

Proponente



IONIO FUEL S.R.L.
Riviera di Chiaia n°276
80121 Napoli (NA)



DEPOSITO COSTIERO DI RIGASSIFICAZIONE PER IL GNL (Gas Naturale Liquefatto) nel Comune di Crotone area industriale CO.R.A.P. "Ionio Fuel - Crotone LNG"

Società di ingegneria incaricata per la progettazione



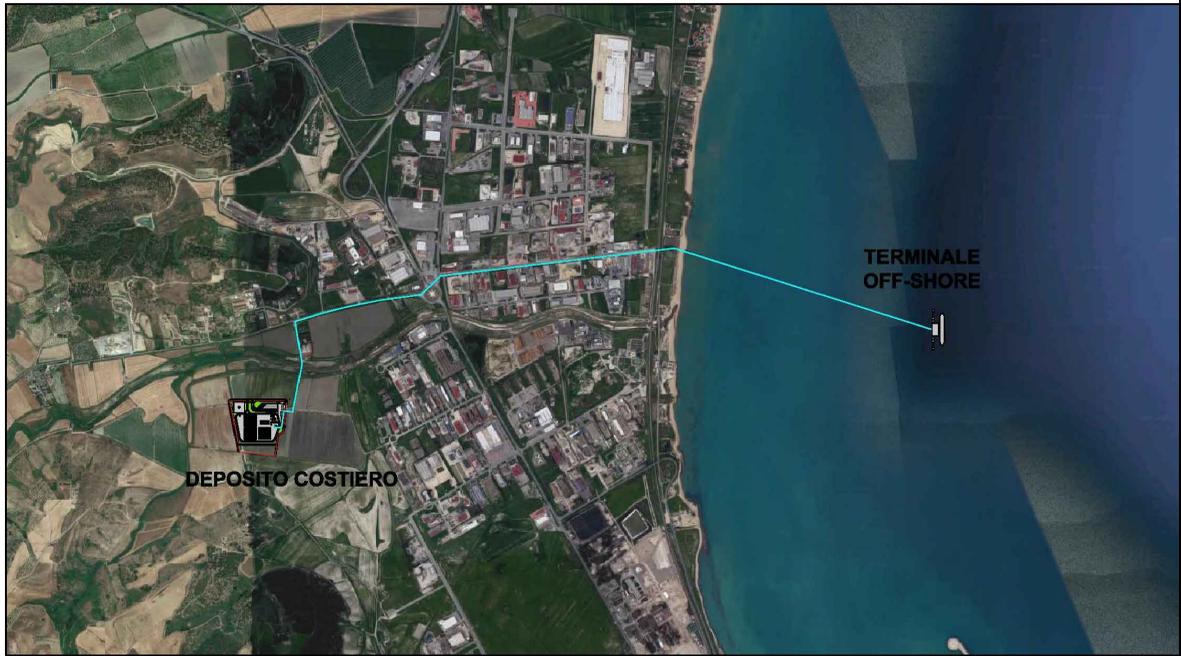
LASTPROJECT

LAST PROJECT S.R.L

Sede legale ed uffici:

80121 Napoli (NA) - Riviera di Chiaia n°276
Tel +39 081 0607954 - Fax +39 081 19361324
P.IVA:07557711210

DEPOSITO COSTIERO DI RIGASSIFICAZIONE DI GNL DA 20.000 MC
NEL COMUNE DI CROTONE IN ZONA INDUSTRIALE CO.R.A.P.
PROVINCIA DI CROTONE



People, Skills, Equipment.

Saipem S.p.A.



Festa S.p.A.

MOLINO • FACCHINELLI • ZERBINI
& PARTNERS
CORPORATE FINANCE

Molino Facchinelli Zerbini & Partners S.r.l.



ICARO S.r.l.

Gruppo di lavoro Last Project S.r.l.

Studio di impatto ambientale

Arch. Maddalena Proto

Opere antincendio

Arch. Luigi Vartuli

Opere strutturali

Ing. Alfredo Stompanato

Sicurezza Cantieri

Arch. Rosa Vartuli

Opere civili

Arch. Maddalena Proto

Arch. Luigi Vartuli

Consulenze specialistiche

Ingegneria Gestionale

Dott. Ing. Valentina Vartuli

Studio di fattibilità

Dott. Luca Lamagna

Geologia e geotecnica

Geol. Alessandro Amato

Opere Idrauliche

Ing. Giovanni Bruno

Studio di impatto acustico, Valutazione delle emissioni in atmosfera

Ing. Carmine Iandolo

Rapporto preliminare di sicurezza

ICARO S.r.l.

MODULO 3 ANALISI DI RISCHIO - ALLEGATO 3.1 METODOLOGIA ANALISI DI RISCHIO

03 - RAPPORTO PER LA VALUTAZIONE DEL Rischio DI SICUREZZA (D.LGS.105/2015)

NOME FILE

P_07_RI_37_ADR_R00

CODICE ELAB.

P07RI37ADR00

REV.

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	PRIMA EMISSIONE	Maggio 2019			



Metodologie per l'elaborazione dell'analisi dei rischi di incidente rilevante



LINEA GUIDA

Redazione	Verifica	Approvazione	Rev.	Data	Motivo
NM	MGR	BF	02	Febbraio 2019	Aggiornamento



INDICE

1. SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	6
2. RIFERIMENTI.....	7
2.1 NORMATIVA EUROPEA.....	7
2.2 NORMATIVA ITALIANA	7
2.2.1 Rischi di incidente rilevante.....	7
2.2.2 Prevenzione incendi	8
2.2.3 Tematiche correlate.....	8
2.3 BIBLIOGRAFIA E BANCHE DATI	9
2.4 STANDARD TECNICI	11
3. DEFINIZIONI E ACRONIMI	12
4. METODOLOGIA DELL'ANALISI DI RISCHIO	16
4.1 GENERALITÀ.....	16
4.2 SCHEMA METODOLOGICO	17
5 IDENTIFICAZIONE/SELEZIONE DEGLI EVENTI INCIDENTALI	19
5.1 GENERALITÀ.....	19
5.2 ANALISI STORICA	20
5.2.1 Sviluppo dell'analisi.....	21
5.2.2 Risultati e Indicazioni per l'analista	21
5.3 INDIVIDUAZIONE PRELIMINARE DELLE AREE CRITICHE	22
5.3.1. Sviluppo dell'analisi.....	22
5.3.2. Risultati e Indicazioni per l'analista	23
5.4 EVENTI INCIDENTALI DI NATURA RANDOM	24
5.4.1 Analisi del lay-out e delle sostanze pericolose.....	24
5.5 EVENTI INCIDENTALI DI PROCESSO	25
5.5.1 Analisi HAZOP	25
5.5.2 Altre metodologie sistematiche.....	27
5.6 EVENTI INCIDENTALI DETERMINATI DA CAUSE NATURALI.....	28
6 STIMA DELLA FREQUENZA DI ACCADIMENTO DELL'EVENTO INCIDENTALE	29
6.1 GENERALITÀ.....	29
6.2 EVENTI INCIDENTALI DI PROCESSO.....	29
6.2.1 Tecnica dell'albero dei guasti	29
6.2.2 Ratei di guasto da analisi SIL.....	30
6.2.3 Ratei di guasto da banca dati.....	30
6.2.4 Dimensione delle perdite da eventi di processo	37



6.3	EVENTI INCIDENTALI DI NATURA RANDOM	38
6.3.1	Aspetti generali	38
6.3.2	Fattore gestionale F_{SGS}	38
6.3.3	Fattore tecnico F_{TEC}	39
6.3.4	Dimensione delle perdite da eventi di natura random	45
6.3.5	Frequenza della perdita di natura random	50
6.4.	SINTESI FINALE SUI PARAMETRI DI BASE SELEZIONATI	57
6.4.1	Metodologia di valutazione basata sullo standard API RBI 581	58
6.5	SERBATOI DI STOCCAGGIO ATMOSFERICI	61
6.5.1	Perdita di contenimento da serbatoio atmosferico	61
6.5.2	Perdite da tetto galleggiante ed incendi	62
6.6	SISTEMI TECNICI / GESTIONALI PER LA GESTIONE DELL'EVENTO	63
7	CLASSIFICAZIONE DELLA FREQUENZA DI ACCADIMENTO DI EVENTI INCIDENTALI	65
7.1	GENERALITÀ	65
7.2	CLASSI DI FREQUENZA DI ACCADIMENTO DI EVENTI INCIDENTALI	65
7.3	CREDIBILITÀ DEGLI EVENTI INCIDENTALI	66
8	TERMINI SORGENTE	67
8.1	GENERALITÀ	67
8.2	TERMINI SORGENTE	67
8.2.1	Unità coinvolta	68
8.2.2	Sostanza	68
8.2.3	Condizioni di pressione e temperatura	69
8.2.4	Diametro di efflusso	69
8.2.5	Portata di efflusso	69
8.2.6	Dinamica incidentale	70
8.2.7	Durata del rilascio	70
9	SCENARI INCIDENTALI E LORO FREQUENZA DI ACCADIMENTO	73
9.1	GENERALITÀ	73
9.2	TIPOLOGIE DI SCENARI INCIDENTALI	73
9.3	PROBABILITÀ DI ACCADIMENTO DEI DIVERSI SCENARI INCIDENTALI	73
9.4	PROBABILITÀ DI INNESCO	75
9.4.2	Indicazioni su casi specifici	77
9.5	CREDIBILITÀ DEGLI SCENARI INCIDENTALI	77
10	CONSEGUENZE DEGLI SCENARI INCIDENTALI	78
10.1	GENERALITÀ	78
10.2	SIMULAZIONE DEGLI SCENARI INCIDENTALI DI RIFERIMENTO	78
10.3	PARAMETRI DA INSERIRE NEL MODELLO	82



10.4	CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI	83
SOGLIE DI DANNO A PERSONE E STRUTTURE.....		83
LIVELLO DI DANNO		83
10.5	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI.....	84
DISTANZE DI DANNO - CASO ...		84
TOP EVENT N° ...		84
10.6	MAPPATURE DELLE CONSEGUENZE	84
10.7	INCENDI DI POZZA "SMOKY FLAME".....	85
11	VALUTAZIONE DEI POTENZIALI EFFETTI DOMINO	86
11.1	GENERALITÀ.....	86
11.2	METODOLOGIA.....	86
11.2.1	Definizione degli scenari sorgente.....	86
11.2.2	Definizione delle aree di influenza degli scenari sorgente	87
11.2.3	Individuazione delle apparecchiature bersaglio presenti nelle aree di influenza, e selezione dei bersagli critici	88
11.2.4	Valutazione della possibilità di effetti domino.....	88
11.2.5	Stima della credibilità degli effetti domino	90
12	VALUTAZIONI DELLE CONSEGUENZE DI SCENARI AMBIENTALI.....	99
12.1	GENERALITÀ.....	99
12.2	RILASCIO SU TERRENO LIBERO	99
12.2.1	Individuazione metodologia	99
MODALITÀ RILASCIO		100
12.2.2	Applicazione metodologia.....	100
12.3	RILASCIO SU ACQUE SUPERFICIALI.....	102
12.3.1	Identificazione metodologia	102
12.3.2	Acquisizione dati di base	105
12.3.3	Modellazione scenario	105
13	ANALISI DEL RISCHIO NATURALE	108
13.1	GENERALITÀ.....	108
14	VALUTAZIONE DEL RISCHIO.....	109
14.1	GENERALITÀ.....	109
14.2	MATRICE DI RISCHIO	109
14.2.1	Classificazione delle frequenze di accadimento	110
14.2.2	Classificazione dei danni	110
14.2.3	Matrice di rischio	111



14.3 RISCHIO INDIVIDUALE 112

14.4 RISCHIO SOCIALE 114



1. SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente linea guida descrive le metodologie per l'elaborazione dell'analisi di rischio, nell'ambito della prevenzione dei rischi di incidente rilevante.

Essa costituisce uno standard metodologico societario ed attinge a norme tecniche nazionali (in particolare il D.Lgs. 105/2015 e collegati) ed internazionali.

In virtù del riferimento al D.Lgs. 105/2015, questa linea guida definisce in particolare modo gli aspetti metodologici per la redazione dell'analisi di rischio per il Rapporto di Sicurezza ai sensi dell'Art.15, ad eccezione di alcune tematiche là dove specificato.



2. RIFERIMENTI

2.1 Normativa Europea

- Direttiva 2012/18/UE sul controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose, recante modifica e successiva abrogazione della direttiva 96/82/CE del Consiglio.
- Regolamento (CE) n. 1272/2008 e s.m.i. del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele che modifica e abroga le Direttive 67/548/CEE e 1999/45/CE e che reca modifica al regolamento (CE) n. 1907/2006.
- Regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 dicembre 2006 concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH), che istituisce un'Agenzia europea per le sostanze chimiche, che modifica la direttiva 1999/45/CE e che abroga il regolamento (CEE) n. 793/93 del Consiglio e il regolamento (CE) n. 1488/94 della Commissione, nonché la direttiva 76/769/CEE del Consiglio e le direttive della Commissione 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE e 2000/21/CE.

2.2 Normativa Italiana

2.2.1 Rischi di incidente rilevante

- D.Lgs. 105/2015 "Attuazione della direttiva 2012/18/UE sul controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose.
- D.P.C.M. 31/03/1989 "Applicazione dell'art. 12 del decreto del Presidente della Repubblica 17 maggio 1988, n. 175, concernente rischi rilevanti connessi a determinate attività industriali".
- D.P.C.M. 16/02/2007 "Linee guida per l'informazione alla popolazione sul rischio industriale".
- D.P.C.M. 25/02/2005 "Linee Guida per la predisposizione del piano d'emergenza esterna di cui all'articolo 20, comma 4, del decreto legislativo 17 agosto 1999, n. 334".
- D.M. LL.PP. 09/05/2001 "Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante".
- D.M. Amb. 20/10/1998 "Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi a depositi di liquidi facilmente infiammabili e/o tossici".
- D.M. 15/05/1996 "Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi a depositi di gas e petrolio liquefatto".



2.2.2 Prevenzione incendi

- Legge n. 125 del 30/10/2013, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 31 agosto 2013, n. 101, recante disposizioni urgenti per il perseguimento di obiettivi di razionalizzazione nelle pubbliche amministrazioni”.
- D.M. 07/08/2012 “Disposizioni relative alle modalità di presentazione delle istanze concernenti i procedimenti di prevenzione incendi e alla documentazione da allegare, ai sensi dell'articolo 2, comma 7, del decreto del Presidente della Repubblica 1° agosto 2011, n. 151”.
- D.P.R. 151/2011 “Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122”.
- D.M. 14/05/2004 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per l'installazione e l'esercizio dei depositi di gas di petrolio liquefatto con capacità complessiva non superiore a 13 m³”.
- D.M. 10 marzo 1998 “Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro”.
- D.M. 13/10/1994 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione, l'installazione e l'esercizio dei depositi di GPL in serbatoi fissi di capacità complessiva superiore a 5 m³ e/o in recipienti mobili di capacità complessiva superiore a 5.000 kg”.
- D.M. 31/07/1934 “Approvazione delle norme di sicurezza per la lavorazione, l'immagazzinamento, l'impiego o la vendita di oli minerali, e per il trasporto degli oli stessi” e successive modifiche.

2.2.3 Tematiche correlate

- D.Lgs. 81/08 e successive modifiche ed integrazioni “Attuazione dell'art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”.
- D.Lgs. n. 152/2006 e successive modifiche e integrazioni “Norme in materia ambientale”.
- O.P.C.M. 3274/2003 e successive modifiche ed integrazioni “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.



2.3 Bibliografia e banche dati

n.	Title	Year
1	Failure frequency guidance – DNV 2013	2013
2	Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments – HSE (28/06/2012)	2012
3	Handbook off reliability prediction procedure for mechanical equipment – Naval Surface Warfare Center	2011
4	International Association of Oil & Gas Producers (OGP), Risk Assessment Rata Directory, Report No.434 and relevant associated documentation, March 2010	2010
5	Flemish Government – LNE Department, Environment, Nature and Energy Policy Unit, Safety Reporting Division: “Handbook of failure frequencies for drawing up a Safety Report – Technical report and Appendix, 5 maggio 2009.	2009
6	National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), References manual Bevi Risk Assessments, version 3.2, 01/07/2009.	2009
7	Oreda 2009: Offshore Reliability Data, 2009.	2009
8	Exida 2007: Safety Equipment Reliability Handbook.	2007
9	UK HSE, Clive Nussey – “Failure frequencies of high pressure storage vessel at COMAH sites. A comparison of data used by HSE and the Netherlands”, 2006	2006
10	H.I. Beerens, J.C. Post, P.A.M. Uijtde Haag – “The use of generic failure frequencies in QRA: The quality and use of failure frequencies and how to bring them up- to-date” – Journal of Hazardous Materials, 130 (2006), 265-270.	2006
11	TOTAL – “Guidelines for risk analysis”, doc HSE-SRD-004, 2006.	2006
12	Energy Institute, 2006, IP Research Report – Ignition Probability Review, Model Development and Look-up Correlations, London UK.	2006
13	Sintef 2006: PDS Data Handbook.	2006
14	HSE – Planning case and assessment guide (PCAG) – Failure rate and event data for use within risk assessment, 2004.	2004
15	UK HSE – Human vulnerability to thermal dose offshore – HSL/2004/04	2004
16	W.K. Muhlbauer, Pipeline Risk Management Manual, 3rd Ed., 2004, Elsevier.	2004
17	SINTEF – OREDA, Offshore Reliability Data, 2002.	2002
18	Dimitri B.Kececioglu, “Reliability & Life Testing Handbook, Vol.1”, 2002, DEStech Publications.	2002
19	Oreda 2002: Offshore Reliability Data, 2002.	2002
20	API STD 581 – “Risk based inspection – Base Resource Document”, 2000.	2000
21	DNV Technica, a cura di John Spuge – “A guide to quantitative risk assessment for offshore installations” – CMPT, 1999.	1999
22	HAZOP and multistage hazard study”, Institute of Chemical Engineers, 1999	1999
23	TNO – Committee for the Prevention of Disasters, CPR, “Guidelines for quantitative risk assessment – Purple Book”, doc CPR 18 E, 1999.	1999



n.	Title	Year
24	IChemE Loss Prevention Bulletin, Bulletin No. 138, "The LASTFIRE Project" December 1997.	1997
25	TNO – Committee for the Prevention of Disasters, CPR, "Methods for the calculation of the Physical Effects", CPR 14E – 3rd ed., 1997	1997
26	Lees – "Loss Prevention in the Process Industries", 2nd edition, 1996 – Butterworth – Heinemann.	1996
27	E&P Forum: Quantitative Risk Assessment Data Directory – Report No 11.8/250 1996.	1996
28	AIChE – Chemical Transportation Risk Analysis – CCPS.	1995
29	Center for Chemical Process Safety of the AIChE: "Evaluation of Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flashfires and BLEVEs" - 1994	1994
30	Flammable Gases and Liquids and their hazards – US EPA, 1994	1994
31	Hurstetal – "Failure rates and incident database for Major Hazards" – 7th International Symposium on Loss prevention and Safety Promotion in the Process Industry, Taormina (IT), 1992.	1992
32	E&P forum Report n° 11.4/180 - DNV Technica: "Hydrocarbon leak and ignition data base", 1992	1992
33	Center for Chemical Process Safety of the AIChE: "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures" – 2nd ed., 1992	1992
34	Cox, Lees and Ang, 1991. Classification of Hazardous Locations, Rugby: Institution of Chemical Engineers, ISBN 0 85295 258 9	1991
35	Center for Chemical Process Safety of the AIChE: "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis" – 1989	1989
36	Center for Chemical Process Safety of the AIChE: "Guidelines for Process Equipment Reliability Data, with data tables" - 1989	1989
37	TNO – "Methods for the calculation of the possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials", CPR 16E – 1989	1989
38	Progetto ARIPAR, Analisi dei Rischi Industriali e Portuali dell'Area di Ravenna, 1987.	1987
39	World Bank – "Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques", 1985.	1985
40	An Analysis of Vapour Cloud Explosions Based on Accidents – B.J. Wiekema 1984	1984
41	Thomas, HM – "Pipe and vessel failure probability" – Reliability Engineering, 1981; 2:83 - 124	1984
42	B.J.Wiekema – TNO – "An Analysis of Vapour Cloud Explosions Based on Accidents".	1983
43	Thomas, HM – "Pipe and vessel failure probability" – Reliability Engineering, 1981; 2:82-124.	1981
44	Cremer & Warner – App IX in COVO Commission – "Risk analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond Area, a pilot study – A report to the Rijnmond Public Authority", 1981.	1981
45	Banca Dati MARS (Major Accident Reporting System)	
46	Banca Dati CSB U.S. (Chemical Safety Board)	
47	Banca dati SOZOGAKU (Major Hazard Incident Data Service).	
48	Banca dati ARIA (Analisi, Ricerca e Informazione sugli Incidenti)	



n.	Title	Year
49	HSDB (Hazardous Substances Data base)	
50	RTECS (Registry of Toxic Effects of Chemical Substances)	
51	Assessment of the Dangerous Toxic Load (DTL) for Specified Level of Toxicity (SLOT) and Significant Likelihood of Death (SLOD) – riferimento: http://www.hse.gov.uk/hid/haztox.htm	

2.4 Standard Tecnici

I testi indicati in tabella sono riferiti all'ultima edizione disponibile.

n.	Title
1	Standard IEC 61508 "Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems"
2	Standard IEC 61511 "Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector"
3	Standard IEC 61882 "Hazard and operability studies (HAZOP studies) — Application guide"
4	Norma UNI EN ISO 9001 "Sistemi di gestione per la qualità - Requisiti"
5	Norma UNI EN ISO 14001 "Sistemi di gestione ambientale – Requisiti e guida per l'uso".
6	Norma OHSAS 18001 "Sistema di Gestione della Sicurezza e Salute nel lavoro"
7	General Guidance on Emergency Planning within the CIMAH regulation for chlorine installation CIA
8	API RP 521 – Pressure-relieving and Depressuring Systems
9	API RP 581 – "Risk based inspection – Downstream Document - Recommended Practice " September 2008
10	API RP 750 – Management of Process Hazards



3. DEFINIZIONI E ACRONIMI

TERMINE	DEFINIZIONE
Gestore	Qualsiasi persona fisica o giuridica che detiene o gestisce uno stabilimento o impianto, oppure a cui è stato delegato il potere economico o decisionale determinante per l'esercizio tecnico dello stabilimento o dell'impianto stesso
Stabilimento	Tutta l'area sottoposta al controllo di un gestore, nella quale sono presenti sostanze pericolose all'interno di uno o più impianti, comprese le infrastrutture o le attività comuni o connesse; gli stabilimenti sono stabilimenti di soglia inferiore o di soglia superiore.
Stabilimento di soglia inferiore	Uno stabilimento nel quale le sostanze pericolose sono presenti in quantità pari o superiori alle quantità elencate nella colonna 2 della parte 1 o nella colonna 2 della parte 2 dell'allegato 1, ma in quantità inferiori alle quantità elencate nella colonna 3 della parte 1, o nella colonna 3 della parte 2 dell'allegato 1, applicando ove previsto, la regola della sommatoria di cui alla nota 4 dell'allegato 1.
Stabilimento di soglia superiore	Uno stabilimento nel quale le sostanze pericolose sono presenti in quantità pari o superiori alle quantità elencate nella colonna 3 della parte 1, o nella colonna 3 della parte 2 dell'allegato 1, applicando ove previsto, la regola della sommatoria di cui alla nota 4 dell'allegato 1.
Stabilimento adiacente	Uno stabilimento ubicato in prossimità tale di un altro stabilimento da aumentare il rischio o le conseguenze di un incidente rilevante
Deposito	Presenza di una certa quantità di sostanze pericolose a scopo di immagazzinamento, deposito per custodia in condizioni di sicurezza o stoccaggio.
Deposito temporaneo intermedio	Deposito dovuto a sosta temporanea richiesta dalle condizioni di trasporto, di traffico o ai fini del cambio del modo o del mezzo di trasporto, non finalizzato al trattamento e allo stoccaggio.
Impianto	Unità tecnica all'interno di uno stabilimento e che si trovi fuori terra o a livello sotterraneo, nel quale sono prodotte, utilizzate, maneggiate o immagazzinate le sostanze pericolose; esso comprende tutte le apparecchiature, le strutture, le condotte, i macchinari, gli utensili, le diramazioni ferroviarie provate, le banchine, i pontili che servono l'impianto, i moli, i magazzini e le strutture analoghe, galleggianti o meno, necessari per il funzionamento di tale impianto.
Sostanze pericolose	Una sostanza o miscela di cui alla parte I o elencata nella parte 2 dell'allegato 1, sotto forma di materia prima, prodotto, sottoprodotto, residuo o prodotto intermedio.
Miscela	Una miscela o una soluzione composta di due o più sostanze
Presenza di sostanze pericolose	Presenza, reale o prevista, di sostanze pericolose nello stabilimento, oppure di sostanze pericolose che è ragionevole prevedere che possano essere generate, in caso di perdita del controllo dei processi, comprese le attività di deposito, in un impianto in seno allo stabilimento, in quantità pari o superiori alle quantità limite previste nella parte 1 o nella parte 2 dell'allegato 1.
Incidente rilevante	Evento quale un'emissione, un incendio o un'esplosione di grande entità, dovuto a sviluppi incontrollati che si verificano durante l'attività di uno stabilimento soggetto al D.Lgs. 105/2015, e che dia luogo ad un pericolo grave, immediato o differito, per la salute umana o per l'ambiente, all'interno o all'esterno dello stabilimento, e in cui intervengano una o più sostanze pericolose.

**TERMINE****DEFINIZIONE**

Pericolo	Proprietà intrinseca di una sostanza pericolosa o della situazione fisica esistente in uno stabilimento di provocare danni per la salute umana o per l'ambiente.
Rischio	La probabilità che un determinato evento si verifichi in un dato periodo o in circostanze specifiche (da D. Lgs. 105/2015). Frequenza che un singolo individuo, un gruppo di individui, o un determinato bene materiale o comparto ambientale subisca effetti negativi di data natura ed entità a causa di uno specifico pericolo.
Effetto Domino (da norma)	Sequenza di incidenti rilevanti, anche di natura diversa tra loro, causalmente concatenati che coinvolgono, a causa del superamento dei valori di soglia di danno, impianti appartenenti a diversi stabilimenti (effetti domino di tipo esterno, ossia inter-stabilimento) producendo effetti diretti o indiretti, immediati o differiti.
Effetto Domino (definizione scientifica)	Propagazione degli effetti di uno scenario incidentale a seguito del danneggiamento di una apparecchiatura/unità differente da quella in cui lo scenario si è originato. Meccanismo che propaga uno scenario incidentale iniziale "primario" generando eventi e/o scenari "secondari" su altre apparecchiature con potenziale espansione delle zone di danno.
Miglioramento continuo	Processo dinamico del sistema di gestione HSE indirizzato al conseguimento di miglioramenti della performance e dei relativi indici.
Sistema di Gestione Ambientale (ISO 14001)	Parte del sistema di gestione generale aziendale che comprende la struttura di pianificazione, le responsabilità, le prassi, le procedure, i processi, le risorse per elaborare, mettere in atto, conseguire, riesaminare e mantenere attiva la politica ambientale.
Sistema di Gestione della Salute e Sicurezza (OHSAS 18001)	Parte del sistema di gestione generale aziendale che comprende la struttura di pianificazione, le responsabilità, le prassi, le procedure, i processi, le risorse per elaborare, mettere in atto, conseguire, riesaminare e mantenere attiva la politica della salute e sicurezza.
Perdita di contenimento (o perdita)	Deterioramento/Lesione delle linee di processo che porta ad una apertura di dimensioni variabili con perdita del contenuto verso l'esterno.
Perdita di natura random	Perdita di contenimento da apparecchiatura / linea non specificamente riconducibili a cause di processo, ma connesse a cause più generali (corrosione, errata selezione materiali, errori operativi, ecc.).
Rateo di guasto	Frequenza attesa di guasto di un componente di un sistema
Albero dei guasti	Tecnica analitica che consente di rappresentare in maniera sistematica le connessioni cause-conseguenze che possano portare ad un guasto del sistema
Albero degli eventi	Tecnica analitica che consente di rappresentare in maniera sistematica le possibili evoluzioni di un evento incidentale tra i vari scenari alternativi
Linee di processo	Tubazioni di processo presenti all'interno degli impianti/unità (pipework) e nelle interconnessioni di Stabilimento (interconnecting), inclusive di valvole di intercettazione, flange e raccorderia varia (riduzioni, attacchi a T, ecc.).
Cricca	Perdita di contenimento avente un diametro equivalente significativamente inferiore al foro, corrispondente ad un D variabile fra 5 e 15 mm in funzione del DN della linea.
Foro	Perdita di contenimento definibile come importante o significativa, in base a criteri generali adottati nella letteratura specialistica, corrispondente ad un D variabile fra 15 e 50 mm, in funzione del DN della linea.

**TERMINE****DEFINIZIONE**

Rottura totale (o rottura)	Perdita di contenimento il cui diametro equivalente corrisponde al 50% o superiore rispetto al DN della linea.
Evento incidentale	Vedi incidente rilevante
Rateo di guasto	Frequenza attesa di guasto di un componente del sistema allo studio
Probabilità	Numero variabile tra 0 ed 1, indicante la stima numerica della possibilità che un evento possa realizzarsi.
Frequenza di accadimento di evento incidentale	Periodicità statistica stimata di accadimento di un evento incidentale
Scenario incidentale	Sviluppo delle conseguenze di un evento incidentale, in termini generali di rilascio tossico, incendio od esplosioni.
Jet Fire	Dardo di fuoco direzionale dovuto all'incendio di un getto gassoso turbolento che si libera da un componente impiantistico in pressione; può causare danni alle strutture e/o alle persone in relazione all'entità dell'irraggiamento generato.
Flash Fire	Rapida combustione di una nube di gas/vapori infiammabili, senza sviluppo di sovrappressioni. Tale fenomeno ha una durata molto limitata e comporta effetti letali soltanto per le persone che si venissero a trovare all'interno della nube. Non sono da attendersi danni per le strutture e per le persone che dovessero trovarsi all'interno delle strutture.
Pool Fire	Incendio di una pozza di liquido infiammabile al suolo; può causare danni alle strutture e/o alle persone in relazione all'entità dell'irraggiamento generato.
(U)VCE	(Unconfined Vapor Cloud Explosion) Esplosione non confinata di una nube di gas/vapori infiammabili; può causare danni alle strutture e/o alle persone in relazione all'entità delle onde di sovrappressione che si generano. L'effetto sulle persone all'interno di strutture è indotto dai danneggiamenti provocati sulle strutture stesse.
BLEVE	(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) Cedimento strutturale di una apparecchiatura (tipicamente i serbatoi di stoccaggio GPL) a seguito del repentino aumento della pressione dovuto ad evaporazione del liquido presente all'interno. Il fenomeno si determina nel caso in cui un serbatoio sia investito direttamente da una sorgente di fiamma (da pozza o da getto) che riscalda il mantello, attenuandone la resistenza meccanica, fino a determinarne il cedimento e la immediata vaporizzazione del liquido contenuto all'interno.
Fireball	Palla di fuoco, tipicamente conseguente un BLEVE; incendio in atmosfera di una elevata quantità di vapori rilasciata quasi istantaneamente. L'incendio assume la forma di una sfera di gas infuocato; può causare danni alle strutture e/o alle persone in relazione all'entità dell'irraggiamento generato.
Dispersione	Diffusione di una sostanza pericolosa in atmosfera a seguito di una perdita di contenimento.
LC50	(Lethal Concentration – 50%). Concentrazione di sostanza tossica, letale per inalazione nel 50% dei soggetti esposti per 30 minuti.
IDLH	(Immediately Dangerous to Life or Health) Concentrazione massima ammissibile per un'esposizione di 30 minuti senza che una persona sana subisca danni irreversibili). Definisce un'area di rispetto, all'interno della quale potrebbero sopravvenire danni alla salute delle persone a seguito dell'esposizione agli effetti di un prodotto tossico.

