

PROPONENTE



MASTER PLAN 2014-2029

AEROPORTO AMERIGO VESPUCCI FIRENZE

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

CONSULENZA SPECIALISTICA AMBIENTALE



RESPONSABILE PROGETTO E COORDINATORE TECNICO:

Ing. Lorenzo TENERANI



NOME ELABORATO

Valutazione degli incidenti indotti da impatti aerei sugli stabilimenti a rischio di incidente rilevante

SIA DLGS 104/2017 GEN 07 REL 002

Codice elaborato		SIA DLGS 104/2017 GEN 07 REL 002				Scala		
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato / Data
A		DICI - UniPi		DICI - UniPi		Landucci		Tenerani



Valutazione degli incidenti indotti da impatti aerei sugli stabilimenti a rischio di incidente rilevante

ING. GABRIELE LANDUCCI

ING. ANNA MARIA MONFELI

12/09/2017

Relazione finale delle attività previste dalla convenzione – rev 6

Sommario

1	Introduzione	4
2	Sicurezza nell'industria di processo: inquadramento normativo.....	5
2.1	La sicurezza industriale.....	5
2.2	La normativa per il controllo degli incidenti rilevanti.....	6
2.2.1	Direttiva Seveso I: dir. 82/501/CEE.....	6
2.2.2	Direttiva Seveso II: dir. 96/82/CE	6
2.2.3	Direttiva Seveso III: dir. 2012/18/UE	6
2.3	Analisi di sicurezza per stabilimenti a rischio di incidente rilevante	7
2.3.1	Metodi per l'identificazione dei pericoli di letteratura	7
2.4	Valutazione delle frequenze e delle conseguenze	8
2.4.1	Scenari di esplosione	9
2.4.2	Scenari di incendio.....	9
2.4.3	Scenari di dispersione.....	10
2.5	Valutazione e accettabilità del rischio: le misure di protezione.....	11
3	L'analisi dell'effetto domino nell'industria di processo	12
3.1	Introduzione	12
3.2	Metodologie di riferimento per la valutazione dell'effetto domino	13
3.2.1	Rischio di effetto domino e rapporto di sicurezza.....	13
3.2.2	Vettori di propagazione e scenari primari	13
3.2.3	Identificazione degli scenari incidentali causati dall'effetto domino	14
4	Scopo dell'attività.....	15
4.1	Approccio metodologico	15
4.2	Documenti di riferimento	16
4.2.1	Censimento attività basate sull'utilizzo di sostanze pericolose	16
4.2.2	Valutazione probabilità di impatto e area di studio	16
5	Analisi territoriale preliminare	17
5.1	Aziende in D.Lgs 26/6/2015, n. 105 (Seveso III)	17
5.2	Stabilimenti di riferimento e informazioni	18
6	Analisi probabilistica.....	20
6.1	Rilascio causato da impatto.....	20
6.2	Rilascio causato da incendio esterno	20
6.3	Analisi mediante albero degli eventi	20
7	Analisi delle conseguenze.....	22
7.1	Introduzione alla valutazione delle conseguenze	22

7.2	Modellazione	22
7.2.1	Impostazioni generali di modellazione.....	22
7.2.2	Impostazioni analisi Toscochimica.....	23
7.2.3	Impostazioni analisi ENICAL.....	25
7.2.4	Impostazioni analisi M&R	27
8	Risultati Toscochimica	30
8.1	Stoccaggio acido acetico.....	31
8.1.1	Sintesi dei risultati	31
8.1.2	Studio dettagliato della dispersione tossica	31
8.1.3	Analisi della compatibilità territoriale	32
8.2	Stoccaggio acido formico.....	34
8.2.1	Sintesi dei risultati	34
8.2.2	Studio dettagliato della dispersione tossica	34
8.2.3	Analisi della compatibilità territoriale	35
8.3	Stoccaggio percloroetilene	37
8.3.1	Sintesi dei risultati	37
8.3.2	Studio dettagliato della dispersione tossica	37
8.3.3	Analisi della compatibilità territoriale	39
8.4	Stoccaggio acido fluoridrico (soluzione al 40%)	40
8.4.1	Sintesi dei risultati	40
8.4.2	Studio dettagliato della dispersione tossica	41
8.4.3	Analisi della compatibilità territoriale	41
8.5	Effetto domino di secondo ordine.....	43
9	Risultati ENICAL	44
9.1	Stoccaggio zona Z1 (diesel).....	45
9.1.1	Sintesi dei risultati	45
9.1.2	Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello.....	45
9.2	Stoccaggio zona 2 (diesel)	47
9.2.1	Sintesi dei risultati	47
9.2.2	Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello.....	47
9.3	Stoccaggio zona 3 (benzina)	49
9.3.1	Sintesi dei risultati	49
9.3.2	Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello.....	49
9.4	Stoccaggio zona 4 (benzina e diesel)	51
9.4.1	Sintesi dei risultati	51
9.4.2	Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello.....	52

9.5	Stoccaggio zona 5 (petrolio)	54
9.5.1	Sintesi dei risultati	54
9.5.2	Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello.....	54
10	Risultati M&R.....	56
10.1	Incidenti legati alla perdita di etanolo.....	57
10.1.1	Sintesi dei risultati	57
10.1.2	Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello.....	57
10.2	Stoccaggio GPL.....	59
10.2.1	Sintesi dei risultati	59
10.2.2	Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello.....	60
11	Discussione dei risultati	62
11.1	Osservazione 1.....	62
11.2	Osservazione 2.....	63
11.3	Osservazione 3.....	63
12	Considerazioni conclusive.....	63
13	Bibliografia.....	64
14	Allegati	66
14.1	Anagrafica aziende Seveso III	66
14.2	Appendice elettronica	66

1 Introduzione

Nell'ambito del programma di sviluppo dell'Aeroporto di Firenze, è stata avviata, in data 24 marzo 2015, da parte di ENAC, in qualità di Proponente, presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare la procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), sulla base di documentazione predisposta dalla preesistente società AdF (oggi Toscana Aeroporti S.p.A.), inerente il Master Plan 2014-2029, approvato in via tecnica, in data 3 novembre 2014, da ENAC medesima.

La citata procedura VIA risulta attualmente ancora in corso, pur avendo la Commissione Tecnica VIA-VAS del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare emesso in data 02.12.2016 proprio parere n.2235, esprimendo parere positivo di compatibilità ambientale subordinato all'ottemperanza di prescrizioni, talune delle quali riferite alla tematica del rischio di incidente aereo e alla valutazione di potenziali effetti domino correlati alla presenza di stabilimenti industriali soggetti alla direttiva "Seveso".

La medesima tematica inerente lo studio di rischio incidentale e delle relative conseguenze risulta, inoltre, espressamente indicata e menzionata dal recente D.Lgs 104/2017 che definisce, a livello nazionale, nuovi indirizzi metodologici e procedurali in materia di VIA, recependo i più recenti indirizzi Comunitari.

Stante le suddette premesse, il Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa (DICI) è stato incaricato, mediante apposita convenzione, per effettuare specifici approfondimenti riferiti alla verifica dei possibili effetti derivanti da un impatto aereo sugli stabilimenti circostanti l'aeroporto e, in particolare, su quelli classificati dalla Direttiva Seveso come "a rischio di incidente rilevante", con specifico riferimento all'analisi dei potenziali effetti domino indotti dall'interazione tra attività aeroportuale (ovvero collisione accidentale di aerei) e apparecchiature in cui siano stoccate o processate sostanze pericolose.

Il presente documento riassume la metodologia adottata e risultati ottenuti nell'ambito della suddetta convenzione. Il documento si articola nelle seguenti parti:

- Nella Sezione 2 viene introdotto l'inquadramento normativo nell'ambito della sicurezza dei processi industriali chimici, oggetto della presente analisi
- Nella Sezione 3 vengono forniti maggiori dettagli sulle valutazioni e analisi dell'effetto domino nell'industria di processo, delineando l'approccio per tali valutazioni nel presente studio
- Nella Sezione 4 viene descritto lo scopo dell'attività di consulenza e ricerca, indicando i dati in ingresso alla presente analisi
- Nella Sezione 5 viene fornita un'analisi territoriale preliminare, in modo da identificare nella zona limitrofa all'aeroporto le installazioni di riferimento
- Nelle Sezioni 6 e 7 viene delineato l'approccio metodologico rispettivamente per le valutazioni delle frequenze e delle conseguenze degli scenari incidentali indotti da effetto domino
- Nelle sezioni 8-10 sono presentati in dettaglio i risultati ottenuti, discussi poi nella Sezione 11
- Infine, la Sezione 12 riporta le conclusioni del presente studio

Nell'ambito del presente studio, il gruppo di lavoro del Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa (DICI) è stato supportato dall'ing. Lorenzo Tenerani di Toscana Aeroporti (gestore aeroportuale). Il team di lavoro si è, inoltre, costantemente coordinato con ENAC.

2 Sicurezza nell'industria di processo: inquadramento normativo

2.1 La sicurezza industriale

La pericolosità legata ad uno stabilimento industriale in cui vengono processate o stoccate sostanze pericolose è rappresentata dalla sua potenzialità di provocare incidenti con conseguenti danni a persone, cose o all'ambiente. Le potenzialità degli scenari incidentali sono associate alle proprietà delle sostanze o materiali coinvolti in possibili anomalie o malfunzionamenti, all'energia liberata dalle reazioni chimiche che possono coinvolgere le sostanze pericolose, alle caratteristiche dell'attrezzatura di lavoro, delle condizioni operative o dell'utilizzo di date operazioni unitarie e condizioni di processo [1].

La credibilità che tale potenzialità si esprima sotto forma di evento dannoso di riferimento (morte di un individuo, danno a una struttura, etc.) in un periodo di tempo fissato, rappresenta il rischio [2,3]. Si definisce "*rischio*" (R) il prodotto fra la frequenza attesa (f) di presentazione di un evento indesiderato e la grandezza (M) del danno che esso può causare:

$$R = f \times M \quad (1)$$

Tale definizione, introdotta nell'analisi di affidabilità e di sicurezza degli impianti chimici alla fine degli anni '70, pur non essendo universalmente accettata ed utilizzata, è certamente quella che esprime meglio in termini analitici il concetto di "rischio".

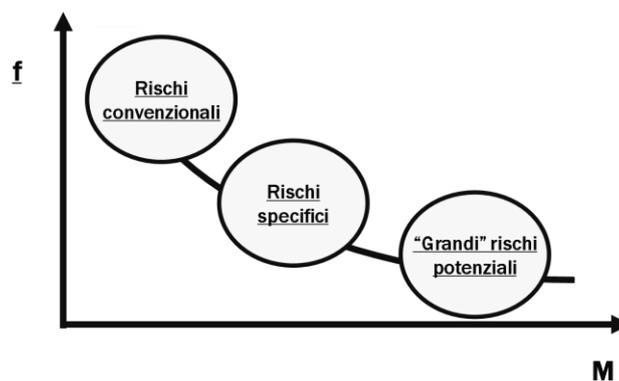


Figura 1 Rappresentazione schematica della classificazione del rischio

I rischi connessi con qualsiasi attività, ed in particolare con le tecnologie e processi chimici, possono essere classificati secondo la schematizzazione riportata in Figura 1 [2]:

- *rischi convenzionali*, collegati all'attività di lavoro ed alle apparecchiature ed impianti presenti in tutti i settori industriali (cadute da ponti o scale, scariche elettriche, organi di macchine in movimento). Essi hanno frequenza elevata ed interessano mediamente una o due persone;
- *rischi specifici*, relativi all'uso di sostanze o prodotti chimici che per loro natura possono danneggiare in tempi brevi o lunghi persone, cose o l'ambiente. Sono eventi continui o molto frequenti con danni modesti in tempi brevi;
- *grandi rischi potenziali*, derivanti da eventi anomali, con conseguente esplosione o fuoriuscita in tempi brevi di nubi di prodotti tossici o infiammabili in quantità così grande da interessare vaste aree all'interno ed all'esterno dello stabilimento. Sono eventi molto rari con danni gravissimi.

Eventi incidentali associati alla propagazione dell'effetto domino sono da considerarsi associati a grandi rischi potenziali per la severità delle conseguenze attese e vengono indicati nella normativa vigente in materia di sicurezza industriale (D.Lgs. 26 giugno 2015, n. 105) come *incidenti rilevanti*. Per "incidente rilevante" si intende "un 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 [...] che dia luogo a un pericolo

grave, immediato o differito, per la salute umana o l'ambiente, all'interno o all'esterno dello stabilimento, e in cui intervengano una o più sostanze pericolose".

Di seguito verrà presentata l'evoluzione del quadro normativo di riferimento in modo da identificare e discutere i metodi consolidati per l'analisi del rischio nell'industria di processo, con particolare riferimento alla valutazione dell'effetto domino.

2.2 La normativa per il controllo degli incidenti rilevanti

Il 10 giugno del 1976, un'esplosione all'interno di un reattore chimico dell'ICMESA in cui si produceva triclorofenolo, un composto di base impiegato nella produzione di cosmetici e disinfettanti, causò la fuoriuscita di una nube di diossina TCDD nei pressi della cittadina di Seveso in Lombardia. Gravi furono le ripercussioni dell'incidente nelle zone colpite dalla nube tossica: ripercussioni di natura sanitaria sui lavoratori e sugli abitanti delle aree circostanti, di tipo ambientale per le contaminazioni del territorio limitrofo e di tipo psicologico per l'allarme causato nella popolazione

(<http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/rischio-industriale>).

Gli avvenimenti di Seveso spinsero gli Stati membri della Comunità Europea a dotarsi di una normativa comune in materia di prevenzione degli incidenti industriali di cui viene tracciata l'evoluzione temporale.

2.2.1 Direttiva Seveso I: dir. 82/501/CEE

Tale Direttiva è stata recepita nell'ordinamento italiano con il D.P.R. del 17 maggio 1988, n. 175 "Attuazione della Direttiva CEE n. 82/501, relativa ai rischi di incidenti rilevanti collegati con determinate attività industriali, ai sensi della legge 16 aprile 1987, n.183".

La Seveso I ha introdotto: una sorta di censimento degli stabilimenti a rischio di incidenti rilevanti per la detenzione, oltre certe soglie, di sostanze pericolose (infiammabili, esplosive, tossiche per l'uomo e l'ambiente, comburenti), identificazione delle sostanze pericolose; controlli del rischio attraverso la valutazione, effettuata dall'autorità pubblica competente, del Rapporto di sicurezza che gli stabilimenti (di fascia alta) devono redigere e aggiornare periodicamente; la gestione dell'urbanizzazione attorno ai siti a rischio; e una corretta informazione degli abitanti delle zone circostanti.

2.2.2 Direttiva Seveso II: dir. 96/82/CE

La Seveso II specifica ulteriormente i collegamenti tra incidenti rilevanti e determinate sostanze classificate come pericolose rispetto alla Direttiva Seveso I. La direttiva prevede specifici obblighi per i gestori di quegli stabilimenti in cui siano o possano essere presenti tali sostanze, in quantitativi superiori ai limiti di soglia stabiliti dalla Direttiva stessa, al fine di prevenire eventi dannosi e limitarne le conseguenze.

Tale Direttiva è stata recepita dall'Italia con D. Lgs. 17 agosto 1999, n. 334 "Attuazione delle direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose".

Tra le innovazioni legate al recepimento della Seveso II vi è l'introduzione del concetto di effetto domino. Ovvero, viene esplicitamente considerato che la probabilità, la possibilità, le conseguenze di un incidente rilevante possano aumentare a causa del luogo, della vicinanza di più stabilimenti o delle sostanze presenti

A seguito di alcuni incidenti avvenuti tra il 2000 e il 2001 la Direttiva Seveso è stata emendata dalla Direttiva 2003/105/CE denominata Seveso II-bis, la quale è stata recepita nell'ordinamento giuridico italiano con il D. Lgs. 21 settembre 2005, n.238.

2.2.3 Direttiva Seveso III: dir. 2012/18/UE

La nuova direttiva comunitaria sul controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose, è stata emanata il 14 luglio 2012. Questo provvedimento ha sostituito integralmente, a partire

dal 1 gennaio 2015, le direttive precedenti. L'aggiornamento della direttiva comunitaria si è reso necessario per adeguare la disciplina al recente cambiamento del sistema di classificazione delle sostanze chimiche. Tale cambiamento è stato introdotto con il regolamento n. 1272/2008/CE, relativo alla classificazione, all'etichettatura ed all'imballaggio delle sostanze e delle miscele, al fine di armonizzare il sistema di individuazione e catalogazione delle sostanze chimiche all'interno dell'Unione europea con quello adottato a livello internazionale dall'ONU (GHS - Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals) <http://www.minambiente.it/pagina/la-direttiva-seveso-iii-decreto-legislativo-26-giugno-2015-ndeg105>.

Il 26 giugno 2015, con l'emanazione del D.Lgs n° 105, l'Italia ha recepito la direttiva 2012/18/UE (cd. Seveso III). Date le caratteristiche peculiari degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante e la loro pericolosità intrinseca, specifici metodi di analisi di sicurezza devono essere applicati in modo da supportare la redazione del rapporto di sicurezza. Lo scopo della Redazione di un rapporto di sicurezza è la valutazione dei rischi residui (in altre parole il rischio "rimanente" al netto degli interventi di prevenzione e protezione in essere) connessi con le attività svolte nell'ambito degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante.

2.3 Analisi di sicurezza per stabilimenti a rischio di incidente rilevante

La normativa in materia di sicurezza industriale prescrive l'utilizzo di metodologie consolidate per l'analisi di sicurezza per gli impianti a rischio di incidente rilevante, ossia ricadenti negli obblighi della direttiva Seveso.

L'analisi di rischio (QRA: Quantitative Risk Assessment) è una procedura richiesta applicata a determinati settori industriali (chimico, nucleare, etc). Per arrivare ad effettuare la valutazione del rischio e della propria accettabilità, è necessario che prima sia effettuata l'identificazione del rischio stesso. Per effettuare la valutazione e ricomposizione del rischio deve essere effettuata una stima della frequenza di accadimento (f) e della magnitudo dei danni (M) [1].

L'analisi di rischio è effettuata attraverso varie attività collegate tra loro ed elencate qui a seguire [3,4]:

- identificazione dei pericoli;
- valutazione e stima delle conseguenze (danni provocati dagli eventi);
- valutazione e stima della frequenza di accadimento degli eventi;
- valutazione del rischio sulla base della frequenza e delle conseguenze;
- valutazione dell'accettabilità del rischio sulla base di criteri di accettabilità (tecnici, ambientali, sanitari, sociali, economici).

2.3.1 Metodi per l'identificazione dei pericoli di letteratura

Come riportato nella normativa vigente sui rischi di incidenti rilevanti, nella redazione del Rapporto di Sicurezza è necessario effettuare l'identificazione e l'analisi dei rischi di incidenti e valutazione dei possibili metodi di prevenzione (allegato 2 del D.Lgs n°105/2015); per fare ciò, è necessario effettuare una descrizione dettagliata dei possibili scenari incidentali, delle loro probabilità di accadimento e delle condizioni in cui tali scenari possono prodursi, valutare l'estensione e la gravità delle conseguenze degli incidenti, riesaminare gli incidenti avvenuti in passato, descrivere i parametri tecnici e le attrezzature utilizzate per garantire la sicurezza degli impianti.

La normativa vigente impone l'utilizzo di Metodi ad Indici (DPCM 31/03/89) e del metodo HAZOP per effettuare la valutazione ed identificazione dei pericoli necessaria durante la redazione del rapporto di sicurezza.

- METODO AD INDICI (DPCM 31/03/89): il metodo ad indici è uno strumento di rapida valutazione del rischio che permette di effettuare una valutazione preliminare per l'identificazione di aree critiche di attività industriali. Tale metodo unisce una checklist ad un sistema di valutazione basato sull'attribuzione di punteggi ai singoli elementi. Il punteggio che ne deriva, rappresenta un indice di

rischio per effettuare una valutazione comparativa di pericolo o di rischio dei diversi impianti, apparecchiature e aree di processo.

- HAZOP: l'analisi HAZOP è una tecnica basata su "brainstorming sessions", applicata da un team di esperti che deve vedere rappresentate tutte le competenze e le discipline progettuali. Gli obiettivi comprendono: l'identificazione delle sequenze di guasti che possono portare ad incidenti rilevanti (Top Event), l'identificazione delle zone critiche di impianto dal punto di vista della sicurezza e del processo, la correzione di errori logici in fase di progetto, "decision making" per la riduzione dei rischi, adempimento della procedura per la stesura del rapporto di sicurezza richiesta dalle normative vigenti sulla sicurezza.

2.4 Valutazione delle frequenze e delle conseguenze

I risultati dell'identificazione dei pericoli vengono utilizzati per supportare la costruzione dell'albero dei guasti, che fornisce un supporto quantitativo per la valutazione della credibilità degli eventi incidentali [2]. La costruzione dell'albero dei guasti prevede un procedimento a ritroso, che inizia dal Top Event, e procede analizzando la causa dell'ultima deviazione che determina il Top stesso. Tale causa, a sua volta, viene trattata come deviazione per risalire a tutte le cause che ad essa possono concorrere, ogni volta che si verifica un guasto delle protezioni (automatiche o manuali), previste nel progetto.

L'albero dei guasti (Figura 2a), quindi, è l'espansione di ogni causa fino alla determinazione degli "eventi primari", i quali non sono più sviluppabili, e consiste nella rappresentazione grafica delle relazioni logiche tra eventi che, verificandosi, comportano l'accadimento dell'evento indesiderato (Top Event). Il Top Event rappresenta l'evento indesiderato di cui si vogliono determinare le cause e quantificare le probabilità di accadimento (ad esempio rilascio di sostanza, esplosione di un serbatoio, impossibilità di funzionamento del sistema). L'albero dei guasti, pertanto, fornisce una descrizione dei possibili malfunzionamenti, in grado di far verificare direttamente o indirettamente l'evento indesiderato.

