua) è accettabile per i lavoratori che operano nell'installazione.
- ✓ La frequenza pari a  $10^{-4}$  occasioni/anno (probabilità annua) è accettabile per la popolazione esterna all'installazione

Dal punto di vista grafico, ed in riferimento a scenari complessi e multi evento, è possibile ottenere a partire dalle curve di danno un rappresentazione del rischio individuale tipicamente con due metodi: curve isolivello o distribuzioni spaziali.

Nel primo caso il rischio individuale viene tipicamente visualizzato mediante un insieme di punti organizzati in una griglia a maglie quadrate di passo base, la cui scelta è dettata in parte dalla estensione stessa dell'area di studio e in parte da limitazioni del codice di calcolo per quanto riguarda il numero massimo di punti sorgente rappresentabili e di punti di calcolo. In corrispondenza di ciascun

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



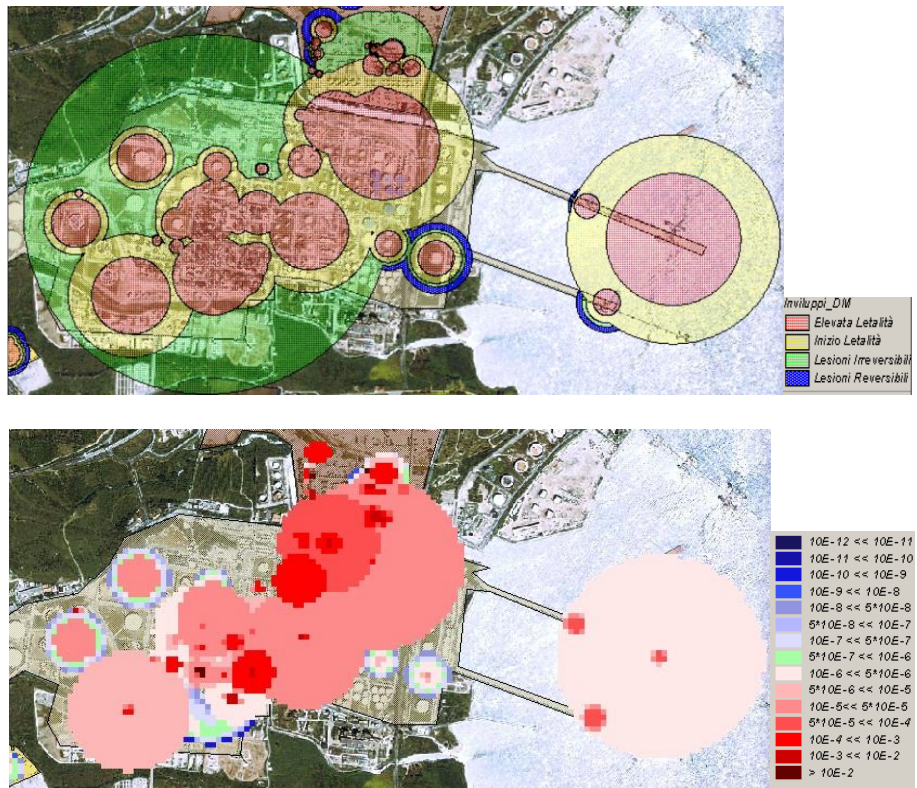
punto è associato il valore di rischio che viene convenzionalmente esteso a tutta la cella di cui il punto rappresenta il centro (approssimazione del rischio per punti).

Nel secondo caso, la rappresentazione del rischio individuale avviene mediante curve o fasce di isorischio, che rispetto alla precedente si dimostrano più immediate per il confronto con valori soglia ma meno efficace per valutare gli andamenti di tutto il fenomeno di rischio su base territoriale.

La rappresentazione con curve iso-rischio avviene tramite l'interpolazione dei valori di rischio, associati a ciascun punto della griglia, utilizzando algoritmi di interpolazione che consentono la stima dello stesso anche in posizioni non coincidenti con i punti di calcolo.

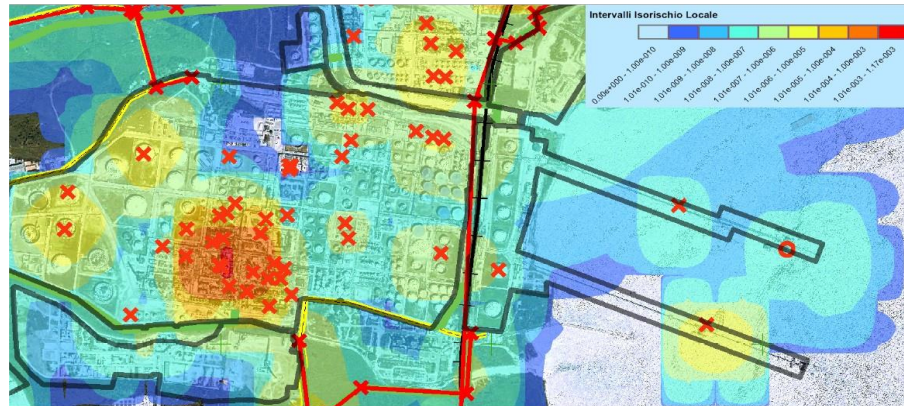
Si veda un estratto tipico di mappa di rappresentazione delle curve di iso-rischio e della distribuzione delle immagini seguenti.

**Figura 10. Esempi di Mappature iso -rischio e Distribuzioni del rischio individuale**  
 Esempio A) – Curve di danno - Esempio B) – Fasce isorischio - Esempio C) – Distribuzione spaziale



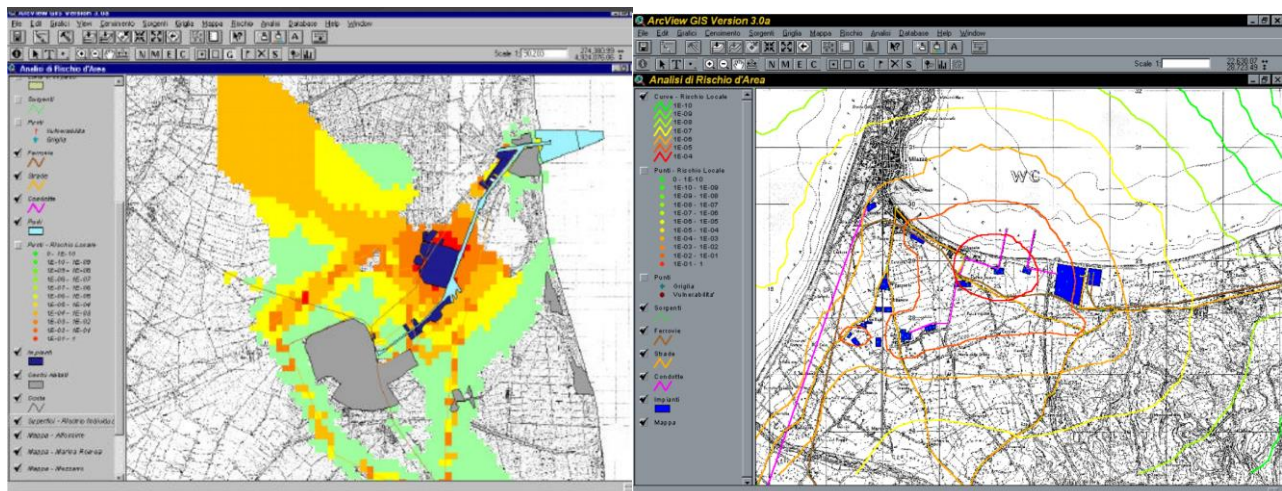
TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto



Fonte: “Esperienze nell’utilizzo di codici di calcolo georeferenziati per la ricomposizione del rischio d’area” – R. Marrazzo - Servizio rischio industriale, APAT

Figura 11. Esempi di Mappature iso -rischio e Distribuzioni del rischio individuale  
Esempio A) – Curve isorischio - Esempio B) – Distribuzione spaziale



Fonte: “Aripar-gis: un supporto per le attività di previsione e prevenzione dei rischi e la preparazione all’emergenza in aree industriali e portuali a rischio di incidente rilevante” G. Spadoni, S. Contini, D. Egidi

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

## F. Rischio Sociale

Il ricorso a un rischio sociale è un metodo che tipicamente si associa in modo complementare al metodo “rischio individuale”. Il **rischio sociale** viene calcolato come prodotto pesato tra N, numero di persone potenzialmente esposte ad un ben definito rischio a causa degli effetti di un evento incidentale e la frequenza (F) di accadimento dell’evento stesso.

La frequenza complessiva è ottenuta come somma di tutti gli eventi incidentali individuati (**HazId**) che con la loro intensità possono provocare un numero di accadimenti individuali pari a N.

La frequenza attesa di accadimento dell’evento è calcolata sull’effettiva distribuzione delle persone all’interno ed all’esterno dello stabilimento e ciò forse rappresenta l’elemento di più critica determinazione soprattutto in aree fortemente antropizzate. Il numero di accadimenti associato a ciascun evento i-esimo è quindi ottenuto con la formula:

$$N_i = \sum_{n=1}^n p_{(x,y)i} \cdot pd_i \cdot Pf_i$$

dove:

*p(x,y)i = numero di persone presenti all’interno della zona di influenza dell’evento i-esimo;*

*pdi = fattore associata all’evento (tiene in considerazione la direzionalità del rilascio, le condizioni meteo, ecc.);*

*Pfi = probabilità che gli effetti dell’evento i-esimo, determini un accadimento nel punto geografico (x,y)*

Il grafico risultante che si ottiene evidenzia la combinazione tra il numero di decessi, N ed il corrispondente valore di frequenza: i risultati della valutazione devono poi essere confrontati con criteri di accettabilità del rischio referenziati ed autorevoli

Ad esempio: un valore pari ad 1 accadimento è accettabile con frequenza di accadimento pari a  $10^{-4}$  occasioni/anno, valori pari a 100 accadimenti sono accettabili con frequenza di accadimento pari a  $10^{-6}$  occasioni/anno.

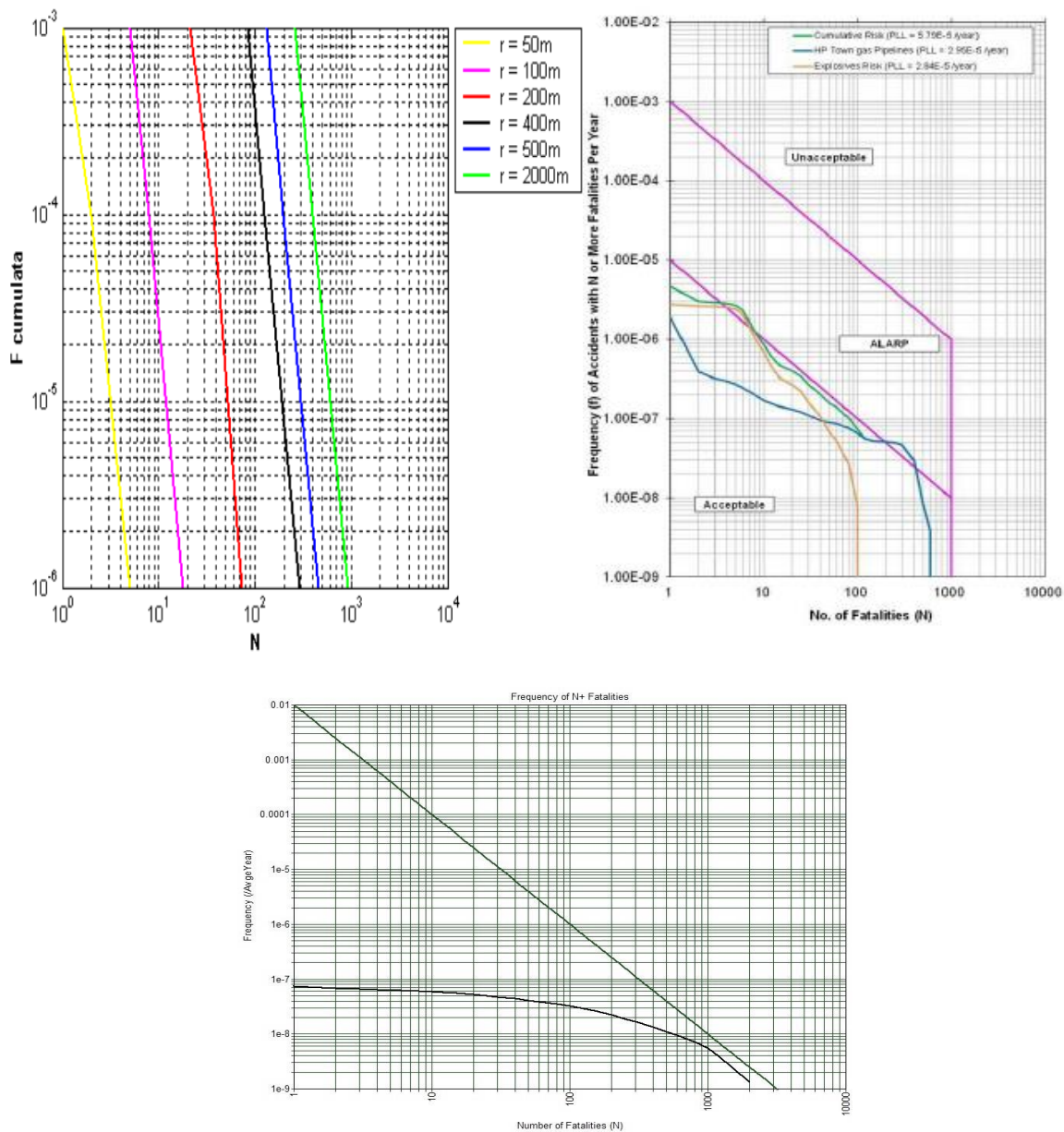
TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto





Figura 12. Esempi di criteri di accettabilità



Fonte: “Analisi comparativa dei criteri di accettabilità del rischio e considerazioni sul d.m. 9 maggio 2001”- Politecnico di Torino - Carpignano, Tuninetti

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto



### 3 CARATTERISTICHE DEL GNL E TASSONOMIA DEI RISCHI

#### 3.1 PRINCIPALI EFFETTI FISICI DEL GNL

L'impiego del gas naturale liquefatto, *liquefied natural gas* (GNL) per la propulsione navale consente di rispondere a molteplici esigenze ambientali ed economiche. Composto principalmente da gas metano e, in termini minoritari, da etano, propano, butano e azoto, il gas naturale si trova comunemente in natura in giacimenti allo stato fossile insieme al petrolio e al carbone. Inoltre, può essere anche prodotto durante i processi di decomposizione naturale nelle discariche oppure nelle paludi. Il gas naturale liquefatto (GNL) si ottiene, in seguito ad un trattamento di depurazione e di disidratazione, sottoponendo il gas naturale a successive fasi di raffreddamento e condensazione: si ottiene così un gas liquido inodore e trasparente avente una temperatura di ebollizione di circa -160 °C a pressione atmosferica.

Il deposito e l'impiego del gas GNL necessita pertanto di accorgimenti impiantistici e gestionali che non coincidono perfettamente con quelli che caratterizzano gli stoccaggi di metano in fase gas e di GPL, le cui caratteristiche, anche impiantistiche, sono ormai standardizzate e conosciute dai tecnici che operano nell'attività di valutazione ed analisi dei progetti per la realizzazione dei relativi depositi.

Per poter definire i rischi specifici connessi agli impianti di stoccaggio di GNL, occorre esplicitare le caratteristiche fisiche e i comportamenti del presente gas combustibile. Innanzitutto, la massa volumica del GNL dipende dalla composizione della miscela: essa è normalmente compresa tra 430 kg/m<sup>3</sup> e 470 kg/m<sup>3</sup>, anche se in casi particolari può raggiungere i 520 kg/m<sup>3</sup>.

Tali condizioni dipendono anche dalla temperatura del liquido, infatti la sua massa si riduce al diminuire della temperatura con un gradiente di circa -1,35 kg/m<sup>3</sup>°C. Inoltre, il GNL presenta una temperatura di ebollizione solitamente compresa tra -166°C e -157°C a pressione atmosferica, che dipende dalla composizione della miscela stessa.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

Per poter liquefare il GNL non serve incrementare la pressione a temperatura ambiente, poiché esso si comporta come un gas compresso, bensì, indipendentemente dalla pressione, occorre ridurre la sua temperatura a valori inferiori a  $-80^{\circ}$ .

Per quanto concerne l'impiego di GNL per la propulsione navale, esso offre vantaggi significativi rispetto ai combustibili tradizionali (ad esempio l'HFO), infatti, come citato in precedenza, il GNL comporta inferiori emissioni di  $\text{NO}_x$ , emissioni di particolato pressoché azzerate, apprezzabile riduzione di emissioni di  $\text{CO}_2$  in fase di combustione, legate al maggior contenuto di idrogeno, assenza di zolfo, alta densità energetica. In relazione alle particolari proprietà fisiche del metano sussistono molteplici problematiche: data la temperatura critica ( $-82^{\circ}\text{C}$ ), lo stoccaggio deve essere mantenuto a temperature criogeniche ( $-161^{\circ}\text{C}$  a pressione ambiente) e ciò comporta un elevato costo di impianto.

### 3.1.1 Limiti di infiammabilità

L'impiego del Gas Naturale Liquefatto come combustibile per la propulsione navale oltre a notevoli possibili benefici ambientali può determinare anche diverse tipologie di rischio in ragione della natura e delle caratteristiche merceologiche della commodity. In relazione a tali rischi si rendono dunque necessarie valutazioni attente e approfondite mediante appositi processi analisi che devono essere condotti secondo specifici principi e regole procedurali. Le analisi in oggetto, in particolare, devono avvenire rigorosamente in fase progettuale, prima dell'avvio della fase di realizzazione dell'impianto. I principali rischi connessi all'impiego di impianti a GNL, secondo la più recente dottrina e le analisi empiriche ad oggi esistenti sul tema, risultano essenzialmente legati al rilascio accidentale nell'ambiente circostante del GNL a temperatura criogenica. Tali rischi riguardano soprattutto i serbatoi e le aree per lo stoccaggio del GNL, ma anche le diverse aree in cui si articolano i terminali di rigassificazione, in quanto unità di approvvigionamento, e le navi, in quanto unità da rifornire. Per quanto concerne le singole navi, inoltre, è opportuno considerare anche variabili e fattori aggiuntivi che contribuiscono ad aumentare il livello di rischio: tra questi, il moto ondoso, che può determinare

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

bruschi movimenti imprevisi del vessel durante le operazioni di *bunkering*, oppure la presenza di ulteriore traffico navale nelle aree portuali dedicate alle attività di rifornimento, o ancora il contestuale completamento di diverse tipologie di attività operative in banchina condotte in simultanea (si pensi in tal senso alle problematiche relative alle *simultaneous operations* o SIMOPS). Al fine di procedere nell'identificazione e successiva valutazione dei rischi connessi sia all'impiego di GNL come combustibile per la propulsione navale, sia allo sviluppo delle relative infrastrutture e sovrastrutture per il *bunkering* del GNL, è dunque necessario, in primo luogo, approfondire le principali tipologie di rischio legate all'impiego di GNL. Per farlo, però, occorre dapprima comprendere le proprietà del GNL e, di conseguenza, le condizioni di base che comportano il verificarsi di pericoli e rischi connessi all'impiego di tale combustibile. Infatti, il GNL allo stato liquido non risulta essere né infiammabile né esplosivo (Foss, 2006), tuttavia, quando viene immesso nell'atmosfera, esso viene riscaldato dall'aria (o dall'acqua, nel caso in cui ne entri in contatto), cui consegue il passaggio di fase in funzione della composizione del prodotto di partenza e della differente velocità di evaporazione dei componenti la miscela<sup>19</sup>. In questo modo si genera un gas che, più freddo e pesante dell'aria, può creare una miscela infiammabile altamente pericolosa, benché l'intervallo di infiammabilità del gas naturale sia piuttosto ristretto. Infatti, le caratteristiche di pericolosità del GNL allo stato gassoso sono sostanzialmente quelle del metano puro (Uguccione et al., 2006), ovvero l'infiammabilità nel caso di concentrazione nell'aria dello stesso pari ad un valore compreso tra il *Lower Flammability Level* (LFL), che ammonta al 5% (una percentuale minore di gas sarebbe troppo diluita per consentirne l'accensione) e l'*Upper Flammability Level* (UFL), pari al 15%; infatti, una maggior quantità di gas comporterebbe una concentrazione di ossigeno troppo bassa per sostenere la fiamma (Figura 13).

---

<sup>19</sup> La composizione del GNL varia in funzione della composizione del GN da cui ha tratto origine e dai successivi processi di purificazione e liquefazione; va ricordato che, a sua volta, la composizione del GN di partenza varia in funzione della sua provenienza (area geografica di produzione).

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

Figura 13. Intervallo di infiammabilità del GNL



Fonte: Foss, 2006 (“LNG Safety and Security”)

Nella tabella di seguito (Tabella 4) vengono riportati per i principali composti presenti nel GNL (metano, etano, propano, butano e pentano) i limiti di infiammabilità inferiore e superiore secondo la Norma CEI-EN 61779-1 “Apparecchiature elettriche per la rilevazione e la misura di gas combustibili – Parte 1: Prescrizioni generali e metodi di prova”, nella quale vengono riportati i limiti indicativi per l’effettuazione di prove specifiche relative alle apparecchiature elettriche per la rilevazione e la misura di gas combustibili (previste dalla norma medesima).

Tabella 4. Caratteristiche di infiammabilità

	Limite inferiore di infiammabilità (% volume)	Limite superiore di infiammabilità (% volume)	Flash Point	Temp.di ignizione
Metano	4,40	17,0		537
Etano	2,50	15,5		515
Propano	1,7	10,9	-104 gas	470
n-Butano	1,40	9,3	- 80 gas	372
i-Butano	1,3	9,8	gas	460
Pentano (miscela di isomeri)	1,40	7,8	-40	258

Fonte: norma CEI-EN 61779-1

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto



Come indicato nella Tabella 5, il limite inferiore di infiammabilità del GNL è comunque generalmente più alto rispetto agli altri combustibili, come GPL (il confronto tra GNL e GPL verrà richiamato nel paragrafo successivo) e benzina: in termini pratici, il rischio di infiammabilità ed esplosività in una data area è presente soltanto con una maggiore concentrazione di GNL rispetto agli altri combustibili.

**Tabella 5. Comparison of properties of Liquid Fuels**

Properties	LNG	LPG	Gasoline	Fuel Oil
Toxic	No	No	Yes	Yes
Carcinogenic	No	No	Yes	Yes
Flammable Vapor	Yes	Yes	Yes	Yes
Forms Vapor Clouds	Yes	Yes	Yes	No
Asphyxiant	Yes, but in a vapor cloud	Same as LNG	Yes	Yes
Extreme Cold Temperature	Yes	Yes, if refrigerated	No	No
Other Health Hazards	None	None	Eye irritant, narcosis, nausea, others	Same as gasoline
Flash point in °F (°C) <sup>2</sup>	-306 (-188)	-156 (-104)	-50 (-46)	140 (60)
Boiling point °F (°C)	-256 (-160)	-44 (-42)	90 (32)	400 (204)
Flammability Range in Air (%)	5-15	2.1-9.5	1.3-6	N/A
Stored Pressure	Atmospheric	Pressurized (atmospheric if refrigerated)	Atmospheric	Atmospheric
Behavior if Spilled	Evaporates, forming visible "clouds". Portions of cloud could be flammable or explosive under certain conditions.	Evaporates, forming vapor clouds which could be flammable or explosive under certain conditions.	Evaporates, forms flammable pool; environmental clean-up required.	Same as gasoline

Fonte: Foss, 2006 ("LNG Safety and Security")

### 3.1.2 Confronto GNL/GPL

Il GNL si differenzia dal GPL (Gas di Petrolio Liquefatto) in quanto il GPL consiste in una miscela di gas liquefatti dotati di temperatura critica molto superiore alla temperatura ambiente, di conseguenza possono essere liquefatti per compressione, raffreddamento o per compressione seguita

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



da raffreddamento. Alla temperatura di 15°C, in funzione della composizione della miscela stoccata, i GPL hanno tensione di vapore compresa tra 1.5 e 4 bar; inoltre, i GPL possono essere stoccati in recipienti di acciaio al carbonio non coibentati con pressioni massime raggiungibili fino a 30 bar. I GPL sono inoltre dotati di densità, in fase gassosa, superiore a quella dell'aria; le nubi di gas tendono a mantenere una quota prossima al suolo indipendentemente dalla temperatura alla quale si trovano. Il Gas Naturale ha, invece, una temperatura critica molto bassa e può essere liquefatto solo se raffreddato al disotto di tale temperatura; infatti, il gas naturale a pressione atmosferica risulta in forma liquida solo se in presenza di una temperatura di -162°C. Di conseguenza il GNL viene stoccato a temperature prossime a -160°C all'interno di recipienti dotati di coibentazione termica e realizzati per mezzo di acciaio speciale. Il comportamento di una nube di gas prodotta da GNL varia al variare della temperatura del gas evaporato dalla massa liquida: in presenza di bassa temperatura il gas è dotato di una densità superiore rispetto a quella dell'aria, infatti permane in prossimità della pozza liquida ma, all'aumentare della temperatura, il gas tende a ridurre la propria densità divenendo sempre più leggero rispetto all'aria.

Il GPL e il GNL differenziano proprio per quanto concerne le relative caratteristiche fisiche: tali scostamenti infatti si concretizzano in distinte norme di sicurezza, differenti normative di costruzione dei serbatoi di stoccaggio (si vedano le nuove guide tecniche dei Vigili del Fuoco per gli stoccaggi di GNL in allegato) e in applicazioni complementari in quanto il GNL si rivolge a a taglie di utenza nettamente superiori rispetto a quelle del GPL (un chiaro esempio risiede nell'ambito del trasporto stradale dove, mentre il GPL viene impiegato nell'alimentazione di veicoli leggeri, il GNL viene destinato soprattutto all'alimentazione di mezzi pesanti).

### **3.2 RISCHI CONNESSI AL GNL**

Come evidenziato dalla letteratura accademica (Uguccioni et al., 2006), i rischi connessi all'impiego del GNL dipendono anche dal tipo di configurazione tecnologica adottata per la *bunkering* nonché dalla tipologia di impianto di GNL complessivamente approntato. Tuttavia, è possibile comunque

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

identificare le principali tipologie di rischio connesse all’impiego di GNL in ambito marittimo-portuale anche a prescindere dalla configurazione tecnologica adottata.

I rischi legati all’utilizzo del GNL come combustibile per la propulsione navale sono dovuti essenzialmente al suo rilascio nell’ambiente (Fiorucci et al., 2008). Infatti, la fuoriuscita accidentale di GNL può determinare importanti conseguenze che configurano situazioni di pericolo per la sicurezza non solo del personale impiegato nelle *operations* di *bunkering*, ma anche per le attrezzature e le dotazioni infrastrutturali; a ciò si aggiungono anche potenziali criticità connesse all’ambiente e alla sicurezza per la comunità residente nell’area circostante.

Nella legislazione italiana, le **soglie di danno** per la valutazione delle conseguenze attese da incidenti e situazioni di pericolo connesse a impianti quali quelli oggetto di studio, sono fornite principalmente da tre fonti.

- Il Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 9 maggio 2001 “Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante” le cui finalità sono quelle di prevenire gli incidenti rilevanti connessi a determinate sostanze pericolose e di limitarne le conseguenze per l'uomo e per l'ambiente, per non parlare della determinazione delle opportune distanze di sicurezza tra gli stabilimenti e le zone residenziali;
- Il Decreto del Ministero dell’Ambiente del 15 maggio 1996 “Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di gas e petrolio liquefatto”; tali analisi forniranno gli elementi di riferimento per la pubblica amministrazione non solo per la valutazione della sicurezza di tali impianti, ma anche per la successiva fase di valutazione della loro compatibilità rispetto al territorio;
- Il Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri del 25 febbraio 2005 “Pianificazione dell’emergenza esterna degli stabilimenti industriali a rischio d’incidente rilevante”, il quale determina l’attivazione di un insieme di attività da parte dei vari soggetti pubblici e privati al

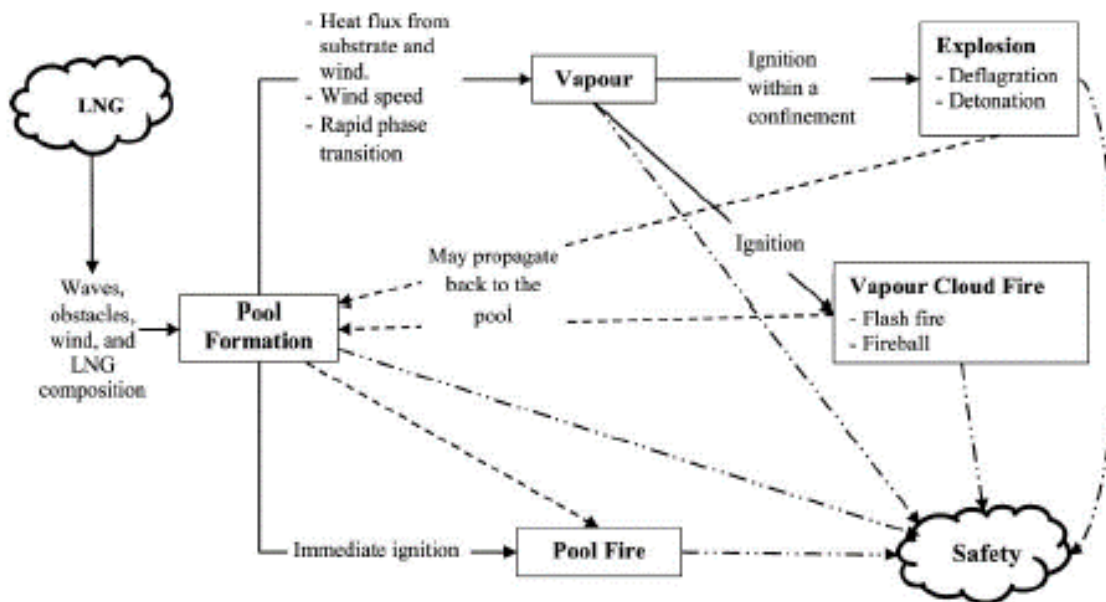
TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

fine di prevenire gli incidenti rilevanti connessi a determinate sostanze pericolose e di ridurre e mitigare le conseguenze di tali incidenti sulla salute umana e sull'ambiente.

I potenziali pericoli derivano soprattutto dalle proprietà di base del gas naturale stesso. Per esaminare in modo più dettagliato le diverse tipologie di rischio connesse all'impiego di GNL in ambito marittimo-portuale, di seguito riportiamo gli scenari incidentali potenzialmente associati alle *operations* che si svolgono in terminali per lo stoccaggio o il bunkeraggio di GNL.

Figura 14. Rischi specifici del GNL



Fonte: “Concepts for Regasification of LNG in Industrial Parks” – T. Morosuk, S. Tesch, G. Tsatsaronis

Nei successivi sotto-paragrafi si procede ad esaminare le principali categorie di rischio associabili alle *operations* più tipicamente condotte nell'ambito di un terminal GNL a livello marittimo-portuale:

- Boil-off gas;
- Contatto con il GNL;
- Stratificazione e Rollover;

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

- Sloshing;
- Rapid Phase Transition (RPT);
- BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosions);
- Vapour Cloud Explosion (VCE);
- Flash Fire, Jet fire e Pool fire;
- Asfissia;
- Terrorismo;
- Terremoti;
- Considerazioni conclusive in merito alle perdite di GNL.

### 3.2.1 Gas di evaporazione (boil-off gas)

Nell'esaminare i rischi in termini di *safety&security* connessi al *bunkering* di GNL occorre considerare i differenti impatti che quest'ultimo può determinare sull'ambiente e sulla comunità locale. Sotto questo profilo è opportuno considerare che il metano, in quanto dotato di GWP<sup>20</sup> pari a 21 volte quello dell'anidride carbonica, è molto più dannoso per l'ambiente rispetto alla CO<sub>2</sub>; in altri termini, eventuali perdite di GNL contribuiscono al riscaldamento globale e al cambiamento climatico in modo più incisivo.

Per evitare che si formino emissioni di gas naturale sia in caso di emergenza eccezionale sia durante il normale esercizio dell'impianto e la consueta attività di trasferimento del prodotto dalla nave al serbatoio, esistono molteplici soluzioni tecniche: ad esempio il sistema di recupero del *Boil-Off-Gas* (BOG). Il *Boil-Off Gas* (BOG) si produce per evaporazione del GNL a causa del calore trasmesso dall'esterno del serbatoio al prodotto stoccato al suo interno. Nel BOG sono presenti, in piccole tracce, i componenti infiammabili più pesanti della miscela, cioè quelli dotati di temperature di

---

<sup>20</sup> Il Global Warming Potential (GWP, in italiano potenziale o indice di riscaldamento globale) è un indice impiegato per determinare quanto un gas contribuisce a riscaldare l'atmosfera in uno specifico intervallo di tempo (normalmente si considera 20, 100 o 500 anni). Esso viene calcolato in rapporto al GWP di 1 Kg di CO<sub>2</sub> per 100 anni, infatti, il metano, dotato di GWP pari a 25, risulta 25 volte più potente rispetto alla CO<sub>2</sub> nel riscaldare il clima. Di conseguenza, diminuire l'emissione in atmosfera di gas ad alto GWP è un modo efficace per diminuire le emissioni di equivalenti di CO<sub>2</sub>.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto



ebollizione a pressione atmosferica molto maggiori rispetto al metano ( $-89^{\circ}\text{C}$  per l'etano,  $-40^{\circ}\text{C}$  per il propano). Inoltre, il BOG ha densità maggiore rispetto all'aria per temperature inferiori a  $-113^{\circ}\text{C}$ , in assenza di azoto, o  $-85^{\circ}\text{C}$  in presenza del 20% di azoto. Al raggiungimento della temperatura citata il BOG ha una densità pari a quella dell'aria, mentre a temperature superiori la densità si riduce, infatti, a temperatura ambiente, la densità è circa il 60% di quella dell'aria. Il BOG si comporta quindi, in presenza di temperatura inferiore a  $-113^{\circ}\text{C}$  (o a  $-85^{\circ}\text{C}$  in presenza di azoto al 20%), come un gas pesante, tendendo a stratificare verso il basso, mentre, a temperatura superiore a  $-113^{\circ}\text{C}$ , come un gas leggero.

Come accade per esempio a Panigaglia, dove il sistema di recupero di GNL si compone di compressori criogenici (per una capacità di rigassificazione giornaliera massima di GNL pari a  $17.500\text{ m}^3$ ), il recupero del gas avviene nella colonna di assorbimento per condensazione dei vapori a spese del GNL sottoraffreddato.

Gli impianti di “riliquefazione” hanno lo scopo di liquefare nuovamente il gas che inevitabilmente si forma nello spazio compreso tra la superficie del carico e il tetto di copertura della cisterna, altrimenti, in assenza del presente impianto, i suddetti gas contribuirebbero ad aumentare la pressione all'interno della cisterna, facendo così scattare la valvola di sicurezza per poi disperdersi nell'atmosfera. Il principio di funzionamento di tale impianto è il seguente: il gas *Boil Off* vengono compressi mediante un compressore, raffreddati in un condensatore mediante un liquido refrigerante (volto ad eliminare il calore generato dalla compressione stessa) e, infine, lasciati espandere nella cisterna. In questo contesto l'espansione genera un abbassamento della temperatura, requisito fondamentale alla cosiddetta fase di “riliquefazione”.

### 3.2.2 Contatto con il GNL

Siccome il GNL a pressione atmosferica rimane allo stato liquido fino a circa  $-162^{\circ}\text{C}$ , le strutture volte all'impiego di tale carburante risultano pericolose, soprattutto in caso di un eventuale contatto tra il combustibile e personale dipendente impiegato nelle aree di *bunkering* o altri operatori. In realtà,

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

il presente rischio riguarda anche l'eventuale contatto tra il GNL ed elementi quali merci trasportate, attrezzature non adatte alla suddetta contiguità o, ancora, materiali della nave o altra strumentazione/equipment ubicato in prossimità. In caso di esposizione e contatto tra il GNL e il personale, si può incorrere in "ustioni da gelo", nel caso in cui il liquido venga a contatto con la pelle, ma anche in gravi danni ai polmoni e all'apparato respiratorio dovuti all'inalazione di vapore a temperature estremamente ridotte (almeno nei primi istanti in cui esso si origina). Inoltre, il contatto tra il GNL e lo scafo della nave, per non parlare di tutti gli altri materiali, strumenti o componenti non idonei rispetto alle temperature criogeniche, può condurre al danneggiamento e persino alla rottura di tali oggetti.

In ragione di quanto sopra, è necessario che il personale impiegato nelle attività di *bunkering* e di stoccaggio di GNL siano dotati di strumenti ed attrezzature di protezione idonee rispetto all'esposizione a tale combustibile (ivi inclusi guanti, maschere, vestiario adeguato, ecc.). Ovviamente questo potenziale pericolo è limitato esclusivamente entro i confini della struttura, senza influire sulle comunità locali vicine.

Al tempo stesso, per quanto concerne i rischi connessi a strumentazioni e attrezzature è indispensabile la realizzazione di sistemi di contenimento del liquido, volti a separare il serbatoio dall'ambiente esterno e quindi da altri macchinari e apparecchiature vicini. Spesso questo aspetto non viene trattato in modo approfondito negli studi poiché le conseguenze causate dal presente fenomeno non vengono considerate particolarmente gravi, se confrontate con gli altri rischi potenziali connessi al GNL. Normalmente i sistemi di contenimento attorno al dispositivo di stoccaggio di GNL vengono progettati per contenere fino al 110% della capacità del serbatoio stesso.

### **3.2.3 Stratificazione e roll-over**

Il fenomeno del "rollover" si verifica frequentemente durante le operazioni di riempimento di un serbatoio di stoccaggio di GNL: infatti, quando, viene introdotto nel serbatoio del GNL a densità differente da quello già presente, fatto che accade piuttosto spesso date le temperature generalmente

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

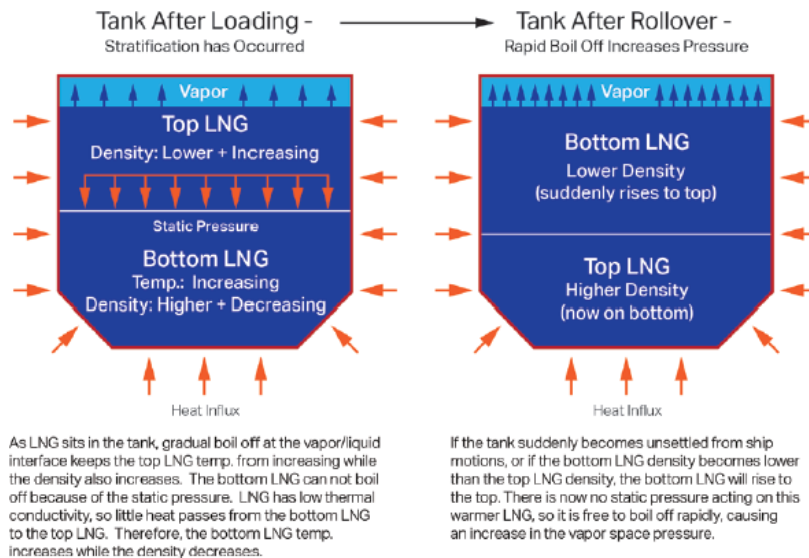




diverse, il GNL dotato di densità maggiore tenderà a stratificare sul fondo. Tuttavia, il fondo del serbatoio inizierà ad aumentarne la temperatura, determinando non solo una riduzione della densità presente, ma anche un brusco incremento della velocità di evaporazione, con conseguente emissione di notevoli quantità di gas. Nel caso in cui non vi siano mescolamenti o movimenti bruschi all'interno del serbatoio, normalmente si verifica una riduzione della pressione idrostatica esercitata dal GNL dotato di densità inferiore (posto nello stato superiore) che impedisce l'evaporazione del liquido sottostante.

In presenza di una differenza di densità troppo elevata, si può verificare un'alterazione della quiete con conseguente mescolamento degli strati a diversa densità che comporta il contatto tra il GNL a maggior tensione di vapore e la zona soprastante a minor pressione. Come si vede in Figura 15, il fenomeno noto come “*rollover*”, può comportare una veloce evaporazione del liquido, che si traduce in un rapido aumento della pressione all'interno del serbatoio. In questo contesto si attivano le valvole di sfogo e viene rilasciata una grande quantità di gas naturale.

**Figura 15. Il fenomeno del rollover**



**Fonte: Stavros, 2015 (Technological Guidance on LNG Bunker Vessels and Barges - American Bureau of Shipping)**

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto



Normalmente il fenomeno di rollover interessa soprattutto i serbatoi a terra presenti nei terminal di rifornimento; al contrario, per le navi sussiste una minore probabilità di accadimento di tale fenomeno a causa dei molteplici movimenti durante la navigazione i quali inducono un continuo mescolamento, salvo il caso di unità ferme in porto.

Al fine di prevenire il fenomeno del *rollover*, è fondamentale, durante la fase di *bunkering*, garantire la miscelazione del prodotto fresco con il prodotto già presente all'interno del serbatoio (ad esempio mediante un sistema di ugelli). Un ulteriore metodo volto a ridurre il rischio che si verifichi il presente fenomeno consiste nell'utilizzo dei sistemi di riempimento sopra e sotto il serbatoio, a seconda della densità propria del GNL da immettere all'interno. In questo contesto, se il GNL introdotto risulta avere densità minore rispetto a quello già presente nel serbatoio, occorre impiegare il sistema di riempimento "inferiore": in questo modo il liquido immesso tenderà a salire verso l'alto spinto dalla minor densità, causando il mescolamento necessario a prevenire la stratificazione. Al contrario, se il GNL introdotto ha densità maggiore di quello presente, è possibile impiegare il sistema di riempimento "superiore".

Oltre che in assenza del mescolamento del GNL durante la fase di *bunkering*, il *rollover* si manifesta più frequentemente in presenza di serbatoi ad asse verticale di grande volumetria ed operanti a pressione atmosferica. Siccome il *rollover* comporta la formazione repentina di una grande quantità di vapore, quest'ultimo, come già indicato deve essere rilasciato da appositi sistemi di sicurezza quali valvole di sfiato volte; nel caso in cui i presenti sistemi non funzionino o risultino sottodimensionati, il fenomeno può portare alla rottura del serbatoio stesso.

### 3.2.4 Sloshing

Il fenomeno dello *sloshing* si verifica quando i serbatoi di GNL nelle navi non sono completamente pieni. Durante la navigazione, infatti, il carburante presente nelle cisterne impatta con elevata pressione sulla superficie e sulle pareti del serbatoio, comportando di conseguenza gravi danni alla struttura (Danish Maritime Authority, 2012). Ovviamente, fattori quali la forma e la struttura del

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

serbatoio incidono sul modo in cui i fluidi nel serbatoio rispondono al movimento dell'unità in navigazione. Anche eventi riconducibili a condizioni meteomarine avverse possono contribuire all'insorgere di problemi di manovra e di posizionamento della nave, con conseguente innescamento del fenomeno dello *sloshing*.

Il fenomeno di *sloshing*, pertanto, si verifica più frequentemente in unità di minori dimensioni, in quanto il movimento tende ad essere maggiore e, di conseguenza, ad avere impatti significativi.

La tecnologia SPB (*Self Supporting Prismatic IMO type B*), sviluppato all'inizio degli anni '80 dal cantiere giapponese Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co.Ltd, viene spesso implementata al fine di sopportare le sollecitazioni dovute al fenomeno dello "*sloshing*". Il presente sistema a cisterne prismatiche consiste in una cisterna realizzata in alluminio A 5038-0 avente, appunto, forma prismatica con elementi strutturali di rinforzo interni alla cisterna stessa (si tratta di appoggi cuneiformi in speciale legno rinforzato).

I serbatoi della nave sono separati sia dagli altri compartimenti che tra di loro tramite appositi compartimenti stagni trasversali: infatti il serbatoio presenta all'interno una divisione longitudinale, costituita da una paratia stagna, e una divisione trasversale ottagonale (che coincide con la carena interna di supporto), realizzata per mezzo di paratie forate capaci di ridurre i movimenti del GNL e il relativo effetto *sloshing*, permettendo di conseguenza il riempimento dei serbatoi senza limiti operativi.

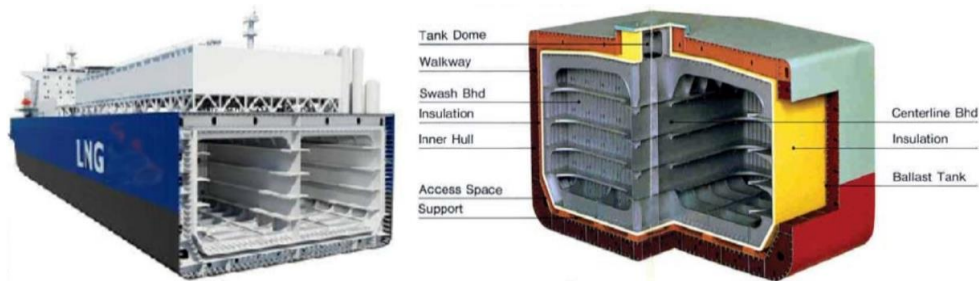
Inoltre, il serbatoio di tipo SPB è costituito da un sistema di isolamento realizzato in pannelli prefabbricati di schiuma poliuretanic coperti con PVC. La presente tecnologia di stoccaggio non necessita di attività di controllo della pressione differenziale tra il serbatoio e lo scafo; inoltre il vuoto presente tra lo scafo interno ed il serbatoio viene utilizzato come spazio di ispezione, al fine di facilitare sia le attività di controllo sia quelle di manutenzione. Al contrario, gli spazi tra lo scafo interno e quello esterno vengono utilizzati per la zavorra ed hanno inoltre la funzione di proteggere il serbatoio in caso di situazioni di emergenza quali collisione, arenamento, ecc. Lo spazio attorno ai serbatoi di GNL destinato alla zavorra, è diviso rispettivamente in quattro serbatoi: due serbatoi doppi

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

sul fondo e due serbatoi laterali (verso il boccaporto e verso dritta<sup>21</sup>). Di conseguenza l’acqua di zavorra scorre attraverso il dotto del tubo per mezzo di apposite valvole (Gianelli et al, 2008). Nella Figura 16 si riporta una sezione di serbatoi *Self Supporting Prismatic – Type B (SPB)*, con indicazione dei principali profili tecnologici rilevanti.

**Figura 16. Sistema di serbatoi di stoccaggio di tipo Self Support Prismatic type B (SPB)**



Fonte: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/independent-tank>

### 3.2.5 Transizione rapida di fase (RapidPhaseTransition)

Il fenomeno noto come “transizione rapida di fase” (o *RapidPhaseTransition- RPT*), consiste in cambiamento fisico di fase di un liquido in vapore: normalmente si verifica quando due liquidi, dotati di temperatura molto diversa tra loro, vengono a contatto, ad esempio quando una grande quantità di GNL viene riversata in acqua (Uguccione et al., 2006; Foss, 2006; Danish Maritime Authority, 2012; Vandebroek e Berghmans, 2012). Il liquido a temperatura minore (in questo caso il GNL), una volta venuto a contatto con l’acqua, dotata di temperatura decisamente superiore, subisce quindi una rapida transizione dallo stato liquido a quello gassoso (una vera e propria ebollizione), producendo vapore a velocità esplosiva (Figura 17).

<sup>21</sup> Con il termine “dritta” si intende il lato destro dell’imbarcazione guardando verso prua.

**Figura 17. RapidPhase Transition (RPT) di GNL**



Fonte: Niedelka D., Sauter V., GoanvicJ., Ohba R., “Last developments in Rapid Phase Transition knowledge and modeling techniques, Offshore Technology conference”, OTC 15228, Maggio 2003

Il presente brusco passaggio di fase viene accompagnato da onde di pressione, analogamente a quanto si verifica nel caso di un’esplosione; tuttavia, nel caso di RPT non ha luogo combustione. Questa trasformazione viene considerata un’espansione meccanica che dà origine al rilascio di una grande quantità di energia: alcuni studi effettuati al riguardo, infatti, hanno dimostrato che gli effetti di questo fenomeno sono generalmente limitati all’area in cui avviene la perdita.

Sebbene non si verifichi una combustione, la probabilità di incorrere nel fenomeno di transizione rapida di fase viene correlata non solo alla temperatura e alla penetrazione del GNL nell’acqua, ma anche alla presenza di altre sostanze diverse dal metano, come etano, propano e butano.

In particolare, l’RPT costituisce un rischio concreto e significativo durante lo svolgimento delle operazioni di *bunkering* in ambito marittimo portuale.