**TERMINE****DEFINIZIONE****IDLH_{eq}**

Concentrazione di sostanza tossica che comporta i medesimi effetti relativi alla soglia di IDLH, ma ottenuti con un tempo di esposizione inferiore a 30 minuti, in relazione al concetto di equivalenza degli effetti basata sulla "dose" assorbita da un individuo. Tale concetto è diffuso a livello internazionale è preso a riferimento anche da istituzioni a livello europeo, con particolare riferimento all'ente inglese HSE (Health and Safety Executive)

LFL

(Lower Flammability Limit) Limite inferiore di infiammabilità.

UFL

(Upper Flammability Limit) Limite Superiore di Infiammabilità. La quantità di gas/vapori compresa tra ULF e LFL è in condizioni di infiammabilità, quindi in caso di presenza di una sorgente di innesco, partecipa alla combustione.

HSE (o SHE)

Health, Safety, Environment

HAZOP

Tecnica strutturata e sistematica di analisi delle possibili anomalie e relative misure di mitigazione, applicata a processi industriali

SIL

Definizione del livello di integrità delle funzioni di sicurezza definito in accordo allo standard internazionale IEC 61508 e (limitatamente all'industria di processo) IEC 61511.



4. METODOLOGIA DELL'ANALISI DI RISCHIO

4.1 Generalità

Il rischio è generalmente definito come la misura di danno, calcolato come combinazione di frequenza di accadimento ed estensione delle conseguenze, associato all'accadimento di un evento incidentale.

Nell'industria di processo, l'evento incidentale è connesso alla perdita di contenimento di sostanza pericolosa/energia.

L'incidente può coinvolgere una o più dei seguenti potenziali bersagli:

- Personale dipendente (ad esempio infortunio);
- Persone esterne allo stabilimento (ad esempio l'esposizione a dispersione di gas pericoloso);
- La proprietà (ad esempio danneggiamento di apparecchiature oppure interruzione della produzione).

L'evento incidentale può originarsi oppure avere impatto su di una delle seguenti attività:

- Stabilimento industriale (ad esempio Raffineria, sito petrolchimico)
- Oleodotto / gasdotto;
- Trasporto su terra o su acqua (ad esempio autocisterne, navi);
- Utilizzatori finali (ad esempio gas o sostanze per uso domestico).

L'analisi di rischio rappresenta lo stima quantitative del quadro di rischio associate ad una determinata attività, basato su una valutazione ingegneristica e di modelli matematici finalizzati alla combinazione delle frequenze di accadimento e delle relative conseguenze di eventi incidentali ipotizzabili a seguito di andamento anomalo dell'attività stessa.



4.2 Schema metodologico

L'analisi di rischio viene sviluppato seguendo il seguente schema di principio:

- Identificazione degli eventi incidentali di riferimento, in relazione ai risultati di analisi sistematiche (quali, ad esempio, Metodo ad Indici, analisi di operabilità HazOp, identificazione dei pericoli (HAZID) o analoghe check list) ovvero a banche dati e analisi storica interna ed esterna (**Capitolo 5**).
- Stima della frequenza di accadimento dell'evento incidentale, tramite la tecnica dell'albero dei guasti o ricorso alle banche dati (**Capitolo 6**), seguita dalla valutazione della credibilità dell'evento (**Capitolo 7**).
- Definizione dei termini sorgente dell'evento incidentale, calcolo della portata di efflusso e valutazione della dinamica del rilascio (**Capitolo 8**).
- 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 (**Capitolo 9**).
- 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 (**Capitolo 10**).
- Valutazione dei potenziali "effetti domino" degli scenari incidentali credibili (**Capitolo 11**).
- Valutazione delle conseguenze associate agli scenari ambientali (**Capitolo 12**).
- Valutazione dell'impatto associato agli eventi naturali (**Capitolo 13**).

Infine, si riporta una descrizione degli aspetti metodologici relativi alla valutazione del rischio in funzione di criteri di accettabilità predefiniti.

A tale proposito, è opportuno precisare che l'applicazione di queste metodologie è riconosciuta a livello globale, ciononostante 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 dell'analisi di rischio, nel quale per ogni passo sono evidenziati gli strumenti di studio impiegati.



N.	Fase	Tecnica	Documenti di base
1	Identificazione/selezione dell'evento incidentale	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analisi di operabilità (HAZOP) 2. Metodo ad Indici per identificazione di aree critiche 3. Analisi storica interna ed esterna 	<ol style="list-style-type: none"> 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	Frequenza dell'evento incidentale	<ol style="list-style-type: none"> 1. Albero dei guasti (evento di processo) 2. Rilascio da linea/ apparecchiatura (evento random) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ratei di guasto strumentazione e sistemi di processo 2. Ratei di guasto per perdite di natura random
3	Termini sorgente dell'evento incidentale	Definizione delle condizioni operative (composizione, pressione e temperatura) che governano la portata di rilascio di sostanza pericolosa	Schemi di processo, dati di impianto
4	Frequenza degli scenari incidentali alternativi	Albero degli eventi	Probabilità di innesco della sostanza pericolosa rilasciata in atmosfera
5	Conseguenza degli scenari incidentali	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	Effetto domino (Domino interno e Domino Esterno)	<p>Stima della possibile propagazione degli effetti di uno scenario di incendio (frequenze e conseguenze) in relazione a:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. impianti/apparecchiature/personale interni allo stabilimento 2. impianti/apparecchiature/personale su elementi territoriali limitrofi esterni allo stabilimento 	<ol style="list-style-type: none"> 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	Scenari ambientali	Stima delle possibili conseguenze derivanti dal rilascio di sostanze ecotossiche	Caratteristiche del suolo e sottosuolo
8	Rischi naturali (Natech)	Valutazioni del rischio relativo a particolari eventi naturali (es. sisma, tornado, ecc.)	Analisi storiche correlate alla zona e bibliografia specializzata in materia.
9	Presentazione del rischio (qualora richiesta)	Combinazione della frequenza e della conseguenza di ogni scen. incidentale.	Criteri di accettabilità del rischio.



5 IDENTIFICAZIONE/SELEZIONE DEGLI EVENTI INCIDENTALI

5.1 Generalità

L'identificazione degli eventi incidentali di riferimento segue approcci differenziati in relazione alle due seguenti categorie di eventi:

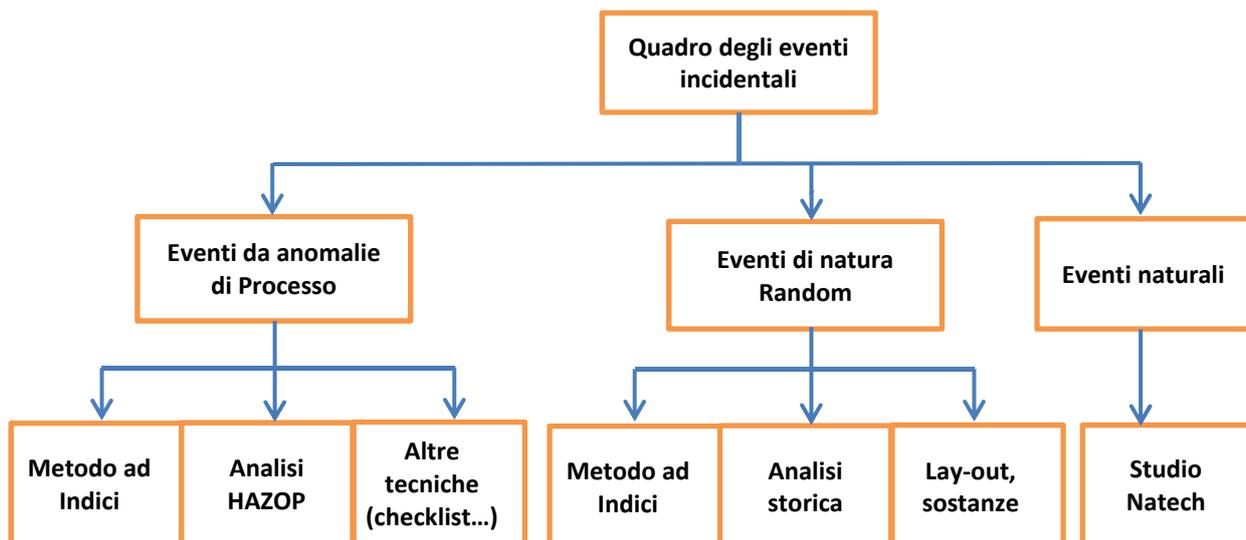
- eventi determinati da cause di processo, originati in seguito al verificarsi di anomalie nel processo produttivo;
- eventi di natura random, la cui origine non è associabile direttamente a cause specifiche.

In generale l'obiettivo è individuare un insieme rappresentativo di eventi incidentali, in grado di rappresentare, nel loro insieme, un accurato profilo di rischio associato all'impianto.

La rappresentatività va intesa nel senso che una certa tipologia di evento incidentale viene esaminato nello specifico su una apparecchiatura o linea di processo e le relative valutazioni e conclusioni sono applicabili, per analogia o minor significatività, alle altre unità.

Questo approccio in termini di rappresentatività consente di stabilire un insieme di misure di possibile miglioramento per il campione selezionato, da poter estendere ad altre aree, seppure non scelte in esplicito come sede dell'evento incidentale.

L'insieme di riferimento degli eventi incidentali che costituisce il quadro di rischio associato allo stabilimento è definito mediante applicazione di una serie di criteri specifici, secondo lo schema riportato nella figura che segue.



Il quadro di rischio dovrà essere un insieme bilanciato tra eventi derivanti da anomalie di processo, eventi di natura random, con l'aggiunta di eventi di origine naturale, in accordo alle recenti indicazioni del D.Lgs. 105/15.



La distribuzione degli eventi ha come punto di partenza l'applicazione del metodo ad indici, tecnica che consente di stabilire in via preliminare l'entità del rischio associato alle diverse unità dell'impianto allo studio.

L'analisi degli eventi di processo è integrata con le evidenze dell'analisi HAZOP o di altre tecniche sistematiche di identificazione dei rischi.

L'analisi degli eventi random è integrata con le evidenze dell'analisi storica.

Si suggerisce una ripartizione equilibrata tra processo e random nelle realtà impiantistiche complesse (raffinerie, impianti petrolchimici), mentre per le realtà impiantistiche meno complesse (come depositi di stoccaggio idrocarburi), è suggerita una distribuzione con un maggiore numero di eventi di natura random. Per quanto riguarda gli eventi di origine naturale, la selezione è basata sugli esiti dello studio specialistico "NaTech".

Nei paragrafi che seguono sono riportate le descrizioni delle tecniche che possono essere applicate ai fini dell'identificazione degli eventi incidentali, in funzione della differente tipologia di evento (random o processo).

5.2 Analisi Storica

L'Analisi Storica è una metodologia di identificazione dei possibili incidenti connessi ad una attività industriale, basata sulla esperienza storica e la registrazione di incidenti avvenuti sia a livello di Stabilimento/Gruppo che in altri impianti analoghi, per tipologia di sostanze o per tipologia di processo, che affronta il problema dello studio dei rischi di attività industriali pericolose.

Questo studio consente di ottenere ed organizzare statisticamente informazioni quali:

- cause che possono portare ad una situazione incidentale;
- cause che possono aggravarle;
- conseguenze;
- disponibilità ed efficacia delle misure di mitigazione e contenimento.

In realtà tutta questa serie di informazioni può essere ripresa da una analisi storica degli incidenti se le informazioni relative sono affidabili, omogenee e non generiche e quindi il valore dei risultati sarà subordinato al numero delle informazioni disponibili, al loro grado di completezza e al loro livello di dettaglio.

L'analisi si propone di fornire gli elementi fondamentali per una identificazione preliminare dei rischi connessi all'impiego delle sostanze manipolate nell'impianto.



5.2.1 Sviluppo dell'analisi

La ricerca storica di eventi incidentali è sviluppata su banche dati referenziate a livello internazionale (analisi storica esterna) e sulle informazioni derivanti dall'esperienza diretta dello stabilimento o della società che gestisce lo stabilimento (analisi storica interna).

Analisi storica esterna

La ricerca è sviluppata su banche dati specializzate a livello internazionale, analizzando in dettaglio installazioni simili (in termini di lavorazione, processo produttivo e sostanze manipolate) con riferimento alla possibilità di insorgenza di incendi, esplosioni ed immissioni di sostanze pericolose.

Le principali banche dati da prendere a riferimento sono le seguenti:

- Banca Dati MARS (Major Accident Reporting System).
- CSB U.S. (Chemical Safety Board).
- Banca dati SOZOGAKU (Major Hazard Incident Data Service).
- Banca dati ARIA (Analisi, Ricerca e Informazione sugli Incidenti).

Analisi storica interna

L'analisi storica interna è basata sulle informazioni fornite dallo stabilimento su incidenti o quasi incidenti verificatisi nello stabilimento (o in stabilimenti a livello di gruppo) almeno negli ultimi 10 anni. Ogni evento deve riportare in dettaglio informazioni circa la tipologia di evento, le cause, le conseguenze e le azioni mitigative intraprese al fine di prevenire/mitigare il verificarsi dell'evento.

5.2.2 Risultati e Indicazioni per l'analista

L'analisi storica si conclude con i seguenti elementi:

- sintesi statistica delle cause tipiche degli eventi e delle relative conseguenze;
- confronto delle eventi registrati con la realtà impiantistica e gestionale dello stabilimento, allo scopo di identificare i fattori tecnici ed organizzativi che possono intervenire nella prevenzione dell'evento e nella mitigazione delle conseguenze ipotizzabili

I dati e le informazioni specifiche ricavate dall'analisi storica sono utilizzate per integrare la selezione degli eventi incidentali di natura random.



5.3 Individuazione preliminare delle aree critiche

Il D.Lgs. 105/2015 richiede, per una prima valutazione di rischio di impianti/depositi in esercizio, un'analisi preliminare per l'individuazione di aree critiche all'interno di attività industriali.

Per continuità con le valutazioni precedentemente condotte ed in conformità con l'Art.33 del D.Lgs. 105/2015, per gli aggiornamenti dei Rapporti di Sicurezza esistenti si suggerisce di mantenere ed aggiornare l'applicazione del Metodo ad Indici come strumento per l'individuazione preliminare delle aree critiche.

Il Metodo ad Indici si sviluppa sulla base di tre principali riferimenti normativi, in relazione alla tipologia di impianto in esame:

- Per gli impianti di processo il metodo ad indici viene applicato secondo quanto disposto dal DPCM 31.03.89 – Allegato II.
- Per depositi di GPL non connessi ad impianti e non refrigerati l'applicazione del metodo ad indici viene effettuata secondo quanto disposto dal DM 15.05.96, "Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di gas e petrolio liquefatto (GPL)".
- Per i depositi di liquidi facilmente infiammabili e/o tossici non connessi ad impianti e non refrigerati l'applicazione del metodo ad indici viene effettuata secondo quanto disposto dal DM 20.10.98, "Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di liquidi facilmente infiammabili e/o tossici", che riprende le soglie definite all'interno del DM 15.05.96.

Nel seguito si riportano i principali elementi di interfaccia tra l'applicazione del metodo e l'analisi degli eventi incidentali.

5.3.1. Sviluppo dell'analisi

I principali passaggi per l'applicazione del metodo ad indici possono essere riassunti nei seguenti punti:

- suddivisione dello stabilimento in impianti e di ogni impianto in unità logiche a cui applicare il metodo;
- identificazione delle caratteristiche di pericolosità delle sostanze presenti nell'unità (proprietà relative all'infiammabilità, alla tossicità e alla reattività);
- calcolo dei fattori di penalità (ovvero analisi e valutazione dei fattori di rischio presenti in ogni unità, suddivisi in rischio di processo, di layout, per la salute, etc.);
- calcolo dei fattori compensativi (ovvero analisi e valutazione dei fattori di compensazione dei rischi potenziali (misure di prevenzione e protezione), predisposti per ogni unità o generalmente applicabili al complesso (ad esempio organizzative));
- calcolo degli indici di rischio grezzo (che tengono conto solo dei fattori di rischio delle unità), tra cui:
 - F, indice del carico di incendio;
 - C, indice di esplosione confinata;
 - A, indice di esplosione in aria;



- T, indice di rischio Tossico
- G: indice di rischio Generale;
- calcolo degli indici di rischio compensati (che tengono conto del bilanciamento apportato al rischio grezzo o potenziale dai fattori di compensazione), tra cui:
 - F', indice compensato del carico di incendio;
 - C', indice compensato di esplosione confinata;
 - A', indice compensato di esplosione in aria;
 - T', indice compensato di rischio Tossico
 - G': indice compensato di rischio Generale;
- categorizzazione delle unità logiche, in relazione ai valori calcolati degli indici di rischio. In particolare, per quanto riguarda il fattore di rischio compensato G', valgono le indicazioni inserite nella tabella che segue:

Indice di rischio generale	Categoria relativa al D.P.C.M. 31.03.1989	Categoria relativa ai D.M. 15.05.96 e D.M. 20.10.98
0 - 20	Lieve	A
20 - 100	Basso	
100 - 500	Moderato	B
500 - 1100	Alto (grado I)	
1100 - 2500	Alto (grado II)	C
2500 - 12500	Molto Alto	
12500 - 65000	Grave	D
Oltre 65000	Gravissimo	

Maggiori informazioni sullo sviluppo dell'analisi sono riportate sui decreti applicativi specificati all'inizio del paragrafo 5.3.

5.3.2. Risultati e Indicazioni per l'analista

Sulla base degli esiti dell'analisi, è possibile identificare le unità logiche che presentano il rischio maggiore.

In linea generale valgono le seguenti considerazioni:

- con riferimento alla applicazione del DPCM 31.03.89, per le Unità Logiche aventi un indice di rischio generale compensato G' pari alla categoria Alto o superiore ad esso ($G' \geq 500$), si suggerisce lo sviluppo di una o più ipotesi incidentali (che potrà essere da anomalia di processo oppure di natura random);
- con riferimento alla applicazione del DM 15.05.96 e DM 20.10.98, per le Unità Logiche aventi un indice di rischio generale compensato G' in categoria B o superiore ($G' \geq 100$), si suggerisce



lo sviluppo una o più ipotesi incidentali (che potrà essere da anomalia di processo oppure di natura random;

per entrambi i casi sopra esposti, nel caso di più Unità analoghe contraddistinte da un indice di rischio tale da richiedere lo sviluppo di un evento incidentale, l'ipotesi sarà condotta su una singola Unità Logica rappresentativa, estendendo successivamente ogni considerazione risultante alle altre Unità Logiche analoghe.

Sulla base di quanto riportato sopra, le risultanze del Metodo ad Indici possono costituire un utile strumento di supporto per l'individuazione degli eventi incidentali random, descritti al paragrafo 5.4.

5.4 Eventi incidentali di natura Random

Sulla base dei risultati preliminari della applicazione del Metodo ad Indici (vedi paragrafo 5.3), le metodologie per l'identificazione e selezione degli eventi di natura random si basano essenzialmente sui seguenti criteri aggiuntivi:

- analisi storica, interna ed esterna;
- analisi sistematica del layout di impianto e dei P&ID, per l'identificazione delle linee più rappresentative in termini di sostanze pericolose, diametri e lunghezze.

Al fine di determinare un quadro rappresentativo del rischio di impianto, i seguenti ulteriori criteri sono applicabili:

- per apparecchiature/linee simili, si sviluppa l'ipotesi incidentale con riferimento quella con condizioni operative più severe, assumendo che la perdita di contenimento da tale sezione determini conseguenze più gravi in termini di sicurezza;
- per apparecchiature/linee simili, si sviluppa l'ipotesi incidentale con riferimento a criteri di lay-out con l'obiettivo di determinare una copertura più ampia delle aree di impianto/stabilimento.

5.4.1 Analisi del lay-out e delle sostanze pericolose

La selezione degli eventi di natura random rappresentativi si conclude con l'analisi degli elementi di rischio connessi alla localizzazione delle sostanze pericolose ed a rischi connessi al lay-out di impianto.

I criteri che si applicano a completamento della selezione sono i seguenti:

- gli eventi devono offrire una panoramica su tutte le tipologie di rischio associate alle sostanze pericolose presenti in impianto (infiammabili, tossiche, pericolose per l'ambiente);
- gli eventi devono contenere informazioni utili per la verifica di possibili impatti sul lay-out di impianto con particolare riferimento ad elementi vulnerabili come sale controllo, aree presidiate, unità critiche in termini di quantitativi di sostanze pericolose (potenzialmente soggette al rischio di effetto domino).



5.5 Eventi incidentali di Processo

Sulla base dei risultati preliminari della applicazione del metodo ad indici (vedi paragrafo 5.3), le metodologie per l'identificazione e selezione degli eventi derivanti da anomalie di processo si basano essenzialmente sui seguenti criteri aggiuntivi:

- analisi di operabilità (HAZOP);
- identificazione dei pericoli attraverso altre metodologie sistematiche (quali HAZID, What if oppure check list strutturate).

L'analisi sistematica deve essere condotta con l'ausilio di un team qualificato in rappresentanza delle diverse unità operative dello stabilimento (sicurezza, esercizio, manutenzione, strumentazione)

Attraverso i risultati delle indagini sistematiche è possibile qualificare le cause e le conseguenze delle possibili anomalie ipotizzabili per l'impianto.

Compito dell'analista è quello di operare una selezione di tutte le anomalie identificate, allo scopo di definire gli eventi incidentali di riferimento da sviluppare.

Al fine di determinare un quadro rappresentativo del rischio di impianto, i seguenti ulteriori criteri sono applicabili:

- per apparecchiature, si sviluppa l'ipotesi incidentale con riferimento quella con condizioni operative più severe, assumendo che la perdita di contenimento da tale sezione determini conseguenze più gravi in termini di sicurezza;
- per apparecchiature simili, si sviluppa l'ipotesi incidentale con riferimento a criteri di lay-out con l'obiettivo di determinare una copertura più ampia delle aree di impianto/stabilimento.

5.5.1 Analisi HAZOP

L'analisi HAZOP è un processo di identificazione dei pericoli che si basa sull'analisi delle deviazioni dei parametri chiave e dei possibili malfunzionamenti di una unità di processo dagli intenti di progetto ed è condotta da un team multidisciplinare e diretta da un "HAZOP Chairperson", persona con esperienza specifica con la tecnica HAZOP.

La procedura di identificazione delle deviazioni dagli intenti di progetto viene effettuata in modo sistematico, applicando "parole guida" ai parametri di processo ascrivibili alla sezione dell'impianto scelta dal team leader (rappresentata dai "nodi").

L'uso di parole guida assicura una trattazione sistematica di tutti i tipi le deviazioni o anomalie che potrebbero verificarsi nell'impianto, indipendentemente dal fatto che possano portare a una condizione di pericolo. Per ogni sezione dell'impianto, dopo avere chiarito e descritto il funzionamento in condizioni normali di esercizio, il leader applica a ciascun parametro di processo le parole guida pertinenti; il team risponde indicando possibili cause e conseguenze della deviazione. Qualora venga stabilito che la deviazione possa portare ad una condizione di pericolo, il team esamina le cause specifiche, le conseguenze nonché le protezioni (misure di prevenzione e/o mitigazione) esistenti.



Quando il team ritiene che le misure di prevenzione / mitigazione in essere non siano sufficienti o adeguate, viene proposta e verbalizzata una raccomandazione di miglioramento.

I punti salienti della discussione vengono registrati in modo che rimanga traccia delle deviazioni analizzate e delle relative conseguenze, specialmente se comportano un rischio.

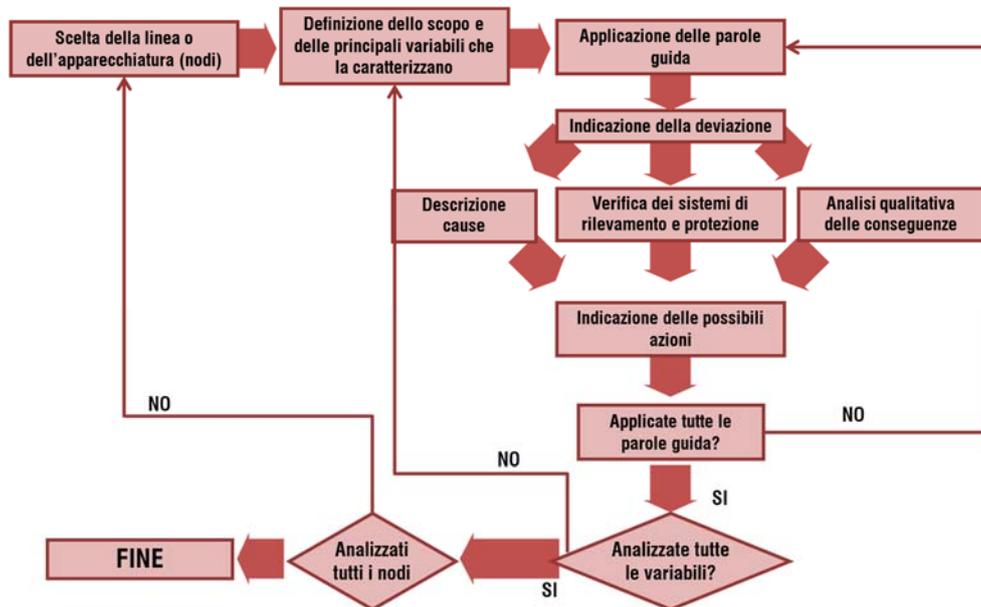
5.5.1.1. Sviluppo dell'analisi

L'impianto in analisi è suddiviso in sub-unità, composte da apparecchiature, strumentazioni e linee, secondo le indicazioni e le scelte del HAZOP facilitator in accordo con l'intero team. Ciascuna di questa sotto-unità, definita "nodo", è caratterizzata da specifiche condizioni di processo/ funzione.

L'analisi viene sviluppata applicando opportune parole guida in modo sistematico ad ogni nodo individuato, secondo il seguente schema procedurale:

1. breve descrizione del processo;
2. selezione dello schema da analizzare;
3. selezione del nodo da analizzare;
4. applicazione di una parola guida;
5. identificazione della corrispondente deviazione;
6. analisi delle cause, delle conseguenze, delle misure di sicurezza già disponibili e di eventuali raccomandazioni aggiuntive volte alla riduzione del rischio per la deviazione;
7. identificazione di altre deviazioni connesse alle parole guida e ripetizione della fase n. 6;
8. applicazione di un'altra parola guida e ripetizione delle fasi n. 5 e 6;
9. selezione di un altro nodo e ripetizione delle fasi n. 4, 5 e 6;
10. selezione di un altro schema e ripetizione delle fasi n. 3,4, 5 e 6.

Di seguito si riporta lo schema logico dell'analisi.



Maggiori informazioni sullo sviluppo dell'analisi sono riportate negli standard internazionali di riferimento.

5.5.1.2. Formalizzazione dello studio e Indicazioni per l'analista

L'analisi HAZOP permette di individuare tutte le deviazioni dalle condizioni di processo. Le cause individuate in grado di generare condizioni di pericolo significativo per il personale o per le apparecchiature o per l'ambiente, vengono pre-selezionate e confrontate con i risultati di altre metodologie (quali, ad esempio, analisi storica, metodo ad indici) per un primo confronto di significatività.

A valle del confronto, le cause non evidenziate dalla altre metodologie e ritenute rappresentative e significative per il processo in esame, verranno selezionate e sviluppate integralmente nell'analisi di rischio.

Nei tabulati di registrazione dello studio HAZOP saranno evidenziate in maniera univoca quelle deviazioni che comportano lo sviluppo di un evento incidentale, mediante utilizzo di un codice identificativo dell'evento stesso.

5.5.2 Altre metodologie sistematiche

Per l'identificazione dei rischi sono possibili ulteriori indagini sistematiche, in grado di evidenziare possibili pericoli per il personale, le apparecchiature o l'ambiente.

A differenza dell'analisi HAZOP, tali analisi permettono una caratterizzazione delle possibili cause e conseguenze con un'indagine più ampia e non incentrata esclusivamente sul processo.



Le principali analisi alternative (o di supporto) all'analisi HAZOP, sono riportate di seguito:

Analisi	Descrizione	Risultati attesi
HAZID: Hazard Identification Analysis	Analisi sistematica per l'identificazione dei pericoli connessi all'attività / apparecchiatura in esame. L'analisi spazia su tutti i temi riguardanti funzionamento e operatività. È tipica per le attività in fase preliminare di sviluppo.	L'analisi determina un quadro generale e preliminare dei rischi associati ad una determinata attività, fornendo indicazioni utili per un quadro generale dei rischi (non soltanto quelli di processo).
LOPA: Layers of Protection Analysis	Analisi sistematica sugli scenari evidenziati dall'analisi HAZOP per la valutazione dei "strati indipendenti di protezione, IPL" nella gestione di uno evento incidentale.	L'analisi consente una valutazione di dettaglio dei sistemi tecnici e organizzativi in essere per la prevenzione di eventi pericolosi, in relazione della gravità delle conseguenze ipotizzate per gli scenari.
AEA: Action Error Analysis	Analisi sistematica su singole mansioni descritte da procedure operative a carico del personale di impianto.	L'analisi determina eventuali deviazioni dalle normali procedure per errore operativo da parte del personale. In caso di deviazione anomala, è possibile identificare cause e conseguenze su personale, apparecchiature e ambiente.
Check list dedicate	Analisi sistematica specifica per l'apparecchiatura/processo in esame per la valutazione dei rischi.	L'analisi determina eventuali deviazioni dalle condizioni di design a causa di problematiche di processo o per errori operativi da parte del personale di impianto, evidenziando eventuali conseguenze su personale, apparecchiature e ambiente. Da selezionare in particolare per processi di tipo discontinuo.

5.6 Eventi incidentali determinati da cause naturali

L'analista di rischio dovrà identificare i rischi associati a fattori di origine naturale sull'impianto allo studio.

L'analisi è mirata alla valutazione della frequenza e delle conseguenze derivanti dall'accadimento di un fenomeno naturale estremo (quale alluvione, terremoto, tornado, tsunami, frane).

Lo studio prevede una analisi sistematica dei fenomeni fisici che possono determinarsi nella regione nella quale è localizzato l'impianto.

L'approfondimento è condotto mediante modulo specifico Natech, che riporta in sintesi le valutazioni di rischio e fornisce le valutazioni da applicare nella identificazione degli eventi incidentali.



6 STIMA DELLA FREQUENZA DI ACCADIMENTO DELL'EVENTO INCIDENTALE

6.1 Generalità

Le modalità di stima della frequenza di accadimento di un evento incidentale, generalmente espressa in eventi / anno, sono differenziate a per ciascun approccio, come di seguito descritto.