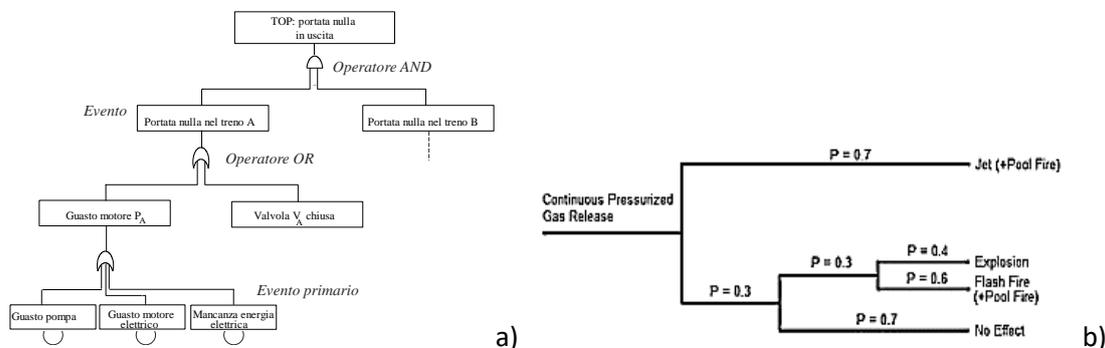


Figura 2 a) Esempio di un albero dei guasti; b) Esempio di un albero degli eventi

La valutazione delle conseguenze e l'identificazione dei possibili scenari incidentali determinati da un Top Event è preliminarmente effettuata attraverso la stesura dell'albero degli eventi [4]. L'albero degli eventi (Figura 2b) è un diagramma logico che mostra graficamente i possibili eventi finali che possono derivare da un singolo evento iniziatore o evento critico (di solito un Top Event relativo al rilascio di sostanze pericolose) che si traducono in incidenti. L'analisi prende in esame le risposte dei sistemi di sicurezza e degli operatori. Questa è una tecnica efficace e strutturata per l'analisi di processi complessi che abbiano implementato vari livelli di protezione [5].

I fattori che influenzano la tipologia di conseguenze sono principalmente:

- portata e quantità del rilascio;
- possibilità e velocità di innesco;
- condizioni meteorologiche;

- layout dell'area circostante.

Gli scenari incidentali di riferimento sono essenzialmente dispersioni tossiche, incendi ed esplosioni. Maggiori dettagli sugli scenari incidentali di riferimento sono forniti nel seguito. Specifici modelli a parametri concentrati vengono utilizzati per il calcolo delle conseguenze degli scenari incidentali, ovvero per la stima degli effetti fisici. A seconda dell'evento che si sta analizzando vengono definite le cosiddette aree di danno, cioè le distanze dalla sorgente dello scenario, alle quali si verificano dei particolari danni alle cose e lesioni alle persone in funzione del livello di effetto fisico ricevuto.

2.4.1 Scenari di esplosione

Gli incendi e le esplosioni sono originati entrambi da reazioni chimiche esotermiche e veloci (in fase gas), il cui insieme è chiamato combustione. Quando la combustione è accompagnata dalla emissione di quantità di energia con lunghezza d'onda nel campo visibile, si ha la fiamma.

La zona del sistema nella quale avvengono le rapide reazioni proprie della combustione è spesso chiamata "zona di fiamma", fronte di fiamma, onda di reazione, onda di combustione. Dalla zona di fiamma è emessa spesso energia luminosa.

In generale si distinguono due tipi di fiamma:

- fiamma premiscelata generata da una miscela di reagenti ben miscelati prima della reazione chimica;
- fiamma a diffusione generata da un reagente che diffonde nell'altro durante la reazione chimica.

Nella combustione premiscelata si può formare un'onda che, partendo dal punto o sezione di accensione, si propaga attraverso la miscela reagente con una velocità che dipende dalla velocità di reazione, ma anche dai fenomeni dinamici collegati al flusso della stessa miscela. L'esplosione è un rapido aumento di pressione causato da un rapido rilascio di energia come una reazione di combustione che produce calore in modo rapidissimo.

Nell'industria di processo si possono manifestare fenomeni esplosivi di diversa natura. La "deflagrazione" è un'onda di pressione o onda di combustione che si propaga a velocità subsonica. La "detonazione" è un'onda di pressione (o di combustione) che si propaga a velocità supersonica. Le esplosioni possono essere confinate, parzialmente o non confinate e possono essere causate dalla combustione di gas, vapori o polveri, oppure da reazioni chimiche incontrollate e liquidi criogenici [2].

2.4.2 Scenari di incendio

Nell'industria di processo possono manifestarsi diversi tipi di incendi, derivanti dalla ignizione di vapori o gas combustibili. La combustione che ha luogo in questi casi è essenzialmente modellabile come una fiamma a diffusione, laminare o turbolenta, di complessità più o meno elevata a seconda della geometria e delle condizioni al contorno.

Si possono avere incendi da serbatoi di stoccaggio di combustibili liquidi, di pozze di liquido formatesi a causa di rilasci accidentali o rotture di serbatoi e tubazioni (*pool fire*), incendi di vapori a bassa ed alta velocità (rispettivamente *flare* o *jet fire*). Incendi severi possono essere generati dalla rapida vaporizzazione di gas liquefatti in pressione con elevata infiammabilità (Es. GPL, gas di petrolio liquefatto) in seguito a rotture catastrofiche dei serbatoi di stoccaggio, generando effetti di sovrappressione conseguenti all'evaporazione (BLEVE ovvero *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*) e conseguente *fireball* [6]. Esempi di scenari di incendio di tipo industriali sono mostrati in Figura 3.

Gli scopi di una modellazione più o meno dettagliata dei fenomeni suddetti sono essenzialmente: la stima dei danni probabili in seguito all'incidente; la valutazione delle distanze di sicurezza da far rispettare agli operatori dell'impianto; la individuazione delle misure di sicurezza e/o dei mezzi estinguenti da impiegare in

caso di incidente (per esempio le portate di acqua necessarie per un intervento di spegnimento) ed infine una verifica della resistenza delle installazioni direttamente interessate dall'evento incidentale.

L'intensità dell'irraggiamento che si verifica in caso di incidente dipende da: a) geometria dell'incendio; b) caratteristiche chimico - fisiche dell'idrocarburo; c) condizioni atmosferiche (in particolare umidità); d) distanza dall'incendio [2].



Figura 3 Tipici scenari di incendio (fiamme diffuse) associati ai rilasci di sostanze infiammabili

2.4.3 Scenari di dispersione

Il rilascio di sostanze causato direttamente dalla perdita dei loro contenitori o dall'evaporazione genera nubi di gas o vapori infiammabili, reattivi o tossici che possono essere dispersi nell'atmosfera senza causare alcun pericolo acuto nelle aree circostanti.

Una nube di gas infiammabile è pericolosa se la concentrazione di tale sostanza è superiore al Limite Inferiore di Infiammabilità (LFL) e inferiore al Limite Superiore di Infiammabilità (UFL); essa quindi non sarà infiammabile in una zona vicina alla sezione di rilascio, né ad una distanza alla quale essa è stata sufficientemente dispersa (o diluita) nell'atmosfera [2].

Una nube di sostanza tossica è tanto più pericolosa quanto è più alta la concentrazione, che, seguendo le leggi della dispersione, diminuisce allontanandosi dalla sorgente, fino ad arrivare a concentrazioni non nocive [2].

Le caratteristiche della nube che si forma dipendono dalla modalità e dal tempo in cui avviene il rilascio, che può essere:

- finito, proprio di un fenomeno transitorio, (istantaneo o temporaneo);
- infinito, proprio di un fenomeno stazionario (prolungato o continuo).

La dispersione dipende dalla velocità iniziale e dalla densità del vapore o del gas rilasciato:

- rilascio con grande energia cinetica: getti (velocità superiore a 20 m/s):
 - gas o vapore con densità simile a quella dell'aria
 - gas o vapore con densità superiore a quella dell'aria.
- rilascio con energia cinetica trascurabile:
 - gas o vapore con densità simile a quella dell'aria
 - gas o vapore con densità superiore a quella dell'aria.

Nel caso di rilasci temporanei con formazione di una nube isolata, non interessa l'energia cinetica nella sezione di uscita poiché essa si annulla a breve distanza. La nube quindi si disperde in modo analogo alle nubi originate da rilasci con bassa energia cinetica. Nel caso di rilasci continui è importante individuare le caratteristiche della sorgente, che può essere puntuale, lineare o areolare.

2.5 Valutazione e accettabilità del rischio: le misure di protezione

Una volta calcolato il termine probabilistico del rischio (frequenza di accadimento dell'evento indesiderato) e determinata la magnitudo delle possibili conseguenze (indice di quanto grandi sono i danni), derivanti dal verificarsi dei singoli Top Event è possibile determinare il rischio associato ad ogni possibile incidente. La procedura completa è riportata nello schema in Figura 4.

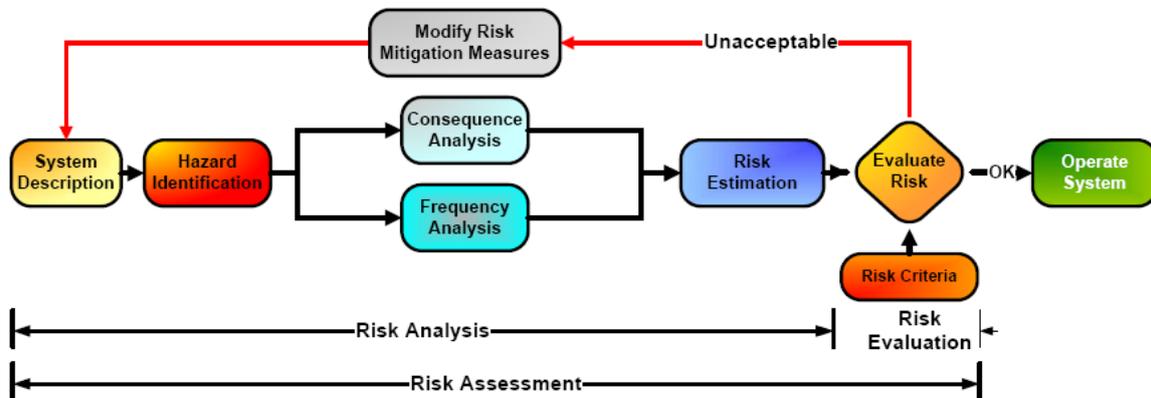


Figura 4 Procedura per la stima, valutazione e gestione del rischio industriale.

Dopo aver determinato e identificato il rischio è necessario verificare la sua accettabilità rispetto a determinati criteri tecnici, ambientali, economici, sanitari e sociali [7]. Nel caso in cui il rischio risultasse non accettabile, risulterebbe necessaria l'applicazione di strategie ed eventuali modifiche volte alla riduzione e mitigazione del rischio stesso, classificate dal CCPS (Center for Chemical Process Safety) [8] nel modo seguente:

- **Sicurezza Intrinseca:** riduzione o eliminazione dei pericoli attraverso l'uso di sostanze e condizioni di processo che siano meno o non pericolose. Questi cambiamenti devono essere radicali e non possono avvenire se non si attuano dei cambiamenti fondamentali al processo o alla progettazione dell'impianto e della sua disposizione in pianta (layout).
- **Sicurezza Passiva:** riduzione o eliminazione del pericolo attraverso misure che non richiedono l'attivazione dall'esterno, cioè attraverso caratteristiche di progetto del processo e delle apparecchiature che riducano la frequenza di incidenti e le conseguenze senza necessitare del funzionamento attivo di certi dispositivo.
- **Sicurezza Attiva:** utilizzo di dispositivi, quali: sistemi di controllo, interblocchi di sicurezza, sistemi di bloccaggio automatico in caso di emergenza, che richiedono attivazione esterna/automatica al fine di rilevare le deviazioni di processo potenzialmente dannose e di intraprendere le opportune azioni correttive. Un sistema di sicurezza attivo si compone di più elementi attivi come sensori, unità logiche e attuatori, quindi è importante sottolineare come il non funzionamento di ognuno di questi elementi possa causare il mancato funzionamento dell'intero sistema attivo di sicurezza. Per tale motivo, l'affidabilità ed il mantenimento di questi sistemi risulta di fondamentale importanza per l'adozione degli stessi.
- **Sicurezza Procedurale:** utilizzo di piani d'emergenza, procedure operative, controlli amministrativi e altri approcci di gestione al fine di prevenire o ridurre incidenti e minimizzare gli effetti degli incidenti stessi.

3 L'analisi dell'effetto domino nell'industria di processo

3.1 Introduzione

Nei contesti industriali, gli incidenti dovuti ad effetto domino, anche detti eventi a cascata, possono essere definiti come incidenti nei quali uno scenario iniziale o scenario primario (ovvero un incendio, esplosione o dispersione di sostanza pericolosa), genera una propagazione di ulteriori incidenti nelle apparecchiature vicine a quelle coinvolte, fino ad espandersi nelle unità adiacenti e, in casi peggiori, in impianti vicini a quello primariamente coinvolto [9]. La propagazione degli eventi incidentali avviene generalmente per mezzo di radiazione, sovrappressione o proiezione di frammenti dovuti all'esplosione delle apparecchiature [10].

Una rappresentazione schematica di una potenziale catena incidentale in cui avviene un effetto domino è mostrata in Figura 5.

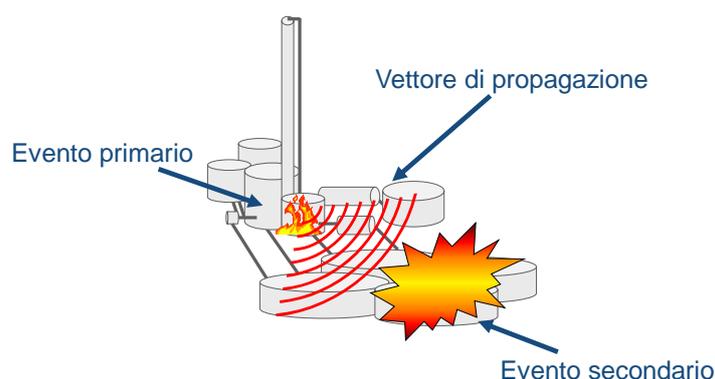


Figura 5 Schematizzazione dell'effetto domino nell'ambito degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante: un incidente in cui, a partire da un evento primario, si verifica un effetto o vettore di propagazione a causare uno o più incidenti secondari

Khakzad et al. [11] definiscono la vulnerabilità al domino come la suscettibilità di un impianto nel permettere ad un incidente primario di espandersi attraverso gli effetti a cascata, dando vita agli incidenti secondari, terziari e così via. Ne consegue che uno studio approfondito delle performance delle barriere preposte alla mitigazione e alla prevenzione degli scenari secondari può essere di grande importanza per la riduzione del rischio di propagazione di questi incidenti e per diminuire la vulnerabilità degli stabilimenti.

Sebbene a questo tipo di eventi sia associata una credibilità limitata [12], dato che non sempre un incidente trova le condizioni migliori per la propagazione, gli effetti associati ad esso possono essere molto gravi; tipicamente, un incidente a effetto domino determina il danneggiamento di diverse aree di impianto, e quindi le quantità di sostanze che vanno ad alimentare gli incendi o a disperdersi nelle aree interne ed esterne agli impianti sono in misura superiore rispetto ad uno scenario singolo [13].

Per questo motivo, mentre l'analisi quantitativa del rischio (QRA) si sviluppava negli anni '70-'80 nei contesti industriali per molte tipologie di scenari accidentali singoli, gli effetti domino riscontravano una minore attenzione a causa della loro bassa frequenza di accadimento, ma anche a causa della loro complessità.

Solo dopo l'accadimento di alcuni incidenti gravi come quello di Mexico City (1984) e i più recenti eventi di Buncefield (2005) e Valero Texas (2007) [14] si è manifestata la reale necessità di applicare la QRA anche in questi contesti; nello stesso tempo anche le normative si sono adeguate al trattamento di questi scenari incidentali, con la normativa Seveso II e Seveso III di cui alla Sezione 2.2.

Da un punto di vista normativo, nella direttiva Seveso II risulta "la necessità di stabilire per quanto riguarda i sistemi di gestione, principi base tali da consentire di prevenire e ridurre i rischi di incidenti rilevanti nonché di limitarne le conseguenze". Gli standard tecnici finalizzati al controllo dei rischi di incidente rilevante

includono delle misure per valutare, prevenire e mitigare le propagazioni dell'effetto domino [5]. Una volta valutata la credibilità di un incidente e dei suoi potenziali effetti tramite l'analisi delle conseguenze, è possibile intervenire per prevenirne l'accadimento e procedere alla mitigazione. Quest'ultima è possibile se il personale esterno ed interno ha la sufficiente preparazione ed organizzazione rispetto alle procedure di emergenza, e non trova condizioni che possano mettere in discussione la loro operabilità.

In caso di incidente, quindi, è evidente che anche la gestione dell'emergenza ha un ruolo fondamentale per garantire la protezione della popolazione e la mitigazione dell'incidente, per cui, parallelamente allo studio del rischio è forte e crescente l'esigenza di effettuare uno studio sulle migliori misure da adottare in caso di emergenza.

3.2 Metodologie di riferimento per la valutazione dell'effetto domino

Nell'ambito dell'industria di processo, l'analisi di rischio è considerato uno strumento decisionale di riferimento per la valutazione degli investimenti e della gestione legata alla prevenzione degli incidenti rilevanti. Per quanto riguarda l'effetto domino nell'ambito dell'industria di processo, non esiste ad oggi una metodologia consolidata seppure vi siano numerosi studi di letteratura effettuati da diversi gruppi di ricerca [15].

In generale, i metodi standard per l'analisi del rischio propongono di valutare la frequenza di accadimento degli incidenti rilevanti e decidere da tali valutazioni se il rischio ad essi associato è accettabile o no. I primi approcci nella valutazione degli incidenti a cascata [12,16,17], infatti, erano basati su assunzioni generiche e più che semplificate, senza tenere conto delle dinamiche di rottura degli apparecchi di processo e del possibile effetto mitigante delle barriere di sicurezza. Un approccio presentato in seguito da Cozzani e coautori [18] prevedeva la valutazione quantitativa del rischio basata su quattro steps principali (identificazione, valutazione delle frequenze, valutazione delle conseguenze e ricomposizione del rischio). Più recentemente sono stati implementati altri metodi come le simulazioni Monte Carlo [19], indici di rischio semplificati [20] e strumenti basati sulle reti Bayesiane [21].

Di seguito verranno forniti maggiori dettagli per tracciare lo stato dell'arte delle metodologie per il supporto dell'analisi dell'effetto domino.

3.2.1 Rischio di effetto domino e rapporto di sicurezza

L'analisi dei rischi dovuti all'effetto domino, proprio a causa del superamento dei confini del singolo stabilimento, si pone come un problema da affrontare a valle della redazione dei rapporti di sicurezza del singolo impianto, o comunque successivamente all'analisi degli incidenti rilevanti "primari" individuati per l'impianto. Nello sviluppo di procedure per l'analisi dell'effetto domino si può quindi ragionevolmente supporre che siano disponibili le analisi di sicurezza (analisi di affidabilità, analisi delle conseguenze degli incidenti rilevanti o "top events", cioè eventi incidentali, individuati) degli impianti considerati. Questo presupposto permette di semplificare l'analisi dell'effetto domino minimizzando l'ulteriore lavoro da svolgere e sfruttando, per quanto possibile, i risultati già disponibili. Per questo appare più conveniente sviluppare ed adottare una metodologia specifica per l'analisi quantitativa dell'effetto domino nello sviluppo del presente lavoro, integrando informazioni circa la sicurezza del traffico aereo e dati disponibili dai rapporti di sicurezza degli impianti limitrofi.

3.2.2 Vettori di propagazione e scenari primari

I vettori attraverso cui può avvenire una propagazione di eventi incidentali (vedi Figura 5) sono riconducibili a tre:

- sovrappressione: un'esplosione (evento primario) provoca un'onda di pressione che investendo un'apparecchiatura (bersaglio secondario) la danneggia, generando un evento secondario

- irraggiamento: un incendio (evento primario) genera energia termica che investendo un'apparecchiatura (bersaglio secondario) la danneggia, generando un evento secondario
- missili: un'esplosione di un'apparecchiatura (evento primario) proietta frammenti della stessa su di un'apparecchiatura adiacente (bersaglio secondario) provocando un evento secondario

La scala dei tempi di eventi di propagazione dovuti a rilascio tossico rende questo vettore una causa improbabile di propagazione. In ogni caso, la possibilità di propagazione di incidenti dovuta a rilasci tossici richiede strumenti di analisi e di prevenzione diversi, basati sulla gestione dell'emergenza, e quindi costituisce un problema a sé.

Va inoltre notato che la severità dell'evento primario può essere dovuta non agli effetti fisici responsabili della propagazione dello scenario, ma ad altri. È il caso di *fireball* che seguono un BLEVE, in cui il vettore di propagazione è normalmente costituito dalla proiezione di frammenti, mentre la severità dello scenario primario è dovuta all'irraggiamento termico, o il caso di esplosione confinata di apparecchiature contenenti fluidi tossici (in cui il vettore di propagazione è nuovamente costituito dalla proiezione di frammenti e la severità dello scenario primario è dovuta a rilascio tossico). Nell'analisi dell'effetto domino è quindi necessario introdurre una differenziazione tra vettori di propagazione degli scenari primari e valutazione della vulnerabilità dovuta agli scenari primari, introducendo un'ipotesi di contemporaneità di effetti fisici diversi che normalmente viene rifiutata nell'analisi di rischio.

3.2.3 Identificazione degli scenari incidentali causati dall'effetto domino

L'identificazione dei possibili bersagli secondari è normalmente effettuata mediante l'applicazione di criteri basati su soglie di danno. *L'effetto domino è da ritenersi possibile solo se il valore dell'effetto fisico dovuto al vettore di propagazione è superiore ad un valore di soglia.*

A tal proposito si riscontra come in letteratura non possa ritrovarsi un unanime accordo circa la definizione dei valori di soglia da utilizzare. Per la sovrappressione, questi variano da 5 a 70kPa, per l'irraggiamento da 5 a 37kW/m² [10]. Per quanto riguarda la proiezione dei frammenti, l'unico valore di soglia ipotizzabile è la distanza massima di proiezione, che dipende però da vari fattori (dimensioni del frammento, velocità iniziale, etc.) che non permettono di ottenere valori generalizzabili (alcune proposte reperibili in letteratura, indicanti valori compresi tra 800 e 1000 m, equivalgono praticamente a non considerare soglie) [10].

Nell'ambito della valutazione quantitativa dell'effetto domino per il presente studio, l'utilizzo di valori di soglia si rende necessario solo al fine di ridurre il numero di possibili bersagli secondari, in modo da contenere le dimensioni del problema. Si è, pertanto, ritenuto opportuno utilizzare soglie conservative per l'identificazione dei bersagli secondari. I valori suggeriti dal decreto per la pianificazione territoriale italiana [22] sono riportati di seguito:

- **30 kPa** per le sovrappressioni
- **12.5 kW/m²** per l'irraggiamento
- la distanza massima di proiezione calcolata per i frammenti considerando **200-800 m**

Una volta definiti i criteri per l'identificazione della possibilità di propagazione, è importante verificare il modo in cui la propagazione può avvenire. Il primo problema che deve essere affrontato nello sviluppo di metodologie per l'analisi dell'effetto domino è quindi l'identificazione degli scenari incidentali. È evidente che si possono utilizzare tecniche convenzionali basate su alberi dei guasti o degli eventi (vedi Sezione 2.4), ma è importante riconoscere preliminarmente che esistono due tipologie ben distinte di effetto domino.