### **3.2.6 Bleve (boiling liquid expanding vapour explosion)**

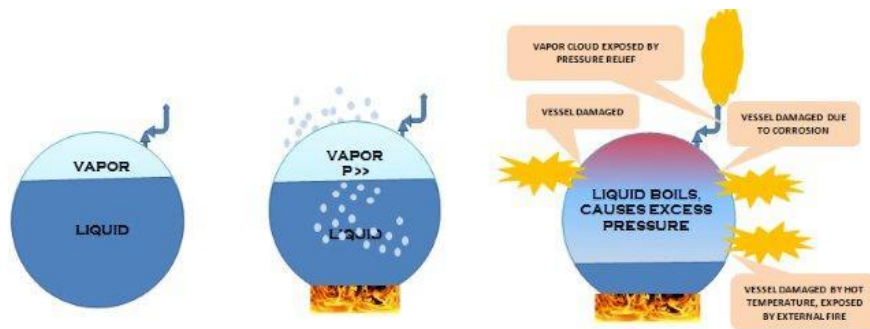
Un ulteriore rischio che contribuisce ad incrementare le problematiche di *safety&security* in relazione alle operazioni di bunkeraggio di GNL in ambito portuale è connesso al fenomeno noto come *Boiling Liquid Expanding Vapour Explosions* (in acronimo BLEVE). Il presente termine indica l’esplosione dei vapori che si espandono a causa dell’ebollizione di un liquido, ossia una tipologia di esplosione che avviene in concomitanza con la rottura di un recipiente in pressione. Questo può verificarsi in

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

caso di rapida fuoriuscita, se si genera una vampata di gas ad alta velocità con moto turbolento, ma anche in caso di impatto da cui deriva la formazione di frammenti (Vanderbroek e Berghmans, 2012). Ovviamente la presente tipologia di esplosione può risultare estremamente pericolosa anche causa dell'onda d'urto e della proiezione dei frammenti del recipiente che sono associati all'esplosione. Tale fenomeno è infatti spesso accompagnato dal *flash* della parte di liquido ancora presente nel serbatoio al momento della rottura, in quanto la nuvola di vapore generata a partire dall'esplosione può fungere da innesco per altre sostanze infiammabili presenti in un raggio anche molto ampio. Il fenomeno "BLEVE" può essere anche causato dal surriscaldamento di un serbatoio contenente un gas liquefatto; in termini di prevenzione, i serbatoi di GNL devono provvisti di valvole di sfogo tarate per permettere l'evacuazione del gas evitando l'esplosione del contenitore stesso, anche se permane il rischio (più o meno remoto) che la valvola non riesca a far fuoriuscire una quantità sufficiente di vapore, provocando il fenomeno sopraccitato<sup>22</sup>. Inoltre, tale fenomeno risulta essere meno probabile se il contenitore in questione è protetto ed isolato termicamente. Nella Figura 18 vengono rappresentati alcuni eventi che possono portare al verificarsi del fenomeno BLEVE.

**Figura 18. Fenomeno BLEVE**



Fonte: <https://www.marineinsight.com/tech/what-is-boiling-liquid-expanding-vapour-explosion-bleve-on-gas-carrier-ships/>

<sup>22</sup>Fonte: <https://it.wikipedia.org/wiki/BLEVE>.

Alcuni recenti studi (Uguccione et al., 2006), hanno messo in evidenza come il fenomeno “BLEVE”, generalmente associato ai gas liquefatti in pressione, non sussiste nel caso di GNL in quanto stoccato a pressione atmosferica.

### 3.2.7 Esplosione nube di vapore (Vapor Cloud Explosion)

Con la denominazione *Vapour Cloud Explosion* (VCE) si intende il fenomeno per cui una grande quantità di vapore di GNL viene innescata in un ambiente confinato (o quasi), provocando un’esplosione (Foss, 2006; Vanderbroek e Berghmans, 2012).

Dal punto di vista pratico, quando il GNL inizia a scaldarsi a contatto con l’aria (più leggera e con dotata di temperatura più elevata rispetto al GNL), si mescola con la stessa e inizia a disperdersi, creando una sorta di nuvola di vapore (*vapourcloud*). Quest’ultima sarà soggetta ad esplosione soltanto nel caso in cui, oltre ad essere dotata di una concentrazione di GNL compresa nell’intervallo di infiammabilità, la medesima entri in contatto con una fonte di accensione.

Secondo una parte della letteratura (Uguccione et al., 2006), il presente fenomeno non può verificarsi in spazi aperti, poiché la combustione procede talmente lentamente che il vapore tende ad aumentare la sua quota a seguito del calore generato (le sovrappressioni sono considerate trascurabili<sup>23</sup>). Similmente, il rischio di esplosione dell’intera massa di GNL stoccato all’interno dei serbatoi a terra e/o a bordo nave non rappresenta un evento possibile dal punto di vista fisico in quanto il GNL che satura i serbatoi di stoccaggio non è miscelato con aria e quindi non si trova nel campo di infiammabilità (Uguccione et al., 2006). Secondo altri studi (Gavenelli et al., 2011), questo tipo di rischio invece può sussistere nel caso di navi metaniere (LNG carrier), qualora si verificino specifiche condizioni di contesto come riportato in Figura 19.

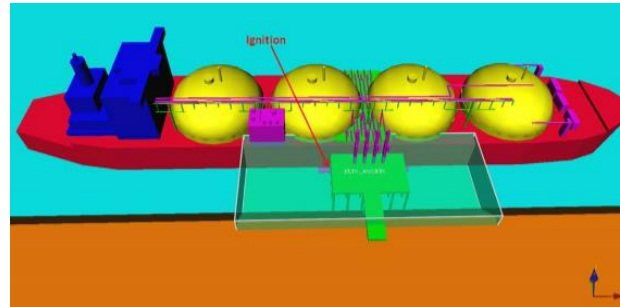
---

<sup>23</sup> Al contrario si possono generare sovrappressioni significative quando la combustione avviene in aree congestionate o confinate, determinando esplosioni con effetti più gravi.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

Figura 19. Possibile scenario di VCE nel caso di metaniera ormeggiata



Fonte: Gavelli et al., 2011

### 3.2.8 Jet fire, pool fire e flash fire

In caso di rilascio di GNL, l’innesco immediato del GNL comporta l’origine di un “*jet fire*” (anche chiamato “*sprayfire*”) o un “*poolfire*”, in funzione della fase rilasciata e della frazione di liquido in grado di accumularsi sul terreno. Se non accadono tali eventi la dispersione del getto di gas o l’evaporazione della pozza di materiale infiammabile creano una nube infiammabile in grado di originare, in caso di innesco ritardato, un “*flash fire*”; inoltre, nel caso in cui tale nube raggiunga un’area confinata, è probabile che si verifichi un’esplosione, in seguito all’innesco.

Di seguito identifichiamo i tre fenomeni distinti: “*jetfire*”, “*poolfire*” e “*flashfire*”.

Il fenomeno noto come “*jetfire*” o “*sprayfire*” consiste nella formazione di un getto di fuoco dalla diffusione piuttosto violenta; esso viene generato a partire dall’ignizione di una miscela composta da un comburente e un combustibile gassoso rilasciato in modo continuativo, mediante una forza significativa, in una o più direzioni. In questo caso, il gas viene innescato immediatamente a valle della perdita di GNL. Al contrario, in caso di innesco ritardato ha luogo il fenomeno di *flashfire*, il quale tornando all’origine potrebbe determinare un fenomeno di *jetfire* (Uguccione et al., 2006; Vandebroek e Berghmans, 2012).

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto





Normalmente il *jet fire* ha origine a partire da una fuga di sostanze gassose infiammabili scaturita da un'incidentale foratura di serbatoi pressurizzati o tubazioni<sup>24</sup>. Il getto di GNL che fuoriesce in atmosfera evapora e si espande simultaneamente, miscelandosi con l'aria con cui entra in contatto, generando veri e propri dardi di fuoco. Questo fenomeno può determinare differenti effetti e conseguenze in relazione alle specifiche condizioni in cui lo stesso fenomeno si verifica:

- La distanza raggiunta dal “*jet*”;
- La quantità di combustibile interessata dalla combustione;
- La distanza dal foro del punto d'ignizione.

A loro volta, i parametri sopracitati possono essere influenzati da altre condizioni che contribuiscono ad aggravare o meno l'evoluzione, i risvolti e gli effetti dell'incidente: tra esse troviamo la pressione interna al componente forato, la grandezza del foro e l'attrito del gas fuoriuscente, il quale può dare avvio all'ignizione.

Il fenomeno di *jet fire* può verificarsi con innesco immediato oppure ritardato, qualora si verifichi la formazione di una nube infiammabile di grandi dimensioni. In quest'ultimo caso (innesco ritardato) è possibile che ne consegua un'esplosione qualora il rilascio gassoso avvenga in uno spazio confinato o congestionato oppure qualora si sia precedentemente creata una nube di dimensioni tali per cui il fronte di fiamma acceleri sino a raggiungere velocità significative, capaci di produrre fenomeni deflagranti<sup>25</sup>. La repentina rilevazione di questo fenomeno consente di ridurre significativamente non solo la probabilità di eventi incidentali ma anche la gravità e pericolosità delle relative conseguenze. La Figura 20 riporta un esempio di albero degli eventi relativo al rilascio di GNL in area non confinata.

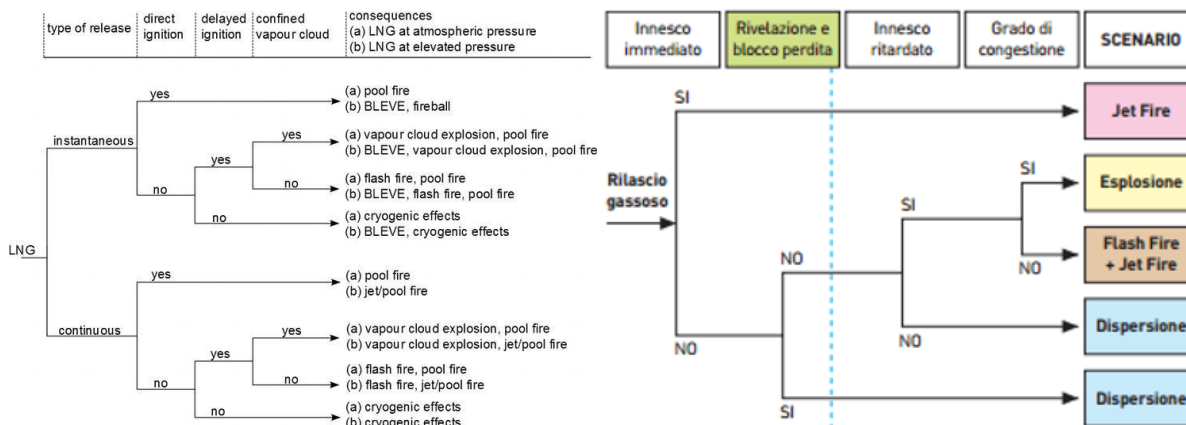
<sup>24</sup> Il Decreto Ministeriale del 24 novembre 1984 “Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8” presenta le tabelle riassuntive atte ad indicare l'irraggiamento termico in grado di provocare gravi danni alle strutture e alle apparecchiature, oppure lesioni al personale eventualmente esposto.

<sup>25</sup> Il termine tecnico “deflagrazione” descrive una combustione subsonica che usualmente si propaga tramite conduzione; la deflagrazione è caratterizzata da una significativa diminuzione della densità del gas e da una leggera caduta di pressione. (fonte: <https://it.wikipedia.org/wiki/Deflagrazione>).

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

**Figura 20. Albero degli eventi relativo al rilascio di GNL**



Fonte: Norma ISO/TS 18683, per la figura di sinistra; Andreolli, Il perito Industriale, 2007 (“Prevenire il Jet Fire: alla scoperta di nuove soluzioni”) per la figura di destra.

Sotto questo profilo, al fine di assicurare adeguati livelli di *safety&security* nell’ambito delle operazioni di *bunkering* di GNL, è fondamentale adottare adeguate precauzioni a livello impiantistico allo scopo di minimizzare il rischio che si verifichino i succitati fenomeni. Da questo punto di vista, sono disponibili diversi codici e normative di riferimento (emanati da istituti come ASME<sup>26</sup>, ANSI<sup>27</sup>, API<sup>28</sup>, ecc.) che forniscono indicazioni puntuali in merito alle verifiche da condurre in relazione al dimensionamento dei sistemi di *piping* e dei serbatoi allo scopo di minimizzare i rischi richiamati. Di seguito si riportano alcuni esempi di precauzioni di tipo impiantistico e verifiche/controlli periodici:

- Esecuzione di collaudi dei componenti;
- Impiego di valvole di sicurezza e componenti “frangi fiamma”;

<sup>26</sup> American Society of Mechanical Engineers.

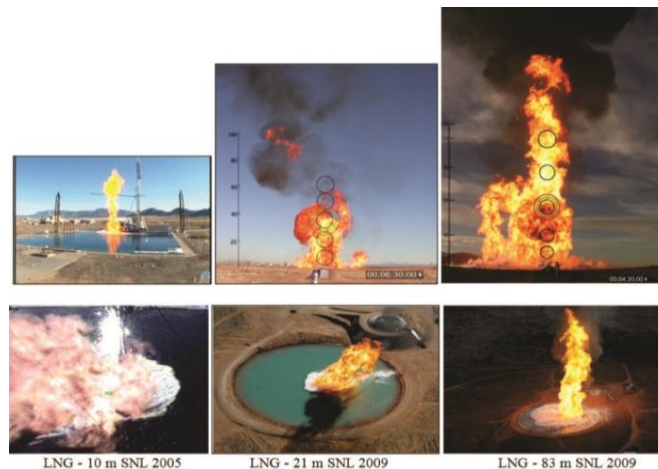
<sup>27</sup> American National Standards Institute.

<sup>28</sup> American Petroleum Institute.

- Inserimento all'interno dell'impianto di protezioni rispetto al verificarsi di scariche atmosferiche;
- Impiego di opportuni sistemi di contenimento e di segregazione;
- Piena osservanza delle distanze di sicurezza rispetto a potenziali fonti di rischio;
- Certificazione delle saldature e delle procedure previste per la manutenzione;
- Minimizzazione del numero di giunzioni e frangiture all'interno del sistema di *bunkering* del GNL.

In letteratura (Danish Maritime Authority, 2012; Vandebroek e Berghmans), il termine “*poolfire*” indica il fenomeno cosiddetto “incendio di pozza”: come si può notare in Figura 21, tale fenomeno, scarsamente probabile per la rapida vaporizzazione del GNL che viene rilasciato (Uguccioni et al., 2006), può verificarsi in presenza di una quantità di GNL presente su una superficie piana solida orizzontale o sulla superficie dell'acqua a seguito di una perdita.

**Figura 21. GNL e pool fire: alcuni esempi**



**Fonte: Blanchat et al., 2013**

In questo contesto, il liquido costituente la pozza in oggetto comincia ad evaporare mescolandosi con l'aria circostante e, nel caso in cui venga raggiunta la concentrazione minima per la combustione in

TDI RETE-GNL

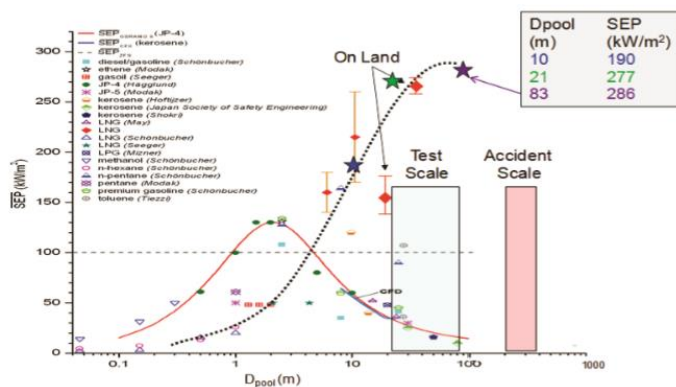
Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

presenza di una sorgente di innesco, il gas comincia a bruciare, generando così calore; ovviamente la radiazione termica diminuisce all'aumentare della distanza rispetto alla pozza da cui ha origine il vapore.

Normalmente il fenomeno del *poolfire* si verifica nel caso di rilasci istantanei di grandi quantità di GNL oppure in presenza di rilasci ostacolati. In ambito marittimo portuale però, il *poolfire* ha una probabilità più elevata di verificarsi quando sussiste una perdita di GNL a seguito, ad esempio, di un impatto tra navi, poiché il contatto brusco tra i due scafi in metallo contribuisce a generare scintille che innescano il vapore prodotto.

Per questo motivo, recentemente sono stati condotti molteplici studi volti a testare opzioni progettuali e tecnologie volte a ridurre questo tipo di rischi, soprattutto con riferimento alle navi metaniere (Blanchat et al., 2013). Sotto questo profilo, i parametri più rilevanti da considerare sono il diametro della pozza (*pool diameter*) e il *Surface Emission Power* (SEP<sup>29</sup>), che variano in ragione del tipo di combustibile (Figura 22).

Figura 22. Pool diameter e surface emission power per diverse tipologie di combustibili



Fonte: Blanchat et al., 2013

<sup>29</sup> Si definisce “Potere Emissivo” di una Superficie (in inglese “*Surface Emission Power*”) il flusso di calore derivante dalla radiazione termica di una fiamma, espresso in W/m<sup>2</sup> (fonte: ARPAV, Allegato: Metodologia di approccio per l’identificazione e la valutazione del rischio di effetto domino nell’industria di processo). Tale parametro risulta essere direttamente proporzionale all’emittanza (W), ossia la potenza emessa per unità di superficie, e inversamente proporzionale all’area della superficie emittente (m<sup>2</sup>).

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto

Con il termine “*flash fire*” si intende il fenomeno di combustione “rapida” non esplosiva originata a partire dalla formazione di una nube di gas in un ambiente in cui la concentrazione di GNL supera il *Lower Flammable Limit* (Uguccioni et al., 2006; Vandebroek et al., 2012). Siccome il metano consiste in un gas scarsamente reattivo, la possibilità di generazione di un’onda d’urto è limitata ai soli casi di nube confinata o di presenza di elevati gradi di congestione di impianto; infatti, il fenomeno del *flash fire* si verifica in presenza di nubi di gas sviluppatasi in ambiente non confinato (ad esempio può essere innescato in seguito al rilascio di GNL all’aria aperta).

**Figura 23. Esempio di fenomeno di flash fire prodotto da fuoriuscita di GNL**



**Fonte:** “Effective fire-fighting strategies for LNG during bunkering” Dimitrios- Dalaklis Assistant Professor (Safety & Security)

In quanto sviluppati prettamente all’aperto e caratterizzati da una bassa densità di apparecchiature e tubazioni, i terminali GNL sono spesso oggetto del presente fenomeno. Infatti, prima di trovare una fonte di innesco, la succitata nube di gas riesce ad estendersi in modo significativo nello spazio circostante tutte le aree dedicate alle attività di *bunkering*. Pertanto, non appena si verifica l’inizio della combustione, quest’ultima continua finché la concentrazione è tale da permetterlo, fino a tornare alla sorgente della perdita di gas.

Questo fenomeno può determinare rischi elevati per la sicurezza del personale coinvolto nelle *operations*, soprattutto nel caso in cui sul luogo di origine della perdita di GNL si trovi una pozza di accumulo di GNL: questo contesto può generare incidenti gravi quali il “*jet fire*” o il “*pool fire*”, che

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

verranno trattati nei paragrafi successivi. Mentre il *flash fire* risulta fatale per i soggetti eventualmente presenti all'interno dello stesso, la radiazione complessiva generata attorno al *flash fire* risulta notevolmente più contenuta rispetto ai fenomeni di *pool* o *jet fire* (considerando le medesime distanze), in quanto questi ultimi presentano una durata temporale di manifestazione significativamente superiore (Woodward e Pitbaldo, 2010).

Dopo aver fornito le definizioni di “*flashfire*”, “*jetfire*” e “*poolfire*”, è opportuno chiarire le condizioni in cui è più frequente che gli stessi si verifichino. Normalmente, in caso di rilascio di GNL, l'innescò comporta l'origine di un *jetfire* o di un *poolfire*, in relazione alla stessa fase di rilascio e unitamente alla frazione di liquido in grado di accumularsi sul terreno. In caso di assenza degli eventi appena citati, la dispersione del getto di gas o l'evaporazione della pozza di materiale infiammabile creano una nube, appunto, infiammabile che, in caso di innescò ritardato, causa un *flashfire*. In caso di innescò e nella situazione in cui tale nube raggiunga un'area confinata, è altresì probabile un'esplosione.

### 3.2.9 Asfissia

Benché il gas naturale non sia tossico o cancerogeno, può risultare asfissiante, perché contribuisce a diminuire la percentuale di ossigeno nell'aria, sostituendosi direttamente ad esso (Danish Maritime Authority, 2012). Questo rischio appare più elevato, quando ci si trovi in spazi chiusi, come arre interne ai terminali o serbatoi, oppure in presenza di un rilascio consistente di gas in un'area aperta ma in netta prossimità di persone, generando, nel peggiore dei casi, la morte per asfissia.

Proprio dal presente fattore di rischio, è divenuto fondamentale garantire la presenza di appositi e sofisticati sistemi per il controllo continuo della concentrazione di ossigeno, in particolare negli ambienti chiusi, soprattutto in ragione del fatto che il GNL risulta inodore e incolore.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

### 3.2.10 Terrorismo

Tenuto conto dei molteplici rischi connessi al regolare svolgimento delle operazioni di *bunkering* e di stoccaggio di GNL, larga parte della letteratura ha posto in evidenza la necessità di proteggere da atti di violenza o di terrorismo le strutture e gli impianti che trattano questo tipo di combustibile (Danish Maritime Authority, 2012; Foss, 2006). Questo richiede la messa a punto di specifici sistemi e procedure per la protezione delle aree e degli impianti in oggetto; tuttavia, è opportuno precisare che i serbatoi a terra per il contenimento di GNL, se realizzati secondo le regole e le normative imposte, anche per motivi di sicurezza, necessitano di significative quantità di energia per la loro manomissione. Di conseguenza, la probabilità del rischio che si verifichino attacchi terroristici è connessa al caso di incendio, rispetto a quello di un'esplosione. Dal punto di vista teorico, invece, l'impatto di un aereo in prossimità di un terminale di GNL causerebbe dapprima la combustione del combustibile dell'aereo, e, solo successivamente, l'innesco dei vapori di GNL, a causa del calore sviluppato.

Per ridurre i rischi di danni a persone, strutture e attrezzature, è fondamentale definire apposite distanze di sicurezza e specifiche procedure autorizzative per l'accesso alle zone più sensibili e critiche. Ulteriori contromisure per prevenire attacchi terroristici o altri atti violenti sono costituite da ispezioni, pattugliamenti, piani di sicurezza in caso di breccia nella sicurezza e sistemi di comunicazione di emergenza.

### 3.2.11 Terremoti

Un'adeguata valutazione dei rischi connessi ad un impianto di bunkeraggio e stoccaggio di GNL deve considerare anche l'eventualità di attività sismica della zona in cui esso risiede. Tale valutazione deve essere effettuata opportunamente in fase progettuale mediante appositi studi tecnici.

Se la realizzazione dell'infrastruttura per il GNL non viene effettuata considerando il suddetto profilo di rischio, sussiste la possibilità che, in caso di terremoto, possano verificarsi gravi danni alle strutture impiantistiche, a cui possono fare seguito eventi incidentali di grave entità.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto





Anche sotto questo profilo è opportuno però precisare che, ad oggi, non si sono verificati incidenti collegati direttamente all'attività sismica, anche se, nel 1995, un terremoto di magnitudo 6.8 della scala Richter ha avuto luogo in Giappone. Il terremoto non ha recato danni strutturali significativi ai serbatoi di stoccaggio del GNL degli impianti ubicati nelle aree interessate dal terremoto.

### **3.2.12 Considerazioni conclusive in merito alle perdite di GNL**

Dalle considerazioni riportate emerge chiaramente come i principali rischi connessi al *bunkering* e allo storage di GNL in ambito marittimo-portuale siano riconducibili al verificarsi di perdite di liquido criogenico, da cui possono originarsi differenti scenari incidenti possibili. Normalmente le perdite hanno luogo durante le operazioni di *bunkering*, ma esse possono verificarsi anche in seguito ad errori umani, guasti tecnici oppure in altri contesti come in presenza di eccessivo traffico marittimo in condizioni meteomarine estreme o durante la navigazione in prossimità di un'area portuale. In quest'ultimo caso, soltanto le collisioni ad elevata energia, ossia quando le navi coinvolte si urtano in modo perpendicolare, sono generalmente capaci di causare una perdita di combustibile.

Nel caso in cui le operazioni di *bunkering* avvengano in condizioni di mare mosso e, in particolare, in presenza di una configurazione di tipo STS, è necessario considerare il rischio connesso all'eccessivo movimento relativo non solo alle unità di approvvigionamento ma anche alle unità da rifornire, in quanto si può incorrere alla rottura dell'equipaggiamento impiegato nelle relative *operations*.

L'esame della letteratura sul tema e del track record storico consente di evidenziare l'assenza di casi di rilasci di elevati quantitativi di GNL dopo l'incidente di Cove Poin (USA) verificatosi nel 1979 (Foss, 2006; Uguccioni et al., 2006). I casi di incidenti di maggiore rilievo verificatosi più recentemente sembrano aver interessato esclusivamente alcuni fenomeni di incendio in prossimità di impianti di liquefazione che, tuttavia, hanno riguardato sistemi diversi rispetto a quelli impiegati nell'ambito delle fasi di stoccaggio e *bunkering* di GNL.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto





Per quanto attiene invece al traffico navale che interessa il GNL, non si sono mai verificati incidenti con perdite rilevanti di GNL, a seguito di impatti tra navi o a causa di arenamento. Gli unici incidenti verificatisi in passato hanno riscontrato significativi errori ed inadeguatezze dei sistemi impiegati: ad esempio l'incidente in Ohio nel 1944, citato da Foss (2006), si è verificato a causa dell'impiego di materiali non adatti per i serbatoi, causando la morte di 128 persone. A livello nazionale, più recentemente, nel terminale di Panigaglia si è verificato il fenomeno del *rollover*, che ha condotto alla definizione di nuovi e più sicuri criteri di progettazione, volti a evitare il manifestarsi di eventi analoghi in futuro.

In Figura 24 vengono riportate le principali cause che possono condurre a perdite di GNL, nonostante, come citato in precedenza, incidenti in ambito marittimo-portuale con perdite significative di gas liquefatto siano rari.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

Figura 24. Cause potenziali di perdite di GNL

Initiating Events	Common Causes
Leaks from LNG pumps, pipes, hoses or tanks 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion/erosion</li> <li>• Fatigue failure</li> <li>• Hose failure</li> <li>• Improper maintenance</li> <li>• Piping not cooled down prior to transfer</li> <li>• Seal failure</li> <li>• Use of inappropriate hoses (e.g., not LNG rated)</li> <li>• Vibration</li> <li>• Improper installation or handling</li> <li>• Improper bunkering procedures</li> </ul>
Inadvertent disconnection of hoses 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Improper hose connection</li> <li>• Hose failure</li> <li>• Excessive movement of the loading arm or transfer system</li> <li>• Inadequate mooring or mooring line failure</li> <li>• Supply truck drives or rolls away with hose still connected</li> <li>• Supply vessel drifts or sails away with hose still connected</li> <li>• Extreme weather (wind, sea state)</li> <li>• Natural disaster (e.g., earthquake)</li> </ul>
Overfilling/over pressuring vessel fuel tanks 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operator and level controller fail to stop flow when tank is full</li> </ul>
External impact 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargo or stores dropped on bunkering equipment (piping, hoses, tanks)</li> <li>• Another vessel collides with the receiving vessel</li> <li>• Vehicle collides with bunkering equipment</li> </ul>

Fonte: STAVROS, 2016 (“LNG Bunkering: Technical and operational Advisory”)

### 3.3 SISTEMI DI TRASFERIMENTO DEL GAS GNL

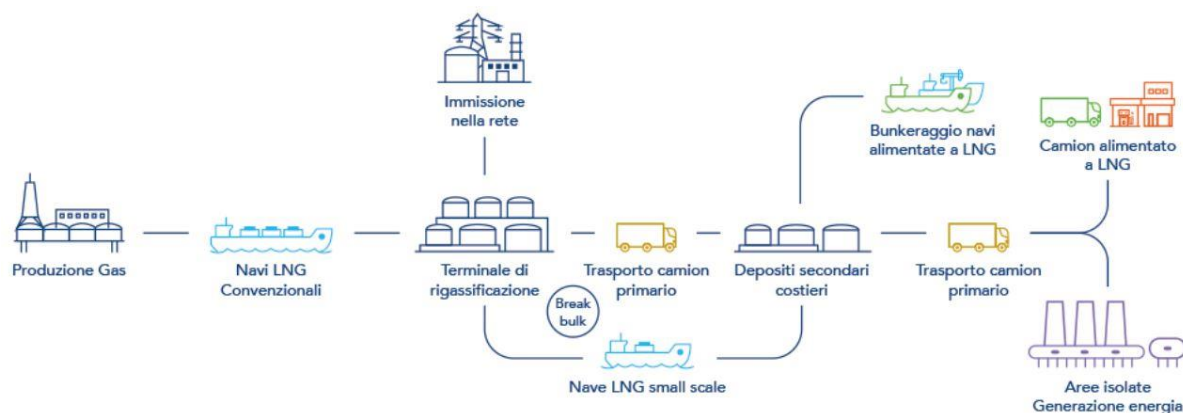
Osservando l’intera supply chain del GNL (Figura 25), è possibile identificare le diverse tipologie di mezzi di trasporto impiegati lungo l’intera filiera del GNL (sia lato mare che lato terra). Per quanto concerne il trasporto marittimo, vengono utilizzate le metaniere (navi LNG convenzionali), ossia navi ad alto contenuto tecnologico e con standard qualitativi impiantistici, di sicurezza e di protezione

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

ambientale tra i più elevati a livello internazionale. Una volta arrivato a destinazione, il GNL viene scaricato nel terminale di importazione, dove, al fine di raggiungere capillarmente l'intero territorio nazionale, può essere rigassificato e immesso nella rete oppure può essere trasportato allo stato liquido tramite autocisterne o piccole navi metaniere (navi SSLNG).

Figura 25. Supply chain del GNL



Fonte: <https://www.snam.it/en/Natural-gas/green-energy/liquefied-natural-gasLNGx/>

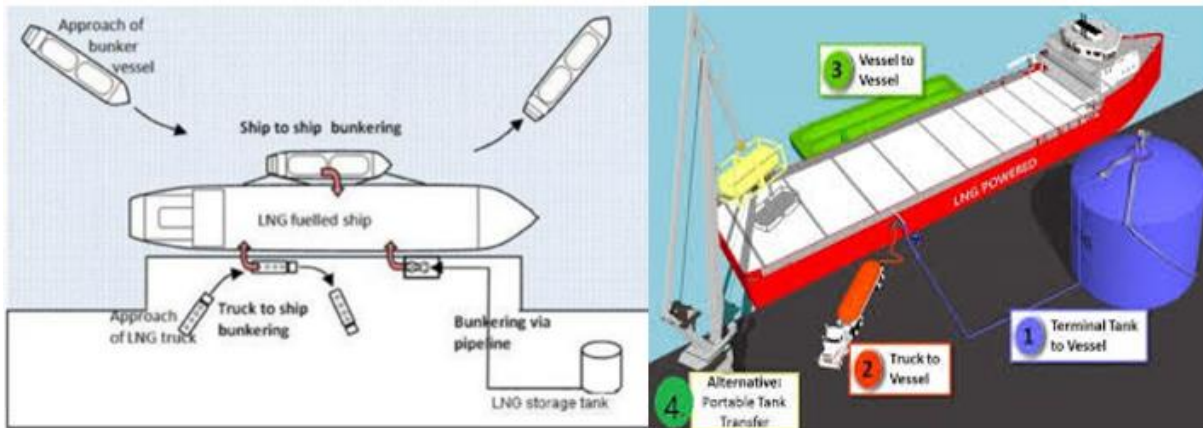
Considerate le caratteristiche tecniche del GNL di cui ai paragrafi precedenti e tenuto conto delle opzioni per il *bunkering* citate in letteratura, unitamente ai singoli sistemi presenti a livello internazionale ed europeo, è possibile individuare quattro principali configurazioni per il *bunkering* di GNL in ambito marittimo portuale (Figura 26):

- Configurazione Ship to Ship (STS);
- Configurazione Truck to Ship (TTS);
- Configurazione Via Pipeline o Terminal /Port To Ship(TPS);
- Configurazione Mobile Fuel Tanks.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

Figura 26. Potenziali configurazioni di bunkering di GNL



Fonte: DNV, 2015 (“LNG Bunkering. Regulatory Framework and LNG bunker procedures”).

Nei paragrafi di seguito verranno esplicitate le potenziali configurazione di *bunkering* di GNL e le relative caratteristiche tecnologiche, operative e tecniche, per non parlare degli specifici vantaggi in termini sia organizzativi sia economici e delle peculiari criticità sotto il profilo gestionale e di *safety&security* che caratterizzano le singole operazioni.

### 3.3.1 Configurazione ship to ship

La configurazione di bunkeraggio di tipo *Ship To Ship* prevede che una nave o una chiatta rifornitrice (c.d. bunkerina), dotata di specifici serbatoi per il trasporto di GNL, carichi il prodotto direttamente sulla nave da rifornire, garantendo così anche il rifornimento di navi impossibilitate ad approdare in certi porti dotati di deposito in loco, oppure presso un deposito costiero o un terminale che consegnino successivamente il GNL alla nave da rifornire.

La presente tipologia di configurazione deriva dall’esigenza di rispondere a richieste di trasferimento di significativi volumi di GNL (anche fino a 10.000 m<sup>3</sup>), in ragione di molteplici elementi. Innanzitutto, la capacità di stoccaggio dei serbatoi delle chiatte o delle navi di rifornimento sono notevolmente superiori rispetto a quella dei serbatoi di cui sono dotati in media i camion e le autobotti, impiegate nella configurazione di tipo TTS (DNV, 2014). Inoltre, la soluzione STS consente una più

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

elevata velocità di trasferimento del GNL tra i due natanti, anche fino a 1.000 m<sup>3</sup>/h. Ne consegue il vantaggio economico e gestionale della configurazione di tipo STS, anche in caso di rifornimento di navi operanti su brevi distanze e quindi che necessitano di minimizzare i tempi di permanenza presso le infrastrutture portuale per le attività di rifornimento, di carico/scarico delle merci, dei passeggeri, ecc.

**Figura 27. Rifornimento di GNL secondo configurazione STS**



Fonte: [https://www.trelleborg.com/en/marine-and-infrastructure/news--and--events/news/may2016\\_2](https://www.trelleborg.com/en/marine-and-infrastructure/news--and--events/news/may2016_2)

Il trasferimento del GNL tramite la presente configurazione prevede che la chiatta o la nave per il rifornimento venga riempita di GNL in precedenza presso un terminal o un impianto per lo stoccaggio di GNL all'interno del porto o in prossimità dello stesso, in ragione del fatto che la nave può, dal punto di vista operativo, spostarsi senza significative complicazioni. In caso di chiatte impiegate nell'ambito della presente configurazione tecnologica, spesso si rivela necessaria la presenza di appositi rimorchiatori che trainano o spingono l'unità fino ad affiancarla alla metaniera da rifornire. In presenza, invece, di navi da rifornimento di GNL di grandi dimensioni, tale unità navale può essere dotato a bordo di una gru e altre strutture per il sollevamento delle tubature di rifornimento di GNL (Figura 28).

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

Figura 28. Nave per il rifornimento di GNL della Argos secondo configurazione STS: rendering.



Fonte: <http://hhpinsight.com/>.

Normalmente l'operazione relativa al trasferimento del GNL dalla chiatta o dalla nave di rifornimento verso l'unità da rifornire non interferisce con le operazioni di carico/scarico delle merci o dei passeggeri, che possono quindi essere condotte simultaneamente alla fase di bunkeraggio, dal momento che la nave a propulsione GNL può attraccare su un lato della banchina per procedere nelle fasi di *handling* e, contemporaneamente essere affiancata da una "bunkerina" per le operazioni di bunkeraggio. Tale possibilità di condurre operazioni simultanee, definite SIMOPs, ossia *simultaneous operations*, richiede un'autorizzazione preventiva relativa alle attività da condurre rilasciata dalle autorità competenti soprattutto in ragione dei possibili ed eventuali rischi per persone, merci e mezzi che tali SIMOPs possono comportare.

Oltre ai succitati vantaggi, la configurazione STS presenta alcune criticità, tra le quali spicca la necessità di ingenti investimenti iniziali relativi soprattutto all'acquisizione di navi o chiatte da rifornimento. Anche i costi operativi relativi agli spostamenti della chiatta o nave da rifornimento sono significativamente elevati, soprattutto quando la nave da rifornire non si trova in prossimità del terminale o dell'impianto di stoccaggio di GNL cui la "bunkerina" si rifornisce.

Un'altra criticità relativa alla configurazione STS consiste nel rischio di collisione tra le unità coinvolte nel rifornimento, soprattutto quando le *operations* vengono eseguite in mare e non con la metaniera ancorata in porto. Il presente pericolo, capace di coinvolgere anche terze parti eventualmente presenti in zona, aumenta in relazione alla presenza di condizioni meteomarine avverse e al fatto che l'equipaggio coinvolto deve occuparsi contestualmente della navigazione e

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto





delle operazioni di bunkeraggio. Altri rischi nei quali le unità possono incorrere durante le molteplici fasi che riguardano la configurazione STS sono i seguenti:

- Bruschi movimenti della nave che potrebbero causare una tensione eccessiva sul tubo flessibile di bunkeraggio (e conseguente rottura della tubazione);
- Perdita di GNL durante le fasi di carico/scarico, incremento del traffico marittimo, rottura del serbatoio criogenico e innesco di incendi o esplosioni del GNL fuoriuscito accidentalmente;
- In caso dei suddetti pericoli che coinvolgono le navi durante le operazioni di rifornimento, sussiste la notevole difficoltà di accesso al luogo dell'incidente da parte delle squadre di emergenza eventualmente coinvolte.

Oltre alla possibilità di rifornire navi che non riuscirebbero ad attraccare in certi porti, ad esempio perché si tratta di terminal remoti in quanto non sussistono specifiche strutture per il *bunkering* del GNL, la configurazione STS prevede una progettazione delle chiatta o delle navi bunkerine secondo le norme dell'IGC (International Gas Carrier) che fornisce uno standard internazionale circa la sicurezza del trasporto via mare alla rinfusa di gas liquefatti e altre sostanze con caratteristiche merceologiche e criticità operative analoghe<sup>30</sup>.

Nonostante le problematiche tecniche e i potenziali svantaggi che caratterizzano la configurazione tecnologica STS per il *bunkering* di GNL, tale soluzione è attualmente impiegata in molti contesti portuali europei, tra cui la Svezia e la Norvegia. Mentre in Norvegia la nave metaniera “Pioneer Knutsen” è attrezzata per operazioni di *bunkering*, in Svezia il traghetto “Viking Grace” viene quotidianamente rifornito dalla chiatta “Seagas”, dotata di serbatoi con una capacità di 187 m<sup>3</sup>. Alcuni

---

<sup>30</sup> L'IGCcode prescrive le norme di progettazione e costruzione delle navi coinvolte in operazioni concernenti il gas liquefatto. Esse indicano le attrezzature la cui dotazione consente di minimizzare i rischi non solo per la nave ma anche per il suo equipaggio e l'ambiente. Unitamente all'IGC code occorre considerare anche il Codice IMDG (International Maritime Dangerous Goods) il quale stabilisce i principi fondamentali e le raccomandazioni da seguire circa il trattamento di suddetti materiali e sostanze (imballaggio, etichettatura, stivaggio, segregazione e manipolazione).

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

elementi distintivi della tecnologia presente a bordo, progettata dalla Linde<sup>31</sup>, consistono nell’assenza del tubo di ritorno del vapore per compensare la variazione di pressione nel serbatoio della nave bunker (che viene invece gestita per mezzo di un vaporizzatore ad acqua); nell’assenza di un sistema di pompaggio del GNL per cui il trasferimento del gas liquefatto avviene sfruttando la pressione del serbatoio nella nave di rifornimento, comportando tuttavia la necessità di mantenere valori di pressione fino a 15 barg (Bar Gauge).

### 3.3.2 Configurazione truck to ship

La configurazione di bunkeraggio di tipo *TruckToShip*, indicata anche con l’abbreviazione TTS, prevede che il rifornimento della nave alimentata a GNL avvenga a partire da un’autobotte o da un camion cisterna. Lato *operations*, è necessario che la nave sia ormeggiata al molto o al pontile e che l’autobotte o il camion raggiunga la banchina per essere posizionato sul molo in prossimità della nave da rifornire (Figura 29).

Figura 29. Rifornimento di GNL secondo configurazione TTS



Fonte: <http://www.donga.com/news/article/all/20190921/97506677/1>

<sup>31</sup> Il gruppo Linde (Linde Aktiengesellschaft) è un’azienda tedesca con sede a Monaco di Baviera che opera nel settore dei gas tecnici.

Analizzando l'intera filiera, le singole autobotti vengono rifornite presso grandi terminali per lo stoccaggio di GNL oppure presso terminali intermedi lungo la filiera, oppure anche in prossimità di un impianto di liquefazione.

Tra gli aspetti critici della configurazione di tipo TTS spicca la ridotta capacità dei serbatoi dei camion e delle autobotti (40-80 m<sup>3</sup>) per cui questo servizio si rivolge normalmente a navi che richiedono poche centinaia di m<sup>3</sup>. Un'ulteriore criticità della presente configurazione tecnologica consiste nella limitata velocità di trasferimento del GNL, che si aggira intorno ai 40-60 m<sup>3</sup>/h. Le lunghe tempistiche per il rifornimento di GNL comportano una ridotta competitività di questa configurazione (TTS) rispetto alle altre tipologie in relazione a volumi di bunkeraggio elevati: per serbatoi con capacità elevate, non c'è convenienza economico-finanziaria connessa all'impiego di tale tipologia di *bunkering*.

Nei casi in cui la nave da rifornire necessita di piccole quantità di GNL, o poiché dotata di serbatoi di piccole dimensioni o poiché con consumi di carburante ridotto o poiché opera lungo brevi tratte, le operazioni di *bunkering* possono essere effettuate impiegando un singolo camion o autocarro: la gestione delle *operations* risulta estremamente semplice in quanto non solo le tempistiche possono risultare complessivamente contenute ma anche perché non sussistono particolari problematiche in relazione alla sicurezza in banchina GNL (un singolo accesso da parte di un singolo camion). Al contrario, in caso di grandi navi a GNL da rifornire, risulta necessario l'impiego di un numero di camion/autobotti più elevato oppure di più viaggi da parte dello stesso mezzo per il rifornimento: in questo contesto si allungano le tempistiche di *bunkering* e, inoltre, aumentano i rischi di gestione connessi alle *operations* presso la banchina o le banchine coinvolta/e.

Rispetto alla configurazione STS, la tipologia di rifornimento di GNL di tipo TTS può comportare rischi maggiori per quanto concerne l'attività di *handling* di merci/persone simultanea rispetto alle attività di rifornimento. Inoltre, il conducente del camion o dell'autobotte per il rifornimento non è parte dello staff predisposto allo svolgimento delle *operations*, per cui egli, non facendo parte della categoria del personale dedicato, non ha familiarità con le procedure e quindi le skills e le competenze per svolgere i task relativi al rifornimento della nave. In ragione delle due precedenti considerazioni,

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



per la configurazione tecnologica di tipo *Truck To Ship* assumono notevole importanza gli aspetti procedurali connessi alla sussistenza di adeguati livelli di *safety&security* in relazione alle singole attività concretizzate, soprattutto quando in presenza di personale non dedicato.

Oltre alla durata estremamente lunga delle attività rifornimento, un ulteriore svantaggio relativo alle soluzioni tecnologico di tipo TTS consiste nel costo (variabile unitario) per m<sup>3</sup> di GNL trasferito, in quanto su esso incide in modo significativo il costo relativo al trasporto anche fino a superare i benefici connessi ai ridotti investimenti iniziali che tale configurazione richiede. Per risolvere o per lo meno compensare tale criticità, spesso la capacità di carico dei singoli camion/autobotti viene incrementata per mezzo di rimorchi. Inoltre, tali camion/autobotti sono nella maggior parte dei casi dotati di tutta l'attrezzatura necessaria al carico e allo scarico del GNL, inclusi i tubi e la pompa necessari al rifornimento della nave, tale fase può avvenire o direttamente dal camion al serbatoio della nave oppure mediante una conduttura. Al contrario il riempimento del serbatoio del camion/autobotte avviene facendo ricorso ai tubi appartenenti alla struttura di rifornimento di terra: durante questa fase è necessario, sulla base delle regole e delle norme procedurali, prestare attenzione alla temperatura del serbatoio stesso.

Altre criticità della configurazione *Truck To Ship* sono connesse ad eventi quali:

- La rottura serbatoio criogenico;
- L'innescò di incendi o esplosioni del GNL fuoriuscito accidentalmente;
- L'effetto domino;
- L'incremento del traffico stradale (ed eventuali conseguenti incidenti e/o interferenze con altre attività portuali).

Concentrando l'attenzione, invece, sui punti di forza della configurazione TTS occorre evidenziare gli elevati livelli di flessibilità e reversibilità che lo caratterizzano. Per quanto concerne alla flessibilità di utilizzo della soluzione tecnologica in oggetto, essa deriva dall'assenza di elevati investimenti idiosincratici e la possibilità di affiancare il camion alla nave da rifornire lungo diverse

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

banchine e differenti aree del porto (salvo quando richiesto diversamente dalle procedure di sicurezza). Considerando i ridotti investimenti infrastrutturali che tale configurazione richiede per la predisposizione delle *operations*, la tipologia di rifornimento TTS può essere considerata come una soluzione di prova volta a verificare l'eventuale convenienza economica da parte del terminal (o di altri soggetti economici che intendono sviluppare l'attività di rifornimento di GNL in un porto), prima di procedere con ingenti investimenti, relativi ad esempio alla configurazione di tipo *Terminal To Ship*.

La configurazione TTS, pertanto, costituisce una via percorribile per il rifornimento di una nave che richiede volumi fino a 200-400 m<sup>3</sup> di GNL e, inoltre, potrebbe divenire in futuro un vero e proprio incentivo alla transizione verso la propulsione navale mediante GNL.

Per quanto riguarda la modalità di trasferimento a terra (Truck to ship e via pipeline) la normativa di riferimento è la seguente:

- ISO 28460:2010 'Petroleum and natural gas industries – Installation and equipment for liquefied natural gas – Ship-to-shore interface and port *operations*';
- SIGTTO ESD Systems;
- BS EN 1160 Properties and Materials for GNL;
- IMO 'Recommendations on the Safe Transport of Dangerous Cargoes and Related activities in Port Areas';
- Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents – API Recommended Practice 2003, Sixth Edition;
- EN 1474 part 1 GNL Transfer Arms;
- EN 1474 part 2 GNL Hoses;
- EN 1473 Design of Onshore GNL Terminals (come referenza);
- NFPA 59A Storage and Production of GNL;
- BS EN 13645 Installations and equipment for GNL – Design of onshore installations with a storage capacity between 5 & 200 tonnes;

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto



- BS 4089: 1999 Metallic Hose Assemblies for Liquefied Petroleum Gases and Liquefied Natural Gases;
- EU Directive 96/82/EC (Seveso II);
- ATEX Directive 94/9/EC (ATEX 95);
- ATEX Directive 99/92/EC (ATEX 137);
- European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR).

### 3.3.3 Configurazione terminal (o port) to ship, via pipeline

La configurazione di rifornimento di tipo *Terminal To Ship Port To Ship* (PTS), anche nota come “*shore to ship*” consiste nella predisposizione di una stazione di rifornimento a terra, normalmente presso una banchina o un pontile dedicato (Figura 30). Anche conosciuta con l’acronimo PTS, tale configurazione prevede che le navi alimentati a GNL attraccino a tale banchina o pontile per poi essere rifornite mediante tubazioni rigide e flessibili (nella parte finale dell’impianto di rifornimento) per garantire un maggiore livello di adattabilità del layout, degli impianti e delle strumentazioni alle esigenze operative richieste dalla nave da rifornire.

Figura 30. Rifornimento di GNL secondo configurazione PTS



Fonte: <https://www.unitest.pl/?p=3131>; <https://www.manntek.se/lng/applications/ship-to-shore>

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto



Il serbatoio di stoccaggio di GNL a terra, rifornito normalmente tramite camion, navi metaniere o addirittura tramite metanodotti (e quindi mediante impianto di liquefazione) può avere caratteristiche differenti. Esso, infatti, può essere di grandi dimensioni e a pressione atmosferica, nel caso in cui il GNL provenga da un impianto di rigassificazione, oppure di ridotte dimensioni e in pressione, se alimentato da treni, autobotti, bettoline o impianto di liquefazione.

In termini pratici, come sottolineato da molteplici studi (DNV, 2014), la nave a GNL da rifornire rifornita può attraccare direttamente al molo dove risiede la stazione/impianto di rifornimento oppure può collegarsi ad un ponte galleggiante (collegato a terra tramite apposite condutture) in cui viene stoccato il GNL. In quest'ultimo caso si rivela necessario garantire la presenza di infrastrutture capaci di minimizzare i movimenti della piattaforma galleggiante, dovuti ad esempio ai moti ondosi, in quanto spesso causa di danneggiamenti all'attrezzatura di rifornimento del GNL.

Nonostante ciò, la soluzione PTS presenta numerosi vantaggi:

- Garantisce maggiore flessibilità poiché non risente delle variazioni del livello del mare, in quanto la differenza di altezza rispetto alla nave da rifornire rimane pressoché invariata;
- È caratterizzata dalla possibilità di rifornire grandi volumi di GNL (anche 20.000 m<sup>3</sup>), con un tasso di erogazione compreso tra 1.000 e 2.000 m<sup>3</sup>/h da cui deriva una notevole riduzione dei tempi di rifornimento di GNL.

Al contrario, la configurazione SPS gode di minore flessibilità operativa rispetto alla soluzione STS poiché la nave, per essere rifornita, deve raggiungere il molo, di conseguenza non possono essere effettuate operazioni di carico/scarico di merci o persone durante la fase di *bunkering*.

Nonostante i succitati vantaggi, sussistono molteplici criticità relative alla presente configurazione di *bunkering*, a partire da quelli tipici che caratterizzano tutte le soluzioni tecnologiche, ossia la rottura del serbatoio criogenico e/o delle tubazioni, l'innescio di incendi o esplosioni del GNL fuoriuscito accidentalmente e l'eventuale effetto domino, fino ad arrivare agli svantaggi specifici del TPS. Tra questi ultimi troviamo gli ingenti investimenti necessari allo sviluppo di tutte le

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



infrastrutture/attrezzature fondamentali per la corretta concretizzazione delle *operations*: tali investimenti, configurati come *sunk cost*, sono appunto impossibili da riconvertire in caso di abbandono del suddetto business. Inoltre, in caso di installazioni a terra per il GNL, diviene fondamentale l'osservanza dell'ampia normativa esistente in tema di installazioni ed equipaggiamenti per il GNL<sup>32</sup>.