6.2 Eventi incidentali di processo

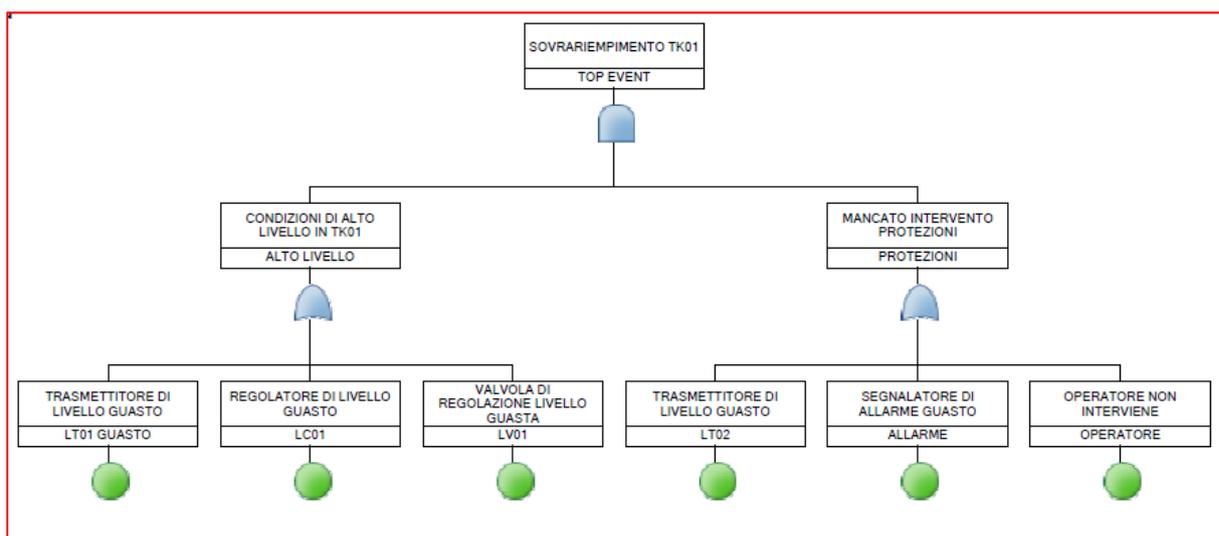
6.2.1 Tecnica dell'albero dei guasti

Le modalità di accadimento di un possibile evento incidentale derivanti da cause di processo sono dettagliatamente derivate dai fogli di lavoro dell'analisi di operabilità (HazOp), nei quali sono descritte le possibili cause iniziatrici (eventi primari) dell'evento e le relative protezioni. Ciascuna causa iniziatrica è poi, in generale, determinata dall'accadimento di una o più cause specifiche, a ciascuna delle quali possono essere associate una o più protezioni specifiche.

Il processo che porta a quantificare la frequenza dell'evento incidentale o l'indisponibilità di un sistema a partire dai ratei di guasto degli eventi primari è comunemente sviluppato mediante la tecnica dell'Albero dei Guasti. L'albero dei guasti è una rappresentazione grafica delle relazioni logiche tra quegli eventi che, verificandosi in modo concatenato, comportano il realizzarsi di un evento indesiderato (Top Event o Evento Terminale), del quale si vogliono determinare meccanismo e probabilità di accadimento.

La concatenazione degli eventi viene realizzata mediante operatori logici che combinano due o più eventi causa (iniziatori) con un evento conseguenza (finale).

La figura che segue illustra un esempio di albero dei Guasti per un caso semplice.





La figura rappresenta lo sviluppo logico delle anomalie che porta ad un evento incidentale (Top Event). Sul lato sinistro sono raffigurate le cause che possono portare alla condizione di pericolo (alto livello del serbatoio). Sul lato destro sono raffigurate le misure di protezione che non devono intervenire, affinché si determini il Top Event.

La combinazione con un operatore logico AND indica la necessità del contemporaneo accadimento delle due cause per la realizzazione del Top Event.

Le informazioni sono riportate anche in forma tabellare lungo lo sviluppo del testo.

Causa iniziatrice	Protezioni comuni
Causa 1	Protezione 1.1
	Protezione 1.2
Cause specifiche	Protezioni specifiche
Causa 1.1	Protezione 1.1.1
	Protezione 1.1.2
Causa 1.2	Protezione 1.2.1

Tabella 1 – Sintesi delle cause e delle protezioni

Lo sviluppo analitico e numerico dell'albero può essere condotto con l'ausilio di appositi codici di calcolo riconosciuti a livello internazionale (ASTRA-FTA, FTA-PRO, etc.).

6.2.2 Ratei di guasto da analisi SIL

Per le unità per le quali siano state eseguite le analisi di SIL Allocation e SIL Verification, entrambe condotte in accordo allo Standard IEC 61508-61511 e sia disponibile un Rapporto finale di SIL Verification, i dati affidabilistici da utilizzare sono i medesimi presenti nel Rapporto di SIL Verification.

6.2.3 Ratei di guasto da banca dati

Nel caso di indisponibilità del documento di SIL Verification, i valori da utilizzare sono quelli indicati nella tabella dei ratei di guasto, derivati essenzialmente da banche di dati storici referenziate.

È comunque ammesso verificare i dati forniti con riferimento all'evoluzione del panorama delle banche dati internazionali (nuovi aggiornamenti, nuove banche dati più specifiche per tipo di attività o tipologia di apparecchiatura/strumentazione, etc.).



Lo stabilimento ha il compito di fornire i dati specifici relativi a:

- tempi di riparazione dei componenti (intervallo di tempo necessario ad effettuare un intervento di strumentazione ed apparecchiature di impianto);
- intervalli tra test successivi (il tempo tra due controlli consecutivi di strumentazione ed apparecchiature di impianto).

I dati affidabilistici relativi a ciascun singolo componente, necessari per il corretto utilizzo dell'albero dei guasti, sono illustrati nella tabella seguente.

Dato	Significato	A cura di
Rateo di guasto	Frequenza attesa (espressa in eventi/ora) per il guasto del componente che comporta la condizione di pericolo.	In accordo a banca dati di cui in Tabella 2, ad eccezione di componenti per i quali sia disponibile il Rapporto di SIL Verification e/o di componenti certificati per i quali si assumono rispettivamente i valori dichiarati dall'esecutore dell'analisi SIL Verification e dal costruttore (con certificato).
Tempo di riparazione	Tempo necessario per riparare un componente. Il valore deve tenere conto del fatto che il componente sia effettivamente riparabile con impianto in marcia (dove non è richiesta la messa fuori esercizio e la bonifica di nessuna apparecchiatura) e deve tenere conto dei tempi di disponibilità del pezzo di ricambio e della sua sostituzione in campo.	In accordo alle informazioni fornite dalla funzione Manutenzione.
Tempo di test	Intervallo di tempo per la verifica di corretto funzionamento di un componente. È da applicare a componenti che non operano in continuo ma su richiesta (ad esempio i sistemi di blocco), per i quali il guasto non si autoevidenzia.	In accordo al sistema di gestione della strumentazione di blocco. Da specificare se il test è completo (vale a dire comprende anche la valvola di attuazione del blocco e il modo con cui viene simulato l'intervento del blocco).
Indisponibilità	Probabilità che indica la frazione temporale durante la quale il componente è da considerarsi guasto oppure non disponibile.	In accordo a banca dati di cui in Tabella 2.
Tempo di missione	Intervallo di tempo per il quale il componente deve essere operativo. Se il tempo di missione è superiore all'anno, è necessario normalizzare la frequenza calcolata sul singolo anno.	In generale, per il calcolo della frequenza occorre riferirsi all'intervallo di tempo tra una fermata parziale e generale dell'impianto e la successiva.
Tempo di intervento	Intervallo di tempo durante il quale le devono essere compiute le operazioni generali per intercettare la perdita, distinguendo quelle che si possono condurre da sala controllo da quelle previste in campo.	In accordo al Piano di Emergenza di reparto (vedi tabelle presenti nel paragrafo 8.2.7.)

Tabella 2 – Elementi per l'applicazione dell'Albero dei Guasti



Nella tabella che segue sono riportati i ratei di guasto consigliati per lo sviluppo degli alberi di guasto, con i relativi riferimenti bibliografici.

In generale il dato è fornito in termini di rateo di guasto orario. In alcuni casi, in mancanza di altri dati specifici, la tabella riporta il valore di indisponibilità (probabilità di non corretto funzionamento del componente).

N.	Tipologia Componente	Rateo di Guasto (occasioni/ora)	Indisponibilità (-)	Riferimento
1	Allarme (DCS)	1,10E-06		Exida 2007
2	Analizzatore ossigeno (elettrochimico)	6,00E-06		Exida 2007
3	Avvisatore di allarme (acustico)	9,00E-07		Exida 2007
4	Batterie a nickel cadmio	2,50E-07		CCPS - mean value
5	Batterie ad acido solforico	2,25E-06		CCPS - mean value
6	Braccio di carico metallico	3,00E-08		CW
7	Compressore centrifugo elettrico - arresto	3,90E-05		Oreda 2009
8	Compressore centrifugo elettrico - mancato avviamento	2,56E-05		Oreda 2009
9	Compressore centrifugo a turbina - arresto	2,70E-05		Oreda 2009
10	Compressore centrifugo a turbina - mancato avviamento	3,16E-05		Oreda 2009
11	Compressore alternativo elettrico - arresto	4,34E-05		Oreda 2009
12	Compressore alternativo elettrico - mancato avviamento	1,54E-05		Oreda 2009
13	Compressore - Trafilamento da tenuta	1,05E-05		Oreda 2009
14	Controllore - pannello elettronico (single loop)	3,56E-06		CCPS - mean value
15	Controllore - pannello pneumatico (single loop)	5,71E-06		CCPS - mean value
16	Controllore (DCS generico)	2,00E-06		Exida 2007
17	Corpo pompa	3E-05 / anno		HSE
18	Disco di rottura	2,28E-07		Lees
19	Emergency Diesel (guasto)	4E-06		Oreda 2009
20	Emergency Diesel (mancato avviamento)	1E-05		Oreda 2009



N.	Tipologia Componente	Rateo di Guasto (occasioni/ora)	Indisponibilità (-)	Riferimento
21	Flangia – perdita di contenimento	5,5E-05 / anno		DNV
22	Fusibili	6,34E-07		CCPS - mean value
23	Fusto	1,20E-06		HSE
24	Interruttori di circuito AC	1,00E-06		Exida 2007
25	Interruttori di circuito DC	3,80E-06		CCPS - mean value
26	Inverter	5,44E-06		CCPS - medio tra mean e lower
27	Gestore elettronico di logica di blocco	3,17E-07		Exida 2007
28	Manichetta flessibile	5,70E-07		CCPS - mean value
29	Misuratore di velocità	2,5E-06		NAVY
30	Motore elettrico AC (guasto)	4,32E-06		Oreda 2009
31	Motore elettrico AC (mancato arresto)	9,00E-07		Exida 2007
32	Motore elettrico AC (mancato avviamento)	9,00E-07		Exida 2007
33	PLC	5,00E-07		Exida (generic SIL 2)
34	Pompa antincendio elettrica – mancato avviamento	1,1E-05		Oreda 2009
35	Pompe centrifughe - arresto	9,00E-06		Oreda 2009
36	Pompe centrifughe – mancato avviamento	4,53E-06		Oreda 2009
37	Pompe alternative - arresto	5,73E-06		Oreda 2002
38	Pompe alternative- mancato avviamento	1,02E-06		Oreda 2002
39	Pompe centrifughe – tenuta singola	5,7E-08		HSE (diametro equivalente a foro)
40	Pompe centrifughe – tenuta doppia	5,7E-09		HSE (diametro equivalente a foro)
41	Pulsante a quadro (mancato invio segnale)	8,00E-07		Exida 2007
42	Registratore a quadro (analogico)	2,50E-05		CCPS - mean value
43	Relay di protezione	9,00E-07		Exida 2007
44	Rilevatore di fiamma (valido sia per IR che per UV)	1,80E-06		Exida 2007
45	Sensore di fiamma (fotocellula)	1,50E-06		Exida 2007



N.	Tipologia Componente	Rateo di Guasto (occasioni/ora)	Indisponibilità (-)	Riferimento
46	Rilevatore di fumo	1,65E-06		Exida 2007
47	Rilevatore di gas (catalitico)	1,75E-06		Exida 2007
48	Rilevatore di gas (IR)	8,00-07		Exida 2007
49	Scambiatori (rottura tubi)	3,54E-08		DNV
50	Sensore di numero di giri (basato su effetto Hall)	2,5E-06		NAVY
51	Sensore di vibrazione (per alberi di macchine rotanti)	1,00E-06		Eng. Est. (valore intermedio tra ratei generici Exida 2007)
52	Sensore stato di motore elettrico (sensore di coppia)	4,5E-06		NAVY
53	Sensore di spostamento assiale (per alberi di macchine rotanti)	2,5E-06		NAVY
54	Sensore di spostamento radiale (per alberi di macchine rotanti)	3,5E-06		NAVY
55	Switch di flusso	3,60E-06		Exida 2007
56	Switch di flusso - pneumatico	2,56E-06		CCPS - medio tra mean e lower
57	Switch di livello	2,25E-07		Exida 2007
58	Switch di livello - pneumatico	2,45E-07		CCPS - medio tra mean e lower
59	Switch di posizione valvola	3,60E-06		Exida 2007
60	Switch di pressione	3,60E-06		Exida 2007
61	Switch di pressione - pneumatico	3,37E-06		CCPS - medio tra mean e lower
62	Switch di temperatura	3,60E-06		Exida 2007
63	Switch di temperatura - pneumatico	2,33E-06		CCPS - medio tra mean e lower
64	Tetto galleggiante - affondamento	1,6E-03		OGP
65	Trasmittitore di flusso - delta P	1,50E-06		Sintef 2006
66	Trasmittitore di flusso - rotometro	9,00E-07		Exida 2007
67	Trasmittitore di flusso pneumatico	1,93E-06		CCPS - lower value
68	Trasmittitore di livello a galleggiante	1,25E-06		Exida 2007
69	Trasmittitore di livello - DeltaP	1,20E-06		Exida 2007 (Eng. Est.)



N.	Tipologia Componente	Rateo di Guasto (occasioni/ora)	Indisponibilità (-)	Riferimento
70	Trasmettitore di livello - galleggiante	3,25E-06		CCPS - lower value
71	Trasmettitore di livello - radar	1,20E-06		Exida 2007
72	Trasmettitore di livello elettronico - capacitivo	4,36E-07		CCPS - lower value
73	Trasmettitore di livello pneumatico - delta P	2,18E-06		CCPS - lower value
74	Trasmettitore di pressione	6,00E-07		Exida 2007
75	Trasmettitore di pressione pneumatico	1,60E-07		CCPS - lower value
76	Trasmettitore di pressione differenziale	1,20E-06		Exida 2007 (Eng. Est.)
77	Trasmettitore di temperatura	7,00E-07		Exida 2007
78	Trasmissione meccanica (da motore elettrici ad alberi)	2,32E-06		Oreda 2009
79	Turbina azionamento pompa - arresto	5,39E-06		Oreda 2009
80	Turbina azionamento pompa - mancato avviamento	1,08E-05		Oreda 2009
81	Valvola autoregolatrice di pressione	2,11E-06		Oreda 2009
82	Valvola di blocco motorizzata - azione spuria	1,36E-06		CCPS - mean value
83	Valvola di blocco motorizzata - mancata azione	6,00E-07		Exida 2007
84	Valvola di blocco pneumatica - azione spuria	1,00E-06		Exida 2007 (inclusa solenoide)
85	Valvola di blocco pneumatica - mancata azione	1,29E-06	2,83E-03	Exida 2007 (inclusa solenoide) / CCPS - mean value
86	Valvola di emergenza (azione spuria)	6,10E-07		Oreda 2002 (mean value)
87	Valvola di non ritorno (mancata tenuta non per prevenire la sovrappressione)	4,56E-06		Oreda 2009
88	Valvola di regolazione - bloccata aperta (FC) e viceversa	2,74E-07		CCPS - lower value
89	Valvola di regolazione - bloccata chiusa (FC) e viceversa	3,80E-06		Sintef 2006
90	Valvola di sicurezza (trafilamento)	1,17E-06		Oreda 2002
91	Valvola di sicurezza (mancata apertura)	3,30E-07		Oreda 2002 (lower value)



N.	Tipologia Componente	Rateo di Guasto (occasioni/ora)	Indisponibilità (-)	Riferimento
92	Valvola di sicurezza (mancata richiusura dopo scatto)	6,00E-07		Oreda 2002
93	Valvola manuale - mancata tenuta	6,50E-07		Oreda 2009
94	Ventilatore - arresto durante la marcia	9,10E-06		CCPS - mean value
95	Ventilatore - mancato avviamento su richiesta	9,00E-07	7,88E-03	CCPS - mean value
96	Errore umano Operazione di messa in sicurezza da sala controllo gestita mediante apposita procedura di sicurezza.		1,00E-03	OGP
97	Errore umano Operazione di routine in campo conosciuta e regolata da procedura.		3,00E-03	OGP
98	Errore umano Operazione in campo non routinaria anche se regolata da procedura.		1,00E-02	OGP
99	Errore umano Operazione di messa in sicurezza da sala controllo a seguito di allarme senza apposita procedura di sicurezza.		1,00E-02	OGP
100	Errore umano: Mancato/errato intervento in campo a seguito di allarme		3,00E-02	OGP
101	Errore umano: Mancato/errato intervento in campo per attività complessa e sotto stress a seguito di allarme		1,00E-01	OGP
102	Errore umano Generico errore in condizioni di forte stress a seguito di emergenza		3,00E-01	OGP

Legenda:

CCPS Process Equipment reliability data base.

Exida 2007 Safety Equipment Reliability Handbook.

Lees Loss prevention in process industry, F.P. Lees, 1996.

CW Cremer and Warner Report.

Oreda 2002 Offshore Reliability Data.

Sintef 2006 The Foundation for Scientific and Industrial Research.



HSE	Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (28/06/2012).	DNV	Failure frequency guidance – DNV 2013.
OGP	International Association of Oil & Gas producers	NAVY	Handbook off reliability prediction procedure for mechanical equipment

Tabella 3 – Ratei di guasto



In aggiunta ai ratei di guasto riportati in Tabella 3, è comunque necessario precisare che sono disponibili ulteriori banche dati, contenenti ratei di guasto relativi agli stessi componenti: qualora il componente in esame sia caratterizzato da specificità nella propria realizzazione/impiego, in base alle informazioni fornite dallo stabilimento, è possibile fare riferimento a fonti alternative a quelle citate.

L'utilizzo di banche dati non ricomprese tra quelle indicate in Tabella 3 deve essere opportunamente documentato, riportando il riferimento tecnico da cui sono state prese le informazioni di partenza.

In generale, questo approccio risulta particolarmente utile nel caso in cui il rateo di guasto sia direttamente associato ad una dimensione equivalente di rilascio (es. rilasci da accoppiamenti flangiati note le dimensioni caratteristiche della flangia).

6.2.4 Dimensione delle perdite da eventi di processo

Per la definizione delle dimensioni di una perdita originata da cause di processo, in relazione alla molteplicità di cause e alle caratteristiche di design dell'apparecchiatura sede dell'evento, non è possibile generalizzare e definire univocamente una dimensione / forma della perdita. Occorre quindi analizzare in dettaglio cause, conseguenze e caratteristiche costruttive dell'apparecchiatura.

Le principali cause di processo in grado di generale scenari incidentali possono essere ricondotti, generalmente, alle seguenti condizioni operative :

- **Sovrapressione:**
innalzamento della pressione operativa fino al superamento delle condizioni di design, con conseguente danneggiamento meccanico della linea/apparecchiatura.
- **Sovratemperatura:**
innalzamento della temperatura operativa fino al superamento delle condizioni di design, con conseguente danneggiamento meccanico della linea/apparecchiatura.
- **Sovrariempimento:**
innalzamento del livello fino al superamento del livello operativo, con possibile sovrappressione idraulica e conseguente danneggiamento meccanico della linea/apparecchiatura.

In mancanza di una trattazione di dettaglio relativamente agli effetti delle condizioni anomale, (comunque auspicabile), per la definizione della dimensione della perdita è possibile considerare le seguenti assunzioni, in relazione alla causa iniziatrice:

- **Sovrapressione:** considerare come dimensione della perdita il diametro equivalente all'orifizio della valvola di sicurezza;
- **Sovratemperatura:** stress termici localizzati possono determinare il cedimento di uno stacco di piccolo diametro, al quale si associa, in linea generale, un valore pari a 25 mm;
- **Sovrariempimento:** considerare la portata in ingresso e definire un diametro equivalente che permetta di smaltire l'eccesso di portata.



Più in generale, in mancanza di studi specifici circa gli effetti dell'anomalia è possibile selezionare come dimensione della perdita un foro di 25 mm, pari alla rottura di uno stacco di piccolo diametro o un altro elemento debole del circuito.



6.3 Eventi incidentali di natura Random

6.3.1 Aspetti generali

L'approccio metodologico presentato è basato su un approfondito esame di dati e statistiche presenti nelle banche di dati storici referenziate e nelle fonti bibliografiche citate nel seguito.

Sono illustrati i seguenti parametri principali per la successiva valutazione delle conseguenze di una eventuale perdita:

- numero stimato di perdite di contenimento/anno (frequenza) per unità di lunghezza di tubazione, quale combinazione di:
 - selezione della frequenza base di perdita,
 - applicazione di fattori mitigativi, volti a prevenire le principali cause di perdita ;
- dimensioni della perdita in termini di diametro equivalente della superficie di efflusso (differenziata in cricca, foro, sezione piena).

Ambedue i parametri sono messi in correlazione al diametro nominale della linea.

La frequenza di perdita di contenimento è basata sui valori derivati da banca dati specializzata. Tali valori sono opportunamente tarati per tenere conto della reale configurazione impiantistica e gestionale dello stabilimento.

In particolare, rispetto alla frequenza da banca dati, F_{base} , sono definiti due coefficienti correttivi, così come indicato nella formula che segue:

$$F_{corretta} = F_{base} \times F_{SGS} \times F_{TEC}$$

Dove:

- $F_{corretta}$: Frequenza specifica per il sito da applicare nell'analisi di rischio
- F_{base} : Frequenza base di perdita di contenimento;
- F_{SGS} : Fattore di correzione relativo all'adozione di un sistema di gestione della sicurezza;
- F_{TEC} : Fattore di correzione relativo a misure impiantistiche/gestionali;

Nei paragrafi che seguono sono illustrati gli elementi di base relativi alla selezione dei valori da associare ai fattori gestionali e tecnici dello stabilimento.

6.3.2 Fattore gestionale F_{SGS}

Per il fattore del Sistema di Gestione valgono le seguenti indicazioni:

- $F_{SGS} = 0,1$ nel caso che lo Stabilimento sia dotato di un Sistema di Gestione della Sicurezza conforme ai requisiti di cui all'Allegato III ed Allegato B al D.Lgs. 105/2015, la cui conformità sia attestata sulla base degli esiti di verifiche periodiche condotte dalle Autorità competenti



(periodicità non superiore a 5 anni) ed audit, volontarie e specifiche, condotte da Enti Indipendenti, con periodicità non superiore a tre anni.

- $F_{SGS} = 0,5$ nel caso che lo stabilimento sia dotato di un Sistema di Gestione della Sicurezza conforme ai requisiti di cui all'Allegato III ed Allegato B al D.Lgs. 105/2015, la cui conformità sia attestata sulla base degli esiti di verifiche periodiche condotte dalle Autorità competenti (periodicità non superiore a 5 anni).
- $F_{SGS} = 1$ nel caso che lo Stabilimento sia dotato di un Sistema di Gestione della Sicurezza conforme ai requisiti di cui all'Allegato III ed Allegato B al D.Lgs. 105/2015, la cui conformità non sia attestata da verifiche periodiche condotte da Enti Indipendenti (o in caso di periodicità eccedente i 5 anni).
- $F_{SGS} = 10$ nel caso che lo Stabilimento non sia dotato di un Sistema di Gestione della Sicurezza o sia dotato di un Sistema di Gestione della Sicurezza non conforme ai requisiti di cui all'Allegato III ed Allegato B al D.Lgs. 105/2015.

6.3.3 Fattore tecnico F_{TEC}

La ricerca bibliografica ha consentito di identificare uno specifico studio che pone in correlazione la frequenza di rilascio con la distribuzione delle possibili cause di guasto, associando a ciascuna causa principale il relativo peso nella frequenza complessiva. Lo studio di riferimento è H.M. Thomas: "Pipe and vessel failure probability" [41].

La distribuzione proposta da tale autore è riportata nella seguente tabella:

	Causa di guasto	Peso sul rilascio da	
		"cricca" e "foro"	perdita totale
1	Produzione ed installazione (Materiale difettoso - difetti nelle saldature)	21%	30%
2	Scelta del materiale	29%	14%
3	Fatica (vibrazioni, cicli)	12%	19%
4	Dilatazioni, sforzi di flessione	3%	5%
5	Corrosione - erosione	25%	8%
6	Utilizzo improprio - Errore operativo	2%	16%
7	Shock termici e meccanici	1%	4%
8	Altro	7%	4%

Tabella 4 – Distribuzione delle cause di perdita

A ciascuna causa di guasto individuata nella precedente tabella può essere associato uno specifico fattore correttivo che dovrà tener conto, quantitativamente, della esistenza, o meno, di specifiche misure tecnico/gestionali poste in essere a fronte della causa stessa .



Tali misure possono essere superiori rispetto a misure preventive definibili come standard (ed in tal caso lo specifico fattore correttivo potrà ridurre l'incidenza della causa esaminata sulla frequenza complessiva di perdita/rottura per l'elemento esaminato), od al di sotto dello standard (in tal caso il fattore correttivo ne terrà conto aumentando l'incidenza probabilistica determinata dalla causa in oggetto ai fini del valore finale della frequenza di perdita/rottura).

Non è prevista l'applicazione di alcun fattore correttivo in caso di misure preventive definibili come standard.

Esistono 2 metodi differenti, l'uno alternativo all'altro, per la determinazione del fattore correttivo F_{TEC} e sono descritti di seguito.

METODO "LINEARE"

Il metodo consente di tenere conto delle principali misure che possono intervenire a ridurre la frequenza di accadimento per ciascuna delle cause principali di rilascio definite in Tabella 4.

A ciascuna misura viene assegnato uno specifico fattore probabilistico che consente di ridurre la frequenza complessiva.

In relazione alla configurazione prospettata dei collegamenti tra i diversi eventi, il valore di indisponibilità complessivo, che corrisponde al valore di riduzione della frequenza, è ricavato da particolari formule, suddivise per il caso di "cricca" o "foro" e per il caso di rottura totale, che sommano i contributi relativi a ciascuna causa tenendo conto, caso per caso, dell'eventuale riduzione della frequenza dovuta alla disponibilità di opportune misure di protezione.

I fattori così calcolati, devono essere applicati alle frequenza base al fine di ottenere il valore aggiornato.

METODO "LOGARITMICO"

La determinazione del fattore correttivo F_{TEC} si basa sulla seguente formula, derivata da studi internazionali, con particolare riferimento a DNV Technica, a cura di John Spouge – "A guide to quantitative risk assessment for offshore installations" – CMPT, 1999 [21].

$$\log(F_{TEC}) = \sum a(i) x(i)$$

Dove:

- F_{TEC} : Fattore di correzione relativo a misure impiantistiche/gestionali;
- $a(i)$ = Peso del singolo componente causale che determina la perdita (distribuzione della probabilità);
- $x(i)$ = Fattore correttivo specifico attribuito a ciascuna componente causale (buono= -1, medio=0, carente=+1)



L'assegnazione dei fattori $x(i)$ può essere effettuata solo nei casi in cui le misure di sicurezza siano individuabili su base accertabile e documentata e possa esserne considerata l'adeguatezza in riferimento alla specifica causa di perdita. Per quanto riguarda la categoria di cause indicata come "altre cause" in tabella (categoria che comprende perdite/rotture per le quali non è menzionata una causa univoca), non è prevista l'applicazione di fattori correttivi specifici, valendo, comunque, il fattore correttivo generale legato alla conformità del Sistema di Gestione della Sicurezza ai requisiti normativi F_{SGS} .

CONSIDERAZIONI GENERALI

In generale è da preferirsi l'impiego del metodo "logaritmico" in quanto basato su studi scientifici più recenti [21] pertanto le descrizioni di seguito riportate sono riferite a quest'ultimo.

Il metodo "lineare" è comunque stato applicato ed approvato a livello degli organi competenti responsabili per l'istruttoria sul Rapporto di Sicurezza e pertanto può essere utilizzato senza problemi.

La presente linea guida illustra il metodo logaritmico.

La descrizione di dettaglio del metodo "lineare", in accordo ai contenuti presentati nella presente linea guida, deve essere inserita all'interno della documentazione dell'analisi di rischio, qualora l'analisi sia da sviluppare secondo tale approccio.

6.3.1.1. Produzione ed installazione

L'incidenza di guasti dovuti alla produzione ed installazione di nuove linee o apparecchiature (sia per impianti nuovi che per modifiche agli impianti esistenti) può essere ridotta in caso di disponibilità di rigorose procedure per la modalità di posa in opera delle linee e delle apparecchiature e per i controlli di integrità sulle saldature quali la radiografia, verifiche con liquidi penetranti o altre verifiche non distruttive. I fattori presi a riferimento sono riportati nella tabella che segue.

	Misura tecnica	Fattore
1	Esecuzione estensiva di controlli di integrità	-1
2	Esecuzione parziale di controlli di integrità	0
3	Nessuna esecuzione di controlli di integrità	1

Tabella 5 – Fattori per produzione ed installazione

6.3.1.2. Scelta del materiale

L'incidenza di guasti dovuti alla scelta del materiale per nuove linee o apparecchiature (sia per impianti nuovi che per modifiche agli impianti esistenti) può essere ridotta nel caso in cui siano previste rigorose



procedure per il controllo della progettazione, mediante la conduzione di specifiche analisi di rischio su tutti gli elementi delle nuove unità. I fattori presi a riferimento sono riportati nella tabella che segue.

	Misura tecnica	Fattore
1	Applicazione analisi di rischio a tutti i nuovi elementi della unità nuova/modificata	-1
2	Applicazione analisi di rischio soltanto a elementi principali della unità nuova/modificata	0
3	Nessuna applicazione analisi di rischio per unità nuova/modificata	1

Tabella 6 – Fattori per scelta del materiale

6.3.1.3. Fatica

La rottura per fatica dipende soprattutto dallo stress che subisce la tubazione in termini di variazioni cicliche delle condizioni operative oppure per vibrazioni. Sono state identificate alcune apparecchiature che per tipologia possono determinare sollecitazioni cicliche. I fattori presi a riferimento sono riportati nella tabella che segue.

	Misura tecnica	Fattore
1	Linea non connessa a compressori, pompe alternative o altre apparecchiature rotanti	-1
2	Linea potenzialmente soggetta comunque a sollecitazioni cicliche	0
3	Linea posta in mandata compressori, pompe alternative o altre apparecchiature rotanti	1

Tabella 7 – Fattori per fatica

6.3.1.4. Dilatazione, sforzi di flessione

Tensioni che possono danneggiare la struttura della tubazione sono associate normalmente a sollecitazioni per temperatura oppure per pressione. Queste condizioni sono identificate principalmente nei transitori di avviamento e per quelle linee connesse a circuiti che prevedono reazioni, scambi termici o che operano ad elevata pressione. I fattori presi a riferimento sono riportati nella tabella che segue.