Un incidente dovuto all'effetto domino può avere una delle seguenti connotazioni:

- TIPO 1: propagazione di eventi iniziatori di limitata gravità

- TIPO 2: interazione di "top-events" distinti

Un esempio di effetto domino di TIPO 1 può essere rappresentato da un *jet fire* da una tubazione da 2" che causa la rottura a ghigliottina di una tubazione di grande diametro. Un esempio di effetto domino di TIPO 2 può identificarsi nell'esplosione di un serbatoio che causa l'esplosione di un secondo serbatoio limitrofo. Ulteriori dettagli su questa classificazione sono riportati in letteratura [23].

Per identificare gli scenari incidentali derivanti da effetto domino di TIPO 1 (propagazione di eventi primari di limitata gravità) è necessario identificare tutti i possibili eventi iniziatori di limitata gravità (EILG). Assumendo che siano disponibili i risultati dell'analisi di operabilità dell'impianto, l'identificazione degli EILG richiede la revisione di tutti i top-event identificati nell'analisi e considerati di importanza trascurabile dal punto di vista delle conseguenze primarie. Dato che il presente lavoro si focalizza sullo studio dell'effetto domino indotto da incidenti causati da collisioni di aeromobili, tali eventi sono esclusi dall'analisi poiché gli scenari attesi in seguito a collisione sono da considerarsi, conservativamente, di gravità elevata (es. perforazione apparecchi e rilascio catastrofico, innesco del combustibile per aviogetti, ecc.)

Nel presente studio verranno, quindi, considerati solo effetti domino di TIPO 2, assumendo conservativamente che: i) le collisioni degli aeromobili con impianti di processo generino dei top-event già riscontrati nei rapporti di sicurezza ma con frequenza diversa, funzione della credibilità di impatto; ii) le collisioni o gli effetti conseguenti alla collisione (incendio carburante) inducano eventi con severità maggiore (ovvero rilasci di tipo catastrofico); iii) possano verificarsi top-event in altri impianti limitrofi comunque in apparecchi vicini a quelli danneggiati causati dalla propagazione degli eventi di cui ai punti i) o ii).

4 Scopo dell'attività

4.1 Approccio metodologico

Lo scopo dell'attività è fornire una valutazione degli incidenti indotti da impatti aerei sugli stabilimenti a rischio di incidente rilevante e, in generale, caratterizzati dallo stoccaggio e lavorazione di sostanze pericolose circostanti l'aeroporto, attraverso i seguenti step:

- 1) Analisi dei possibili incidenti che possono verificarsi in seguito a collisioni tra aeromobili e stabilimenti presenti nelle aree limitrofe al futuro aeroporto, in seguito a impatto diretto o per effetti secondari (ovvero innesco del carburante);
- 2) Valutazione semplificata della probabilità di accadimento degli incidenti di cui al punto 1 attraverso un approccio a soglie; le soglie utilizzate sono riconosciute nell'ambito della pianificazione territoriale italiana [16]
- 3) Identificazione e analisi dei potenziali effetti associati ad un incidente aereo con collisione e impatto sugli stabilimenti circostanti l'aeroporto e, in particolare, su quelli definiti dalla direttiva Seveso "a rischio di incidente rilevante" (così come desumibili dai relativi rapporti di sicurezza);
- 4) Identificazione degli eventuali scenari incidentali addizionali indotti da effetti domino derivati dalla propagazione degli scenari identificati al punto 1, utilizzando l'analisi degli effetti associati sviluppata ai punti 2 e 3 e l'applicazione di modelli a soglie (vedi Sezione 3.2.3)
- 5) Valutazione dell'impatto dei soli eventuali incidenti identificati al punto 4
- 6) Implementazione finale dei risultati nello studio di rischio

Sulla base dei documenti relativi alla probabilità di impatto e al censimento delle attività legate all'utilizzo di sostanze pericolose nell'area circostante, è stata fornita una prima valutazione degli scenari incidentali causati da eventuali collisioni. I più severi sono stati analizzati per valutare l'eventuale credibilità e potenzialità di effetti domino associati all'escalation di tali eventi, secondo lo schema in Figura 6. Per la simulazione di eventuali scenari aggiuntivi, verrà utilizzato il codice DNV GL Phast, a disposizione

dell'Università di Pisa (UNIFI). I risultati della presente analisi sono stati riassunti in un'Appendice elettronica allegata alla presente relazione e fornita all'Università di Napoli Federico II per l'implementazione nell'analisi di rischio individuale.

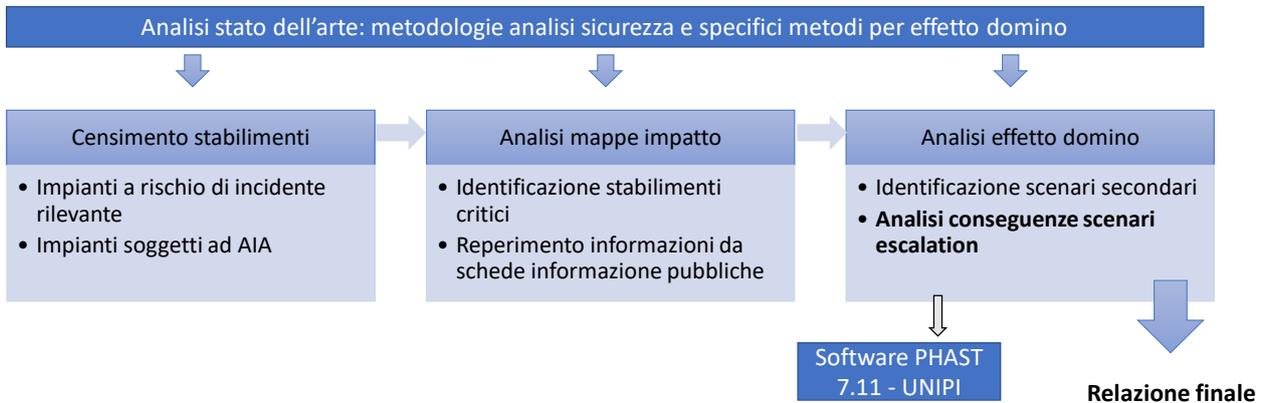


Figura 6 Schema metodologico per l'analisi dell'effetto domino

4.2 Documenti di riferimento

4.2.1 Censimento attività basate sull'utilizzo di sostanze pericolose

I documenti necessari per identificare le attività caratterizzate da un rischio indotto dallo stoccaggio o lavorazione di sostanze pericolose sono stati reperiti dal DICl nella fase preliminare del presente studio. Si tratta di elenchi georeferenziati di stabilimenti a rischio di incidente rilevante e di aziende in regime di AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) nel dominio definito per la presente analisi.

4.2.2 Valutazione probabilità di impatto e area di studio

La probabilità di impatto degli aeromobili nella zona circostante all'aeroporto è di fondamentale importanza per determinare la credibilità degli eventi domino ed escludere eventi non significativi. Il DICl ha acquisito tramite TAE i risultati dello studio sviluppato da Sapienza - Università di Roma in collaborazione con l'E.N.A.C. nella metodologia per la valutazione del rischio individuale introdotta a livello normativo dal Decreto Legislativo n° 96 del 9/5/2005 ottenendo così i valori di probabilità annuale di caduta di un aeromobile nelle aree circostanti il futuro aeroporto (definite mediante curve di isoprobabilità).

In questo modo è stata tracciata conservativamente un'area di studio in cui effettuare le valutazioni, come riportato in Figura 7.

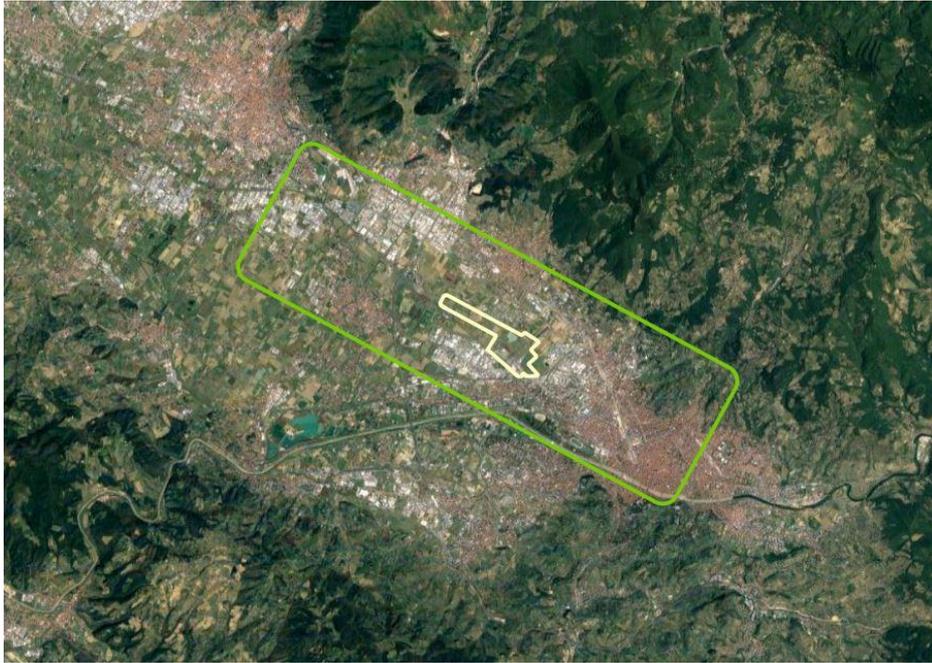


Figura 7 Definizione del dominio di calcolo (in verde); in giallo è evidenziata la zona dell'installazione aeroportuale.

5 Analisi territoriale preliminare

Per la valutazione degli incidenti indotti da impatti aerei su stabilimenti a rischio di incidente rilevante, è stata effettuata un'analisi di localizzazione di aziende soggette al D.Lgs 26/6/2015, n. 105 (Seveso III). Di seguito sono riportati gli elenchi georeferenziati delle aziende. Negli allegati riportati in Sezione 14, vengono mostrati gli elenchi di dettaglio degli stabilimenti localizzati.

5.1 Aziende in D.Lgs 26/6/2015, n. 105 (Seveso III)

Le aziende individuate in Figura 8 sono soggette alla Normativa Seveso III e ricadenti nella soglia inferiore e superiore della Normativa. In particolare, sono riferiti alla Soglia inferiore della Normativa (ex art.6) gli stabilimenti che detengono sostanze pericolose in quantità comprese tra la soglia inferiore e la soglia superiore; e sono relativi alla soglia superiore (ex art. 8) gli stabilimenti che detengono sostanze pericolose in quantità superiori alla soglia superiore. L'elenco di dettaglio delle soglie associate alle aziende è riportato nella Sezione 14.1.

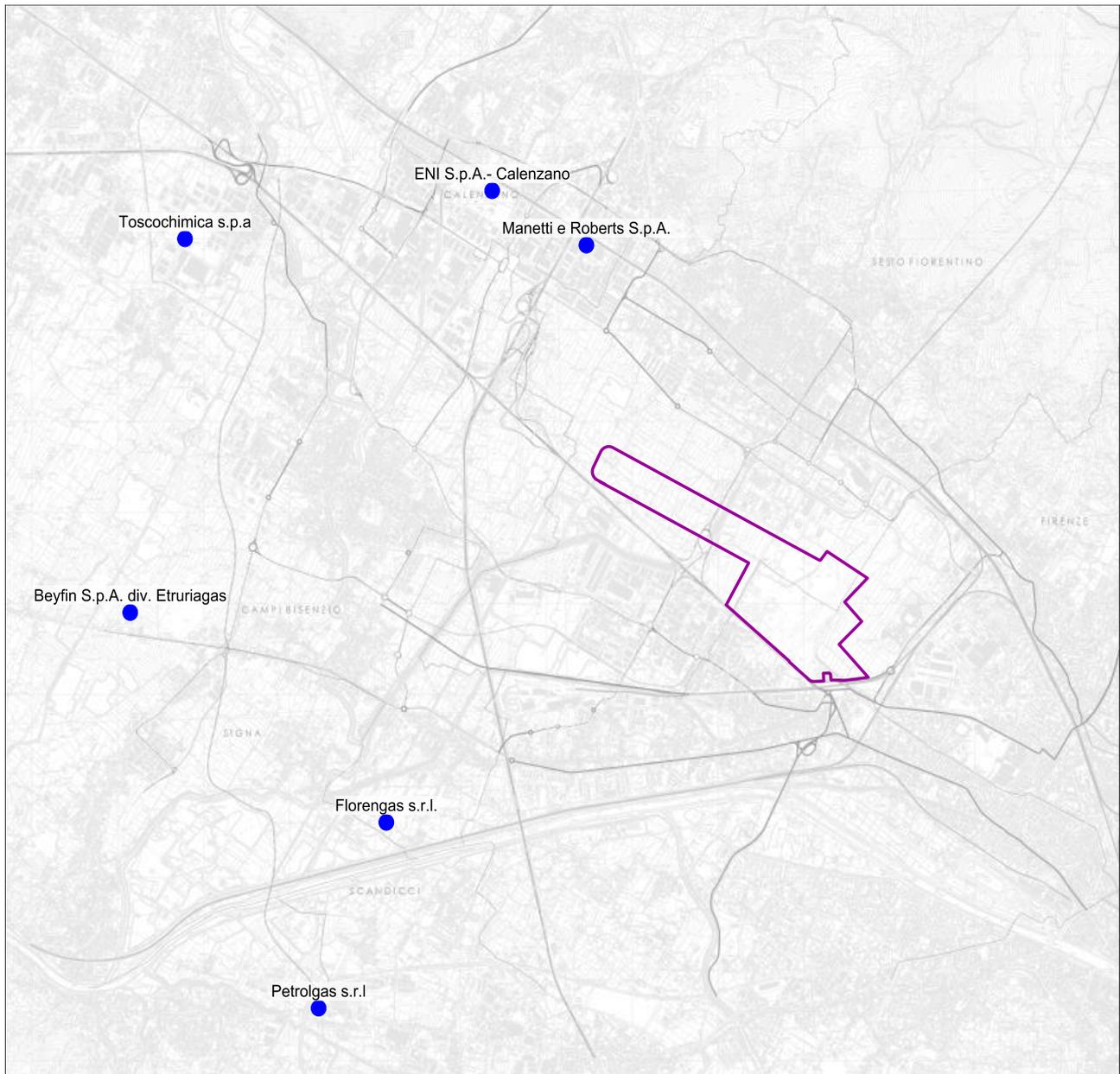


Figura 8 Aziende soggette a SEVESO III; l'installazione aeroportuale è evidenziata dalla linea continua viola

5.2 Stabilimenti di riferimento e informazioni

Sulla base del censimento delle attività produttive discusso nelle sezioni precedenti, sono stati identificati tre stabilimenti soggetti a rischio di incidente rilevante in relazione ai quali si è ritenuto di estendere la presente valutazione degli effetti domino:

- 1) Toscochimica Spa Via Strobino Ettore, 54, 59100 Prato PO, di seguito "Toscochimica"
- 2) Deposito carburanti della ditta ENI S.p.A. Divisione Refining & Marketing, via Erbosa, 29, Calenzano (FI), di seguito "ENICAL"
- 3) Stabilimento Manetti & Roberts SpA, via Baldanzese 177, Calenzano (FI), di seguito "M&R"

L'individuazione di detti stabilimenti risponde al criterio di potenziale rappresentatività degli stessi rispetto ad un ipotetico evento incidentale, considerato che gli stessi si collocano a distanze laterali rispetto alle previste rotte di decollo e atterraggio comprese entro la fascia di 2 km. Detto criterio risponde prioritariamente e quasi esclusivamente ad esigenze di rappresentatività di tipo territoriale e localizzativo, atteso che la probabilità di collisione di un aeromobile a detta distanza laterale rispetto alla rotta seguita è

risultata inferiore a 1×10^{-10} (rif. studi probabilistici e dinamici predisposti da ENAC in collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma e dall'Università Federico II di Napoli).

Per supportare l'analisi quantitativa degli scenari di effetto domino oggetto del presente studio, è stato necessario reperire informazioni sui processi legati all'utilizzo delle sostanze pericolose negli stabilimenti di riferimento. Si riporta di seguito l'elenco delle fonti disponibili per gli stabilimenti considerati:

1. Per lo stabilimento *Toscochimica*, è stata presa a riferimento la scheda di informazione della popolazione e le tipologie merceologiche trattate come riportato al sito <http://www.toscochimica.it/prodotti>
2. Per lo stabilimento *ENICAL*, è stata consultata la relativa scheda di informazione della popolazione (http://web.comune.calenzano.fi.it/portale/schede/gestione_amministrativa/protezione-civile/aziende-a-rischio-di-incidente-rilevante/SchedaEni2010.pdf)
3. Per lo stabilimento *M&R*, è stata consultata la relativa scheda di informazione della popolazione (http://web.comune.calenzano.fi.it/portale/schede/gestione_amministrativa/protezione-civile/aziende-a-rischio-di-incidente-rilevante/scheda%20ManettiRoberts.pdf)

Gli stabilimenti sono rappresentati nella visione di insieme riportata in Figura 9.



Figura 9 Rappresentazione georeferenziata delle installazioni di riferimento per la presente analisi.

6 Analisi probabilistica

6.1 Rilascio causato da impatto

L'identificazione dei bersagli critici che possono generare un incidente rilevante in seguito a collisione o effetto domino indotto da scenari incidentali legati alla caduta di un aereo è stata effettuata sia attraverso la verifica degli studi propedeutici condotti da ENAC, in collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma, nell'ambito della preparazione delle procedure standard di cui all'art. 715 del Codice della Navigazione, a prevalente finalità urbanistica, sia attraverso la totale integrazione con le valutazioni probabilistiche effettuate dall'Università Federico II di Napoli.

All'interno del presente studio si considera che la probabilità di danneggiamento su apparecchi di processo in seguito a collisione sia unitaria, con conseguente perdita istantanea di contenimento.

6.2 Rilascio causato da incendio esterno

La rottura dei serbatoi e delle apparecchiature di processo può essere indotta anche dagli effetti fisici derivati dagli scenari incidentali che si evolvono a partire dalla caduta dell'aeromobile. In particolare, nel presente studio è stato considerato l'effetto domino indotto dall'incendio del carburante dell'aereo (ovvero *pool fire*), rilasciato in seguito alla caduta e conseguente impatto.

L'Università di Bologna ha effettuato, in particolare, la modellazione specifica dei *pool fire* associati a diversi combustibili e condizioni metereologiche e orografiche.

Nel caso peggiore, la soglia di danneggiamento degli apparecchi, pari a 12.5 kW/m² come discusso nella Sezione 3.2, è raggiunta ad una massima distanza di 30 m dal punto di caduta dell'aeromobile (in condizioni statiche). Tale valutazione è stata presa in considerazione per la definizione degli scenari di effetto domino da incendio esterno e per l'implementazione di tali scenari nell'analisi di rischio complessiva.

6.3 Analisi mediante albero degli eventi

Al fine di valutare la frequenza attesa degli scenari incidentali che si evolvono a partire dal rilascio indotto direttamente dalla collisione degli aeromobili con gli apparecchi di processo o indirettamente, in seguito alla rottura per pressurizzazione da incendio esterno, è stata effettuata un'analisi mediante alberi degli eventi. I risultati dell'analisi mediante albero degli eventi sono stati direttamente implementati nello studio di rischio complessivo sviluppato dall'Università Federico II di Napoli.

Di seguito vengono riportati degli esempi di analisi degli scenari incidentali finali attraverso gli alberi degli eventi. Nel caso di rottura dovuta a collisione, per le sostanze infiammabili come diesel o acidi organici è stata assunta una probabilità di innesco immediato ed eventualmente ritardato pari a 90%, dato che tali eventi risultano credibili a causa delle conseguenze dell'impatto. Per sostanze estremamente infiammabili, come benzina, etanolo e GPL (gas di petrolio liquefatto) è stata assunta una probabilità maggiore, ovvero 95%.

Da notare che per il GPL si considera l'effetto dovuto all'innesco (*fireball*) contestualmente all'effetto di sovrappressione indotto dalla repentina vaporizzazione del liquido (ovvero BLEVE – *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*).

Per i rilasci di sostanze tossiche ma non infiammabili, la probabilità di rilascio coincide con quella dello scenario finale, sia in caso di impatto, sia di incendio esterno.

Nelle figure seguenti si riportano esempi di alberi degli eventi adottati per il presente studio.