In virtù dell'infrastruttura necessaria, la configurazione PTS rappresenta un'opzione particolarmente indicata per strutture portuali che abbiano una domanda di bunkeraggio stabile nel lungo periodo e che siano caratterizzati da traffici marittimi adeguati; alcuni esempi a livello europeo sono alcuni porti della Norvegia e della Finlandia (tra essi il porto di Pori).

### 3.3.4 Configurazione mobile fuel tanks

La configurazione di tipo *Mobile Fuel Tank* presuppone l'impiego di serbatoi mobili contenenti GNL che possono essere utilizzati sia da terra, per il rifornimento delle navi, sia da bordo e quindi caricato sulla nave per poi essere impiegato come un vero e proprio serbatoio di GNL per la stessa. Tali serbatoi sono cisterne mobili o ISO-container criogenici impiegate appunto come deposito di carburante.

La configurazione Mobile Fuel Tanks presenta in primo luogo il vantaggio di essere un deposito movimentabile e quindi trasferibile ovunque ce ne sia richiesta (Figura 31), nonostante presenti il rischio di caduta accidentale dei serbatoi stessi.

---

<sup>32</sup> Sotto il profilo normativo risulta fondamentale la UNI EN 1473 del 2007 "Installazioni ed equipaggiamenti per il gas naturale liquefatto (GNL) - Progettazione delle installazioni di terra" entrata in vigore il 22 marzo del 2007. Tale normativa stabilisce le linee guida da seguire durante le fasi di progettazione, costruzione e corretto esercizio delle varie tipologie di installazioni a terra per il GNL, comprese quelle per la liquefazione, lo stoccaggio, la gassificazione, il trasporto e il passaggio di GNL. La presente norma non può essere applicata invece in caso di stazioni "satellite", poiché soggette alla disciplina UNI EN 13645, in quanto la relativa capacità di stoccaggio è inferiore a 200 tonnellate.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



**Figura 31. ISO-container criogenici**



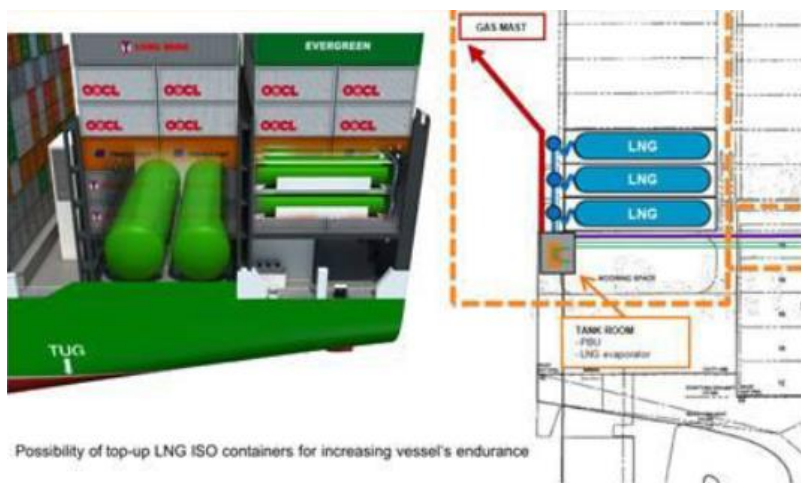
*Fonte: [https://it.made-in-china.com/co\\_longtengindustrial/product\\_T75-Cryogenic-Liquid-Gas-LNG-Lo2-Ln2-20FT-ISO-Tank-Container\\_egsosesy.html](https://it.made-in-china.com/co_longtengindustrial/product_T75-Cryogenic-Liquid-Gas-LNG-Lo2-Ln2-20FT-ISO-Tank-Container_egsosesy.html)*

Prima di allocare tali serbatoi mobili a bordo delle navi da rifornire, in particolare sul ponte oppure in zone adibite all’immagazzinamento (DNV, 2014), essi vengono trasferiti in banchina tramite trasporto terrestre, e quindi camion, oppure per mezzo del trasporto ferroviario, avvalendosi degli appositi convogli ferroviari, oppure ancora tramite navi cargo. La fase di carico dell’ISO-container criogenico a bordo della nave può avvenire attraverso una gestione tipica delle merci pericolose, per cui esistono già procedure e regole dedicate, oppure tramite gru o altri sistemi di sollevamento. Di conseguenza questa soluzione risulta essere estremamente vantaggiosa in presenza di spazio limitato nella zona macchine della nave, anche se, allo stesso tempo, riduce, con la sua presenza, lo spazio disponibile sul ponte.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

Figura 32. Collocazione di un container ISO per il bunkering di GNL su una nave



Fonte: Wartsila

Tra i principali **vantaggi** connessi alla soluzione tecnologica di tipo *Mobile Fuel Tanks*, emergono innanzitutto la richiesta di ridotti investimenti richiesti in infrastrutture e attrezzature dedicate, la significativa riduzione dei tempi di bunkering e l'estrema flessibilità dal punto di vista operativo, dal momento che favorisce la capillarità nella distribuzione. Questi benefici rendono tale configurazione una tra le soluzioni tecnologiche più vantaggiose. Inoltre, la configurazione mobile fuel tank consente lo svolgimento di altre operazioni (SIMOPs) simultaneamente alle operazioni di rifornimento: infatti, la possibilità di concretizzare le attività di *handling* delle merci rende questa configurazione molto attrattiva nel caso in cui si utilizzino navi container o navi operanti con gru.

Tuttavia, anche questa configurazione presenta alcuni svantaggi/criticità che la portano ad essere poco diffusa nella pratica. Tra le criticità operative riscontriamo la ridotta capacità dei mobile fuel tank che viene a farsi sentire nel momento in cui devono essere rifornite navi che necessitano di stoccare un elevato quantitativo di serbatoi (o perché di grandi dimensioni o perché vengono impiegate su tratte molto lunghe): questa modalità di rifornimento impone l'occupazione di ampi spazi a bordo nave, determinando quindi una minore capacità di stiva per le merci a fini commerciali.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



Inoltre, dal punto di vista dell'armatore o della compagnia di navigazione, questa soluzione provoca un significativo incremento del rischio di perdita di liquido a temperatura estremamente pericolosa poiché richiede di replicare più volte le attività di connessione/disconnessione dei serbatoi dalla rete di alimentazione della nave.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

## 4 LA GESTIONE DEL RISCHIO IN AMBITO PORTUALE

La gestione del rischio è, in senso generale, la composizione strutturata di un numero considerevole di aspetti diversi, che devono essere presi in considerazione per raggiungere livelli di rischio più bassi. Dall'elemento tecnico a quello umano, è possibile ritenere giustificata che nella complessa e articolata catena di funzionamento di un processo industriale siano definibili quattro grandi ambiti di applicazione della gestione del rischio<sup>33</sup>:

- Il contesto normativo
- L'analisi delle minacce
- La casistica degli eventi negativi
- Formazione

Nel caso del bunkeraggio, possiamo descrivere e declinare questi ambiti nel seguente modo:

### Contesto normativo

Le aspettative e le esigenze dell'industria e più in generale dei possibili utenti hanno bisogno di disposti normativi, regole e regolamenti che non solo promuovano il Gas Naturale Liquido come combustibile per la Logistica, ma che specifichino ed incentivino, misure omogenee, adeguate e precise per la corretta implementazione e gestione della sicurezza, consentendo competitività, e corretto svolgimento delle attività.

È evidente che l'allineamento e l'armonizzazione dei diversi livelli regolatori siano fattori chiave per il successo delle diverse iniziative su scala regionale afferenti al GNL. Se la logistica è un business globale, il (bunkeraggio) finalizzato al traffico merci non può che esserlo e gli ambienti normativi che coinvolge hanno bisogno di essere allineati e interfacciarsi.

---

<sup>33</sup>Kletz T., HAZOP & HAZAN, The Institution of Chemical Engineering, England, 1986

Lo sviluppo di regolamenti internazionali, come ad esempio il codice IGF, adottato a giugno 2015 è fondamentale per stabilire requisiti basati sull'analisi del rischio.

### **L'analisi delle minacce**

La sicurezza dell'impiego del GNL in ambito marittimo portuale dipende direttamente dalla comprensione degli aspetti e delle situazioni che rappresentano una minaccia durante l'operatività dei sistemi di bunkeraggio. Lo scenario in cui si è soliti confrontarsi vede infatti la sempre certa presenza di questi elementi prioritari di analisi:

- Elevato contenuto energetico della sostanza;
- Perdite ed emissioni di gas;
- Sistemi criogenici;
- Presenza ed ubicazione delle navi;
- Contatti tra zone non pericolose e zone non pericolose;
- Manodopera “inesperta” a causa di un nuovo di tipo di combustibile;
- Sistemi tecnologici eterogenei (Interfaccia nave con sistema di bunkeraggio).

È grazie alla conoscenza ed analisi di questi eventi che si può giungere, come visto, alla valorizzazione di un rischio e conseguentemente alla definizione di opportune modalità di gestione, come ad esempio la classificazione delle zone di controllo.

### **Casistica degli eventi negativi**

La massima “imparare dai propri errori” è nel caso di gestione del rischio quanto mai fondamentale. Sulla scorta di quanto già si porta avanti nella registrazione dei mancati infortuni nell'ambito della sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavori, la segnalazione degli incidenti o mancati tali, nell'ambito dell'impiego del bunkeraggio GNL, e della filiera, è quantomai utile per poter:

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

- Apprendere e migliorare le procedure;
- Rendere più efficienti e accurati i calcoli previsionali;
- Migliorare la progettazione di apparecchiature e sistemi;
- Sviluppare ulteriori approcci valutativi.

## La formazione

L'elemento umano è un fattore centrale per svolgimento in sicurezza di tutte le operazioni indipendentemente dal settore analizzato. Lo è in modo ancora più evidente, come nel caso del bunkeraggio del GNL, quando si interagisce con nuove applicazioni, nuovi combustibili, nuove procedure e nuovi scenari di pericolo. Dalle procedure di emergenza alla manutenzione a bordo, dal funzionamento\comportamento dei macchinari alla comunicazione tra operatori, è molto importante che sia l'equipaggio di bordo e che il personale di terra abbiano non solo tutte le competenze necessarie ma in consolidato percorso di formazione garantire sia l'operatività che il sistema di gestione del rischio.

La gestione operativa di questi 4 aspetti è disciplinata nei diversi casi reali attraverso una **struttura gerarchica di aree** o più propriamente zone, grazie alle quali si possibili definire nel dettaglio tutti gli elementi operativi nei 4 settori evidenziati.

Ad esempio:

- per operare in una determinata area o zona sarà necessario una ben specifica formazione e\o addestramento,
- per installare determinate apparecchiature queste dovranno soddisfare specifici requisiti normativi,
- per definire le procedure operative si procederà distinguendo l'area di riferimento,
- l'analisi dei rischi sarà condotta per ottenere validazioni, riduzioni o incrementi delle aree

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



Nella prossima sezione si affronterà quindi il tema dei criteri di definizione delle zone e delle loro caratteristiche.

#### **4.1 LA DEFINIZIONE DELLE ZONE**

La definizione delle **zone di controllo** è un tema rilevante nell'ambito del bunkeraggio di GNL, e molte delle garanzie in termini di sicurezza durante il funzionamento, posso essere mantenute proprio grazie alla presenza di zone di controllo a pericolosità crescente, in grado di mitigare attraverso regole e procedure i rischi che derivano da potenziali rilasci pericolosi di GNL, da potenziali danni esterni al bunkeraggio GNL, da errate manovre operative.

Il tema della classificazione delle aree è molto ampio ed una sua trattazione completa esulerebbe dagli argomenti di questo specifico documento, in cui si è cercato di illustrare le diverse zone di controllo instaurabili all'interno delle aree portuale in funzione delle possibili installazioni caratterizzate da rischi significativi e rilevanti. Questo capitolo illustra quindi le **modalità di classificazione delle aree prossime e prospicienti le installazioni** che, a valle della valutazione del rischio evidenziano, con la presenza di aree di danno ed aree di rispetto, la necessità di specifici accorgimenti nell'installazione, nella gestione operativa e nella formazione del personale.

Nella descrizione si è cercato di coniugare le norme internazionali esistenti con le linee guida fornite dall'industria di settore attualmente pubblicate (sia ISO/TS 18683 che ISO20519 includono una sezione sulle zone di sicurezza relativa alle disposizioni rilevanti per la valutazione dei rischi) con la finalità di indicare le caratteristiche significative di ciascuna tipologia di zona (finalità, funzione, dimensioni, etc.).

A livello normativo e tecnico, le zone di controllo sono appunto definite all'interno della norma ISO/TS 18683 ed EN ISO 20519 e prevedono 3 livelli di rischio decrescenti:

- 1. Zone di pericolo (hazardous zone)**
- 2. Zona di sicurezza (safety zone)**
- 3. Area di monitoraggio e sorveglianza (monitoring and security area)**

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

A queste si è andato recentemente ad aggiungere quanto stabilito dalle Linee Guida SGMF, v2, 2017, che ha mantenuto le 3 zone esistenti definendo tuttavia altre due, più esterne chiamate:

- 4. Zona Marina**
- 5. Zona Esterna**

Di seguito vengono riportate le definizioni delle **5 zone** che si andranno a prendere in considerazione nei paragrafi successivi:

1. **Zona di pericolo:** Spazio tridimensionale in cui un'atmosfera infiammabile può esistere in qualsiasi momento.
2. **Zona di sicurezza:** Area tridimensionale intorno al sistema di trasferimento di GNL determinata dal risultato di una perdita, di una emergenza durante lo scarico di GNL o di ritorno dei vapori che si verificano. Esiste solo durante il funzionamento di uno specifico sistema di bunkeraggio, nel nostro caso, di GNL.
3. **Monitoraggio e Area di Sicurezza:** Un'area circostante alla zona dove avviene il trasferimento di GNL che deve essere monitorato come misura precauzionale per evitare interferenze con l'operazione di trasferimento di GNL.
4. **Zona Marina:** Una zona di dimensioni sufficienti per impedire che altre imbarcazioni colpiscano la nave durante le operazioni di trasferimento di GNL
5. **Zona esterna:** La distanza da un livello di rischio definito che include luoghi in cui tuttavia la popolazione, ed il personale non addetto al GNL, può trovarsi normalmente presente durante le attività di bunkeraggio

Nelle figure sottostanti, a titolo esemplificativo, si riporta la classificazione del medesimo scenario impiantistico TTS in accordo alla 3 zone stabilite dalla ISO/TS18683 e successivamente alle 5 zone come istituite dalle LG SGMF v2 -2017.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

L'esempio prende in considerazione il verificarsi di una perdita accidentale durante il bunkeraggio GNL su impianto TTS. In tale evenienza il GNL verrebbe rilasciato e disperso seguendo specifiche condizioni locali, in base alle proprietà termodinamiche intrinseche del GNL e al comportamento meteorologico sito specifico, avremo un particolare dinamismo della nube.

Tuttavia, pur non potendo con accuratezza definire l'esatta posizione della nube nello spazio e nel tempo, quello che è certo è che una volta raggiunto il giusto rapporto tra aria e carburante tale da sostenere la combustione, la miscela produrrà una combustione non appena verrà trovata una fonte di accensione (fonte di innesco), quale che sia (scintilla, superfici o elementi caldi, etc.).

È quindi ragionevole pensare che una prima zona, detta zona di sicurezza<sup>34</sup>, quella in cui la probabilità di trovare un'atmosfera esplosiva in caso di rilascio accidentale di GNL durante il bunkeraggio è significativa, debba essere stabilita per evitare che al suo interno venga ammesso personale diverso da quello necessario allo svolgere delle attività o che siano presenti fonti di innesco.

Successivamente le zone di pericolo (comprendenti ad esempio le uscite di sfiato della valvola di sicurezza) devono essere considerate nella valutazione dei rischi, in particolare se sono in prossimità di prese d'aria non protette.

Le zone di monitoraggio e sorveglianza rappresentano le aree più ampie e si estendono normalmente ben oltre la zona di sicurezza, vengono istituiti per monitorare e controllare il traffico navale e tutte le altre attività interferenti che potrebbero costituire un pericolo durante le operazioni di bunkeraggio.

Di seguito si riportano le immagini esemplificative delle diverse zone di controllo presenti in ambito portuale (Zone di pericolo, Zona di sicurezza, Area di monitoraggio e sorveglianza).

---

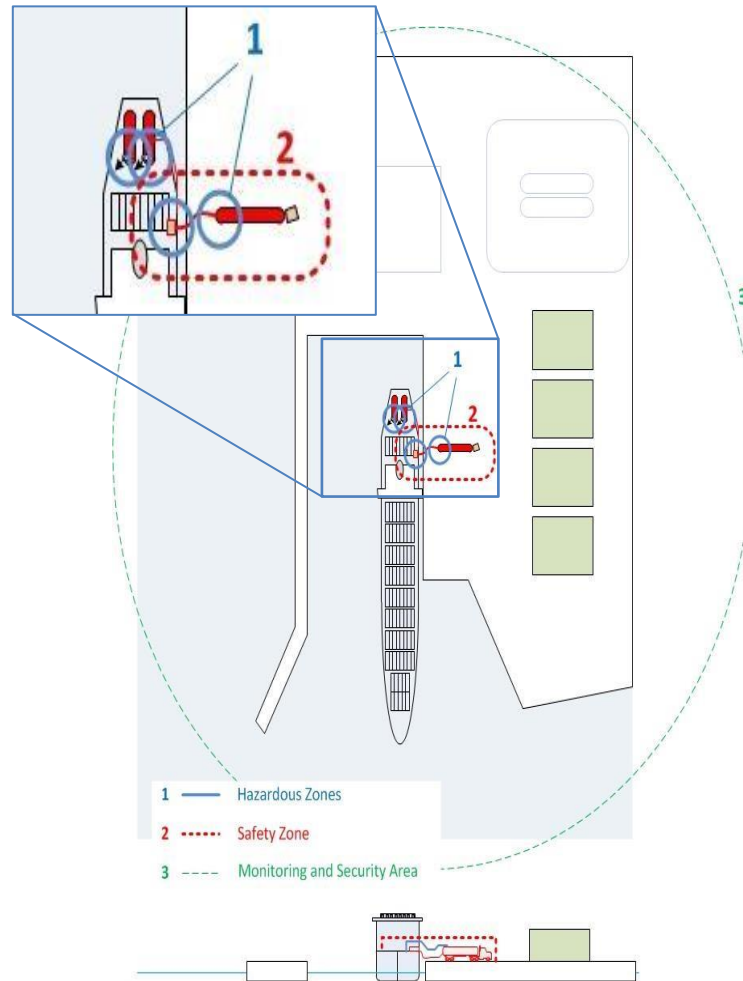
<sup>34</sup> La zona di sicurezza include normalmente le zone pericolose come definite da IEC 60079-10-1 o altri regolamenti pertinenti come ad esempio CEI 35-10 etc.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



**Figura 33. Zone di controllo - Zona pericolosa, di sicurezza e di Monitoraggio**



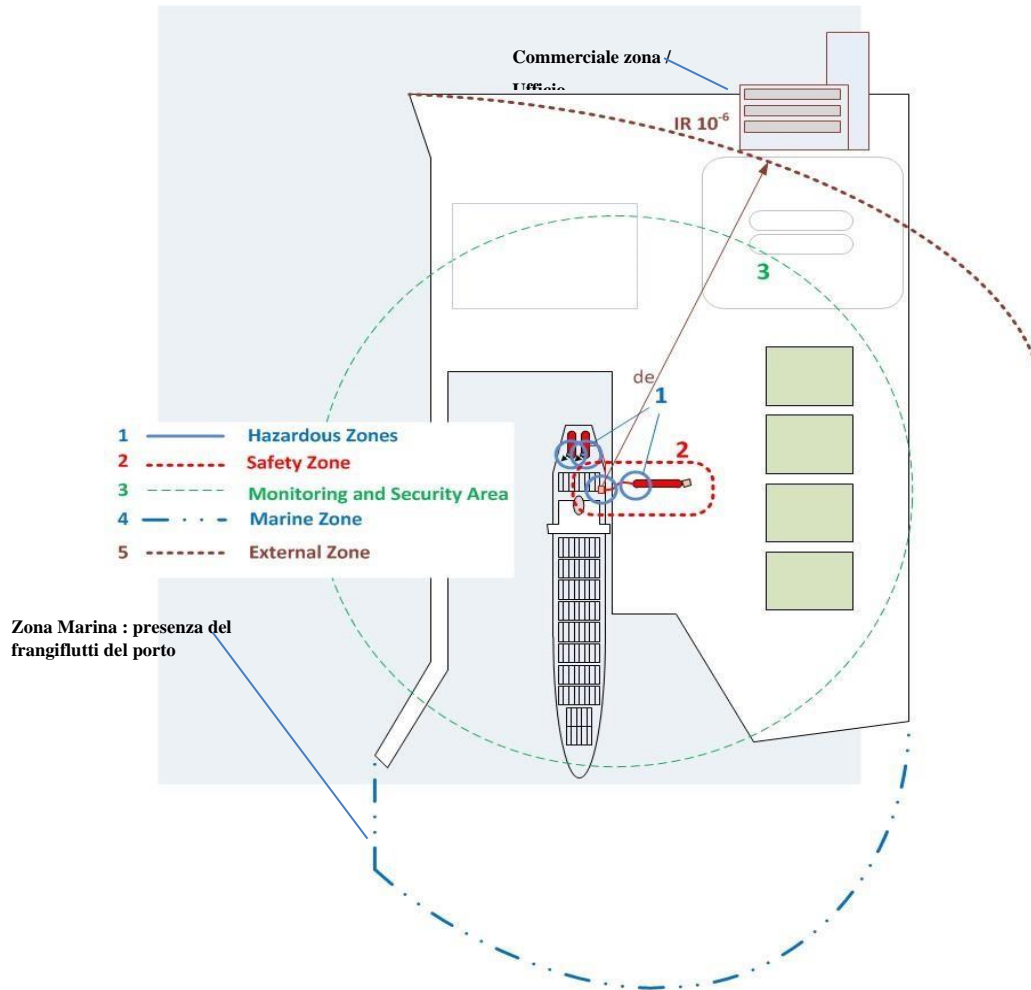
**Fonte: Adattato da ISO / TS 18683 e ISO 20519**

**TDI RETE-GNL**

**Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto**



Figura 34. Zone di controllo - Zona pericolose, di sicurezza, di monitoraggio, marina ed esterna



Fonte: Adattato da ISO / TS 18683 + LG SGMF

L'importanza di comprendere il concetto di zone di controllo nel suo insieme prescinde comunque dalle definizioni SGMF o Standard ISO.

Le **zone di controllo**, infatti, sono anelli di salvaguardia, frutto di un'analisi critica e attenta dei potenziali scenari di rischio, dei problemi relativi di sicurezza, della pianificazione delle attività e del contesto in cui ci si trova ad operare. Non esiste quindi una gerarchia tra le zone di controllo. Al di là del livello di rischio, le zone pericolose non hanno un ruolo ed un'importanza maggiore rispetto,

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



ad esempio, all'area di monitoraggio e controllo, perché è solo lavorando insieme, definendo l'insieme completo del sistema di protezione dovuto alle zone, che il sistema consente di raggiungere un livello di protezione adeguato.

Le zone pericolose sono poi sempre presenti e dipendono specificatamente dalle apparecchiature, dall'architettura dei sistemi, delle connessioni delle flange, dei collettori, dalle prese di ventilazione, etc. con l'unica eccezione che le rende, temporaneamente assenti, dovuta all'inertizzazione delle apparecchiature, ovvero alla rimozione del GNL e dei relativi vapori da tutti i dispositivi. Al contrario, le zone di sicurezza e le zone\aree di monitoraggio, essendo collegate all'operatività, saranno presenti solo durante le operazioni di bunkeraggi, ovvero la loro efficacia si concretizzerà solo durante il trasferimento di GNL.

Nonostante quindi esistano delle convenzioni (ad esempio la zona di sicurezza deve essere più grande della zona pericolosa in tutte e tre le dimensioni, e di conseguenza l'area di monitoraggio deve essere più ampia della zona di sicurezza), non esistono però zone di controllo adatte a tutte le situazioni/condizioni poiché sono numerosi i fattori che determinano le dimensioni e la forma delle diverse zone di controllo.

In sintesi, la definizione delle zone di controllo deve essere specifica del porto, specifica della nave, specifica dell'ormeggio, con fattori di condizionamento diversi, di natura tecnica o operativa, quali<sup>35</sup>:

- Parametri di bunkeraggio (pressione, temperatura).
- Potenziale per la generazione di BOG eccessivo.
- Fattori climatici (in particolare eolico).
- Altre attività nelle vicinanze e possibili contemporaneità.
- Infrastrutture locali.
- Caratteristiche delle navi.

---

<sup>35</sup> Le variabili che determinano l'estensione delle zone sono citate ad es. in ISO / TS 18683

## 4.2 ZONA DI PERICOLO

Viene definita zona di pericolo qualsiasi volume tridimensionale in cui è possibile che si verifichi la presenza di un'atmosfera infiammabile e/o esplosiva con effetti tali da richiedere particolari precauzioni per proteggere la sicurezza dei lavoratori e delle parti terze. Nel caso del bunkeraggio, le zone pericolose sono correlate alle apparecchiature installate per il *bunkering* e lo stoccaggio di GNL e saranno presenti anche al di fuori della durata delle operazioni di bunkeraggio. Sono legate all'impianto e al progetto del sistema, la definizione di queste zone passa attraverso una "classificazione" di 3 sotto-zone pericolose, corrispondenti a specifici ai risultati di specifici calcoli basati sulla probabilità di accadimento.

Tabella 6. Caratteristiche delle zone pericolose

Scenario\Evento	IEC EN 60079 -10-1	Probabilità dell'evento	Esempi nel caso del bunkeraggio	Distanza di riferimento
Area in cui è presente in permanenza o per lunghi periodi o spesso un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia	<b>Zona 0</b>	Presenza di atmosfera esplosiva per più di 1000 ore/anno	All'interno del serbatoio di stoccaggio del GNL, di qualsiasi tipo.	Non è definibile perché le atmosfere sono contenute nei serbatoi
Area in cui durante le normali attività è probabile la formazione di un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapori o nebbia.	<b>Zona 1</b>	Presenza di atmosfera esplosiva per più di 10 ore/anno ma per meno di 1000 ore/anno	Sistema di trasferimento interno (tubo flessibile, linee di trasferimento, braccio di trasferimento). Si verificherà solo se l'inertizzazione non è stata raggiunta correttamente. Ciò dovrebbe avvenire sia prima che dopo il bunkeraggio.	Non è definibile perché le atmosfere sono contenute in dispositivi elencati.
Area in cui durante le normali attività non è probabile la formazione di un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia e, qualora si verificano, sia unicamente di breve durata.	<b>Zona 2</b>	Presenza di atmosfera esplosiva per meno di 10 ore/anno, ma comunque con necessità di controllo delle fonti di innesco	Connessioni flangiate per il trasferimento di GNL in bunkeraggio e per il ritorno del vapore\BOG. Collettori per il bunkeraggio. Sistemi di interfaccia di emergenza (ERC - PRV).	Tipicamente una sfera di 3 metri attorno a tutti i dispositivi elencati.

Fonte: Definite da IEC 60079-10-1 e altre normative tecniche nazionali ad es. CEI 35-10

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



Le zone di pericolo, che rappresentano una caratteristica dell'impianto poiché descrivono un volume in cui un'atmosfera "esplosiva/infiammabile" sarà presente, in un determinato luogo, con una certa frequenza di accadimento, non hanno distanze di riferimento e richiedono di prassi un calcolo specifico che non ha riferimenti univoci, ma almeno 3 grandi possibili metodi di determinazione che nel seguito saranno esaminati:

- Formulazioni analitiche specificate in Standard ISO
- Indicazioni e stime di massima forniti nei codici IGF/IGC
- Impiego di tools software che sfruttano il calcolo computazionale

#### 4.2.1 Standard ISO

Sia la norma ISO/TS 18683 e che la ISO 20519 non danno riferimenti per l'estensione delle zone di pericolo, ma indicano che i calcoli dovranno essere conformi alla metodologia presente nella serie di norme IEC 60079.

In particolare, la norma IEC 60079-10-1 "*Atmosfere esplosive. Parte 10-1: Classificazione dei luoghi - Atmosfere esplosive per la presenza di gas*" (*Classificazione CEI:31-87*)" tratta la classificazione dei luoghi ove possono manifestarsi dei pericoli associati alla presenza di gas o vapori o nebbie infiammabili e può essere utilizzata come base per effettuare la corretta scelta ed installazione di apparecchiature per l'uso in un luogo pericoloso.

Essa si applica ai luoghi in cui vi può essere il pericolo di accensione dovuto alla presenza di gas o vapori infiammabili, in miscela con aria in condizioni atmosferiche normali.

La norma al suo interno fissa una metodologia generale di lavoro, indicando formule, considerazioni, parametri di stima e si basa sulla determinazione analitica delle dimensioni di un volume (definito nella norma come **Volume Ipotetico** e indicato come VZ) in grado di racchiudere tutto lo spazio in la concentrazione media di gas o vapori infiammabili sia pari ad un certo valore K del limite inferiore di esplosività (o LEL).

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

Il fattore K è generalmente considerato pari a 0,25 o 0,5, in funzione del valore del fattore di sicurezza che si intende utilizzare.

È evidente che fattori K più piccoli determinino Volumi Ipotetici più grandi e di conseguenza dimensioni e distanze di sicurezza maggiori.

Altrettanto significativo è il concetto legato all'aggettivo ipotetico, con cui la norma intende precisare come, all'interno del volume calcolato, la presenza di un'atmosfera esplosiva non sia certa ma solo probabile, ovvero possibile.

Il metodo permette la determinazione del tipo di zona (ovvero zona di classe 0,1 o 2 come sopra riportato) con i seguenti passaggi:

- a. Stima del tasso di ventilazione minima richiesta per impedire un significativo accumulo di un'atmosfera di gas esplosivo;
- b. Calcolo un volume ipotetico [VZ] con quel stimato grado di ventilazione;
- c. Stima del tempo di persistenza del volume VZ;
- d. Individuazione del tipo di zona dal grado e disponibilità di ventilazione effettivamente presente.

Il risultato ottenuto come detto è un volume ipotetico, non è direttamente correlato alla dimensione della zona di pericolo, ma alla possibile presenza all'interno di parte di quel volume di un'atmosfera esplosiva. In definitiva, il grande interesse per la progettazione di attività di bunkeraggio del GNL è quello non solo di determinare le zone pericolose, ma di riuscire a determinarle quanto più possibile con volumi realistiche e non volumi teorici.

#### **4.2.2 Codice IGF/IGC**

In assenza di una metodologia di calcolo obbligatoria ed in considerazione dei limiti teorici della metodologia IEC 60079-10-1, un ulteriore metodo per la definizione delle zone pericolose consiste nell'adozione dell'indicazione del Codice IGF/IGC, documento in cui dette aree sono definite sia la

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

nave ricevente (codice IGF, punto 12.5), sia, nel caso di sistema STS, per nave da bunkeraggio (codice IGC, punto 1.2.24).

In particolare, in questo caso, le dimensioni minime delle zone pericolose includono:

- Aree sul ponte aperto o spazi semichiusi sul ponte, entro 3 m da qualsivoglia elemento di uscita dal serbatoio (gas o vapore che sia), valvola, collettore, flangia o sistema di rilascio della sovrappressione,
- Aree sul ponte aperto, in prossimità delle tubazioni e dei rivestimenti che le circondano per un raggio di 3 m e fino a un'altezza di 2,4 m sopra il ponte,
- Stazioni di bunkeraggio ed aree circostanti entro 1,5 m.

In base a questo approccio l'area pericolosa legata al bunkeraggio includerà aree in tutto il sistema di bunkeraggio GNL completo (camion, installazione fissa a terra, collettore di bunkeraggio all'ormeggio, ecc.) e l'estensione della zona di pericolo non sarà superiore a circa 4,5 m.

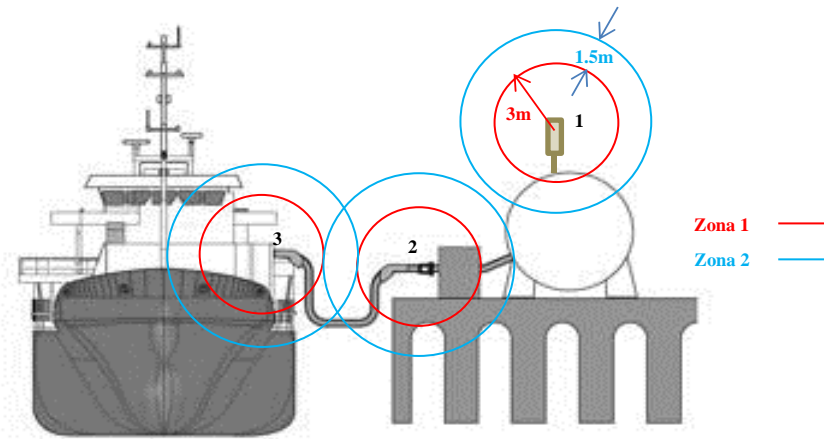
Il vantaggio dei riferimenti utilizzati per il codice IGF, o codice IGC, è senza dubbio la possibilità di armonizzazione e omogeneità, di contro i risultati possono essere poco rappresentativi delle condizioni reali in loco, specialmente in casi particolari o articolati in cui vengono utilizzate connessioni multiple su un collettore comune per il bunkeraggio.

Nella figura seguente si illustra in un generico impianto PTS la presenza delle zone pericolose in accordo al Codice IGF/IGC.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto

Figura 35. Zone di Pericolo -Codice IGC/IGF



Fonte : ns elaborazione da EMSA Guidance on LNG Bunkering

### 4.2.3 Calcolo computazionale

Tenendo sempre presenti i limiti e i vantaggi dei due metodi sopra citati, un ultimo metodo (o più correttamente insieme di metodi) alternativo di calcolo per la definizione della reale estensione delle zone di pericolo è rappresentato dal calcolo computazionale.

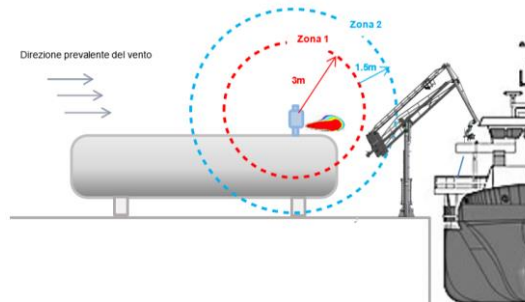
Qualunque sia l'algoritmo o il codice di calcolo, tutti i sistemi si basano sul calcolo di un volume di rilascio attraverso un *Computational Fluid Dynamics* (CFD) che sia in grado attraverso l'integrazione di effetti non lineari, quali ad esempio la turbolenza, la modellazione del terreno e delle condizioni ambientali, di determinare la presenza realistica e non teorica dell'atmosfera esplosiva.

Nella Figura 36 si riporta un esempio in cui si evidenzia la presenza dell'atmosfera esplosiva e di conseguenza la classificazione della zona come pericolosa.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

**Figura 36. Zone di Pericolo -Calcolo computazionale CFD**



Fonte : ns elaborazione da EMSA Guidance on LNG Bunkering

### 4.3 ZONA DI SICUREZZA

Sebbene la zona di sicurezza sia di prassi definita come l’involucro tridimensionale in cui il gas naturale/GNL può essere presente a causa di una perdita o di un incidente durante la fase di bunkeraggio, è bene ricordare come la norme ISO/TS 18683 e ISO 20519 diano una definizione diversa, considerando la zona di sicurezza come quell’area intorno alla stazione di bunkeraggio in cui al solo il personale e alle attività ritenuti essenziale è consentita la presenza durante la fase di bunkeraggio.

Ciò nonostante, gli obiettivi dell’attuazione di una **zona di sicurezza** restano comuni e possono essere definiti come:

- Controllo delle fonti di accensione in modo da ridurre la probabilità di innescare una nube di gas infiammabile che si sia dispersa dopo un rilascio accidentale di GNL o gas naturale durante il rifornimento.
- Limitazione dell'esposizione del personale non essenziale, durante la fase di bunkeraggio, in caso di effetti potenzialmente pericolosi (es: incendio).
- Valutazione delle infrastrutture locali per l’individuazione di possibili punti di intrappolamento di gas, in cui la formazione di atmosfere esplosive sia più probabile in seguito al rilascio accidentale di GNL.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto



Per il calcolo dell'estensione di queste zone, si deve fare nuovamente riferimento alle norme ISO/TS 18683e ISO 20519 le quali riconducono i metodi di calcolo a due possibili approcci per la determinazione delle diverse zone, in modo del tutto analogo a quanto visto in merito alla valutazione del rischio, ovvero:

- **L'approccio deterministico** basato sul calcolo della distanza dalla condizione di limite inferiore di infiammabilità nel caso si verifichi il massimo rilascio credibile di GNL;
- **L'approccio basato sul rischio o probabilistico.**

L'approccio deterministico si basa sull'**individuazione dei rischi (HAZID)** e può utilizzare strumenti di calcolo analitici, basati sul semplice rilascio di GNL o formulazione più semplici, come viene descritto dalla IEC 60079-10-1, ma ciò rende l'approccio estremamente conservativo e non sufficientemente realistico in termini di modellizzazione. Al contrario utilizzando l'approccio basato sul rischio probabilistico, si otterrà una zona di sicurezza più piccola al prezzo di un maggiore onere computazionale e un maggiore dettaglio negli input necessari al calcolo stesso, che dettaglio che spesso non è disponibile obbligando alla stima di fattori e introducendo quindi una maggiore incertezza nel risultato finale.

#### 4.3.1 Approccio deterministico

In questo caso, la zona di sicurezza viene definita come l'area entro la distanza dalle condizioni del limite inferiore di infiammabilità (LFL<sup>36</sup>) determinata attraverso un modello di dispersione riconosciuto e convalidato sulla base del massimo rilascio credibile.

L'approccio deterministico può essere condotto in accordo ai 4 differenti metodi matematici:

- **Calcoli analitici**
- **Studio di un caso conservativo "Rilascio di un volume intrappolato"**

---

<sup>36</sup>Per il GNL, il LFL è di circa 5% di gas naturale in aria.

- **Studio di un caso conservativo: Rilascio continuo a pressione costante**
- **Calcoli computazionali**

### **Calcoli analitici**

In questo caso si impiegano equazioni matematiche standard, ovvero formulazioni note e disponibili nella letteratura tecnica di riferimento<sup>37</sup> per la modellazione della dispersione della nube gas. I dati tipici da utilizzare per i calcoli analitici implicano una varietà di parametri diversi che dovrebbero essere in grado di approssimare i modelli matematici in un contesto di soluzioni algebriche lineari quasi statiche.

### **Studio di un caso conservativo: Rilascio di un volume intrappolato**

La norma tecnica descrive uno scenario come il peggiore durante il trasferimento di bunkeraggio di GNL, ovvero la rottura della linea di bunkeraggio a causa di un evento catastrofico accidentale (come la deriva di una nave a causa di una collisione o di un guasto all'ormeggio).

Il Calcolo del rilascio massimo credibile avviene quindi sui seguenti presupposti:

- Il sistema di spegnimento di emergenza del sistema si attiva prima della rottura sulla tubazione. Questo richiede che sia credibile un preavviso o meglio che sia possibile avere un tempo di preavviso, come previsto nella ISO / TS 18683 e ISO 20519;
- Guasto parziale del sistema di rilascio di emergenza ovvero solo uno dei due lati sistema (lato nave o lato porto), con conseguente rilascio parziale del contenuto di GNL.

I suddetti presupposti portano a considerare il rilascio di GNL nello spazio tra l'estremità del tubo di alimentazione ed il corrispondente sistema di rilascio difettoso e quindi a definire la distanza sulla base del volume disponibile nell'interconnessione attraverso un semplice grafico

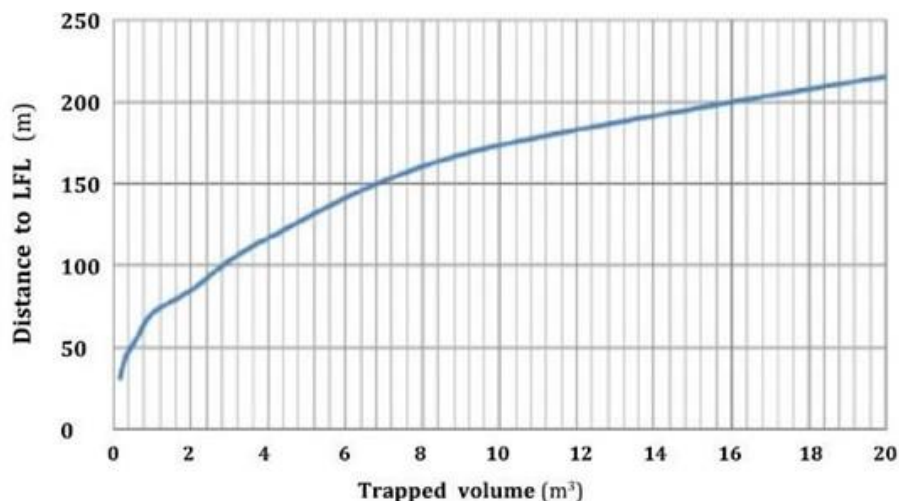
**Figura 37. Estensione della zona rispetto al volume di GNL rilasciato ed intrappolato nell'interconnessione**

<sup>37</sup> Di seguito si riportano alcuni riferimenti bibliografici rilevanti per i calcoli analitici: *Yellow Book di TNO (CPR 14E) che fornisce molti di questi modelli ed equazioni, Il libro di Milton Beychok "Fondamenti di Stack Gas Dispersion"*.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto





Fonte: Riprodotto da ISO 20519 figura B.3

La maggiore criticità di questo metodo risiede tuttavia nell'assunzione a monte, ovvero che si possa intervenire sul sistema di chiusura di emergenza prima della rottura.

Il preavviso per qualsiasi evento catastrofico dipende necessariamente dall'efficacia degli allarmi e l'arresto completo può richiedere alcuni secondi, non solo per intrinseche limitazioni tecniche ma anche per evitare aumento di pressione altrettanto pericolosi.

### **Studio di un caso conservativo: Rilascio continuo a pressione costante**

Il rilascio massimo credibile è definito a partire dalla rottura dell'interconnessione con uno strumento di controllo del sistema. Questo scenario che si può verificare senza rilevamento automatico da parte dei sistemi, determina un volume di GNL rilasciato prioritariamente legato al lasso di tempo, o al tempo di intervento, necessario affinché i sistemi di arresto intervengano.

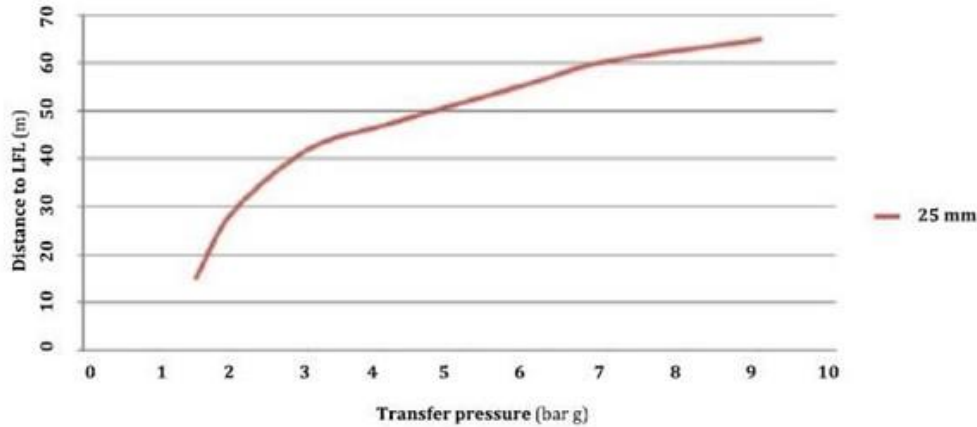
Completa il quadro delle assunzioni, il considerare il rilascio a pressione costante, poiché i sistemi e quindi le pompe, sono ancora in marcia, attraverso un foro da 25 mm.

Il grafico che permette di ottenere la distanza è riportato in figura sottostante, in cui si evidenzia come con il crescere della pressione di trasferimento, a parità di dimensione del foro di guasto, si abbia il LFL (punto di infiammabilità inferiore) a distanze maggiori dal punto di guasto, ovvero si coinvolga e metta a rischio di esplosione un'area più grande attorno al punto di guasto.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

**Figura 38. Estensione della zona rispetto alla pressione nel punto di rilascio di GNL**



Fonte: Riprodotto da ISO 20519 figura B.4

L'elemento di criticità di tale metodo è rappresentato dalle assunzioni molto conservative che portano ad ottenere distanze di sicurezza impraticabili nella maggioranza dei casi reali.

### Calcoli computazionali

Come evidenziato, entrambi gli approcci considerati dalla norma tecnica (ISO/ TS 18683 e ISO 20519) seppur in grado di fornire stime indicative affidabili, non sono sufficientemente flessibili per adattarsi alla grande varietà di possibili scenari di bunkeraggio di GNL.

A causa dell'elevato numero di variabili che definiscono i processi fisici coinvolti di formazione e dispersione di GNL, l'uso di strumenti computazionali per la modellizzazione e l'analisi ha preso sempre maggior piede, diventando la base per il supporto e per la definizione delle distanze di sicurezza durante la progettazione dei bunkeraggi di GNL.

La tendenza poi all'impiego di maggiori portate di trasferimento del GNL, di pressioni più elevate e di maggiore complessità della gestione del bunkeraggio sono alcuni dei motivi che hanno spinto all'adozione più frequente di tecniche e strumenti di modellazione più complessi.

Indipendentemente dal tool utilizzato, per lo scenario di massimo rilascio, l'impiego di questi strumenti richiede di modellare l'evento prendendo in considerazione i seguenti elementi:

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

- Proprietà del GNL, che riflette le condizioni di rilascio.
- Dimensione del foro, analizzando le attrezzature installate e le probabilità di guasto;
- Rugosità\Scabrezza della superficie sulla quale si disperdono i vapori/gas, (cioè terra o acqua);
- Altezza di uscita ed elevazione rispetto al mare del punto di rilascio;
- Condizioni di deflusso, portata e orientamento del rilascio, spazio disponibile in direzione del rilascio;
- Strutture e le caratteristiche fisiche che potrebbero significativamente aumentare o diminuire le distanze di dispersione.
- Condizioni meteo in corrispondenza della posizione di bunkeraggio: velocità del vento, umidità, temperatura dell'aria e la temperatura della superficie su cui avverranno le perdite di carburante.

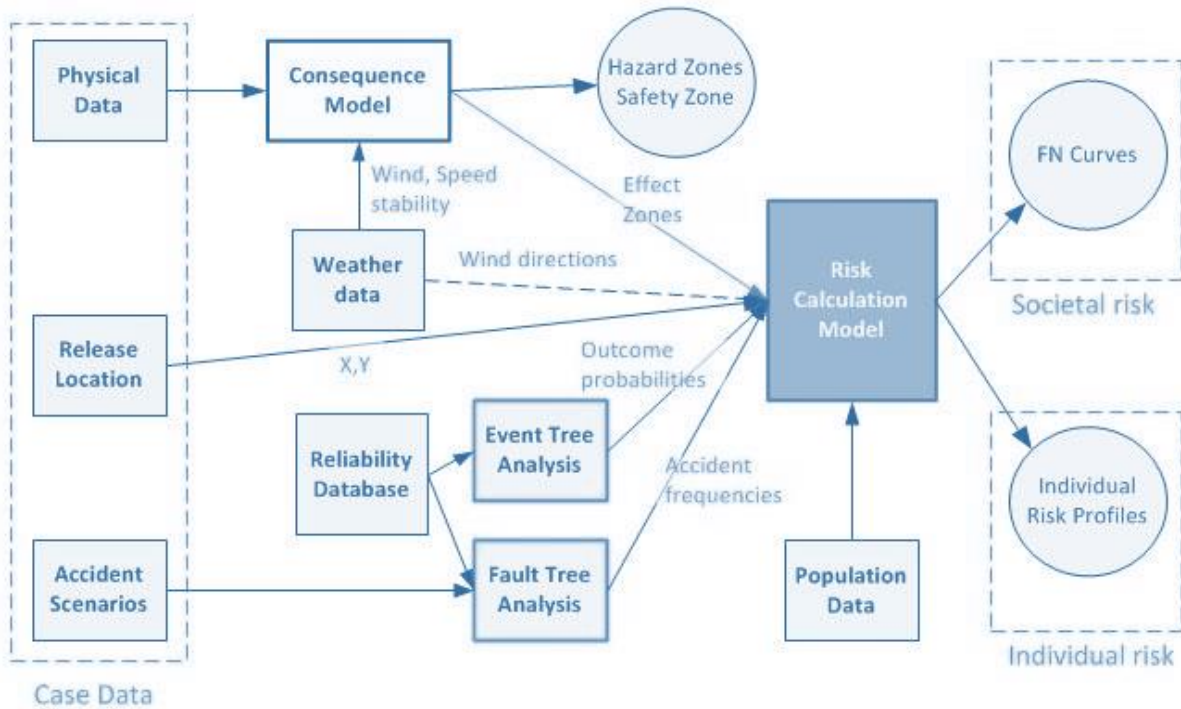
#### 4.3.2 Approccio probabilistico

Considerando come l'approccio deterministico esaminato possa comportare zone di sicurezza con estensione non facilmente gestibile nel contesto portuale di riferimento, è utile sottolineare come la limitazione geometrica di dette zone sia possibile prendendo in considerazione un **approccio probabilistico** ovvero mediante una valutazione quantitativa del rischio.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto

Figura 39. Schema di Calcolo - approccio probabilistico



Fonte: Study on the completion of an EU framework on LNG-fuelled ships and its relevant fuel provision infrastructure - European commission dg move -2015

L'approccio probabilistico deve avvenire attraverso due fasi, la prima basata sull'identificazione dei rischi (HazId) e la seconda di valutazione dei sistemi di mitigazioni e salvaguardia in grado di definire misure concrete (barriere fisiche, allarmi o altri dispositivi di sicurezza che siano in grado di ridurre la conseguenza o la probabilità di un determinato pericolo) che possano tutti gli scenari di rischio a livelli ALARP/ALARA.