	Misura tecnica	Fattore
1	Linea non connessa a circuiti di reazione o di scambio termico	-1
2	Linea esposta a cicli termici non rilevanti	0
3	Linea inserita all'interno di circuiti di reazione o di scambio termico	1

Tabella 8 – Fattori per dilatazione, sforzi e flessione

6.3.1.5. Corrosione - erosione

La corrosione è un fenomeno progressivo che si può sviluppare all'interno oppure all'esterno della tubazione. Nella identificazione delle criticità occorre pertanto verificare la natura del fluido di processo (corrosione interna) e la presenza di coibentazione (che potrebbe rendere più complessa l'ispezione delle linee). La misura di riduzione del rischio è associata all'esecuzione di un piano di ispezione periodica delle linee con registrazione degli esiti. La tabella che segue fornisce i parametri di riferimento. Tali fattori si applicano sia alla tipologia di rilascio da linea che al rilascio da accoppiamento flangiato/valvola. I fattori presi a riferimento sono riportati nella tabella che segue.

	Misura tecnica	Fattore
1	Linea non soggetta a corrosione interna e non coibentata	-1
2	Linea non soggetta a corrosione interna e coibentata o soggetta a corrosione interna e non coibentata	0
3	Linea soggetta a corrosione interna e coibentata	1

Tabella 9 – Fattori per corrosione e erosione

6.3.1.6. Utilizzo improprio – Errore operativo

La presente causa è connessa ad errore operativo nella gestione operativa degli impianti. Maggiori criticità sono incentrate in quegli impianti nei quali è richiesta maggiore operatività da parte degli addetti alla produzione, mentre impianti fortemente automatizzati comportano minori rischi di errore umano.

Elemento fondamentale, in ogni caso, risulta essere la disponibilità di un Manuale Operativo aggiornato e dettagliato che consenta di illustrare le manovre necessarie per far fronte alle varie condizioni operative, incluse le condizioni di anomalie, disservizi ed emergenze.

I fattori presi a riferimento sono riportati nella tabella che segue.



	Misura tecnica	Fattore
1	Impianto fortemente automatizzato	-1
2	Impianto che richiede frequenti manovre manuali con disponibilità di manuale operativo dettagliato	0
3	Impianto che richiede frequenti manovre manuali	1

Tabella 10 – Fattori per utilizzo improprio e errore operativo

6.3.1.7. Shock termici e meccanici

La presente tipologia di guasto è collegabile ad urti con mezzi mobili (shock meccanici) oppure esposizione ad irraggiamento per incendio (shock termici). In particolare risulta molto importante disporre di procedure per la regolamentazione dell'accesso con mezzi mobili nelle aree di impianto. I fattori presi a riferimento sono riportati nella tabella che segue.

	Misura tecnica	Fattore
1	Linea ubicata in aree lontane da percorsi dei mezzi mobili	-1
2	Linea potenzialmente esposta all'urto da mezzi mobili in aree con limitato traffico di veicoli	0
3	Linea potenzialmente esposta all'urto da mezzi mobili in aree con intenso traffico di veicoli	1

Tabella 11 – Fattori per shock termici e meccanici

6.3.1.8. Altro

In relazione alla indeterminazione di tali cause, non è possibile, in generale, inserire alcun elemento correttivo.

In casi particolari, ove sussistano elementi oggettivi di procedure per la valutazione e la gestione di casi più specifici, è possibile effettuare una applicazione mirata per la riduzione dei ratei di guasto.

In particolare, si raccomanda la verifica della disponibilità di strutture tecniche dedicate espressamente alla gestione di particolari situazioni critiche, identificate in maniera sistematica mediante analisi preliminari.

I possibili elementi che possono essere inclusi nella categoria "Altro" sono i seguenti:

- eventi naturali gravi (quali inondazioni, terremoti, frane, ecc.);
- azioni da parte di terzi (quali sabotaggio, terrorismo, ecc.).



6.3.1.9. Valori da applicare

La tabella che sintetizza i valori da applicare in accordo alla metodologia è riportata nel seguito.

Frequenze di perdita per linee [occasioni/(anno-metro)]			
DN linea	Cricca	Foro	Rottura
< 1"	$8,7E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 2 mm max	$2,8E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 5 mm max	$8,7E-7 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = DN linea
1" – 2"	$8,7E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 5 mm	$2,8E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 15 mm	$8,7E-7 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = DN linea
3" – 6"	$5,2E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 5 mm	$1,7E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 25 mm	$2,6E-7 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = DN linea
8" – 14"	$2,6E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 10 mm	$8,3E-7 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 25 mm	$8,7E-8 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = DN linea
Maggiore di 14"	$2,6E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 15 mm	$8,3E-7 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 50 mm	$8,7E-8 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = DN linea

Tabella 12 – Frequenze di perdita per linee – Valori finali

6.3.4 Dimensione delle perdite da eventi di natura random

Nella letteratura specializzata è presente una vasta quantità di dati relativi alla perdita di contenimento da linee di processo in impianti chimici, petrolchimici e di raffinazione ed ai relativi valori di frequenza di accadimento. I dati riportati hanno tuttavia limiti di applicazione diretta, per le approssimazioni e le incertezze collegate ai vari fattori (incertezza nella definizione delle dimensioni della perdita, origine dei dati, età delle sorgenti ecc.)

È quindi indispensabile procedere ad uno studio comparato, selettivo ed analitico per ricondurre gli insiemi di dati disponibili a gruppi possibilmente omogenei di riferimento per la forma e la frequenza delle perdite (parametri di base), attraverso l'uso di interpretazioni ed elaborazioni, mirate e documentate.

Forma della perdita

Nel presente documento sono state scelte tre categorie: cricca (piccola perdita), foro (perdita significativa) e rottura piena (perdita catastrofica). La scelta adottata si pone peraltro all'interno del ventaglio di selezione adottato dalle banche di letteratura.

Le motivazioni per la selezione di tre categorie sono sostanzialmente riconducibili a:

- Possibilità di disporre di una gamma rappresentativa delle perdite random, in grado di consentire una analisi di rischio più flessibile, dettagliata ed estesa;



- Opportunità di definire un percorso maggiormente consono all'esperienza di esercizio, suffragata dalle indicazioni delle analisi storiche, che evidenziano, nella generalità dei casi, una progressione funzionale della perdita che inizia con aperture di piccole dimensioni e si sviluppa verso dimensioni più rilevanti, qualora non rilevata né controllata.

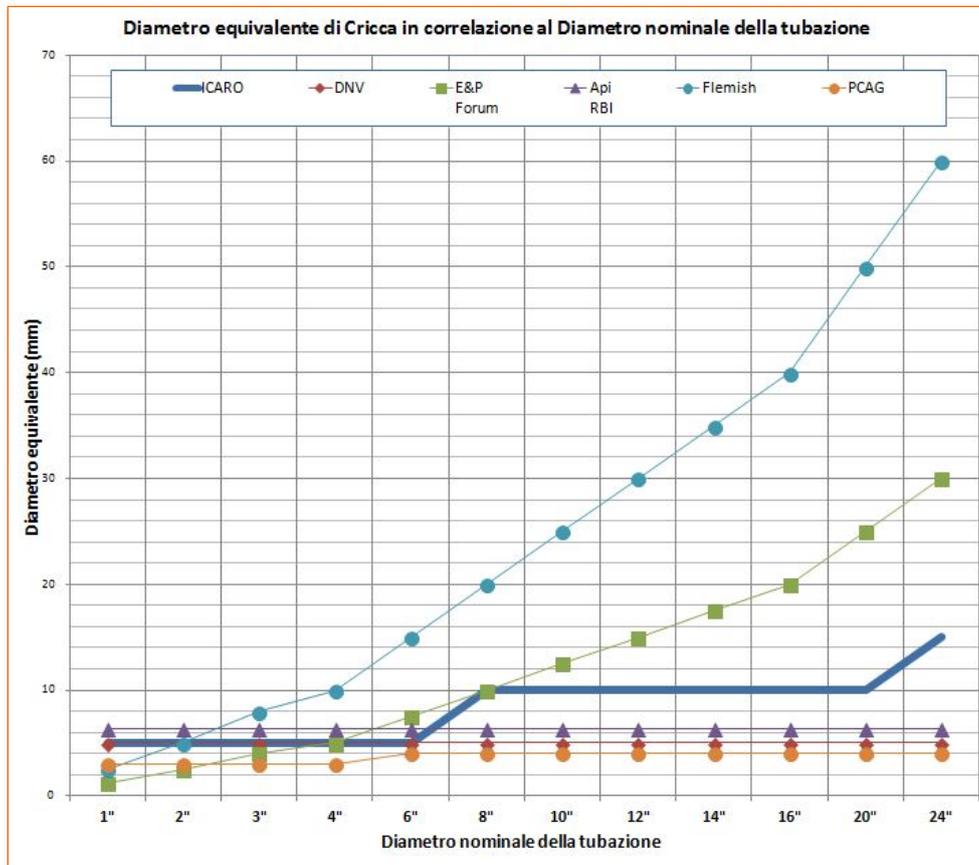
6.3.4.1 Cricca

Per il caso di Cricca, per le linee di piccolo diametro (non oltre i 6") è previsto un diametro equivalente pari a 5 mm. Tale diametro di perdita viene portato a 10 mm per linee da 6" a 20" e ulteriormente innalzato a 15 mm per la fascia di tubazioni con diametro di 24" o superiore.

Questo limite superiore di 15 mm alle dimensioni della cricca è stato adottato in base a considerazioni che fanno prevalere il significato di perdita limitata e di piccola entità rispetto a considerazioni di tipo meramente matematico (10% o 5% del DN) che portano in realtà a dimensioni ragguardevoli (fino a 60 mm di diametro, quasi un 3") certamente non ragionevolmente attribuibili ad una "cricca".

Come visibile nel successivo grafico, il criterio adottato nel presente Allegato è stato quello di adeguarsi, ai valori disponibili da banche dati referenziate, conservando tuttavia una logica concreta.

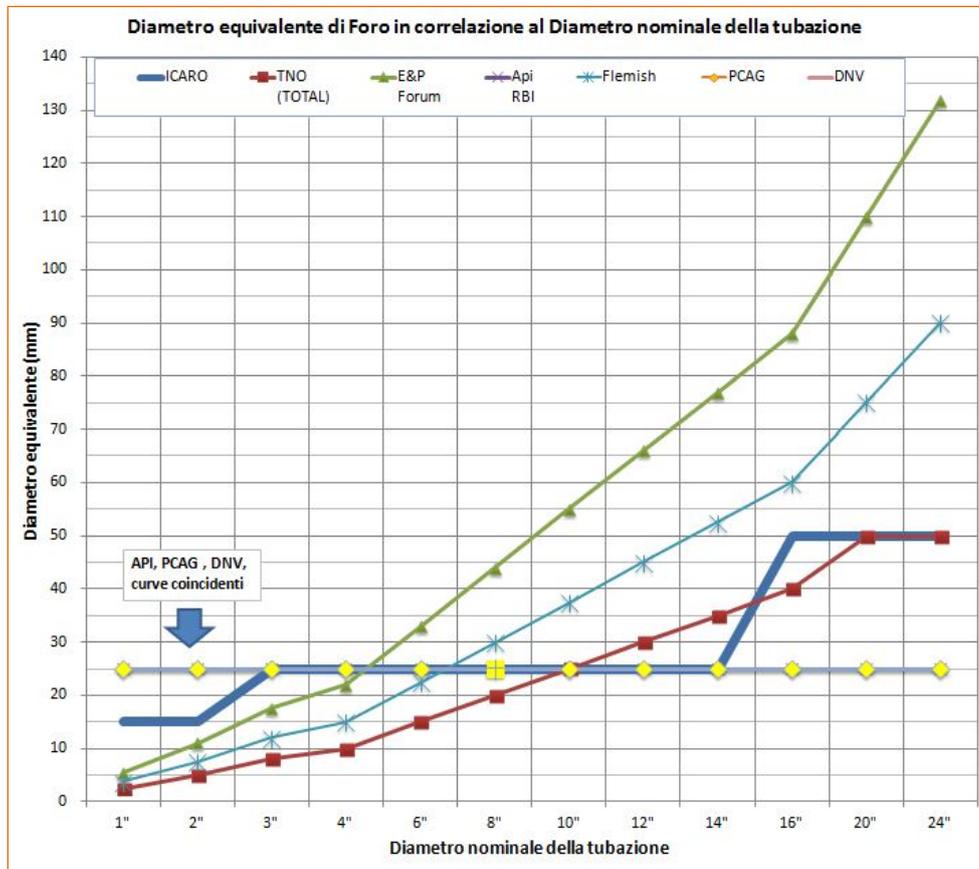
A tal proposito si osserva che la forma "cricca" adottata nel presente Allegato corrisponde alla "perdita significativa" classificata da Cremer & Warner. Questa fascia di dimensioni dell'apertura contiene in larga misura infatti quelle riportate nelle banche dati che distinguono le piccole perdite da quelle più consistenti. Le altre banche dati, consultate ma non richiamate nel grafico, risultano inutilizzabili nella classificazione e definizione delle piccole perdite, che, tuttavia, in termini di esperienza storica, risultano largamente preponderanti come occorrenza reale e che sono in generale alla radice di successivi sviluppi verso aperture più consistenti.



I punti di discontinuità sono rappresentati dai passaggi discreti (da 5 a 10 mm) fra i diametri di linea 6" e 8" e (da 10 a 15 mm) tra i diametri di linea 20" e 24" e tengono in considerazione l'aumento dei DN incrementando in modo ragionevole le dimensioni della perdita.

6.3.4.2 Foro

Per foro si intende una perdita di contenimento definibile come "media" o "significativa", superiore in dimensioni di apertura alla cricca e variabile fra 15 e 50 mm, in funzione del DN di linea. Questa definizione corrisponde nelle altre banche dati citate (6 banche su 8), alla perdita media od intermedia. Nei dettagli, con il termine foro viene considerata una perdita con diametro equivalente pari a 15 mm fino ad un DN pari a 2"; da 3" a 14" il diametro equivalente diviene pari a 25 mm (1"); al di sopra dei 16", infine, il diametro equivalente viene fatto pari a 50 mm (2").



Come visibile nel grafico sopra riportato, le dimensioni indicate per il foro, dai piccoli diametri fino ai 10", sono uguali o superiori a quelle indicate dalla maggioranza delle banche dati citate. A valori superiori del diametro di linea e fino a 10", le dimensioni indicate per il foro si mantengono superiori od uguali alle banche dati citate, con l'eccezione delle banche dati Flemish ed E&P Forum. Oltre i 10" di diametro di linea, infine, i valori scelti rimangono in questa situazione con qualche oscillazione rispetto a quelli espressi da TNO / TOTAL.

Anche in questo caso, pertanto, il criterio adottato pertanto è stato quello di adeguarsi, in termini conservativi, ai valori disponibili ed utilizzabili da banche dati referenziate.



6.3.4.3 Rottura piena

Nella presente linea guida sono state identificate come rotture piene o catastrofiche quelle aperture che comportano una perdita massiccia di contenuto in tempi brevi, e quindi riconducibili ad aperture di diametro equivalente variante fra il 45% ed il 100% del diametro della linea considerata. Nell'approccio metodologico adottato, pertanto, la forma "rottura piena" viene ad includere quelle forme di perdita che in alcune delle banche dati citate vengono definite come superiori alla media ed inferiori alla rottura totale ($D=DN$).

In accordo con i risultati dell'analisi storica, una tale forma di perdita è generalmente collegata ad uno sviluppo incontrollato di una forma minore iniziatrice, quale il foro. Al di là di casi eccezionali, legati a specificità di processo, come fluidi altamente corrosivi od erosivi, risulta estremamente improbabile che una perdita significativa, come un foro, passi inosservata per il tempo necessario a trasformarsi in perdita equivalente a rottura piena.

Le uniche cause credibili di rottura piena delle tubazioni sono ascrivibili a urti di automezzi o di apparecchiature durante sollevamenti. Per tali eventi, durante lo sviluppo dell'analisi di rischio l'analista dovrà accertarsi delle protezioni disponibili (guard rail stradali, procedure di sollevamento, procedura di carico/scarico nave, ecc.) e valutare, per ciascun caso specifico, la necessità di sviluppare un evento incidentale da urto in grado di generare una rottura totale.

6.3.4.4 Depositi di GPL

Per quanto riguarda la definizione delle dimensioni delle perdite, che possono verificarsi presso i depositi di gas di petrolio liquefatto (G.P.L.), l'Appendice III di cui all'Allegato del D.M. 15/05/1996 considera marginale il rischio derivante da rottura di un serbatoio, tubazione e macchinario di movimentazione oltre un certo valore di diametro in base alla categoria di appartenenza del deposito (A, B, C) ai sensi dello stesso decreto.

I valori sopra citati sono riportati in Tabella 13 in corrispondenza della classe di appartenenza del deposito.

Categoria unità logica	Diametro (in.)
A	2
B	3
C	4

Tabella 13 – Diametri equivalenti di efflusso massimi per categoria di unità logica ai sensi del D.M. 15/05/1996

Questo approccio può essere adottato a seconda delle caratteristiche (tipologia delle installazioni, specifiche procedure operative) del deposito di G.P.L. in esame in accordo a quanto definito nel D.M. 15/05/1996.



6.3.5 Frequenza della perdita di natura random

Per quanto concerne le frequenze da attribuire alle singole forme di perdita, nel presente documento è stata individuata come fonte di riferimento principale lo studio su Rijnmond [44], quale base di molte elaborazioni o rapporti presenti in altre fonti referenziate e citate.

La fonte di riferimento fornisce informazioni per quanto riguarda la casistica relativa alla perdita definita come “significativa” ed alla “rottura totale”. Le dimensioni che vengono attribuite alla perdita significativa nello studio (5-15 mm) corrispondono peraltro alla forma “cricca”, come definita in precedenza (criterio conservativo).

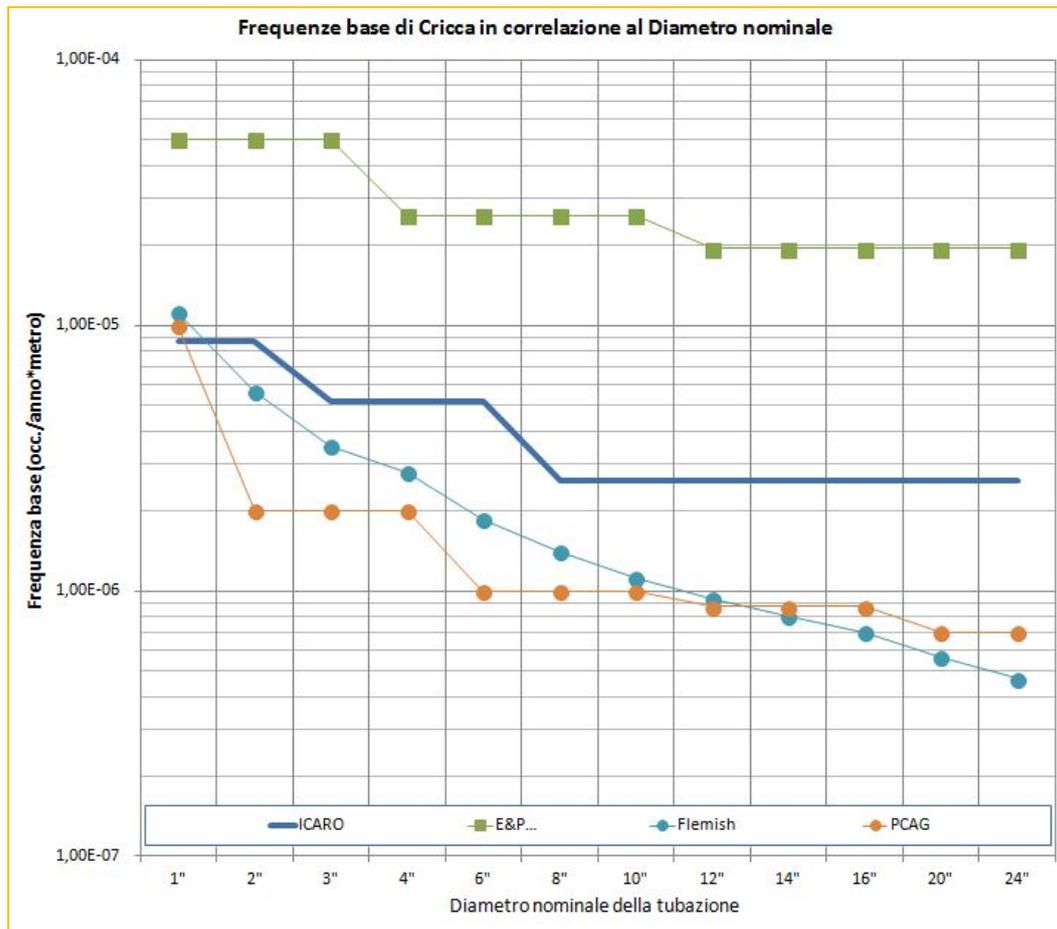
Frequenza perdite indicate da Cremer & Warner [occasioni/(anno-metro)]		
DN linea	Perdita significativa (5-15 mm)	Rottura (D=DN)
1" - 2"	8,7E-6	8,7E-7
3" - 6"	5,2E-6	2,6E-7
Maggiore di 6"	2,6E-6	8,7E-8

6.3.5.1 Cricca

Per la forma definita come piccola perdita o cricca, la scelta dello studio su Rijnmond come riferimento per le frequenze di accadimento associate alle perdite random, porta a selezionare i seguenti valori delle frequenze di base:

- 8,7E-6 occasioni/(anno * metro di linea) per diametri nominali di linea fino a 2";
- 5,2E-6 occasioni/(anno * metro di linea) per diametri nominali di linea superiori ai 2" e fino a 6";
- 2,6E-6 occasioni/(anno * metro di linea) per diametri nominali di linea superiori ai 6".

Il confronto con altre fonti di riferimento disponibili per il caso in esame porta al grafico sotto riportato.



Come visibile nel grafico sopra riportato, le frequenze assunte nel presente documento come riferimento per la cricca ("piccola perdita") risultano allineate con la maggioranza delle banche dati considerate.

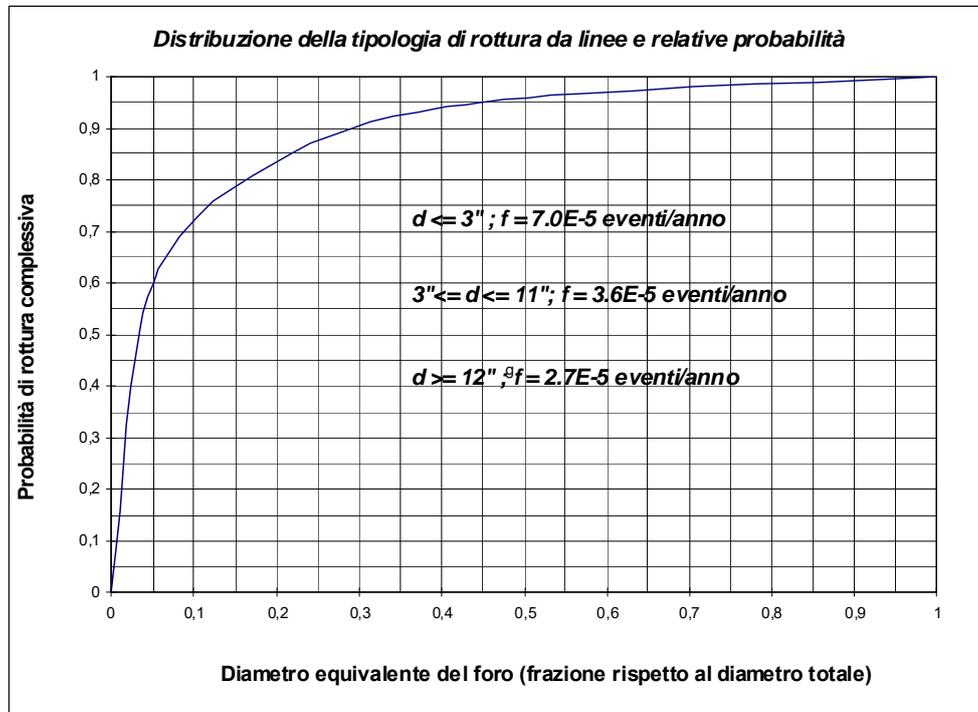
6.3.5.2 Foro

Nello studio Cremer & Warner non è considerata una forma di apertura/perdita intermedia fra quella minore (considerata come cricca in questo documento) e la rottura piena. Per l'ottenimento delle frequenze per tale forma, è stato elaborato uno specifico metodo.

Per attribuire un valore di frequenza di base alla forma "foro", ovvero alle aperture con diametro variante fra 15 e 50 mm, si fa ricorso alla distribuzione probabilistica delle tipologie di rotture (esprese come frazione del diametro equivalente rispetto al diametro esterno della linea), ricavabile unicamente dalla fonte E&P Forum [27].



L'andamento della distribuzione è riportato nella successiva figura ed è valido indipendentemente dal diametro esterno della linea.



In relazione all'andamento della curva, i valori probabilistici che possono essere assegnati alla forma di perdita sono riportati nella tabella che segue.

Forma della perdita	Intervallo di rappresentatività	Probabilità di accadimento
Cricca	0 – 10% DN	0,72
Foro	10 – 45% DN	0,23
Lesioni maggiori e rottura	45 – 100% DN	0,05

Nel grafico sono evidenziati i seguenti aspetti principali:

- la probabilità di rilascio è maggiore per le perdite di piccole dimensioni (ad esempio è possibile asserire che perdite con diametri equivalenti inferiori od uguali al 5 % caratterizzano circa il 60% dei casi, mentre perdite con diametri equivalenti inferiori od uguali al 10% del diametro della linea, caratterizzano circa il 72% dei casi);



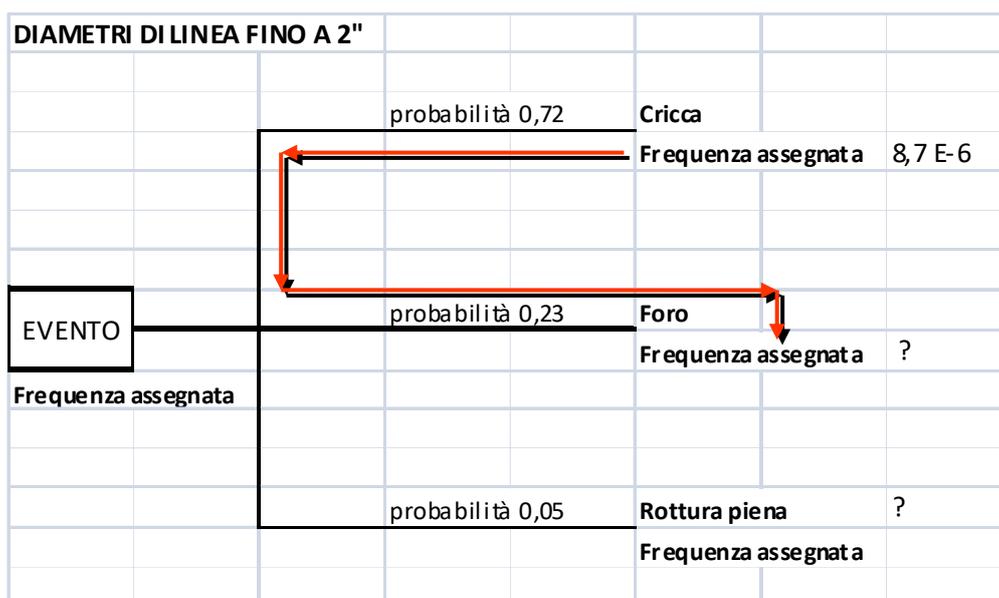
- viene definita una frequenza complessiva¹ (tutte le forme) di rilascio in funzione del diametro della linea associata: maggiore è il diametro, minore è la frequenza complessiva attesa.

In sintesi, utilizzando la distribuzione della tipologia di rottura riportata dalla E&P Forum, nell'ipotesi che le condizioni operative più gravose presenti nell' off-shore non alterino la distribuzione delle forme di perdita rispetto a situazioni on-shore, è possibile associare una probabilità di accadimento per ciascuna forma o modalità di perdita, indipendentemente dal diametro della linea.

In particolare, viene ricavata la seguente distribuzione:

- il 72% delle perdite da linea può essere ricondotto alla modalità "Cricca";
- il 23% delle perdite da linea può essere ricondotto alla modalità "Foro";
- il 5% delle perdite da linea può essere ricondotto alla "Rottura piena" o assimilabile.

Sulla base di questa distribuzione si può costruire il seguente albero logico (applicato nell'esempio ad una linea di piccolo diametro, fino a 2"):



La frequenza del caso "foro" può essere ricavata dalla frequenza dell'evento base (frequenza complessiva, per tutte le forme di perdita) moltiplicata per la specifica probabilità relativa (foro: 0,23).

A sua volta, la frequenza complessiva dell'evento base può ricavarsi dal prodotto della probabilità specifica della cricca (0,72) per la frequenza assegnata alla forma cricca da Cremer & Warner (8,7E-06 occ/(anno · m)).

¹ Questo valore numerico non viene utilizzato nel presente Allegato, in quanto, come indicato, si preferisce il riferimento specifico allo studio su Rjinmond, che individua frequenze caratterizzanti forme più specifiche (significativa e rottura piena) anziché fissare una frequenza complessiva.



La frequenza dell'evento "foro" è quindi ricavabile a ritroso dalla seguente correlazione:

$$\text{Frequenza Cricca} / \text{Probabilità Cricca} = \text{Frequenza evento} = \text{Frequenza Foro} / \text{Probabilità Foro}$$



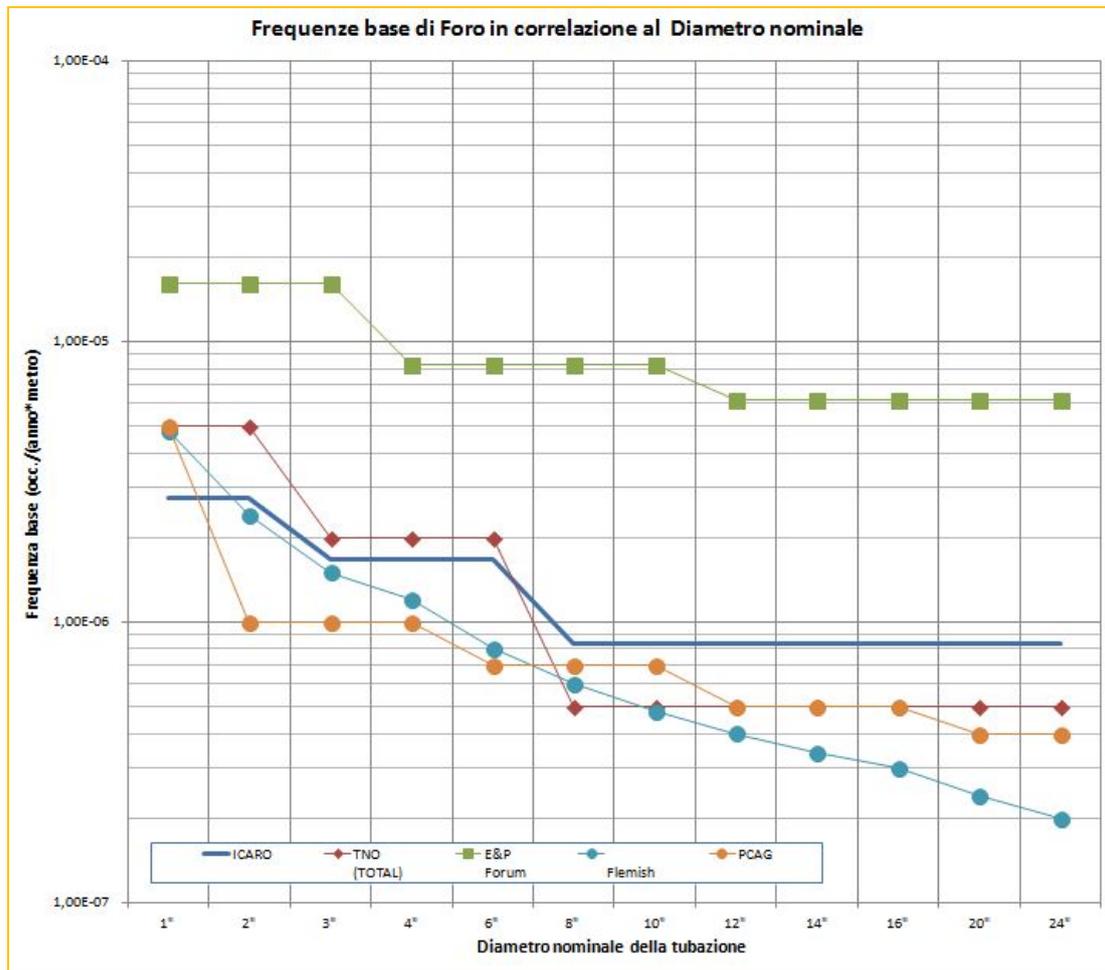
La correlazione può essere espressa come:

$$\text{Frequenza Foro} = \frac{\text{Probabilità Foro} \times \text{Frequenza Cricca}}{\text{Probabilità Cricca}}$$

La tabella che segue integra, pertanto, la tabella di partenza, con l'inserimento della frequenza relativa al "foro".