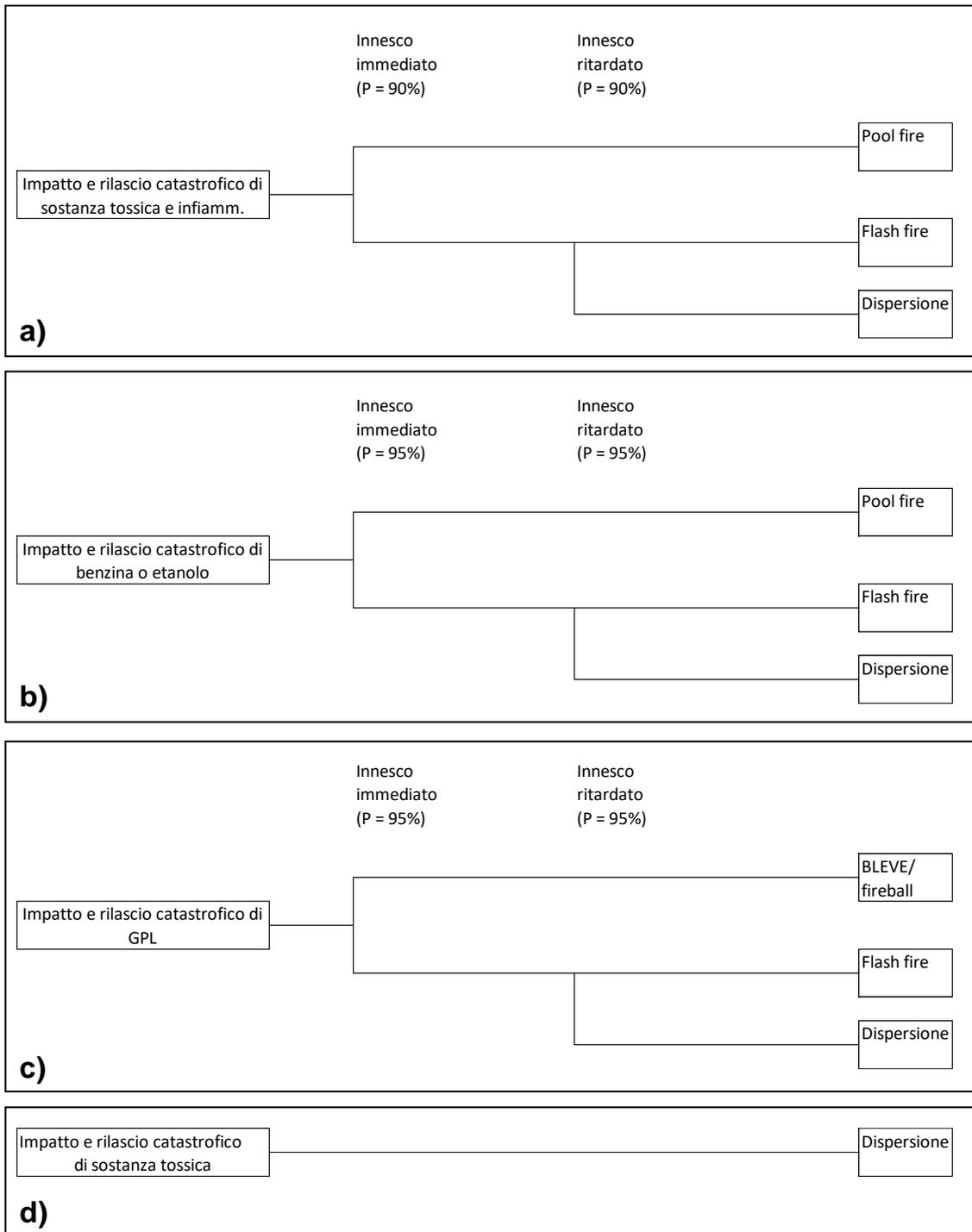


Figura 10 Alberi degli eventi per rilasci catastrofici causati da impatto diretto su apparecchi di processo o stoccaggio: a) sostanze infiammabili e tossiche; b) sostanze liquide estremamente infiammabili; c) gas infiammabili liquefatti in pressione (GPL); d) sostanze tossiche.

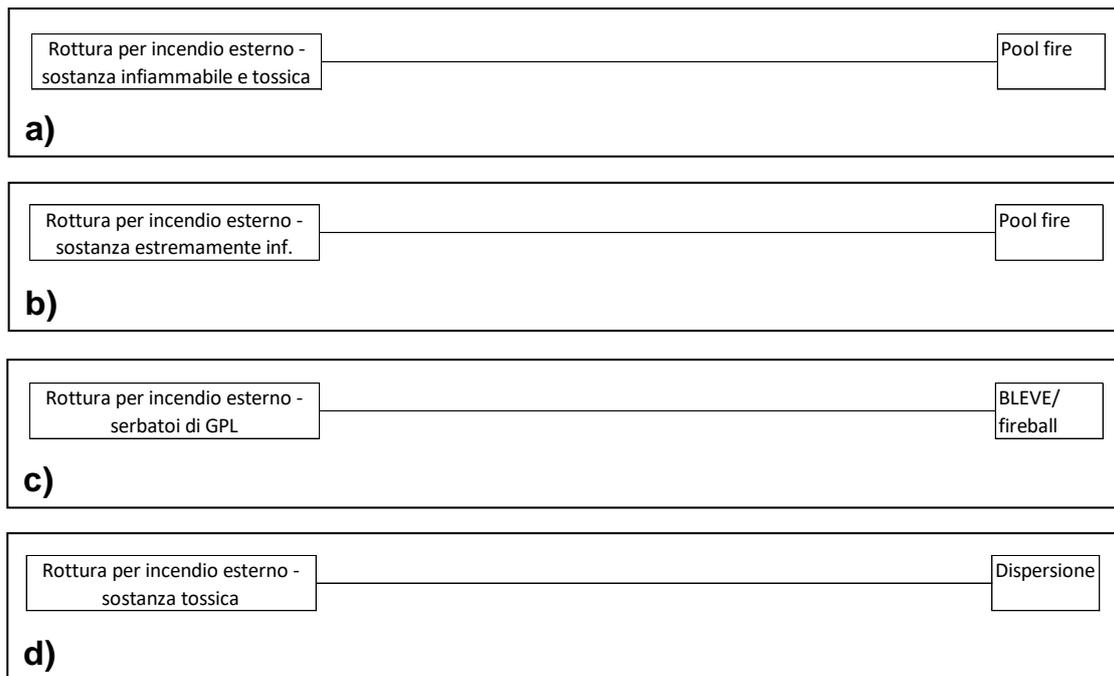


Figura 11 Alberi degli eventi per rilasci catastrofici causati da incendio esterno: a) sostanze infiammabili e tossiche; b) sostanze liquide estremamente infiammabili; c) gas infiammabili liquefatti in pressione (GPL); d) sostanze tossiche.

7 Analisi delle conseguenze

7.1 Introduzione alla valutazione delle conseguenze

Sulla base dell'identificazione degli scenari critici per effetto domino effettuata, basata sulla credibilità degli scenari incidentali, l'analisi è stata approfondita considerando le informazioni disponibili al pubblico legate agli stabilimenti di riferimento (vedi Sezione 5.2), in modo da effettuare una valutazione degli impatti degli eventuali incidenti rilevanti indotti dalla caduta di un aereo su uno o più apparecchi di processo attraverso l'applicazione di modelli consolidati per l'analisi delle conseguenze [18,19], implementati nel pacchetto software codice DNV GL Phast 7.11 (<https://www.dnvgl.com/services/process-hazard-analysis-software-phast-1675>)

7.2 Modellazione

7.2.1 Impostazioni generali di modellazione

Come riportato nella Sezione 2.4, la modellazione degli effetti fisici verrà eseguita attraverso modelli di letteratura. Di seguito si riporta una descrizione schematica delle ipotesi associate alla modellazione effettuata nel presente lavoro, mentre si rimanda alle seguenti pubblicazioni per maggiori dettagli sui modelli fisici implementati nel codice di calcolo ai fini della valutazione degli effetti fisici:

- Van Den Bosh, C.J.H., Weterings, R.A.P.M., "Methods for the calculation of physical effects (Yellow Book)", Committee for the Prevention of Disasters, The Hague (NL), 1997. [26]
- CCPS – Center for Chemical Process Safety, 2000. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, 2nd ed. AIChE, CCPS, New York. [27]
- Lees, FP, "Lees' Loss Prevention in the Process Industries", Elsevier. Oxford (UK), 1996. [2]

Sono state assunte due condizioni meteorologiche di riferimento, riportate in Tabella 1 insieme ai valori impostati per i parametri atmosferici di interesse per le simulazioni. Le condizioni sono rappresentate da

una lettera (corrispondente alla categoria di stabilità atmosferica definita da Pasquill) e da un numero, corrispondente alla velocità del vento in metri al secondo.

Si riportano, in particolare, i risultati ottenuti nelle condizioni peggiorative per quanto riguarda i rilasci al suolo (ad un'altezza di 1 m), ovvero in classe di stabilità F (condizioni di atmosfera stabile e quindi con impatto minimo della turbolenza atmosferica sulla diffusione) e velocità del vento pari a 2 m/s (misurata a 10 m); tali condizioni sono tipicamente usate nell'ambito degli studi di rischio [4]. Alla condizione 2F viene affiancata la condizione 5D, ovvero la corrispondente condizione di neutralità assunta ai fini di confronto, che può avere un peso rilevante nelle situazioni in cui si abbia un rilascio a quota elevata, ma non nel presente studio che assume le sorgenti localizzate al suolo.

Tabella 1 Condizioni meteorologiche di riferimento e parametri atmosferici considerati.

ID	Classe di stabilità	Velocità del vento a 10m (m/s)	Altri parametri atmosferici
2F	F (stabile)	2	Temperatura Ambiente: 40°C Pressione atmosferica: 101.3 kPa Umidità relativa: 50% Parametro di rugosità superficiale: 0.25* Radiazione solare: 0.4 kW/m ²
5D	D (neutra)	5	

* Valore medio tra ambiente urbano e industriale

Dato l'elevato *flash point* delle sostanze considerate nell'analisi, è stata assunta conservativamente una temperatura ambiente pari a 40°C, così da generare scenari di incendio, seppure di entità limitata rispetto alle dispersioni tossiche del presente studio.

Per effettuare l'analisi delle conseguenze, sono stati presi a riferimento i valori di soglia presenti nel DECRETO 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" (GU Serie Generale n.138 del 16-06-2001 - Suppl. Ordinario n. 151) [22] e riportati in Tabella 2. Le conseguenze sono state effettuate tramite codice DNV GL PHAST 7.11.

Tabella 2 Soglie utilizzate per la valutazione degli effetti fisici per incendi e dispersioni tossiche.

Scenario incidentale	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
Pool fire	12.5 kW/m ²	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²
Flash fire	LFL	LFL/2	- ^a	- ^a
Fireball	Raggio fireball	359 kJ/m ²	200 kJ/m ²	125 kJ/m ²
Toxic dispersion	LC ₅₀ 30 min hum ^b	- ^a	IDLH ^b	- ^a

^a non definito nel decreto

^b IDLH = Immediately Dangerous to Life and Health concentration, 30 minutes exposure; LC₅₀ 30 min hum = concentrazione letale che general la morte del 50% dei soggetti esposti per 30 minuti di esposizione – valore derivato per esseri umani.

7.2.2 Impostazioni analisi *Toscochimica*

Lo stabilimento *Toscochimica* presenta al suo interno un'ampia area di stoccaggio con diversi tipi di composti e preparati. Per questo motivo è stata effettuata una selezione delle sostanze pericolose presenti in maggiore quantità. Le sostanze dello stabilimento *Toscochimica* identificate ai fini della valutazione delle conseguenze e implementate nella modellazione sono state, quindi, selezionate in modo da coprire diverse tipologie di pericolo (incendio, tossicità acuta, ecc.) e sono rappresentate da: Acido Acetico, Acido Formico, Percloroetilene (TCE), Acido Fluoridrico in soluzione acquosa al 40%.

Si riportano in Tabella 3 le proprietà assunte per il presente lavoro.

Nota: tra le sostanze dichiarate nelle categorie merceologiche risultano soluzioni ammoniacali. Tali soluzioni (al 25% in ammoniaca) sono maggiormente diluite rispetto a quelle di acido fluoridrico (40%), tali da risultare soltanto corrosive e eventualmente pericolose per l'ambiente. Gli effetti di tossicità acuta riguardano zone comunque contenute entro il perimetro dello stabilimento.

Tabella 3 Proprietà delle sostanze assunte nel presente lavoro – Stabilimento Toscochimica

Parametri ACIDO ACETICO	Unità di misura	Valore	Riferimento
Composizione	%	100	Scheda di sicurezza BP
Densità del liquido (20°C)	g/cm ³	1.049	Scheda di sicurezza BP
Temperatura	°C	40	Fissata per il presente studio
Pressione	atm	1	Ipotizzato (vedi Sezione 7.2.1)
LFL	%	4	Scheda di sicurezza BP
UFL	%	16	Scheda di sicurezza BP
LC ₅₀ 30 minuti – uomo	ppm	50	**
IDLH*	ppm	3512	**
Soglia odore e TLV-TWA	mg/m ³	25	Scheda di sicurezza BP
Parametri ACIDO FORMICO	Unità di misura	Valore	Riferimento
Composizione	%	94	Scheda di sicurezza BASF
Densità del liquido (20°C)	g/cm ³	1.21	Scheda di sicurezza BASF
Temperatura	°C	40	Fissata per il presente studio
Pressione	atm	1	Ipotizzato (vedi Sezione 7.2.1)
LFL	%	13.9	Scheda di sicurezza BASF
UFL	%	38.1	Scheda di sicurezza BASF
LC ₅₀ 30 minuti – uomo	ppm		**
IDLH*	ppm		**
Parametri PERCLOROETILENE	Unità di misura	Valore	Riferimento
Composizione	%	99	Scheda di sicurezza INEOS CHLOR
Densità del liquido (20°C)	g/cm ³	1.623	Scheda di sicurezza INEOS CHLOR
Temperatura	°C	40	Fissata per il presente studio
Pressione	atm	1	Ipotizzato (vedi Sezione 7.2.1)
LC ₅₀ 30 minuti – uomo	ppm		**
IDLH*	ppm		**
Parametri ACIDO FLUORIDRICO	Unità di misura	Valore	Riferimento
Composizione	%	40	Scheda di sicurezza
Densità del liquido (25°C)	g/cm ³	1.135-1.18	Scheda di sicurezza
Temperatura	°C	40	Fissata per il presente studio
Pressione	atm	1	Ipotizzato (vedi Sezione 7.2.1)
LC ₅₀ 30 minuti – uomo	ppm		**
IDLH*	ppm		**

* Immediately Dangerous to Life and Health concentration, 30 minutes exposure

** I valori di IDLH sono derivati dalle schede NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health, <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/>) mentre per i valori di tossicità acuta è stata usata l'approccio del Green Book [28] convertendo i dati tossicità su animali in tossicità su umani.

Lo stabilimento è stato quindi diviso in nodi a seconda del tipo di operazione, ovvero stoccaggio di quantitativi rilevanti di sostanze infiammabili e/o tossiche. In Tabella 4 si riporta il riepilogo dei nodi considerati col corrispondente ID, sostanza e condizioni operative ipotizzate sulla base degli standard e le tipologie di apparecchi visionati attraverso immagini satellitari (<http://www.toscochimica.it/node/29>) al fine di valutare le conseguenze con associata frequenza iniziale di caduta.

L'inventario delle sostanze pericolose è stato desunto dai quantitativi totali stoccati e il tipo di apparecchio utilizzato.

Tabella 4 Riepilogo dei nodi identificati nel presente studio e frequenze associate

ID	Sostanza di riferimento	T (°C)	P (atm)	Inventario stimato (Ton)
I1	ACIDO ACETICO	40	1	1500
I2	ACIDO FORMICO	40	1	190
I3	PERCLOROETILENE	40	1	85
I4	ACIDO FLUORIDRICO	40	1	1,8

Non disponendo di informazioni specifiche relative al singolo bacino di contenimento, è stata presa a riferimento l'intera area del piazzale, considerando una superficie di $50 \times 80 = 4000 \text{ m}^2$ e un'altezza del bordo periferico tale da contenere l'inventario della sostanza sversata. Per ogni sostanza è stato valutato l'effetto del rilascio istantaneo causato dalla collisione dell'aereo su tutte le unità di stoccaggio (si veda la colonna "inventario" in Tabella 4). La mappa di impatto delle dispersioni tossiche considera l'involuppo dell'evoluzione della posizione della nube tossica transitoria (rilascio istantaneo e non continuo) ed è da ritenersi conservativo.

7.2.3 Impostazioni analisi ENICAL

Lo stabilimento ENICAL è un deposito di carburanti e prodotti petroliferi, quindi sostanze infiammabili o estremamente infiammabili, ma non tossiche. Dalla scheda di informazione si desumono le tre tipologie di sostanze da considerare nell'analisi, ovvero diesel, benzina e "petrolio". Nell'ultimo caso, si intende un olio combustibile con presenza di aromatici.

Le sostanze sono dislocate in diverse zone dello stabilimento, che vengono identificate in base al bacino di contenimento e numerate nel presente studio da 1 a 5 (Z1, Z2, ...). In seguito a rilascio, si considera la pozza libera di espandere fino a coprire al massimo la superficie del bacino identificata, come tracciato nella mappa riportata in Figura 12 e derivata dalla Scheda di informazione sui rischi di incidente rilevante per i cittadini ed i lavoratori (vedi Sezione 5.2).

Si riportano in Tabella 5 i nodi analizzati con le sostanze e le ipotesi semplificative effettuate per la valutazione della composizione.

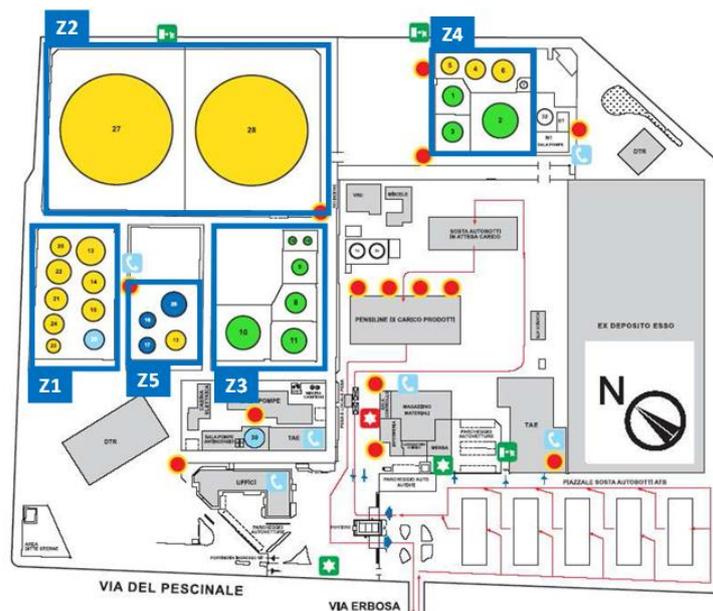


Figura 12 Identificazione delle zone considerate per effettuare l'analisi degli scenari domino per lo stabilimento ENICAL. La mappa dei serbatoi è stata reperita nella Scheda di informazione sui rischi di incidente rilevante per i cittadini ed i lavoratori

Tabella 5 Riepilogo dei dati in ingresso utilizzati per effettuare l'analisi delle conseguenze degli scenari domino per lo stabilimento ENICAL; sono riportate le dimensioni del bacino di contenimento (m²).

ID posizione	Area (m ²)	Sostanza	T (°C)	P (atm)	Note
Z1	5500	Diesel	40	1	Diesel modellato come idrocarburo alifatico n-nonano (assenza di aromatici)
Z2	20240	Diesel	40	1	Diesel modellato come idrocarburo alifatico n-nonano (assenza di aromatici)
Z3	7140	Benzina	40	1	Benzina modellata come miscela di tre composti di riferimento: 1) per la classe n-alcani, si considera n-esano (30% wt) 2) per gli alcani ramificati, i-ottano (40% wt) 3) per gli aromatici, toluene (30% wt)
Z4	4550	Diesel e Benzina	40	1	1) n-esano (benzina) 21% wt 2) i-ottano (benzina) 27% wt 3) Toluene (benzina) 20% wt 4) n-nonano (diesel) 32% wt
Z5	4700	Petrolio	40	1	"petrolio" modellato come idrocarburo alifatico n-nonano (75%) e aromatici al 25% (modellati con toluene puro)

Le proprietà delle miscele infiammabili adottate nella presente analisi (diesel, benzina e petrolio) sono state calcolate autonomamente dal software Phast 7.11 sulla base delle indicazioni di composizione riportate in Tabella 5. Il software dispone di un pacchetto termodinamico dedicato¹ che ha consentito di modellare le proprietà delle miscele a partire da quelle dei singoli componenti.

Nel caso della rottura dei serbatoi posizionati in Z4, diesel e benzina sono entrambi presenti in diverse apparecchiature limitrofe e interessate contemporaneamente dall'eventuale rottura per impatto o domino

¹ Per maggiori dettagli, si consideri la guida DNV GL https://www.dnvgl.com/Images/Phast-Multi-Component-flier_tcm8-56730.pdf

da incendio esterno. Per questo motivo, è stata fatta una valutazione di massima della composizione del liquido potenzialmente sversato (in base alla proporzione delle sostanze).

7.2.4 Impostazioni analisi M&R

Lo stabilimento M&R opera nel settore dei cosmetici, prodotti per igiene personale e per la casa. Detiene uno stoccaggio di sostanze pericolose, alimentate poi al processo per realizzare i prodotti finali, che vengono infine immagazzinati. Si riporta una visione di insieme e il layout degli impianti di stoccaggio e processo in Figura 13.

Sulla base delle informazioni pubbliche a disposizione sullo stabilimento, si desumono le sostanze-chiave ovvero critiche dal punto di vista della sicurezza e degli scenari incidentali:

- Etanolo (ET), stoccato in serbatoi interrati e alimentato al processo; si assume etanolo assoluto nelle seguenti valutazioni (100%)
- GPL, considerato come propano (in virtù di una nota fornita nella scheda di informazione, vedi Sezione 5.2) e stoccato in due serbatoi fuori terra, 50 m³ cad; si esclude il GPL nella restante parte dell'impianto

Entrambe le sostanze sono estremamente infiammabili; il GPL presenta pericoli aggiuntivi dovuti alle condizioni di stoccaggio come gas liquefatto in pressione. Si riportano in Tabella 6 le proprietà assunte per il presente lavoro.