La tabella di seguito illustra i requisiti fondamentali che il dominio di studio deve soddisfare per poter procedere nella valutazione del rischio.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

**Tabella 7 Requisiti del progetto per definire le distanze un metodo basato sul rischio**

Valutazione del rischio	Descrizione															
Probabilità di accensione	<p>Le probabilità di innesco devono rappresentare le installazioni e le operazioni ed essere applicate con riferimento alla norma IEC 600079-10-1 per:</p> <p>A) le zone di pericolo; B) all'interno della zona di sicurezza; C) fuori della zona di sicurezza</p>															
Protezione dell'obiettivo	<p>La valutazione dei rischi dovrebbe prendere in considerazione l'esposizione al rischio del personale di prima, seconda e terza fascia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Personale di prima fascia (Equipaggio e addetti al bunkeraggio) sono continuamente presenti nella zona di sicurezza durante il bunkeraggio;</li> <li>• Personale di seconda fascia (Gestore del terminale ed altro equipaggio) continuamente si presenterà direttamente fuori della zona di sicurezza durante le fasi di bunkeraggio;</li> <li>• Personale di terza fascia (Passeggeri e le altre persone che visitano il sito) possono essere presenti, ma non saranno continuamente esposti al rischio;</li> </ul>															
Eventi crescenti	<p>L'impatto sul personale deve principalmente valutare gli eventi iniziali. Gli eventi successivi avverranno in ritardo rispetto al primo facilitando l'evacuazione e la messa in atto delle misure di emergenza.</p>															
Scenari con Guasti Multipli	<p>Scenari con guasti multipli, in linea di principio, non dovrebbero essere necessari. Dovrebbe essere possibile affrontare ogni pericolo collegato ad un singolo rischio. Come per gli eventi successivi, gli scenari iniziali dovrebbero essere i principali punti di indagine.</p>															
Criteri di rischio	<p>Ad esempio, i criteri di accettazione del rischio definiti dalla ISO / TS 18683 allegato A e mostrati nella tabella seguente.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Acceptance criteria</th> <th>Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Individual risk 1<sup>st</sup> party personnel</td> <td>IR &lt; 10<sup>-5</sup></td> <td>Applies to crew and bunkering personnel directly involved in the activity.</td> </tr> <tr> <td>Individual risk 2<sup>nd</sup> party personnel</td> <td>IR &lt; 5 · 10<sup>-6</sup></td> <td>Port personnel and terminal personnel.</td> </tr> <tr> <td>Individual risk 3<sup>rd</sup> party personnel with intermittent risk exposure</td> <td>Risk contour for IR &lt; 5 · 10<sup>-6</sup></td> <td>3<sup>rd</sup> party personnel should not have access for prolonged period.</td> </tr> <tr> <td>Individual risk 3<sup>rd</sup> party personnel with prolonged risk exposure</td> <td>Risk contour for IR &lt; 10<sup>-6</sup></td> <td>General public without involvement in the activity. No residential areas, schools, hospitals etc. inside this risk contour.</td> </tr> </tbody> </table>		Acceptance criteria	Comment	Individual risk 1 <sup>st</sup> party personnel	IR < 10 <sup>-5</sup>	Applies to crew and bunkering personnel directly involved in the activity.	Individual risk 2 <sup>nd</sup> party personnel	IR < 5 · 10 <sup>-6</sup>	Port personnel and terminal personnel.	Individual risk 3 <sup>rd</sup> party personnel with intermittent risk exposure	Risk contour for IR < 5 · 10 <sup>-6</sup>	3 <sup>rd</sup> party personnel should not have access for prolonged period.	Individual risk 3 <sup>rd</sup> party personnel with prolonged risk exposure	Risk contour for IR < 10 <sup>-6</sup>	General public without involvement in the activity. No residential areas, schools, hospitals etc. inside this risk contour.
	Acceptance criteria	Comment														
Individual risk 1 <sup>st</sup> party personnel	IR < 10 <sup>-5</sup>	Applies to crew and bunkering personnel directly involved in the activity.														
Individual risk 2 <sup>nd</sup> party personnel	IR < 5 · 10 <sup>-6</sup>	Port personnel and terminal personnel.														
Individual risk 3 <sup>rd</sup> party personnel with intermittent risk exposure	Risk contour for IR < 5 · 10 <sup>-6</sup>	3 <sup>rd</sup> party personnel should not have access for prolonged period.														
Individual risk 3 <sup>rd</sup> party personnel with prolonged risk exposure	Risk contour for IR < 10 <sup>-6</sup>	General public without involvement in the activity. No residential areas, schools, hospitals etc. inside this risk contour.														

Fonte : ns elaborazione da EMSA Guidance on LNG Bunkering

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



### 4.3.3 Il calcolo computazionale

Negli ultimi anni, la modellazione CFD è diventata uno strumento molto utile in molte aree di ricerca e sviluppo. Il bunkeraggio di GNL non fa eccezione ed i calcoli computazionali rappresentano un mix tra l'approccio deterministico e quello probabilistico: da un lato infatti l'obiettivo del software è quello di determinare un modello più realistico o rappresentativo per la dispersione della nuvola di vapore di GNL, ma, d'altra parte, in questo modo, ci sono una serie di ipotesi per la costruzione dei dati di input, e successiva analisi, che si basano su scenari più o meno probabili. Per questo motivo non è inusuale ricorrere al loro impiego sia nel corso di approcci deterministici che probabilistici.

Esistono diverse opzioni per la modellazione computazionale di fuoriuscite accidentali di GNL durante le operazioni di bunkeraggio, che differiscono essenzialmente da quanto sono impegnative in termini di sforzo computazionale e da come possono modellare accuratamente i fenomeni fisici di fuoriuscita di GNL in condizioni specifiche.

Sebbene l'analisi di questi strumenti e delle loro caratteristiche esuli dall'oggetto del presente report potrebbe essere al contrario molto utile in futuro sviluppo del presente lavoro, definire le caratteristiche minime delle variabili di maggior sensibilità con cui tali sistemi software dovrebbe essere confrontati.

Tutti i software attualmente disponibili si prestano ovviamente ad essere utilizzati in entrambi gli approcci evidenziati, e la scelta di un prodotto in luogo di un altro è funzione degli input disponibili e della definizione degli output che si intende raggiungere, ovvero in sintesi, dalla complessità del problema che si vuole risolvere.

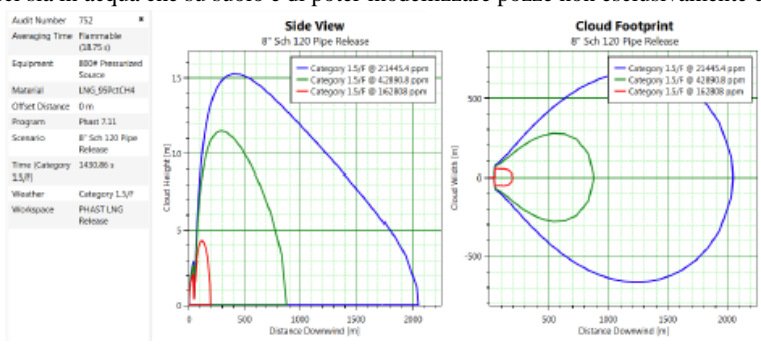
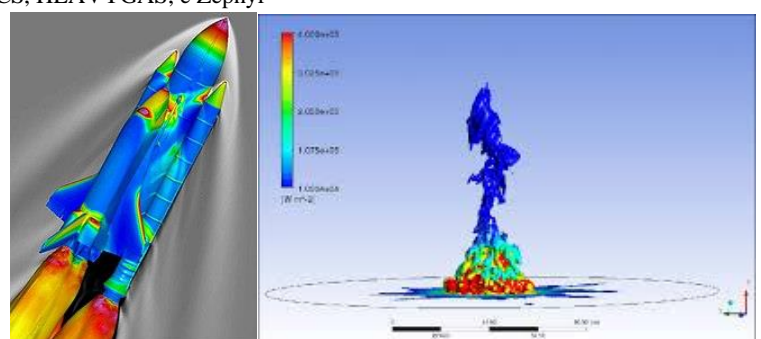
Ciò detto si riportano alcuni esempi a titolo puramente illustrativo degli output ottenuti dai tools software di computazione.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



**Tabella 8 Caratteristiche dei principali tools software**

TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
<p><b>Modelli integrali</b></p>	<p>Questi modelli coniugano l'esigenza di ottenere modellizzazioni più dettagliate con la semplificazione dell'algoritmo, così da consentire costi computazionali inferiori e poter pertanto allargare il dominio spaziale dello studio. Esempi di software sono: SOURCE5, GASP, SafeSite3G, PHAST, ALOHA, , LNGMAP, e FLACS. PHAST ha, in particolare, ottenuto grande visibilità grazie alla possibilità, utile nei sistemi di bunkeraggio, di considerare rilasci sia in acqua che su suolo e di poter modellizzare pozze non esclusivamente circolari.</p>  <p><b>Audit Number:</b> 752  <b>Averaging Time:</b> Flammable (0.75 s)  <b>Equipment:</b> 800W Pressurized Source  <b>Material:</b> LNG, 95%CH4  <b>Offset Distance:</b> 0 m  <b>Program:</b> Phast 7.31  <b>Scenario:</b> 8" Sch 120 Pipe Release  <b>Time (Category 1.5/F):</b> 1430.86 s  <b>Weather:</b> Category 1.5/F  <b>Workspace:</b> PHAST LNG Release</p> <p><b>Side View</b>        8" Sch 120 Pipe Release        Cloud Height [m] vs Distance Downwind [m]. Legend: Category 1.5/F @ 23445.4 ppm (blue), Category 1.5/F @ 42890.8 ppm (green), Category 1.5/F @ 162838 ppm (red).</p> <p><b>Cloud Footprint</b>        8" Sch 120 Pipe Release        Cloud Width [m] vs Distance Downwind [m]. Legend: Category 1.5/F @ 23445.4 ppm (blue), Category 1.5/F @ 42890.8 ppm (green), Category 1.5/F @ 162838 ppm (red).</p>
<p><b>Box o Top-Hat</b></p>	<p>Esistono due tipi di modelli box o top-hat: quelli basati su formule gaussiane modificati\semplificate e quelli basati su profilo di somiglianza, e si distinguono appunto sulla base della complessità delle equazioni di conservazione che devono e sono in grado di risolvere. Esempi di modelli includono SCIPUFF, TWODEE, LASTRA, HEGADAS, DEGADIS, ALOHA e GASTAR. Di questi i comunemente usati in ambito industriale sono LASTRA e ALOHA in ragione del minor tempo di calcolo e della sua accettabile accuratezza.</p> <p>Questi modelli garantiscono la descrizione più completa della fisica dei fluidi e dei gas. Il processo di dispersione del GNL viene ricostruito sulla base delle equazioni tridimensionali, funzione del tempo, e dipendenti dal principio di conservazione della quantità di moto, massa, energia. Sebbene forniscano una descrizione più completa dei processi fisici disponibili e funzionino meglio dei modelli box o top-hat, i modelli Navier-Stokes sono i più esigenti in termini di risorse computazionali e ciò costituisce anche il loro limite attuale. Esempi di modelli di Navier-Stokes che possono essere impiegati nel caso di gas più densi dell'aria quali FEM3, FEMSET, FLACS, HEAVYGAS, e Zephyr</p>
<p><b>Navier-Stokes CFD Tools</b></p>	

Fonte: ns elaborazione da EMSA Guidance on LNG Bunkering

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto





### 4.3.3.1 Confronto delle distanze di sicurezza

La tabella sottostante contiene una sintesi delle metodologie presentate nei paragrafi precedenti ed impiegate per il calcolo delle distanze sicurezza.

Tabella 9. Metodologia per il calcolo delle distanze di sicurezza

Metodo	Vantaggi	Svantaggi
<b>Analitico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Buono per una prima stima grossolana.</li> <li>Non c'è bisogno di software complesso, tenendo conto dei principi fondamentali.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Può comportare complessi calcoli matematici</li> <li>Difficile rappresentazione geometrica dei modelli di dispersione</li> <li>Soggetto ad errori</li> </ul>
<b>Rilascio di un volume intrappolato</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facile da curve di utilizzo, disponibile in standard ISO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La mancanza di informazioni sui parametri</li> <li>Gli scenari per entrambi i casi (a) e (b) possono non essere completamente realistici ed estremamente conservativi</li> </ul>
<b>Rilascio continuo a pressione costante</b>		
<b>Computazionale - Integrale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilità di impiego</li> <li>Costo computazionale sostenibile rispetto a tool informatici più complessi (strumenti CFD).</li> <li>Adeguatezza alla definizione delle Distanze di sicurezza quando le condizioni locali non presentano vincoli complicati.</li> <li>PHAST presenta capacità di modellizzare sversamenti sia su terra e che su acqua.</li> </ul>	<p>Di solito limitata alla modellazione di vasche circolari, superfici piane, e il trasferimento di calore solo dai substrati. Potrebbe essere insufficiente a situazioni in cui modello Dispersione del flusso di vapore di GNL è prevalentemente non-lineare.</p>
<b>Computazionale - Box / Top-Hat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tempo di calcolo veloce</li> <li>Ragionevole accuratezza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La perdita di GNL nube struttura completa a causa di media.</li> <li>Non è possibile modellare un terreno complesso o portata intorno agli ostacoli.</li> </ul>
<b>Computazionale - CFD / Navier-Stokes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Può modellare terreno complesso e il flusso attorno agli ostacoli</li> <li>Tipica interfaccia personalizzata di facile utilizzo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sforzo computazionale eccessivo e tempi di calcolo lunghi.</li> <li>Può introdurre errori difficili da individuare</li> </ul>

Fonte: ns elaborazione da EMSA Guidance on LNG Bunkering

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto



#### 4.4 ZONA DI MONITORAGGIO E DI SORVEGLIANZA

A differenza delle zone di pericolo e delle zone di sicurezza, determinate dalla probabilità di presenza di atmosfera esplosiva nelle rispettive zone di controllo e dalla necessità di mitigare il rischio di accensione ed escalation di incidenti, la **zona di sicurezza** affronta fattori esterni.

Come definito nella norma ISO standard ISO / TS 18683 e ISO 20519: *La zona di monitoraggio è una zona in cui il traffico navale e altre attività devono essere monitorati durante il bunkeraggio, prendendo atto che dovrebbe essere sempre più grande della zona di sicurezza.*

Il termine "monitorato" nella definizione è il termine più importante per quanto riguarda la zona di monitoraggio o controllo. Esso attribuisce tipicamente alle Autorità di Sistema Portuale (AdSP) ad altro ente di controllo a ciò preposto, ma in senso assoluto anche al soggetto gestore del sistema di bunkeraggio, la responsabilità di monitorare le attività nelle vicinanze del bunkeraggio di GNL, sviluppando le misure necessarie per mitigare qualsiasi rischio di tali attività che incidono sulle operazioni di bunkeraggio del GNL.

Gli obiettivi della Zona di monitoraggio e controllo sono pertanto:

- Definizione di un'area in cui procedere al monitoraggio delle altre attività e operazioni in prossimità del luogo di bunkeraggio del GNL.
- Identificazione dei potenziali rischi per l'operazione di bunkeraggio di GNL derivanti dallo svolgimento dalle attività in corso o previste nell'area portuale.
- Definizione un'area in cui sono possibili disposizioni speciali, per un periodo di tempo limitato, poco prima delle operazioni di bunkeraggio del GNL fino a poco dopo (dalla fase di pre-bunkeraggio alla post-bunkeraggio).

Le seguenti attività, esterne alla zona di sicurezza ma in prossimità della sede di bunkeraggio del GNL, dovrebbero essere considerate durante la realizzazione della zona di monitoraggio:

- Altra nave o navi che passano in prossimità della zona di bunkeraggio.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto



- Navi ormeggiate in prossimità della zona di bunkeraggio.
- Impianti industriali, fabbriche e strutture pubbliche e private (ristoranti, centri commerciali, etc.).
- Circolazione stradale circostante e all'interno della zona portuale (anche droni).
- Presenza di attività di logistica (gru e altre operazioni di carico e scarico)
- Lavori di costruzione e manutenzione dell'infrastruttura portuale
- Presenza di servizi pubblici, intesi come attività e sottoservizi (ad es. infrastrutture di telecomunicazione).

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

## 5 APPLICAZIONE PRELIMINARE IN AMBITO PORTUALE

### 5.1 VALUTAZIONE DEL RISCHIO

In accordo alla finalità del presente report, si procederà con una valutazione del rischio delle diverse soluzioni tecnologiche, ipotizzando un contesto realizzativo generico.

L'approccio seguito sarà inevitabilmente di tipo ibrido o semi-quantitativo e si svolgerà su base deduttiva, ovvero partendo da una fase di individuazione dei rischi che permetterà di considerare contemporaneamente diversi fattori, in modo qualitativo, si ipotizzerà l'evento finale per risalire agli eventi che potrebbero causarlo.

Successivamente la quantificazione del rischio avverrà con una formulazione quantitativa, in cui il rischio sarà valutato attraverso una funzione  $R=f(P,D)$ , utilizzando tuttavia un metodo semplificato che senza ridurre i fattori di analisi coinvolti, permetta una visione sintetica della percezione del rischio delle diverse sulle diverse soluzioni tecnologiche possibili.

Un approccio di questo tipo appare in grado di fornire un esempio metodologico flessibile e di facile comprensione con cui analizzare il processo di valutazione del rischio. È infatti necessario ricordare quanto evidenziato al capitolo 2 in merito alle finalità della valutazione del rischio, che per sua stessa natura non può giungere ad un esito attendibile senza partire dall'analisi dei pericoli e le loro cause in modo sito specifico.

Per questa ragione non è possibile procedere con un'analisi del rischio che abbia come primo elemento l'individuazione dei comuni rischi associabili alle *operations* di un terminal GNL a livello marittimo-portuale (ovvero Boil-off gas, contatto con il GNL, stratificazione e rollover, sloshing, RPT, BLEVE, VCE, Flash fire, Jet fire e Pool fire, Asfissia) ma sarà possibile unicamente affrontare in relazione alle diverse tipologie impiantistiche alcuni tipici eventi negativi, che possano fornire alcuni indicazioni di più alto livello sul livello di rischio dei singoli sistemi.

Le fasi che saranno sviluppate, in piena conformità ai metodi noti, possono essere riassunte in:

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

1. Individuazione dei rischi: si individuano in modo sistematico tutti i pericoli legati all’attività in esame ed i fattori di rischio connessi (utilizzando la conoscenza bibliografica di settore)
2. Quantificazione del rischio: si stima il rischio per ogni categoria di pericolo individuato.
3. Valutazione dell’accettabilità del rischio: questa fase comprende il giudizio sul grado di accettabilità del rischio stesso e l’indicazione delle situazioni in cui le azioni di mitigazione sembrano indicate o necessarie.

### 5.1.1 Individuazione dei rischi

Visto e considerato il livello generale (“alto”) di applicazione con cui stiamo procedendo, tenuto anche in considerazione la finalità stessa del presente report, non è possibile applicare un metodo HazId completo, ma è necessario limitarsi ad una identificazione dei rischi per soluzione tecnologica basandosi sugli elementi generalmente noti dei sistemi e sulle caratteristiche tipiche degli ambienti portuali dell’Alto e Medio Mar Ligure, in cui il bunkeraggio si presume andrà ad operare.

**Tabella 10. Individuazione dei rischi per soluzione tecnologica**

Tecnologia Realizzativa	Rischio individuato
SHIP TO SHIP:	Condizioni del mare avverse (collisione); Movimento brusco della nave che potrebbe causare una tensione eccessiva sul tubo flessibile di bunkeraggio (rottura tubazione); Perdita di GNL durante le fasi di carico/scarico; Incremento traffico marittimo; Rottura serbatoio criogenico; Innesco di incendio o esplosione del GNL fuoriuscito accidentalmente.
TRUCK TO SHIP:	Rottura serbatoio criogenico; Innesco di incendio o esplosione del GNL fuoriuscito accidentalmente; Effetto domino; Incremento traffico stradale; Vulnerabilità agli attacchi terroristici.
PORT TO SHIP VIA PIPELINE	Rottura serbatoio criogenico; Rottura tubazioni; Innesco di incendio o esplosione del GNL fuoriuscito accidentalmente; Effetto domino; La vulnerabilità agli attacchi terroristici

Fonte: ns elaborazione

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto



Una volta individuati per ogni tipologia di bunkeraggio i possibili rischi specifici correlati a ciascuna soluzione tecnologica per le diverse lavorazioni e le differenti fasi (vedi tabella precedente) è stato possibile collocarli secondo macro-ambiti così da poter confrontare tra loro i risultati di valutazione preliminare.

I **macro ambiti** di rischio individuati sono:

1. ambientale
2. impiantistico,
3. socio-politico,
4. attività interferenti interne
5. incidentale esterno

Questa categorizzazione fa ovviamente riferimento all'origine della minaccia di rischio che si potrebbe andare a concretizzare.

### **Ambito Ambientale**

Rientrano a pieno titolo in questa categoria tutti gli eventi di origine naturale, che con il loro accadimento, potrebbero rendere più elevata la probabilità o - in caso di grandi calamità - certo il verificarsi di guasti\malfunzionamenti\rottture dei sistemi costituenti l'impianto di bunkeraggio.

È importante sottolineare come sebbene per alcuni tipi di eventi naturali (ad esempio fulminazioni, inondazioni, etc.) si possano prevedere mitigazioni o sicurezze ulteriori, per alcuni di essi (ad esempio terremoti, maremoti), pur procedendo con una progettazione, secondo fattori molto cautelativi, la reale efficacia dell'azione è possibile praticamente solo a posteriori.

Diviene pertanto rilevante, pur esulando dallo scopo di questo, la fase di permitting dell'impianto momento in cui sarà possibile verificare che tutti gli elementi conoscitivi del contesto territoriale

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



(rischio idraulico, rischio alluvioni, rischio sismico, etc.) siano stati debitamente considerati e valutati.

Rientra, inoltre, in questo sotto-ambito la minaccia rappresentata dal contesto territoriale in cui le apparecchiature si troverebbero ad operare. È possibile, infatti, che in relativa contiguità con le aree portuali identificate per il sistema GNL si possano trovare realtà industriali, servizi e sottoservizi, etc. tale da rendere molto rilevante il rischio di effetto domino in caso di potenziale incidente primario sulle apparecchiature GNL.

### **Ambito Impiantistico**

I rischi collocabili in ambito impiantistico sono riconducibili al malfunzionamento di valvole o tubazioni utilizzati per il trasporto di GNL, le quali, potrebbero causare perdite di GNL con rischio di incendio e/o esplosioni.

È evidente come si tratti in massima parte delle minacce potenziali già descritti nel paragrafo “3.2 - *Rischi connessi al gnl*” e che sono legate alla parte operativa delle attività più tipicamente condotte nell’ambito di un terminal GNL a livello marittimo-portuale.

Non si tratta in senso assoluto solo di malfunzionamenti e guasti, che sicuramente giocano un importante ruolo, ma anche di scarsa chiarezza o errori nelle procedure, mancanza di formazione, scarsa manutenzione dei dispositivi di monitoraggio, superficialità e cattiva gestione della routine lavorativa, ovvero in sintesi di inefficienza del sistema di gestione.

Questa minaccia racchiude con sé alcuni dei più importanti eventi che qualora fossero mal gestiti possono determinano incrementi considerevoli della probabilità di accadimento dell’incidente.

La formazione di Boil-Off gas, il contatto di GNL con sistemi non adatti alle temperature criogeniche, situazioni di Rapid Phase Transition (RPT) sono eventi di per sé tutto altro che infrequenti nel funzionamento di un sistema di bunkeraggio del GNL e se da un lato tutto il layout impiantistico è dotato di sensori, valvole di sicurezza, etc. dall’altro la presenza di procedure operative chiare e ben impartite resta comunque lo strumento di maggior contenimento del rischio potenziale.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto



## Ambito Socio Politico

In ambito socio/politico si è preso in considerazione il rischio dettato dalla vulnerabilità agli attacchi terroristici. Tenuto conto dei molteplici rischi connessi al regolare svolgimento delle operazioni di *bunkering* e di stoccaggio di GNL, larga parte della letteratura<sup>38</sup> ha posto in evidenza la necessità di proteggere da atti di violenza o di terrorismo le strutture e gli impianti che trattano questo tipo di combustibile.

Questo richiede la messa a punto di specifici sistemi e procedure per la protezione delle aree e degli impianti in oggetto; tuttavia, è opportuno precisare che i serbatoi a terra per il contenimento di GNL, se realizzati secondo le regole e le normative imposte, anche per motivi di sicurezza, necessitano di sistemi e attrezzature non comuni per la loro manomissione.

Dal punto di vista teorico, ad esempio, l'impatto di un aereo in prossimità di un terminale di GNL causerebbe dapprima la combustione del combustibile dell'aereo, e, solo successivamente, l'innesco dei vapori di GNL, a causa del calore sviluppato.

Per ridurre i rischi di danni a persone, strutture e attrezzature, torna ad essere fondamentale quindi la definizione di apposite distanze di sicurezza (azzonamento) e specifiche procedure autorizzative per l'accesso alle zone più sensibili e critiche.

Ulteriori contromisure per prevenire attacchi terroristici o altri atti violenti sono costituite da ispezioni, pattugliamenti, piani di sicurezza in caso di breccia nella sicurezza e sistemi di comunicazione di emergenza.

## Ambito Attività Interferenti Interne

Rientrano in questo ambito, l'insieme delle minacce interferenti generate dal contesto in cui gli impianti si trovano ad operare.

---

<sup>38</sup>Danish Maritime Authority, 2012; Foss, 2006

È evidente come in realtà portuali si abbia uno scenario operativo piuttosto eterogeneo ed articolato, sia in funzione delle singole aree all'interno dello stesso ambito portuale sia tra ambiti portuali geograficamente diversi.

Sebbene sia possibile definire all'interno della categoria, alcuni sotto-ambiti, che tengano ancora più in considerazione le peculiarità del sito oggetto di intervento, ovvero attività marittime o attività terrestri, data la finalità della valutazione.

Detto ciò, è possibile inserire in questo ambito le minacce afferenti alle attività di logistica, di carico e scarico container o merci, la presenza di navi con merci pericolose e tutti i rischi collegati di collisione con i mezzi meccanici di sollevamento e di movimentazione impiegati per la gestione dei carichi. È possibile prendere in considerazione, piuttosto che l'incremento del numero di mezzi (meno rilevante poiché trattandosi di mobilità su gomma, l'incidenza di eventuali "truck" di GNL sull'intera logistica portuale non sembra così significativa) la presenza di mezzi con carichi pericolosi e, in modo del tutto analogo al caso marittimo, il maggior rischio di collisione che si può generare con la presenza di GNL-truck in porto.

### **Ambito Incidentale Esterno**

Rientrano in questo ambito, l'insieme delle minacce generate dal contesto urbano in prossimità del quale gli impianti si possono trovare ad operare. Da un punto di vista molto pratico, si tratta della possibilità che un eventuale accadimento accidentale esterno ai perimetri portuali possa innescare un effetto domino sul sistema GNL.

Elementi quali la presenza di assi viari e ferroviari, spesso caratterizzati da trasporti eccezionali, è un elemento sicuramente comune, e lo scenario in cui anche un banale incidente possa incrementare notevolmente il quadro dei rischi del bunkeraggio non è affatto da sottovalutare.

Parimenti lo svolgersi di attività sullo specchio acqueo o in sua prossimità costituiscono anch'esse uno scenario in grado di aggravare la valutazione dei rischi da eseguirsi prima dell'installazione di

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

un bunker. Non è infine infrequente la presenza di altri depositi costieri e non, di industrie operative, di terminal energetici rilevanti, la cui contemporanea presenza rende a conti i fattori tutti i singoli fattori di rischio profondamente diversi da caso a caso. Alla luce di quanto rappresentato, nella Tabella 11 è stata ipotizzata una suddivisione dei rischi negli ambiti descritti, che permetta, con il livello di trattazione possibile in questo report, di confrontare tra loro i diversi profili di rischio sotto condizioni comuni e standard.

**Tabella 11. Suddivisione dei maggiori rischi in macroambiti**

TIPO	AMBIENTALE	IMPIANTISTICO	SOCIO POLITICO	ATTIVITA' INTERFERENTI	INCIDENTALE ESTERNO
<b>STS</b>	Condizioni del mare avverse (collisione) Terremoti Maremoti	Rottura serbatoio criogenico	Vulnerabilità agli attacchi terroristici	Incremento traffico marittimo	Errori di manovra delle altre navi presenti
		Innesco di incendio o esplosione del GNL fuoriuscito			
		Malfunzionamento sistemi di emergenza			
		Perdita di GNL durante le fasi di carico/scarico			
<b>TTS</b>	Effetto domino Terremoti Maremoti	Rottura serbatoio criogenico	Vulnerabilità agli attacchi terroristici	Presenza di attività logistica nell'area portuale (Attività di carico e scarico merci)	Possibili mezzi fuori controllo che entrino in collisione con l'impianto
		Innesco di incendio o esplosione del GNL fuoriuscito			
		Malfunzionamento sistemi di emergenza			
		Perdita di GNL durante le fasi di carico/scarico			
<b>PTS</b>	Effetto domino Terremoti Maremoti	Rottura serbatoio criogenico	Vulnerabilità agli attacchi terroristici	Collisioni con le strutture fisse dei mezzi di trasporto dediti alla logistica	Possibili mezzi fuori controllo che entrino in collisione con l'impianto  Presenza di aziende ERIR in prossimità agli impianti
		Innesco di incendio o esplosione del GNL fuoriuscito accidentalmente			
		Interferenza lavorazioni esterne			
		Perdita di GNL durante le fasi di carico/scarico			

40Fonte: ns elaborazione da EMSA Guidance on LNG Bunkering

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

## 5.1.2 La quantificazione del rischio

Il metodo utilizzato per semplificare la valutazione di una molteplicità di situazioni e di individuare, in maniera significativa, la stima e la scelta della tipologia di bunkeraggio, è quello che fornisce il livello del rischio **[R]** quale prodotto tra la frequenza **[F]** che l'evento accada e la magnitudo **[M]** conseguente:

$$R = F \times M$$

La **matrice di rischio** fornirà una rappresentazione dei pericoli derivanti dall'accadimento degli scenari incidentali individuati senza la necessità di ricorrere ad una valutazione quantitativa del rischio ad essi associato, ma basandosi sulla valutazione separata della frequenza e del livello di conseguenza di ogni singolo evento.

La matrice è stata ottenuta riportando in un piano la frequenza attesa dell'accadimento e la severità delle conseguenze associate alle categorie incidentali individuati.

La posizione di un evento nella matrice è quindi una quantificazione, sebbene qualitativa, del rischio ad esso associato e può essere utilizzata ai fini di una valutazione sulla accettabilità dei pericoli associati all'evento in esame, consentendo di discriminare tra tutti gli scenari quelli maggiormente critici. Le frequenze di accadimento degli eventi incidentali sono state suddivise in cinque classi come segue:

Tabella 12. Classificazione delle frequenze di accadimento

FREQUENZA F [Scenari/anno]	DEFINIZIONE	CLASSE	VALORE
<b>F &gt;= 1.0 E-03</b>	Scenario non trascurabile	F1	5
<b>1.0 E-04 &lt;= F &lt; 1.0 E-03</b>	Scenario improbabile	F2	4
<b>1.0 E-05 &lt;= F &lt; 1.0 E-04</b>	Scenario raro	F3	3
<b>1.0 E-05 &lt;= F &lt; 1.0 E-06</b>	Scenario molto raro	F4	2
<b>F &lt; 1.0 E-06</b>	Scenario estremamente raro	F5	1

Fonte: Ns Elaborazione da dati "General Guidance on Emergency Planning within the CIMAH regulation for chlorine installation CIA" – "Capitolo 2 dell'Allegato III al D.P.C.M. 31/03/89" – Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 9 maggio 2001, "Requisiti min

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



La classificazione dei danni utilizzata è riportata nella tabella seguente:

**Tabella 13. Classificazione dei danni**

DEFINIZIONE CLASSE	CLASSE DI DANNO	VALORE
Elevata letalità in prossimità del rilascio (5 ÷ 15 m), inizio letalità entro i confini di impianto.	<b>A</b>	<b>1</b>
Elevata letalità entro i confini di impianto, inizio letalità entro i confini di proprietà, lesioni irreversibili fuori dalla proprietà, ma entro i confini portuali.	<b>B</b>	<b>2</b>
Elevata letalità entro la proprietà, inizio letalità nei pressi di uffici e sale controllo non bunkerizzate, effetti domino su grandi serbatoi e strutture elevate, lesioni irreversibili fuori dal confine portuale	<b>C</b>	<b>3</b>
Elevata letalità su aree industriali esterne alla proprietà, inizio letalità fuori dai confini portuali.	<b>D</b>	<b>4</b>
Elevata letalità su aree non industriali esterne al confine portuale, eventi che danno sovrappressioni eccedenti la pressione di progetto su sale controllo bunkerizzate, effetti domino su grandi serbatoi di stoccaggio liquefatti, inizio letalità su sistemi di protezione (pompe antincendio), inizio letalità su centri abitati.	<b>E</b>	<b>5</b>

Fonte: Ns elaborazione su riferimento normativo Tab.2 D.M. 9/05/2001

Ai fini del confronto tra le diverse tipologie di bunkeraggio, i risultati sono stati rappresentati mediante diagrammi di Kivat o diagramma a radar.

Questo tipo visualizzazione consente di confrontare i dati rilevati per diverse categorie, e permette di mostrare variabili multiple in forma di un grafico bidimensionale di tre o più categorie, riferendole ad assi con la stessa origine. Più ci si allontana dal centro, più il fenomeno è rilevante, ovviamente in senso positivo o negativo a seconda di ciò che si misura e di come lo si è misurato. Al centro convenzionalmente si dà il valore 0, e tutti i singoli segmenti del grafico aumentano di valore in funzione dello spostamento che hanno verso la periferia, con una scala che deve essere comune a tutti i singoli segmenti. A ogni segmento o raggio corrisponde quindi un elemento, in genere qualitativo, e la lettura del grafico risultante è molto semplice ed immediata, prestandosi facilmente a

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto

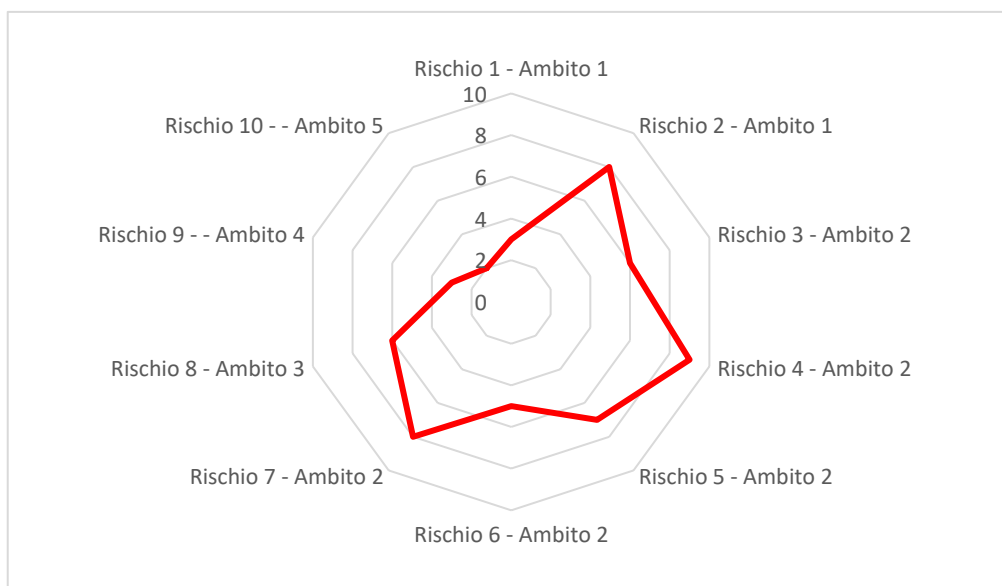


considerazioni critiche e strategiche grazie alla visione ampia ma sintetica di tutta la variabilità del dominio analizzato.

Nel caso studio per ciascun sistema di bunkeraggio sono stati indicati nel diagramma, mediante segmenti di lunghezza diversa, il risultato della valutazione, mediante la matrice di rischio, dei singoli rischi individuati in ciascun macro ambito.

In base alla Tabella 11. Suddivisione dei maggiori rischi in macroambiti, sono stati infatti individuati per ciascuna ipotesi tecnologica (STS, TTS, PTS) 2 rischi nel macro ambito Ambientale, 4 rischi nel macro ambito Impiantistico, 1 rischio rispettivamente nel macro ambito Socio Politico, Interferenze Interne e Incidentale Esterno. Di conseguenza nel diagramma saranno siano rappresentati tutti i dieci maggiori rischi ed i cinque macro ambiti di ciascun sistema.

**Figura 41. Esempio di Diagramma di sintesi per singola tecnologia**



Fonte: ns elaborazione da EMSA Guidance on LNG Bunkering

Nel dettaglio, il diagramma singolo di ogni sistema consente di capire la maggiore o minore sensibilità del sistema rispetto ad un particolare macro ambito di rischio, dando quindi evidenza di quanto una tecnologia possa in modo preventivo essere adattabile a contesti in cui quei rischi possono

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

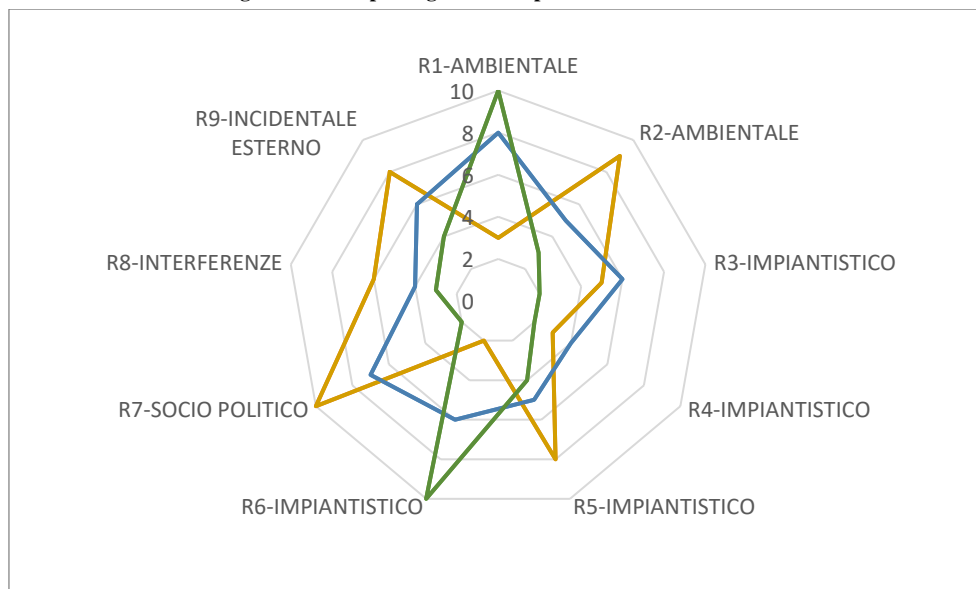
essere presenti con un valore maggiore o minore rispetto a quanto valutato in via generale nel presente studio.

Dalla sovrapposizione invece dei tre diagrammi si ha invece una chiara indicazione attraverso l'impronta del grafico (o area circoscritta) di quale sia la tecnologia con un rischio complessivo più alto e quale presenti macro ambiti di rischio più critici rispetto alle altre soluzioni possibili.

Si tratta come già evidenziato più volte, di una valutazione di tipo qualitativo, fornita su dati bibliografici ed aspecifici, che può essere senza dubbio utile ad inquadrare la problematica nella fase di studio di fattibilità, ma deve necessariamente portare a valutazioni ed analisi sito specifiche del progetto che si intende effettivamente realizzare.

Di seguito viene riportato un Diagramma Radar puramente esemplificativo, dove nelle ordinate è stato indicato il Valore del Rischio (da 1 a 5) mentre nelle ascisse la macrocategoria di rischio presa in esame.

**Figura 42. Esempio di grafico comparativo dei rischi valutati**



Fonte: ns elaborazione

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



### 5.1.2.1 Ship to Ship

Tabella 14. Quantificazione dei rischi di STS per ciascun macro ambito

ID	Ambito di rischio	Rischio	Frequenza	Magnitudo	Rischio
R1	AMBIENTALE	Condizioni del mare avverse	5	2	10
R2	AMBIENTALE	Terremoti Maremoti	2	5	10
R3	IMPIANTISTICO	Rottura serbatoio criogenico	2	3	6
R4	IMPIANTISTICO	Innesco di incendio o esplosione del GNL fuoriuscito	3	2	6
R5	IMPIANTISTICO	Malfunzionamento dei sistemi di emergenza	2	3	6
R6	IMPIANTISTICO	Perdita di GNL durante le fasi di carico/scarico	2	4	8
R7	SOCIO POLITICO	Vulnerabilità agli attacchi terroristici	1	5	5
R8	INTERFERENZE	Incremento traffico marittimo	3	2	6
R9	INCIDENTALE ESTERNO	Errori di manovra delle altre navi presenti	3	3	9

Fonte: ns elaborazione

Figura 43. Diagramma a Radar riferita al bunkeraggio Ship to Ship



Fonte: ns elaborazione

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto

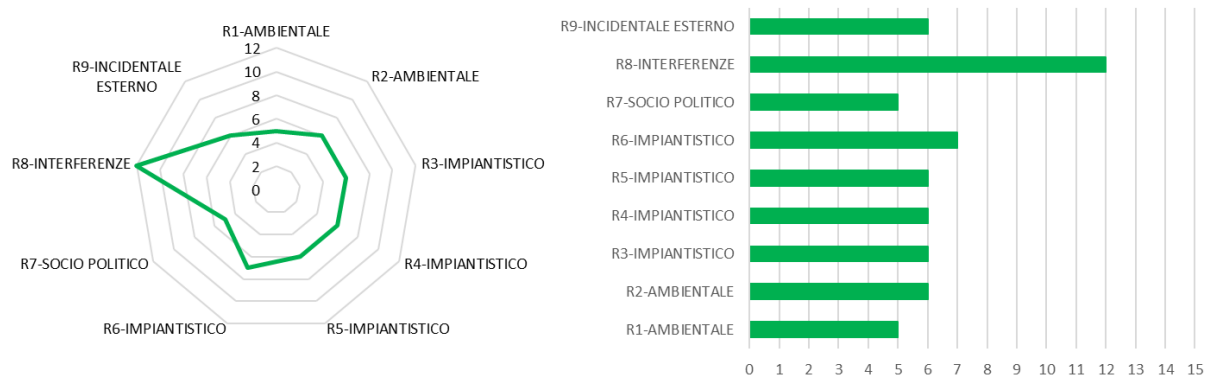
### 5.1.2.2 Truck to Ship

Tabella 15. Quantificazione dei rischi di TTS per ciascun macro ambito

ID	Ambito di rischio	Rischio	Frequenza	Magnitudo	Rischio
<b>R1</b>	AMBIENTALE	Effetto domino	1	5	5
<b>R2</b>	AMBIENTALE	Terremoti Maremoti	2	3	6
<b>R3</b>	IMPIANTISTICO	Rottura serbatoio criogenico	2	3	6
<b>R4</b>	IMPIANTISTICO	Innesco di incendio o esplosione del GNL fuoriuscito accidentalmente.	3	2	6
<b>R5</b>	IMPIANTISTICO	Malfunzionamento dei sistemi di emergenza	2	3	6
<b>R6</b>	IMPIANTISTICO	Perdita di GNL durante le fasi di carico/scarico	2	4	8
<b>R7</b>	SOCIO POLITICO	Vulnerabilità agli attacchi terroristici	1	5	5
<b>R8</b>	INTERFERENZE	Presenza di attività logistica nell'area portuale (Attività di carico e scarico merci)	4	3	12
<b>R9</b>	INCIDENTALE ESTERNO	Possibili mezzi fuori controllo che entrino in collisione con l'impianto	2	3	6

Fonte: ns elaborazione

Figura 44. Diagramma a Radar riferita al bunkeraggio TTS



Fonte: ns elaborazione

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



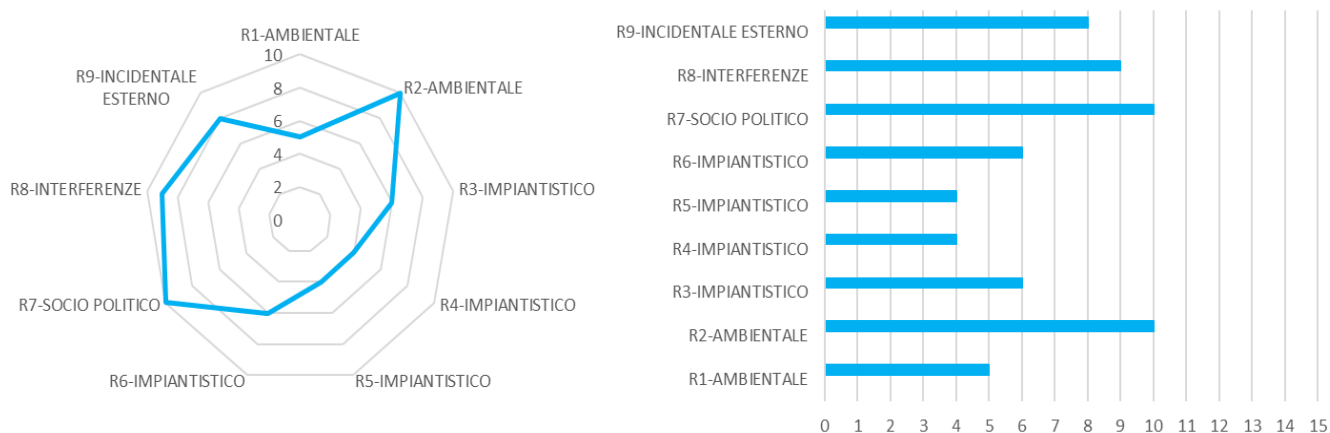
### 5.1.2.3 Port to ship

Tabella 16. Quantificazione dei rischi di PTS per ciascun macro ambito

ID	Ambito di rischio	Rischio	Frequenza	Magnitudo	Rischio
<b>R1</b>	AMBIENTALE	Effetto domino	1	5	5
<b>R2</b>	AMBIENTALE	Terremoti Maremoti	2	5	10
<b>R3</b>	IMPIANTISTICO	Rottura serbatoio criogenico	2	3	6
<b>R4</b>	IMPIANTISTICO	Innesco di incendio o esplosione del GNL fuoriuscito accidentalmente.	2	2	4
<b>R5</b>	IMPIANTISTICO	Malfunzionamento dei sistemi di emergenza	2	2	4
<b>R6</b>	IMPIANTISTICO	Perdita di GNL durante le fasi di carico/scarico	2	3	6
<b>R7</b>	SOCIO POLITICO	Vulnerabilità agli attacchi terroristici	2	5	10
<b>R8</b>	INTERFERENZE	Collisioni con le strutture fisse dei mezzi di trasporto dediti alla logistica	3	3	9
<b>R9</b>	INCIDENTALE ESTERNO	Presenza di aziende ERIR in prossimità agli impianti	2	4	8

Fonte: ns elaborazione

Figura 45. Diagramma a Radar riferita al bunkeraggio PTS



Fonte: ns elaborazione

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



### 5.1.3 L'accettabilità del rischio

Ciascun scenario incidentale identificato viene classificato secondo una coppia di valori (frequenza, conseguenze) e conseguentemente si posiziona all'interno di una delle tre regioni della matrice stessa. In relazione al suo posizionamento, è possibile classificare il rischio come tollerabile, oppure procedere alla definizione di un piano di miglioramento, atto alla riduzione del livello di rischio identificato.