Frequenze di perdita per linee [occasioni/(anno-metro)]			
DN linea	Cricca	Foro	Rottura
1" - 2"	8,7E-6	2,8E-6	8,7E-7
3" - 6"	5,2E-6	1,7E-6	2,6E-7
Maggiore di 6"	2,6E-6	8,3E-7	8,7E-8

Le frequenze di base assunte nel presente documento come riferimento per il foro ("perdita significativa") risultano allineate rispetto ai valori di riferimento forniti dalle banche dati considerate. Fa eccezione, anche in questo caso, il dato fornito da E&P Forum che, comunque, va ricordato, si riferisce in particolare alle installazioni off-shore. Nel grafico seguente viene presentato il posizionamento dei valori di frequenza assunti nel presente Allegato per il foro a confronto con altre banche dati.



Come si evince dal grafico, le frequenze di base (non corrette) assunte nel presente Allegato come riferimento per la rottura totale risultano sostanzialmente allineate con i valori di riferimento forniti dalle banche dati considerate.

6.3.5.3 Rottura piena

Nel presente documento sono identificate come "rotture piene" o catastrofiche quelle aperture che comportano una perdita massiccia di contenuto in tempi brevi, e quindi riconducibili ad aperture di diametro equivalente variante fra il 45% ed il 100% del diametro della linea considerata.

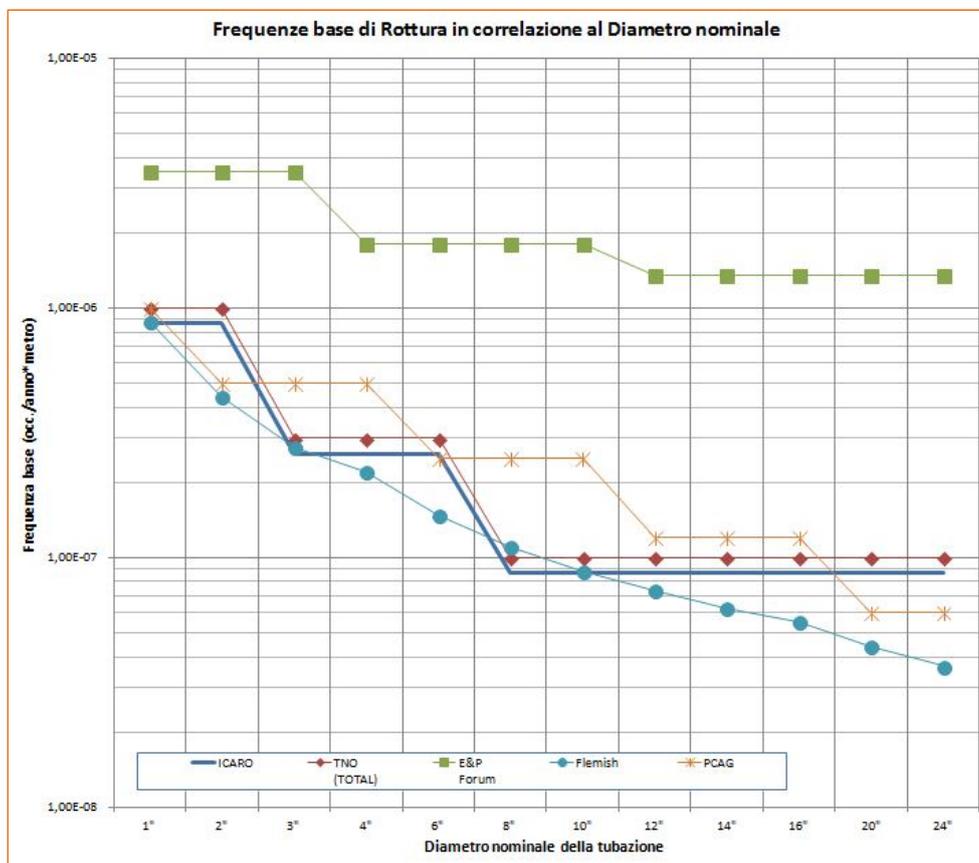
Come in precedenza riportato, nell'esperienza operativa tale forma di perdita è generalmente collegata ad uno sviluppo incontrollato di una forma minore iniziatrice, quale il foro.

Al di là di casi eccezionali, legati a specificità di processo, come fluidi altamente corrosivi od erosivi, peraltro non particolarmente presenti negli stabilimenti, risulta estremamente improbabile che una



perdita significativa, come un foro, passi inosservata per il tempo necessario a trasformarsi in perdita equivalente a rottura piena. Per questo motivo ed in base alla propria esperienza, nel presente documento è stata ritenuta in generale estremamente remota l'occorrenza di una rottura piena senza passare prima attraverso forme più ridotte di perdita.

La frequenza di base, desunta da Cremer & Warner, si intende pertanto come riferimento per i casi particolari in cui una rottura piena od assimilabile sia ragionevolmente ipotizzabile, come ad esempio in caso di urti di automezzi su linee/apparecchiature. Nel grafico seguente si riporta un confronto fra i valori di frequenza adottati nel presente Allegato per la rottura piena od assimilabile con quelli indicati da altre banche dati.





6.4. Sintesi finale sui parametri di base selezionati

In relazione a quanto descritto nei precedenti capitoli, di seguito si riportano le tabelle finali di sintesi, applicabili nello sviluppo di un'analisi di rischio.

Classificazione delle forme di perdita in base al diametro equivalente

Forme di perdita			
Forma	CRICCA	FORO	ROTTURA
Dimensioni (D)	5-15 mm	15-25 mm	D = 45%-100% DN linea

Distribuzione dei diametri equivalenti per forma della perdita e DN linea

Diametri equivalenti per forma della perdita e DN linea				
DN linea (mm)	≤ 50	75 - 150	200 - 350	> 350
	Diametri equivalenti della perdita in mm			
CRICCA	5	5	10	15
FORO	15	25	25	25
ROTTURA	Da valutare; in tutti i casi il valore max è pari al DN linea			

Frequenza base della perdita

Come illustrato in precedenza, i valori di base del binomio forma/ frequenza della perdita da linea di processo, riportati nelle fonti referenziate citate, sono corretti considerando opportuni fattori che tengono in considerazione l'adozione di un opportuno sistema di gestione della sicurezza (F_{SGS}) e di un fattore di correzione relativo a misure impiantistiche/gestionali (F_{TEC}).

La tabella che sintetizza i valori da applicare in accordo alla metodologia è riportata nel seguito.

Frequenze di perdita per linee [occasioni/(anno-metro)]			
DN linea	Cricca	Foro	Rottura
< 1"	$8,7E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 2 mm max	$2,8E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 5 mm max	$8,7E-7 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = DN linea
1" - 2"	$8,7E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 5 mm	$2,8E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 15 mm	$8,7E-7 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = DN linea
3" - 6"	$5,2E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 5 mm	$1,7E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 25 mm	$2,6E-7 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = DN linea
8" - 14"	$2,6E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 10 mm	$8,3E-7 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 25 mm	$8,7E-8 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = DN linea
Maggiore di 14"	$2,6E-6 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 15 mm	$8,3E-7 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = 25 mm	$8,7E-8 \times F_{SGS} \times F_{TEC}$ D = DN linea

Tabella 14 – Frequenze di perdita per linee – Valori finali



6.4.1 Metodologia di valutazione basata sullo standard API RBI 581

Il modello consente di stimare a frequenza di accadimento di perdite di contenimento da linee in accordo con il documento API "RBI Risk-based inspection technology - Recommended practice 581", edizione settembre 2008.

L'applicazione di tale metodologia di calcolo è raccomandata esclusivamente nel caso in cui nello stabilimento sia messo in pratica ed operativo il sistema descritto da tale norma tecnica per la gestione delle ispezioni delle linee.

Il calcolo è basato sulla seguente formula:

$$P_f(t) = gff \cdot D_f(t) \cdot F_{MS}$$

nella quale:

- $P_f(t)$: Probability of failure, frequenza "compensata" di rilascio (perdita) da linea;
- Gff: Generic failure frequency, frequenza di perdita "grezza", fornita dallo stesso documento RP 581;
- $D_f(t)$: Damage factor, fattore di danno, relativo ai meccanismi di danneggiamento ma anche al numero ed all'efficienza delle ispezioni;
- F_{MS} : Management system factor, fattore relativo al sistema di gestione.

I fattori D_f e F_{MS} sono composti da una serie di sotto-indici che valutano elementi specifici dell'impianto.

I valori delle frequenze grezze di perdita da considerare come base di valutazione sono inseriti nella tabella che segue.



Tipologia di apparecchiatura	Frequenza perdita per fori di diverse dimensioni (occ./anno)			
	Rottura piccola 1/4"	Rottura media 1"	Rottura grande 4"	Rottura totale
Linea di Φ 1"	2,80E-5			2,60E-6
Linea di Φ 2"	2,80E-5			2,60E-6
Linea di Φ 4"	8,00E-6	2,00E-5		2,60E-6
Linea di Φ 6"	8,00E-6	2,00E-5		2,60E-6
Linea di Φ 8"	8,00E-6	2,00E-5	2,00E-6	6,00E-7
Linea di Φ 10"	8,00E-6	2,00E-5	2,00E-6	6,00E-7
Linea di Φ 12"	8,00E-6	2,00E-5	2,00E-6	6,00E-7
Linea di Φ 16"	8,00E-6	2,00E-5	2,00E-6	6,00E-7
Linea di $\Phi > 16"$	8,00E-6	2,00E-5	2,00E-6	6,00E-7
Pompa centrifuga singola tenuta	8,00E-6	2,00E-5	2,00E-6	6,00E-7
Pompa centrifuga doppia tenuta	8,00E-6	2,00E-5	2,00E-6	6,00E-7
Pompa alternativa	8,00E-6	2,00E-5	2,00E-6	6,00E-7
Compressore centrifugo	8,00E-6	2,00E-5	2,00E-6	-
Compressore alternativo	8,00E-6	2,00E-5	2,00E-6	6,00E-7

Tabella 15 – Frequenze generiche di perdita previste da API RP 581 ed. 2008

Damage Factor $D_f(t)$

Il Damage factor $D_f(t)$ è un fattore che considera l'influenza dei vari meccanismi di guasto sul componente durante il tempo di servizio e l'efficacia dei piani di ispezione.

Il fattore D_f è dato dalla combinazione di sette sotto-indici collegati ai meccanismi di guasto:

- Thinning (D_f^{thin}); fattore di danno per componenti soggetti ad assottigliamento locale o generalizzato (cap. 5 del testo API)
- Component Linings (D_f^{thin}); fattore di danno per componenti dotati di rivestimento interno (cap. 6 del testo API)
- External Damage (D_f^{thin}); fattore di danno generale da corrosione esterna
- Stress Corrosion Cracking (D_f^{thin}); fattore di danno generale da tensocorrosione
- High Temperature Hydrogen Attack (D_f^{thin}); fattore di danno per componenti che subiscono attacco da idrogeno ad alta temperatura (cap. 20 del testo API)



- Brittle Fracture (D_f^{thin}); fattore di danno generale da infragilimento
- Mechanical Fatigue (piping only) (D_f^{thin}); fattore di danno per componenti soggetti a fatica meccanica (cap. 25 del testo API)

Tali sotto-indici sono a loro volta determinati sulla base della combinazione o del confronto tra diverse componenti legate a diversi meccanismi causa dello stesso tipo di guasto, oppure direttamente calcolati (casi in cui è indicato direttamente nell'elenco il capitolo di riferimento della Recommended Practice), una volta raccolti dati relativi all'aggressività dell'ambiente operativo, in relazione alle caratteristiche dei materiali costruttivi ed alle pratiche di ispezione e controllo.

Management System Modification Factor (F_{MS})

Il Management System Modification Factor (F_{MS}), tiene conto di una serie di valutazioni basate su informazioni relative alle procedure operative, all'addestramento del personale, alle esercitazioni di sicurezza, alle indagini relative ad eventuali incidenti, alla gestione delle emergenze, agli audit interni all'impianto, ecc.

La valutazione viene condotta attraverso un questionario, in cui a ciascun quesito viene dato un valore ponderale funzione della sua importanza. Sulla base delle informazioni raccolte mediante tale questionario scaturisce un punteggio che viene convertito nel Modification Factor attraverso il grafico seguente.

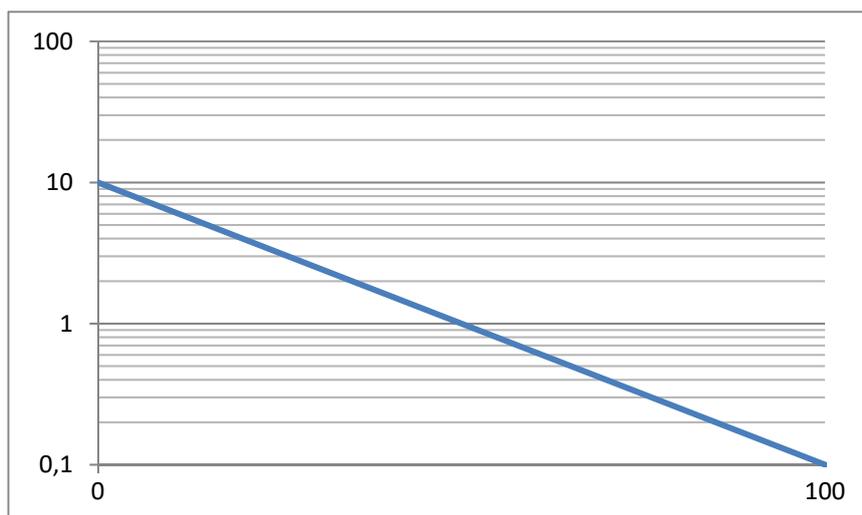


Figura 1 – Modification Factor, fonte API RP 581

La check list utilizzata per raccogliere le informazioni necessarie per la determinazione del Management System Modification Factor con indicazione delle domande e dei relativi punteggi assegnabili è riportata



nelle tabelle di cui in Annex 2.A "Management systems Work book" di cui alla norma API RP 581 edizione 2008.

Infine, la metodologia API ammette n. 4 forme di perdita di contenimento:

Forma	Dimensione
Piccola perdita (cricca)	1/4 " (6,35 mm)
Foro	1" (25,4 mm)
Perdita grande	4" (100 mm) - a partire da 8" DN linea
Rottura totale o Rottura	> = 50% DN linea

Tabella 16 – Forme di perdita di contenimento previste da API RP 581 ed. 2008

6.5 Serbatoi di stoccaggio atmosferici

Nel caso in cui le informazioni raccolte dall'applicazione delle tecniche di cui al capitolo 5 e lo specifico lay-out del parco di stoccaggio atmosferico suggeriscano l'eventualità di ipotizzare una perdita di contenimento da serbatoi atmosferici di natura random (casuale), ovvero non direttamente connessa ad anomalie di processo, è possibile fare ricorso ad una valutazione diretta della frequenza di accadimento corrispondente mediante l'utilizzo di specifici ratei di guasto desunti da apposite banche dati riconosciute a livello nazionale ed internazionale.

6.5.1 Perdita di contenimento da serbatoio atmosferico

Un estratto dei valori suggeriti dalla pubblicazione [2], riferiti in maniera specifica ai serbatoi contenenti sostanze infiammabili, sono riportati nella tabella che segue.

Tipo di rilascio	Frequenza di accadimento (eventi/anno)
<i>Significativo</i>	1,0 E-04
<i>Limitato</i>	1,0 E-03

Tabella 17 – Frequenze di accadimento suggerite da [2].

Le dimensioni di rilascio corrispondenti alle tipologie sopra citate, in generale, devono essere determinate tenendo conto che il rilascio limitato consiste nello svuotamento del serbatoio in un tempo dell'ordine dei 30 minuti, mentre il rilascio significativo di 5 minuti circa: in ogni caso, al rilascio limitato può essere associata una dimensione massima di 75 mm, a quello significativo pari a 250 mm.



6.5.2 Perdite da tetto galleggiante ed incendi

Un estratto dei valori suggeriti dalla pubblicazione [4], riferiti in maniera specifica ai serbatoi atmosferici contenenti sostanze infiammabili, sono riportati nella tabella che segue.

Tali dati possono essere utilizzati nel caso di indisponibilità di dati o studi più dettagliati sul sito.

Tipo di serbatoio	Tipo di rilascio	Frequenza di rilascio (per anno per serbatoi)
<i>Tetto galleggiante</i>	Rilascio sul tetto	1,6 E-03
	Affondamento del tetto	1,1 E-03
<i>Tetto fisso / galleggiante</i>	Rilascio di liquido dal serbatoio	2,8 E-03
	Rottura del serbatoio	3,0 E-06

Tipo di incendio	Tetto galleggiante	Tetto fisso	Tetto fisso più galleggiante interno
Incendio della tenuta	1,6 E-03		
Incendio complete del tetto	1,2 E-04		
Incendio del vent		9,0 E-05	2,5 E-05
Incendio limitato nel bacino	9,0 E-05	9,0 E-05	9,0 E-05
Incendio esteso nel bacino	6,0 E-05	6,0 E-05	6,0 E-05



6.6 Sistemi tecnici / gestionali per la gestione dell'evento

In relazione alle richieste di cui al paragrafo C.6 dell'Allegato C al D. Lgs 105/15, è necessario predisporre una tabella di corrispondenza tra gli eventi e gli scenari incidentali identificati ed i corrispondenti sistemi di prevenzione e protezione disponibili.

Nell'ambito dell'analisi di rischio dovrà pertanto essere predisposta una tabella di correlazione strutturata in accordo allo schema riportato nella sezione I dell'Allegato 5 (Notifica) del sopra menzionato decreto.

Nella tabella che segue è inserito un esempio sviluppato di rappresentazione delle informazioni richieste.

Eventi incidentali ipotizzati nell'analisi di sicurezza	Metodologia di valutazione utilizzata* (facoltativo)			Misure adottate		
				per prevenire l'evento ipotizzato		per mitigare l'evento ipotizzato
	P	F	C	Sistemi tecnici	Sistemi organizzativi e gestionali	Mezzi di intervento dedicati in caso di emergenza
Aspetti generali				Lo stabilimento dispone di standard societari che coprono nel dettaglio le fasi di progettazione, fornitura, assemblaggio ed installazione di recipienti, serbatoi e tubazioni in accordo a riferimenti e normative nazionali ed a standard internazionali.	Lo stabilimento opera in accordo a Sistema di Gestione della Sicurezza conforme ai requisiti della normativa e soggetto a periodici controlli sia interni che da parte di auditor esterni qualificati. In tema di prevenzione di accadimento di incidenti rilevanti, sono operative le seguenti procedure: controllo delle linee ed apparecchiature critiche; controllo dei sistemi di allarme e di messa in sicurezza degli impianti; formazione ed informazione del personale di stabilimento e delle società esterne che operano nel sito.	Lo stabilimento dispone di appositi sistemi per la mitigazione degli scenari incidentali e la gestione dell'emergenza. Si citano, tra gli altri: rete di rilevazione a copertura degli impianti; rete antincendio; sistemi mobili e squadra di intervento antincendio del sito petrolchimico; bacini di contenimento in corrispondenza dei serbatoi di stoccaggio; piani di emergenza di reparto definiti per ciascun evento incidentale; piano di emergenza di stabilimento, gestito congiuntamente con le società coinsediate.



Eventi incidentali ipotizzati nell'analisi di sicurezza	Metodologia di valutazione utilizzata* (facoltativo)			Misure adottate		
	P	F	C	per prevenire l'evento ipotizzato		per mitigare l'evento ipotizzato
				Sistemi tecnici	Sistemi organizzativi e gestionali	Mezzi di intervento dedicati in caso di emergenza
1. Rilascio di virgin nafta nel bacino del serbatoio DA-1234	H	FTA	MF	<ul style="list-style-type: none"> Livellostato LSH1234 con allarme di massimo livello sul serbatoio; Pressostato PSHH1234 di massima pressione con azione di blocco della valvola sulla linea di ingresso della virgin nafta, LCV1234. 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoraggio in continuo dello stato del serbatoio da sala controllo tramite DCS; Sistemi di allarme critici e di messa in sicurezza dell'impianto testati con frequenza stabilita dal Piano di Controllo. 	<ul style="list-style-type: none"> Gas detector all'interno del bacino di contenimento; Valvola di intercettazione motorizzata MOV1234, sulla linea di prelievo dal fondo del serbatoio DA-1234, comandabile da sala controllo. Presenza di impianti di irrorazione schiumogeno azionabili da sala controllo.



7 CLASSIFICAZIONE DELLA FREQUENZA DI ACCADIMENTO DI EVENTI INCIDENTALI

7.1 Generalità

La metodologia adottata si basa sulla considerazione che eventi incidentali caratterizzati da una estremamente bassa frequenza di accadimento non siano da considerare ai fini dell'analisi di rischio.

Una volta stabiliti i criteri di classificazione della frequenza di accadimento di eventi incidentali, si definisce il criterio di credibilità: solo per gli eventi credibili sono quindi sviluppate le considerazioni e le valutazioni in merito alle possibili conseguenze.

7.2 Classi di frequenza di accadimento di eventi incidentali

Una volta calcolata la frequenza di accadimento di un evento incidentale, ad essa viene associata una "classe di frequenza", secondo quanto indicato nella seguente tabella, tratta da "General Guidance on Emergency Planning within the CIMAH regulation for chlorine installation CIA".

Classe dell'evento	Frequenza (occ/anno)
PROBABLE (probabile)	> 1E-01
FAIRLY PROBABLE (abbastanza probabile)	1E-02 ÷ 1E-01
SOMEWHAT UNLIKELY (abbastanza improbabile)	1E-03 ÷ 1E-02
QUITE UNLIKELY (piuttosto improbabile)	1E-04 ÷ 1E-03
UNLIKELY (improbabile)	1E-05 ÷ 1E-04
VERY UNLIKELY (molto improbabile)	1E-06 ÷ 1E-05
EXTREMELY UNLIKELY (estremamente improbabile)	< 1E-06

Tabella 18 – Classi di frequenza di accadimento di eventi incidentali – CIMAH

La normativa italiana² utilizza un criterio qualitativo di classificazione, come da tabella che segue.

Frequenza	Classe
Maggiore di 1 volta ogni 10 anni	Molto Alta
Tra 10 e 100 anni	Alta
Tra 100 e 1.000 anni	Media
Tra 1.000 e 10.000 anni	Bassa
Minore di 1 volta ogni 10.000 anni	Molto Bassa

Tabella 19 – Classi di frequenza di accadimento di eventi incidentali – Normativa italiana

² Capitolo 2 dell'Allegato III al D.P.C.M. 31/03/1989.



Le indicazioni per ciascuna classe riportata in tabella assumono il seguente significato:

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

7.3 Credibilità degli eventi incidentali

L'analisi di rischio viene condotta con riferimento ad un limite di soglia di credibilità, relativa alla frequenza di accadimento degli scenari incidentali.

Questo approccio fa parte del più generale concetto di accettabilità del rischio industriale, nel confronto anche con i rischi a cui ogni individuo è esposto nelle proprie attività quotidiane. Eventi classificati con frequenze estremamente basse, determinano rischi classificati come marginali.

Per la selezione della frequenza di soglia, sono state prese a riferimento le linee di indirizzo delle principali autorità preposte all'esame ed alla valutazione dei rischi di incidente rilevante a livello europeo.

La linea più comune (in particolare le autorità inglesi ed olandesi) è quella di specificare con il valore di $1,0 \times 10^{-6}$ occasioni/anno, la soglia di riferimento per l'accettabilità del rischio nel contesto della pianificazione urbanistica (land use planning) e di emergenza esterna.

Sono quindi considerati credibili ai fini dell'analisi del rischio le ipotesi (o eventi) incidentali **la cui frequenza di accadimento è maggiore o uguale a 10^{-6} occasioni/anno** (ovvero un evento ogni milione di anni).

Per tali eventi si procede allo sviluppo quantitativo degli scenari incidentali conseguenti.



8 TERMINI SORGENTE

8.1 Generalità

Prima di procedere alla applicazione dei modelli di simulazione, al fine di una corretta assegnazione dei numerosi parametri necessari per la simulazione mediante i codici di calcolo e per riprodurre il più realisticamente possibile l'evoluzione dell'incidente ipotizzato, è necessario definire, i parametri che ne determinano la dinamica (sostanza rilasciata e stato fisico, durata del rilascio, comportamento della sostanza a contatto con l'atmosfera, etc.).

8.2 Termini sorgente

La definizione dei termini sorgente costituisce la base per l'analisi e la rappresentazione degli scenari incidentali.

In generale, sono necessarie le seguenti informazioni:

- condizioni operative;
- tipologia di rilascio;
- dinamica incidentale (in relazione alla natura del fluido ed alla disponibilità di sistemi di contenimento / confinamento);
- tempi di intervento (in relazione ai mezzi ed alla organizzazione di emergenza dello stabilimento).

Nella tabella che segue si illustra un esempio del modello proposto; i campi devono essere tutti completati con la distinzione delle possibili conseguenze per i diversi diametri di efflusso.

IDENTIFICAZIONE EVENTO INCIDENTALE		Top Event # 1
UNITÀ COINVOLTA	Colonna C-1234	
SOSTANZA	Benzina	
PRESSIONE DI RILASCIO	4 bar relativi	
TEMPERATURA DI RILASCIO	80°C	
DIAMETRO DI EFFLUSSO	Cricca: 10 mm Foro: 25 mm	
PORTATA DI EFFLUSSO	Cricca: 2,2 kg/s, di cui il 25% vaporizza per flash Foro: 12,5 kg/s di cui il 25% vaporizza per flash	



IDENTIFICAZIONE EVENTO INCIDENTALE		Top Event # 1
DINAMICA INCIDENTALE:	<p>Il liquido rilasciato subisce una parziale vaporizzazione per flash. I vapori che si formano si disperdono in atmosfera. La frazione che rimane in fase liquida sviluppa una pozza di liquido infiammabile dalla quale si sviluppano ulteriori vapori infiammabili per evaporazione.</p> <p>In caso di innesco immediato si sviluppa un Jet Fire. In alternativa i vapori prodotti per flash si disperdono in atmosfera formando una nube di vapori infiammabili che, nel caso di innesco ritardato, determina un Flash Fire. Si ipotizza, inoltre, che l'accensione del Flash Fire sia tale da comportare un ritorno di fiamma sul pelo del liquido con conseguente innesco della pozza (Pool Fire).</p> <p>La quantità di sostanza infiammabile all'interno del campo di infiammabilità (circa 30 kg) è tale da rendere marginale il rischio di UVGE.</p>	
DURATA DEL RILASCIO	<p>Rilevazione: 1-3 minuti (presenza di rilevatori di gas nella zona con allarme in sala controllo)</p> <p>Intervento: 5 minuti. Isolamento della colonna con valvole automatiche da sala controllo. Una volta isolato, il tratto di linea si svuota progressivamente, con portata che si riduce in relazione alla riduzione della pressione nel circuito.</p> <p>Totale: Circa 10 minuti.</p>	

Tabella 20 – Identificazione dell'evento incidentale

8.2.1 Unità coinvolta

Origine	Descrizione
Apparecchiatura	Specificare la sigla identificativa dell'apparecchiatura oggetto del rilascio, la denominazione della stessa e, ove opportuno, la localizzazione del punto di rilascio (es. linea di fondo colonna, linea di vapore di testa delle colonne, etc.)
Linea	Specificare la sigla identificativa della linea, indicando i limiti considerati (es. da mandata pompa a ingresso serbatoio).

Tabella 21 – Identificazione dell'evento incidentale – Unità coinvolta

8.2.2 Sostanza

Specificare la sostanza o la miscela oggetto del rilascio, utilizzando la terminologia di cui alla relativa scheda di sicurezza; nel caso in cui si tratti di una miscela non specificatamente identificata, riportare la composizione.



8.2.3 Condizioni di pressione e temperatura

I valori di pressione e temperatura da inserire come termini sorgente delle simulazioni sono riportate nella tabella che segue.

Tipo di rilascio	Pressione	Temperatura
“Random”	Pressione operativa	Temperatura operativa
Processo – sovrappressione	Pressione di progetto	Temperatura operativa
Processo – sovratemperatura	Pressione operativa	Temperatura di progetto

Tabella 22 – Identificazione dell’evento incidentale – Condizioni di pressione e temperatura

8.2.4 Diametro di efflusso

Il diametro del foro di efflusso si calcola secondo i criteri stabiliti nella tabella che segue.

Tipo di rilascio	Dimensione del foro
Eventi Random	In accordo alla metodologia applicata (rif. Paragrafo 6.3)
Sovrariempimento / sovrappressione per sovrariempimento	Diametro equivalente in grado di rilasciare la stessa portata di liquido in ingresso all’apparecchiatura.
Eventi di Processo	In generale ed in mancanza di studi specifici circa gli effetti dell’anomalia, 25 mm (casi sovrappressione e sovratemperatura). Si assume la rottura di uno stacco di piccolo diametro o un altro elemento debole del circuito.
Eventi naturali	Rilascio catastrofico, in accordo alla tipologia di fenomeno naturale

Tabella 23 – Identificazione dell’evento incidentale – Diametro di efflusso

8.2.5 Portata di efflusso

Specificare il risultato dell’applicazione del modello di calcolo, per i vari diametri di efflusso considerati.

Nel caso di rilasci bifase o di fluidi che all’atto del rilascio subiscano il fenomeno di flash, riportare la frazione di flash.

Se il rilascio presenta variazioni di portata in funzione del tempo, riportare alcuni valori significativi in relazione alla dinamica considerata.