Tabella 6 Proprietà delle sostanze assunte nel presente lavoro – stabilimento M&R

Parametri Etanolo	Unità di misura	Valore	Riferimento
Composizione	%	100	Fissata per il presente studio
Densità del liquido (20°C)	g/cm ³	0,79	Scheda di sicurezza SIGMA-ALDRICH
Temperatura	°C	40	Fissata per il presente studio
Pressione	Atm	1	Ipotizzato (vedi Sezione 7.2.1)
LFL	%	4.3	Database Phast
UFL	%	19	Database Phast
Parametri GPL (propano)	Unità di misura	Valore	Riferimento
Composizione	%	100	Fissata per il presente studio
Densità del liquido (4°C)	g/cm ³	0,58	Scheda di sicurezza BOC (Linde)
Temperatura	°C	40	Fissata per il presente studio
Pressione	atm	1	Ipotizzato (vedi Sezione 7.2.1)
LFL	%	1,7	Scheda di sicurezza BOC (Linde)
UFL	%	12,5	Scheda di sicurezza BOC (Linde)

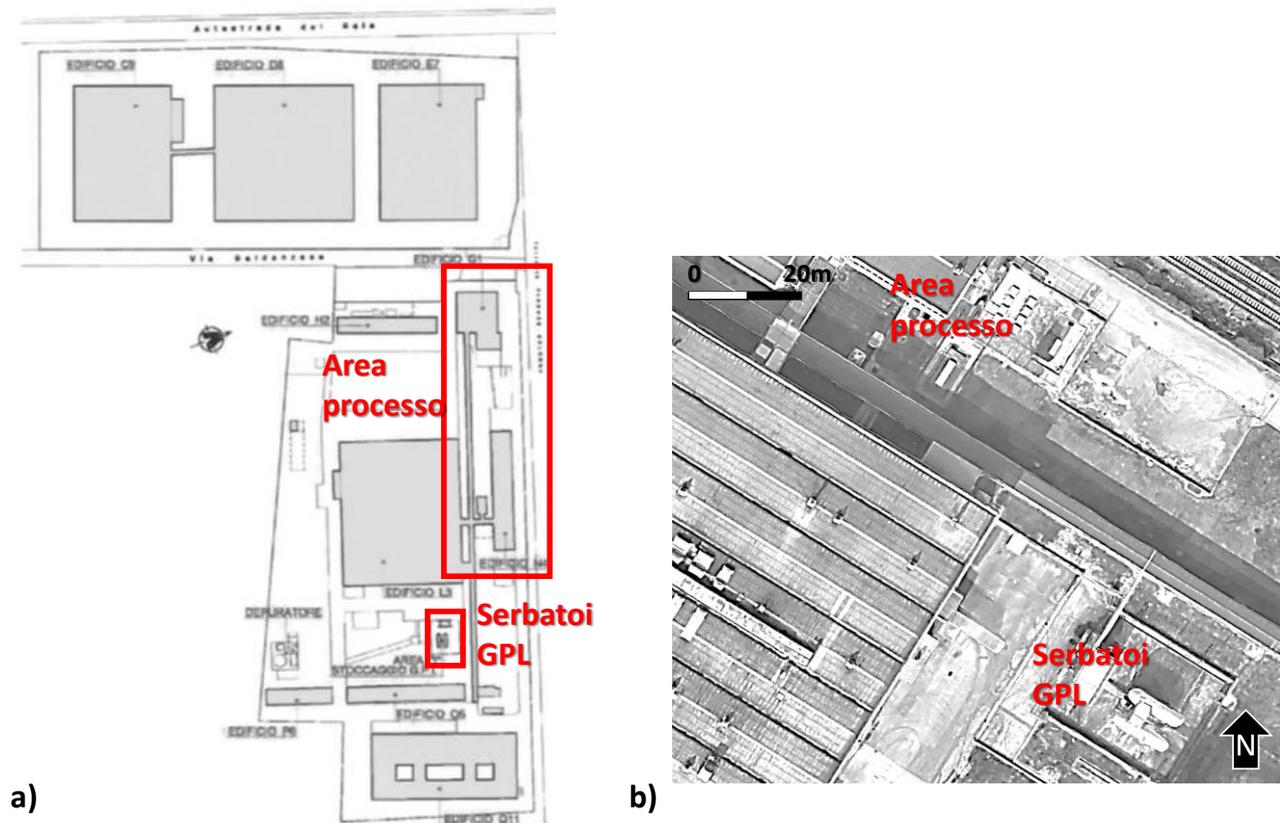


Figura 13 Identificazione delle zone considerate per effettuare l'analisi degli scenari domino per lo stabilimento M&R. La mappa dei serbatoi è stata reperita nella Scheda di informazione sui rischi di incidente rilevante per i cittadini ed i lavoratori

I serbatoi di etanolo sono interrati, isolati e raffreddati, quindi protetti da eventuali domino di primo o secondo livello. Nel presente studio si suppone, tuttavia, a scopo cautelativo che una collisione aerea possa danneggiare una tubazione di alimentazione al processo, rompendola a ghigliottina, con conseguente rilascio della portata alimentata al processo. Tale portata, non nota, è stata valutata. Si considera una tubazione di 4" con velocità del liquido di processo pari a 1,5 m/s e pressione atmosferica. In questo modo, se il rilascio ha una durata massima di 30 minuti, si sversano 19 t circa, pari al 58% dell'inventario dichiarato ai fini della Direttiva Seveso.

I serbatoi di GPL sono appoggiati su selle e disposti fuori terra. Il GPL, schematizzato come propano, si considera stoccato alla pressione di saturazione a 40°C (temperatura ambiente coerente con lo studio) che è circa 14 bar a. Data la vicinanza dei due serbatoi, si considera il rilascio dell'intero inventario da entrambi, con un livello di liquido massimo credibile (95%). Questo dà luogo allo sversamento di 95 m³ di liquido infiammabile pressurizzato, che si espande violentemente in seguito a rottura con possibili effetti di sovrappressione (BLEVE) e *fireball* in caso di innesco.

Ai fini della modellazione degli effetti del *fireball* risulta importante stabilire una pressione di rottura o "burst pressure" (P_b) [18]. Sia per i casi di rottura indotta da impatto con aeromobile, sia da incendio esterno, il parametro P_b è stato considerato conservativamente pari alla massima pressione nel serbatoio, che varia tra 15 e 20 barg a seconda della tipologia, ottenendo quindi un unico potere emissivo del *fireball* per tutti gli scenari domino considerati.

Per quanto riguarda gli effetti fisici del *fireball* sulla popolazione, l'approccio a soglie adottato nel presente studio, basato sull'indicazione riportata in Tabella 2, prevede la valutazione della dose termica (TD),

espressa in termini di energia ricevuta dal bersaglio per unità di superficie. La valutazione di TD si rende necessaria perché il *fireball*, a differenza di *pool fire* e *jet fire*, è un evento transitorio (Sezione 2.4.2).

I modelli di calcolo integrali forniscono il valore medio di irraggiamento puntuale (q), in termini di potenza termica per unità di superficie e la durata complessiva del *fireball* (t_{FB}). Pertanto, per ottenere l'irraggiamento corrispondente alla dose TD di riferimento (Tabella 2), è sufficiente applicare la seguente relazione:

$$q = TD/t_{FB} \quad (2)$$

In questo modo, i valori di q ottenuti saranno valutati attraverso il software Phast per determinare gli effetti del *fireball* e univocamente riferiti alla dose termica associata alla soglia di danno.

8 Risultati *Toscochimica*

Si riportano nelle seguenti tabelle i risultati ottenuti per le varie unità di stoccaggio delle sostanze pericolose per lo stabilimento *Toscochimica* in termini di distanza di danno. Il riassunto dei risultati riferiti alle dispersioni tossiche è riportato in Tabella 7, mentre quello riferito agli incendi è riportato in Tabella 8. Le probabilità di impatto aereo riportate risultano quelle desumibili dagli studi probabilistici propedeutici di cui all'applicazione delle procedure standard dell'art. 715 del Codice della Navigazione indirizzate a finalità esclusivamente urbanistiche, in totale coerenza con la tipologia di finalità di cui al D.M. 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". Detti studi probabilistici risultano eseguiti da ENAC in collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma.

Tabella 7 Analisi delle conseguenze: distanze di danno dispersioni tossiche riferiti ad un'altezza di 1m.

ID	Descrizione	Fase (L o V)	Soglia Lesioni irreversibili (m) IDLH		Soglia elevata Letalità (m) LC ₅₀ 30 min	
			Meteo 2F	Meteo 5D	Meteo 2F	Meteo 5D
I1	Rottura catastrofica stoccaggio Acido Acetico	L	1309	277	9	8
I2	Rottura catastrofica stoccaggio Acido Formico	L	3453	553	309	65
I3	Rottura catastrofica stoccaggio Percloroetilene	L	1247	1170	369	292
I4	Rottura catastrofica stoccaggio Acido Fluoridrico	L	932	409	85	69

Tabella 8 Analisi delle conseguenze: distanze di danno incendi (solo per gli scenari che coinvolgono rilascio in atmosfera). Gli scenari sono descritti in Tabella 4 all'ID corrispondente.

ID	Fase	Scenario*	Soglia Lesioni reversibili (m)		Soglia Lesioni irreversibili (m)		Soglia inizio letalità (m)		Soglia elevata Letalità (m)	
			Meteo 2F	Meteo 5D	Meteo 2F	Meteo 5D	Meteo 2F	Meteo 5D	Meteo 2F	Meteo 5D
I1	L	P	73	78	57	65	46	52	37	37
		F	-	-	-	-	16	16	16	16
I2	L	P	37	37	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
		F	-	-	-	-	9	9	9	9

* F = incendio di vapori (in inglese FLASH FIRE); P = incendio di pozza (in inglese POOL FIRE)

n.r. = non raggiunto o distanza di danno inferiore a 5 m

8.1 Stoccaggio acido acetico

8.1.1 Sintesi dei risultati

Si riporta in Tabella 9 e Tabella 10 il prospetto riassuntivo delle distanze di danno ottenute nelle condizioni meteorologiche 2F e 5D rispettivamente, con associata la frequenza di accadimento derivata ipotizzando una posizione di massima delle apparecchiature. Il pool fire indotto da incendio esterno ha una frequenza di accadimento leggermente maggiore rispetto a quello indotto da collisione ma gli effetti hanno la medesima estensione. Gli scenari di *flash fire* e dispersione sono esclusi dall'analisi mediante albero degli eventi nel caso di danneggiamento da incendio esterno (vedi Sezione 6.3).

Tabella 9 Distanze di danno (in m) e frequenze (eventi/anno) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi di acido acetico. Condizioni meteo 2F.

Scenario incidentale	Frequenza da albero degli eventi	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	1×10^{-6}	37	46	57	73
Pool fire incendio esterno	$1,1 \times 10^{-6}$	37	46	57	73
Flash fire	1×10^{-7}	16	16	-	-
Toxic dispersion	$1,1 \times 10^{-8}$	9	-	1309	-

Tabella 10 Distanze di danno (in m) e frequenze (eventi/anno) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi di acido acetico. Condizioni meteo 5D.

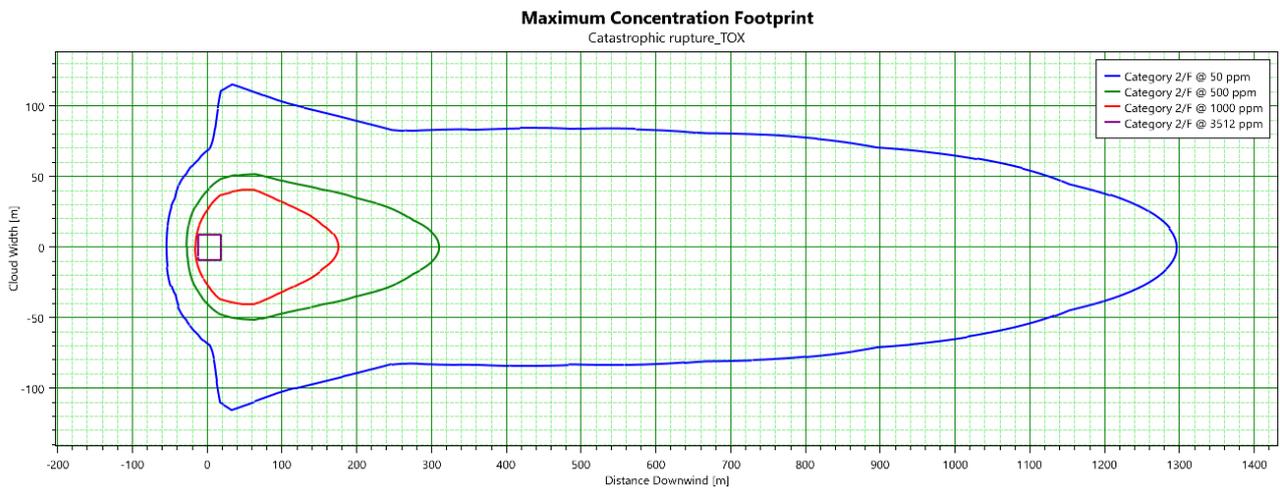
Scenario incidentale	Frequenza da albero degli eventi	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	1×10^{-6}	37	52	65	78
Pool fire incendio esterno	$1,1 \times 10^{-6}$	37	52	65	78
Flash fire	1×10^{-7}	16	16	-	-
Toxic dispersion	$1,1 \times 10^{-8}$	8	-	277	-

Lo scenario più critico è legato alla dispersione tossica dei vapori di acido acetico generati dalla pozza. Tuttavia, tale scenario risulta quello con la minore probabilità di accadimento, data la credibilità di un innesco in seguito alla collisione.

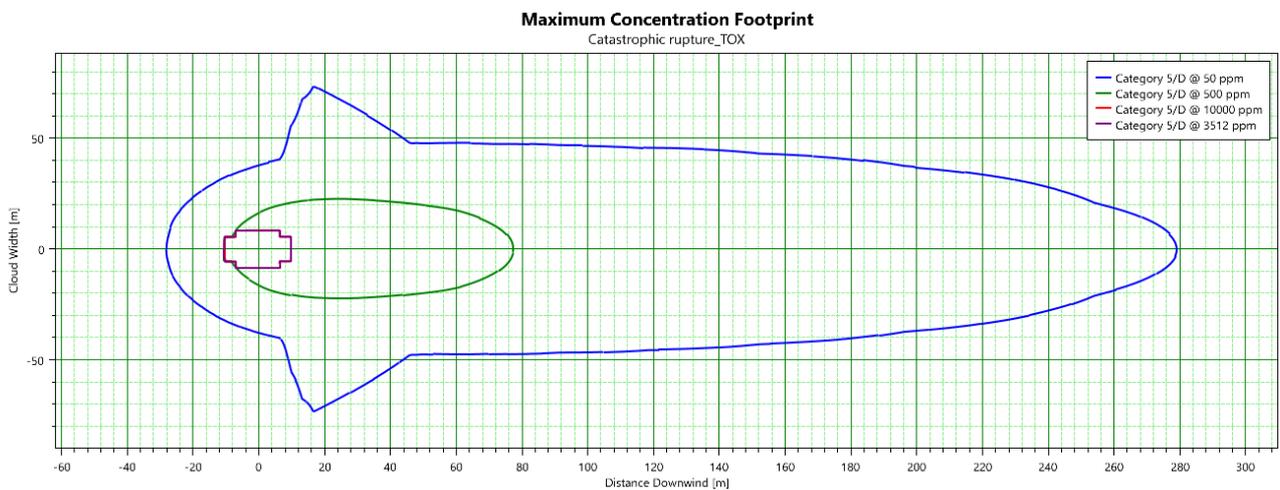
8.1.2 Studio dettagliato della dispersione tossica

Data la rilevante severità della dispersione tossica di acido acetico, viene mostrato il dettaglio delle mappe di dispersione, identificando le zone di impatto a partire da una data direzione del vento, ottenute rispettivamente nelle condizioni 2F e 5D (Figura 14 a, b).

Le mappe riportano la massima concentrazione a 1 m di altezza; dato che il fenomeno è transitorio (rilascio istantaneo e non continuo), alcune zone sono interessate dalla concentrazione tossica per un tempo limitato. La rappresentazione deve considerarsi, quindi, estremamente conservativa. In questo caso, la dispersione raggiunge uno stato pseudo stazionario e risulta stabile per più di 30 minuti.



a)



b)

Figura 14 Profili di concentrazione ottenuti per le dispersioni di acido acetico: A) condizioni 2F; b) condizioni 5D.

8.1.3 Analisi della compatibilità territoriale

La probabilità annuale di accadimento dell'evento di dispersione tossica legato al danneggiamento dei serbatoi di acido acetico -corrispondente allo scenario più grave- risulta minore di 10^{-6} eventi/anno; pertanto l'impianto è compatibile con le categorie territoriali indicate nel D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale ed evidenziate in Tabella 11 [22].

Tabella 11 Valutazione della compatibilità territoriale attraverso la matrice del DM 9 maggio 2001; in grigio la riga di riferimento per il presente caso.

Classe di probabilità degli eventi	Categoria per effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
$<10^{-6}$	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF	(A)CDEF
$10^{-4} - 10^{-6}$	(E)F	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF
$10^{-3} - 10^{-4}$	F	(E)F	(D)EF	(C)DEF
$>10^{-3}$	F	F	(E)F	(D)EF

Si mostra in Figura 15 la rappresentazione spaziale delle zone di danno che tiene conto dell'involuppo di tutte le possibili direzioni del vento per identificare l'uso del territorio. La zona ad elevata letalità è confinata all'interno dell'area di stoccaggio e non si rilevano installazioni vulnerabili.

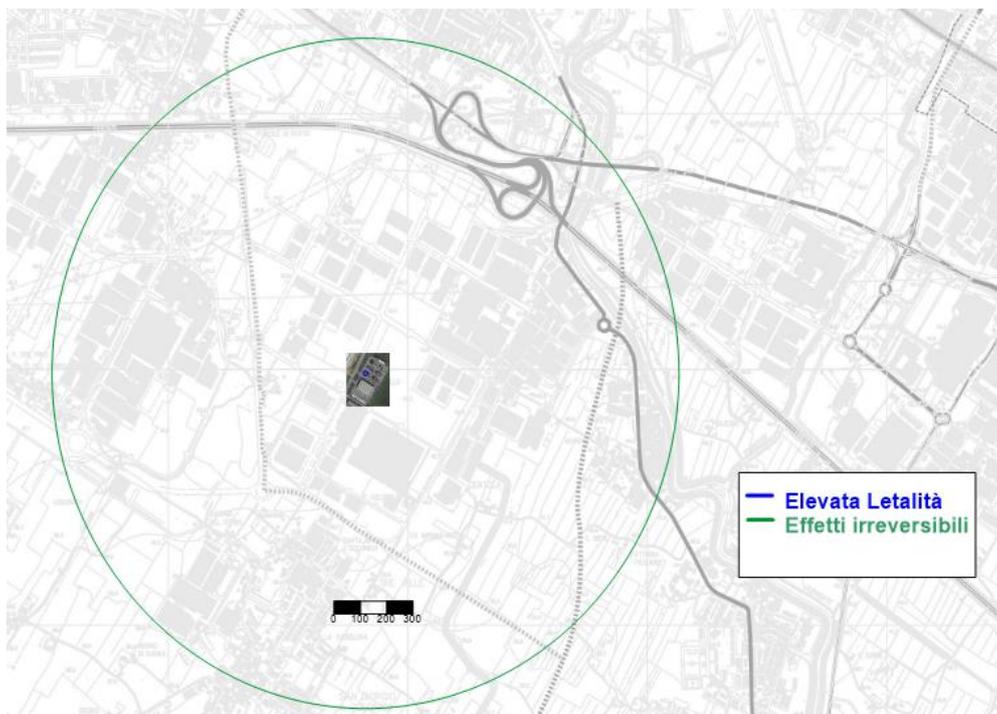


Figura 15 Valutazione dell'impatto sul territorio delle dispersioni tossiche di acido acetico; rappresentazione dell'involuppo della massima estensione della nube considerando tutte le possibili direzioni del vento.

8.2 Stoccaggio acido formico

8.2.1 Sintesi dei risultati

Si riporta in Tabella 12 e Tabella 13 il prospetto riassuntivo delle distanze di danno ottenute nelle condizioni meteorologiche 2F e 5D rispettivamente, con associata la frequenza di accadimento derivata ipotizzando una posizione di massima delle apparecchiature. Il *pool fire* indotto da incendio esterno ha una frequenza di accadimento leggermente maggiore rispetto a quello indotto da collisione, mentre gli effetti hanno la medesima estensione. Gli scenari di *flash fire* e dispersione sono esclusi dall'analisi mediante albero degli eventi nel caso di danneggiamento da incendio esterno (vedi Sezione 6.3).

Tabella 12 Distanze di danno (in m) e frequenze (eventi/anno) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi di acido formico. Condizioni meteo 2F.

Scenario incidentale	Frequenza da albero degli eventi	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	1×10^{-6}	Non raggiunto	Non raggiunto	Non raggiunto	37
Pool fire incendio esterno	$1,1 \times 10^{-6}$	Non raggiunto	Non raggiunto	Non raggiunto	37
Flash fire	1×10^{-7}	9	9	-	-
Toxic dispersion	$1,1 \times 10^{-8}$	309	-	3453	-

Tabella 13 Distanze di danno (in m) e frequenze (eventi/anno) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi di acido formico. Condizioni meteo 5D.

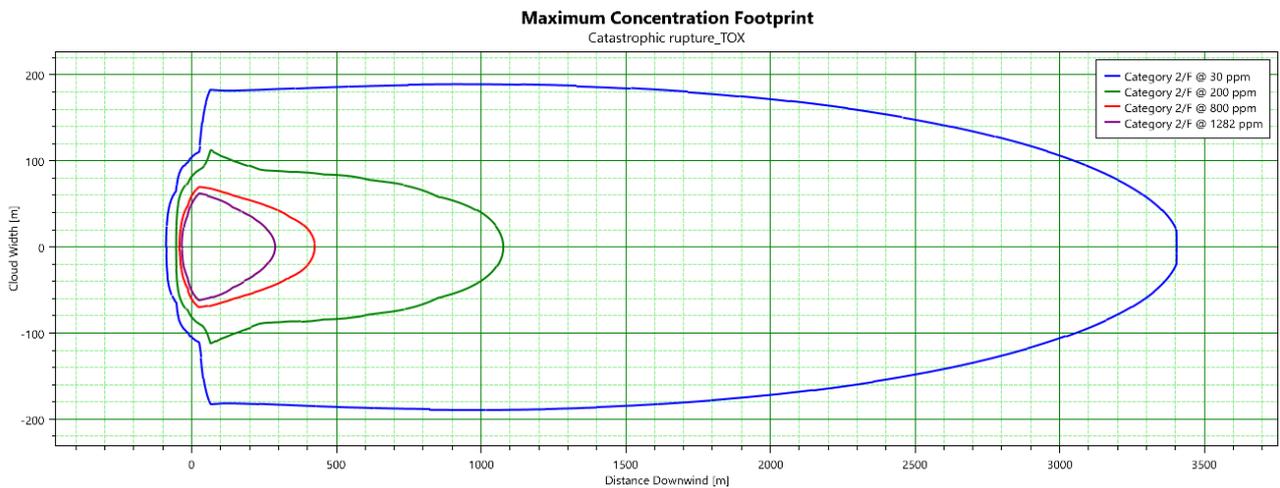
Scenario incidentale	Frequenza da albero degli eventi	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	1×10^{-6}	Non raggiunto	Non raggiunto	Non raggiunto	37
Pool fire incendio esterno	$1,1 \times 10^{-6}$	Non raggiunto	Non raggiunto	Non raggiunto	37
Flash fire	1×10^{-7}	9	9	-	-
Toxic dispersion	$1,1 \times 10^{-8}$	65	-	553	-

Lo scenario più critico è legato alla dispersione tossica dei vapori di acido formico generati dalla pozza. Tuttavia, tale scenario risulta quello con la minore probabilità di accadimento, data la credibilità di un innesco in seguito alla collisione.