La combinazione della frequenza attesa di accadimento dello scenario e della severità delle conseguenze degli scenari stessi è stata quindi valutata mediante una **matrice di rischio**, nella quale sono state ipotizzate le tre aree di rischio:

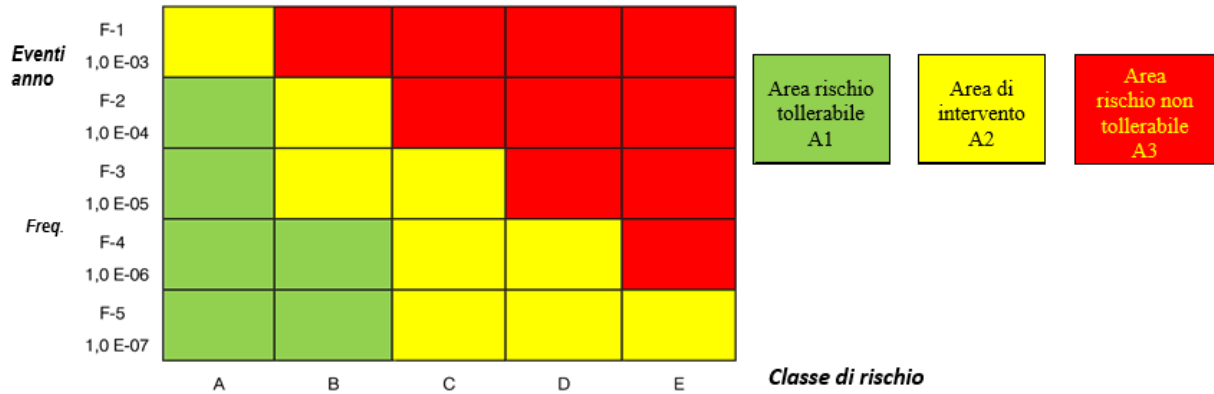
- **A1 area del rischio tollerabile:** quando uno scenario si posiziona in questa area, il rischio ad esso associato è da ritenersi già sufficientemente mitigato e quindi gestibile senza ulteriori interventi.
- **A2 area di intervento:** quando uno scenario si posiziona in questa area, si deve prevedere l'intervento con misure di prevenzione o mitigazione secondo il concetto ALARP/ALARA.
- **A3 area del rischio non tollerabile:** quando uno scenario si posiziona in questa area si devono prevedere sempre e comunque adeguati interventi sia di prevenzione che di protezione per la mitigazione del rischio ed il relativo monitoraggio del follow up nonché verifica di efficacia delle azioni correttive anche su installazioni similari.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



Figura 46 Matrice di accettabilità del rischio impiegata



Fonte: ns elaborazione

Tabella 17. Confronto dei rischi per ciascun macro ambito

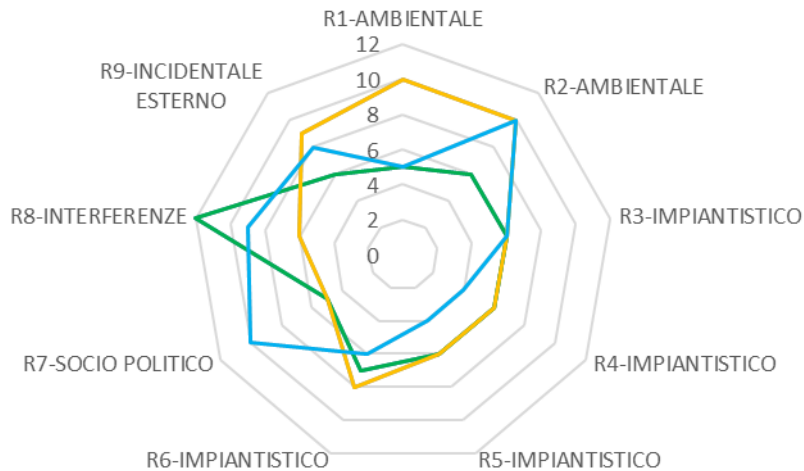
ID:RISK	Ambito di rischio	SHIP TO SHIP	TRUCK TO SHIP	PORT TO SHIP
R1	AMBIENTALE	10	5	5
R2	AMBIENTALE	10	6	10
R3	IMPIANTISTICO	6	6	6
R4	IMPIANTISTICO	6	6	4
R5	IMPIANTISTICO	6	6	4
R6	IMPIANTISTICO	8	8	6
R7	SOCIO POLITICO	5	5	10
R8	INTERFERENZE	6	12	9
R9	INCIDENTALE ESTERNO	9	6	8

Fonte: ns elaborazione

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

**Figura 47. Diagramma a Radar riferita al bunkeraggio PTS**  
**STS in giallo – TTS in Verde -PTS in Blu**



Fonte: ns elaborazione

La valutazione del rischio qui condotta in modo qualitativo, quasi esemplificativo, non può sostituire il processo di analisi e valutazione di dettaglio che in ogni singolo progetto di bunkeraggio deve essere sviluppato.

Le indicazioni che tuttavia è possibile trarre dalla quantificazione fatta permette di mettere a punto uno schema di principio, che rispetto a tutte le possibili metodologie descritte, sappia meglio unire gli strumenti più idonei a descrivere in modo conservativo ma realistico, semplificato ma accurato, gli scenari di funzionamento dei sistemi di bunkeraggio.

Tale schema è così descrivibile:

1. Identificazione degli eventi incidentali di riferimento, in relazione ai risultati di analisi sistematiche (Identificazione dei pericoli (HazID) e Analisi di operabilità (HazOp).
2. Stima della frequenza di accadimento dell'evento incidentale, tramite la tecnica dell'albero dei guasti e ricorso alle banche dati, seguita dalla valutazione della credibilità dell'evento.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto

3. Definizione dei termini sorgente dell'evento incidentale, calcolo della portata di efflusso e valutazione della dinamica del rilascio.
4. Identificazione degli scenari incidentali e calcolo della relativa frequenza di accadimento, tramite la tecnica dell'albero degli eventi, seguita dalla valutazione della credibilità dello scenario.
5. Valutazione delle distanze di danno associate agli scenari incidentali credibili, tramite l'applicazione di modelli matematici e successiva rappresentazione, su planimetria, delle aree di danno.
6. Valutazione dei potenziali "effetti domino" degli scenari incidentali credibili.
7. Valutazione delle conseguenze associate agli scenari ambientali.
8. Valutazione dell'impatto associato agli eventi naturali.

A tale proposito, è opportuno precisare che l'applicazione di queste metodologie è riconosciuta a livello globale, ma, ciò nonostante, la normativa italiana vigente non ne richiede necessariamente l'impiego per lo sviluppo dell'analisi di rischio in accordo al D.Lgs. 105/2015 (rif. Rapporto di Sicurezza ai sensi dell'Art.15 dello stesso decreto).

Alla pagina seguente si riporta lo schema logico di sviluppo della valutazione di rischio, nel quale per ogni passo sono evidenziati gli strumenti di studio impiegati.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



**Tabella 18. Schema di valutazione del rischio da applicare nel bunkeraggio**

N.	Fase	Tecnica	Documenti di base
1	<b>Identificazione/selezione dell'evento incidentale</b>	1. Analisi di operabilità (HAZOP) 2. Metodo ad Indici per identificazione di aree critiche 3. Analisi storica interna ed esterna	1. Schemi di processo, dati di progetto e di esercizio 2. Schemi di processo, dati di progetto e di esercizio 3. Raccolta di Informazioni da eventi storici interni allo stabilimento e da banche dati internazionali
2	<b>Frequenza dell'evento incidentale</b>	1. Albero dei guasti (evento di processo) 2. Rilascio da linea/ apparecchiatura (evento random)	1. Ratei di guasto strumentazione e sistemi di processo 2. Ratei di guasto per perdite di natura random
3	<b>Termini sorgente dell'evento incidentale</b>	Definizione delle condizioni operative (composizione, pressione e temperatura) che governano la portata di rilascio di sostanza pericolosa	Schemi di processo, dati di impianto
4	<b>Frequenza degli scenari incidentali alternativi</b>	Albero degli eventi	Probabilità di innesco della sostanza pericolosa rilasciata in atmosfera
5	<b>Conseguenza degli scenari incidentali</b>	Modellazione fisica delle conseguenze dei possibili scenari incidentali (incendio, esplosione, dispersione tossica)	Condizioni meteorologiche della zona, disponibilità di sistemi di rilevazione di sostanze pericolose in aria, presenza di sistemi di mitigazione e contenimento
6	<b>Effetto domino (Domino interno e Domino Esterno)</b>	Stima della possibile propagazione degli effetti di uno scenario di incendio (frequenze e conseguenze) in relazione a: 1. impianti/apparecchiature/personale interni allo stabilimento. 2. impianti/apparecchiature/personale su elementi territoriali limitrofi esterni allo stabilimento	1. Lay-out di impianto, analisi dei sistemi attivi e passivi di protezione antincendio, mappature scenari incidentali e relativa durata 2. Lay-out di stabilimento con indicazione degli elementi territoriali particolarmente vulnerabili e/o sensibili, mappature scenari incidentali e relativa durata
7	<b>Scenari ambientali</b>	Stima delle possibili conseguenze derivanti dal rilascio di sostanze ecotossiche	Caratteristiche del suolo e sottosuolo
8	<b>Rischi naturali</b>	Valutazione del rischio relativo a particolari eventi naturali (es. sisma, tornado, ecc.)	Analisi storiche correlate alla zona e bibliografia specializzata in materia.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto



N.	Fase	Tecnica	Documenti di base
9	<b>Presentazione del rischio</b>	Combinazione della frequenza e della conseguenza di ogni scen. incidentale.	Criteri di accettabilità del rischio.

Fonte: ns elaborazione

## 5.2 L'IMPLEMENTAZIONE DELLE ZONE DI CONTROLLO

Al di là delle definizioni geometriche, che dipendono come abbiamo visto dal singolo progetto di bunkeraggio, esistono altri aspetti nell'implementazione delle Zone di Controllo in ambito portuale che devono essere valutati con particolare attenzione.

Ogni realtà portuale presenta a tutti gli effetti situazioni singolare, con differenti vincoli operativi e vicinanza di aree antropizzate.

E' quindi opportuno, valutando l'installazione dei sistemi id bunkeraggio nelle aree selezione del progetto di ricerca, affrontare le due più comuni criticità riscontrabili:

- 1) prossimità di assi viari pubblici
- 2) prossimità di attività commerciali e residenziali
- 3) presenza di altre navi che impegnano la zona di sicurezza

Queste caratteristiche contraddistinguono tutte le aree portuali presenti nell'alto Mar Tirreno e nel Mar Ligure, con pochissime eccezioni, e sono frutto del condizionamento dato allo sviluppo urbanistico dalla morfologia del territorio.

Il tema meriterebbe senza dubbio una trattazione più approfondita che richiamando le ragioni storiche e culturali potesse sintetizzare il percorso fino ai giorni nostri, contesto in cui è evidente riscontrare la presenza di ambiti portuali ubicati in stretta adiacenza ai tessuti urbani e cittadini e, parimenti, disponibilità di banchine ed aree a mare sempre più ridotte ed in difficoltà nel rispondere alle esigenze del trasporto marittimo.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto



### Prossimità di assi viari

Nei casi in cui la zona di sicurezza viene attraversato da vie di comunicazione che non possono per motivi di ordine pubblico essere chiuse al traffico per lunghi periodi, la soluzione passa attraverso la creazione di specifici incroci semaforici.

Gli incroci dovrebbero essere posti sull'infrastruttura secante la zona di sicurezza, in un punto esterno alla zona stessa ma ragionevolmente prossimo ad essa, che permetta tuttavia la mobilità del flusso veicolare.

Gli impianti semaforici interverranno solo nel caso di evento incidentale, andando a interrompere il passaggio dei veicoli all'interno della zona di sicurezza e garantendo in queste condizioni di salvaguardia per gli individui presenti sui di trasporto. Il sistema di controllo deve essere necessariamente integrato con il sistema di allerta e se ne deve assicurare il funzionamento in tutte le condizioni operative (blackout elettrico ad esempio).

Figura 48. Esempi di prossimità porto città (La Spezia – Genova - Cagliari – Ajaccio – Savona)



TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto







Fonte: <https://liguria.bizjournal.it/2016/09/la-spezia-mef-approva-bilancio-2015-dellautorita-portuale/>, <http://www.logisticadigitale.it/> - (Autore: Chialastri), <http://www.ilnautilus.it/?p=27833>, <https://www.sardiniapost.it> <http://www.savonauno.it/> (Autore: merlofotografia) - <https://www.corsicaoggi.com>

### **Prossimità di attività commerciali e residenziali**

Sebbene le norme ISO/TS 18683 e ISO 20519 definiscano le zone di sicurezza come le aree in intorno alla stazione di bunkeraggio dove unicamente il personale dedicato e le attività essenziali sono permesse durante le attività di bunkeraggio, come nel caso precedente, la zona di sicurezza può includere strutture commerciali e residenziali.

In questo caso le operazioni di rifornimento e bunkeraggio dovrebbero preferibilmente avvenire durante i momenti di chiusura delle attività o comunque il più lontano possibile dalle ore di punta e massima affluenza.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto



Questa modalità, tuttavia, non risolve complementariamente la situazione e nonostante sia possibile dotare le strutture edilizie coinvolte, nei casi isolati, di sistemi di allerta è preferibile procedere con azioni di mitigazione che permettano di ricondurre l'estensione delle aree di sicurezza entro i perimetri dell'ambito portuale.

### **Presenza di altre navi**

Un'altra criticità possibile durante l'implementazione delle zone di controllo e di sicurezza afferisce all'eventualità che navi debbano attraversare o operare nella zona di sicurezza durante l'attività di bunkeraggio.

Sebbene questa situazione dovrebbe essere una possibilità affrontata nel contesto di una valutazione dei rischi, le figure sottostanti illustrano alcune situazioni possibili in cui una nave (identificata con il numero 3) si trova nella situazione di dover attraversare la zona di sicurezza durante le operazioni di bunkeraggio.

La situazione evidenzia inoltre la presenza di altri due vessel: un all'ormeggio, all'interno della zona di sicurezza e identificata dal n. 4, ed un'altra in prossimità della zona di sicurezza (identificata dal n. 6).

Per la nave n. 3, nella situazione "A" il canale presente non consente alcuna possibilità di deviazione mentre nella situazione "B" lo specchio acque è sufficientemente ampio da costringere\permettere alla deviazione dalla sicurezza Zona stabilita per l'operazione STS

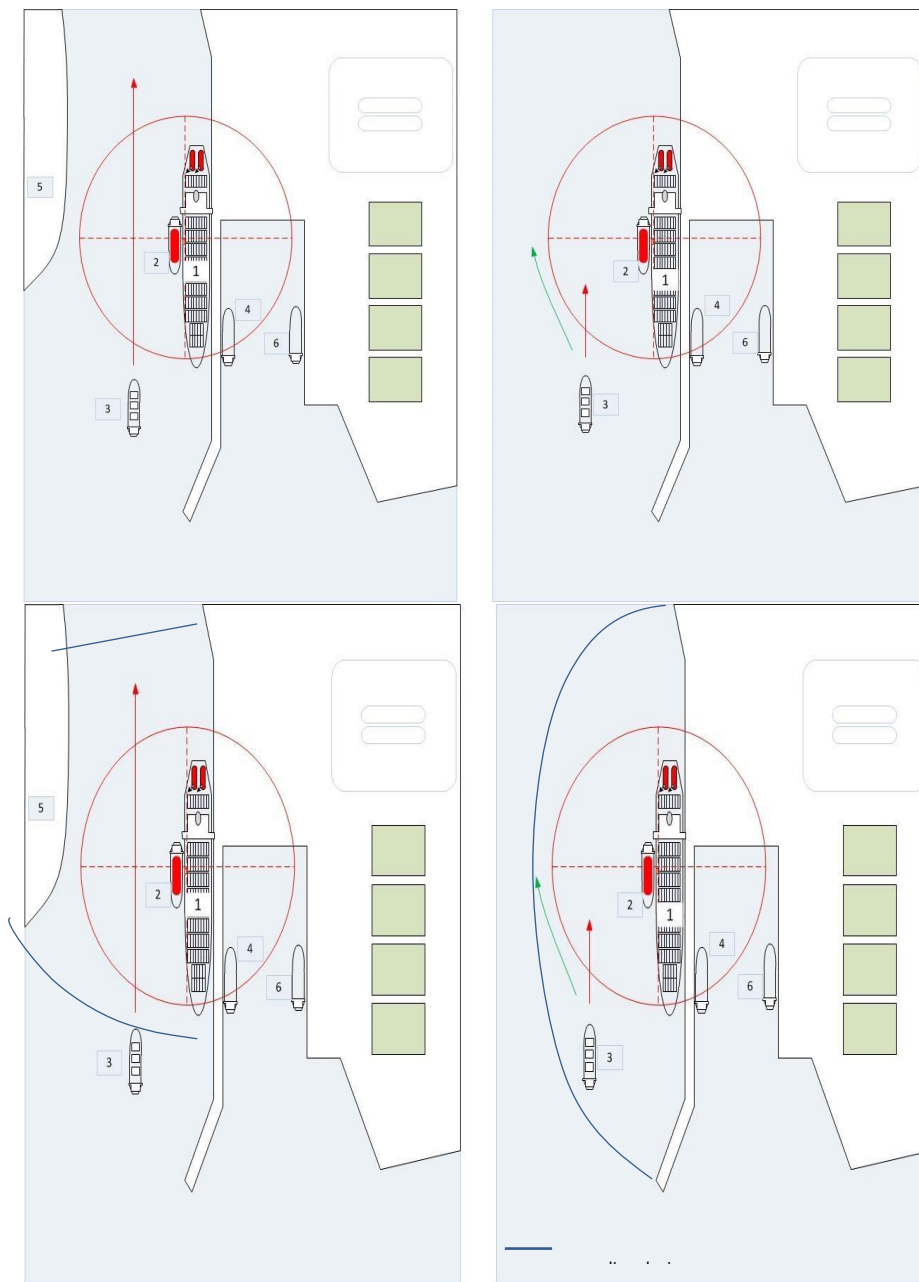
È evidente che il passaggio attraverso la zona di sicurezza dovesse essere inevitabile (caso A), l'unica soluzione percorribile si troverebbe nel sistema di procedure da mettere in atto, ovvero nel rendere ben visibile i limiti della zona di sicurezza e nel far tracciare alla nave il percorso di attraversamento più rapido sotto stretto contatto radio e nel modo più sicuro possibile.

Un'alternativa sarebbe quella di creare una zona di esclusione marina, come definito dalle Linee guida SGMF v2 (caso C) introducendo formalmente una maggiore frammentazione nelle attività e nelle operazioni portuali, ma rendendo formalmente possibile l'esclusione di eventuali passaggi attraverso la sicurezza Zona.

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

**Figura 49. Situazione di attraversamento via nave della zona di sicurezza - STS**



**Fonte: Riproduzione da EMSA Guidance on LNG Bunkering**

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
 Contributo partner di progetto



## 6 CONCLUSIONI

Il presente documento è stato elaborato a seguito dell'affidamento, da parte dell'Università di Genova, del servizio di attività di ricerca per la valutazione delle esternalità e dell'impatto ambientale nell'ambito del Progetto Europeo INTERREG ITA-FRA Marittimo 1420 "Tecnologie e Dimensionamento di Impianti per la RETE di distribuzione primaria di GNL nei porti dell'area transfrontaliera (acronimo TDI RETE-GNL)", di cui costituisce il Deliverable T.2.4.1.

Nel dettaglio, scopo del documento è quello di produrre un Report volto alla definizione di un di criteri di analisi, valutazione e classificazione dei rischi connessi alle varie configurazioni di *bunkering* di GNL (STS-TTS-PTS-cisterne mobili), nonché a fornire possibili spunti metodologici per affrontare le specificità degli ambiti portuali interessati.

Il deposito e l'impiego del gas GNL necessita pertanto di accorgimenti impiantistici e gestionali che non coincidono perfettamente con quelli che caratterizzano gli stoccaggi di metano in fase gas e di GPL, le cui caratteristiche, anche impiantistiche, sono ormai standardizzate e conosciute dai tecnici che operano nell'attività di valutazione ed analisi dei progetti per la realizzazione dei relativi depositi. L'analisi di rischio è ormai riconosciuta essere uno dei passi fondamentali nella progettazione di un sistema tecnologico, in quanto consente di identificare gli elementi di sicurezza da inserire e le procedure con cui gestirne il funzionamento. Data la complessità, e conseguente incompleta conoscenza, dei fenomeni in gioco e dei parametri che ne influenzano l'evoluzione, risulta fondamentale fornire una adeguata valutazione dei metodi associati al processo di quantificazione del rischio di un sistema.

Partendo dal concetto di rischio, sono stati affrontati i diversi strumenti di indagine e modelli matematici in grado di analizzare e valutare realisticamente le prestazioni di un sistema sia in condizioni operative che in corrispondenza a stati incidentali sia in termini quantitativi che qualitativi. Sebbene sia ben noto che la realizzazione di un'analisi di rischio per un sistema complesso richieda un'ampia base di informazioni progettuali da parte dell'analista, nonché della capacità di approfondire le informazioni disponibili con ulteriori specialistici e dati siti specifici, l'obiettivo

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto

principale di questo lavoro ovvero fornire un'analisi critica delle diverse fasi dell'analisi di rischio per identificarne le principali peculiarità nell'applicazione al bunkering di GNL è stato raggiunto.

Ciò che è emerso attraverso i diversi capitoli del report e le diverse fasi del processo di analisi del rischio è la grande varietà di strumenti che su piani diversi possono fornire risultati attendibili e funzionali al livello di approfondimento e dettaglio che si sta affrontando.

È necessario per un impianto definire in modo accurato il sistema dal punto di vista tecnico e funzionale (*layout, componenti, sistema di controllo, procedure operative, ecc.*), il sito in cui il sistema è collocato (*meteorologia, demografia, presenza di infrastrutture, ecc.*), le informazioni sulle procedure di gestione e manutenzione, le interfacce e i cosiddetti “limiti di batteria” del sistema.

Sia che la valutazione venga condotta con approcci qualitativi che quantitativi si deve infatti essere in grado di esaminare tutti gli aspetti tecnici e funzionali del sistema (*in termini di componenti presenti e relativi modi di guasto, processi realizzati e possibili deviazioni, presenza di eventi esterni al sistema che possono provocare incidenti, procedure operative di gestione e/o manutenzione*) che in caso di errore possono scatenare eventi gravi.

Sebbene la stima delle conseguenze possa essere eseguita con simulazioni, mediante opportuni modelli fisico-matematici, ipotesi conservativi etc., una volta valutate tutte le conseguenze dei diversi scenari incidentali individuati, è fondamentale ricondurre i termini dei fenomeni fisici (sovrapressione, irraggiamento, concentrazione di inquinante, ecc.), a concetti di danno effettivi sulla popolazione, sull'ambiente, sulle strutture, ecc.

È infatti solo a questo punto che interviene avviene la vera e propria valutazione del rischio, mediante matrici di rischio con cui definire gli eventi più rilevanti, sulla base di stime della frequenza di accadimento e dell'intensità del danno. La stima o il calcolo, frutto rispettivamente di un metodo deterministico o probabilistico, del valore del rischio permette di confrontare il numero con opportuni criteri di accettabilità che devono tenere conto sia degli effetti sul singolo individuo che sulla popolazione (rischio individuale e rischio sociale).

A valle di quest'articolata analisi, è stato inoltre possibile procedere con una valutazione del rischio di alto livello al contesto del *bunkering* di GNL, mettendo in luce alcuni dei rischi specifici, e

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto



ottenendo indicazioni, riferite a macrocategorie di rischio e funzione dell'opzione tecnologica adottata, utili a tutti gli stakeholder coinvolti nei progetti installativi.

Si è poi proceduto con la definizione delle **zone di controllo**, senza dubbio il tema più rilevante tra quelli afferente il *bunkering* di GNL. Molte delle garanzie in termini di sicurezza possono essere mantenute proprio grazie alla presenza di zone di controllo a pericolosità crescente, in grado di mitigare attraverso regole e procedure i rischi che derivano da potenziali rilasci pericolosi di GNL, da potenziali danni esterni al bunkeraggio GNL, da errate manovre operative.

Le **modalità di classificazione delle aree prossime e prospicienti le installazioni** sono state quindi contestualizzate rispetto alle diverse soluzioni tecnologiche, definendo in accordo ai diversi riferimenti di settore l'estensione delle aree di danno delle di aree di rispetto, e sottolineando per ognuna di essa la necessità di specifici accorgimenti nell'installazione, nella gestione operativa e nella formazione del personale.

E' stato poi evidenziato come la valutazione del rischio sia inevitabilmente condizionata dalle specificità dell'ambito geografico e per tale ragione sono stati affrontati in sintesi alcuni dei fattori di tipicità nell'area transfrontaliera IT-FR marittimo del Nord Mediterraneo che possono influenzare l'implementazione del metodo, focalizzando l'attenzione, in specie, sulle caratteristiche territoriali dell'area interessata dal Progetto Europeo INTERREG ITA-FRA per l'Italia Sardegna, Toscana e Liguria, in termini normativi, tecnici, di collocazione geografica e conformazione orografica.

In conclusione, l'analisi di rischio costituisce senza dubbio un prioritario elemento di tutela per tutta la comunità interessata dal singolo progetto di *bunkering* di GNL, ma è al tempo stesso, un notevole supporto a per ottenere accettabilità sociale.

Una valutazione del rischio, espressa con la giusta forma di comunicazione, è fondamentale per trasmettere al pubblico, spesso composto non da addetti ai lavori ma da elementi sensibili nei confronti delle tematiche della sicurezza e della protezione dell'ambiente, l'estrema attenzione con si affrontano e gestiscono partendo dallo sviluppo progettuale e alle fasi realizzative, tutti i più impensabili eventi negativi degli impianti, prevedendo al contempo ogni tipo di sistema, procedura,

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 "Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale"  
Contributo partner di progetto



azione che possa minimizzare sia la probabilità di accadimento e che gli effetti di tali spiacevoli occorrenze.

**TDI RETE-GNL**

**Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto**



## 7 BIBLIOGRAFIA

1. *Carpignano A., Il rischio tecnologico, in: Pianificazione del Territorio e Rischio Tecnologico, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Politecnico e Università di Torino, CELID, 2002.*
2. *Kletz T., HAZOP & HAZAN, The Institution of Chemical Engineering, England, 1986.*
3. *Knowlton R.E., Hazard and Operability Studies – the guide word approach, Chemetics International.*
4. *Byongug Jeong, Byung Suk Lee, Peilin Zhou & Seung-man Ha (2017) - Evaluation of safety exclusion zone for LNG bunkering station on LNG-fuelled ships, Journal of Marine Engineering & Technology, 16:3, 121-144, DOI: 10.1080/20464177.2017.1295786*
5. *ISO. 2015. TS 18683: guidelines for systems and installations for supply of LNG as fuel to ships. Geneva: ISO*
6. *Bellezza, M. Binda, S. Contini, G. Spadoni, A GIS Based Software Tool for Risk Assessment and Management in Industrial Areas, ESREL '98 Conference, Trondheim, Norway, 1998.*
7. *Improving Prevention and Mitigation Efforts Related to Accidental Releases of LNG - Jesse Brumbaugh, P.E. †, John Burgess, P.E., Keith Farrell - Smith & Burgess Process Safety Consulting*
8. *EMSA Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities/Administrations*
9. *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, AIChE, 1989.*
10. *ABS. 2014. Bunkering of Liquefied Natural Gas-fuelled Marine Vessels in North America. Houston, TX: ABS*
11. *Messina S., Piccinini N., Cappellini G., Valutazione probabilistica di rischio, 3ASI, 1987.*
12. *Amendola A., Contini S., Ziomas I., Uncertainties in chemical risk assessment: results of a European benchmark exercise, Journal of Hazardous Materials, 29 (1992), 347-363.*

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto



13. Lauridsen K., Christou M., Amendola A., Markert F., Kozine I., Fiori M., *Assessing the uncertainties in the process of risk analysis of chemical establishment: Part I, European Safety & Reliability International Conference ESREL 2001, Torino, settembre 2001.*
14. *Committee for the Prevention of Disasters, Guidelines for Quantitative Risk Assessment – Purple Book – CPR 18 E, 1999, Sdu Uitgevers, Den Haag.*
15. *E.C. Joint Research Centre – Institute for the Protection and Security of the Citizen, Protezione Civile – Regione Emilia Romagna, DICMA - Università di Bologna, ARIPAR System for area risk analysis and control – Reference Manual – Version 3.1, 2004.*
16. *ARPA Veneto, Ente della Zona Industriale di Porto Marghera, Studio Integrato d’Area di Porto Marghera, Servizio Rischio Industriale e Bonifiche (SRIB), 2005, Venezia.*
17. *Snamprogetti, Confindustria Siracusa, Studio di Sicurezza Integrato di Area – Priolo – Melilli – Augusta, Novembre 2007.*
18. *Terminal GNL nel Porto Canale di Cagliari – ISGAS ENERGIT MULTIUTILITIES S.p.A.- Studio ICARO - Linea guida per l’elaborazione dell’analisi di rischio, nell’ambito della prevenzione dei rischi di incidente rilevante.*
19. *Softec- Autorità Portuale di Livorno - Definizione dei rischi operativi del porto di Livorno per l’identificazione di una rete sensoristica portuale*

TDI RETE-GNL

Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
 Contributo partner di progetto



## ALLEGATO 1

TDI RETE-GNL




Prodotto T2.4.1 “Report classificazione ed esame del rischio impianti GNL in ambito portuale”  
Contributo partner di progetto



## LOTTO 3 - ANALISI DEI RISCHI DEGLI IMPIANTI GNL NELLE AREE PORTUALI

- Rapporto T2.4.1: Classificazione e revisione dei diversi tipi di rischi associati alla costruzione di impianti GNL nelle aree portuali.
- Rapporto T2.4.2: Database di eventi definibili come "incidenti" o "rischi" che si verificano negli impianti GNL nelle aree portuali.
- Rapporto T2.4.4: Buone pratiche per ridurre i rischi e gli impatti del GNL.

### CCI del VAR

Rev	Data GG/MM/A AAAA	OGGETTO	REDAZIONE (nome e visto)	VERIFICA (nome e visto)	APPROVAZIONE (nome e visto)
1	05/03/2020	Edizione iniziale completa	 <b>Yves Mouilleau</b> <small>2020.03.20 18:20:06 +01'00'</small> Written By	 <b>Delphine Cahelo</b> <small>2020.03.23 07:57:54 +01'00'</small> Checked By	 <b>Michele Normand</b> <small>2020.03.23 12:27:08 +01'00'</small> Approved By
0	26/02//2020	Edizione iniziale senza i capitoli 6 e 7	Y. MOUILLEAU	D. CAHELO-ROUX	M. NORMAND

REVISIONI DI DOCUMENTI

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1</b>	<b>Scopo e contesto generale.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2</b>	<b>Scopo e contesto specifici.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3</b>	<b>Cronologia .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4</b>	<b>Contenuto .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>IL PORTO DI TOLONE .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Generale.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Siti principali.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3</b>	<b>Ambiente del sito.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>INSTALLAZIONI TIPICHE .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Ipotesi e dati generali sul traffico GNL .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Flusso-Pressione - Temperatura - Condizioni di temperatura - Dimensioni tipiche.....</b>	<b>18</b>
	3.2.1 Generale .....	18
	3.2.2 Stazione Fabbrica .....	20
	3.2.3 Stazione Porto .....	21
	3.2.4 Stazione Grand Port .....	22
<b>4</b>	<b>CLASSIFICAZIONE E REVISIONE DEI DIVERSI TIPI DI RISCHIO.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Pericoli associati al prodotto.....</b>	<b>23</b>
	4.1.1 Generale .....	23
	4.1.2 Composizioni .....	23
	4.1.3 Proprietà fisiche .....	25
	4.1.4 Infiammabilità e combustione.....	27
	4.1.5 Frasi di rischio.....	32
<b>4.2</b>	<b>Pericoli di processo.....</b>	<b>33</b>
	4.2.1 Pericoli associati ai trasferimenti .....	33
	4.2.2 Stoccaggio sotto pressione.....	34
	4.2.3 Stoccaggio Non pressurizzato .....	35
<b>4.3</b>	<b>Pericoli ambientali.....</b>	<b>37</b>
	4.3.1 Pericoli dovuti a condizioni naturali .....	37
	4.3.2 Pericoli legati alle attività antropiche .....	38
<b>4.4</b>	<b>Incidentologia.....</b>	<b>39</b>
<b>4.5</b>	<b>In sintesi .....</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DEL RISCHIO.....</b>	<b>51</b>
<b>5.1</b>	<b>Generale.....</b>	<b>51</b>



<b>5.2 Gravità dei fenomeni pericolosi .....</b>	<b>55</b>
5.2.1 Ipotesi e approccio di calcolo .....	55
5.2.2 Distanze d'effetto .....	60
<b>5.3 Frequenza degli eventi pericolosi.....</b>	<b>68</b>
5.3.1 Approccio, ipotesi e riferimenti .....	68
5.3.2 Frequenza degli eventi pericolosi .....	75
<b>5.4 Sintesi del rischio .....</b>	<b>84</b>
<b>6 RACCOMANDAZIONI DI BUONA PRATICA .....</b>	<b>89</b>
<b>6.1 Generale.....</b>	<b>89</b>
<b>6.2 Norme generali di sicurezza .....</b>	<b>89</b>
<b>6.3 Stoccaggio e linee collegate .....</b>	<b>90</b>
6.3.1 Regole di progettazione .....	90
6.3.2 Linee di collegamento di stoccaggio a pressione.....	90
6.3.3 Linee di collegamento per magazzini non pressurizzati .....	91
<b>6.4 Catena di sicurezza / mmr chiamato strumentato .....</b>	<b>91</b>
6.4.1 Presentazione generale.....	91
6.4.2 Proprietà.....	92
<b>6.5 Rilevazione.....</b>	<b>93</b>
6.5.1 Generale .....	93
6.5.2 Rilevamento/misurazione del livello .....	94
6.5.4 Rilevamento/misurazione della pressione.....	95
6.5.6 Rilevamento/misurazione della temperatura.....	96
6.5.7 Rilevamento/misurazione LTD.....	96
6.5.8 Rilevamento di perdite e incendi .....	96
<b>6.6 Trattamento .....</b>	<b>98</b>
6.6.1 Generale .....	98
6.6.2 Trattamento degli eventi accidentali delle navi cisterna per GNL .....	99
<b>6.7 Sistemi di azione d'emergenza .....</b>	<b>100</b>
6.7.1 Generale .....	100
6.7.2 Organi di isolamento.....	100
6.7.3 Dispositivi di controllo in caso di alta pressione .....	101
6.7.4 Dispositivi di controllo a bassa pressione .....	102

---

<b>6.8 Sistemi di raccolta dello sfiato .....</b>	<b>102</b>
<b>6.9 Sistemi di raccolta delle perdite .....</b>	<b>104</b>
6.9.1 Funzioni e obiettivi .....	104
6.9.3 Aree di recupero.....	105
6.9.4 Capacità di contenimento.....	105
<b>6.10 Sistema di protezione antincendio.....</b>	<b>106</b>
<b>6.11 Effetti domino .....</b>	<b>109</b>
<b>7 CONCLUSIONI -SOMMARIO .....</b>	<b>110</b>
<b>8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>111</b>

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 SCOPO E CONTESTO GENERALE

La Camera di Commercio e Industria (o CCI) del VAR fa parte del programma "Marittimo-Interreg Italia-Francia 2014-2020". Si tratta di un programma transfrontaliero cofinanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale (FEDER), fino all'85%, nell'ambito dell'obiettivo Cooperazione territoriale europea (CTE).

Per affrontare la transizione energetica, il programma Marittimo ha avviato diversi progetti relativi al GNL (Gas Naturale Liquefatto) utilizzato come combustibile marino. Uno di questi progetti, noto con l'acronimo TDI-RETE GNL, mira a definire standard tecnologici e procedure comuni per il bunkeraggio del GNL.

Per raggiungere questo obiettivo, la Camera di Commercio e Industria del Var ha definito le sue esigenze di servizio in 6 lotti, il cui contenuto non sarà dettagliato in questo documento, ad eccezione del lotto 3.

Il lotto 3 è l'oggetto di questo documento. È dedicato allo studio dei rischi associati alle diverse installazioni e operazioni, che coinvolgono il GNL, nei porti come quello di Tolone.

### 1.2 SCOPO E CONTESTO SPECIFICI

Al di là degli elementi generali di cui sopra, più specificamente, è previsto nel lotto 3:

- classificazioni e revisioni dei diversi tipi di rischi associati alla costruzione di impianti GNL nelle aree portuali,
- la creazione di una banca dati di eventi definibili come "incidenti" o "rischi" che si verificano negli impianti di GNL nelle aree portuali,
- e la definizione di buone pratiche per la riduzione dei rischi associati al GNL.

Inoltre, è importante ricordare che l'identificazione, l'analisi e la quantificazione dei rischi saranno effettuate in modo tale che:

- generale in quanto lo studio riguarda tutti i porti partner dell'area di cooperazione (Corsica, il dipartimento del Var, le regioni Liguria e Toscana e la Sardegna),

- o più specifico per integrare gli elementi caratteristici del porto di Tolone, che è un porto militare.

In base agli scenari che saranno selezionati in ogni porto, gli impianti e le operazioni da considerare sono i seguenti:

- 1- lo scalo di una nave metaniera nel porto senza operazioni di bunkeraggio,
- 2- il rifornimento di una nave metaniera nel porto:
  - autotrasportato
  - con chiatta galleggiante
  - in nave bunker
- 3- l'installazione e l'uso di un gruppo elettrogeno alimentato a GNL per elettrificare una nave in banchina,
- 4- l'allestimento di un'area di carico/scarico/magazzinaggio per container GNL,
- 5- la creazione di un sito di stoccaggio di GNL,
- 6- o un cantiere navale che ospita una nave metaniera,
- 7- o una stazione di servizio per autocarri a GNL.

### 1.3 CRONOLOGIA

Questo documento è il seguito di:

- la consultazione per una "Missione di studio tecnico e normativo (fase II) per la realizzazione di un'industria del GNL nelle aree portuali e marittime nell'ambito del programma europeo MARITTIMO",
- l'offerta TechnipFMC di riferimento *022301S014-COM-HSED-2280-2* del 02/09/2019 rispondendo esclusivamente al lotto 3 della suddetta gara,
- l'atto di impegno sottoscritto da entrambe le parti, ricevuto in data 10/09/2019,
- e l'edizione di questo rapporto in revisione 0.

## 1.4 CONTENUTO

Oltre a questa introduzione e conclusione, la presente relazione contiene cinque capitoli principali, vale a dire:

- una presentazione della situazione del porto di Tolone, che funge da supporto allo studio,
- una discussione sulle possibili strutture tipiche,
- poi, 3 capitoli, dedicati agli obiettivi di cui sopra, riguardanti le tipologie di rischi da considerare dopo l'installazione di impianti GNL, la caratterizzazione di questi rischi e le buone pratiche da privilegiare.

## 2 IL PORTO DI TOLONE

### 2.1 GENERALE

Il porto di Tolone funge da "base" per lo studio, permettendo di identificare le operazioni e gli impianti tipici quando il GNL viene utilizzato come combustibile. È inoltre rappresentativo di una situazione pratica in cui le attività legate al GNL devono essere intraprese in modo compatibile con le attività "sensibili" vicine, corrispondenti qui alle attività del porto militare. In altri porti, le attività sensibili vicine potrebbero essere diverse ma esistono ancora e dovrebbero essere prese in considerazione.

Di seguito sono presentati i principali siti del porto di Tolone. Poi, l'ambiente dei siti è brevemente descritto.

### 2.2 SITI PRINCIPALI

I principali siti, oggetti di studio, sono:

- il terminale di Brégaillon,
- il molo delle armi,
- e il porto di Tolone Costa Azzurra, designato con l'acronimo TCA

Il porto di Brégaillon-La Seyne ha 2 terminali.

Il terminale di Brégaillon è uno di questi terminali. Viene utilizzato principalmente per:

- container, camion, rimorchi, pezzi di ricambio, ecc.
- o rinfuse (materiali come sabbia, silicati, sale, ecc.)

Su questo terminale vengono utilizzate le 2 tecniche di trasferimento merci note come Ro-Ro<sup>1</sup> e Lo-Lo<sup>2</sup>. Per estensione, queste tecniche possono anche riferirsi alle imbarcazioni in cui

---

<sup>1</sup> Dall'inglese "Roll-On" e "Roll-Off" che significano letteralmente "rotolare dentro, rotolare fuori".

<sup>2</sup> Dall'inglese "Lift-On" e "Lift-Off" si riferiscono a carichi verticali che utilizzano gru.

vengono utilizzate. Nella figura seguente è riportata una rappresentazione del terminale e delle aree circostanti.



**Figura1: Il terminale di Brégaillon (figura presa da [www.portsradetoulon.com](http://www.portsradetoulon.com))**

Il molo delle armi è l'altro terminal del porto di Brégaillon-La Seyne. Viene utilizzato per le navi più grandi e, in quanto tale, è in grado di accogliere le navi da crociera più grandi.

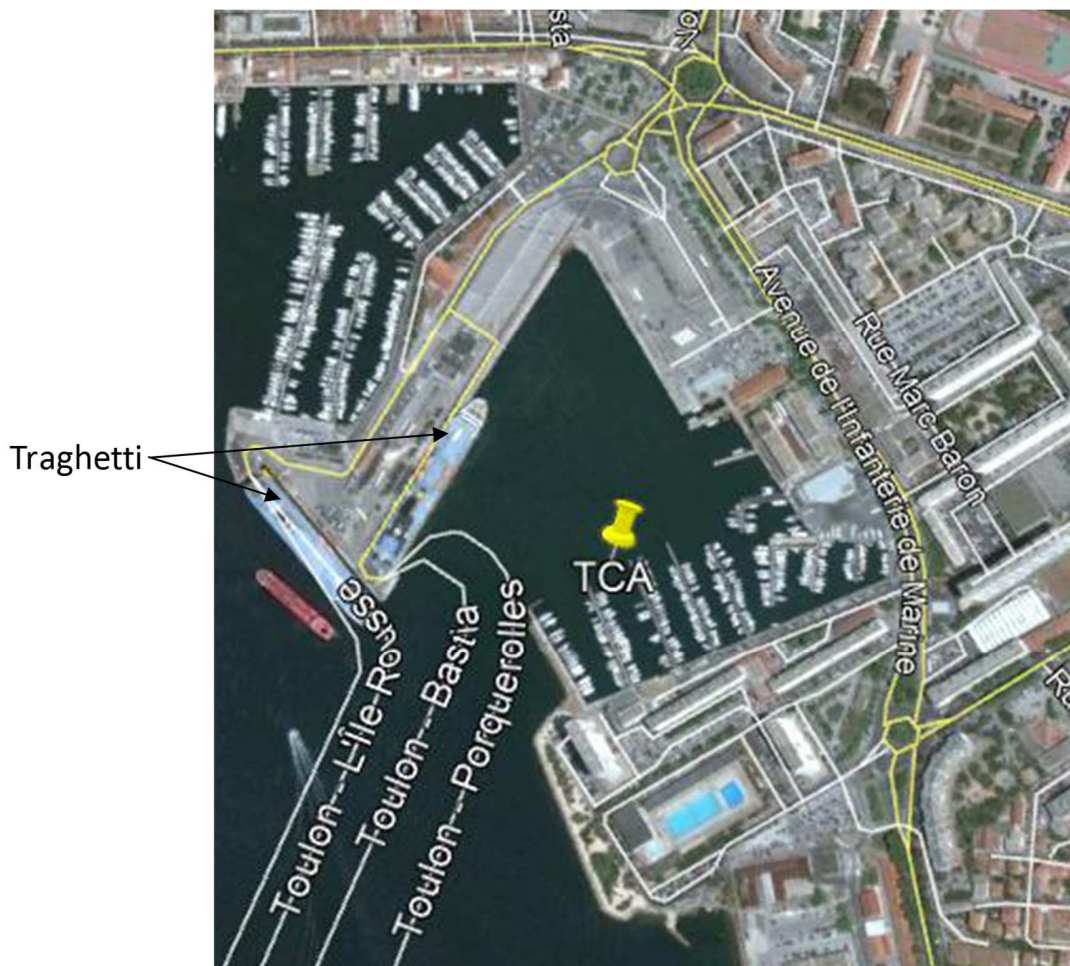
I 2 terminali (molo delle armi e terminale di Brégaillon) sono mostrati insieme nella figura seguente (presa dalla stessa fonte della figura precedente).





**Figura 2 : Il terminal di Brégaillon e il molo delle armi del porto di Brégaillon-La Seyne**

Una vista aerea del porto di Toulon Cote d'Azur è presentata nella seguente figura.



**Figura 3 : Il porto di Tolone Costa Azzurra e i suoi dintorni**

Questo porto dispone di banchine per traghetti che trasportano tra 1,5 e 2 milioni di passeggeri all'anno verso diverse isole del Mediterraneo.

La figura seguente mostra una vista aerea per localizzare i 3 siti. I 3 siti descritti sono contrassegnati da 1 a 3 nella legenda. I siti contrassegnati da 4 a 9 sono i porti turistici.



Attività relative al trasporto di merci o persone

- 1 - Terminal passeggeri Toulon Cote d'Azur | *Traghetto, Crociera*
- 2 - Brégaillon Terminal La Seyne sur Mer | *Trasporto RoRo, trasporto convenzionale (merci, RoRo, veicoli nuovi, alla rinfusa, colli pesanti, colli speciali)*
- 3 - Terminal Crociere La Seyne Môle d'Arment | *Crociera*

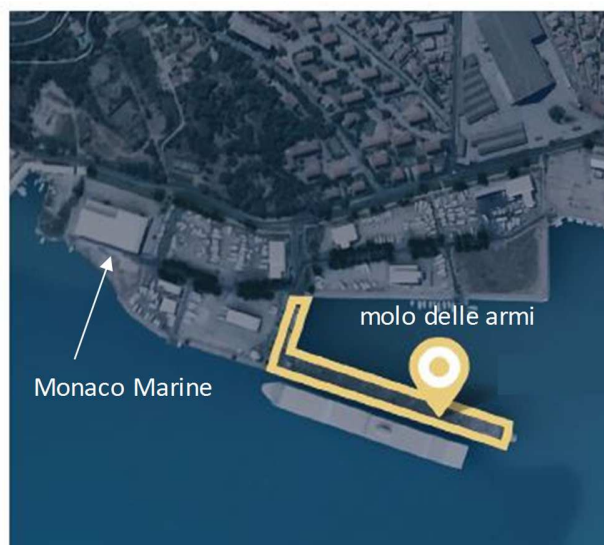
Attività ricreative

- 4 - Porto di Tolone Vieille Darse
- 5 - Porto di Tolone Darse Nord
- 6 - Port Saint Louis du Mourillon
- 7 - Porto di La Seyne sur Mer
- 8 - Porto di Saint Mandrier
- 9 - Port du Niel

**Figura 4 : Vista aerea che mostra i diversi siti menzionati**

Oltre ai siti principali (porto di Brégaillon, molo delle armi e TCA), va menzionato anche Monaco Marine, che corrisponde al cantiere navale a cui possono essere inviate le navi che utilizzano GNL come combustibile.

Questo cantiere si trova nella figura seguente.



**Figura 5 : Posizione approssimativa del sito di Monaco Marine**

### 2.3 AMBIENTE DEL SITO

Per quanto riguarda l'ambiente dei siti, vanno probabilmente osservati i seguenti elementi che corrispondono a:

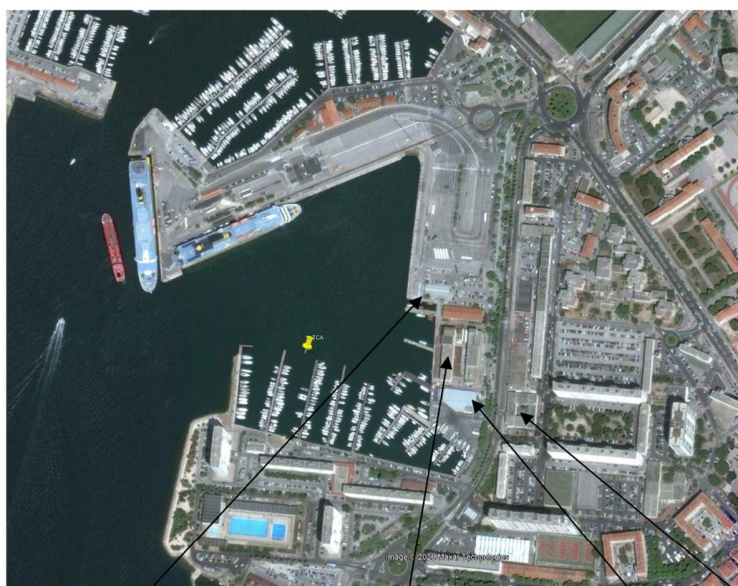
- elementi da proteggere,
- o siti, che sono a loro volta potenziali siti di incidenti che potrebbero avere un impatto su un impianto contenente GNL,
- o ad entrambe le descrizioni sopra riportate contemporaneamente.

La figura seguente mostra gli elementi tipici come elementi da proteggere.



Alla Base Navale

Al municipio di Tolone

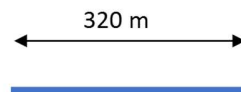


Capitaneria di porto

DDTM du Var e DML  
(Delegazione per il mare e le coste)

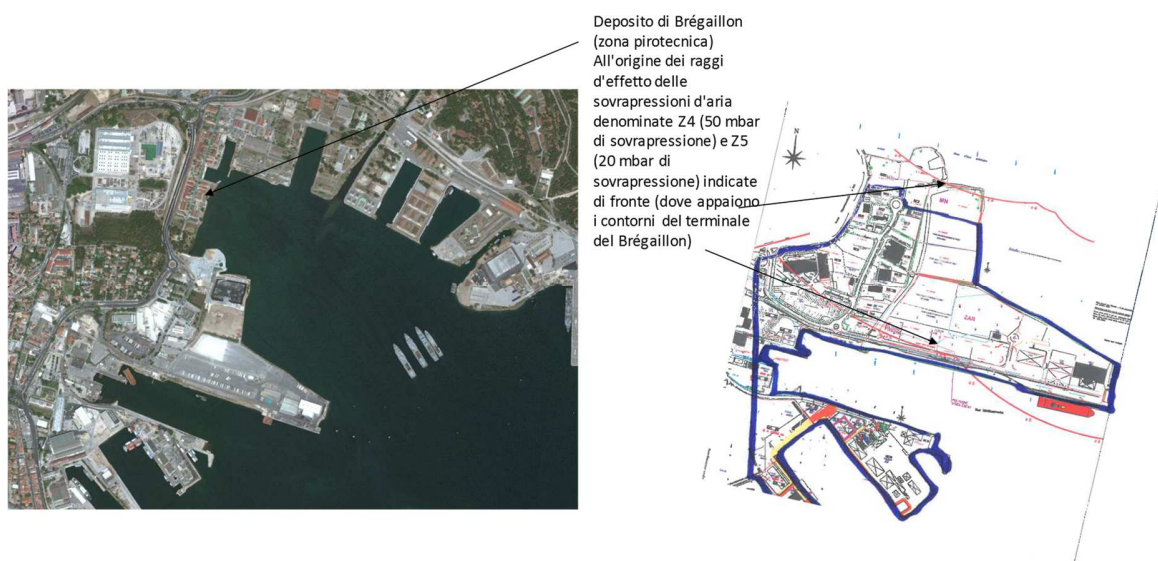
PCM (Palais du Commerce et de la Mer) considerato come il primo punto di emergenza con accesso in barca e in elicottero.