8.2.6 Dinamica incidentale

Riportare la descrizione degli scenari incidentali che possono svilupparsi in conseguenza del rilascio: ad esempio, jet fire, in caso di innesco immediato, UVCE o flash fire, in caso di innesco ritardato, dispersione in mancanza di innesco, etc.

8.2.7 Durata del rilascio

Per il calcolo del quantitativo totale rilasciato è necessaria la valutazione del tempo di durata del rilascio, coincidente con il tempo di intervento necessario per eliminare la perdita.

Occorre individuare quali sono i sistemi disponibili ai fini della rilevazione dell'incidente in atto e delle operazioni che devono essere compiute per condurre alla completa cessazione del rilascio.

Azione	Elementi da descrivere
Rilevazione	<p>Descrivere se esistono sistemi atti alla rilevazione del rilascio o dell'incidente in atto (sistemi di rivelazione gas tossici o infiammabili con allarme riportato in zona presidiata, sistemi di rilevazione incendi etc.), o se l'evento può essere individuato sulla base di un andamento anomalo dei parametri di processo (riduzione o incremento anomalo di pressioni, temperature, livelli, annullamento di variabili operative non giustificato etc.).</p> <p>In questo caso è importante elencare quali sono le variabili operative il cui andamento anomalo implica il verificarsi di un evento incidentale quale quello ipotizzato, nonché gli strumenti (indicare anche la sigla, riscontrabile sul P&I) in base ai quali è possibile effettuare la rilevazione.</p>
Intervento	<p>Descrivere le operazioni generali che devono essere compiute per intercettare la perdita, distinguendo quelle che si possono condurre da sala controllo da quelle previste in campo.</p> <p>Segnalare:</p> <ul style="list-style-type: none"> • i possibili elementi di intercettazione (sezionamento a monte ed a valle della perdita) • la necessità di arresto degli organi di movimentazione (pompe e/o compressori); • l'eventuale necessità di depressurizzazione/svuotamento del circuito.

Tabella 24 – Identificazione dell'evento incidentale – Durata del rilascio

Più in generale la tempistica di intercettazione deve essere stimata in coerenza con le indicazioni della normativa tecnica applicabile, come illustrata sinteticamente nei paragrafi che seguono.



8.2.7.1 Depositi di stoccaggio GPL

In linea con quanto indicato dal D.M. 15/05/96, i tempi di rilascio sono definibili come illustrato nella tabella che segue.

Tempo totale di intervento	Descrizione
20 ÷ 40 s	In presenza di valvole motorizzate ad azionamento automatico
1 ÷ 3 min	In presenza di valvole motorizzate con allarme ad azionamento a mezzo di pulsanti di emergenza installati in più punti dell'impianto
3 ÷ 5 min	In presenza di valvole motorizzate ad azionamento remoto manuale da un solo punto
10 ÷ 30 min	In presenza di valvole manuali

Tabella 25 – Durata del rilascio – Depositi GPL

Stante la assunta rappresentatività delle categorie di classificazione delle unità, basata sul metodo indicizzato, nei riguardi della qualità media, impiantistica e gestionale, realizzata ai fini della sicurezza, si ritiene di poter associare, salvo diverse informazioni puntuali in merito, i valori al limite inferiore del campo con le unità di categoria A o B, e quelli al limite superiore del campo con le unità di categoria C o D.

8.2.7.2 Depositi di stoccaggio di liquidi facilmente infiammabili e/o tossici

In linea con quanto indicato nel D.M. 20/10/98, i tempi di rilascio sono definibili come illustrato nella tabella che segue:

Tempo totale di intervento	Descrizione
1 ÷ 3 min	In presenza di sistema di rilevamento di fluidi pericolosi, ovvero nel caso di operazioni presidiate in continuo, con allarme e pulsanti di emergenza per chiusura valvole installati in più punti dell'impianto
10 ÷ 15 min	In presenza di sistemi di rilevamento di fluidi pericolosi con allarme, ovvero nel caso di operazioni presidiate in continuo, e in presenza di valvole manuali
20 ÷ 30 min	Negli altri casi



Stante la assunta rappresentatività delle categorie di classificazione delle unità, basata sul metodo indicizzato, nei riguardi della qualità media, impiantistica e gestionale, realizzata ai fini della sicurezza, si ritiene di poter associare, salvo diverse informazioni puntuali in merito, i valori al limite inferiore del campo con le unità di categoria A o B, e quelli al limite superiore del campo con le unità di categoria C o D.

8.2.7.3 Impianti di processo

Con riferimento alle tabelle dei D.M. illustrate in precedenza, per gli impianti di processo, valgono, in linea generale le seguenti considerazioni. Per completezza si è proceduto a distinguere la fase di rilevazione da quella di intervento vero e proprio.

Tempo di rilevazione	Descrizione
1 ÷ 3 minuti	Presenza di rilevatori di gas a copertura delle principali aree di impianto
5 ÷ 10 minuti	A seguito di segnalazioni di allarme conseguenti deviazioni significative e non attese dei parametri di processo
15 minuti circa	Rilevazione in campo da parte del personale di impianto

Tabella 26 – Durata del rilascio – Impianti di processo

Tempo di intervento	Descrizione
3 minuti circa	Disponibilità di sistema automatico di sezionamento comandato da sala controllo
5 ÷ 10 minuti	Intervento parziale da sala controllo (arresto pompe, chiusura valvole di regolazione) con necessaria finalizzazione da eseguirsi con manovre in sicurezza in impianto
10 ÷ 20 minuti	A seguito di intervento in campo, in funzione della complessità delle manovre da eseguire.

Tabella 27 – Durata del rilascio – Impianti di processo

I tempi di intervento devono essere verificati con il personale di impianto ed in coerenza con i Piani di Emergenza di Reparto.

I valori assunti potranno essere differenti da quelli proposti in tabella, purché opportunamente documentati.



9 SCENARI INCIDENTALI E LORO FREQUENZA DI ACCADIMENTO

9.1 Generalità

Sono identificate le tipologie di scenario incidentale attese conseguenti alle varie ipotesi incidentali “credibili” e le modalità per quantificarne la probabilità di sviluppo, la frequenza di accadimento ed il relativo criterio di credibilità.

9.2 Tipologie di scenari incidentali

Le tipologie di scenario incidentale attese conseguenti alle varie ipotesi incidentali “credibili” identificate sono le seguenti:

- Rilascio di liquido nell'ambiente, con formazione di pozza.
- Dispersione di gas, vapori o nebbie in atmosfera.
- Incendio di pozze, serbatoi o bacini di liquidi infiammabili (pool e tank fires).
- Formazione di getti infuocati (jet fires).
- Esplosioni di miscele infiammabili sia confinate che non confinate (flash fires, UVCE, CVE).
- Formazione di sfere infiammate (BLEVE-Fireballs).

9.3 Probabilità di accadimento dei diversi scenari incidentali

La quantificazione della probabilità di accadimento dei diversi scenari incidentali è sviluppata con l'ausilio della tecnica dell'Albero degli eventi. Tale strumento consente di identificare e quantificare le frequenze associate a ciascuno dei possibili scenari incidentali che possono svilupparsi a partire da un evento iniziale. Un esempio è riportato nella figura che segue.

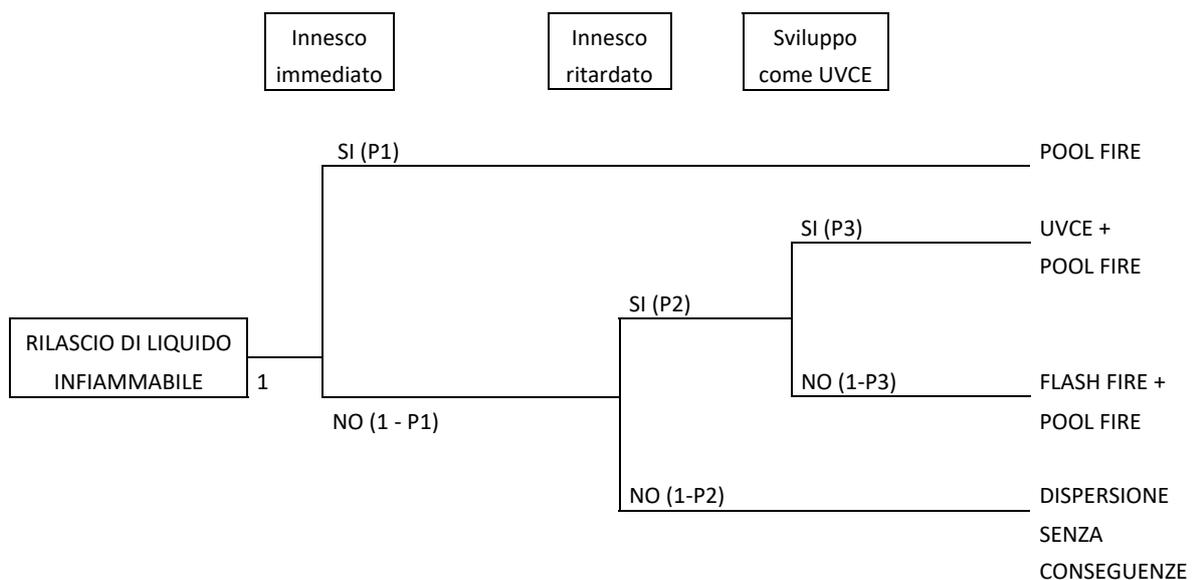




Figura 2 – Esempio di albero degli eventi

Partendo dalla frequenza di accadimento dell'ipotesi (o evento) incidentale iniziale ed associando un valore di probabilità a ciascuno dei percorsi identificati, è possibile stimare la frequenza finale associata a ciascuno scenario incidentale.

Le frequenze relative a ciascun evento si calcolano come di seguito:

- Pool fire $P_1 + (1-P_1) \times P_2$
- Flash fire $(1-P_1) \times P_2 \times (1-P_3)$
- UVCE $(1-P_1) \times P_2 \times P_3$
- Dispersione $(1-P_1) \times (1-P_2)$

L'esempio illustrato è stato sviluppato nell'ipotesi che sia possibile avere lo scenario di Pool fire sia nel caso di innesco immediato che nel caso di innesco ritardato, in relazione al ritorno di fiamma a seguito dell'innesco stesso.

Per completezza, si precisa che risulta possibile procedere allo sviluppo di alberi degli eventi anche per i casi di rilascio in fase gassosa/vapore, che prevedono, in alternativa al pool fire, lo sviluppo di jet fire in caso di innesco.

La caratterizzazione degli scenari incidentali plausibili per l'ipotesi incidentale di volta in volta esaminata viene effettuata valutando il contributo di vari fattori. Tali fattori sono riconducibili alla presenza o meno di innesco immediato o ritardato, all'azionamento di sistemi, preventivi e/o protettivi, tali da ridurre la frequenza di accadimento o il rilascio della sostanza pericolosa, all'azionamento di sistemi di raffreddamento, di confinamento, etc.

L'assegnazione, sulla base di dati statistici o ingegneristici, di un valore probabilistico ai fattori citati rende possibile la quantificazione, in termini di frequenza, degli scenari incidentali.



9.4 Probabilità di innesco

La scelta delle probabilità dei diversi percorsi possibili può essere approfondita e dettagliata con considerazioni in merito alla effettiva possibilità di innesco basata sulle dimensioni del rilascio e l'ubicazione delle fonti di innesco rispetto alla zona di rilascio.

A tale proposito, nel seguito sono riportate varie tabelle che mostrano rispettivamente come i valori della probabilità di innesco immediato, presi a riferimento nei vari scenari di incendio, dipendano dalla portata del rilascio, mentre i valori della probabilità di innesco ritardato dipendano dalla quantità totale rilasciata. I dati statistici sulle probabilità d'innesco riportati in Tabella 26 sono elaborati a partire da letteratura specializzata [34][42].

Questi valori sono generalmente suggeriti nel caso in cui la sostanza infiammabile sia stabile in fase gassosa a condizioni ambiente.

Innesco Immediato di un getto di gas (Jet-fire)	
Portata di rilascio (kg/s)	Probabilità
< 1	0,01 (0,05)
1 ÷ 50	0,07 (0,3)
> 50	0,3 (0,5)
Innesco Ritardato di gas e vapori	
Quantità rilasciata (kg)	Probabilità
Q < 100	0,001
100 < Q < 1000	0,01
Q > 1000	0,1

Tabella 28 – Valori di probabilità di innesco immediato e ritardato.

I valori indicati tra parentesi nella tabella di cui sopra sono indicati in caso di rilascio di idrogeno.

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

Nella valutazione della probabilità di scenario, è possibile fare riferimento ai criteri riportati nella normativa italiana³, la quale classifica come marginale il rischio di esplosione non confinata nel caso in cui la massa di vapori all'interno del campo di infiammabilità sia inferiore a 1.500 kg, in aree parzialmente confinate (riferimento per gli impianti di processo).

³ D.M. 15.05.96 relativo ai depositi di GPL.



In alternativa ai valori di probabilità di innesco immediato e ritardato indicati in Tabella 26, si riportano ulteriori valori proposti, che possono essere impiegati nel caso in cui la sostanza infiammabile sia stabile in fase liquida a condizioni ambiente.

Innesco Immediato di una pozza di liquido (Pool-fire)		
Diametro pozza (m)	Probabilità	
	Flash Point < 21°C	21°C < F.P. < 55°C
< 10	0,01	0,001
10 ÷ 50	0,05	0,005
> 50	0,1	0,01
Innesco di una nube di gas infiammabile		
Massa infiammabile (kg)	Probabilità	
	UVCE	Flash Fire
< 100	n.a.	0,01
100 ÷ 500	n.a.	0,03
500 ÷ 1500	0,001	0,03
> 1500	0,03	0,1

Tabella 29 – Valori di probabilità di innesco immediato e ritardato.

In presenza di sostanze infiammabili più reattive ⁴ (quali idrogeno, etilene, butadiene, ossido di etilene, etc.), in via cautelativa è preferibile ridurre il quantitativo di riferimento per rendere marginale il rischio di esplosione alla soglia di 500 kg.

La selezione del limite a 500 kg è in accordo alla pubblicazione [30], che classifica come soglia minima per l'esplosione non confinata di sostanze reattive, il quantitativo pari a 1.000 pounds e quindi approssimativamente pari a 500 kg.

⁴ Con riferimento alla normativa italiana, le sostanze reattive sono da selezionare in accordo alle indicazioni riportate nella tabella 5.1 all'allegato II del D.P.C.M. 31/03/1989.



9.4.2 Indicazioni su casi specifici

Sono presenti alcuni casi particolari di condizioni di pericolo, per i quali nei paragrafi che seguono, si procede con l'indicazione dei possibili valori di probabilità di innesco.

Caso analizzato	Probabilità di innesco	Scenario conseguente
Affondamento del tetto galleggiante per liquido facilmente infiammabile	0,025 ^[1]	Incendio
Affondamento del tetto galleggiante per liquido infiammabile	0,01 ^[2]	Incendio
Miscela esplosiva all'interno di apparecchiatura per sostanza facilmente infiammabile	0,003 – 0,01 ^[3]	Esplosione confinata
Miscela esplosiva all'interno di apparecchiatura per sostanza particolarmente suscettibile (idrogeno)	0,03 – 0,1 ^[3]	Esplosione confinata

Note alla tabella:

- [1]: Il fattore è stato derivato dalla pubblicazione di letteratura specializzata [24]
- [2]: Stima ingegneristica relativa alla minore suscettibilità all'accensione di un liquido infiammabile rispetto ad un facilmente infiammabile.
- [3]: Stima ingegneristica. La valutazione è connessa anche alla configurazione dell'unità allo studio. Per i casi relativi a forni (operanti ad elevata temperatura), si consiglia il valore più elevato. Per serbatoi di stoccaggio a temperatura ambiente, i valori inferiori.

9.5 Credibilità degli scenari incidentali

La soglia di credibilità per l'analisi e la rappresentazione degli scenari incidentali (originati da ipotesi o eventi incidentali credibili) è fissata pari al valore di 10^{-7} occasioni/anno. Tale assunzione si rende necessaria per fare in modo che il Rapporto di Sicurezza contenga le informazioni di rischio necessarie alla applicazione dei criteri di pianificazione territoriale presenti nel DM 09/05/2001.

Sono considerati scenari incidentali credibili o più semplicemente "scenari credibili" gli scenari incidentali con **frequenza di accadimento superiore o uguale a 10^{-7} occasioni/anno**.

Scenari incidentali caratterizzati da frequenza pari o superiore al limite di soglia sono considerati credibili e per essi vanno sviluppati gli effetti.



10 CONSEQUENZE DEGLI SCENARI INCIDENTALI

10.1 Generalità

La valutazione delle conseguenze degli scenari incidentali è basata principalmente sulla applicazione dei modelli che rappresentano i fenomeni fisici conseguenti la perdita di contenimento da una linea o apparecchiatura di processo, che si manifesta come rilascio di materia e/o di energia.

Ai fini della simulazione delle conseguenze si utilizzano appositi codici di calcolo raccolti in packages riconosciuti ed accettati a livello internazionale nell'analisi di rischio.

I codici di calcolo a disposizione permettono di valutare gli effetti, indicando tra l'altro:

- la quantità di vapore o liquido che fuoriesce da un'apertura di un recipiente;
- le dimensioni di una pozza di liquido conseguente ad un rilascio continuo o discontinuo;
- la portata di sostanza evaporante da tale pozza;
- la dispersione di gas neutri o pesanti;
- l'irraggiamento da incendio di una pozza di liquido;
- la sovrappressione derivante dalla deflagrazione di esplosioni di una nube non confinata di gas o vapori infiammabili.

10.2 Simulazione degli scenari incidentali di riferimento

La simulazione degli scenari incidentali credibili viene condotta per le diverse tipologie in accordo ai criteri illustrati nella tabella che segue.

Scenario	Assunzioni
Jet fire	<p>Da sviluppare nei seguenti casi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • rilascio di gas facilmente infiammabile; • rilascio di liquido facilmente infiammabile con frazione di flash superiore a 15% in peso. <p>La direzione del rilascio è "orizzontale" salvo quando sussistono sistemi impiantistici che orientano il getto diversamente.</p> <p>Nel caso di rilascio in quota, la valutazione del livello di irraggiamento deve essere effettuata anche al livello "persona" (altezza media di 1 m sul livello del suolo) per la stima degli effetti sul personale esposto.</p>



Scenario	Assunzioni
Pool fire	<p>Per i rilasci all'interno di impianto, il calcolo deve essere sviluppato in accordo al modello di equilibrio tra la dimensione della pozza incendiata e l'efflusso in fase liquida (modello "early pool fire").</p> <p>Nel computo dell'estensione massima raggiungibile dalla pozza non vengono inclusi gli effetti di mitigazione dati dalla presenza di eventuali pendenze verso pozzetti di drenaggio a sistema fognario, salvo indicazioni diverse provenienti da impianto ed opportunamente giustificate.</p> <p>Ove applicabile, viene invece tenuto in considerazione l'effetto "limitante" dato dalla presenza di cordolature o bacini di contenimento.</p> <p>Per il rilascio nel parco stoccaggio, valgono i medesimi criteri illustrati per i rilasci in impianto, con il limite massimo di estensione costituito dal bacino di contenimento.</p> <p>Nel caso di incendio in quota (ad esempio tank fire), la valutazione del livello di irraggiamento deve essere effettuata anche al livello "persona" (altezza media di 1 m sul livello del suolo) per la stima degli effetti sul personale esposto.</p>
Tank Fire	<p>Per gli incidenti di pozza che si originano sul tetto di un serbatoio di stoccaggio (tank fire), generalmente localizzati in quota (altezza del serbatoio), è opportuno effettuare due distinte valutazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● irraggiamento al livello "persona" (altezza media di 1 m sul livello del suolo) per la stima degli effetti sulle persone; ● valori di irraggiamento al livello del serbatoio per la stima dei potenziali effetti domino su apparecchiature limitrofe.
Flash Fire	<p>Le distanze di impatto sono calcolate con riferimento ai seguenti limiti:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● LFL (limite inferiore di infiammabilità); ● LFL/2 (metà del limite inferiore di infiammabilità). <p>Nel caso di rilascio in quota, la valutazione del livello di irraggiamento deve essere effettuata anche al livello "persona" (altezza media di 1 m sul livello del suolo) per la stima degli effetti sul personale esposto.</p> <p>In casi particolari di impianti complessi, presenza di edifici o strutture presidiate in quota, l'altezza di riferimento potrà essere elevata anche alla quota di 5 m.</p>
(U)VCE	<p>Da sviluppare in relazione alla massa presente nel campo di infiammabilità, secondo i criteri che seguono:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● superiore a 1.500 kg, nel caso di sostanze facilmente infiammabili (in accordo a D.M. 15/05/96 sul GPL); ● superiore a 500 kg per sostanze particolarmente reattive (idrogeno, etilene, butadiene, ossido di etilene, ecc.).
Dispersione tossica	<p>Le distanze di impatto sono calcolate con riferimento ai seguenti limiti:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● LC50 30 minuti; ● IDLH. <p>Nei casi in cui i dispositivi di impianto consentano, in maniera giustificata, di limitare la durata dello scenario a valori molto inferiori a 30 minuti, è possibile procedere all'utilizzo di valori di concentrazione "equivalente" ($IDLH_{eq}$) in accordo al concetto di dose e con riferimento ai fattori di Probit, sulla base della durata effettiva dello scenario.</p> <p>Per semplicità di valutazione si prendono i seguenti criteri:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Tempo di scenario \leq 10 min \rightarrow $IDLH_{eq}$ a 10 minuti; ● Tempo di scenario $>$ 10 min \rightarrow IDLH (30 minuti);



Scenario	Assunzioni
	<ul style="list-style-type: none"> Stesso criterio viene adottato per il parametro LC50. <p>Per i casi relativi a dispersione di miscela in cui un solo componente è tossico, la valutazione della dispersione tossica è da riferirsi al solo componente tossico (effettuare il “track” della singola sostanza).</p> <p>Nel caso di rilascio in quota, la valutazione del livello di irraggiamento deve essere effettuata anche al livello “persona” (altezza media di 1 m sul livello del suolo) per la stima degli effetti sul personale esposto.</p> <p>In casi particolari di impianti complessi, presenza di edifici o strutture presidiate in quota, l'altezza di riferimento potrà essere elevata anche alla quota di 5 m.</p>

Tabella 30 – Specificazioni relative alle simulazioni dei diversi scenari

Nel caso in cui, sulla base delle valutazioni condotte durante l'analisi, è possibile stimare che il tempo di rilascio sia ragionevolmente inferiore o molto inferiore a 30 minuti, è possibile affermare che l'eventuale esposizione delle persone alla dispersione di gas/vapori pericolosi è ragionevolmente inferiore a quella di soglia.

Per tali casi, nella valutazione delle conseguenze si è fatto riferimento al limite di soglia relativo ad un valore equivalente di IDLH, basato sul concetto di “dose tossica”.

I valori di IDLHeq sono stati sviluppati secondo le linee guida proposte dall'ente inglese UK HSE nella Linea Guida denominata “Assessment of the Dangerous Toxic Load (DTL) for Specified Level of Toxicity (SLOT) and Significant Likelihood of Death (SLOD)”, pubblicata nel 2005.

L'effetto tossico, si espleta al raggiungimento di una determinata dose, fornita come combinazione tra la concentrazione media di esposizione e la durata dell'esposizione, in accordo alla equazione che segue:

$$q = C^n \cdot t$$

Essendo:

- q = Dose di sostanza tossica in grado di determinare un determinato effetto sull'organismo,
- C = Concentrazione alla quale il soggetto è esposto,
- t = Tempo stimato di esposizione,
- n = Fattore di assorbimento della sostanza tossica (tipico per ciascuna sostanza – per acido cloridrico ed acido fluoridrico, n = 1; per il cloro, n = 2), secondo la pubblicazione [37].

Pertanto, applicando questo concetto nella valutazione della concentrazione che può dare origine ad “Effetti irreversibili”, è possibile stimare la concentrazione di sostanza pericolosa che comporta la dose tossica equivalente a quella della soglia di IDLH, ma per un tempo di esposizione diverso.

In questo modo è possibile identificare una soglia più idonea per rappresentare la concentrazione di sostanza tossica in grado di comportare “Effetti Irreversibili”.





È infatti possibile, ad esempio nel caso di IDLH, applicare la seguente uguaglianza:

$$q_{IDLH} = C_{IDLH}^n \cdot 30_{(min)} = C_{EQ}^n \cdot t_{EQ(min)}$$

Da cui risulta:

$$C_{IDLH-EQ} = C_{IDLH} \cdot \left(\frac{30_{(min)}}{t_{EQ(min)}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Pertanto, per le sostanze tossiche presenti nello stabilimento, riducendo la durata di rilascio, la concentrazione equivalente aumenta in maniera diretta, contribuendo a ridurre, in maniera sensibile, la distanza di danno.



10.3 Parametri da inserire nel modello

Le simulazioni devono essere eseguite applicando un modello riconosciuto a livello internazionale con preferenza al software Phast Professional sviluppato dalla DNV Technica (ultima release disponibile).

Fattori	Assunzioni												
Condizioni meteo	Le conseguenze di ogni scenario incidentale devono essere valutate per le condizioni meteo caratteristiche dell'area in cui è insediato lo stabilimento, con riferimento a quelle più conservative. Nel caso in cui non siano reperibili dati meteo rappresentativi dell'area, le conseguenze devono essere effettuate almeno per le seguenti condizioni: Neutrale: classe di stabilità D con vento pari a 5 m/s Stabile: classe di stabilità F con vento pari a 2 m/s												
Temperatura dell'aria	20°C												
Temperatura del suolo	20°C												
Radiazione solare	0,5 kW/m ²												
Umidità relativa	70%												
Coefficiente di rugosità	0,14 – 0,17												
Direzione del getto di efflusso	In generale da utilizzare il getto orizzontale (per rappresentazione del Jet Fire e della dispersione in atmosfera). Nel caso in cui la frazione di flash sia inferiore al 15%, lo scenario di riferimento con innesco diviene il Pool Fire. La dimensione della pozza è calcolata utilizzando l'efflusso con getto verticale verso il basso "down impinging the ground".												
Quota di rilascio	In generale: 0,5 m. In casi specifici (rilasci da rack o dalle teste delle colonne), riferirsi alla quota effettiva.												
Distanze di danno	Da riferirsi a partire dal punto di rilascio o centro della pozza. <table border="1" data-bbox="523 1182 1382 1429"> <thead> <tr> <th>Scenario</th> <th>Riferimento per la distanza di danno:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Jet fire</td> <td>dal punto di rilascio lungo l'asse longitudinale del getto</td> </tr> <tr> <td>Pool fire</td> <td>dal punto di rilascio (centro della pozza) o bordo pozza</td> </tr> <tr> <td>Flash fire</td> <td>dal punto di rilascio lungo l'asse longitudinale della nube</td> </tr> <tr> <td>UVCE</td> <td>dal punto di rilascio</td> </tr> <tr> <td>Dispersione tossica</td> <td>dal punto di rilascio lungo l'asse longitudinale della nube</td> </tr> </tbody> </table>	Scenario	Riferimento per la distanza di danno:	Jet fire	dal punto di rilascio lungo l'asse longitudinale del getto	Pool fire	dal punto di rilascio (centro della pozza) o bordo pozza	Flash fire	dal punto di rilascio lungo l'asse longitudinale della nube	UVCE	dal punto di rilascio	Dispersione tossica	dal punto di rilascio lungo l'asse longitudinale della nube
Scenario	Riferimento per la distanza di danno:												
Jet fire	dal punto di rilascio lungo l'asse longitudinale del getto												
Pool fire	dal punto di rilascio (centro della pozza) o bordo pozza												
Flash fire	dal punto di rilascio lungo l'asse longitudinale della nube												
UVCE	dal punto di rilascio												
Dispersione tossica	dal punto di rilascio lungo l'asse longitudinale della nube												
Simulazione rottura "totale" di tubazione	Da analizzare tramite valutazioni specifiche relative alla portata pompa, lunghezza e diametro della linea.												
Simulazione del Pool fire	È suggerito l'utilizzo del modello "smoky flame", così come disponibile nel software package Phast Professional, per la valutazione delle distanze di irraggiamento.												
Simulazione del Jet fire	È suggerito l'utilizzo del modello "cone model", così come disponibile nel software package Phast Professional, per la valutazione delle distanze di irraggiamento.												

Tabella 31 – Specificazioni relative ai parametri delle simulazioni dei diversi scenari



10.4 Criteri per la valutazione degli effetti

La valutazione degli effetti degli scenari incidentali “credibili” sul personale / popolazione eventualmente esposta è condotta con riferimento alle soglie indicate dal Decreto Ministeriale 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”.

Di seguito si riportano le soglie relative agli scenari di riferimento.

Soglie di Danno a Persone e Strutture		Livello di Danno				
		Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili	Danni alle strutture Effetti Domino
Scenario incidentale	Incendio (radiazione termica stazionaria)	12,5 kW/m ²	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²	12,5 kW/m ² 37,5 kW/m ²
	BLEVE/Fireball (radiazione termica variabile)	Raggio fireball	350 kJ/m ²	200 kJ/m ²	125 kJ/m ²	100÷800, a secondo del tipo di stoccaggio
	Flash-fire (radiazione termica istantanea)	LFL	1/2 LFL	--	--	--
	UVCE (sovrapressione di picco)	0,3 bar (0,6 bar in spazi aperti)	0,14 bar	0,07 bar	0,03 bar	0,3 bar
	Rilascio tossico	LC ₅₀ (30 min)	--	IDLH	--	--

Tabella 32 – Criteri per la valutazione degli effetti (fonte: D.M. 9 maggio 2001)

È opportuno precisare che i livelli danno indicati in Tabella 31 sono correlati alle “zone 1, 2, 3, 4” richieste in Allegato C al D.Lgs. 105/2015 (cfr. Tabella 2 del D.M. 09/05/2011) per la stesura dell’Allegato I.5 del Rapporto di Sicurezza ai sensi dell’Art.15.



10.5 Presentazione dei risultati

Sulla base dei livelli di danno definiti al paragrafo 10.4, i risultati della valutazione delle conseguenze sono riportati in una tabella riassuntiva, il cui formato è schematizzato di seguito.

Scenario di danno - Caso ...		Top Event n° ...			
Scenario	Pool Fire				
Diametro pozza [m]	...				
Distanze da centro pozza [m]	37,5 kW/m ²	12,5 kW/m ²	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²
Meteo D5	...	...	...	...	...
Scenario	Flash Fire				
Campo di infiammabilità	Massa in campo di infiammabilità inferiore a 1500 kg				
Distanze da origine [m]	LFL (... ppm)		LFL/2 (... ppm)		
Meteo F2	...		...
Meteo D5	...		...
Scenario	Jet Fire				
Lunghezza getto [m]	...				
Distanze da origine [m]	12,5 kW/m ²	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²	
Meteo D5/F2	...	...	...	...
Scenario	Dispersione tossica				
Distanze da origine [m]	LC50 (... ppm)		IDLH (... ppm)		
Meteo F2	...		...
Meteo D5	...		...

Tabella 33 – Presentazione dei risultati della valutazione delle conseguenze degli scenari incidentali

10.6 Mappature delle conseguenze

Per ciascuno scenario incidentale credibile si procede alla elaborazione delle mappe delle conseguenze riportate sulla planimetria dell'impianto o dello stabilimento.