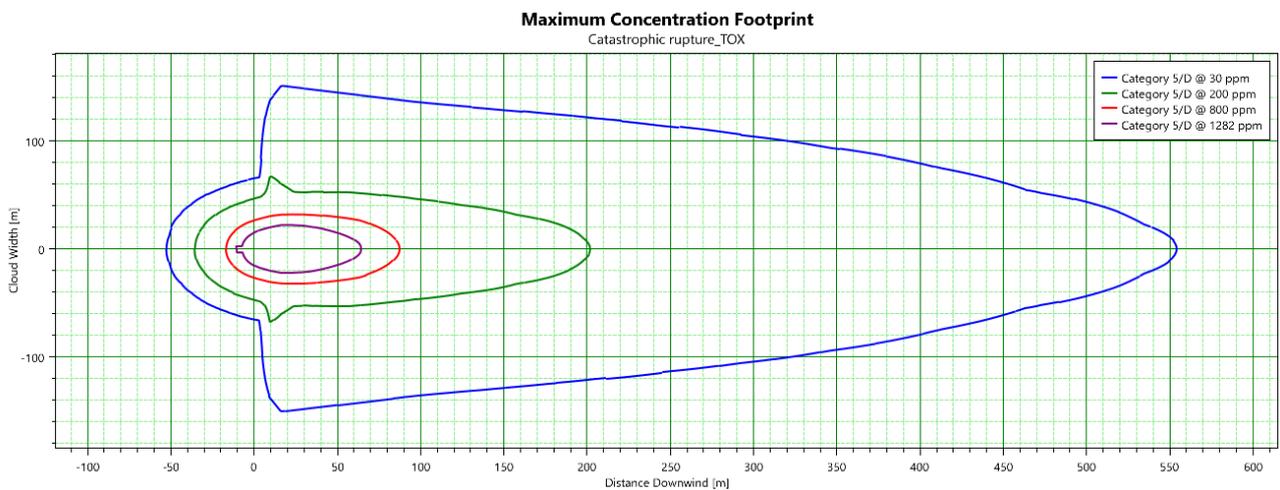
8.2.2 Studio dettagliato della dispersione tossica

Data la rilevante severità della dispersione tossica di acido formico, viene mostrato il dettaglio delle mappe di dispersione, identificando le zone di impatto a partire da una data direzione del vento, ottenute rispettivamente nelle condizioni 2F e 5D (Figura 16 a, b).

Le mappe riportano la massima concentrazione a 1 m di altezza; dato che il fenomeno è transitorio (rilascio istantaneo e non continuo), alcune zone sono interessate dalla concentrazione tossica per un tempo limitato. La rappresentazione deve considerarsi, quindi, estremamente conservativa. In questo caso, la dispersione raggiunge uno stato pseudo stazionario e risulta stabile per più di 30 minuti.



a)



b)

Figura 16 Profili di concentrazione ottenuti per le dispersioni di acido formico: A) condizioni 2F; b) condizioni 5D.

8.2.3 Analisi della compatibilità territoriale

La probabilità annuale di accadimento dell'evento di dispersione tossica legato al danneggiamento dei serbatoi di acido formico -corrispondente allo scenario più grave- risulta minore di 10^{-6} eventi/anno; pertanto l'impianto è compatibile con le categorie territoriali indicate nel D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale ed evidenziate in Tabella 14 [22].

Tabella 14 Valutazione della compatibilità territoriale attraverso la matrice del DM 9 maggio 2001; in grigio la riga di riferimento per il presente caso.

Classe di probabilità degli eventi	Categoria per effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
$<10^{-6}$	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF	(A)CDEF
$10^{-4} - 10^{-6}$	(E)F	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF
$10^{-3} - 10^{-4}$	F	(E)F	(D)EF	(C)DEF
$>10^{-3}$	F	F	(E)F	(D)EF

Si mostra in Figura 17 la rappresentazione spaziale delle zone di danno che tiene conto dell'involuppo di tutte le possibili direzioni del vento per identificare l'uso del territorio. La zona ad elevata letalità è confinata all'interno dell'area di stoccaggio e non si rilevano installazioni vulnerabili.

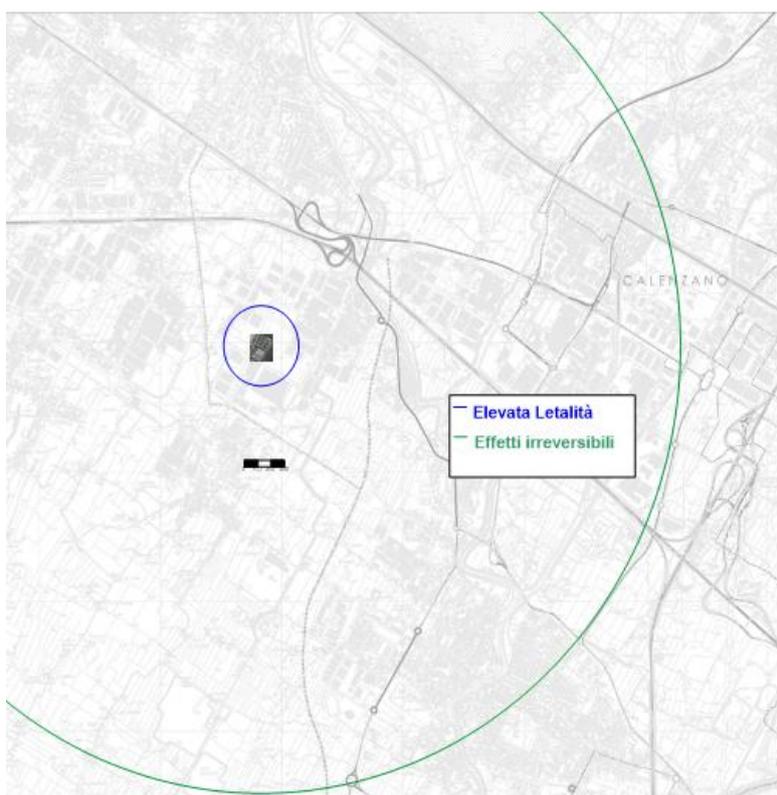


Figura 17 Valutazione dell'impatto sul territorio delle dispersioni tossiche di acido formico; rappresentazione dell'involuppo della massima estensione della nube considerando tutte le possibili direzioni del vento.

8.3 Stoccaggio percloroetilene

8.3.1 Sintesi dei risultati

Si riporta in Tabella 15 il prospetto riassuntivo delle distanze di danno ottenute nelle condizioni meteorologiche 2F e 5D, con associata la frequenza di accadimento derivata ipotizzando una posizione di massima delle apparecchiature. La sostanza non è infiammabile, si considerano solo gli effetti delle dispersioni tossiche. Come si vede in Tabella 15, non si riportano le distanze a cui sono attesi gli effetti di inizio letalità dato che il D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale non riporta la soglia di riferimento corrispondente.

La tabella riporta la massima distanza a cui si hanno le concentrazioni di interesse a 1 m di altezza; dato che il fenomeno è transitorio (rilascio istantaneo e non continuo), alcune zone sono interessate dalla concentrazione tossica per un tempo limitato (anche solo decine di secondi). I risultati sono quindi conservativi.

Tabella 15 Distanze di danno (in m) e frequenze (eventi/anno) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi di Percloroetilene. La sostanza non è infiammabile, si considerano solo dispersioni tossiche.

Scenario incidentale	Frequenza da albero degli eventi	Condizioni meteo	Soglia elevata letalità	Soglia lesioni irreversibili
Toxic dispersion*	$1,1 \times 10^{-6}$	2F	369	1247
Toxic dispersion*	$1,1 \times 10^{-6}$	5D	292	1170

* conservativamente si assume la stessa frequenza sia nel caso di impatto che di effetto domino da incendio esterno

8.3.2 Studio dettagliato della dispersione tossica

In questa sezione viene mostrato il dettaglio delle mappe di dispersione, identificando le zone di impatto a partire da una data direzione del vento.

Le mappe in Figura 18 riportano la concentrazione a 1 m di altezza valutate a diversi istanti di tempo, dato che il fenomeno non riesce a raggiungere uno stato pseudo-stazionario. Questo è dovuto alle caratteristiche chimico-fisiche del percloroetilene e la natura transitoria del rilascio. Ne consegue una rapida evoluzione del fenomeno; la nube raggiunge la massima estensione in pochi minuti, per poi disperdersi completamente.

Per brevità, per le condizioni 5D si riporta soltanto il profilo di massima concentrazione (Figura 19).

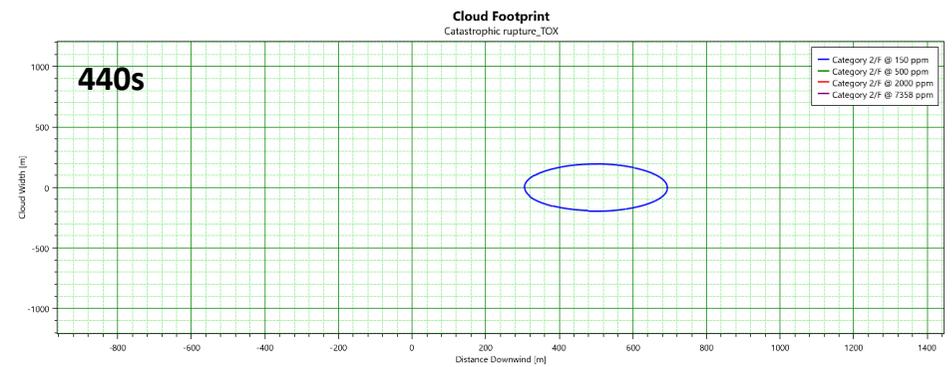
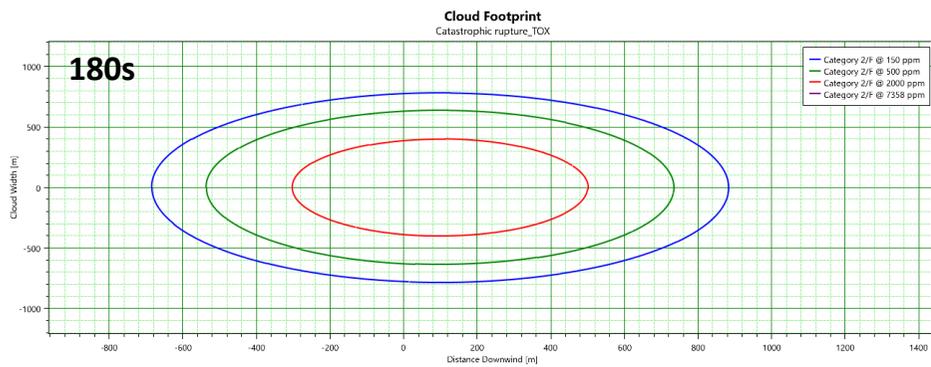
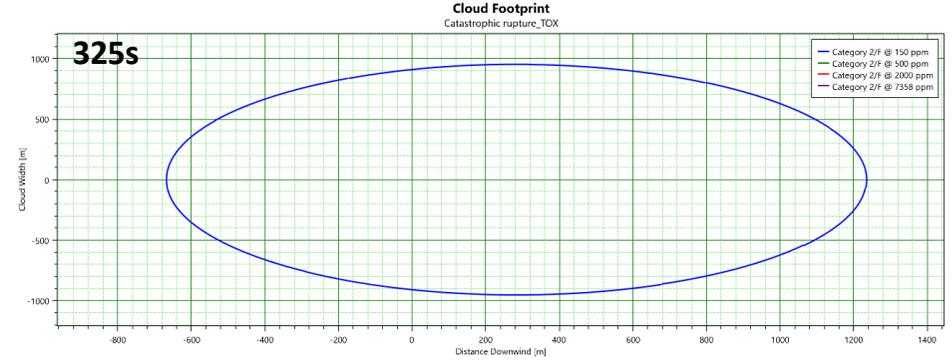
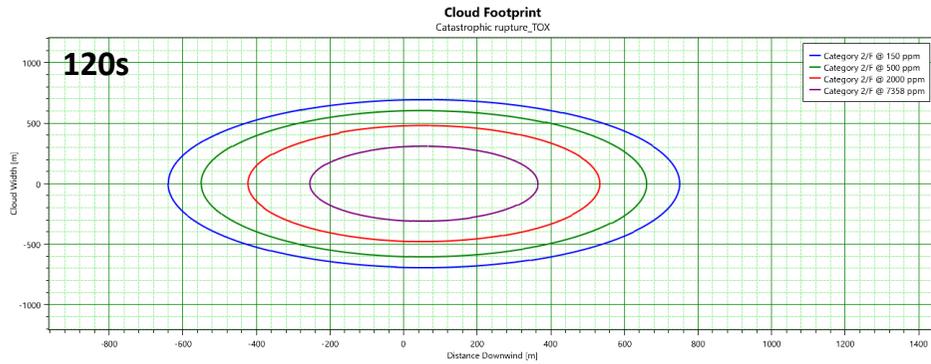
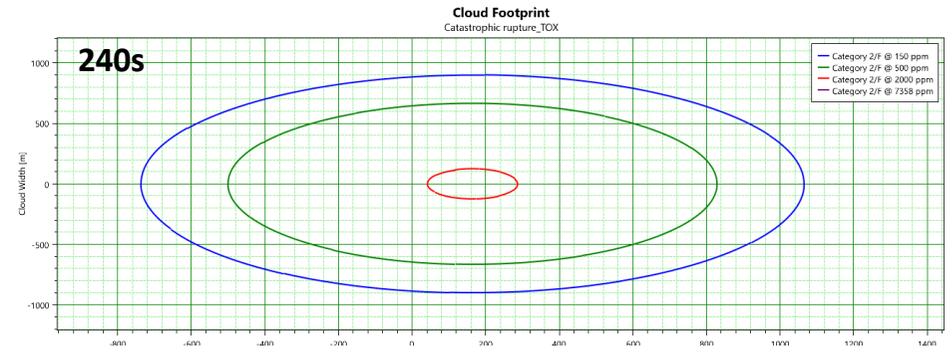
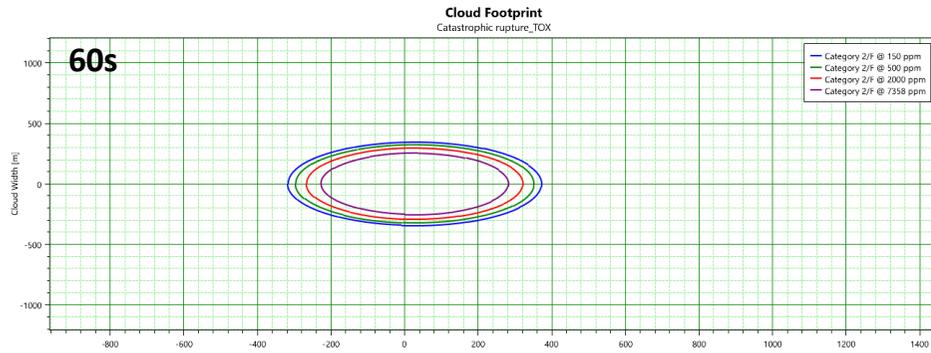


Figura 18 Profili di concentrazione ottenuti per le dispersioni di percloroetilene in condizioni 2F a diversi istanti di tempo.

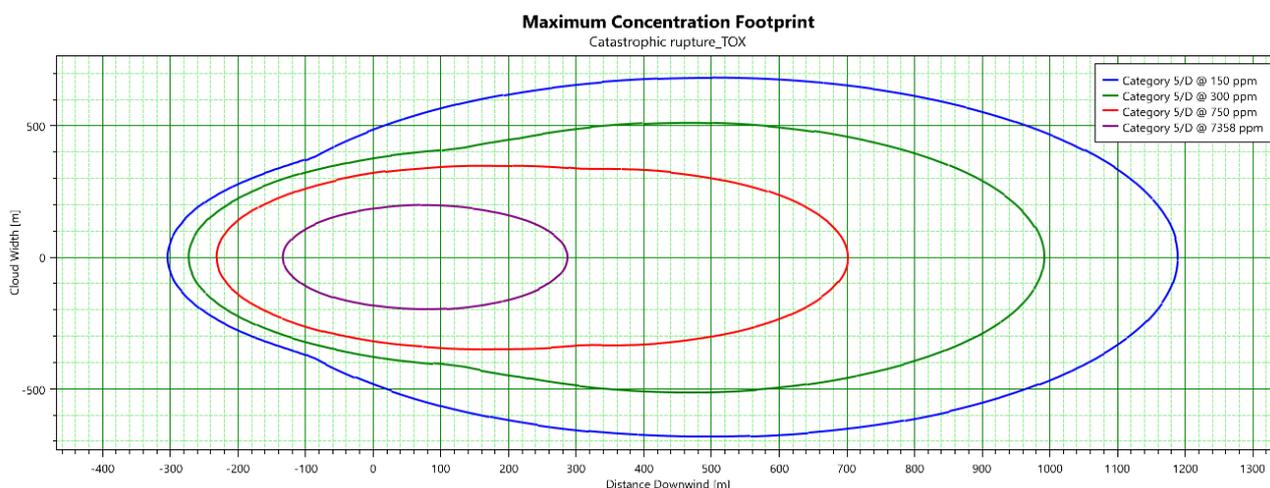


Figura 19 Profili di concentrazione ottenuti per le dispersioni di percloroetilene in condizioni 5D.

8.3.3 Analisi della compatibilità territoriale

La probabilità annuale della dispersione tossica, estremamente vicina al limite inferiore di 10^{-6} eventi/anno (risulta $1,1 \times 10^{-6}$ in luogo di 1×10^{-6}), è stata formalmente considerata nella classe compresa tra 10^{-4} e 10^{-6} eventi/anno; pertanto l'impianto è compatibile con le categorie territoriali indicate nel D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale ed evidenziate in Tabella 16 [22].

Tabella 16 Valutazione della compatibilità territoriale attraverso la matrice del DM 9 maggio 2001; in grigio la riga di riferimento per il presente caso.

Classe di probabilità degli eventi	Categoria per effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
$<10^{-6}$	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF	(A)CDEF
$10^{-4} - 10^{-6}$	(E)F	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF
$10^{-3} - 10^{-4}$	F	(E)F	(D)EF	(C)DEF
$>10^{-3}$	F	F	(E)F	(D)EF

Si mostra in Figura 20 la rappresentazione spaziale delle zone di danno che tiene conto dell'involuppo di tutte le possibili direzioni del vento per identificare l'uso del territorio. La zona ad elevata letalità è confinata all'interno dell'area industriale (qualche capannone, piazzali, aree esterne e attività produttive) e non si rilevano installazioni vulnerabili.

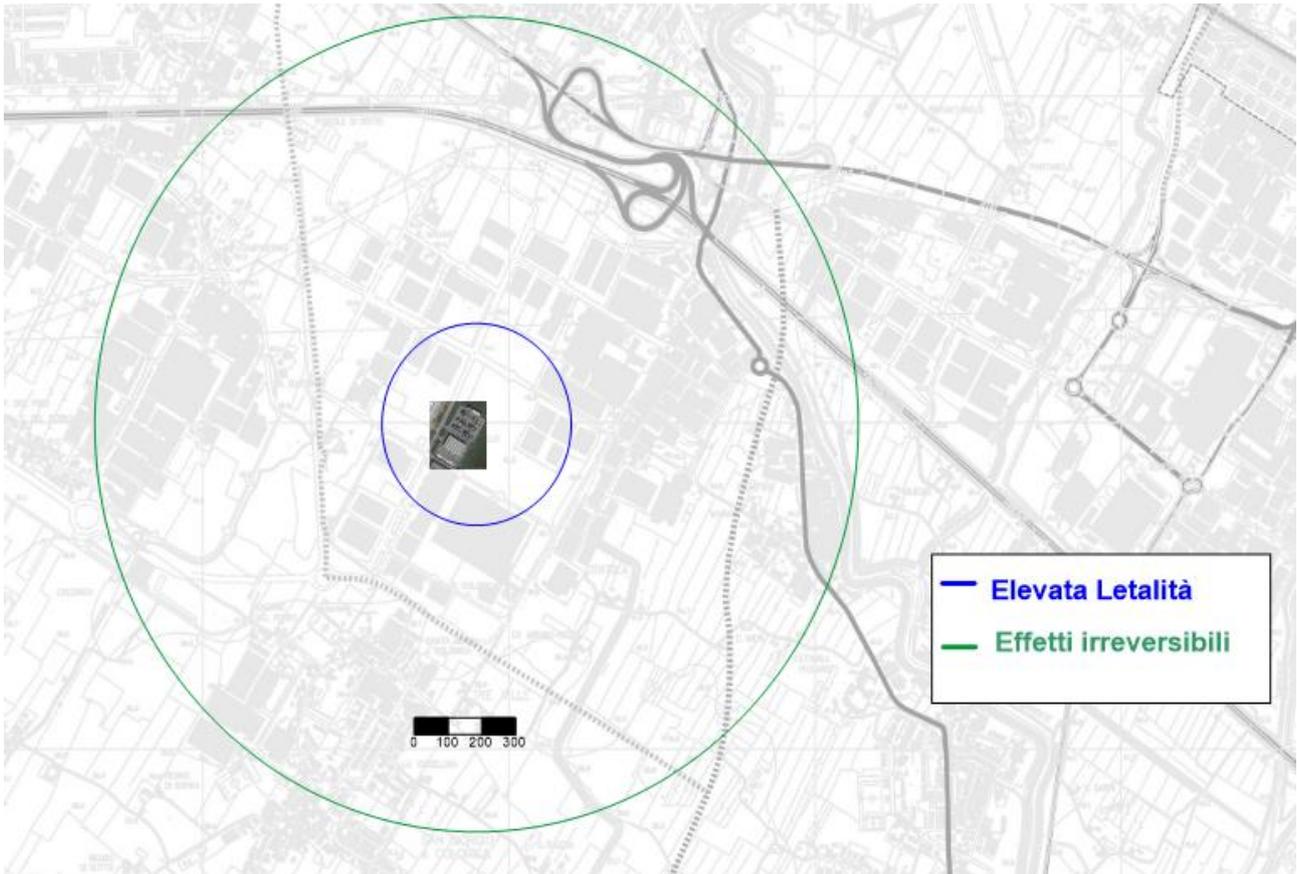


Figura 20 Valutazione dell'impatto sul territorio delle dispersioni tossiche di percloroetilene; rappresentazione dell'involuppo della massima estensione della nube considerando tutte le possibili direzioni del vento.