Centro di soccorso dei Vigili del Fuoco e dei soccorsi

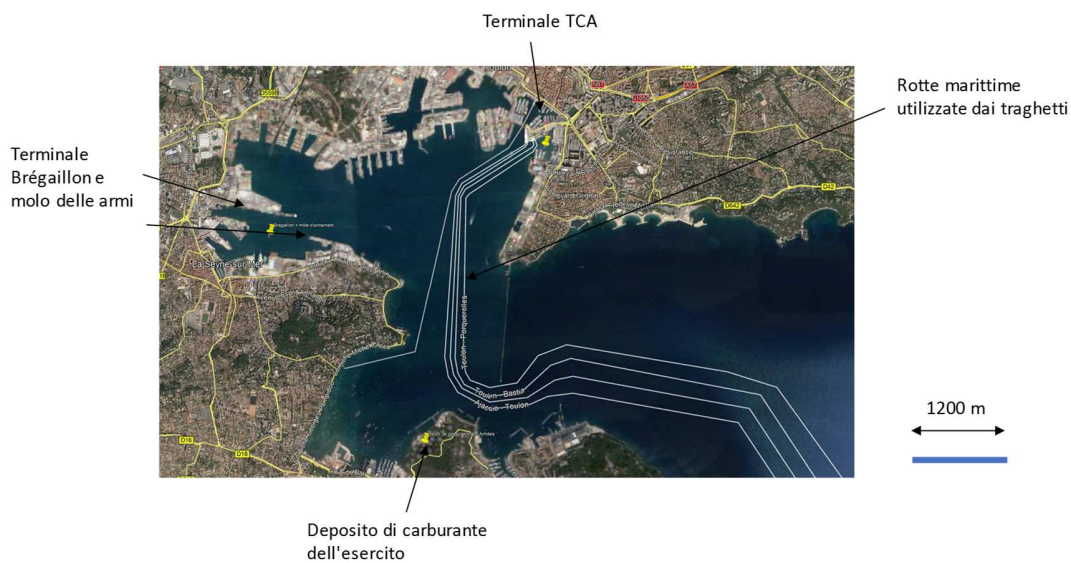


**Figura 6 : Elementi tipici da proteggere intorno al terminale TCA**

Gli elementi tipici come gli elementi da proteggere o i potenziali incidenti che potrebbero avere un impatto su un impianto GNL sono presentati nelle figure seguenti.



**Figura 7 : Terminale e deposito di Brégaillon**

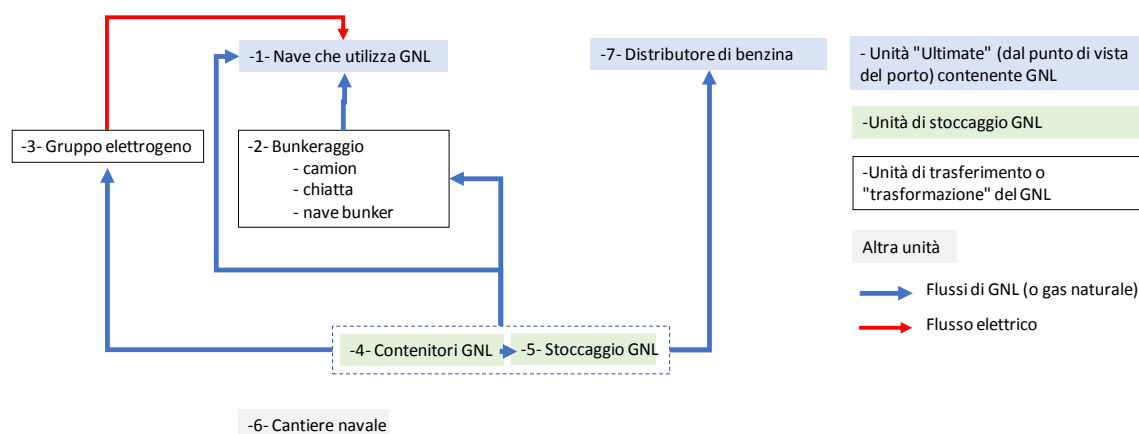


**Figura 8 : Deposito di carburante dell'esercito e rotte dei traghetti**

### 3 INSTALLAZIONI TIPICHE

#### 3.1 IPOTESI E DATI GENERALI SUL TRAFFICO GNL

Le installazioni e le operazioni da considerare menzionate al punto 1.2 sono riportate nella figura seguente con alcuni collegamenti funzionali.



**Figura 9 : Strutture e operazioni da considerare**

Le informazioni della figura precedente sono molto qualitative e non devono essere considerate in senso stretto perché gli schemi logistici non sono definiti. Come esempio:

- le operazioni di bunkeraggio possono essere effettuate tramite camion, che possono essere a loro volta caricati fuori dal porto di Tolone,
- potrebbero anche essere realizzati, a partire da chiatte galleggianti (elencate come -2- unità), che potrebbero essere efficacemente utilizzate anche come deposito (-5- unità).

Secondo i diagrammi impostati la rappresentazione nella figura precedente potrebbe quindi essere riveduta/semplificata.



Poi, va notato che nella figura precedente, i mezzi appaiono in pratica come dedicati alle 2 cosiddette unità "ultime" che sono:

- navi che utilizzano GNL come combustibile (unità -1-) che devono essere rifornite (attraverso le unità -2-, -4- o -5-) o alimentate con elettricità (attraverso l'unità -3-),
- o una o più stazioni di servizio per autocarri pesanti (a GN) (unità -7-).

In questo contesto, il GNL può provenire dallo stoccaggio (unità -5-) ma l'approvvigionamento di questo stoccaggio, così com'è, proviene solo dallo scarico dei container<sup>3</sup> (unità -4-). Come si vedrà in seguito, visti i flussi in gioco, potrebbe essere necessario prendere in considerazione altri mezzi di approvvigionamento.

La Camera di Commercio e Industria del Var (CCI) ha fornito le informazioni riportate nella seguente tabella.

Tipo di nave (-)	Volume di GNL per nave (m <sup>3</sup> )	N. di forniture (-/ anno)	Totali (m <sup>3</sup> /anno)
Traghetto	500	230	115000
Ro-Ro o Lo-Lo	500	160	80000
Grande nave da crociera	3000	5	15000
			<b>210000</b>

**Tabella 1: Traffico GNL stimato dalla CCI del Var**

La tabella precedente, infatti, non include tutti i flussi che potrebbero essere richiesti dall'utilizzo di generatori di energia elettrica o che si osserverebbero in presenza di una stazione di servizio per automezzi pesanti. Si accetta, tuttavia, che il traffico elencato nella tabella precedente dia ordini di grandezza adeguati.

<sup>3</sup> Questi contenitori possono in realtà costituire anche un deposito da svuotare alle navi.

In secondo luogo, non vi sono indicazioni in quanto tali sulla fornitura di (possibili) unità di stoccaggio nel porto stesso:

- questo potrebbe riguardare un piccolo volume se le navi che richiedono GNL sono principalmente bunkerate da un bunker di un altro porto,
- o essere distribuiti tra navi o autocisterne, ad esempio, scaricando il loro contenuto in serbatoi di stoccaggio (che saranno a loro volta trasferiti alle navi richiedenti).

L'incertezza di cui sopra spiega gli intervalli nel numero di navi metaniere o di operazioni di scarico di navi cisterna portatili considerate più avanti nella presente relazione.

### **3.2 FLUSSO-PRESSIONE - TEMPERATURA - CONDIZIONI DI TEMPERATURA - DIMENSIONI TIPICHE**

#### **3.2.1 Generale**

Oltre ai grandi terminali GNL (attualmente 4 in Francia), il GNL può essere ottenuto da:

- capacità mobili come le attrezzature menzionate nell'unità -2- (bunkeraggio), che possono provenire da un porto vicino a Tolone,
- capacità trasportabili come i contenitori menzionati nell'unità -4-, disposti su un'area,
- o, infine, le cosiddette stazioni satellitari corrispondenti allo stoccaggio di GNL, citate nell'unità -5-.

È opportuno considerare le cosiddette stazioni satellitari come supporto per descrivere le diverse installazioni.

Fondamentalmente, ci sono 3 tipi di stazioni secondo il "diagramma logistico" utilizzato, come mostrato nella seguente tabella.

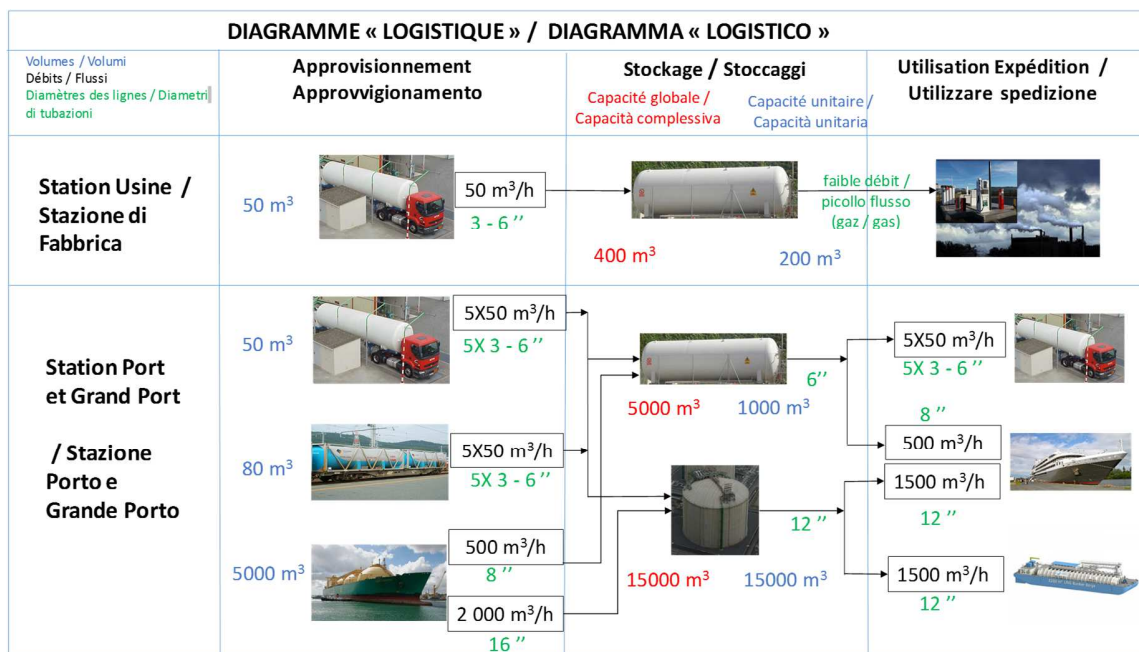


Tabella2: Le diverse stazioni satellitari GNL secondo la "logistica" da soddisfare

Nella tabella precedente sono forniti vari elementi tipici corrispondenti:

- attrezzature (principalmente serbatoi o serbatoi portatili),
- dimensioni (volumi, diametro della condotta, ecc.),
- e addebiti.

Questi elementi saranno sfruttati in seguito. Ulteriori dettagli sono forniti anche nei seguenti sottocapitoli. Ricordiamo che queste informazioni provengono dall'esperienza di TechnipFMC come ingegnere, ma anche dagli scambi con l'AFG (Associazione francese del gas).

### 3.2.2 Stazione Fabbrica

La funzione primaria di una stazione "Fabbrica" è quella di consentire una fornitura continua di Gas Naturale ad una fabbrica (da cui il suo nome), un operatore industriale, situata in una zona o regione non dotata di una rete di trasporto o distribuzione di gas soddisfacente.

Non esiste una vera e propria applicazione di questo tipo nel caso del porto di Tolone, se non per notare che il collegamento tra:

- ad es. contenitori per GNL (unità -4-),
- e uno o più gruppi elettrogeni

può essere finalmente paragonabile a quello che si osserva per una stazione fabbrica.

Quindi, sempre in termini di corrispondenza tra il porto e una generica stazione "Fabbrica", si possono notare le seguenti principali funzionalità:

- una stazione di scarico di una nave cisterna per GNL (non mostrata in Figura 6, ma che è "potenziale"),
- un deposito di GNL (unità -5-),
- delle apparecchiature di controllo della pressione (vaporizzatore/sfogo),
- pompe di estrazione (opzionale),
- attrezzatura per la vaporizzazione del GNL,
- una Stazione di Odorizzazione del Gas (opzionale),
- un'unità di regolazione della pressione del gas,
- una stazione di misurazione fiscale del gas (opzionale),
- e le unità di controllo/sicurezza.

Per ragioni pratiche e operative, la tecnologia di stoccaggio in esame è il recipiente a pressione a doppia camicia/singola integrità. Questa tecnologia offre un'interessante flessibilità operativa per questo tipo di installazione.

Possono essere utilizzati recipienti a pressione di qualsiasi dimensione, installati in parallelo. Tuttavia, come promemoria, il volume massimo possibile per un serbatoio che può essere trasportato su strada è di 400 m<sup>3</sup> (ma può essere un contenitore da 50 m<sup>3</sup> ...).

### 3.2.3 Stazione Porto

La funzione primaria di una stazione "Porto" è quella di effettuare il bunkeraggio (rifornimento con carburante GNL) delle navi. Questo sembra corrispondere bene alla situazione del porto di Tolone.

I volumi di GNL da trasferire alle navi possono essere relativamente grandi (diverse centinaia o addirittura migliaia di metri cubi). Di conseguenza, i volumi di GNL da stoccare nella stazione sono maggiori rispetto a quelli di una stazione "Fabbrica".

Questo tipo di stazione è generalmente fornita da idonee metaniere di medie dimensioni, che trasportano il GNL tra i grandi siti di approvvigionamento (ad es. terminali GNL) e la stazione. Si può anche prevedere che la stazione possa essere rifornita di GNL da autocisterne o autocisterne a seconda del contesto economico.

Una stazione generica "Porto" comprende apparecchiature comuni ad una stazione "fabbrica" (pompe di prelievo, stazione di dosaggio, apparecchiature di controllo e regolazione della pressione, unità di sicurezza, ecc. ma anche le seguenti attrezzature più specifiche:

- una stazione di scarico di una nave cisterna per GNL,
- delle linee di trasferimento di scarico (GNL/GAS) di lunghezza notevole (di solito poche centinaia di metri),
- una stazione di rifornimento della nave,
- delle linee di trasferimento di fornitura (GNL/GAS), anche di notevole lunghezza,
- e una stazione di carico per metaniere (opzionale, unità -7-)

Per questo tipo di stazione, la tecnologia di stoccaggio è di solito un serbatoio pressurizzato (rivestito). A causa delle loro dimensioni, i serbatoi a pressione sono installati orizzontalmente.

Tuttavia, in considerazione dei volumi di stoccaggio di GNL previsti per questo tipo di stazione (meno di 5.000 m<sup>3</sup>), è possibile considerare altre tecnologie di stoccaggio come quelle note

come "non pressurizzate", come si considera nel caso della cosiddetta stazione "Grand Port", che può essere adattata qui alla stazione "Porto".

### 3.2.4 Stazione Grand Port

La stazione generica "Grand Port" ha le stesse funzionalità della stazione "Porto" sopra descritta. D'altra parte, sono adatti per la fornitura di navi più grandi.

Pertanto, i volumi di GNL da trasferire alle navi possono essere molto grandi. Di conseguenza, i volumi di GNL da stoccare nella stazione sono i maggiori previsti per questo tipo di impianto.

Per i volumi di GNL presi in considerazione, la tecnologia di stoccaggio in pressione non è più adatta, in quanto dovrebbero essere installati troppi serbatoi. Invece, uno o più serbatoi, non pressurizzati e del tipo a integrità totale<sup>4</sup> o equivalente, è adeguato.

Questo tipo di serbatoio, per motivi di sicurezza, non ha alcuna penetrazione sui lati o sul fondo del serbatoio. Tutti i collegamenti devono passare attraverso il tetto. Di conseguenza, le pompe di estrazione del GNL devono essere installate nel serbatoio (sommerse).

La tecnologia di stoccaggio, ad una pressione vicina a quella atmosferica, ha un impatto diretto sul funzionamento e richiede che la pressione sia sempre mantenuta e controllata.

In alternativa, l'intera stazione potrebbe essere installata al largo, lontano dal porto, come una chiatte galleggiante o una struttura in calcestruzzo chiamata Gravity Based Structure (GBS), progettata per poggiare sul fondale marino poco profondo.

---

<sup>4</sup> Serbatoi progettati con doppio contenimento, in cui il prodotto può essere completamente contenuto (fasi liquide e vapori) nel secondo contenimento in caso di perdita del primo contenimento.

## 4 CLASSIFICAZIONE E REVISIONE DEI DIVERSI TIPI DI RISCHIO

Attraverso i termini del titolo di questo capitolo, si considera la questione dell'identificazione dei rischi/pericoli.

Classicamente, questo si fa esaminando:

- a) pericoli del prodotto,
- b) rischi operativi,
- c) e rischi ambientali.

Questi passi sono discussi qui di seguito. Gli incidenti del passato, osservati su impianti almeno comparabili, vengono poi esaminati per verificarne la coerenza con gli elementi che emergono da queste fasi.

### 4.1 PERICOLI ASSOCIATI AL PRODOTTO

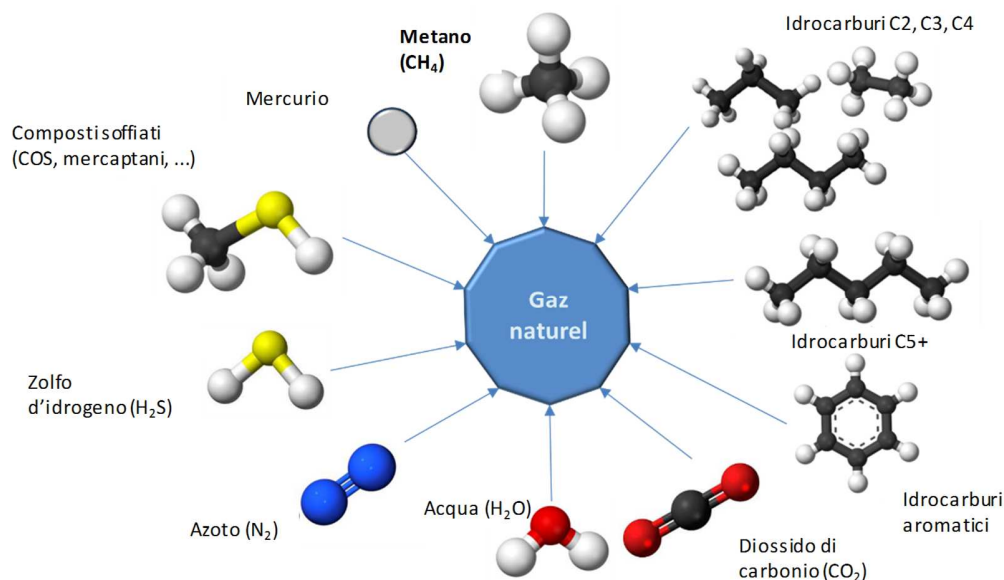
#### 4.1.1 Generale

Il gas naturale è inodore, non corrosivo e generalmente non tossico per inalazione. Il GNL, invece, è lo stato liquefatto del gas naturale e può esistere solo a pressione atmosferica mantenendolo al di sotto del suo punto di ebollizione (circa  $-160^{\circ}\text{C}$ ). Le proprietà del GNL variano a seconda della sua composizione. Tuttavia, questi rimangono relativamente vicini a quelli del metano, che è la componente maggioritaria dei diversi tipi di gas naturale.

#### 4.1.2 Composizioni

Il GNL è una miscela di diversi composti (vedi figura sotto), la cui proporzione varia a seconda delle caratteristiche del serbatoio di gas naturale originale. Tuttavia, il metano rimane il composto schiacciante.





**Figura 10 : Composizione del gas naturale**

Prima della liquefazione, il gas naturale viene trattato in modo da poter modificare le proporzioni dei diversi componenti. Così:

- l'acqua viene estratta per evitare il congelamento durante la liquefazione,
- l'anidride carbonica viene estratta per prevenire il congelamento e la corrosione e per aumentare la capacità di riscaldamento del gas naturale,
- i composti dello zolfo vengono estratti per evitare problemi di corrosione e ridurre la tossicità a livelli trascurabili,
- l'azoto viene estratto per aumentare la capacità calorifica del gas naturale,
- il mercurio viene estratto perché può danneggiare alcune apparecchiature,
- ecc. ....

Nella tabella seguente sono riportate le composizioni tipiche che contengono solo i principali costituenti a seconda dell'origine del gas naturale.

Componenti	Percentuale in volume secondo l'origine			
	Trinidad e Tobago	Algeria	Nigeria	Oman
<b>Metano</b>	96.9	87.93	91.692	87.876
<b>Etano</b>	2.7	7.73	4.605	7.515
<b>Propano</b>	0.3	2.51	2.402	3.006
<b>Butano</b>	0.1	1.22	1.301	1.603
<b>C5+</b>	-	0.61	-	-
<b>Totale</b>	100	100	100	100

**Tabella 3: Composizioni tipiche di GNL per origine**

Per la cronaca, si fa una distinzione tra:

- il cosiddetto GNL "leggero" composto da circa il 97% (vol.) di metano,
- e, il cosiddetto GNL "pesante" si riferisce a composizioni con circa l'88% (vol.) di metano.

#### **4.1.3 Proprietà fisiche**

La tabella seguente mette a confronto alcune delle proprietà di diversi GNL e del metano puro.

	Metano	GNL (Trinidad e Tobago)	GNL (Algeria)	GNL (Nigeria)	GNL (Oman)
<b>Massa molare (g/mol)</b>	16.043	16.55	18.77	17.91	18.615
<b>Temperatura di ebollizione a pressione atmosferica (°C)</b>	-161.5	-161.05	-159.9	-160.4	-159.9
<b>Densità del liquido a temperatura di ebollizione (kg/m<sup>3</sup>)</b>	422.5	430.9	452.9	452.8	463.6
<b>Densità di vapore a temperatura di ebollizione (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1.81	1.799	1.783	1.776	1.763
<b>Densità di vapore a 20°C</b>	0.6685	0.6894	0.7829	0.7459	0.7751

**Tabella 4: Proprietà fisiche del GNL per origine**

Emerge così che:

- le proprietà fisiche rimangono sostanzialmente paragonabili a quelle del metano (con differenze inferiori al 20%),
- la bassa temperatura di ebollizione (~-160°C) classifica il GNL come fluido "criogenico" se conservato a pressione atmosferica,
- i vapori di GNL a temperatura ambiente sono più leggeri dell'aria,
- ma che a temperatura di ebollizione sono più pesanti dell'aria; come promemoria, questo ha un'influenza sulla miscelazione del prodotto con l'aria in caso di perdita di contenimento (vedi sotto).

*NOTA: la norma ISO 20765-2:2015 consente di calcolare le proprietà termodinamiche in base alla composizione del gas naturale, se necessario.*

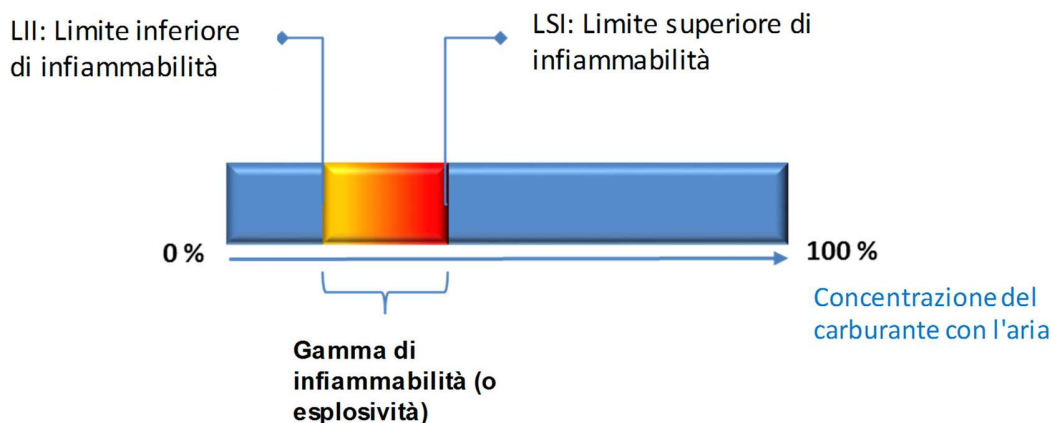
Quindi, oltre alle proprietà sopra menzionate e come già detto, la proprietà essenziale del GNL o del gas naturale è che è infiammabile. Questa proprietà è caratterizzata nel seguente sottocapitolo.

#### 4.1.4 Infiammabilità e combustione

Questo sottocapitolo elenca la maggior parte delle proprietà importanti per lo studio dei fenomeni pericolosi legati alla combustibilità del GNL.

##### a) Campo di infiammabilità

Il gas naturale o i vapori di GNL, a causa dei loro principali costituenti, sono gas infiammabili. Tuttavia, una miscela di questi gas con l'ossigeno dell'aria è suscettibile di infiammarsi solo se la concentrazione di gas naturale è all'interno del campo di infiammabilità, illustrato nella figura seguente.



**Figura 11 : Campo di infiammabilità**

In pratica, il campo di infiammabilità di un gas naturale o GNL dipenderà dalla sua composizione, ma rimane relativamente vicino a quello del metano, come dimostrano i valori riportati nella tabella seguente.

	<b>Metano</b>	<b>GNL “leggero”</b>	<b>GNL “pesante”</b>
<b>Campo infiammabilità di</b>	5% - 15% (in volume)	4,9% - 14,9% (in volume)	4,4% - 14,4% (in volume)

**Tabella 5: Campo di infiammabilità del GNL**

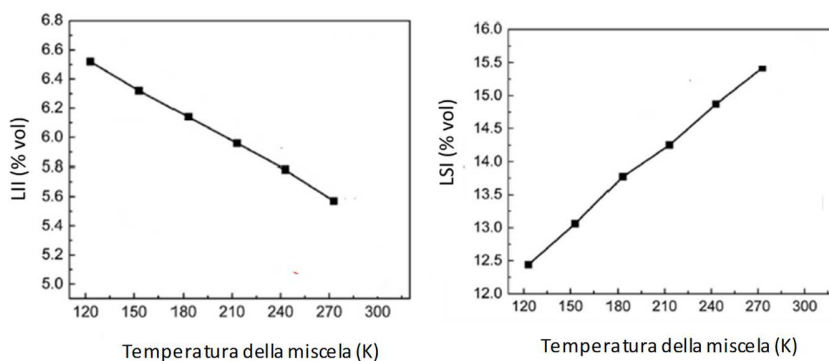
All'interno del campo di infiammabilità si trova la cosiddetta concentrazione stechiometrica, che è la proporzione ottimale come in caso di accensione:

- tutto il carburante verrà bruciato,
- e questo, senza eccesso o difetto di aria; in altre parole, con reazione della totalità dell'aria inizialmente contenuta nella miscela.

È generalmente a questa concentrazione che gli effetti della combustione accidentale sono più pericolosi. Per il metano, la concentrazione stechiometrica è del 9,5% (in volume).

Come promemoria, i valori elencati nella tabella precedente corrispondono ai campi di infiammabilità in condizioni ambientali.

Questo campo di infiammabilità dipende in realtà dalle condizioni di pressione e di temperatura. Le variazioni tipiche della pressione e della temperatura ambiente non sono sufficienti a modificarla in modo significativo. Tuttavia, in caso di perdita di GNL, la temperatura del gas naturale (dalla vaporizzazione del GNL) / della miscela aria potrebbe essere molto inferiore alla temperatura ambiente. Le variazioni dei limiti di infiammabilità a basse temperature sono indicate nelle figure seguenti.



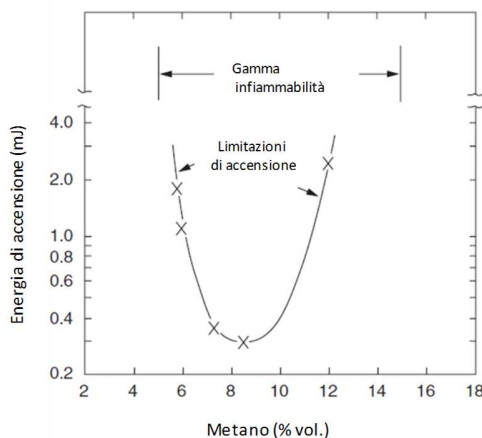
**Figura 12 : Variazione dei limiti di infiammabilità a basse temperature**

Si osserva così che più bassa è la temperatura della miscela metano/aria, più alto è l'LII aumenta e più basso è l'LSL. In altre parole, più bassa è la temperatura della miscela, più breve è il campo di infiammabilità. Così, a 120 K (o -153°C) il campo di infiammabilità del metano si riduce tra il 6,5% e il 12,5% (vol.).

*b) Sensibilità all'accensione*

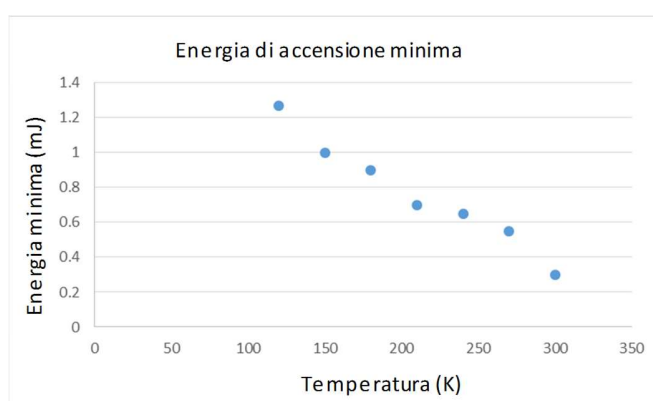
I dati qui forniti sono caratteristici del metano. Possono essere applicati come primo approccio al gas naturale.

L'energia necessaria per accendere una nube di metano/aria dipende dalla concentrazione di metano nella miscela.



**Figura 13 : Energia di accensione minima in funzione della concentrazione**

Più bassa è la concentrazione di metano vicino alla concentrazione stechiometrica (dell'ordine di 0,3 mJ), minore è l'energia necessaria per l'accensione. Questa energia minima può anche variare con la temperatura. La figura seguente mostra quindi che quanto più bassa è la temperatura della miscela, tanto maggiore è l'energia necessaria per accendere la miscela.

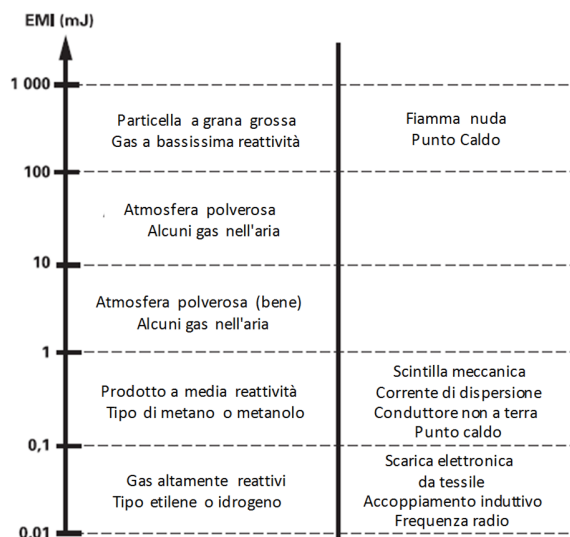


**Figura 14 : Energia di accensione minima in funzione della temperatura**

Ricordiamo che, al di là dei valori sopra citati, il metano non è considerato il gas più sensibile all'accensione; gas come l'etilene o l'idrogeno sono molto più sensibili. Viene quindi classificata come reattività "media" secondo la seguente figura. Nel Manuale di riferimento Bevi Risk Assessment (RIVM, 2009), il metano è classificato come "basso" per l'infiammabilità.

In pratica, è ancora relativamente facile da accendere, poiché le intensità di energia di accensione menzionate sono in realtà fonti come scintille meccaniche, correnti vaganti o punti caldi.





**Figura 15 : Energia da diverse fonti di accensione**

*Nota: Quando una miscela infiammabile viene riscaldata ad una certa temperatura non ha più bisogno di una fonte di accensione per avviare la combustione. Questa cosiddetta temperatura di autoaccensione è di 535°C per una miscela di metano/aria stechiometrica. Queste condizioni non sono probabili nelle strutture in esame, tranne nel caso di una situazione che non sia e che sia già accidentale.*

c) Energia rilasciata e tasso di combustione

In relazione alle situazioni di incidente, oltre ai limiti di esplosività (sinonimo di infiammabilità in questo contesto), sono importanti 2 proprietà: la quantità di energia rilasciata dalla combustione e la velocità con cui questa energia viene rilasciata.

	Metano	GNL "leggero"	GNL "pesante"
Energia di combustione (MJ/kg)	50.04	49.86	49.2

**Tabella 6: Energia di combustione del GNL secondo l'origine**

L'energia di combustione del GNL è fissata globalmente dal contenuto di metano. La differenza in termini di energia non è significativa dal punto di vista dei fenomeni accidentali.

La velocità di combustione del metano riflette la sua reattività in caso di accensione e quindi ha un'influenza se le condizioni per un'esplosione sono soddisfatte.

La velocità di combustione laminare del metano con l'aria è di circa 0,45 m/s. A titolo di confronto, il propano ha una velocità laminare di 0,52 m/s e l'idrogeno di 1,2 m/s. Per quanto riguarda il pericoloso fenomeno delle esplosioni, il metano è considerato un gas a "bassa" reattività. In pratica e a titolo esemplificativo, si può ritenere che, a parità di condizioni, darà sovrapressioni inferiori di circa il 40% rispetto ad una simile esplosione di propano.

#### 4.1.5 Frasi di rischio

Le frasi di rischio frequentemente utilizzate secondo il regolamento CE 1272/2008 quando si consultano le schede di sicurezza per il gas naturale o il GNL sono le seguenti:

- H220: gas estremamente infiammabile,
- H280: contiene gas sotto pressione; può esplodere se riscaldato,
- H281: contiene gas refrigerato; può causare ustioni o lesioni criogeniche.

La prima frase di cui sopra si riferisce naturalmente alle proprietà menzionate nel precedente sottocapitolo. Comporta dei pericoli:

- fuoco, che, come si vede qui sotto, può essere sotto forma di getti di fuoco o incendi di pozza,
- e anche un'esplosione se miscelata con aria prima dell'accensione; questo tipo di esplosione si chiama VCE, per "Vapour Cloud Explosion".

Le seguenti 2 frasi si riferiscono alle consuete condizioni di processo. Per essere disponibile nella giusta quantità per il fabbisogno, il gas naturale è:

- o conservato sotto pressione,
- o liquefatto (è poi GNL), ad una temperatura molto bassa (circa -160°C).

I pericoli associati a queste diverse condizioni sono descritti in dettaglio nel seguente sottocapitolo.

## 4.2 PERICOLI DI PROCESSO

Senza entrare nei dettagli di tutte le operazioni, i processi qui consistono principalmente in:

- operazioni di trasferimento,
- o stoccaggio

come mostrato nella Figura 6.

Si considerano prima di tutto i principali pericoli legati alle operazioni di trasferimento, poi si discutono quelli relativi ai diversi tipi di stoccaggio (pressurizzato o meno).

Nessun capitolo è dedicato ai pericoli, per quanto reali, da associare a perdite da valvole (difettose), perdite tra 2 apparecchiature, ecc.

Inoltre, il GNL, come tutti i gas liquefatti, non deve essere contenuto in una sezione di tubazione che può essere completamente chiusa ed esposta al calore dell'ambiente, altrimenti la pressione aumenterà fino a rompersi. Come per le perdite, questo punto - anche se importante - non sarà sviluppato ulteriormente.

### 4.2.1 Pericoli associati ai trasferimenti

In generale, i trasferimenti tra le capacità comportano il rischio di un eccessivo riempimento delle capacità di ricezione. Il riempimento eccessivo porta poi a:

- un flusso di liquido nelle tubazioni dedicate alla fase vapore quando si collegano le fasi vapore delle 2 portate (quella scaricata e quella ricevente); questo tipo di evento può essere senza conseguenze,
- traboccano attraverso le valvole se le fasi del vapore non sono state collegate, e di conseguenza c'è il pericolo di incendio o di VCE,
- e, all'estremo, al danneggiamento della capacità di ricezione, che può anche portare alla sua rottura; i pericoli sono quindi quelli indicati nei seguenti sottocapitoli, a seconda della natura dello stoccaggio.

La particolarità dei traboccamenti è che i rilasci accidentali vengono poi elevati e diretti verticalmente dalle valvole o dalle bocchette di ventilazione.

In secondo luogo, come mostrato in Figura 6, molte operazioni di trasferimento coinvolgono almeno una capacità mobile (cisterna di autocarri, nave bunker, ecc.). In questo tipo di configurazione, c'è un rischio significativo di rottura del braccio di trasferimento o del tubo flessibile a causa del movimento incontrollato di una capacità di movimento. In questo contesto, alcuni dei trasferimenti riguardano le navi. Di conseguenza, se il braccio o il tubo flessibile si rompe, il GNL rilasciato accidentalmente può cadere in acqua. Di conseguenza, si può osservare un VCE dopo l'accensione della miscela vapore/aria e un incendio di pozza sull'acqua. Tuttavia, un altro pericolo, descritto di seguito, deve essere considerato in anticipo in questo tipo di situazione.

Il GNL si trova generalmente ad una temperatura di  $-160^{\circ}\text{C}$ . A contatto con l'acqua a temperatura ambiente, gli intensi trasferimenti di calore possono causare la vaporizzazione del GNL molto "improvvisa". Il cambiamento di fase e la successiva espansione dei vapori nell'atmosfera possono quindi "spingere" l'aria ambiente indietro con forza sufficiente a generare onde di pressione (o shock) e quindi assomigliare ad un'esplosione. Questo è spesso indicato come RPT (dall'inglese "Rapid Phase Transition"<sup>5</sup>).

#### 4.2.2 Stoccaggio sotto pressione

Le condizioni di pressione-temperatura per questo tipo di stoccaggio sono:

- un manometro di pochi bar, di solito 3 (ma sono possibili pressioni da 8 a 11 bar),
- e la temperatura corrispondente alle condizioni di equilibrio termodinamico, cioè circa  $-140^{\circ}\text{C}$  per la pressione relativa di cui sopra, ad esempio.

L'immagazzinamento sotto pressione - ma anche i trasferimenti tramite pompa, spray e altri riscaldatori, in stoccaggio fisso o in un serbatoio, ecc. - comporta diversi pericoli:

- in caso di una "improvvisa" perdita di contenimento, potenzialmente, una grande massa di gas inizialmente sotto pressione tenderà ad occupare un volume molto più grande nell'atmosfera; tale espansione volumetrica avviene "spingendo indietro" l'aria ed è accompagnata da onde d'urto che possono esse stesse causare danni; questo tipo di fenomeno è talvolta chiamato "esplosione pneumatica",

---

<sup>5</sup> Si riferisce al passaggio dalla fase liquida alla fase vapore.

- inoltre, nel caso del GNL, l'espansione di volume di cui sopra può riguardare la fase vapore (il gas) ma anche la fase liquida (liquefatta in pratica); per quest'ultima l'espansione di volume è ancora più notevole; il fenomeno viene poi chiamato BLEVE,
- nel caso di una perdita di contenimento meno " Brusca", limitata ad una condotta o ad una frazione di sezione di scarico in un tubo pressurizzato, il GNL scaricato sarà animato da una notevole quantità di movimento; il flusso osservato sarà un getto e questo tipo di flusso ha un'influenza sulla massa esplosiva (con l'aria), la distanza contata dal punto in cui una miscela è esplosiva, ecc,

In caso di infiammazione concomitante o successiva a perdita di contenimento, vale la pena considerare gli effetti termici relativi a:

- una palla di fuoco (in caso di BLEVE),
- un getto di fuoco, e potenzialmente (vedi sotto), un incendio di pozza.

Se si osserva l'accensione dopo la miscelazione con l'aria e la formazione di un volume esplosivo, le fiamme si propagheranno attraverso di essa con:

- di nuovo gli effetti termici,
- ma anche, a seconda della velocità delle fiamme, effetti di pressione.

In quest'ultimo caso, denominato VCE come sopra menzionato, gli effetti della pressione sono dovuti all'espansione di volume associata al passaggio da una miscela di metano e aria a temperatura ambiente o inferiore ad una miscela di gas di scarico molto più calda.

### **4.2.3 Stoccaggio Non pressurizzato**

Le condizioni di pressione-temperatura per questo tipo di stoccaggio sono:

- una pressione vicina alla pressione atmosferica e limitata a 0,1 ~ 0,15 bar (relativa),
- e, ancora una volta, la temperatura corrispondente alle condizioni di equilibrio termodinamico, cioè vicino a -160°C.

Le cosiddette condizioni di processo o di stoccaggio criogenico (con temperature intorno ai -160 °C) comportano diversi pericoli o rischi.

Prima di tutto, vale la pena di menzionare gli "intensi" trasferimenti di calore tra:

- GNL, molto freddo,
- e materiali a temperatura ambiente, compresi i metalli,

in caso di contatto accidentale. Questi possono essere osservati:

- in caso di perdita di contenimento e flusso incontrollato di GNL in un serbatoio contenente un altro prodotto pericoloso, un elemento importante (come lo scafo di una nave), ecc,
- o ancora, senza perdite precedenti, quando il GNL viene improvvisamente diretto (e ad alte portate) in una condotta, dedicata al GNL, inizialmente a temperatura ambiente; questo tipo di situazione favorisce l'infragilimento<sup>6</sup> del metallo della condotta e le perdite.

Come detto in precedenza, quando i trasferimenti di calore sono ulteriormente promossi da una grande superficie di contatto osservata ad esempio quando il GNL (freddo) viene miscelato con l'acqua (a temperatura ambiente), c'è allora un rischio di RPT e come risultato di effetti di pressione.

Infine, gli impianti di stoccaggio criogenico di GNL possono essere il luogo del pericoloso fenomeno noto come Roll-Over. Senza entrare nel dettaglio, questo fenomeno è brevemente descritto qui di seguito:

- un serbatoio di GNL può avere diversi strati o strati di liquido in diverse condizioni di pressione e temperatura (lo strato inferiore è sotto la pressione idrostatica degli strati superiori - ed è quindi più alto - e le temperature o anche le composizioni del GNL possono variare da uno strato all'altro),
- in determinate condizioni, gli strati superiori, inizialmente meno densi, possono diventare più pesanti,
- mentre allo stesso tempo gli strati inferiori, inizialmente più densi, possono alleggerirsi,
- questo processo può continuare fino a quando le posizioni degli strati non vengono invertite, con gli strati superiori che si muovono verso il basso e gli strati inferiori che si muovono verso l'alto (da qui la denominazione "Roll-Over"),
- tuttavia, l'innalzamento degli strati inferiori può essere accompagnato da una vaporizzazione abbastanza massiccia da danneggiare in alcuni casi le cupole dei serbatoi.

---

<sup>6</sup> Normalmente evitato con procedure di raffreddamento graduale (non brutale).

Tutti i fenomeni sopra citati sono citati per la cronaca perché:

- permettono una migliore comprensione del corso di certi incidenti,
- sono degni di nota perché sono specifici del processo con condizioni criogeniche (come i RPT) ma non sono dimensionali in relazione ai fenomeni di getti di fuoco, BLEVE o VCE già citati in precedenza.
- o perché riguardano a priori serbatoi più grandi di quelli in esame (per il fenomeno del Roll-Over).

Hanno un campo di applicazione diretto più piccolo rispetto agli incendi o agli VCE e quindi non saranno discussi ulteriormente.

### **4.3 PERICOLI AMBIENTALI**

#### **4.3.1 Pericoli dovuti a condizioni naturali**

Gli elementi principali da considerare sono:

- allagamento o sommersione,
- fulmini
- terremoto

Altri elementi come i venti o le temperature estreme possono essere inclusi in un'analisi del rischio, ma sono comunemente presi in considerazione dalle normative edilizie generali.

Le inondazioni o i terremoti sono fenomeni naturali che possono causare perdite importanti, e di conseguenza i fenomeni pericolosi (VCE e getti di fuoco) già citati.

I fulmini possono sia danneggiare le apparecchiature che causare perdite, ma possono anche essere una fonte di accensione.

Questi elementi non portano a fenomeni pericolosi legati al GNL, che non sono già stati menzionati.



D'altro canto, devono essere controllati da eventuali misure specifiche.

Così, per il controllo dei rischi di inondazione, possono essere adottate misure di sostegno:

- le forze verticali dovute alla spinta di Archimede nel caso di serbatoi pressurizzati,
- le forze orizzontali dovute alla corrente, gli inceppamenti per tutti i serbatoi,...

Allo stesso modo, in Francia, le installazioni sono soggette a uno "Studio dei fulmini" obbligatorio.

Per quanto riguarda il terremoto, anche in Francia, quando la capacità di stoccaggio supera le 50 t, devono essere rispettate le regole di dimensionamento sismico. In sostanza, l'analisi del rischio deve determinare se un guasto alle apparecchiature a seguito di un terremoto porta ad uno scenario con gravi effetti<sup>7</sup> su un'area di "occupazione umana permanente". Tale scenario prevede poi il dimensionamento delle attrezzature (serbatoi, condotte, ecc.) per un terremoto le cui caratteristiche sono definite dalla normativa.

#### **4.3.2 Pericoli legati alle attività antropiche**

Le attività da considerare sono generalmente:

- il trasporto,
- e le attività industriali vicine.

Un evento accidentale di questo tipo di ambiente non dà luogo a fenomeni pericolosi che coinvolgono il GNL, non già menzionati.

D'altro canto, è possibile adottare misure di controllo del rischio per:

- limitare il rischio di collisioni legate al trasporto,
- e, se del caso, il rischio dei cosiddetti effetti domino, innescati da un incidente in impianti vicini.

In pratica, nella maggior parte dei casi si tratta di una questione di scelta negli insediamenti.

---

<sup>7</sup> Comprendere gli effetti in grado di produrre almeno l'1% di letalità nella popolazione esposta.

#### 4.4 INCIDENTOLOGIA

Nell'arco di circa 50 anni si possono individuare gli incidenti descritti brevemente nella seguente tabella. Gli impianti, sedi di questi incidenti, sono qualitativamente paragonabili a quelli considerati in questo studio "ad un fattore di scala di uno a uno". In pratica, sono stati effettivamente osservati molti incidenti nei terminali GNL, che sono a priori più grandi in termini di capacità di stoccaggio, ad esempio, di una stazione Grand Port.