In tali mappature devono essere evidenziate le strutture e gli elementi territoriali particolarmente vulnerabili e/o sensibili presenti nelle aree di danno esterne allo stabilimento, quali ad esempio: ospedali, scuole, uffici pubblici, edifici residenziali, luoghi di ritrovo, strade, altri impianti industriali presenti, così come riportato nella corografia di sito.

Le informazioni relative alle aree di danno devono essere fornite anche in formato vettoriale georeferenziato editabile (ad esempio: shapefile *.shp).



10.7 Incendi di pozza "smoky flame"

Per tener conto delle particolari modalità di combustione delle benzine e liquidi assimilabili, in larghi specchi (pool o tank fire), si considera nella modellazione dell'incendio l'effetto "fiamma fumosa" o "smoky flame".



Nelle immagini a lato si vede un esempio reale di questo fenomeno, in conseguenza dell'incendio di un serbatoio di benzina, avvenuto nel 2005 presso l'Hertfordshire Oil Storage Terminal (Buncefield Oil Depot) in Inghilterra.

In incendi di serbatoi di notevoli proporzioni, l'aria (comburente) non riesce ad assicurare una combustione ottimale, soprattutto all'interno dello specchio in fiamme rispetto al bordo. Questo anche in relazione alla quantità di combustibile che si sviluppa in relazione al notevole calore prodotto dallo specchio in fiamme. Ciò fa sì che la combustione, non ottimale, generi molto fumo, costituito da particelle carboniose incombuste che, per le proprie caratteristiche, schermano l'irraggiamento termico.



Da questa modalità di combustione deriva la definizione della fiamma di tipo "fumoso" e non di tipo "luminoso", come nel caso di combustione di prodotti leggeri come GPL, e comporta una riduzione consistente della emissività teorica della fiamma.

Nei casi ipotizzabili di incendi con "smoky flame", per la valutazione delle curve di isoirraggiamento occorre utilizzare un apposito modello di simulazione, disponibile nel package Phast Pro.



11 VALUTAZIONE DEI POTENZIALI EFFETTI DOMINO

11.1 Generalità

Il nuovo D.Lgs. 105/15 pone specifica attenzione alla tematica dell'effetto domino (espressamente sviluppata in apposito Allegato E).

La definizione riportata in maniera completa al paragrafo 3 della presente linea guida, è specificamente mirata agli eventi incidentali che possono propagarsi al di fuori dello stabilimento di origine, verso altro stabilimento. Più in generale, l'approccio si applica anche alle valutazioni da condurre all'interno del medesimo impianto e del medesimo stabilimento.

L'effetto domino è classificabile come il meccanismo con il quale un incidente rilevante iniziale ("primario"), generato in una apparecchiatura, causa un ulteriore evento incidentale rilevante ("secondario"), per energia termica o meccanica, in un'altra apparecchiatura.

Vi è un comune orientamento a riconoscere come l'evento secondario debba incrementare in grande misura lo scenario iniziale. Questo comporta che lo scenario "secondario" generato sia di gravità superiore a quella dello scenario iniziatore.

11.2 Metodologia

In relazione alle indicazioni bibliografiche di indirizzo e di impostazione sopra richiamate, la metodologia applicativa, presentata nel dettaglio nei successivi paragrafi presenta la seguente articolazione:

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

11.2.1 Definizione degli scenari sorgente

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

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



Si escludono pertanto preliminarmente quegli scenari incidentali che comportano dispersioni tossiche, eco-tossiche o flash fire.

11.2.2 Definizione delle aree di influenza degli scenari sorgente

Le aree limite per l'effetto domino sono individuate come da tabella seguente (rif. Allegato E, D.Lgs. 105/2015).

Scenario	Parametro critico
Incendio (radiazione termica stazionaria)	12,5 kW/m ²⁵
Proiezione frammenti	200 ÷ 800 m ⁽⁶⁾
VCE (sovrappressione di picco)	Soglia a 0,3 bar ⁽⁷⁾
Rilascio tossico	IDLH ⁸

Tabella 34 – Soglie di danno per effetto domino per irraggiamento / ingolfamento

⁵ Nelle more dell'attuazione di quanto previsto al comma 3 dell'art. 22 del D.Lgs 105/2015, valgono, in quanto applicabili, le disposizioni previste dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 9 Maggio 2001, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 138 del 16 giugno 2001 (S.O. n. 151).

Il valore di soglia per i possibili danni alle strutture e apparecchiature, in tabella, rappresenta un limite minimo applicabile ad obiettivi particolarmente vulnerabili, quali serbatoi atmosferici, pannellature in laminato plastico, etc. e per esposizioni di lunga durata. Per obiettivi meno vulnerabili potrà essere necessario riferirsi a valori più appropriati alla situazione specifica, tenendo conto anche della effettiva possibile durata dell'esposizione.

⁶ Secondo la tipologia del serbatoio, per quanto riguarda i danni materiali, da considerarsi ai fini di un possibile effetto domino diretto, si possono prendere a riferimento le tipiche distanze entro cui si verifica la proiezione della maggior parte dei frammenti di dimensioni significative, pari a 200 metri nel caso delle unità di imbombolamento e relativo immagazzinamento (NdR 100 m per parco bombole GPL in DM 15/05/1996 e in DPCM 25/02/2005), 500 metri per serbatoi di stoccaggio sferici (NdR 600 m per sfere GPL in DM 15/05/1996) e 800 metri per serbatoi di stoccaggio cilindrici (orizzontali come ad es. GPL).

⁷ Per quanto riguarda i danni materiali, da considerarsi ai fini di un possibile effetto domino diretto, si può prendere a riferimento il valore di soglia di 0,3 bar corrispondente al possibile danneggiamento di strutture pesanti, di apparecchiature di processo, di serbatoi, e tubazioni.

⁸ Ai fini della valutazione dell'area interessata da possibili effetti domino indiretti per dispersione di gas o vapori tossici si fa riferimento cautelativamente alle aree di danno associate all'IDLH ("*Immediately Dangerous to Life and Health*": fonte NIOSH/OSHA): concentrazione di sostanza tossica fino alla quale l'individuo sano, in seguito ad esposizione di 30 minuti, non subisce per inalazione danni irreversibili alla salute e sintomi tali da impedire l'esecuzione delle appropriate azioni protettive. Si rileva che il tempo di esposizione di 30 minuti viene fissato cautelativamente sulla base della massima durata presumibile di rilascio, evaporazione da pozza e/o passaggio della nube. In condizioni impiantistiche favorevoli (ad es. sistema di rilevamento di fluidi pericolosi con operazioni presidiate in continuo, allarme e pulsanti di emergenza per chiusura valvole, etc.) e a seguito dell'adozione di appropriati sistemi di gestione della sicurezza, come definiti nella normativa vigente, il gestore dello stabilimento può responsabilmente assumere, nelle proprie valutazioni, tempi di esposizione significativamente diversi; ne consegue la possibilità, per la stima dell'area di effetti domino indiretti, di adottare valori di soglia corrispondentemente diversi da quelli di Tabella II (purché ad esito di valutazione o comunque parere favorevole dell'autorità competente).



11.2.3 Individuazione delle apparecchiature bersaglio presenti nelle aree di influenza, e selezione dei bersagli critici

La metodologia, nei casi di scenari sorgente considerati, prevede l'analisi delle apparecchiature bersaglio nelle aree di influenza precedentemente determinate e la selezione come apparecchiature o bersagli critici, di quelle la cui capacità risulti **superiore a 5 t**, indipendentemente da durata di esposizione, barriere o schermi, mitigazioni disponibili.

11.2.4 Valutazione della possibilità di effetti domino

Per quanto riguarda la probabilità di effetto domino si applicano i valori riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella da Allegato E pag. 167 del D.Lgs. 105/2015

Effetto sorgente	Probabilità	Note
Interessamento da jet fire con durata inferiore a 5 min	0	
Interessamento da jet fire con durata tra 5 e 10 min	0,5	
Ingolfamento con jet fire con durata superiore a 10 min.	1	
Irraggiamento superiore a 37.5 kW/m ² con durata inferiore a 10 min o interessamento da pool fire con durata inferiore a 10 min	0	(1)
Irraggiamento superiore a 37.5 kW/m ² con durata superiore a 10 min o interessamento da pool fire con durata superiore a 10 min (per obiettivi tipo serbatoi e apparecchiature atmosferici)	1	(2)
Irraggiamento superiore a 37.5 kW/m ² con durata superiore a 10 min o interessamento da pool fire con durata superiore a 10 min (per obiettivi tipo serbatoi e apparecchiature a pressione e tubazioni)	0,5	(2)
Irraggiamento superiore a 37.5 kW/m ² con durata superiore a 20 min	1	(2)
Irraggiamento inferiore a 12.5 kW/m ²	0	(1)
Irraggiamento tra 12.5 e 37.5 kW/m ² con durata inferiore a 10 min	0	(1)
Irraggiamento tra 12.5 e 37.5 kW/m ² con durata superiore a 10 min	vedere nota	(3)
Irraggiamento tra 12.5 e 37.5 kW/m ² con durata superiore a 20 min	vedere nota	(3)

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

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

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

Tabella 35 – Probabilità di effetto domino per irraggiamento / ingolfamento



Tabella da Allegato E pag. 168 del D.Lgs. 105/2015

Effetto sorgente	Probabilità	Note
Sovrapressione inferiore a 0,3 bar	0	
Sovrapressione superiore 0,6 bar (per obiettivo serbatoi e apparecchiature atmosferici)	1	(1)
Sovrapressione superiore 1 bar (per obiettivo serbatoi e apparecchiature in pressione e tubazioni)	1	(1)
Sovrapressione tra 0,3 e 0,6 bar (per obiettivo serbatoi e apparecchiature atmosferici)	vedere nota	(2)
Sovrapressione tra 0,3 e 1 bar (per obiettivo serbatoi e apparecchiature in pressione e tubazioni)	vedere nota	(2)
(1) Per la distinzione tra apparecchiature atmosferiche e in pressione, si può fare riferimento alla pressione di progetto, che per apparecchiature in pressione deve essere superiore a 2 bar assoluti.		
(2) Probabilità interpolata linearmente rispetto alle probabilità corrispondenti ai due estremi del valore di sovrappressione.		

Tabella 36 – Probabilità di effetto domino per sovrappressione

Tabella da Allegato E pag. 168 del D.Lgs. 105/2015

Probabilità di effetto domino per PROIEZIONE FRAMMENTI		
Effetto sorgente	Probabilità	Note
Frammenti da componenti minori (tubazioni, bombole, ecc.)	vedere nota	(1)
Frammenti da collasso di recipiente essenzialmente isometrico o equivalente (sfere, serbatoi verticali)	vedere nota	(1)
Frammenti da collasso di recipiente a sviluppo longitudinale o equivalente (serbatoi orizzontali)	vedere nota	(2)
(1) Probabilità pari a 1, dato l'impatto con l'obiettivo vulnerabile, fino a distanze dell'ordine di 200m.		
(2) Probabilità pari a 1, dato l'impatto con l'obiettivo vulnerabile, fino a distanze dell'ordine di 800m.		

Tabella 37 – Probabilità di effetto domino per proiezione frammenti



11.2.5 Stima della credibilità degli effetti domino

Come sopra specificato, la metodologia adottata prevede la valutazione degli effetti domino basata sulla valutazione probabilistica semplificata, senza tenere conto di fattori di mitigazione, quali il tempo, i sistemi di raffreddamento disponibili e le modalità di intervento delle squadre di emergenza.

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

Nel caso in cui la frequenza di effetto domino risulti essere superiore o uguale alla soglia di credibilità fissata in $1,00E-07$ occasioni/anno, l'effetto domino è ritenuto credibile e dovrà essere sviluppato quantitativamente.

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

Nella tabella seguente si schematizza un esempio di applicazione.



Identificazione dello scenario e delle apparecchiature critiche						
Scenario:	Jet Fire					
Origine:	Compressore C1					
Frequenza scenario:	1,45E-05 eventi/anno					
Lunghezza getto:	15 m					
Durata:	8 minuti					
<p>Albero degli eventi per gli effetti domino</p>						
ANALISI DELLE APPARECCHIATURE CRITICHE						
D-01						
Capacità	15 m ³ (8 tonnellate) di miscela facilmente infiammabile					
Direzione	Nord					
Distanza	10 m					
Sistemi di protezione passiva	Fire-proofing delle strutture portanti.					
Sistemi di protezione attiva	Sistema fisso di raffreddamento. Monitore acqua/schiuma comandato a distanza.					
Assistenza squadra di emergenza	Il tempo di intervento della squadra di emergenza di stabilimento è pari a 5 minuti.					
FREQUENZE ASSOCIATE AGLI EFFETTI DOMINO						
Item	Valori		Descrizione	Probabilità	Frequenza domino	Credibilità
D-01	Pd	0,125	Considerato conservativamente 1/8 delle possibili direzioni del getto.	0,00325	4,72E-08 occ/anno	Non credibile
	Ped	0,5	Come da metodologia per ingolfamento in fiamma con durata compresa tra 5 e 10 min.			
	Pp	1	Disponibilità di Fire-proofing limitata alle selle strutture portanti dell'apparecchiatura.			
	Pa	0,05	Fattore di indisponibilità per sistemi antincendio fissi			

Figura 3 – Esempio di albero degli eventi nella valutazione della credibilità degli effetti domino



Nei paragrafi che seguono sono riportate le indicazioni circa i fattori da applicare per lo sviluppo dell'analisi.

11.2.5.1 Sviluppo della tubazione ed involuppo delle distanze di danno

Nel caso di lunghe condotte (sorgenti lineari), dal momento che la frequenza dello scenario sorgente indicata nell'analisi di rischio si riferisce ad un generico incidente sull'intera linea considerata, per ottenere la frequenza dello scenario in corrispondenza del tratto di linea all'interno del quale l'area di influenza può interessare una apparecchiatura specifica (tratto-domino di linea), occorre procedere all'introduzione di un ulteriore fattore probabilistico, genericamente esprimibile come rapporto fra la lunghezza del tratto di interesse e la lunghezza totale della linea.

La formula generale da impiegarsi per il calcolo della frequenza di accadimento (occasioni/anno) di uno scenario lungo una linea risulta:

$$f_{Totale} = f_{base} \cdot L_{linea}$$

Dove:

f_{Totale} è la frequenza di accadimento calcolata sull'intera linea,

f_{base} è il rateo base di perdita dalla tubazione (espresso per metro di tubazione)

L_{linea} è la lunghezza complessiva (m) della tubazione in esame.

La frequenza dell'evento, pertanto, è calcolata sull'intera lunghezza della linea.

Nella figura che segue è riportata la rappresentazione su mappa dello scenario incidentale di pool fire, nella quale sono riportati due distinti potenziali bersagli di effetto domino.

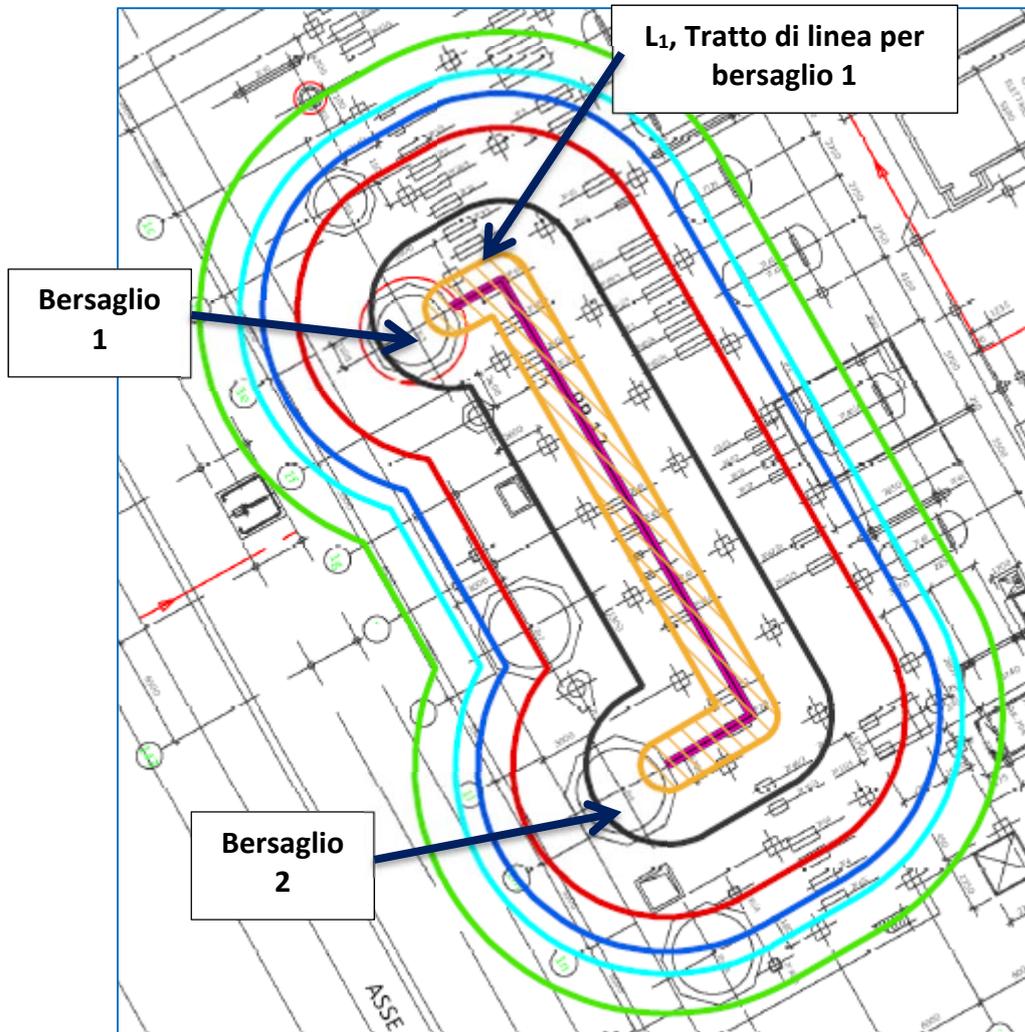


Figura 4 – mappa delle conseguenze con involuppo attorno ad una linea

Come rilevabile dalla figura sopra riportata, il bersaglio 1, identificato come possibile apparecchiatura critica per effetto domino, è raggiunto dall'irraggiamento dell'incendio di pozza, soltanto nel caso in cui la perdita di contenimento avvenga su di un tratto di tubazione prossimo al bersaglio stesso, indicato con la sigla L₁.

Se, viceversa, il rilascio (ed il conseguente incendio) è localizzato in corrispondenza del bersaglio 2, non sono attesi effetti di alcun tipo sul bersaglio 1.

Pertanto la frequenza iniziale per il calcolo dell'effetto domino sul bersaglio 1 deve essere opportunamente tarata in accordo alla lunghezza del tratto di linea L₁.



La formula aggiornata è la seguente:

$$f_{ED_bersaglio\ 1} = f_{Totale} \frac{L_1}{L_{linea}}$$

Dove:

$f_{ED_bersaglio\ 1}$ è la frequenza iniziale per il calcolo dell'effetto domino sul bersaglio 1;

L_1 è il tratto di linea che, in caso di rilascio può determinare effetti sul bersaglio 1

L_{linea} è la lunghezza complessiva (m) della tubazione in esame.

In assenza di elementi progettuali e di lay-out più dettagliati, la lunghezza del tratto L_1 può essere stimata in accordo ai seguenti criteri:

- Pool fire: $L_1 = 2 \times$ (distanza ad irraggiamento pari a $12,5 \text{ kW/m}^2$);
- Jet fire: $L_1 = 2 \times$ (lunghezza del getto);
- $L_1 = 0,1 \times L_{linea}$ è il valore minimo applicabile.

È importante precisare che le formule indicate nel presente sottoparagrafo non sono applicabili, nel caso in cui il valore di frequenza di accadimento calcolata sull'intera linea sia stato determinato mediante la metodologia di valutazione delle frequenze random descritta al sottoparagrafo 6.4.1 (API RBI 2008).

11.2.5.2 Probabilità base di effetto domino (P_{ED}) – Irraggiamento/Ingolfamento

La probabilità di effetto domino è condizionata dal tempo di esposizione (t_E) delle apparecchiature-bersaglio soggette all'irraggiamento od alle fiamme.

Le soglie di irraggiamento pericoloso (I_P) che possono in generale dare luogo ad effetto domino sulle strutture ed apparecchiature critiche esposte sono comprese tra $12,5 \text{ kW/m}^2$ e $37,5 \text{ kW/m}^2$.

Il collegamento fra la probabilità di effetto domino, l'irraggiamento/ingolfamento ed il tempo di esposizione è definito, in forma discreta, nei criteri proposti dal CNWF e riportati in tabella 2, dai quali si può ricavare, per i casi più generali, i seguenti grafici indicanti le correlazioni fra I_P , P_{ED} e t_E .

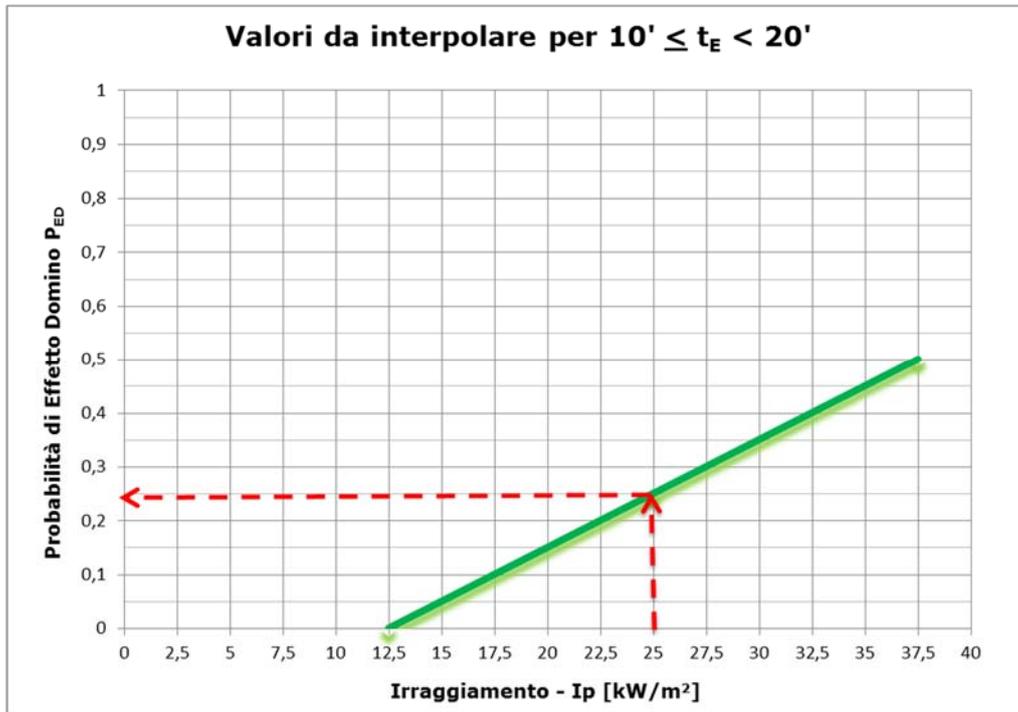


Figura 5 – interpolazione della probabilità per t_E compreso tra 10 e 20 minuti

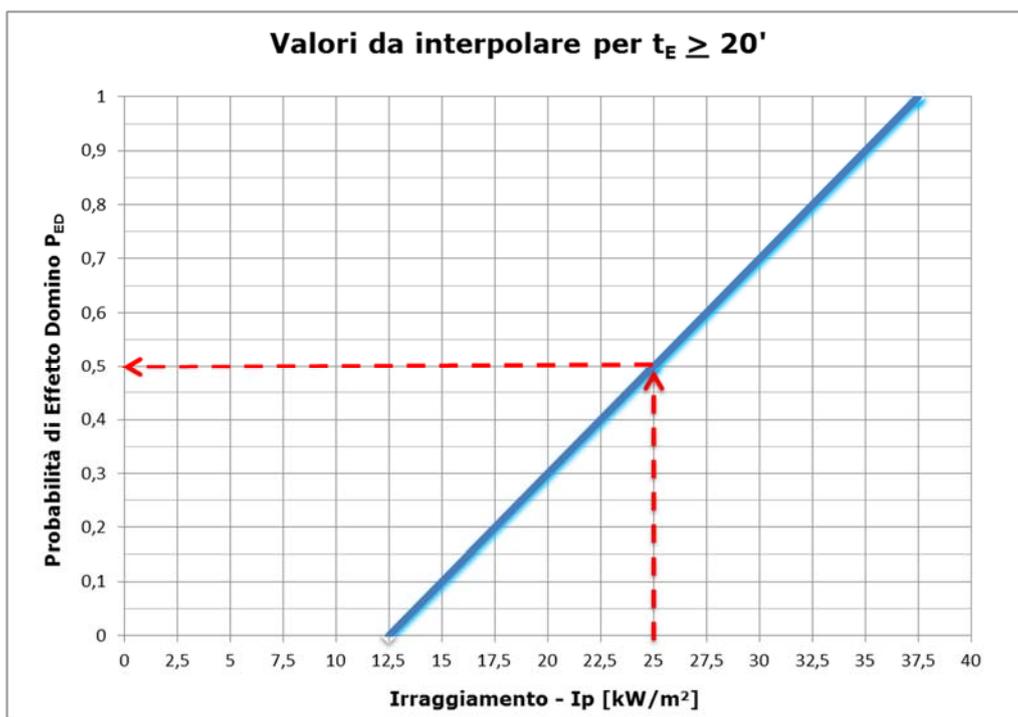


Figura 6 – interpolazione della probabilità per t_E maggiore di 20 minuti



Nella rappresentazione grafica, l'interpolazione lineare fra I_P e P_{ED} può essere determinata con riferimento a due linee rette, contraddistinte dai due valori parametrici predeterminati del t_E :

- tempo t di esposizione da 10 min fino a 20 min (probabilità calcolata mediante interpolazione tra 0 e 0,5).
- tempo t di esposizione superiore a 20 min (probabilità calcolata mediante interpolazione tra 0 e 1);

Le linee tratteggiate illustrano come, entrando nel grafico con un valore di I_P si possano determinare le relative probabilità P_{ED} .

Dalla applicazione si rileva come per un valore di irraggiamento pari a 25 kW/m² corrisponda un fattore pari a 0,25 per t_E compreso tra 10 e 20 minuti, che sale al valore di 0,5 per t_E superiore a 20 minuti.

11.2.5.3 Probabilità di Effetto Domino da Jet Fire (P_{EDJ})

Il jet fire (o getto di fuoco) è l'incendio che si determina per innesco di un getto di fluido infiammabile stoccato in pressione, solitamente rilasciato ad alta velocità. Può causare danni alle strutture e/o alle persone in relazione all'entità dell'irraggiamento che si sviluppa. Il jet fire può dare origine ad effetto domino quando la struttura/apparecchiatura critica sia investita dal getto.

Il getto ha variabilità della sua direzione, in dipendenza della posizione della apertura e di eventuali co-fattori che possono indirizzarne l'orientamento (es. piano dell'accoppiamento flangiato, in caso di rottura di guarnizione).

La Probabilità di Effetto Domino da Jet Fire (P_{EDJ}) risulta combinazione della P_{ED} , definita al paragrafo precedente, e del Fattore di Direzionalità (P_D) secondo la formula:

$$P_{EDJ} = P_D * P_{ED}$$

Il fattore P_D è a sua volta calcolato in accordo ai seguenti principi:

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



elevato per tenere conto del fatto che la maggiore vicinanza determina potenzialmente un maggiore rischio per il bersaglio.

I valori adottati sono inseriti nella tabella che segue.

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

Tabella 38 – Criteri di distanza del bersaglio

11.2.5.4 Probabilità di Effetto Domino per la presenza di Protezioni Passive (P_P)

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

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

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

Tali valori devono necessariamente essere valutati ed eventualmente confermati caso per caso.

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

11.2.5.5 Probabilità di Effetto Domino per la presenza di Protezioni Attive (P_A)

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



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

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

Tali valori devono necessariamente essere valutati ed eventualmente confermati caso per caso.

L'applicazione di valori differenti dovrà essere opportunamente giustificata.



12 VALUTAZIONI DELLE CONSEGUENZE DI SCENARI AMBIENTALI

12.1 Generalità

Nel presente documento sono specificate le modalità di valutazione delle conseguenze derivanti dal rilascio di sostanze ecotossiche (categorie E1, E2 dell'Allegato I, parte I, del D.Lgs. 105/2015).

Sono esaminati i casi di rilascio su:

- terreno libero;
- acque superficiali.

e presentate le relative metodologie di valutazione delle conseguenze ambientali a seguito dei rilasci stessi.

12.2 Rilascio su terreno libero

12.2.1 Individuazione metodologia

In caso di rilascio su terreno libero, a valle dell'individuazione dell'evento incidentale con potenziale conseguenze ambientali (Allegato 11), al fine di valutare le vie di migrazione del rilascio ed il relativo destino ambientale, risulta fondamentale la definizione delle caratteristiche chimico-fisiche della sostanza in esame.

In caso di rilascio su terreno libero, il prodotto libero (*NAPL - Non-Aqueous Phase Liquids*) può migrare attraverso la zona insatura fino ad arrivare alla zona satura e a quel punto esser movimentato all'interno della falda acquifera presente.

La sostanza, in funzione della sua densità, può esser distinta in:

- *LNAPL*: i composti organici definiti LNAPL (light non aqueous phase liquids) sono poco miscibili in acqua e più leggeri di essa e tendono a galleggiare sulla superficie della falda se presenti in fase libera; una parte ridotta dei composti migra in soluzione (es. idrocarburi leggeri).
- *DNAPL*: i composti organici denominati DNAPL (dense non aqueous phase liquids) hanno una densità superiore a quella dell'acqua tendono ad approfondirsi all'interno dell'acquifero; una parte ridotta dei composti migra in soluzione (solventi organo-clorurati).

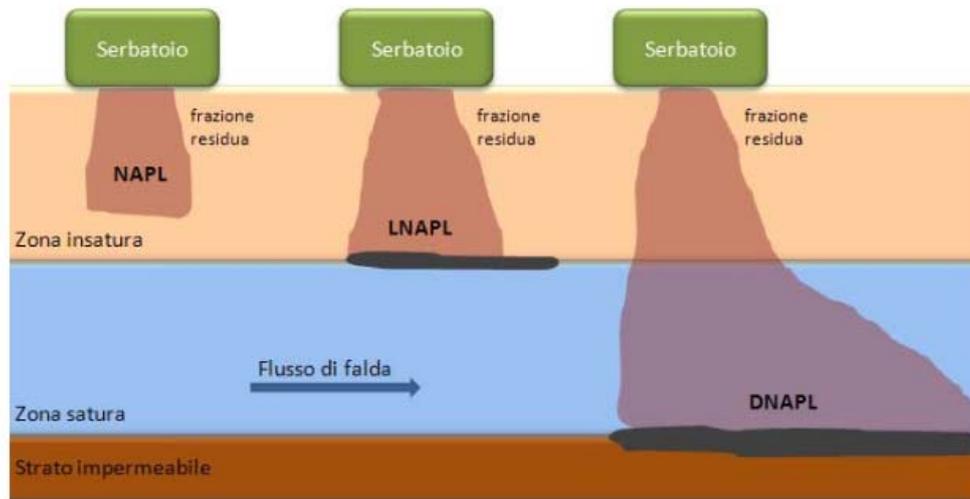


Figura 7 – Criteri di distanza del bersaglio

Il modello da utilizzare viene definito come segue:

Modalità rilascio	Caratteristiche sostanza	Modelli per la simulazione
Rilascio su terreno libero	LNAPL	HSSM + OLEINS/TGSPLUM in caso di arrivo in falda
	DNAPL	HSSM + TGSPLUME in caso di arrivo in falda

Tabella 39 – Tipologia di modelli disponibili per dispersione su suolo

12.2.2 Applicazione metodologia

La valutazione viene effettuata seguendo il seguente schema:

- acquisizione dati di base;
- utilizzo del software **HSSM** (Hydrocarbon Spill Screening Model) per l'esecuzione delle simulazioni;
- analisi critica dei risultati ottenuti.