8.4 Stoccaggio acido fluoridrico (soluzione al 40%)

8.4.1 Sintesi dei risultati

Si riporta in Tabella 17 il prospetto riassuntivo delle distanze di danno ottenute nelle condizioni meteorologiche 2F e 5D, con associata la frequenza di accadimento derivata ipotizzando una posizione di massima delle apparecchiature. La sostanza non è infiammabile, si considerano solo gli effetti delle dispersioni tossiche. Come si vede in Tabella 17, non si riportano le distanze a cui sono attesi gli effetti di inizio letalità dato che il D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale non riporta la soglia di riferimento corrispondente.

La tabella riporta la massima distanza a cui si hanno le concentrazioni di interesse a 1 m di altezza; dato che il fenomeno è transitorio (rilascio istantaneo e non continuo), alcune zone sono interessate dalla concentrazione tossica per un tempo limitato (anche solo decine di secondi). I risultati sono quindi conservativi.

Tabella 17 Distanze di danno (in m) e frequenze (eventi/anno) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i fusti di acido fluoridrico. La sostanza non è infiammabile, si considerano solo dispersioni tossiche.

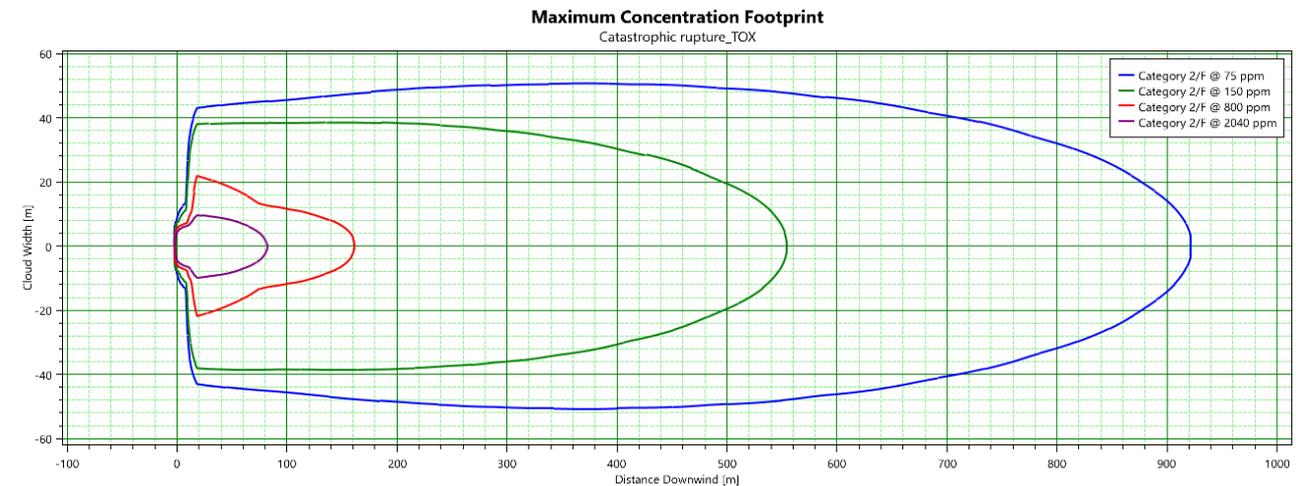
Scenario incidentale	Frequenza da albero degli eventi	Condizioni meteo	Soglia elevata letalità	Soglia lesioni irreversibili
Toxic dispersion*	$1,1 \times 10^{-6}$	2F	932	85
Toxic dispersion*	$1,1 \times 10^{-6}$	5D	409	69

* conservativamente si assume la stessa frequenza sia nel caso di impatto che di effetto domino dai incendio esterno

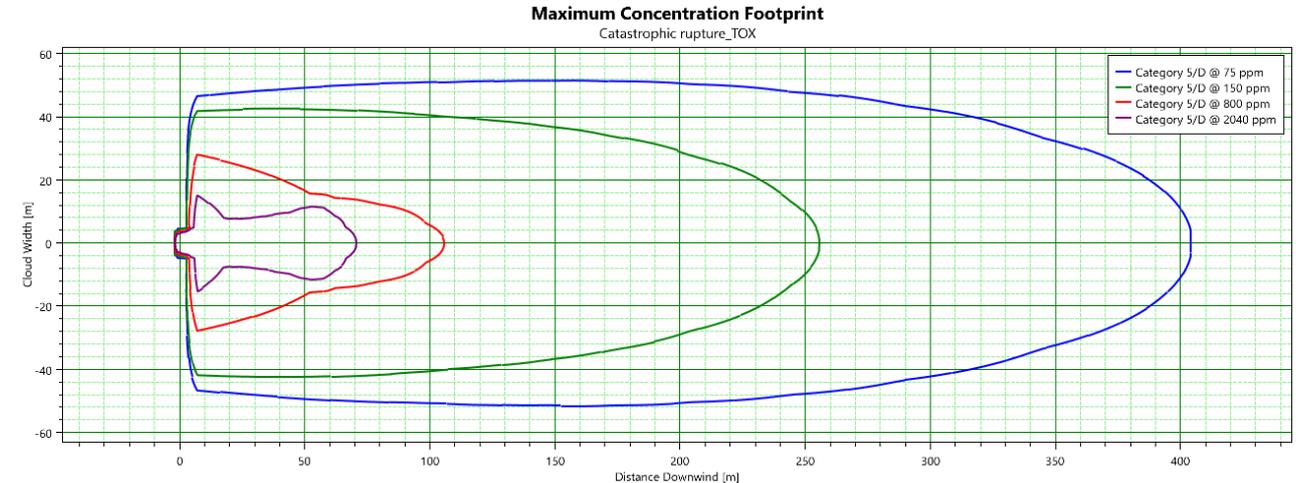
8.4.2 Studio dettagliato della dispersione tossica

In questa sezione viene mostrato il dettaglio delle mappe di dispersione, identificando le zone di impatto a partire da una data direzione del vento.

Le mappe in Figura 21 riportano la concentrazione massima predetta a 1 m di altezza per le condizioni 2F e 5D. In questo caso, la dispersione raggiunge uno stato pseudo stazionario e risulta stabile per più di 30 minuti.



a)



b)

Figura 21 Profili di concentrazione ottenuti per le dispersioni di acido fluoridrico: A) condizioni 2F; b) condizioni 5D.

8.4.3 Analisi della compatibilità territoriale

La probabilità annuale della dispersione tossica, estremamente vicina al limite inferiore di 10^{-6} eventi/anno (risulta $1,1 \times 10^{-6}$ in luogo di 1×10^{-6}), è stata formalmente considerata nella classe compresa tra 10^{-4} e 10^{-6} eventi/anno; pertanto l'impianto è compatibile con le categorie territoriali indicate nel D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale ed evidenziate in Tabella 18 [22].

Si mostra in Figura 22 la rappresentazione spaziale delle zone di danno che tiene conto dell'inviluppo di tutte le possibili direzioni del vento per identificare l'uso del territorio. La zona ad elevata letalità è confinata all'interno dell'area industriale (area esterna non pavimentata e non utilizzata) e non si rilevano installazioni vulnerabili.

Tabella 18 Valutazione della compatibilità territoriale attraverso la matrice del DM 9 maggio 2001; in grigio la riga di riferimento per il presente caso.

Classe di probabilità degli eventi	Categoria per effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
$<10^{-6}$	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF	(A)CDEF
$10^{-4} - 10^{-6}$	(E)F	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF
$10^{-3} - 10^{-4}$	F	(E)F	(D)EF	(C)DEF
$>10^{-3}$	F	F	(E)F	(D)EF

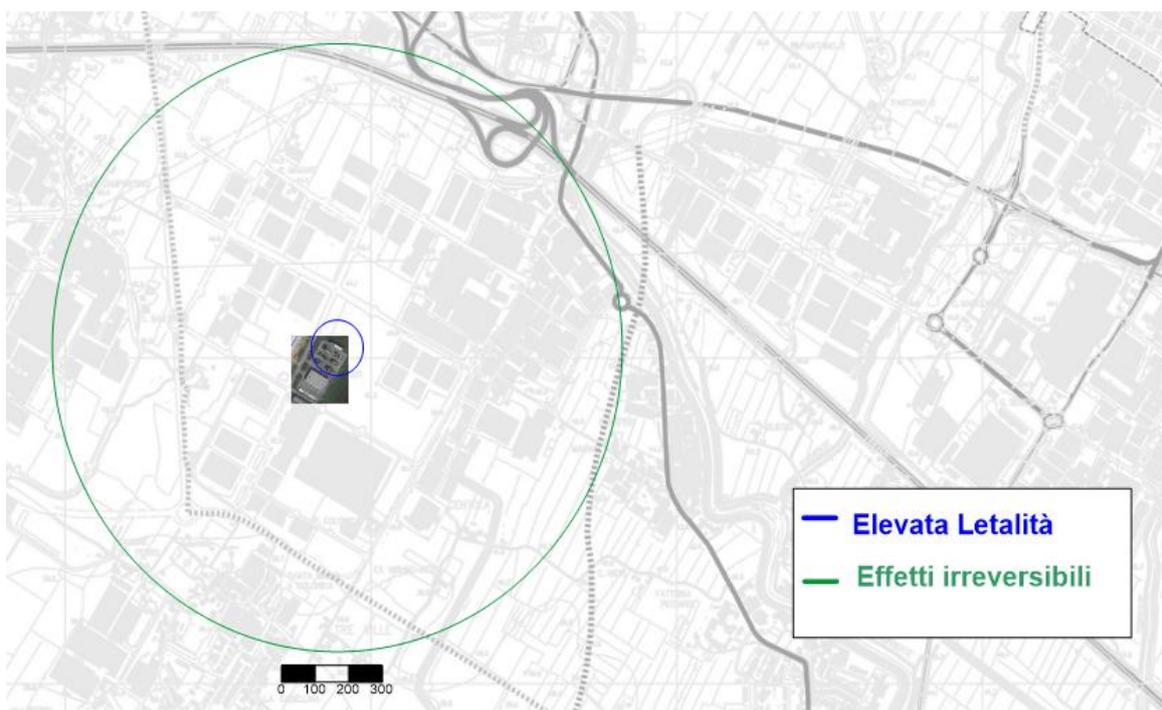


Figura 22 Valutazione dell'impatto sul territorio delle dispersioni tossiche di acido fluoridrico; rappresentazione dell'inviluppo della massima estensione della nube considerando tutte le possibili direzioni del vento.

8.5 Effetto domino di secondo ordine

Per effetti domino di secondo ordine si considerano gli eventi indotti in un'area industriale a partire da vettori di impatto, ovvero effetti fisici, associati agli scenari incidentali causati dall'impatto di aerei su apparecchi di processo. Si riporta di seguito un esempio esplicativo per chiarire la definizione.

ESEMPIO: un aereo precipita su un serbatoio contenente una sostanza infiammabile, che si sversa e, a seguito dell'innesco, genera un incendio che danneggia un serbatoio di un altro impianto.

Nel presente studio, gli incendi di pozza dovuti all'innesco delle sostanze infiammabili contenute nello stabilimento sono gli unici scenari capaci di indurre potenzialmente la rottura di apparecchiature limitrofe. Gli scenari derivati dalla rottura di apparecchi contenenti sostanze soltanto tossiche non sono in grado di generare effetti domino. Tali apparecchi sono tipicamente segregati dagli stoccaggi infiammabili e non contribuiscono alla propagazione dell'effetto domino.

Gli effetti domino di secondo ordine così identificati (*pool fire* secondari di acido acetico e/o formico) possono essere trattati dal punto di vista delle frequenze e conseguenze come gli scenari domino indotti dall'incendio esterno, i cui risultati sono stati presentati nelle sezioni precedenti.

9 Risultati ENICAL

Si riportano nelle seguenti tabelle i risultati ottenuti per le varie unità di stoccaggio delle sostanze pericolose per lo stabilimento *ENICAL* in termini di distanza di danno. Il riassunto dei risultati riferiti agli scenari di incendio è riportato in Tabella 19. Le probabilità di impatto aereo riportate risultano quelle desumibili dagli studi probabilistici propedeutici di cui all'applicazione delle procedure standard dell'art. 715 del Codice della Navigazione indirizzate a finalità esclusivamente urbanistiche, in totale coerenza con la tipologia di finalità di cui al D.M. 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". Detti studi probabilistici risultano eseguiti da ENAC in collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma.

Non sono presenti sostanze tossiche, gli scenari di riferimento sono *pool fire* o *flash fire*. La contaminazione del suolo industriale si esclude, essendo l'area pavimentata e opportunamente dotata di bacini di contenimento.

Tabella 19 Analisi delle conseguenze: distanze di danno incendi (solo per gli scenari che coinvolgono rilascio in atmosfera). Gli scenari sono descritti in Tabella 5 all'ID corrispondente.

ID	Fase	Scenario*	Soglia Lesioni reversibili (m)		Soglia Lesioni irreversibili (m)		Soglia inizio letalità (m)		Soglia elevata Letalità (m)	
			Meteo 2F	Meteo 5D	Meteo 2F	Meteo 5D	Meteo 2F	Meteo 5D	Meteo 2F	Meteo 5D
Z1	L	P	111	129	80	99	60	71	43	43
		F	-	-	-	-	25	23	19	20
Z2	L	P	187	214	136	165	105	122	81	82
		F	-	-	-	-	41	37	28	29
Z3	L	P	129	154	90	111	68	80	49	49
		F	-	-	-	-	106	106	83	67
Z4	L	P	107	128	75	93	56	66	39	40
		F	-	-	-	-	79	81	61	50
Z5	L	P	106	123	75	94	56	67	40	40
		F	-	-	-	-	39	39	28	23

* F = incendio di vapori (in inglese FLASH FIRE); P = incendio di pozza (in inglese POOL FIRE)

9.1 Stoccaggio zona Z1 (diesel)

9.1.1 Sintesi dei risultati

Si riporta in Tabella 20 e Tabella 21 il prospetto riassuntivo delle distanze di danno ottenute nelle condizioni meteorologiche 2F e 5D rispettivamente. Le frequenze degli scenari risultano largamente inferiori a 10^{-7} 1/anno; ai fini della valutazione della compatibilità territoriale, gli scenari risultano quindi nella classe probabilistica inferiore.

Gli scenari di *flash fire* e dispersione sono esclusi dall'analisi mediante albero degli eventi nel caso di danneggiamento da incendio esterno (vedi Sezione 6.3).

Tabella 20 Distanze di danno (in m) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi della zona Z1. Condizioni meteo 2F.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	43	60	80	111
Pool fire incendio esterno	43	60	80	111
Flash fire	19	25	-	-

Tabella 21 Distanze di danno (in m) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi della zona Z1. Condizioni meteo 5D.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	43	71	99	129
Pool fire incendio esterno	43	71	99	129
Flash fire	20	23	-	-

Lo scenario più critico è legato al *pool fire* che si genera a partire dall'innesco immediato del combustibile sversato dai serbatoi della zona Z1. Tale scenario è anche il più credibile, data l'elevata probabilità di innesco in seguito a collisione; inoltre, se generato da domino per incendio esterno, esso risulta l'unico scenario credibile.

9.1.2 Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello

La probabilità annuale di accadimento dell'evento del *pool fire* legato al danneggiamento dei serbatoi di diesel in Z1, lo scenario più grave, è sensibilmente minore di 10^{-6} eventi/anno; pertanto l'impianto è compatibile con le categorie territoriali indicate nel D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale ed evidenziate in Tabella 22 [22].

Tabella 22 Valutazione della compatibilità territoriale attraverso la matrice del DM 9 maggio 2001; in grigio la riga di riferimento per il presente caso.

Classe di probabilità degli eventi	Categoria per effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
<10 ⁻⁶	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF	(A)CDEF
10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶	(E)F	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF
10 ⁻³ - 10 ⁻⁴	F	(E)F	(D)EF	(C)DEF
>10 ⁻³	F	F	(E)F	(D)EF

Si mostra in Figura 23 la rappresentazione spaziale delle zone di danno che tiene conto dell'involuppo di tutte le possibili direzioni del vento nella condizione meteo peggiore (in questo caso 5D) per identificare l'uso del territorio. La zona ad elevata letalità è confinata all'interno dell'area di stoccaggio e non si rilevano installazioni vulnerabili anche nella zona esposta ad effetti lievi. Inoltre, nessuno degli apparecchi presenti nell'area stoccaggio fuori da Z1 è esposto al livello di irraggiamento pari a 12.5 kW/m² (curva rossa in Figura 23, dato che coincide con la zona ad elevata letalità, si veda la Sezione 3.2.3) preso a riferimento per il presente studio, quindi il domino di secondo livello viene escluso.

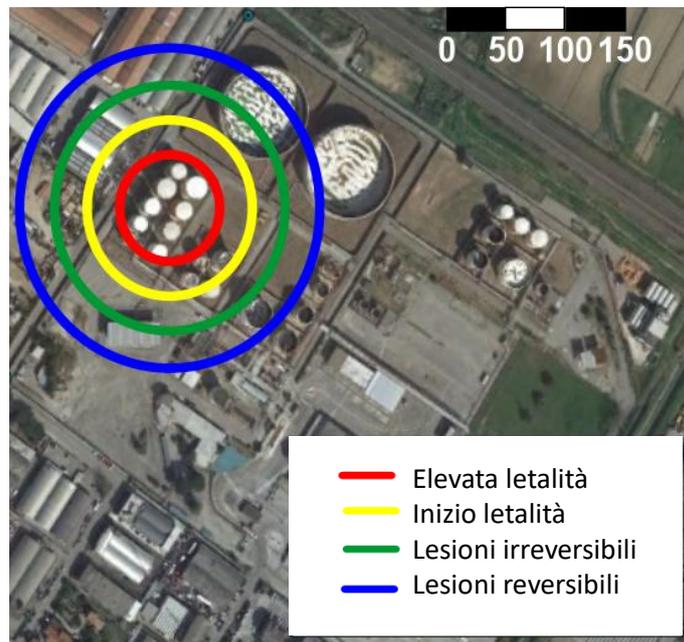


Figura 23 Valutazione dell'impatto sul territorio del pool fire associato alla rottura dei serbatoi nella zona Z1; rappresentazione dell'involuppo dello scenario considerando tutte le possibili direzioni del vento.

9.2 Stoccaggio zona 2 (diesel)

9.2.1 Sintesi dei risultati

Si riporta in Tabella 23 e Tabella 24 il prospetto riassuntivo delle distanze di danno ottenute nelle condizioni meteorologiche 2F e 5D rispettivamente. Le frequenze degli scenari risultano largamente inferiori a 10^{-7} 1/anno; ai fini della valutazione della compatibilità territoriale, gli scenari risultano quindi nella classe probabilistica inferiore.

Gli scenari di *flash fire* e dispersione sono esclusi dall'analisi mediante albero degli eventi nel caso di danneggiamento da incendio esterno (vedi Sezione 6.3).

Tabella 23 Distanze di danno (in m) e ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi della zona Z2. Condizioni meteo 2F.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	81	105	136	187
Pool fire incendio esterno	81	105	136	187
Flash fire	28	41	-	-

Tabella 24 Distanze di danno (in m) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi della zona Z2. Condizioni meteo 5D.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	82	122	165	214
Pool fire incendio esterno	82	122	165	214
Flash fire	29	37	-	-

Lo scenario più critico è legato al *pool fire* che si genera a partire dall'innesco immediato del combustibile sversato dai serbatoi della zona Z2. Tale scenario è anche il più credibile, data l'elevata probabilità di innesco in seguito a collisione; inoltre, se generato da domino per incendio esterno, esso risulta l'unico scenario credibile.

9.2.2 Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello

La probabilità annuale di accadimento dell'evento del *pool fire* legato al danneggiamento dei serbatoi di diesel in Z2, lo scenario più grave, è sensibilmente minore di 10^{-6} eventi/anno; pertanto l'impianto è compatibile con le categorie territoriali indicate nel D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale ed evidenziate in Tabella 25 [22].

Tabella 25 Valutazione della compatibilità territoriale attraverso la matrice del DM 9 maggio 2001; in grigio la riga di riferimento per il presente caso.

Classe di probabilità degli eventi	Categoria per effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
$<10^{-6}$	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF	(A)CDEF
$10^{-4} - 10^{-6}$	(E)F	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF
$10^{-3} - 10^{-4}$	F	(E)F	(D)EF	(C)DEF
$>10^{-3}$	F	F	(E)F	(D)EF

Si mostra in Figura 24 la rappresentazione spaziale delle zone di danno che tiene conto dell'inviluppo di tutte le possibili direzioni del vento nella condizione meteo peggiore (in questo caso 5D) per identificare l'uso del territorio. La zona ad elevata letalità è confinata all'interno dell'area di stoccaggio e non si rilevano installazioni vulnerabili anche nella zona esposta ad effetti lievi. Inoltre, nessuno degli apparecchi presenti nell'area stoccaggio fuori da Z2 è esposto al livello di irraggiamento pari a 12.5 kW/m^2 (curva rossa in Figura 24, dato che coincide con la zona ad elevata letalità, si veda la Sezione 3.2.3) preso a riferimento per il presente studio, quindi il domino di secondo livello viene escluso.

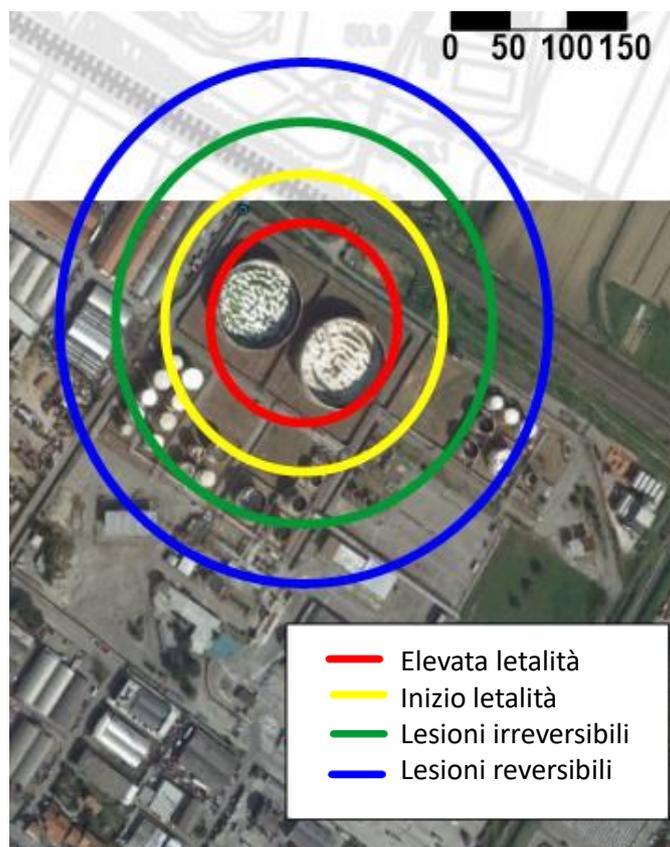


Figura 24 Valutazione dell'impatto sul territorio del pool fire associato alla rottura dei serbatoi nella zona Z2; rappresentazione dell'inviluppo dello scenario considerando tutte le possibili direzioni del vento.