Data	Posizione	Strutture	Fenomeni	Possibili cause
2015	Barcellona	Terminale GNL	Traboccamento del serbatoio della nave	Sistema di protezione del serbatoio disattivato e posizione errata della valvola del serbatoio
2014	Risavika (Norvegia)	Stazione di rifornimento	Piccola perdita di GNL	Tensione sul collegamento del tubo flessibile
2011	Rotterdam	Terminale GNL	Piccola perdita	Lavori di manutenzione
2011	Milford Haven	Nave cisterna per GNL in fase di scarico	Piccola perdita	Perdita sul sensore di temperatura
2010	Nigeria	Nave cisterna per GNL in fase di carico	Forte inclinazione trasversale	Errore di zavorramento
2010	Montoir	Nave cisterna per GNL in fase di scarico	Danni senza perdite sulle tubazioni della nave	GNL nel circuito di evaporazione
2009	Indonesia	Serbatoio	Perdita del collettore	Refrigerazione non corretta
2006	Giordania	Nave cisterna per GNL in fase di scarico	Perdita in fiamme	Fuoriuscita fase gassosa
2006	USA	Nave cisterna per GNL in fase di scarico	Avaria all'ormeggio senza perdite	Sveglia di una nave di passaggio

<b>Data</b>	<b>Posizione</b>	<b>Strutture</b>	<b>Fenomeni</b>	<b>Possibili cause</b>
2003	Fos	Terminale GNL	Esplosione e incendio	Perdita canale di scolo
1997	Inghilterra	Serbatoio	Fuoriuscita di gas	Installazione del densitometro
1994	USA	Nave cisterna per GNL in fase di scarico	Avaria all'ormeggio senza perdite	Attracco difettoso
1991	-	Terminale GNL	Danni su cremagliera senza perdite	Movimento della gru
1989	Algeria	Nave cisterna per GNL in fase di carico	Guasto all'ormeggio con perdite sul braccio/tubazione	Vento forte
1988	USA	Terminale GNL e metaniera in fase di scarico	Valvola a braccio con perdita	Valvola difettosa
1988	USA	Terminale GNL e metaniera in fase di scarico	Perdita di liquido sulla linea di drenaggio	Colpo d'ariete durante la ripresa dello scarico
1985	-	Terminale GNL	Danni alle condotte senza perdite	Caduta di gru (terreno di scarsa qualità)
1985	-	Terminale GNL e metaniera in fase di scarico	Perdita sul ponte con danni	Riempimento eccessivo del serbatoio
1983	Giappone	Terminale GNL e metaniera in fase di scarico	Perdita sul braccio durante la fase di raffreddamento	Avvio del motore della nave
1982	Asia	Terminale GNL e metaniera in fase di scarico	Perdita sul braccio con danni al molo e alla nave	Movimento della nave
1980	-	Nave metaniera	Perdita di vapore sul braccio	Scollamento del braccio

Data	Posizione	Strutture	Fenomeni	Possibili cause
1979	USA	Nave cisterna per GNL in fase di scarico	Valvola di non ritorno	Valvola difettosa
1978	EAU (UEE)	Serbatoio	Rottura del punto inferiore nel doppio involucro con emissione di gas	Cricche da stress termico
1977	Indonesia	Terminale GNL e metaniera in carico	Fuoriuscita di liquido ventilato	Allarme del manometro disabilitato
1977	Algeria	Serbatoio	Guasto della valvola montata sul tetto e spargimento massiccio senza accensione	Materiale errato (lega di alluminio)
1974	USA	Terminale GNL e chiatta in carico	Perdita tramite valvola di scarico a ponte	Colpo d'ariete dopo un guasto elettrico
1971	Italia	Terminale GNL	Apertura della valvola del serbatoio  Danni minori al tetto	Roll-over

**Tabella 7: Feedback sugli impianti GNL nei porti**

In termini di insegnamento, e anche se le statistiche dettagliate non possono essere derivate da elementi così frammentati come questi, emerge comunque che:

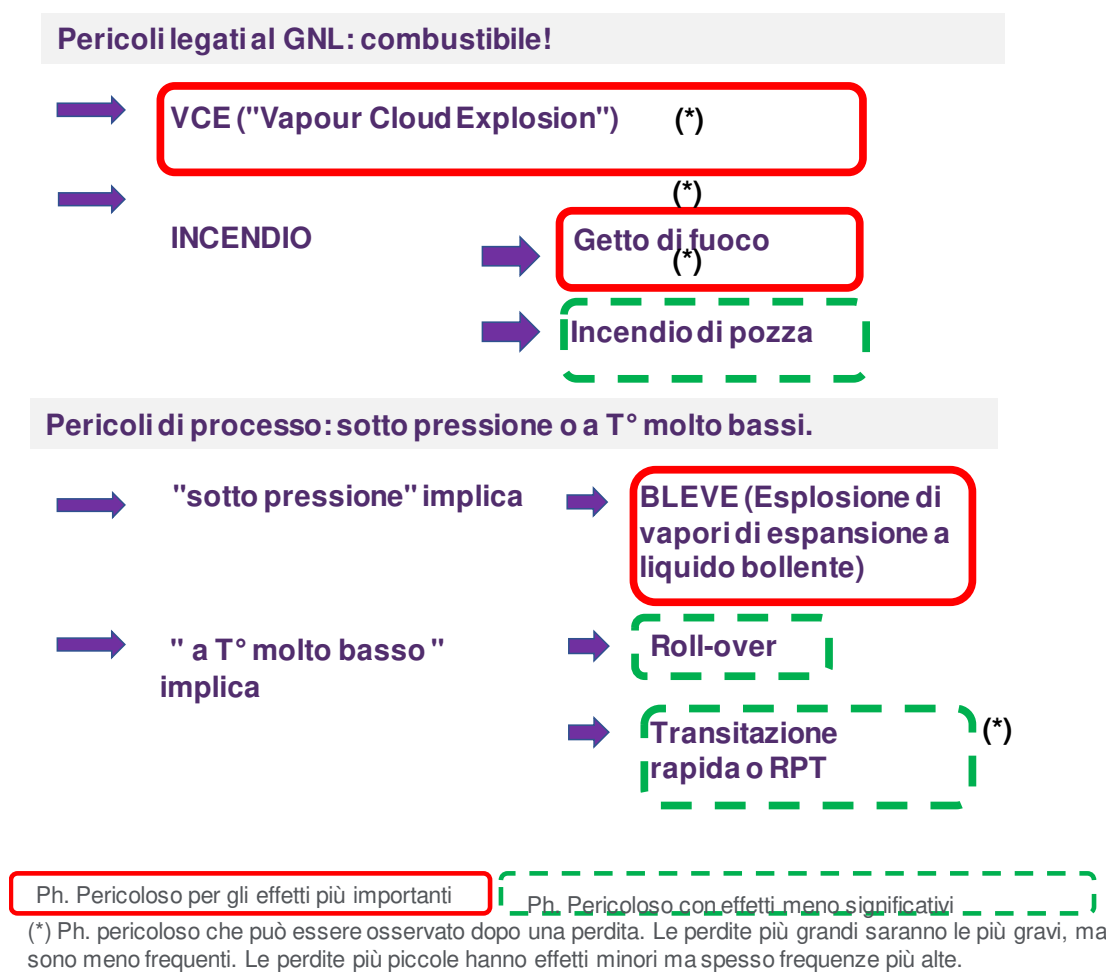
- le perdite sono state regolarmente osservate durante le operazioni di trasferimento tra le navi e le banchine (vedi 4.2.1),
- sono stati osservati casi di riempimento eccessivo (con conseguenti perdite) durante le operazioni di rifornimento delle unità di stoccaggio (vedi di nuovo 4.2.1),
- le perdite sono state provocate da varie cause, non particolarmente specifiche per il GNL (ad es. caduta della gru), tranne forse quando si parla di stoccaggio a freddo (procedura difettosa, sollecitazioni termiche? come menzionato al punto 4.2.3).

---

Va inoltre notato che non si sono verificati casi di BLEVE, anche se due di questi incidenti sono stati osservati su navi cisterna. Questi casi (osservati in Spagna) non compaiono nella tabella precedente perché si sono verificati sulla pubblica via, su autocarri con un unico involucro "isolato". Per la cronaca, diversi terminali GNL in Europa vietano l'accesso ai loro impianti a questi veicoli, la cui tecnologia è attualmente vietata dall'ADR per i nuovi veicoli.

## 4.5 IN SINTESI

Infine, emergono i fenomeni pericolosi illustrati nella figura seguente.



**Figura 16 : Fenomeni pericolosi**

I principali fenomeni pericolosi da conservare sono quindi "localizzati" nella figura seguente.

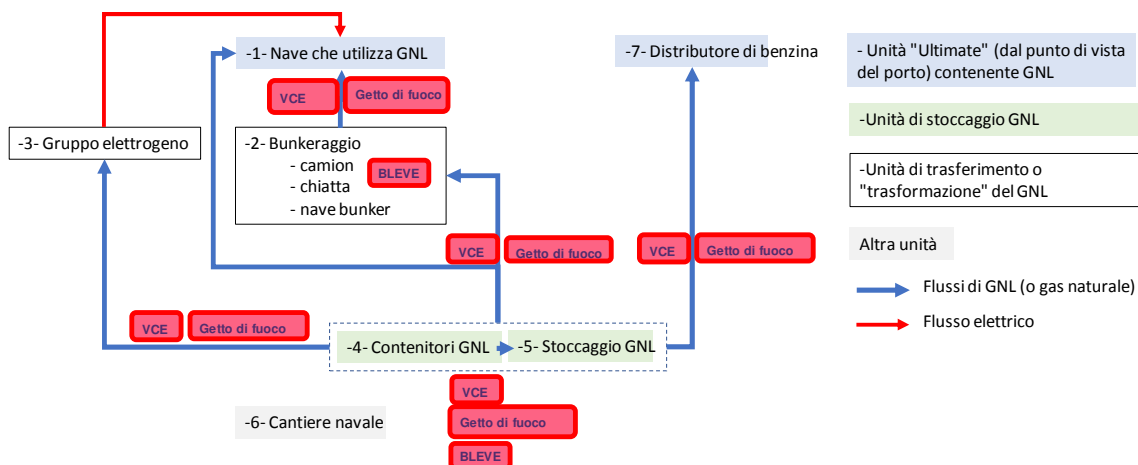


Figura 17 : Fenomeni pericolosi contestualizzati

Al di là della precedente figura relativamente sintetica, è necessario confrontare:

- le informazioni registrate nel capitolo 3 sulle installazioni (diametro della condotta, flussi tipici, ecc.),
- e quelli che emergono da questo capitolo per definire i casi da studiare, coprendo il più ampio spettro possibile di condizioni diverse.

Tali riconciliazioni sono presentate e giustificate nella seguente tabella.

All'interno di questa tabella, quando si fa riferimento alle perdite, si farà spesso riferimento alle cosiddette perdite maggiori:

- sezione del 10%,
- o al 100% di sezione%.

Il termine "sezione" si riferisce alla sezione dritta delle condotte. Infatti, a parità di tutte le altre cose, le perdite al 10% di sezione sono inferiori di quelle al 100% di sezione. In questo contesto, la denominazione "al 100% di sezione%" viene utilizzata per circostanze di perdita come la rottura di una valvola a scorrimento o disimpegno<sup>8</sup> con la completa separazione di una condotta

<sup>8</sup> Per quanto riguarda i tubi flessibili e i bracci di trasferimento, si farà implicitamente riferimento solo alle perdite di al 100% di sezione%, cioè alla rottura totale dei tubi o dei bracci, a seguito di un movimento eccessivo della capacità mobile (camion, chiatta, nave, ...).



---

in due sezioni. In tali condizioni, il GNL può fuoriuscire da ciascuna delle 2 porzioni e la sezione di perdita totale è il doppio della sezione rettilinea, cioè il 200% della sezione rettilinea. La denominazione "al 100% di sezione%" è quindi alquanto imprecisa.

Condizioni di stoccaggio	PhD <sup>9</sup>	Caso n.	Dimensione o volume	Contesto	Nota
Pressurizzato	BLEVE	1	50 m <sup>3</sup>	Caso tipico di un'autocisterna	
		2	110 m <sup>3</sup>	Caso tipico di una cisterna ferroviaria	
		3	200 m <sup>3</sup>	Tipico caso di stoccaggio in pressione in una stazione Fabbrica o Porto	
		4	1000 m <sup>3</sup>	Tipico caso di un deposito pressurizzato ad alta capacità in una stazione Porto	
Pressurizzato	Scarico in atmof. poi VCE	5	65 mm	<p>Tipico caso di una perdita "al 100% di sezione%" in un tubo flessibile utilizzato per lo scarico dei camion cisterna</p> <p>I casi 5 e 6 sono paragonabili, ma il controllo della perdita in 30 s è consentito nel caso 5.</p> <p>Nel caso 6, è consentita una "lunga" durata della perdita.</p>	<p>Al di là del tempo di perdita, sono state prese in considerazione altre differenze tra i casi 5 e 6, ma vengono spiegate di seguito.</p>
		6			
		7	80 mm	<p>Tipico caso di perdita di una "al 100% di sezione%" in un tubo flessibile utilizzato per scaricare i camion cisterna in una stazione Porto.</p>	

<sup>9</sup> "PhD" per "Fenomeno pericoloso".

Condizioni di stoccaggio	PhD <sup>9</sup>	Caso n.	Dimensione o volume	Contesto	Nota
		8	200 mm	Tipico caso di perdita di una "al 100% di sezione%" da un braccio utilizzato per scaricare una nave in una stazione Porto	
Pressurizzato	Scarico in atmof. poi VCE	9	25 mm	Tipico caso di una perdita chiamata "al 10% di sezione" da una condotta di GNL da 3".	Casi da 9 a 12 per perdite da tubazioni
		10	Da 66 a 80 mm	Tipico caso di perdite: - nota come "al 10% di sezione" di un metanodotto da 8" di GNL, - o "al 100% di sezione%" da un tubo con un diametro vicino a 3".	
		11	150 mm	Tipico caso di perdite di "al 100% di sezione%" da una condotta con un diametro vicino a 6".  Ancora una volta, i casi 11 e 12 sono comparabili ma con tempi di perdita diversi (30 s nel caso 11 e una durata "lunga" nel caso 12).	
		12			
Pressurizzato	Scarico in atmof. poi VCE	13	50 mm	Tipico caso di troppopieno da una valvola, in stazioni Fabbrica o Porto.	

Condizioni di stoccaggio	PhD <sup>9</sup>	Caso n.	Dimensione o volume	Contesto	Nota
		14	n <sup>10</sup> *67 mm	Tipico caso di troppopieno nella stazione Porto.	
Pressurizzato	Getto di fuoco	15	25 mm	Casi che permettono di controllare la gamma di perdite importanti, con l'accensione, che può portare ad un getto infiammato.	
		16	Portata tipica di una pompa		
		17	66 mm		
		18	132 mm		132 mm corrisponde al diametro di una perdita di "sezione al 10%" da una condotta da 16" (dimensione estrema nel contesto) ma è anche vicino al diametro di una perdita di "al 100% di sezione%" da condotte più comuni.

<sup>10</sup> "n" corrisponde qui ad una serie di valvole, disposte in parallelo, potenzialmente su più serbatoi.

Condizioni di stoccaggio	PhD <sup>9</sup>	Caso n.	Dimensione o volume	Contesto	Nota
Non pressurizzato	Scarico in atmosf. poi VCE	19	200 mm	Tipico caso di perdita di una "al 100% di sezione%" da un braccio utilizzato per scaricare una nave in una stazione Grand Port.	Casi da 19 a 22 per perdite dalle braccia
		20		Tipico caso di perdita di una "al 100% di sezione%" da un braccio utilizzato per caricare una nave tipo Traghetto in una stazione Grand Port.	
		21	300 mm	Tipico caso di perdita di una "al 100% di sezione%" da un braccio più grande utilizzato per scaricare una nave in una stazione Grand Port.	
		22		Tipico caso di perdita di una "al 100% di sezione%" da un braccio utilizzato per caricare una Nave Grande in una stazione Grand Port.	

Condizioni di stoccaggio	PhD <sup>9</sup>	Caso n.	Dimensione o volume	Contesto	Nota
Non pressurizzato	Scarico in atmosf. poi VCE	23	66 mm	Tipico caso di perdita di una "al 10% di sezione" da una condotta di GNL da 8". I casi 23 e 24 differiscono per i tempi di perdita e per il fatto di contenere o meno la fuoriuscita accidentale di GNL (vedi sotto) in una "tubazione".	Perdite da tubazioni di grande diametro che possono corrispondere anche alle cosiddette tubazioni di trasporto.
		24			
		25	100 mm	Come sopra, tranne per il fatto che questo è una condotta da 12".	
		26			
		27	132mm	Come nei casi precedenti, tranne che per il fatto che si tratta di una condotta da 16".	
		28			

**Tabella 8: Elenco dei cosiddetti scenari di incidenti rilevanti che possono "coprire" diverse situazioni possibili**

## **5 CARATTERIZZAZIONE DEL RISCHIO**

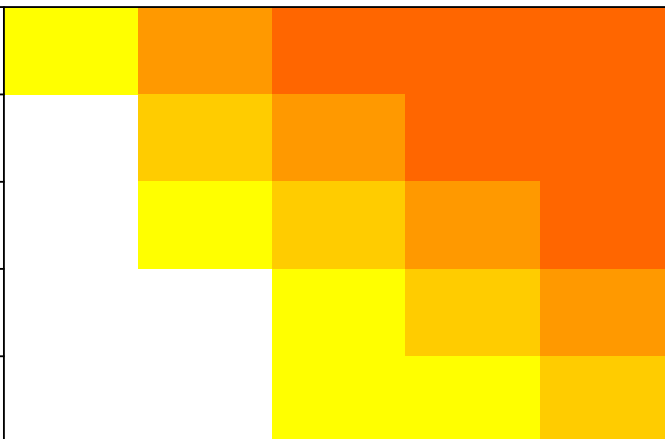
### **5.1 GENERALE**

I rischi sono generalmente caratterizzati secondo valutazioni "bidimensionali", con:

- la probabilità o la frequenza con cui si possono osservare incidenti o fenomeni pericolosi,
- e la gravità degli effetti associati ad ogni tipo di incidente o fenomeno.

A titolo di esempio, secondo la normativa ICPE, la matrice riportata nella figura seguente viene utilizzata in Francia per riportare le valutazioni dei rischi e decidere sulla loro accettabilità.



Scala di frequenza quantitativa	Scala di frequenza qualitativa	Livello di probabilità							
$> 10^{-2}$	Evento in corso sul sito in questione	Occasionale	A						
$10^{-3} < F < 10^{-2}$	Evento che si è già verificato sul sito	Non comune	B						
$10^{-4} < F < 10^{-3}$	Evento simile già incontrato nel settore	Raro	C						
$10^{-5} < F < 10^{-4}$	Evento che si è già verificato ma che è stato oggetto di significative azioni correttive	Estremamente raro	D						
$< 10^{-5}$	Evento non incontrato a livello globale, ma non impossibile alla luce delle conoscenze attuali	Rarissimo	E						
				<b>Livello di gravità</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
					<b>Moderato</b>	<b>Serio</b>	<b>Importante</b>	<b>Catastrofico</b>	<b>Disastroso</b>
<b>Effetti letali significativi</b>					Nessuno	Nessuna persona esposta	Non più di 1 persona esposta	Meno di 10 persone esposte	Più di 10 persone esposte
<b>Primi effetti letali</b>					Nessuno	Non più di 1 persona esposta	Tra 1 e 10 persone esposte	Tra 10 e 100 persone esposte	Più di 100 persone esposte
<b>Effetti irreversibili</b>					Meno di "1 persona" esposta	Meno di 10 persone esposte	Tra 10 e 100 persone esposte	Tra 100 e 1000 persone esposte	Più di 1000 persone esposte

**MMR: Misura di controllo del rischio**

Accettabile

**RA: Rischio accettabile**

MMR 1
MMR 2
NON Rango 1
NON Rango 2

**Figura 18 : Matrice nota come "MMR" mantenuta in Francia per valutare la criticità dei rischi di un ICPE sul suo ambiente.**

Lo scopo non è quello di dettagliare qui l'uso della matrice presentata nella figura precedente che è specifica per:

- Francia,
- e il controllo dei rischi tecnologici intorno ai ICPE.

Sempre in Francia, nel caso delle condotte per il trasporto di sostanze pericolose (nel caso di alcune tubazioni GNL) o nel caso di infrastrutture come le zone di transito di materiali pericolosi in alcuni grandi porti, si fa riferimento a diverse matrici.

Queste si differenziano dalla cifra precedente per le scale di frequenza o di gravità o per la valutazione dei rischi (accettabili o meno o a seconda delle condizioni).

In altri paesi europei i rischi possono essere caratterizzati anche con altri mezzi.

Tuttavia, in ogni caso (paese, normativa applicata, ecc.), resta il fatto che la caratterizzazione del rischio richiede una valutazione "bidimensionale": delle frequenze e dei gradi di gravità.

In questo documento si farà riferimento alle classi di frequenza definite nella figura precedente. Anche se le frequenze non sono classificate in questo modo ovunque, si può dedurre dalle frequenze espresse in occorrenze per anno (almeno in ordini di grandezza), che è un'unità universale.

D'altra parte, quando si tratta di livelli di gravità, sembra che questi dipendano da:

- la gamma o la distanza degli effetti (come la letalità),
- ma anche il numero di persone esposte agli effetti e i criteri utilizzati per considerare i diversi livelli (ad esempio 1, 10 o 100 persone esposte).

I livelli di severità della Figura 18 dipendono quindi dall'ambiente e dai criteri specifici di una regolamentazione. Queste dimensioni non sono universali. In queste condizioni, nel presente documento, le gravità saranno valutate utilizzando le distanze d'effetto, espresse in m, e tenendo conto delle soglie elencate nella tabella seguente.

Tipo di effetti	Soglia per i cosiddetti effetti letali significativi o SELS	Soglia di 1° effetti letali o SEL	Soglia per effetti irreversibili letali (non letali) o SEI
Terminali a causa di un'esposizione superiore a 2 minuti	8 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>
Terminali a causa di un'esposizione inferiore a 2 minuti	1800 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s	1000 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s	600 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s
Termico dovuto a VCE	Distanza dal LIE	Distanza dal LIE	La distanza dal LIE è aumentata del 10%.
Meccanica dovuta alla sovrappressione	20 kPa	14 kPa	5 kPa

**Tabella 9: Livelli di effetto critici basati su esposizioni pericolose**

Per la cronaca:

- la soglia SELS corrisponde al 5% dei possibili effetti letali per una popolazione esposta a questa soglia,
- la soglia SEL corrisponde all'1 % dei possibili effetti letali o del verificarsi di effetti letali per una popolazione esposta a questa soglia,
- la soglia SEI corrisponde di solito agli effetti con postumi per una popolazione esposta a tale soglia

Infine, si distinguono diversi tipi di effetti termici (esposizione inferiore o superiore a 2 min, esposizione alle fiamme di un VCE) perché le variabili rilevanti (flusso di calore, posizioni della fiamma, ecc.) da considerare nella previsione degli effetti variano da caso a caso.

## 5.2 GRAVITÀ DEI FENOMENI PERICOLOSI

### 5.2.1 Ipotesi e approccio di calcolo

Questo sottocapitolo presenta brevemente i modelli standard utilizzati nelle fasi successive di calcolo delle distanze d'effetto. Questi modelli sono implementati principalmente con il software PHAST (versione 6.7). Ricordiamo che questo software è di gran lunga il più utilizzato in Francia per valutare le distanze di effetto menzionate negli studi sui pericoli. Il suo uso è molto comune<sup>11</sup> anche nei paesi dell'UE.

Sono inoltre forniti valori guida per determinati input, ipotesi, ecc.

#### a) Fonte di dati (flusso alla falla)

I flussi alla falla vengono calcolate utilizzando i modelli programmati nel software PHAST. Come promemoria, nel caso del GNL, il flusso prima della falla è spesso bifase sia con il GNL (fase liquida) che con il GNL (fase gassosa).

Per le perdite maggiori, note come 100 %, sono consentite 2 sezioni con scarico su entrambi i lati del luogo dell'incidente. I 2 "contributi" vengono presi in considerazione combinandoli, il che equivale a considerare la somma dei flussi di perdita, entrambi orientati nella stessa direzione.

In caso di perdite di scarico importanti, è comune osservare un "deflusso" delle pompe con portate limitate dalle loro modalità di funzionamento. In assenza di un diagramma di funzionamento, si possono utilizzare coefficienti di moltiplicazione forfettaria sulla seguente portata nominale:

- caso di GNL pressurizzato: coefficiente = 2,
- caso di GNL non pressurizzato: coefficiente = 1,2.

---

<sup>11</sup> Questo software è distribuito sotto diverse varianti come quelle contrassegnate da PHAST e anche PHAST-RISK per esempio. In pratica, i modelli programmati sono molto simili.

b) Vaporizzazione con spargimento a terra

Nel caso di GNL in pressione (pressione di vapore saturo  $> 3$  bar rel.), i risultati ottenuti con i modelli mostrano una dispersione principalmente per mezzo di aerosol e una diffusione relativamente bassa sul terreno.

Nel caso del GNL non pressurizzato (pressione del vapore saturo  $< 0,2$  bar rel.), i risultati ottenuti con i modelli mostrano questa volta una notevole diffusione sul terreno. I calcoli corrispondono quindi ad una situazione con estensione (in assenza di ritenzione) di una chiazza di liquido bollente. Lo spessore del foglio è stato permesso al massimo:

- 1 cm per un pavimento in cemento,
- 3 cm per un pavimento per tutte le stagioni
- e più di 10 cm per i terreni sabbiosi.

In queste condizioni, il tasso di evaporazione variabile viene calcolato in funzione dell'apporto di calore dal suolo e dall'atmosfera. Poiché il terreno ha una bassa conducibilità, il tasso di evaporazione è generalmente moderato.

c) Vaporizzazione con spargimento sull'acqua

Il comportamento è simile al caso suolo precedente. Nel caso del GNL non pressurizzato, la diffusione sull'acqua è importante e vi è poi un trattamento specifico di vaporizzazione sull'acqua.

Quando si usano i modelli software PHAST, si calcola una velocità di evaporazione del liquido bollente con un coefficiente di scambio costante con l'acqua, stimato a  $500 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Con acqua a  $10^\circ\text{C}$ , ad esempio, si calcola un flusso della superficie di evaporazione di  $0,17 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ . Poiché lo spessore della pozza è piccolo (dell'ordine di mm), ne consegue che la velocità di evaporazione raggiunge rapidamente la velocità di flusso alla falla per il GNL non pressurizzato.

d) Dispersione atmosferica

Un software come PHAST permette di simulare la dispersione del metano nell'atmosfera utilizzando un modello cosiddetto "integrale". Ciò consiste nel risolvere le equazioni della meccanica dei fluidi in una forma semplificata che qui non verrà ripetuta.

Per quanto riguarda il comportamento generale nell'aria ambiente, si devono osservare i seguenti punti.

Nel caso del GNL sotto pressione, la fase liquida - essenzialmente aerosol - si vaporizza per trascinarsi dell'aria del getto. Come promemoria, si osserva un getto dovuto alla quantità di movimento del flusso accidentale (la pressione viene "convertita" in velocità). Poi, il pennacchio generato a seguito del getto ha il comportamento di un cosiddetto gas "pesante" dovuto al massiccio raffreddamento dell'aria intrappolata, concomitante all'evaporazione delle gocce di GNL.

Nel caso del GNL non pressurizzato, l'evaporazione della chiazza crea un pennacchio che si disperde anche a livello del suolo. L'effetto di densità in movimento verso l'alto (favorevole dal punto di vista della sicurezza), che si prevede sia dovuto alla minore densità del metano rispetto all'aria, è in pratica compensato dal raffreddamento dell'aria intrappolata dai vapori a bassissima temperatura emessi dal GNL.

e) VCE (esplosione nube di vapore)

Come spiegato sopra (nel capitolo 4), un VCE porta a:

- termico, associata all'alta temperatura dei gas caldi,
- o meccanico, associato alle onde di pressione generate dall'espansione di questi stessi gas caldi

Si presume che le distanze degli effetti termici corrispondano più o meno al contorno della nube o del pennacchio esplosivo e siano quindi quantificabili dalle dimensioni del diritto di passaggio della nube (vedi Tabella 9).

Per quanto riguarda gli effetti meccanici dovuti alle onde di pressione, occorre analizzare lo spazio all'interno della nube esplosiva. Le domande da affrontare sono quindi:

- è uno spazio senza ingombri, all'aria aperta?
- o aree ostruite da ostacoli solidi (attrezzature, tubazioni, materiali vari, ecc.)?
- e se si tratta di aree congestionate, qual è il grado di congestione, il volume coinvolto, ecc.

Queste distinzioni devono essere fatte perché le osservazioni, i test o i calcoli successivi all'incidente (cf. Mouilleau et al., 1999) mostrano che l'esplosione di una nube o di un pennacchio esplosivo può in pratica corrispondere non ad un singolo VCE ma a diversi. Senza entrare nel dettaglio, le velocità delle fiamme possono essere sufficientemente diverse da un'area all'altra all'interno del volume esplosivo, come se ci fossero più esplosioni separate in successione.

Questo è all'origine del cosiddetto metodo MultiEnergie ("Multi" riferito alle possibili esplosioni multiple nella stessa nube) che si propone in particolare di:

- contare i VCE, all'interno della stessa nube,
- e di assegnare un'energia (associata al volume in questione) e un indice di gravità a ciascun VCE.

Sempre senza fornire dettagli, questo metodo propone indici di gravità da 1 (VCE meno favorevole alla sovrappressione) a 10 (VCE che porta ai picchi di sovrappressione più forti).

Per le stazioni "Porto", poiché gli impianti sono generalmente poco congestionati, per un VCE di tipo "campo libero" si possono utilizzare i seguenti indici di gravità:

- impianti onshore: "4" (sovrappressione = 10 kPa),
- corpo idrico: "3" (sovrappressione = 5 kPa).

Nelle aree vicine al sito con una congestione marcata (parcheggio di camion, area di stoccaggio, ecc.), l'indice può essere portato a "5" (sovrappressione = 20 kPa).

Come indicazione delle distanze d'effetto per i volumi tipici e i livelli di gravità dei VCE sono forniti nella seguente tabella.

Tipica area congestionata	Volume (m <sup>3</sup> )	Indice (-)	Energia (DOJ)	Distanze SELS (m)	Distanze SEL (m)	Distanze SEI (m)
Stoccaggio con serbatoi orizzontali (a pressione) - può essere adatto anche per stazioni di carico di autocarri, ad esempio.	5000	4	15650	s.n.a. <sup>12</sup>	s.n.a.	73
Pompa e altre apparecchiature di processo.	5000	5	15650	28	46	130
	10000	5	31300	35	58	164
Rack di alcune (2-3) tubazioni	1250	3	3900	s.n.a.	s.n.a.	19
	5000	3	15650	s.n.a.	s.n.a.	30

**Tabella 10: Distanze per effetto della sovrappressione da ogni centro del volume esplosivo**

In pratica, per le distanze ad effetto di sovrappressione, è quindi necessario:

- identificare le aree e i loro centri,
- valutare i loro volumi e le energie liberate dalla combustione (vedi capitolo 4.1.4 per i dati),
- e infine scegliere i gradi di severità.

Questo deve essere fatto caso per caso e in base all'ubicazione delle strutture, non conosciuta nel contesto di questo studio.

In pratica, però, quest'ultima osservazione non è in pratica molto "limitante" nel caso dei vapori di GNL la cui reattività è "piuttosto bassa" (si veda di nuovo il capitolo 4.1.4), per cui anche gli indici sono limitati. L'esperienza ha dimostrato che le distanze di effetto più "penalizzanti" sono quelle corrispondenti agli effetti termici, dati direttamente dai calcoli di dispersione.

Nel resto di questo studio, le gravità dei VCE saranno caratterizzate dalle distanze degli effetti termici associati a questi fenomeni.

<sup>12</sup> Soglia non raggiunta



f) BLEVE

In modo simile al caso precedente, le BLEVE hanno effetti termici e meccanici per mezzo di onde di sovrappressione (e anche di proiettili). Nel caso delle BLEVE, gli effetti termici sono ancora più spesso preponderanti.

In secondo luogo, non esiste a priori un modello dedicato al caso del GNL e le distanze degli effetti termici sono valutate utilizzando le formule normative per il butano (circolare del 10 maggio 2010 in MEEDDM, 2010). In questo caso si mantiene il butano (tenendo presente che la circolare parla di GPL e si riferisce anche al propano) perché la pressione di taratura delle valvole degli impianti contenenti butano è vicina a quella del GNL.

### 5.2.2 Distanze d'effetto

Le distanze d'effetto dei fenomeni pericolosi sono registrate nelle seguenti 3 tabelle dedicate rispettivamente ai getti BLEVE, VCE e getto di fuoco.

Numero del caso	Dimensione o volume	Contesto	Massa (t)	Distanze SELS (m)	Distanze SEL (m)	Distanza SEI (m)
1	50 m <sup>3</sup>	Caso tipico di un'autocisterna	20	86	130	206
2	110 m <sup>3</sup>	Tipico caso di un serbatoio ferroviario o di un serbatoio intermedio	44	125	184	294
3	200 m <sup>3</sup>	Tipico caso di stoccaggio in pressione in una stazione Fabbrica o Porto	81	166	240	386
4	1000 m <sup>3</sup>	Tipico caso di un deposito pressurizzato ad alta capacità in una stazione Porto	403	354	484	792

**Tabella 11: Distanze degli effetti per BLEVE**

Tipo di condizioni	Caso n.	Dimensioni della perdita (mm)	Contesto	Tasso di dispersione (kg/s)	Tempo di perdita	Distanze al LIE <sup>13</sup> (= distanze SELS = distanza SEL)	Nota
Pressurizzato	5	65 mm	Tipico caso di una perdita "al 100% di sezione%" in un tubo flessibile utilizzato per lo scarico dei camion cisterna	12	30 s	100	Perdite da apparecchiature di trasferimento (tubi flessibili o bracci)
	6			20	"lungo"	123	
	7	80 mm		27	30 s	148	
	8	200 mm		181	30 s	440	
Pressurizzato	9	25 mm	Tipico caso di una perdita chiamata "a sezione del 10%" da una condotta di GNL da 3".	8	30 s	60	Perdite da tubazioni

<sup>13</sup> Le distanze SEI sono il 110% delle distanze SELS e SEL, ma non sono qui valutate esplicitamente per non sovraccaricare la tabella.

Tipo di condizioni	Caso n.	Dimensioni della perdita (mm)	Contesto	Tasso di dispersione (kg/s)	Tempo di perdita	Distanze al LIE <sup>13</sup> (= distanze SELS = distanza SEL)	Nota
	10	Da 66 a 80 mm	Tipico caso di perdite: - nota come "a sezione del 10%" da una condotta da 8" di GNL, - o "al 100% di sezione%" da una condotta con un diametro vicino a 3".	da 27 a 33	"lungo"	da 180 a 210	
	11	150 mm	Tipico caso di perdite di "al 100% di sezione%" da una condotta con un diametro vicino a 6".	118	30 s	290	
	12			118	"lungo"	360	
Pressurizzato	13	50 mm	Tipico caso di troppopieno da una singola valvola del serbatoio, in stazioni Fabbrica o Porto.	6	"lungo"	52	
	14	7*67 mm	Tipico caso di troppopieno di diverse valvole in una stazione Porto.	60	"lungo"	220	
Non pressurizzato	19	200 mm	Tipico caso di perdita di una "al 100% di sezione%" da un braccio utilizzato per scaricare una nave in una stazione Grand Port.	86	30 s	380	Perdite da bracci di trasferimento, carico o scarico (bracci)

Tipo di condizioni	Caso n.	Dimensioni della perdita (mm)	Contesto	Tasso di dispersione (kg/s)	Tempo di perdita	Distanze al LIE <sup>13</sup> (= distanze SELS = distanza SEL)	Nota
	20		Tipico caso di perdita di una "al 100% di sezione%" da un braccio utilizzato per caricare una nave tipo Traghetto in una stazione Grand Port.	60	30 s	310	
	21	300 mm	Tipico caso di perdita di una "al 100% di sezione%" da un braccio più grande utilizzato per scaricare una nave in una stazione Grand Port.	434	60 s	860	
	22		Tipico caso di perdita di una "al 100% di sezione%" da un braccio utilizzato per caricare una Nave Grande in una stazione Grand Port.	180	60 s	590	
Non pressurizzato	23	66 mm	Tipico caso di perdita di una "sezione del 10%" da una condotta di GNL da 8".	32	"lungo"	175	Perdite dalle tubazioni, con o senza spandimento contenuto.
	24		Come sopra, ma con la diffusione contenuta in "pipeway".		30 s	140	

Tipo di condizioni	Caso n.	Dimensioni della perdita (mm)	Contesto	Tasso di dispersione (kg/s)	Tempo di perdita	Distanze al LIE <sup>13</sup> (= distanze SELS = distanza SEL)	Nota
	25	100 mm	Come sopra, tranne per il fatto che questo è una condotta da 12".	76	"lungo"	270	
	26		Come sopra, ma con la diffusione contenuta in "pipeway".		30 s	143	
	27	132mm	Come sopra, tranne per il fatto che questo è una condotta da 16".	133	"lungo"	410	
	28		Come sopra, ma con la diffusione contenuta in "pipeway".		30 s	151	

**Tabella 12: Distanze ad effetto termico associate ai VCE**

Caso n.	Dimensioni (mm) o circostanze della perdita	Tasso di dispersione (kg/s)	Lunghezza della fiamma (m)	Flusso radiativo medio (kW/m <sup>2</sup> )	Distanza SELS (m)	Distanza SEL (m)	Distanza SEI (m)
15	25	5	32	82	49	53	60
16	Portata della pompa	12	47	95	73	80	90
17	66	32	79	83	125	138	155
18	132	133	131	134	215	240	270

**Tabella 13: Distanze d'effetto associate ai getti di fuoco**

Le distanze di effetto nella tabella precedente non sono direttamente associate ad un'apparecchiatura o ad un'operazione come nelle precedenti tabelle 11 e 12. D'altra parte, le dimensioni delle perdite o le portate sono buoni indicatori per valutare (per interpolazione, se necessario) le distanze di effetto per un caso pratico.

Nella tabella 12, dedicata alle distanze di effetto associate ai VCE, c'è una colonna relativa alla durata della perdita, che prende come valori:

- 30 o 60 secondi,
- o "lungo".

Le 2 durate esplicite (30 e 60 s) corrispondono ai tempi di isolamento delle perdite per mezzo delle misure di gestione del rischio (o MMR) descritte nel capitolo 6.

L'aggettivo "lungo" è usato per tutti i casi di perdite non controllate dalla MMR. Quindi, non vengono forniti ulteriori dettagli ("lunghe" che coprono situazioni che possono essere diverse) perché i calcoli mostrano che:

- non appena si osserva una perdita, si forma una nube esplosiva che cresce di dimensioni nel tempo,
- e dopo pochi minuti di solito la dimensione è massima e non cresce più.

In altre parole, per quanto riguarda la distanza del LIE, che è la distanza desiderata degli effetti, la durata della scarica non ha più alcuna influenza e quindi non viene presa in considerazione nel dettaglio.

Tuttavia, la riduzione della durata della perdita rimane molto importante perché limita necessariamente il tempo critico durante il quale una nube rimane esplosiva, prima di essere diluita abbastanza da diventare non esplosiva.



## 5.3 FREQUENZA DEGLI EVENTI PERICOLOSI

### 5.3.1 Approccio, ipotesi e riferimenti

#### a) Il caso della BLEVE

Come indicato nel sottocapitolo 4.4, non vi è alcun feedback utilizzabile. Le frequenze BLEVE saranno quindi valutate per analogia con quanto comunemente accettato per il GPL in particolare.

A questo proposito, si può fare riferimento a (HSE, 2012) o (Heirman, 2009) per estrarre direttamente una classe di frequenza. Dalla consultazione di queste opere, risulta che le frequenze tra le classi D ed E variano<sup>14</sup>. In sostanza, la classe E è spesso giustificata dalle strutture:

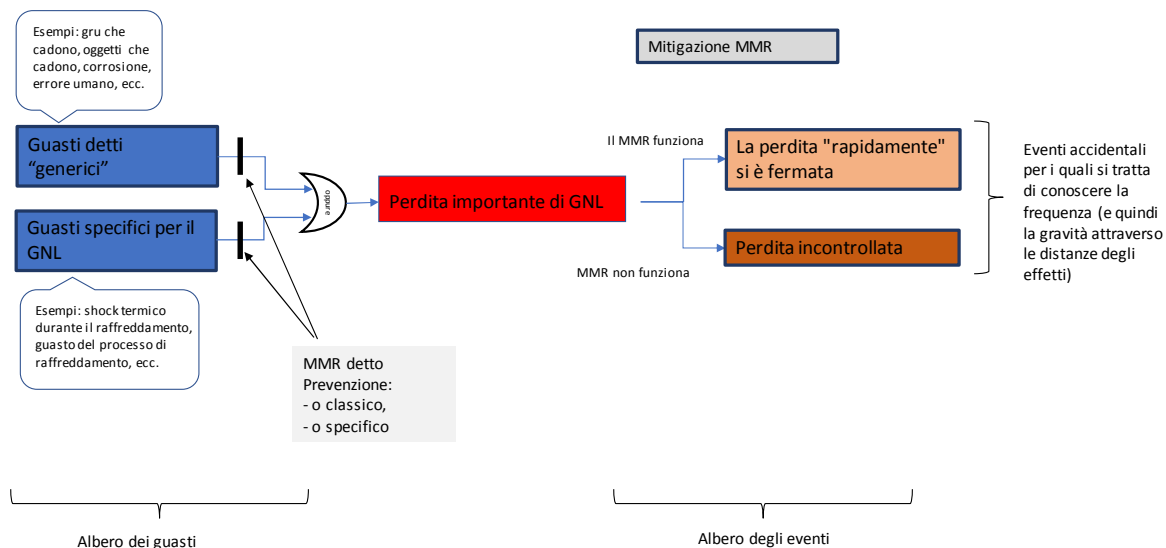
- per le quali è stata effettuata un'analisi del rischio dedicata per dimostrare le frequenze molto basse di guasti o di eventi iniziali in grado di portare ad un BLEVE,
- spesso dotate di mezzi di raffreddamento in caso di incendio (tipico evento di innesco per portare ad un BLEVE)

#### b) Approccio generale ai casi di perdite

In assenza di banche dati sugli incidenti di GNL (a parte alcuni elementi sparsi discussi di seguito), si può adottare l'approccio presentato nella figura seguente.

---

<sup>14</sup> Vedi Figura 18 per le definizioni di queste classi di frequenza.



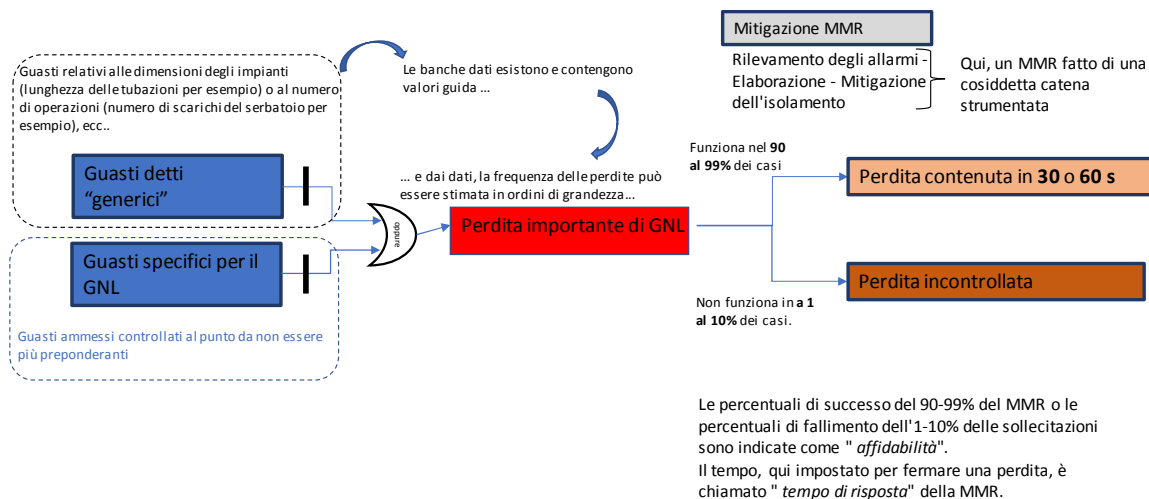
**Figura 19 : Avvicinamento generale del nodo a farfalla per determinare le frequenze di dispersione**

Tuttavia, lo sviluppo di questo approccio richiede:

- di espandere l'albero dei guasti a sinistra dell'evento di perdita,
- e anche per sviluppare il cosiddetto albero degli eventi alla sua destra.

Questi sviluppi non sono realizzabili nel contesto di uno studio generico, applicabile in vari luoghi, e senza informazioni esplicite sui mezzi effettivamente attuati.

In queste condizioni, vengono effettuate le ipotesi riportate nella figura seguente.



**Figura 20 : Approccio applicato nel contesto dello studio**

Per essere valido, questo approccio deve essere supportato dal rispetto delle pratiche di cui al capitolo 6 o di pratiche equivalenti.

I dati riportati sul lato sinistro della figura precedente (lunghezze delle tubazioni, numero di trasferimenti, ecc.) sono specificati qui di seguito.

*c) Banche dati di riferimento*

I valori guida di frequenza proposti sono tratti da due documenti:

- un documento olandese "Manuale di Riferimento Bevi Valutazione del rischio" (RIVM, 2009),
- e un documento HSE del Regno Unito "Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessment (HSE, 2012)".

(RIVM, 2009) è un classico riferimento per gli impianti industriali in Francia.

(HSE, 2012) è, tuttavia, meglio documentata sull'apparecchiatura (braccio, tubo flessibile, pompa, ecc.).

L'uso di questi 2 riferimenti è a priori "penalizzante" per i cosiddetti guasti generici nel caso del GNL a causa dei materiali utilizzati (acciaio inossidabile altamente duttile) e delle differenze tecnologiche (serbatoio a doppia parete, ecc.) associate a questo prodotto.

Inoltre, viene utilizzato il feedback di SHELL da parte dei suoi clienti consegnati in GNL con autocisterna (vedi il prossimo §).

La seguente tabella mostra il database da utilizzare per ogni tipo di apparecchiatura principale.

<b>Attrezzatura</b>	<b>(RIVM, 2009)</b>	<b>(HSE, 2012)</b>	<b>Feedback SHELL</b>
Serbatoi	✘		
Tubazioni	✘		
Pompe	✘	✘	
Compressori		✘	
Braccio su nave/chiatta		✘ (vedi sotto)	
Flessibile sul veicolo		✘	✘ (vedi sotto)

**Tabella 14: Basi di dati**

d) Osservazioni sui casi di tubi flessibili sui veicoli

I valori di frequenza nel documento HSE (2012) sono modulati in funzione della presenza di misure di sicurezza: cunei per veicoli, prove di tenuta, sistema di fuga. Tuttavia, si verifica una frequenza di rottura (sezione 100 %) di  $4,10^{-6}$  occorrenza/trasferimento.

Dal canto suo, il feedback dell'esperienza SHELL copre 4.961.400 trasferimenti di tubi flessibili senza incidenti. Questi trasferimenti devono essere effettuati con 3 misure preventive (cunei per ruote, servofreno a mano, prova di tenuta) senza "fuga".

Dall'analisi statistica, SHELL ottiene il seguente valore per la rottura di un tubo flessibile:

- Livello di fiducia = 50%  $\Rightarrow F_{ER}^{15} = 1.4.10^{-7}$ /trasferimento
- Livello di fiducia = 90%  $\Rightarrow F_{ER} = 4.7.10^{-7}$ /trasferimento

Per questo esempio, viene esplicitamente dimostrato che i valori possono differire di un fattore 10. La ricerca di un ordine di grandezza nella migliore delle ipotesi è quindi già un obiettivo, a volte non facile da raggiungere.

Il valore proposto da SHELL, basato sul feedback dell'esperienza, viene mantenuto.

e) Osservazioni sui casi di bracci per navi e chiatte

In (HSE, 2012), si presume che i bracci siano dotati di un sistema di accoppiamento di rilascio d'emergenza (ERC) con allarme di spostamento. Si presume quindi che questo sistema si guasti con le valvole di isolamento che rimangono aperte.

f) Sintesi delle frequenze di perdita

Di seguito sono riportate le frequenze di dispersione tipiche più utili in questo contesto.

---

<sup>15</sup>  $F_{ER}$  per Evento temuto in frequenza

### Perdite sulle tubazioni

Diametro DN	Frequenza di perdita 100 % sezione [33% DN-100% DN]	Frequenza di perdita di falla intermedia 10 % sezione [10% DN-33% DN] (*)
< 75 mm	$1 \cdot 10^{-6}$ /anno.m	$9.6 \cdot 10^{-6}$ /anno.m
da 75 a 150	$3 \cdot 10^{-7}$ /anno.m	$1.3 \cdot 10^{-6}$ /anno.m
> 150 mm	$1 \cdot 10^{-7}$ /anno.m	$7.9 \cdot 10^{-7}$ /anno.m

**Tabella 15: Frequenze di perdita generiche dei tubi**

(\*): valori interpolati da TechnipFMC a partire da valori esplicitamente pubblicati.

### Perdite su braccia e tubi flessibili

	Frequenza di perdita 100 % sezione (/operazione)	Misure prese in considerazione
<b>Flessibile sul veicolo</b>	$4 \cdot 10^{-7}$ /operazione	2 misure preventive (cuneo,...) + prova di tenuta
<b>Braccio sulla nave</b>	$7 \cdot 10^{-6}$ /operazione	ERC e allarme spostamento

**Tabella 16: Frequenze di perdita generiche su bracci e tubi flessibili**

La tabella sopra riportata mostra che le frequenze di perdita per ogni operazione sono più alte sui bracci che sui tubi flessibili. Questa osservazione contro-intuitiva deriva dal feedback della Shell sui tubi flessibili (vedi nota in d)), che non è disponibile sui bracci.

#### g) Influenza dei cosiddetti MMR di mitigazione

In relazione al cosiddetto albero degli eventi (parti rettilinee delle figure precedenti) si possono citare diversi MMR. Ma di solito è una catena di elementi con:

- un mezzo di rilevamento (ad es. sensori per la presenza di gas naturale nell'aria),

- un mezzo per l'elaborazione degli allarmi (automa di sicurezza),
- e un mezzo per ridurre le conseguenze (in questo caso, l'isolamento delle perdite per mezzo di valvole di sicurezza).

Esempi di tali MMR sono riportati nel capitolo 6.

In secondo luogo, un MMR è caratterizzato da:

- affidabilità,
- e un tempo di risposta.

Questi 2 elementi sono esplicitamente mostrati nella figura 20 di cui sopra. Nel contesto dello studio, è stato ammesso:

- un'affidabilità tra  $10^{-1}$  o  $<10^{-1}$  (ma non  $<10^{-2}$ ) con alcune riserve spiegate di seguito,
- e tempi di risposta che vanno da 30 s nel caso degli impianti più piccoli a 60 s nel caso degli impianti più grandi; questo tempo di risposta dipende dal tempo cumulativo necessario per rilevare, elaborare e chiudere le valvole (è implicitamente accettato che la chiusura delle valvole su grandi tubazioni richiede più tempo).

#### *h) Probabilità di accensione*

Le probabilità di accensione di una fuga di gas sono indicate di seguito. Questi valori si riferiscono all'accensione ritardata di perdite di breve ( $< 30$  s) e lunga durata ( $> 30$  s) e possono essere derivati da (Flauw, 2015).

	<b>Zona ATEX (inclusa stazione di scarico)</b>	<b>Zona non ATEX con basso traffico (dentro e fuori dal sito)</b>	<b>Altre zone non ATEX</b>
<b>Perdite a breve termine (&lt;30 s)</b>	0,1	0,1	1
<b>Perdite a lungo termine (&gt;30 s)</b>	0,1	1	1

**Tabella 17: Probabilità di accensione**

Nel caso di perdite di GNL, dato che le fuoriuscite sono di almeno 30 s e dato che l'evaporazione del liquido sul terreno (o sull'acqua) può continuare anche dopo che la perdita è stata arrestata, sembra che si debba mantenere una probabilità di 1, nel contesto.

### 5.3.2 Frequenza degli eventi pericolosi

Le frequenze di ogni fenomeno pericoloso finora considerato sono riportate nella seguente tabella.