In tabella seguente si riporta una sintesi dei dati di base necessari:



Tipologia dati di base		Fonte dati
Dati idrogeologici area del rilascio	profili stratigrafici	Documentazione disponibile in stabilimento
	Soggiacenza falda	Documentazione disponibile in stabilimento
	Altri dati idrogeologici (porosità, conduttività idraulica verticale, gradiente idraulico etc.)	Documentazione disponibile in stabilimento o in mancanza dati di letteratura
Informazioni relative alla sostanza oggetto del rilascio	<ul style="list-style-type: none"> • Densità • Viscosità dinamica • Solubilità in acqua • Tensione superficiale 	Scheda di sicurezza di stabilimento o in alternativa dati di letteratura

Tabella 40 – Dati necessari per metodologia HSSM

Le conseguenze del rilascio di una sostanza liquida ecotossica sul terreno sono valutate mediante il modello matematico Hydrocarbon Spill Screening Model (HSSM), sviluppato dall'ente di protezione ambientale americano (USEPA) in collaborazione con il dipartimento di ingegneria civile dell'Università del Texas.

HSSM ha come principale finalità la stima del comportamento di NAPL nel sottosuolo, a seguito di un rilascio accidentale. Il modello HSSM è composto da 3 moduli:

Modulo HSSM	Descrizione
KOPT (Kinetic Oily Pollutant Transport)	Modellizza il trasporto verticale dal suolo alla superficie della falda. Il modulo KOPT segue il comportamento dell'inquinante attraverso gli strati del terreno sovrastanti la falda acquifera e fornisce informazioni circa il tempo impiegato dall'inquinante a raggiungere il pelo libero della falda.
OILENS	Modellizza la formazione e l'evoluzione della lente oleosa sulla superficie della falda.
TGSPLUME (Transient Source Gaussian Plume)	Modellizza il trasporto e la dispersione del contaminante come miscela o di uno dei componenti della miscela stessa.

Tabella 41 – Dati necessari per metodologia HSSM



12.3 Rilascio su acque superficiali

12.3.1 Identificazione metodologia

Per identificare il metodo di valutazione delle conseguenze in caso di rilascio in acque superficiali, è innanzitutto necessario classificare la sostanza in funzione dello schema definito dall'Accordo di Bonn (European Behaviour Classification Group).

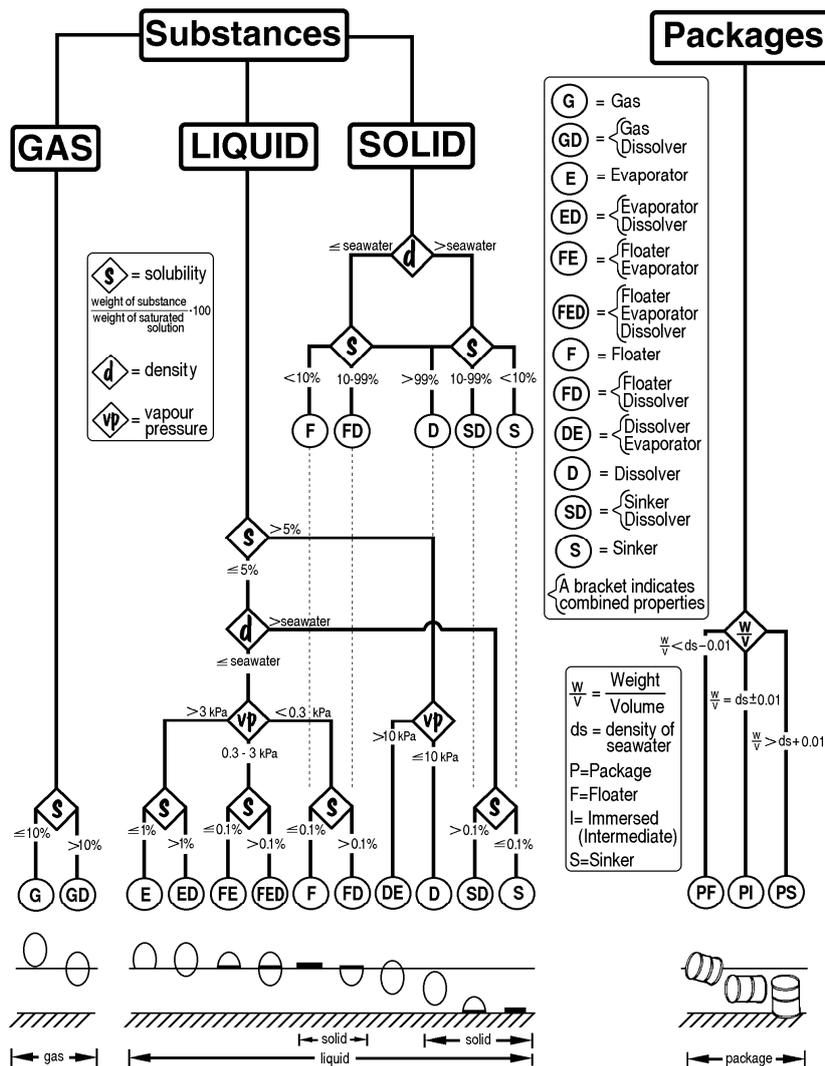


Figura 8 – Schema migrazione prodotto libero a seguito di rilascio su acque superficiali (EBCG - Accordo di Bonn)



I processi di trasformazione e migrazione che si attivano a valle del rilascio in acque superficiali sono numerosi e complessi. Progressione, durata e risultato di queste trasformazioni dipendono dalle proprietà e composizione della sostanza stessa, dalle caratteristiche del rilascio e dalle condizioni ambientali.

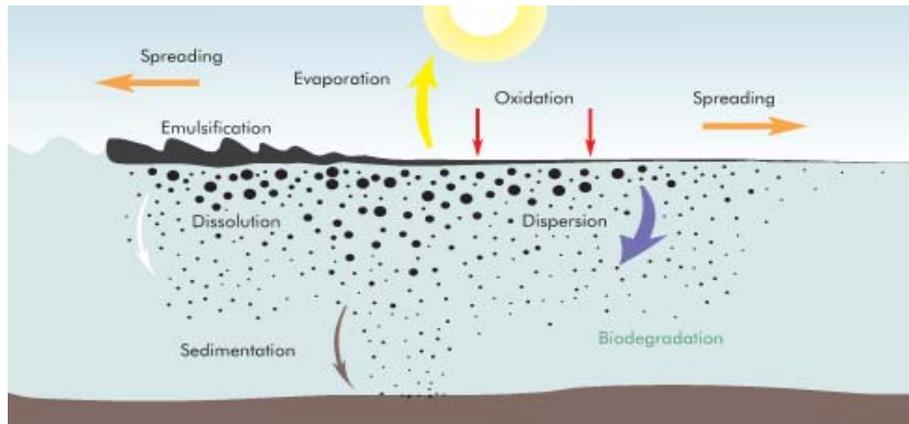


Figura 9 – Processi tipici che si verificano in seguito ad uno spillamento di idrocarburo (Fonte:ITOPF)

Tali processi di trasformazione sono sostanzialmente riconducibili ai seguenti:

- diffusione sulla superficie marina sotto l'influenza delle tensioni superficiali che agiscono lungo lo sviluppo del contatto interfacciale aria – acqua - sostanza e di altri fattori fisico – chimici;
- evaporazione delle componenti leggere del prodotto rilasciato, favorita da elevate velocità del vento, dalla turbolenza del mare, alte temperature, etc.
- dissoluzione delle componenti solubili presenti nella sostanza sversata;
- sedimentazione sul fondale, generalmente in caso di sostanze rilasciate (o generate da trasformazioni successive nel corpo idrico) con densità maggiore dell'acqua e scarsamente solubili;
- altri fenomeni minori quali:
 - dispersione, che consiste nella rottura parziale o totale della macchia in frammenti e gocce di dimensioni variabili che formano un miscuglio nella parte alta della colonna d'acqua,
 - emulsione fenomeno che può verificarsi in relazione alle caratteristiche della sostanza,
 - aggregazione, fenomeno che può verificarsi in relazione alle caratteristiche della sostanza,
 - trasformazioni e degradazioni chimiche-biologiche (ossidazione, distruzione, degradazione microbica) che con il passare del tempo permettono l'auto depurazione del corpo idrico.



In funzione delle dinamiche sopra descritte, il rilascio di una sostanza ecotossica in acque superficiali può esser schematizzata analizzando il fenomeno dominante che guida il destino ambientale della stessa.

La valutazione viene effettuata seguendo il seguente schema:

- acquisizione dati di base;
- utilizzo di software di modellazione e relazioni matematiche (ADIOS2, GNOME, formula di Fay) per l'esecuzione delle simulazioni e delle elaborazioni;
- analisi critica dei risultati ottenuti e predisposizione di una relazione tecnica.

Nella seguente tabella viene illustrata la modellazione applicabile in funzione del fenomeno di migrazione dominante a cui è soggetta la sostanza in esame.

Classificazione (EBCG - Accordo di Bonn)	Fenomeno dominante migrazione	Modellazione applicabile
FE (Floater / Evaporator)	Galleggia / Evapora	ADIOS per evaporazione Formule empiriche + GNOME per diffusione
F (Floater)	Galleggia	Formule empiriche + GNOME per diffusione
FED (Floater / Evaporator / Dissolver)	Galleggia / Evapora / Solubilizza	ADIOS per evaporazione Formule empiriche + GNOME per diffusione Valutazione PNEC per dissoluzione
FD (Floater / Dissolver)	Galleggia / Solubilizza	Formule empiriche + GNOME per diffusione Valutazione PNEC per dissoluzione
DE (Dissolver / Evaporator)	Solubilizza / Evapora	ADIOS per evaporazione Valutazione PNEC per dissoluzione
D (Dissolver)	Solubilizza	Valutazione PNEC per dissoluzione
SD (Sinker / Dissolver)	Affonda / Solubilizza	Valutazione PNEC per dissoluzione (*)
S (Sinker)	Affonda	(*)

Tabella 42 – Modelli applicabili in funzione del fenomeno di migrazione dominante

(*) Il fenomeno di sedimentazione non viene modellato in quanto di per sé non comporta fenomeni di interazione che necessitano il ricorso a modelli. L'impatto più significativo è il ricoprimento del fondale in corrispondenza del punto del rilascio, permettendo però agevoli operazioni di rimozione se effettuate in tempi rapidi.



12.3.2 Acquisizione dati di base

In tabella seguente si riporta una sintesi dei dati di base necessari alla simulazione degli effetti del rilascio in acque superficiali:

Tipologia dati di base		Fonte dati
Dati relativo all'area del rilascio	velocità e direzione prevalente del vento	Dati da elaborazioni Allegato 4
	temperatura dell'acqua	Dati da elaborazioni Allegato 4
	salinità dell'acqua (se applicabile)	Dati da elaborazioni Allegato 4
	Profilo della costa (se utilizzato GNOME)	Documentazione resa disponibile da Enti
	Andamento delle correnti marine (se utilizzato GNOME)	Documentazione resa disponibile da Enti
Informazioni relative alla sostanza oggetto del rilascio	<ul style="list-style-type: none"> • Densità • Viscosità dinamica • Solubilità in acqua • Tensione superficiale 	Scheda di sicurezza di stabilimento o in alternativa dati di letteratura

Tabella 43 – Dati necessari per applicazione del modello per dispersione in acqua

12.3.3 Modellazione scenario

La modellazione dello scenario è diversa a seconda del fenomeno dominante che, per le caratteristiche della sostanza, è atteso a valle del rilascio in acqua.

I modelli utilizzati sono i seguenti:

- Modellazione evaporazione modello ADIOS2
- Modellazione diffusione formule empiriche + GNOME
- Modellazione dissoluzione valutazione PNEC

1. Applicazione software ADIOS2

Le conseguenze del rilascio di sostanza ecotossica a mare vengono valutate mediante il modello matematico Automated Data Inquiry for Oil Spills (ADIOS2), sviluppato dalla divisione HAZMAT (Hazardous Materials Response Division) dell'Istituto oceanografico statunitense NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration Office).

Il software ADIOS2 è un modello che consente di stimare il quantitativo di sostanza evaporato, disperso e residuo, a seguito di uno sversamento in mare, a determinati intervalli di tempo dal momento in cui si è verificato il rilascio.



Le assunzioni di base del modello sono le seguenti.

- la diffusione della sostanza ecotossica oggetto del rilascio avviene senza ostacoli ed in mare aperto a causa del moto ondoso, delle correnti e dell'effetto della gravità. Nei casi in cui la diffusione della sostanza risulti influenzata/ostacolata da eventuali confini, come ad esempio la terra ferma, la risposta fornita dal programma potrebbe non essere accurata.
- la temperatura della sostanza eco tossica oggetto del rilascio rimane inalterata rispetto al valore inserito per la temperatura dell'acqua. Se la temperatura della sostanza oggetto del rilascio cambia a causa della radiazione solare, dell'interazione aria-acqua o di altri processi, la risposta fornita dal programma potrebbe non essere accurata.
- molti processi che coinvolgono la sostanza ecotossica oggetto del rilascio in mare sono influenzati dalla velocità del vento. Maggiore è l'accuratezza del dato relativo al vento, migliori saranno i risultati delle elaborazioni.
- ADIOS2 fornisce previsioni per un massimo di 5 giorni dal rilascio. Per periodi di tempo più lunghi potrebbero entrare in gioco fenomeni, quali biodegradazione e foto-ossidazione, che il programma non è in grado di gestire ed elaborare.

2. Applicazione software GNOME

Il software Gnome (General NOAA Oil Model Environment) è stato sviluppato anch'esso dall'ente statunitense NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration Office). Tale modello può essere utilizzato per effettuare previsioni in merito alle possibili direzioni e traiettorie che la sostanza rilasciata può assumere nel tempo.

Il modello è stato creato per la stima della traiettoria di un rilascio di un liquido surnatante nell'ambiente marino e la conseguente individuazione delle aree in cui, con maggior probabilità, questo potrà andare a "spiaggiarsi".

È importante considerare che il software GNOME rappresenta il moto dell'inquinante rilasciato in mare mediante un insieme di punti a cui è associata una determinata probabilità di localizzare in quell'area ed in quell'istante la macchia.

Il software GNOME non fornisce quindi informazioni sulla reale estensione della macchia di inquinante, che dovrà perciò essere determinata a posteriori, una volta terminata la simulazione, sfruttando specifiche formule empiriche (es. formula di Fay).

3. Valutazione PNEC

L'approccio utilizzato per la valutazione delle conseguenze si basa sulla determinazione del volume d'acqua coinvolto conseguentemente al rilascio.



La determinazione di tale volume è condotta sulla base dell'indice PNEC (Predicted No-Effect Concentrations)⁹ proprio della sostanza rilasciata.

La determinazione dell'indice PNEC della sostanza viene condotta seguendo l'approccio deterministico proposto dalla Linea Guida dell'ECHA (European Chemicals Agency) al Capitolo 10 ("Guidance on information requirements and chimica safety assessment – Characterisation of dose [concentration]-response for environment").

I dati utilizzati per derivare l'indice PNEC derivano da test di tossicità su singole specie condotti in laboratorio che riportano parametri relativi ad effetti sia a breve che a lungo termine.

La valutazione consiste nell'applicazione di un algoritmo che consente di valutare la quantità massima di acqua che può essere interessata da concentrazioni critiche, supponendo di massimizzare la dissoluzione della sostanza rilasciata.

La seguente formula consente la stima del volume di acqua di mare interessato da un rilascio di una sostanza ecotossica, con riferimento agli effetti acuti di tale sostanza.

$$V = \frac{Q}{PNEC * P * BCF}$$

dove:

- V è il volume di acqua coinvolto [m³];
- Q è la massima quantità di sostanza pericolosa che può essere rilasciata nell'acqua in funzione della relativa solubilità [g];
- PNEC è la concentrazione della sostanza che produce la morte del 50% delle specie biologiche di riferimento [mg/l];
- P è il fattore di persistenza, parametro adimensionale che può assumere i seguenti valori:
 - 0,5 per la vita media di un anno;
 - 0,75 per la vita media di alcuni mesi;
 - 1 per la vita media di alcune settimane;
- BCF è il fattore di bioconcentrazione, parametro adimensionale che può assumere i seguenti valori:
 - 0,5 se log(Kow) > 3,5;
 - 0,75 se 2,5 < log(Kow) < 3,5;
 - 1 se log(Kow) < 2,5;

⁹ Parametro che da informazione sul valore di concentrazione della sostanza all'interno di una data matrice ambientale, superata la quale si possono avere effetti avversi sul contesto ambientale considerato.



dove K_{ow} è il coefficiente di partizione acqua - ottanolo [adimensionale].

Si sottolinea che tale algoritmo è molto conservativo poiché non tiene conto né della quota evaporata né delle trasformazioni (sia biologiche che chimiche e fotochimiche) che la sostanza subisce nell'acqua marina.



13 ANALISI DEL RISCHIO NATURALE

13.1 Generalità

Alcuni eventi naturali costituiscono una potenziale origine di incidenti industriali rilevanti definiti per questo NaTech, (Natural-Technological) ad indicare la loro doppia composizione, naturale e tecnologica. Questi incidenti pongono, nelle aree soggette ad alcune tipologie di eventi naturali, un rischio addizionale, potenzialmente di rilevante entità.

In particolare gli eventi considerati sono i seguenti:

- Tornado (trombe d'aria).
- Sisma.
- Frane e allagamenti.
- Fulminazioni.
- Tsunami.

Tale documento definisce le modalità di analisi, basate su norme di legge disponibili, analisi storiche e bibliografia specializzata in materia, finalizzate ad individuare gli eventi naturali possibili cause di incidenti rilevanti e a definirne, dove possibile, la frequenza attesa di accadimento, fornendo un supporto, non necessariamente esaustivo né riduttivo, nell'esecuzione di un'analisi approfondita delle possibili conseguenze che un evento naturale potrebbe avere sulle apparecchiature di un impianto a rischio di incidente rilevante.



14 VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Le informazioni presentate in questo capitolo sono inerenti alla valutazione del rischio in funzione di criteri di accettabilità del rischio stesso.

Questi aspetti sono riconosciuti a livello globale, ciononostante è importante precisare che la normativa italiana vigente non ne richiede necessariamente l'impiego per lo sviluppo dell'analisi di rischio in accordo al D.Lgs. 105/2015. Pertanto, quanto riportato nei seguenti paragrafi è da intendersi non necessario per la stesura dei Rapporti di Sicurezza ai sensi dell'Art.15 dello stesso decreto.

14.1 Generalità

Una volta stimati la frequenza di accadimento e l'entità delle conseguenze degli scenari incidentali credibili, è opportuno stabilire un criterio per la valutazione del rischio associato. Esso può costituire un supporto nella definizione ed attuazione di azioni migliorative.

Sono presentati due metodi:

- Matrice di rischio;
- Rischio individuale;
- Rischio Sociale.

14.2 Matrice di rischio

La matrice di rischio fornisce una rappresentazione dei pericoli derivanti dall'accadimento di scenari incidentali 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 viene ottenuta riportando in un piano la frequenza attesa di accadimento e la severità delle conseguenze associate a ciascun scenario incidentale. Pertanto ogni scenario risulta rappresentato da un punto.

La posizione di un evento incidentale nella matrice costituisce una misura, seppure qualitativa, del rischio ad esso associato e può essere utilizzata ai fini di una valutazione sulla tollerabilità dei pericoli associati all'evento in esame, consentendo di discriminare tra tutti gli scenari quelli maggiormente critici.

La matrice di rischio deve essere definita dal gestore dello stabilimento (a livello del singolo stabilimento oppure di gruppo) e resa disponibile al momento della esecuzione dell'analisi di rischio.

Nei paragrafi che seguono è riportato un esempio applicativo di matrice di rischio.



14.2.1 Classificazione delle frequenze di accadimento

Le frequenze di accadimento sono suddivise in cinque classi come segue:

FREQUENZA F [Scenari/anno]	DEFINIZIONE	CLASSE
$F \geq 1.0 \text{ E-}03$	Scenario non trascurabile	F1
$1.0 \text{ E-}04 \leq F < 1.0 \text{ E-}03$	Scenario improbabile	F2
$1.0 \text{ E-}05 \leq F < 1.0 \text{ E-}04$	Scenario raro	F3
$1.0 \text{ E-}06 \leq F < 1.0 \text{ E-}05$	Scenario molto raro	F4
$F < 1.0 \text{ E-}06$	Scenario estremamente raro	F5

Tabella 44 – Classificazione delle frequenze di accadimento

14.2.2 Classificazione dei danni

CLASSE DI DANNO	DEFINIZIONE CLASSE
A	Elevata letalità in prossimità del rilascio (5 ÷ 15 m), inizio letalità entro i confini di impianto.
B	Elevata letalità entro i confini di impianto, inizio letalità entro i confini di stabilimento, lesioni irreversibili fuori dallo Stabilimento ma entro il Sito multisocietario.
C	Elevata letalità entro lo Stabilimento, inizio letalità nei pressi di uffici e sale controllo non bunkerizzate, effetti domino su grandi serbatoi e strutture elevate, lesioni irreversibili fuori dal Sito multisocietario.
D	Elevata letalità su aree industriali esterne allo Stabilimento, inizio letalità fuori dal Sito multisocietario.
E	Elevata letalità su aree non industriali esterne al Sito multisocietario, 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.

Tabella 45 – Classificazione dei danni



14.2.3 Matrice di rischio

La combinazione della frequenza attesa di accadimento dello scenario e della severità delle conseguenze degli scenari stessi viene valutata mediante una matrice di rischio, nella quale si possono definire le seguenti tre aree di rischio:

- R1** area del rischio mitigabile. Qualora uno scenario fosse posizionato in tale area, il rischio ad esso associato è da ritenersi mitigabile senza ulteriori interventi (al di fuori del mantenimento) solo se non esistono interventi tecnicamente possibili di ulteriore mitigazione.
- R2** area di intervento. Nel caso di eventi posizionati in tale area si deve intervenire con misure di prevenzione o mitigazione (concetto ALARP) delle conseguenze associate.
- R3** area del rischio non tollerabile. Per gli scenari che ricadono in tale area si devono prevedere 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.

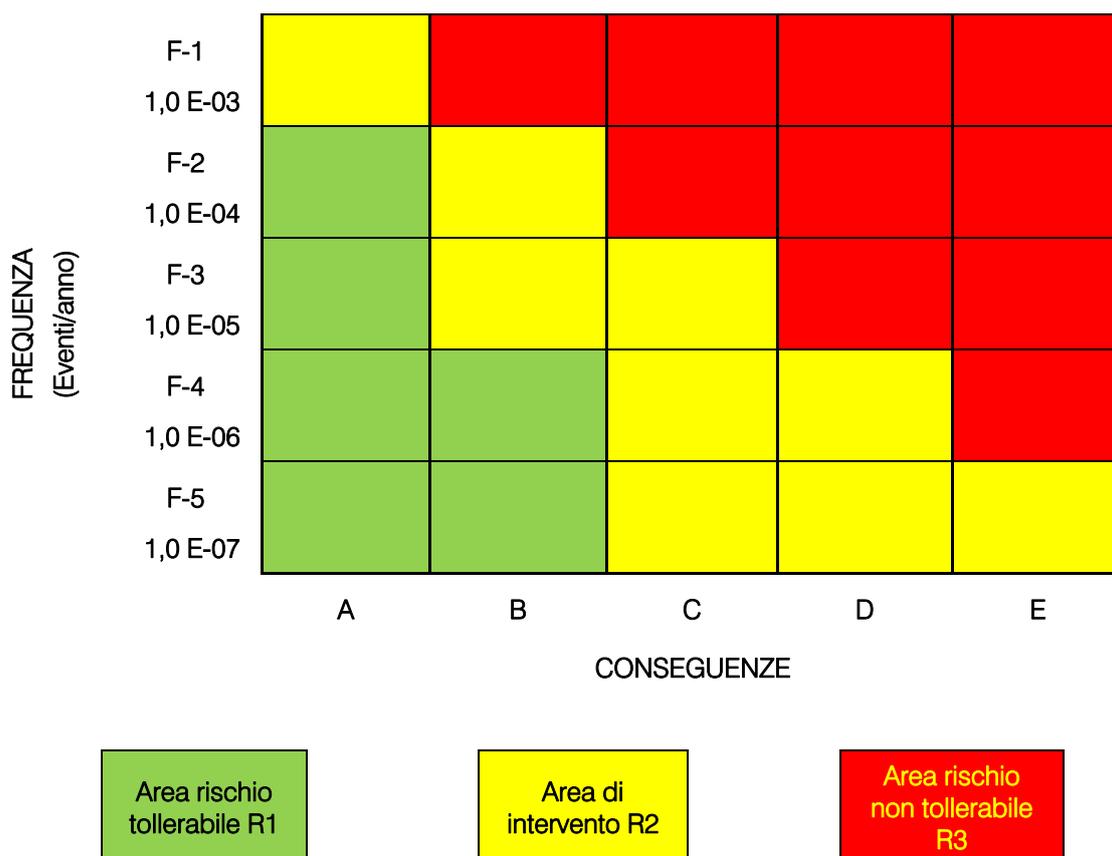


Figura 10 – Esempio di matrice di accettabilità del rischio



Ciascuno 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, sarà possibile classificare il rischio come tollerabile, oppure procedere alla definizione di un piano di miglioramento, atto alla riduzione del livello di rischio identificato.

14.3 Rischio individuale

Una modalità più complessa e dettagliata, ma che al tempo stesso fornisce un quadro molto preciso del livello di rischio associato ad una installazione è costituita dal modello di Rischio Individuale.

Tale tecnica è molto diffusa nei paesi anglosassoni ma non è, in generale, applicata nel contesto nazionale.

Il Rischio Individuale è definito come il rischio di una persona di morire in prossimità di un elemento/sistema di pericolo. Per un impianto chimico, il pericolo è costituito da un evento di qualsiasi natura che si origina in relazione all'attività di processo.

Il Rischio Individuale è 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 è la seguente:

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

dove:

- $I.R.(x,y)$ = Rischio Individuale nel punto geografico (x,y) (espresso in frequenza di decesso per anno)
- $I.R.(x,y)_i$ = 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.

$I.R.(x,y)_i$ è calcolato sulla base della formula che segue:

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

dove:

- f_i = frequenza dell'evento i-esimo (occasioni/anno), derivante dalla stima delle frequenze;
- pdi = fattore associato all'evento (tiene in considerazione la direzionalità del rilascio, le condizioni meteo, ecc.)



- $P_{f,i}$ = probabilità che gli effetti dell'evento i -esimo, determini un decesso nel punto geografico (x,y)

Il fattore p_{di} è assunto generalmente pari a 1 quando nel calcolo del rischio nessun peso viene attribuito alla distribuzione delle direzioni del vento e della stabilità atmosferica.

L'esito dell'analisi è rappresentato da una mappa territoriale in cui sono riportate le curve, ciascuna delle quali definisce una regione geografica all'interno della quale la frequenza attesa di decesso di una persona è pari ad un determinato valore di frequenza (rappresentazione delle curve di iso-rischio).

Un esempio di mappa di rappresentazione delle curve di isorischio è riportato qui sotto.



Figura 11 – Esempio di curva di isorischio

I risultati della valutazione dovranno essere confrontati con Criteri di accettabilità del rischio referenziati.



I livelli di accettabilità sono generalmente distinti per categorie di persone potenzialmente esposte; ad esempio:

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

14.4 Rischio Sociale

Questa tecnica di valutazione del rischio è, in generale, associata come valutazione complementare al Rischio Individuale. Tale tecnica è molto diffusa nei paesi anglosassoni ma non è, in generale, applicata nel contesto nazionale.

Il Rischio Sociale è elaborato come combinazione tra N, numero di persone potenzialmente a rischio di decesso in seguito agli effetti di un evento incidentale e la corrispondente frequenza (F) di accadimento.

La frequenza complessiva è calcolata la somma di tutti gli eventi incidentali identificati che possono causare almeno un numero di decessi pari a N.

Il calcolo della frequenza attesa di decesso è basato sulla effettiva distribuzione delle persone all'interno ed all'esterno dello stabilimento, fornita dal Gestore.

Il numero di decessi associato a ciascun evento i-esimo è calcolato sulla base della formula che segue:

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

dove:

- $p_{(x,y)_i}$ = numero di persone presenti all'interno della zona di influenza dell'evento i-esimo;
- pd_i = fattore associato all'evento (tiene in considerazione la direzionalità del rilascio, le condizioni meteo, ecc.);
- Pf_i = probabilità che gli effetti dell'evento i-esimo, determini un decesso nel punto geografico (x,y)

Il risultato dell'analisi sarà un grafico che rappresenta la combinazione tra il numero di decessi, N ed il corrispondente valore di frequenza, f.

Nella figura che segue è riportata un esempio di rappresentazione delle curve.

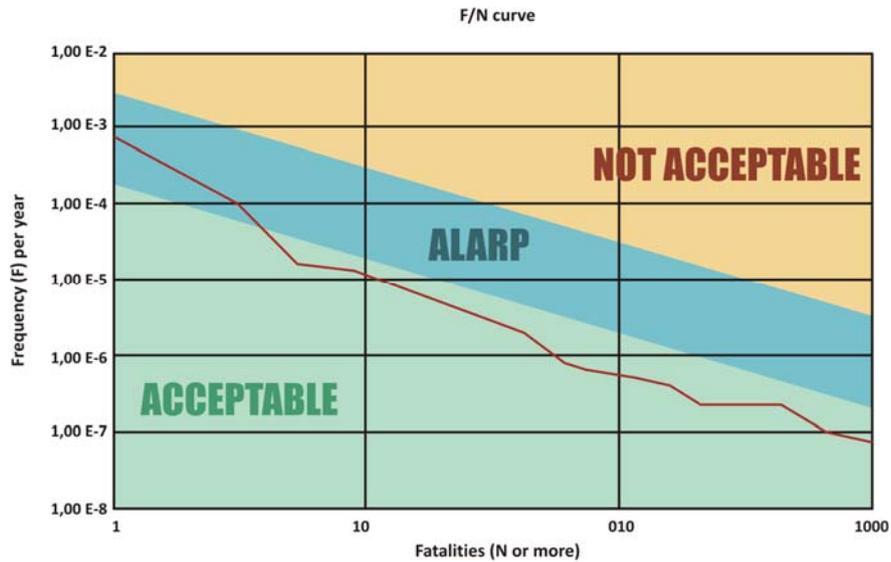


Figura 12 – Esempio di curve F-N

I risultati della valutazione dovranno essere confrontati con Criteri di accettabilità del rischio referenziati.

Ad esempio:

- 1 morto è accettabile con frequenza di accadimento pari a 10^{-4} occasioni/anno
- 100 morti sono accettabili con frequenza di accadimento pari a 10^{-6} occasioni/anno