Condizioni	Fen./ Ev. per.	Caso n.	Contesto	Dati importanti	Considerazione di un MMR	Classe di frequenza selezionata
Pressurizzato	BLEVE	1	Autocisterna	Cisterna portatile	no	D/E
		2	Cisterna ferroviaria o cisterna di dimensioni intermedie	Cisterna portatile		D/E
		3	Stoccaggio pressurizzato in stazione Fabbrica o Porto	Capacità fissa		D/E
		4	Stoccaggio pressurizzato ad alta capacità nella stazione Porto	Capacità fissa		D/E
Pressurizzato	VCE	5	Perdita "al 100% di sezione%" in un tubo flessibile da 65 mm utilizzato per lo scarico dei camion cisterna	200 operazioni per turno con 5 turni di solito	Funzione nominale Perdita di 30 s	C/D
		6				Anomalia Fuoriuscita "lunga"

Condizioni	Fen./ Ev. per.	Caso n.	Contesto	Dati importanti	Considerazione di un MMR	Classe di frequenza selezionata
		7	Perdite "al 100% di sezione%" di un tubo flessibile da 80 mm durante lo scarico di petroliere in una stazione Porto	Come sopra	Funzione nominale Perdita di 30 s	C/D
		8	Perdita "al 100% di sezione%" di un braccio utilizzato per scaricare una nave in una stazione Porto	Da 10 a 50 operazioni all'anno	Funzione nominale Perdita di 30 s	C/D
Pressurizzato	VCE	9	Perdita nota come "a sezione del 10%" di una perdita da una condotta di GNL da 3".	Lunghezza di poche decine di metri al massimo	Funzione nominale Perdita di 30 s	D

Condizioni	Fen./ Ev. per.	Caso n.	Contesto	Dati importanti	Considerazione di un MMR	Classe di frequenza selezionata
		10	Perdite: - chiamato "a sezione del 10%" da un lungo gasdotto GNL da 8", - o "al 100% di sezione%" da un tubo corto con un diametro di circa 3" (tubazioni di processo)	- Da 100 a 500 m di lunghezza per un tubo da 8".  - Diverse decine di metri per un tubo da 3".	Anomalia  Fuoriuscita "lunga"	- C / D  - D / E
		11	Il "al 100% di sezione%" perde da una condotta con un diametro di circa 6" (condotte di processo).	Diverse decine di m	Funzione nominale	D/E
		12			Perdita di 30 s  Anomalia  Fuoriuscita "lunga"	E
Pressurizzato	VCE	13	Fuoriuscita da una valvola di un singolo serbatoio, in stazioni Fabbrica o Porto.	Questi casi dipendono dalle frequenze	Anomalia  Fuoriuscita "lunga"	B -C

Condizioni	Fen./ Ev. per.	Caso n.	Contesto	Dati importanti	Considerazione di un MMR	Classe di frequenza selezionata
		14	Fuoriuscita da diverse valvole nella stazione Porto.	trasferimento ma anche dai mezzi di sicurezza sui livelli del liquido nel serbatoio (considerato difettoso di fronte).		D, di solito
Pressurizzato	Getto di fuoco	15	Flusso di 5 kg/s da una falla di 25 mm	Tutti questi casi dipendono dalla sezione, dalla sede della perdita.	Funzione nominale	C, di solito
		16	Flusso di 12 kg/s da una falla dello scarico della pompa			C, di solito
		17	Flusso di 32 kg/s da una falla di 66 mm			D, di solito
		18	Flusso di 133 kg/s da una falla di 132 mm			E, di solito
Non pressurizzato	VCE	19	Perdita "al 100% di sezione%" di un braccio utilizzato per scaricare una nave in una stazione Grand Port.	Da 10 a 50 operazioni all'anno	Funzione nominale Perdita di 30 s	C / D

Condizioni	Fen./ Ev. per.	Caso n.	Contesto	Dati importanti	Considerazione di un MMR	Classe di frequenza selezionata
		20	Perdita "al 100% di sezione%" di un braccio utilizzato per caricare una nave tipo Traghetto in una stazione Grand Port.	Ordine di grandezza del centinaio di bunkeraggi per turno/anno (tenendo conto del traffico Traghetto/RoRo e LoLo)	Funzione nominale Perdita di 30 s	C
		21	Perdita "al 100% di sezione%" in un braccio più grande usato per scaricare una nave in una stazione Grand Port.	Da 10 a 50 operazioni all'anno	Funzione nominale Perdita di 60 s	C / D
		22	Perdita "al 100% di sezione%" di un braccio utilizzato per caricare un'imbarcazione di tipo Nave Grande in una stazione Grand Port.	Tipicamente 5 operazioni / anno	Funzione nominale Perdita di 60 s	D

Condizioni	Fen./ Ev. per.	Caso n.	Contesto	Dati importanti	Considerazione di un MMR	Classe di frequenza selezionata
Non pressurizzato	VCE	23	Tipico caso di perdita detta "a sezione del 10%" da una condotta di GNL da 8".	Da 100 a 500 m di lunghezza di tubazioni di trasferimento	Anomalia	D
		24	Come sopra, ma con la diffusione contenuta in "pipeway".		Fuoriuscita "lunga"	
		25	Come sopra, tranne per il fatto che questo è una condotta da 12".		Funzione nominale	C / D
		26	Come sopra, ma con la diffusione contenuta in "pipeway".		Perdita di 30 s	
		27	Come sopra, tranne per il fatto che questo è una condotta da 16".		Anomalia	D
		28	Come sopra, ma con la diffusione contenuta in "pipeway".		Fuoriuscita "lunga"	
					Funzione nominale	C / D
					Perdita di 60 s	

**Tabella 18: Frequenze dei fenomeni pericolosi**

Oltre alle informazioni già registrate nella precedente tabella, vanno considerate anche le seguenti osservazioni.

-----

Le frequenze BLEVE sono date come intervalli dalla classe D a quella marcata E (cioè,  $10^{-5}$  oc./anno in ordini di grandezza o meno). Le classi fornite in grassetto sono quelle più comunemente utilizzate negli studi con l'esperienza dell'autore. Le BLEVE di capacità mobile emergono come a priori più frequenti (anche se va ricordato che nel caso specifico del GNL, il feedback dell'esperienza reale rimane insignificante) perché sono considerate più esposte al rischio di incendio nelle vicinanze.

-----

Le altre frequenze sono espresse con intervalli perché le loro valutazioni dipendono da:

- di lunghezza del tubo,
- o una serie di operazioni di trasferimento,

che sono a loro volta dati stimati utilizzando intervalli approssimativi.

Spetta poi al lettore scegliere una classe di frequenza piuttosto che un'altra, confrontando i propri dati con le indicazioni fornite nella 5° colonna della tabella precedente.

Inoltre, è esplicitamente indicato nella colonna 6<sup>a</sup> della tabella precedente, se un MMR è preso in considerazione o meno. Come ricordato nel precedente sottocapitolo o visibile in figura 20, una perdita "lunga", per esempio, sarà osservata solo se:

si verifica l'evento "Perdita" accidentale (la frequenza dipende dai dati relativi alla lunghezza dei tubi, alle operazioni, ecc.)

E se la MMR di mitigazione non sarà operativa per fermare rapidamente la perdita.

Il logico "AND" citato sopra implica una riduzione della frequenza delle perdite "lunghe".

In queste condizioni, molte frequenze possono essere ridotte fornendo un MMR. Inoltre, anche le frequenze che sono state ridotte a causa di un MMR potrebbero essere ulteriormente ridotte con un secondo MMR (indipendentemente dal primo 1).

Le frequenze citate nella tabella precedente possono quindi essere modulate in base ai MMR effettivamente previsti.

-----

In alcuni casi, l'aggiunta di un MMR può ridurre una frequenza (di nuovo una perdita "lunga"). Tuttavia, il guadagno su una distanza di effetto può essere relativamente piccolo o almeno stimato come tale. Questo aiuta a spiegare in questa fase del documento perché alcuni scenari di incidente sono stati considerati con e senza MMR: per fornire una guida al lettore.

-----

Si ricorda che le probabilità di accensione sono state prese ovunque pari a 1. Si tratta di un'ipotesi ragionevole alla luce delle (maggiori) perdite considerate. Tuttavia, è per natura eccessiva e lo sarebbe ancora di più se si mantenessero basse le perdite di flusso.

-----

Infine, in alcune normative<sup>16</sup>, si può assegnare un diametro massimo alle perdite più grandi. Questo diametro può essere inferiore ai diametri di perdita più grandi considerati in questo documento. Pertanto, viene fornita una casistica, ma senza pregiudicare le scelte da effettuare per mantenere o meno determinati casi, anche in base alla normativa.

---

<sup>16</sup> In Francia, un gasdotto interrato, considerato come un gasdotto di trasmissione, sarà associato a rischi di perdite importanti a causa di una falla di 70 mm in assenza di movimenti prevedibili del terreno. Per le tubazioni aeree, incorporate in un ICPE, il diametro di perdita maggiore sarà generalmente molto più grande.



## 5.4 SINTESI DEL RISCHIO

Le distanze d'effetto e le frequenze dei fenomeni pericolosi sono raggruppate nella seguente tabella.

Condizione	Fenomeno pericoloso	Caso n.	Contesto	Distanze d'effetto SELS (m)	Distanze effetto SEL (m)	Distanze a effetto SEI (m)	Frequenze
Pressurizzato	BLEVE	1	Autocisterna	86	130	206	<b>D/E</b>
		2	Cisterna ferroviaria o cisterna di dimensioni intermedie	125	184	294	<b>D/E</b>
		3	Stoccaggio pressurizzato in stazione Fabbrica o Porto	166	240	386	<b>D/E</b>
		4	Stoccaggio pressurizzato ad alta capacità nella stazione Porto	354	484	792	<b>D/E</b>
Pressurizzato	VCE	5	Perdita "al 100% di sezione%" in un tubo flessibile da 65 mm utilizzato per lo scarico dei camion cisterna	100		110	<b>C/D</b>
		6		123		135	<b>D/E</b>
		7	Perdite "al 100% di sezione%" di un tubo flessibile da 80 mm durante lo scarico di petroliere in una stazione Porto	148		163	<b>C/D</b>

Condizione	Fenomeno pericoloso	Caso n.	Contesto	Distanze d'effetto SELS (m)	Distanze effetto SEL (m)	Distanze a effetto SEI (m)	Frequenze
		8	Perdita "al 100% di sezione%" di un braccio utilizzato per scaricare una nave in una stazione Porto	440		484	C/D
		9	Perdita nota come "a sezione del 10%" di una perdita da un gasdotto GNL da 3".	60		66	D
		10	Perdite: - chiamato "a sezione del 10%" da un lungo gasdotto GNL da 8", - o "al 100% di sezione%" da un tubo corto con un diametro di circa 3" (tubazioni di processo)	da 180 a 210		da 200 a 230	- C / D  - D / E
		11	Perdite "al 100% di sezione%" di un tubo con un diametro di circa 6" (condotte di processo).	290		319	D/E
		12		360		396	E

Condizione	Fenomeno pericoloso	Caso n.	Contesto	Distanze d'effetto SELS (m)	Distanze effetto SEL (m)	Distanze a effetto SEI (m)	Frequenze
		13	Fuoriuscita da una valvola di un singolo serbatoio, in stazioni Fabbrica o Porto.	52		57	B -C
		14	Fuoriuscita da diverse valvole nella stazione Porto.	220		242	D, di solito
Pressurizzato	Getto di fuoco	15	Flusso di 5 kg/s da una falla di 25 mm	49	53	60	C, di solito
		16	Flusso di 12 kg/s da una falla dello scarico della pompa	73	80	90	C, di solito
		17	Flusso di 32 kg/s da una falla di 66 mm	125	138	155	D, di solito
		18	Flusso di 133 kg/s da una falla di 132 mm	215	240	270	E, di solito
Non pressurizzato	VCE	19	Perdita "al 100% di sezione%" di un braccio utilizzato per scaricare una nave in una stazione Grand Port.	380		418	C / D
		20	Perdita "al 100% di sezione%" di un braccio utilizzato per caricare una nave tipo Traghetto in una stazione Grand Port.	310		340	C

Condizione	Fenomeno pericoloso	Caso n.	Contesto	Distanze d'effetto SELS (m)	Distanze effetto SEL (m)	Distanze a effetto SEI (m)	Frequenze
		21	Perdita "al 100% di sezione%" in un braccio più grande usato per scaricare una nave in una stazione Grand Port.	860		946	C / D
		22	Perdita "al 100% di sezione%" di un braccio utilizzato per caricare un'imbarcazione di tipo Nave Grande in una stazione Grand Port.	590		649	D
		23	Tipico caso di perdita detta "a sezione del 10%" da una condotta di GNL da 8".	175		192	D
		24	Come sopra, ma con la diffusione contenuta in "pipeway".	140		154	C / D
		25	Come sopra, tranne per il fatto che questo è una condotta da 12".	270		297	D
		26	Come sopra, ma con la diffusione contenuta in "pipeway".	143		157	C / D
		27	Come sopra, tranne per il fatto che questo è una condotta da 16".	410		451	D
		28	Come sopra, ma con la diffusione contenuta in "pipeway".	151		166	C / D

**Tabella 19: I rischi associati ad ogni ca**

## **6 RACCOMANDAZIONI DI BUONA PRATICA**

### **6.1 GENERALE**

Le raccomandazioni delle norme devono essere seguite. A titolo di esempio e non per fornire un elenco, si dovrebbe fare riferimento in particolare a:

- EN 1473: Impianti e attrezzature per il gas naturale liquefatto - Progettazione di impianti a terra,
- oppure EN 1474: Impianti e attrezzature per gas naturale liquefatto - Progettazione e collaudo di bracci di carico/scarico.

Quindi, alcune raccomandazioni e buone pratiche sono discusse nella sostanza nei seguenti sottocapitoli, considerando:

- regole generali di sicurezza,
- serbatoi e linee collegate,
- misure di controllo del rischio costituite da elementi di rilevamento, elaborazione di allarmi e altri sistemi di attraversamento di soglia e di azione d'emergenza (arresto d'emergenza, depressurizzazione d'emergenza, ecc.)
- la raccolta di bocchette di ventilazione,
- raccolta delle perdite,
- sistemi di protezione antincendio.
- e gli effetti domino.

### **6.2 NORME GENERALI DI SICUREZZA**

La classificazione delle zone pericolose deve essere effettuata con particolare riguardo alle aree di carico/scarico.

Inoltre, il traffico e il parcheggio dei veicoli all'interno del sito devono essere definiti in conformità con il piano di sicurezza del porto.

## **6.3 STOCCAGGIO E LINEE COLLEGATE**

### **6.3.1 Regole di progettazione**

Le regole per la progettazione dei vari impianti di stoccaggio (pressurizzati o meno) sono disponibili in norme come quelle citate al punto 6.1.

### **6.3.2 Linee di collegamento di stoccaggio a pressione**

#### *a) Riempimento*

Nella stazione "Fabbrica", i serbatoi hanno una doppia alimentazione: in fase liquida e in fase gassosa. Questo dispositivo permette all'autista dell'autocisterna di regolare la pressione finale del serbatoio dopo il riempimento.

Nella stazione "porto" il riempimento viene effettuato solo attraverso la fase di gas del serbatoio.

#### *b) Bilanciamento*

Se più serbatoi sono installati in parallelo, si raccomanda di collegare tra loro i serbatoi per le parti liquide e vaporose, in modo da bilanciare i loro livelli di liquido e di pressione. Il progetto deve consentire l'uso di tutti i serbatoi come un unico serbatoio.

Tuttavia, per motivi di sicurezza, deve essere possibile, se necessario, isolare ogni serbatoio singolarmente.

#### *c) Riempimento*

Per qualsiasi linea dalla quale si determina la velocità di trasferimento (piuttosto bassa nel contesto di una stazione "Fabbrica") e regolare, si può raccomandare l'installazione di un limitatore di flusso sul punto di intercettazione.

### 6.3.3 Linee di collegamento per magazzini non pressurizzati

#### a) Riempimento

Per motivi di sicurezza, tutti i collegamenti vengono effettuati dalla parte superiore del serbatoio o dei serbatoi. Non ci sono penetrazioni di linea o altri inserti sui lati o sul fondo del serbatoio. I serbatoi hanno una doppia alimentazione: in fase gassosa o liquida (con una specifica linea che scende dall'interno, dall'alto verso il basso del serbatoio) per evitare fenomeni di stratificazione del GNL.

#### b) Bilanciamento

Se più serbatoi sono installati in parallelo, si raccomanda di collegarli tra loro per la parte di vapore, in modo da bilanciare il loro livello di pressione. D'altra parte, per motivi di sicurezza, ogni serbatoio deve poter essere isolato individualmente, se necessario.

#### c) Riempimento

È necessario installare pompe sommerse per estrarre il GNL dall'interno del serbatoio. Ogni pompa è installata in un tubo aperto sul fondo del serbatoio e collegata in alto alla linea di trasferimento del GNL.

Il serbatoio può essere dotato di più pompe, se necessario, con altrettanti tubi all'interno.

## 6.4 CATENA DI SICUREZZA / MMR CHIAMATO STRUMENTATO

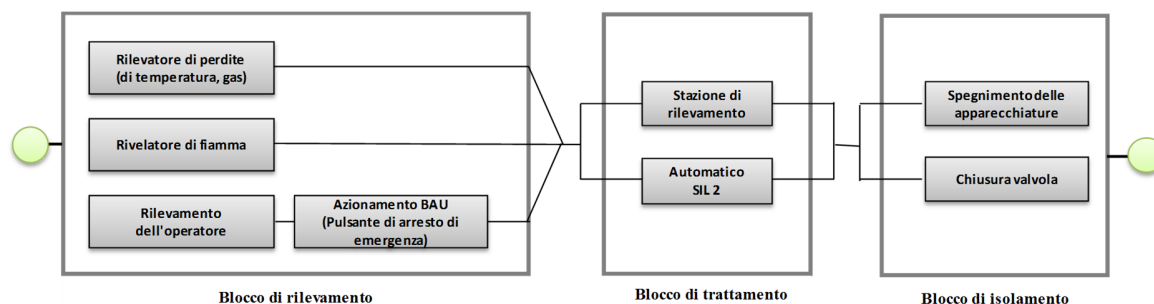
### 6.4.1 Presentazione generale

Le MMR strumentate corrispondono per la maggior parte del tempo ad una catena di 3 "blocchi":

- il blocco "rilevamento", compresa la rilevazione da parte di un operatore,
- il blocco di trattamento,
- e il blocco "isolamento/azioni di sicurezza".

Una catena di questo tipo (strumentata), progettata per ridurre le conseguenze di una perdita (potenzialmente seguita da un incendio), è descritta nella figura seguente. Poiché l'obiettivo è quello di ridurre le conseguenze di un evento accidentale, questi MMR sono spesso indicati anche come MMR di mitigazione.





**Figura 21 : Architettura delle catene di sicurezza strumentate o MMR**

I seguenti sottocapitoli descrivono dettagliatamente ogni blocco in modo da includere una revisione delle raccomandazioni relative alle apparecchiature di sicurezza.

#### 6.4.2 Proprietà

Qualunque sia la tecnologia degli elementi di ogni blocco, tutte le catene possono essere caratterizzate da 3 proprietà o caratteristiche:

- la loro efficacia,
- la loro affidabilità,
- e il loro tempo di risposta

L'efficienza è probabilmente la proprietà più difficile da definire in modo inequivocabile. In genere permette di confrontare le conseguenze di un incidente con o senza catena o MMR. Ad esempio, può essere una questione di confronto:

- una distanza dal LIE se una perdita non è contenuta,
- con quella ottenuta per una perdita che era contenuta dagli elementi della MMR.

Tuttavia, questi confronti sono frammentari. Nell'esempio citato, non sembra che nel primo caso il rischio persista per un periodo di tempo "lungo", mentre nel secondo caso è efficace per un periodo di tempo molto più breve.

Inoltre, l'efficacia viene talvolta utilizzata per descrivere l'idoneità della MMR per gli incidenti. Ad esempio, un MMR può essere efficace per grandi perdite, ma non efficace per piccole perdite perché la dimensione della maglia del rivelatore può essere troppo grande per queste

ultime. L'efficienza si riduce poi a giustificare la progettazione/dimensionamento a volte della MMR.

L'affidabilità e il tempo di risposta sono proprietà già definite e illustrate nel sottocapitolo 5.3.

In questa sede si dirà solo che i livelli di affidabilità dipendono da:

- le caratteristiche tecnologiche degli elementi che compongono la MMR, che è una catena,
- e anche volte tra 2 test per verificare che funzioni correttamente.

In sostanza, più lungo è il tempo tra due prove, meno affidabile è il test. I livelli di affidabilità mantenuti a priori in questo documento nel sottocapitolo 5.3 sono associati ad intervalli di prova di un anno.

## **6.5 RILEVAZIONE**

### **6.5.1 Generale**

I sensori con funzioni di sicurezza (pressione, livello GNL, ecc.) devono essere indipendenti dalle sequenze di misura per il funzionamento.

Le misure e gli allarmi devono essere trasmessi al luogo di controllo.

Gli allarmi devono essere trasmessi anche all'operatore che può trovarsi sul posto o in un sito remoto (ufficio operativo, ...).

La manutenzione della strumentazione deve essere possibile durante il normale funzionamento del magazzino.

Tuttavia, quando è richiesta la disattivazione del deposito, la strumentazione deve avere una ridondanza sufficiente per un intervento in sicurezza.

Al di là delle generalità di cui sopra, prima di esaminare ogni tipo di rivelatore, si distinguono nuovamente i casi di stoccaggio pressurizzato o non pressurizzato.

## 6.5.2 Rilevamento/misurazione del livello

### a) Serbatoi pressurizzati

Come mezzo di protezione contro il rischio di troppopieno sono consigliati dispositivi di misurazione del livello del liquido indipendenti e altamente precisi, piuttosto che un sistema di troppopieno.

I serbatoi devono essere dotati di strumentazione per il monitoraggio del livello di GNL e per l'adozione delle necessarie misure preventive/elusione (troppopieno). In particolare, questa strumentazione deve essere in grado di:

- misurare continuamente il livello del liquido attraverso un sistema di affidabilità adeguato, questo sistema deve includere due allarmi, uno per i livelli alti e uno per i livelli molto alti,
- avere un rilevamento di livello molto elevato che deve essere basato su un'adeguata strumentazione affidabile, indipendente dal sistema di misura di livello precedente; esso deve, in caso di attivazione, implementare la funzione di chiusura delle valvole di riempimento sulle linee di alimentazione e di ricircolo.

Se richiesto dall'analisi dei rischi, il dimensionamento delle valvole alla velocità di riempimento del liquido può essere una misura per prevenire/evitare danni strutturali al serbatoio.

Se viene montato un tubo di troppo pieno, esso deve passare attraverso il contenitore del serbatoio ad un'altezza almeno pari al livello dell'allarme "livello molto alto". Un sensore di temperatura deve rilevare la presenza di liquido nel tubo e azionare l'apertura di una valvola e lo scarico in un luogo sicuro.

### b) Serbatoi non pressurizzati

Per i serbatoi non pressurizzati valgono le stesse raccomandazioni che per i serbatoi pressurizzati. Tuttavia, a causa della bassa resistenza alla pressione, l'analisi dei rischi può portare al raddoppio indipendente del sistema di misura del livello.

## 6.5.4 Rilevamento/misurazione della pressione

### a) Serbatoi pressurizzati

Il serbatoio deve essere dotato di strumentazione, installata in modo permanente nei luoghi appropriati, per monitorare la pressione come segue:

- misura continua della pressione,
- rilevamento di pressione "troppo alta", con strumentazione indipendente dai sistemi di misura continua della pressione; deve attivare l'arresto delle operazioni in corso (navi cisterna di scarico, metaniere, ecc.) e delle apparecchiature (pompe).

Per prevenire i rischi associati alle variazioni della pressione atmosferica, la strumentazione utilizzata per il rilevamento deve essere effettuata in unità di misura relative.

### b) Serbatoi non pressurizzati

Per i serbatoi a bassa pressione valgono le stesse raccomandazioni valide per i serbatoi in pressione.

Inoltre, è necessario installare:

- una misurazione della pressione differenziale tra lo spazio di isolamento e l'interno dell'involucro primario<sup>17</sup> quando non sono in comunicazione; a questo scopo, nello spazio di isolamento termico devono essere installati o sensori di pressione differenziale o sensori di pressione separati,
- una rilevazione di "pressione troppo bassa", mediante una strumentazione indipendente dai sistemi di misura della pressione continua; essa deve attivare l'arresto delle macchine (pompe, compressore del gas di evaporazione,...) e l'iniezione automatica del gas di servizio.

---

<sup>17</sup> I serbatoi non pressurizzati sono spesso costituiti da 2 recipienti di contenimento, un recipiente di contenimento primario contiene il prodotto in situazione nominale e l'altro recipiente di contenimento secondario potrebbe contenere il prodotto in caso di perdita di tenuta del recipiente primario. Lo spazio tra i 2 altoparlanti contiene l'isolamento.

### **6.5.6 Rilevamento/misurazione della temperatura**

Un serbatoio non pressurizzato deve avere una strumentazione installata in modo permanente in luoghi appropriati per misurare la temperatura:

- del liquido a diverse altezze, la distanza verticale tra due sensori di temperatura consecutivi non deve superare i 2 m.
- della fase gassosa.

Inoltre, i serbatoi di tipo a piena integrità devono avere misure di temperatura:

- della parete e del fondo del recinto primario
- della parete e del fondo del recinto secondario.

### **6.5.7 Rilevamento/misurazione LTD**

Per i serbatoi non pressurizzati, la temperatura e la densità del GNL devono essere misurabili su tutta l'altezza del liquido.

Questo cosiddetto strumento LTD ("Level, Temperature, Density") deve anche fornire il profilo di temperatura e densità del GNL nel serbatoio, in funzione del livello.

Questo strumento viene utilizzato per rilevare la formazione di strati di GNL ed evitare che si verifichi un ribaltamento che ne potrebbe derivare.

### **6.5.8 Rilevamento di perdite e incendi**

#### *a) Generale*

In questo paragrafo sono elencati i tipi di rilevatori adatti a possibili perdite di GNL su apparecchiature e condotte.

Nelle aree associate alle apparecchiature, i rivelatori mostrati sono rivelatori di campo (o ambientali).

Per le condotte si possono considerare anche i cosiddetti rilevatori in linea (pressostato, flussometro, ecc.). Non vengono presentati in questa sede perché la loro attuazione in una catena di sicurezza può essere inadeguata su condotte che funzionano a intermittenza.

b) Rilevatori su area/attrezzatura

Queste aree sono sistematicamente dotate di 3 tipi di rilevatori:

- sensori catalitici ("esplosimetro") o sensori di punto IR,
- sensori di bassa temperatura,
- rivelatori di fiamma UV/IR o IR3<sup>18</sup>.

In alcune aree particolari (area di contenimento, sorveglianza perimetrale, ...), possono essere utilizzati sensori a raggi infrarossi<sup>19</sup>.

c) Rilevatori per condotte

Alcune condotte sono di lunghezza tale da non poter essere coperti dai rilevatori di area associati all'apparecchiatura.

Queste condotte possono essere dotate di fibre ottiche per rilevare una perdita per la caduta di temperatura associata al flusso di GNL molto freddo.

Le condotte che trasportano GNL a bassa pressione hanno un 2° rilevamento tramite sensori catalitici o IR installati nei compartimenti delle condotte quando esistono.

In punti singolari come gli attraversamenti stradali, le condotte, a doppia guaina sotto vuoto, hanno un sensore di pressione per il rilevamento delle perdite.

d) Numero e posizioni dei rilevatori

Il numero e la posizione dei rilevatori dovrebbero essere oggetto di uno studio specifico che non sarà trattato in questo documento. Infatti, i rilevatori devono essere impiantati:

- nelle aree di carico/scarico,
- al magazzino,

---

<sup>18</sup> I rivelatori UV/IR combinano un sensore UltraViolet e un rivelatore a infrarossi. I distaccatori IR3 combinano 3 sensori IR.

<sup>19</sup> Questi raggi si integrano interpretando i segnali a infrarossi la concentrazione di gas infiammabile su una linea definita tra 2 punti.

- con le relative apparecchiature di processo (riscaldatori, scambiatori di calore, ecc.)

In caso di superamento delle soglie di allarme, devono essere definite anche le azioni di emergenza, come indicato al punto 6.7.

## **6.6 TRATTAMENTO**

### **6.6.1 Generale**

In pratica, il trattamento può essere:

- esclusione automatica degli allarmi provenienti da rilevatori di perdite o di fiamme e da alcuni rilevatori di anomalie,
- o dagli operatori che decidono le azioni da intraprendere (premere il pulsante per l'arresto di emergenza: BAU).

In questo contesto, il numero e le sedi dei BAU devono essere studiati con almeno BAU dedicati:

- alle stazioni di trasferimento,
- in magazzino,
- vicino all'unità che raggruppa le apparecchiature per garantire il raffreddamento del GNL,
- vicino agli uffici operativi.

Quindi, sia che un'operazione di elaborazione sia automatizzata o basata sulle decisioni degli operatori, deve essere definita in anticipo, tenendo conto delle azioni di emergenza più appropriate.

Questi possono poi essere utilizzati come impostazioni di sicurezza:

- parziale quando agiscono solo in parte o in funzione parziale degli impianti,
- di seguito sono riportate le linee guida generali quando agiscono sull'intero impianto, comprese le stazioni di carico/scarico.

*Nota: Le azioni di emergenza sono solitamente precedute da un allarme (nessuna azione), attivato con una soglia inferiore, per avvertire in anticipo che si sta verificando una deviazione dalle corrette condizioni di funzionamento.*

Nell'ambito di tale contesto, è necessario prevedere esplicitamente l'elaborazione in caso di:

- di livello da molto alto a molto molto alto,
- da molto alta a molto alta pressione,
- pressione da molto bassa a molto molto bassa,
- rilevamento perdite, rilevamento incendi,
- ecc.

Infine, per quanto riguarda le unità di trattamento, sono possibili due tipi:

- una stazione di rilevamento centrale,
- o un sistema di sicurezza automatizzato.

Se l'analisi dei rischi mostra la necessità di 2 MMR indipendenti di "rilevamento-trattamento-isolamento" per escludere uno scenario, è necessario avere queste 2 unità in parallelo.

Altrimenti, quando, ad esempio, si accettano rilasci prolungati, è sufficiente una sola unità.

Il PLC si trova al livello SIL<sup>20</sup> "2" in modo da non penalizzare l'affidabilità dell'intera catena.

## **6.6.2 Trattamento degli eventi accidentali delle navi cisterna per GNL**

Per una stazione "porta" occorre considerare un'interfaccia con la metaniera. Le misure di sicurezza associate ai trasferimenti devono essere progettate con:

- una stazione di scarico dotata di valvole di arresto di emergenza comandate a distanza; gli arresti di emergenza sono integrati in sequenze automatizzate,
- un cavo di comunicazione/UA (come raccomandato da SIGTTO<sup>21</sup> e richiesto da codici e norme) tra la metaniera e la stazione per attivare un arresto di emergenza se necessario.
- sistema "break-away" sui tubi flessibili o PERC<sup>22</sup> sui bracci (parte dei sistemi d'azione d'emergenza considerati nel seguente sottocapitolo).

---

<sup>20</sup> Dall'inglese "Safety Integrated Level". Esistono diversi livelli di SIL (1, 2, 3, ...) che indicano un'affidabilità crescente secondo la norma IEC 511.

<sup>21</sup> Dall'inglese: "Society of International Gas Tanker and Terminal Operators".

<sup>22</sup> Dall'inglese: "Powered Emergency Release Coupling".



Gli arresti di emergenza della nave metaniera e dei bracci hanno 2 livelli di azione a seconda dell'entità della deviazione/anomalia rilevata.

## **6.7 SISTEMI DI AZIONE D'EMERGENZA**

### **6.7.1 Generale**

Con i sistemi di azione d'emergenza, sono designati i dispositivi utilizzati per rendere sicure le installazioni chiudendo le valvole di intercettazione, fermando le pompe di trasferimento, i compressori, ...

In generale e in modo simile alla situazione della strumentazione, il sistema di azione d'emergenza va distinto dal sistema di monitoraggio del processo.

Il sistema di protezione antincendio non è incluso (non che non sia associato ad azioni di emergenza) perché ad esso è dedicato un sottocapitolo specifico.

### **6.7.2 Organi di isolamento**

Le valvole azionate da arresti di emergenza hanno caratteristiche fondamentali che devono essere verificate prima dell'installazione e del funzionamento:

- tipo di strumento: sfera,...
- motorizzazione: elettrica, pneumatica,...
- sicurezza positiva: la valvola si sposta nella posizione di isolamento in caso di perdita dell'attuatore,
- sicurezza antincendio (controllo): la valvola sottoposta ad un incendio di GNL mantiene la sua capacità di controllo per un periodo di tempo,
- sicurezza antincendio (tenuta): la valvola sottoposta ad un incendio di GNL mantiene la sua tenuta per un periodo di tempo.

Dove il sito lo permette, le valvole di isolamento sono ad azionamento pneumatico per facilitare la sicurezza positiva (la valvola ha una posizione "fail safe").

Il gas naturale (allora chiamato "gas di servizio") può essere usato per motorizzare le valvole pneumatiche.

Tra i dispositivi di isolamento, vale la pena ricordare anche i dispositivi:

- i cosiddetti giunti "break-away" o "raccordi flip-flap" montati sui tubi flessibili, costituiti da giunti progettati per rompersi in una sezione specifica in caso di eccessiva trazione e dotati di valvole che si chiudono contemporaneamente alla rottura e naturalmente posizionati su entrambi i lati della sezione in cui la rottura è prevista,
- o il cosiddetto "PERC", che è un dispositivo idraulico che permette lo scollegamento rapido di un braccio di carico al comando dell'operatore, in caso di interruzione di corrente o di superamento dell'involuppo operativo<sup>23</sup> di un braccio di carico; questo dispositivo è inoltre dotato di 2 valvole comandate a distanza poste su ciascun lato del punto di scollegamento per limitare la fuoriuscita.

### 6.7.3 Dispositivi di controllo in caso di alta pressione

Si ricorda che la pressione dei serbatoi deve essere mantenuta tra i valori di esercizio autorizzati.

A questo scopo, nel funzionamento nominale, la pressione viene controllata mediante valvole automatiche, che consentono lo scarico del gas (se la pressione è troppo alta) o l'alimentazione del gas (se la pressione è troppo bassa, vedi capitolo successivo).

Nel funzionamento nominale (al di fuori della situazione di protezione finale), la dispersione del carico di gas può essere inviata nell'atmosfera solo durante episodi molto occasionali. I volumi di gas emessi nell'atmosfera devono essere ridotti il più possibile. La dispersione del carico nell'atmosfera è accettabile solo per piccole installazioni (tipo di impianto). Le installazioni più grandi dovrebbero prendere in considerazione dispositivi come:

- scarico del carico mediante l'invio di gas alle reti o agli utenti,
- raffreddamento della fase gassosa (ad es. mediante uno scambiatore di azoto liquido),
- raffreddamento della fase liquida (ad es. ciclo di Brayton),
- ...

Poi, tornando alle situazioni di emergenza, quando la pressione diventa eccessiva nonostante il sistema di controllo della pressione, vengono impiantate valvole di sicurezza o eventualmente dischi di rottura per sfogare il gas nelle seguenti situazioni finali:

- evaporazione dovuta all'apporto di calore, anche in caso di incendio,
- movimento dovuto ad un possibile troppopieno,

---

<sup>23</sup> Area dello spazio all'interno del quale il braccio è destinato a muoversi come richiesto.

- un flash improvviso durante il riempimento,
- improvvisi cambiamenti di pressione atmosferica,
- l'improvviso ricircolo ad alto flusso di una pompa,
- un traboccamento nello spazio interparete per i serbatoi non pressurizzati,
- il fenomeno del roll over per i serbatoi non pressurizzati

Il serbatoio deve comprendere almeno due valvole di sovrappressione. Possono rilasciare direttamente nell'atmosfera, tranne quando l'emissione di gas di emergenza porta ad una situazione inaccettabile. In questo caso le valvole devono essere collegate al sistema a torcia o al sistema di sfiato (vedi sotto). Il dimensionamento dei due dispositivi di sicurezza deve essere definito partendo dal presupposto che uno di essi sia fuori servizio.

In alternativa, è anche possibile installare una sola valvola di sicurezza e un solo disco di rottura (al posto di entrambe le valvole). D'altra parte, il feedback mostra difficoltà nel funzionamento e nell'affidabilità di questi sistemi. Non sono, quindi, consigliati.

Per ridurre al minimo le aperture delle valvole, o la rottura del disco, si raccomanda di fornire al sistema di controllo una valvola di sfiato che riduca la pressione prima di aprire le valvole.

#### **6.7.4 Dispositivi di controllo a bassa pressione**

In caso di bassa pressione, il gas di alimentazione può essere generato vaporizzando il GNL tramite un'unità PBU (accumulo di pressione). Questa unità è costituita da un vaporizzatore d'aria ambiente. Questo vaporizzatore è installato su un punto di intercettazione della linea di riempimento con un ritorno di fase gassosa dal serbatoio. Poiché questo vaporizzatore ha parti in alluminio che sono vulnerabili in caso di incendio, la linea del vaporizzatore deve essere dotata di valvole di isolamento controllabili a distanza.

#### **6.8 SISTEMI DI RACCOLTA DELLO SFIATO**

Come già detto, per ragioni operative o di sicurezza, in alcuni casi è necessario sfogare il gas. Ad esempio, in caso di sovrappressione nei serbatoi, il gas in eccesso deve essere scaricato, o attraverso un sistema di controllo o attraverso valvole come ultima risorsa, per evitare la rottura meccanica del serbatoio.

Il gas deve essere scaricato attraverso uno sfiato, o eventualmente una torcia per impianti molto grandi (se i volumi di gas rilasciati diventano troppo grandi).

Se nel flusso di gas sono presenti goccioline di liquido, il sistema di raccolta deve essere in grado di separarle e non inviarle nell'atmosfera con il gas. È quindi necessario installare sistemi di separazione liquido-gas a monte dello sfiato, come ad esempio un serbatoio di separazione.

Le funzionalità della(e) ventola(e) e delle torce sono quindi:

- recuperare/canalizzare i volumi di gas in modo che non vengano rilasciati nell'atmosfera in modo casuale in tutto il sito della stazione,
- indirizzare/dirigere i volumi di gas recuperati per il rilascio in atmosfera in luoghi specifici, localizzati e controllati,
- evitare la dispersione di gocce di GNL liquido in tutto il sito,
- promuovere la dispersione dei gas a concentrazioni inferiori ai limiti di infiammabilità.

Gli obiettivi di sicurezza sono di vario tipo:

- prevenire gli effetti domino impedendo che una nube di gas infiammabile venga inviata in un'area, o a contatto con apparecchiature o macchinari che potrebbero causarne l'accensione,
- prevenire effetti irreversibili o letali sulle persone impedendo che una nube di gas infiammabile venga inviata in un'area, o a terra, dove il personale può essere presente,
- evitare che il gas venga rilasciato all'esterno dell'involucro della stazione in concentrazioni superiori ai limiti di infiammabilità.
- impedire la formazione di una "pioggia" di gocce di idrocarburi verso aree o individui.

Il sistema di raccolta degli sfiati può essere costituito da un unico sfogo comune (o torcia) o da più piccoli sfiati distribuiti in tutto il sito. In tutti i casi, il suo orientamento o i suoi orientamenti devono soddisfare le funzionalità e gli obiettivi di cui sopra.

Pertanto, nessun elemento che possa causare un blocco involontario può essere installato tra l'ultimo dispositivo di sicurezza (di solito una valvola) e l'uscita dello sfiato (o della torcia).

Lo sfiato (o torcia elettrica) deve essere progettato anche per evitare l'accumulo di acqua (piovana) nei collettori o la costruzione di nidi per uccelli o di ripari per animali, ecc... che potrebbero ostruire l'uscita dello sfiato.

## **6.9 SISTEMI DI RACCOLTA DELLE PERDITE**

### **6.9.1 Funzioni e obiettivi**

Il sistema di recupero delle perdite è progettato per trattenere il GNL localmente in corrispondenza della rottura o in una sede separata.

Gli obiettivi di sicurezza sono di 2 tipi:

- ridurre l'estensione di una chiazza e di conseguenza le dimensioni di una nube esplosiva,
- impedire la formazione di un incendio di pozza che generi un flusso intenso e prolungato su una capacità di GNL (serbatoi, cisterna,...).

Il dimensionamento di un tale sistema richiede il riferimento a scenari di perdita di fase liquida e la considerazione delle condizioni e del tempo di isolamento per questi scenari (in pratica, il tempo di risposta MMR di cui sopra). Questi elementi possono essere estratti dallo Studio sui pericoli, come stabilito in Francia. In particolare, le perdite devono essere esaminate attraverso tutte le prese che non possono essere isolate da 2 dispositivi di isolamento: spina e/o valvola telecomandabile. Le frequenze di queste perdite possono infatti essere abbastanza alte da creare, insieme alla gravità, un rischio inaccettabile.

Ulteriori raccomandazioni sono riportate nei seguenti sottocapitoli, con una distinzione tra:

- aree di recupero, che devono raccogliere e "canalizzare" il GNL,
- e le aree di stoccaggio che devono "immagazzinare" temporaneamente il GNL.

### 6.9.3 Aree di recupero

Concretamente, le aree devono essere progettate sulla base:

- di aree in calcestruzzo, circondate da canalizzazioni,
- o vasche in cemento armato in linea con l'attrezzatura principale con sufficienti pendenze dirette verso le canalizzazioni.

Queste canalizzazioni possono essere rivestite con pannelli leggeri per:

- limitare l'evaporazione,
- ed evitare una situazione di propagazione della fiamma in un ambiente confinato e allungato che favorisce forti accelerazioni della fiamma e come risultato di esplosioni con alte sovrapressioni.

### 6.9.4 Capacità di contenimento

Le capacità di contenimento o i serbatoi di contenimento sono più spesso da compensare in modo che, in caso di accensione, i flussi di calore associati all'incendio di pozza non colpiscano l'apparecchiatura circostante riscaldandola pericolosamente.

Successivamente, come già indicato sopra, le capacità devono essere dimensionate tenendo conto delle quantità di GNL che possono essere accidentalmente fuoriuscite per essere estratte da studi di rischio o di sicurezza. In pratica, le ritenzioni previste per le stazioni di trasferimento devono avere almeno la capacità di un serbatoio (ferroviario o stradale, a seconda dei casi).

Il tasso di evaporazione di ogni vasca può essere ridotto al minimo per mezzo di un dispositivo di tipo a schermo galleggiante. La necessità o meno di questo tipo di apparecchiature dipende dal contesto e dai risultati degli studi sui pericoli.

Inoltre, quando la ciotola è a tenuta stagna, il punto basso è dotato di una pompa per l'acqua piovana. Si dice che questa pompa sia "sacrificale" perché verrebbe danneggiata da una perdita di GNL.

Infine, nel caso di impianti di stoccaggio non pressurizzati, gli scarichi di GNL sono a priori i più probabili che si traducano in applicazioni terrestri. In questo contesto, la migliore tecnologia è quella di posizionare le condotte (in particolare le lunghe condotte che collegano le stazioni di trasferimento delle navi all'impianto di stoccaggio) in una "condotta", con pareti laterali in cemento, situata sopra il terreno o nel terreno. Il terreno è un terreno naturale. Queste tubazioni

---

sono compartimentalizzate con una capacità di ogni compartimento determinata dall'analisi del rischio. Il volume richiesto dipende dal tempo di risposta del sistema di rilevamento dell'isolamento nei compartimenti.

## **6.10 SISTEMA DI PROTEZIONE ANTINCENDIO**

La tabella seguente mostra:

- le funzioni che possono essere fornite da un cosiddetto sistema di protezione antincendio (anche se a volte anche di protezione dalle esplosioni),
- il tipo di apparecchiatura che svolge queste funzioni,
- e osservazioni/informazioni.

<b>Funzioni</b>	<b>Attrezzatura</b>	<b>Osservazioni</b>
<b>Diluizione/dispersione delle nubi</b>	Cortina d'acqua	La diluizione si ottiene per mezzo di aria trascinata da goccioline d'acqua.  Questo dispositivo è efficace solo se la nube è a bassa velocità. È inefficace sulle emissioni dei getti. Di conseguenza, è particolarmente utile nel caso di grandi fuoriuscite di GNL a bassa pressione che generano una nube senza una quantità significativa di movimento. Permette così di evitare una deriva della nube verso una zona con punto di accensione o in presenza di persone (corsie di marcia, ecc.).
<b>Prevenzione dell'accensione del serbatoio di GNL</b>	Schiuma di sbarramento	Questo dispositivo è riservato alle grandi installazioni che richiedono una vasca offset profonda e/o di grande superficie. Per una cuvetta di questo tipo, l'analisi del rischio può infatti dimostrare che un flusso di calore intenso e prolungato genera effetti domino aggravanti.
<b>Miscelazione incendio bacino GNL</b>	Schiuma di sbarramento	
<b>Estintori per autocisterne</b>	Estintore mobile	L'incidentologia dei depositi di idrocarburi indica che un incendio di un'autocisterna può verificarsi all'arrivo sul sito. Oltre agli estintori portatili presenti nella stazione di carico/scarico, almeno un estintore da 50 kg è presente nelle vicinanze in un luogo sicuro (al riparo dalle radiazioni dell'incendio da fermare).
<b>Raffreddamento delle capacità</b>	Spruzzatura di acqua	Nel caso di cisterne e cisterne di trasporto, l'irrigazione potrebbe non essere appropriata perché:  - se c'è un impatto diretto delle fiamme, le pareti esterne sono portate ad una temperatura elevata (a causa delle fiamme ma anche perché l'isolamento



<b>Funzioni</b>	<b>Attrezzatura</b>	<b>Osservazioni</b>
		<p>dietro le pareti impedisce/limita il trasferimento di calore); questo porta potenzialmente all'effetto Leidenfrost dell'acqua dell'irrigatore e di conseguenza ad un raffreddamento inefficiente,</p> <p>- e se non vi è alcun impatto e i flussi di calore trasmessi per irraggiamento sono moderati, allora l'isolamento (perlite) delle capacità di GNL consente un tempo di tenuta relativamente lungo.</p>
<b>Protezione dell'ufficio operativo, sala strumentazione</b>	Spruzzatura di acqua	Rispetto alle precedenti osservazioni online, tuttavia, è generalmente consigliabile raffreddare gli impianti, come ad esempio le capacità di processo, ad esempio un impianto pericoloso confinante o un ufficio operativo come rifugio per il personale operativo.
<b>Protezione degli impianti vicini</b>	Cortina d'acqua Spruzzatura di acqua	

**Tabella 20: Funzioni di protezione antincendio**

## 6.11 EFFETTI DOMINO

Dalle considerazioni del precedente sottocapitolo, sembra che una delle funzioni importanti del sistema antincendio sia quella di evitare una sequenza con sequenze di diversi fenomeni pericolosi, più spesso chiamati "effetti domino".

Lo scopo non è quello di dettagliare i criteri o le soglie che permettono di giudicare la plausibilità degli effetti domino o le modalità per tenerne conto. Come promemoria, va ricordato che il controllo degli effetti domino è in pratica spesso garantito da:

- scelte di ubicazione,
- o da barriere come ad esempio un muro di protezione

Tuttavia, si aggiunge come raccomandazione da considerare:

- in modo "convenzionale", impatti tra 2 impianti pericolosi (come ad esempio una stazione di trasferimento e un impianto di stoccaggio),
- ma anche tra un'installazione pericolosa ed elementi sensibili come, ad esempio, i principali mezzi di protezione antincendio (in particolare la stazione di pompaggio) o i luoghi che ospitano gli operatori ed i telecomandi dei mezzi di sicurezza.

## 7 CONCLUSIONI -SOMMARIO

Questo documento è dedicato allo studio dei rischi associati alle diverse installazioni e operazioni nei porti, che coinvolgono il GNL, come quello di Tolone.

Oltre alle introduzioni, alle conclusioni e ai riferimenti bibliografici, comprende:

- un capitolo 2 che descrive una situazione pratica, che è quella del porto di Tolone; attraverso la descrizione del porto, vengono evidenziati gli elementi tipici da prendere in considerazione per uno studio come i flussi di GNL previsti, l'ubicazione o l'ambiente degli impianti,
- si deduce quindi quali potrebbero essere i tipici impianti di stoccaggio e trasferimento di GNL, nonché i flussi tra i vari impianti. Anche le descrizioni riportate nel capitolo 3 sono a priori tipiche, dato che in un caso reale i flussi sono diversi, le dimensioni delle condotte sono diverse, ecc. dovrebbero essere da considerare. I valori utilizzati in questo documento devono tuttavia fornire un quadro di riferimento per molti casi pratici,
- poi, i pericoli associati al GNL e ai processi sono esaminati e identificati in termini di natura nel capitolo 4; emergono 28 fenomeni pericolosi che introducono altrettanti rischi tipici; tra questi vi sono principalmente i getti di fuoco e le varie esplosioni,
- tali rischi sono poi caratterizzati in termini di frequenze e conseguenze nel successivo capitolo 5; le frequenze sono espresse in classi di frequenze di accadimento per anno (considerando diverse potenze di 10: 1 oc. ogni 100 anni, ogni 1000 anni, ecc.); le conseguenze sono espresse in termini di distanze al di sotto delle quali si potrebbero avvertire effetti sulla salute umana; i rischi così caratterizzati potrebbero, nella vita reale, essere accettati o meno a seconda del sistema normativo di riferimento da applicare (tale sistema di riferimento varia da un paese dell'UE all'altro e non è definito nel presente documento),
- infine, il capitolo 6 è dedicato alle raccomandazioni che possono aiutare a ridurre i rischi.

## 8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Flauw Y. (2015)

Proposta di un metodo semiquantitativo per la valutazione delle probabilità di accensione  
ARD 71 - Operazione B  
Rapporto INERIS con riferimento DRA-13-133211-12545A.

Responsabile Salute e Sicurezza (2012),

Dati relativi al tasso di guasto e agli eventi da utilizzare nell'ambito delle valutazioni del rischio.

PCAG chp\_6K Versione 12 - 28/06/12

Heirman J.P. (2009)

FREQUENZE DI MANO 2009 per la redazione di un RAPPORTO DI SICUREZZA.

Numero di deposito: D/2009/3241/355

Governo fiammingo.

MEEDDM (2010)

Circolare del 10 maggio 2010 che riassume le regole metodologiche applicabili agli studi sui pericoli, alla valutazione dell'approccio di riduzione del rischio alla fonte e ai piani di prevenzione del rischio tecnologico (PPRT) negli impianti classificati ai sensi della legge del 30 luglio 2003.

Mouilleau Y., Lechaudel J.F. (1999)

Guida ai metodi per la valutazione degli effetti di un'esplosione di gas all'aria aperta

Relazione con riferimento a INERIS DRA - YMo/YMo-1999-20433.

RIVM (2009)

Manuale di riferimento Bevi Risk Assessments, versione 3.2, 01.07.2009

Istituto Nazionale della Salute Pubblica e dell'Ambiente (RIVM)