9.3 Stoccaggio zona 3 (benzina)

9.3.1 Sintesi dei risultati

Si riporta in Tabella 26 e Tabella 27 il prospetto riassuntivo delle distanze di danno ottenute nelle condizioni meteorologiche 2F e 5D rispettivamente. Le frequenze degli scenari risultano largamente inferiori a 10^{-7} 1/anno; ai fini della valutazione della compatibilità territoriale, gli scenari risultano quindi nella classe probabilistica inferiore.

Gli scenari di *flash fire* e dispersione sono esclusi dall'analisi mediante albero degli eventi nel caso di danneggiamento da incendio esterno (vedi Sezione 6.3).

Tabella 26 Distanze di danno (in m) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi della zona Z3. Condizioni meteo 2F.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	49	68	90	129
Pool fire incendio esterno	49	68	90	129
Flash fire	83	106	-	-

Tabella 27 Distanze di danno (in m) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi della zona Z3. Condizioni meteo 5D.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	49	80	111	154
Pool fire incendio esterno	49	80	111	154
Flash fire	67	106	-	-

Lo scenario più critico è legato al *flash fire* che si genera a partire dall'innesco ritardato del combustibile sversato dai serbatoi della zona Z3. Questo è dovuto al fatto che la benzina è una sostanza estremamente infiammabile e più volatile del diesel, per cui la dispersione dei vapori è favorita rispetto ai casi Z1 e Z2. Tale scenario è meno credibile perché è legato ad eventi di ordine superiore; inoltre, se generato da domino per incendio esterno, tale scenario è escluso dall'analisi.

9.3.2 Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello

La probabilità annuale di accadimento dell'evento *flash fire* legato al danneggiamento dei serbatoi di benzina in Z3, lo scenario più grave, è sensibilmente minore di 10^{-6} eventi/anno; pertanto l'impianto è compatibile con le categorie territoriali indicate nel D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale ed evidenziate in Tabella 28 [22].

Tabella 28 Valutazione della compatibilità territoriale attraverso la matrice del DM 9 maggio 2001; in grigio la riga di riferimento per il presente caso.

Classe di probabilità degli eventi	Categoria per effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
$<10^{-6}$	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF	(A)CDEF
$10^{-4} - 10^{-6}$	(E)F	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF
$10^{-3} - 10^{-4}$	F	(E)F	(D)EF	(C)DEF
$>10^{-3}$	F	F	(E)F	(D)EF

Si mostra in Figura 25 la rappresentazione spaziale delle zone di danno che tiene conto dell'involuppo di tutte le possibili direzioni del vento nella condizione meteo peggiore (in questo caso 2F) per identificare l'uso del territorio. La zona ad elevata letalità è confinata all'interno dell'area di stoccaggio e non si rilevano installazioni vulnerabili anche nella zona esposta ad incipiente mortalità.

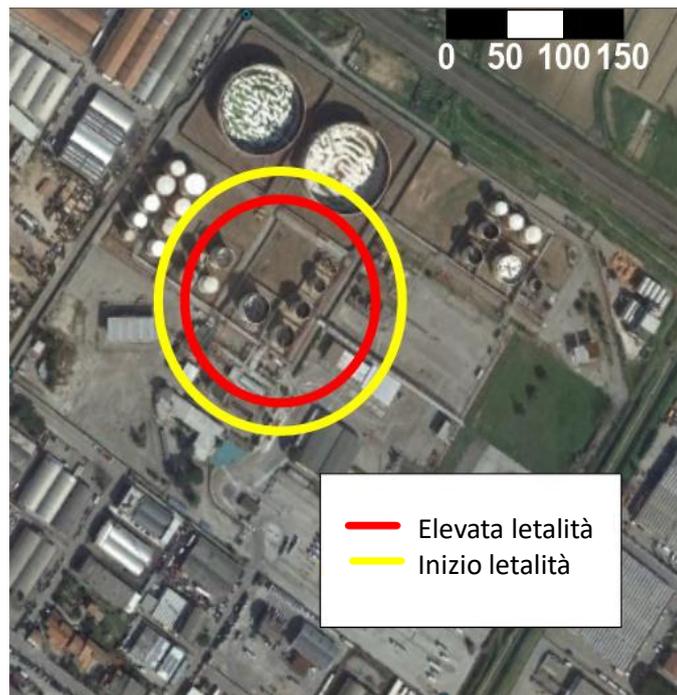


Figura 25 Valutazione dell'impatto sul territorio del flash fire associato all'innesco ritardato della benzina sversata dai serbatoi nella zona Z3; rappresentazione dell'involuppo dello scenario considerando tutte le possibili direzioni del vento.

Per quanto riguarda la valutazione dell'effetto domino di secondo livello, il *pool fire* è l'unico scenario in grado di provocare danni consistenti ad eventuali apparecchi limitrofi. Tuttavia, come mostrato in Figura 26, nessuno degli apparecchi presenti nell'area stoccaggio fuori da Z3 è esposto al livello di irraggiamento pari a 12.5 kW/m^2 preso a riferimento per il presente studio (curva rossa in Figura 26; si veda la Sezione 3.2.3), quindi il domino di secondo livello viene escluso.



Figura 26 Valutazione di possibili effetti domino di secondo livello indotti dalla rottura dei serbatoi in Z3; rappresentazione dell'involuppo dello scenario peggiore (pool fire in 5D) considerando tutte le possibili direzioni del vento.

9.4 Stoccaggio zona 4 (benzina e diesel)

9.4.1 Sintesi dei risultati

Si riporta in Tabella 29 e Tabella 30 il prospetto riassuntivo delle distanze di danno ottenute nelle condizioni meteorologiche 2F e 5D rispettivamente. Le frequenze degli scenari risultano largamente inferiori a 10^{-7} 1/anno; ai fini della valutazione della compatibilità territoriale, gli scenari risultano quindi nella classe probabilistica inferiore.

Gli scenari di *flash fire* e dispersione sono esclusi dall'analisi mediante albero degli eventi nel caso di danneggiamento da incendio esterno (vedi Sezione 6.3).

Tabella 29 Distanze di danno (in m) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi della zona Z4. Condizioni meteo 2F.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	39	56	75	107
Pool fire incendio esterno	39	56	75	107
Flash fire	61	79	-	-

Tabella 30 Distanze di danno (in m) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi della zona Z4. Condizioni meteo 5D.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	40	66	93	128
Pool fire incendio esterno	40	66	93	128
Flash fire	50	81	-	-

Lo scenario più critico è legato al *flash fire* che si genera a partire dall'innesco ritardato del combustibile sversato dai serbatoi della zona Z4. Questo è dovuto al fatto che la benzina è una sostanza estremamente infiammabile, per cui la dispersione dei vapori è favorita rispetto ai casi Z1 e Z2. In questo caso, la presenza dei composti pesanti e meno infiammabili del diesel attenua gli effetti rispetto al caso Z3.

Tale scenario è meno credibile perché è legato ad eventi di ordine superiore; inoltre, se generato da domino per incendio esterno, tale scenario è escluso dall'analisi.

9.4.2 Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello

La probabilità annuale di accadimento dell'evento *flash fire* legato al danneggiamento dei serbatoi di benzina e diesel in Z4, lo scenario più grave, è sensibilmente minore di 10^{-6} eventi/anno; pertanto l'impianto è compatibile con le categorie territoriali indicate nel D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale ed evidenziate in Tabella 31 [22].

Tabella 31 Valutazione della compatibilità territoriale attraverso la matrice del DM 9 maggio 2001; in grigio la riga di riferimento per il presente caso.

Classe di probabilità degli eventi	Categoria per effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
$<10^{-6}$	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF	(A)CDEF
$10^{-4} - 10^{-6}$	(E)F	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF
$10^{-3} - 10^{-4}$	F	(E)F	(D)EF	(C)DEF
$>10^{-3}$	F	F	(E)F	(D)EF

Si mostra in Figura 27 la rappresentazione spaziale delle zone di danno che tiene conto dell'involuppo di tutte le possibili direzioni del vento nella condizione meteo peggiore (in questo caso 2F) per identificare l'uso del territorio. La zona ad elevata letalità è confinata all'interno dell'area di stoccaggio e non si rilevano installazioni vulnerabili anche nella zona esposta ad incipiente letalità.



Figura 27 Valutazione dell'impatto sul territorio del flash fire associato all'innesco ritardato dei combustibili sversati dai serbatoi nella zona Z4; rappresentazione dell'inviluppo dello scenario considerando tutte le possibili direzioni del vento.

Per quanto riguarda la valutazione dell'effetto domino di secondo livello, il *pool fire* è l'unico scenario in grado di provocare danni consistenti ad eventuali apparecchi limitrofi. Tuttavia, come mostrato in Figura 28, nessuno degli apparecchi presenti nell'area stoccaggio fuori da Z4 è esposto al livello di irraggiamento pari a 12.5 kW/m^2 preso a riferimento per il presente studio (curva rossa in Figura 28; si veda la Sezione 3.2.3), quindi il domino di secondo livello viene escluso.



Figura 28 Valutazione di possibili effetti domino di secondo livello indotti dalla rottura dei serbatoi in Z4; rappresentazione dell'inviluppo dello scenario peggiore (*pool fire in 5D*) considerando tutte le possibili direzioni del vento.

9.5 Stoccaggio zona 5 (petrolio)

9.5.1 Sintesi dei risultati

Si riporta in Tabella 32 e Tabella 33 il prospetto riassuntivo delle distanze di danno ottenute nelle condizioni meteorologiche 2F e 5D rispettivamente. Le frequenze degli scenari risultano largamente inferiori a 10^{-7} 1/anno; ai fini della valutazione della compatibilità territoriale, gli scenari risultano quindi nella classe probabilistica inferiore.

Gli scenari di *flash fire* e dispersione sono esclusi dall'analisi mediante albero degli eventi nel caso di danneggiamento da incendio esterno (vedi Sezione 6.3).

Tabella 32 Distanze di danno (in m) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi della zona Z5. Condizioni meteo 2F.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	40	56	75	106
Pool fire incendio esterno	40	56	75	106
Flash fire	39	28	-	-

Tabella 33 Distanze di danno (in m) ottenute per il danneggiamento catastrofico di tutti i serbatoi della zona Z5. Condizioni meteo 5D.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	40	67	94	123
Pool fire incendio esterno	40	67	94	123
Flash fire	39	23	-	-

Lo scenario più critico è legato al *pool fire* che si genera a partire dall'innesco immediato del combustibile sversato dai serbatoi della zona Z5. Tale scenario è anche il più credibile, data l'elevata probabilità di innesco in seguito a collisione; inoltre, se generato da domino per incendio esterno, esso risulta l'unico scenario credibile.

9.5.2 Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello

La probabilità annuale di accadimento dell'evento del *pool fire* legato al danneggiamento dei serbatoi di petrolio (ovvero olio combustibile e/o kerosene) in Z5, lo scenario più grave, è sensibilmente minore di 10^{-6} eventi/anno; pertanto l'impianto è compatibile con le categorie territoriali indicate nel D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale ed evidenziate in Tabella 34 [22].

Tabella 34 Valutazione della compatibilità territoriale attraverso la matrice del DM 9 maggio 2001; in grigio la riga di riferimento per il presente caso.

Classe di probabilità degli eventi	Categoria per effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
<10 ⁻⁶	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF	(A)CDEF
10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶	(E)F	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF
10 ⁻³ - 10 ⁻⁴	F	(E)F	(D)EF	(C)DEF
>10 ⁻³	F	F	(E)F	(D)EF

Si mostra in Figura 29 la rappresentazione spaziale delle zone di danno che tiene conto dell'involuppo di tutte le possibili direzioni del vento nella condizione meteo peggiore (in questo caso 5D) per identificare l'uso del territorio. La zona ad elevata letalità è confinata all'interno dell'area di stoccaggio e non si rilevano installazioni vulnerabili anche nella zona esposta ad effetti lievi. Inoltre, nessuno degli apparecchi presenti nell'area stoccaggio fuori da Z5 è esposto al livello di irraggiamento pari a 12.5 kW/m² (curva rossa in Figura 29, dato che coincide con la zona ad elevata letalità, si veda la Sezione 3.2.3) preso a riferimento per il presente studio, quindi il domino di secondo livello viene escluso.

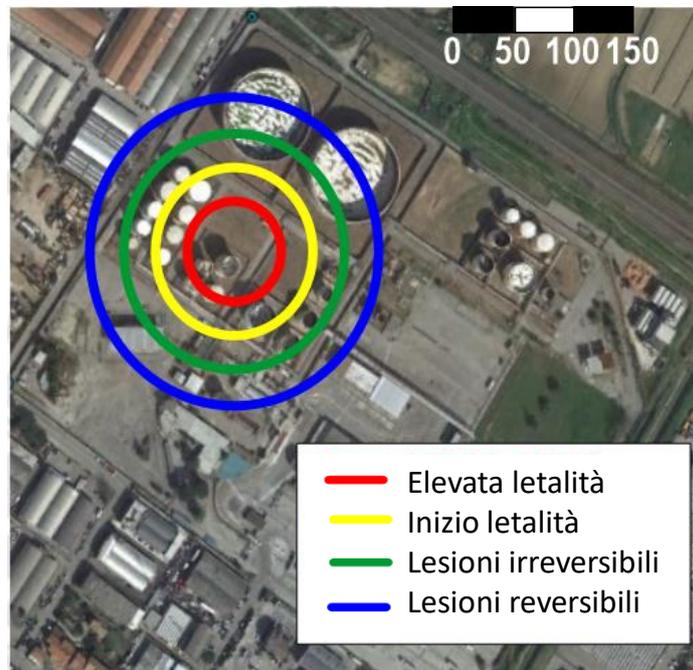


Figura 29 Valutazione dell'impatto sul territorio del pool fire associato alla rottura dei serbatoi nella zona Z5; rappresentazione dell'involuppo dello scenario considerando tutte le possibili direzioni del vento.

10 Risultati M&R

Si riportano nelle seguenti tabelle i risultati ottenuti per le varie unità di stoccaggio delle sostanze pericolose per lo stabilimento M&R in termini di distanza di danno. Il riassunto dei risultati riferiti agli scenari di incendio è riportato in Tabella 35. Le probabilità di impatto aereo riportate risultano quelle desumibili dagli studi probabilistici propedeutici di cui all'applicazione delle procedure standard dell'art. 715 del Codice della Navigazione indirizzate a finalità esclusivamente urbanistiche, in totale coerenza con la tipologia di finalità di cui al D.M. 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". Detti studi probabilistici risultano eseguiti da ENAC in collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma.

Non sono presenti sostanze tossiche, gli scenari di riferimento sono incendi. La contaminazione del suolo industriale si esclude, essendo l'area pavimentata e opportunamente dotata di bacini di contenimento.

Tabella 35 Analisi delle conseguenze: distanze di danno incendi (solo per gli scenari che coinvolgono rilascio in atmosfera). Gli scenari sono descritti in Tabella 6 all'ID corrispondente.

ID	Fase	Scenario *	Soglia Lesioni reversibili (m)		Soglia Lesioni irreversibili (m)		Soglia inizio letalità (m)		Soglia elevata Letalità (m)	
			Meteo 2F	Meteo 5D	Meteo 2F	Meteo 5D	Meteo 2F	Meteo 5D	Meteo 2F	Meteo 5D
ET	L	P	103	103	84	86	73	77	55	61
		F	-	-	-	-	14	9	9	5
GPL	L**	B	402	402	302	302	192	192	105	105
		F	-	-	-	-	257	363	109	173

* F = incendio di vapori (in inglese FLASH FIRE); P = incendio di pozza (in inglese POOL FIRE); B = BLEVE/fireball

** gas liquefatto in pressione

10.1 Incidenti legati alla perdita di etanolo

10.1.1 Sintesi dei risultati

Si riporta in Tabella 36 e Tabella 37 il prospetto riassuntivo delle distanze di danno ottenute nelle condizioni meteorologiche 2F e 5D rispettivamente. Le frequenze degli scenari risultano largamente inferiori a 10^{-7} 1/anno; ai fini della valutazione della compatibilità territoriale, gli scenari risultano quindi nella classe probabilistica inferiore. Conservativamente, si assume che il *pool fire* del carburante sversato in seguito alla collisione dell'aeromobile danneggi la tubazione di etanolo generando la medesima tipologia di rottura (ovvero rottura a ghigliottina della tubazione) facendo riferimento al medesimo valore di soglia delle apparecchiature (ovvero 12.5 kW/m²).

Gli scenari di *flash fire* e dispersione sono esclusi dall'analisi mediante albero degli eventi nel caso di danneggiamento da incendio esterno (vedi Sezione 6.3).

Tabella 36 Distanze di danno (in m) ottenute per la perdita di contenimento di etanolo. Condizioni meteo 2F.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	55	73	84	103
Pool fire incendio esterno	55	73	84	103
Flash fire	9	14	-	-

Tabella 37 Distanze di danno (in m) ottenute per la perdita di contenimento di etanolo. Condizioni meteo 5D.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
Pool fire collisione	61	77	86	103
Pool fire incendio esterno	61	77	86	103
Flash fire	5	9	-	-

Lo scenario più critico è legato al *pool fire* che si genera a partire dall'innesco immediato dell'etanolo sversato per il trancio della tubazione. Tale scenario è anche il più credibile, data l'elevata probabilità di innesco in seguito a collisione; inoltre, se generato da domino per incendio esterno, esso risulta l'unico scenario credibile.

10.1.2 Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello

La probabilità annuale di accadimento dell'evento del *pool fire*, lo scenario più grave, è sensibilmente minore di 10^{-6} eventi/anno; pertanto l'impianto è compatibile con le categorie territoriali indicate nel D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale ed evidenziate in Tabella 38 [22].

Tabella 38 Valutazione della compatibilità territoriale attraverso la matrice del DM 9 maggio 2001; in grigio la riga di riferimento per il presente caso.

Classe di probabilità degli eventi	Categoria per effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
<10 ⁻⁶	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF	(A)CDEF
10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶	(E)F	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF
10 ⁻³ - 10 ⁻⁴	F	(E)F	(D)EF	(C)DEF
>10 ⁻³	F	F	(E)F	(D)EF

Si mostra in Figura 30 la rappresentazione spaziale delle zone di danno associate al *pool fire* di etanolo che tiene conto dell'involuppo di tutte le possibili direzioni del vento nella condizione meteo peggiore (in questo caso 5D) per identificare l'uso del territorio. La zona ad elevata letalità è confinata entro i limiti dello stabilimento, mentre effetti lievi interessano potenzialmente un'area all'interno della zona industriale.

Per quanto riguarda la valutazione dell'effetto domino di secondo livello, il *pool fire* è l'unico scenario in grado di provocare danni consistenti ad eventuali apparecchi limitrofi, ovvero i due serbatoi di GPL. Tuttavia, come mostrato in Figura 30, tali apparecchi sono al di fuori della zona di irraggiamento pari a 12.5 kW/m² preso a riferimento per il presente studio (curva rossa Figura 30; si veda la Sezione 3.2.3), quindi il domino di secondo livello viene escluso.

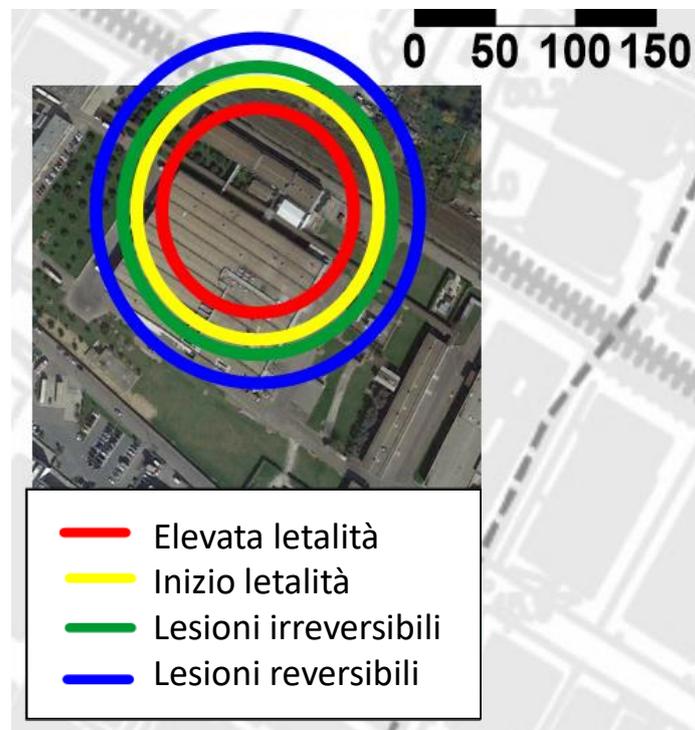


Figura 30 Valutazione dell'impatto sul territorio del *pool fire* associato alla perdita di etanolo; rappresentazione dell'involuppo dello scenario considerando tutte le possibili direzioni del vento.

10.2 Stoccaggio GPL

10.2.1 Sintesi dei risultati

Si riporta in Tabella 39 e Tabella 40 il prospetto riassuntivo delle distanze di danno ottenute nelle condizioni meteorologiche 2F e 5D rispettivamente. Le frequenze degli scenari risultano largamente inferiori a 10^{-7} 1/anno; ai fini della valutazione della compatibilità territoriale, gli scenari risultano quindi nella classe probabilistica inferiore.

Gli scenari di *flash fire* e dispersione sono esclusi dall'analisi mediante albero degli eventi nel caso di danneggiamento da incendio esterno (vedi Sezione 6.3).

Il *fireball* che si genera in seguito all'innesco immediato del GPL ha un'ampia estensione, con un raggio di 105 m in cui si raggiunge un potere emissivo di più di 350 kW/m^2 . Tuttavia, la durata dell'evento è limitata a causa della natura transitoria del fenomeno. In particolare, il tempo stimato del fenomeno è di circa $t_{FB} = 14$ secondi. Sulla base di tale valore e applicando l'Eq. (2), si ottengono i seguenti valori di soglia corrispondenti per l'irraggiamento medio considerati nelle seguenti tabelle (vedi Sezione 7.2.4):

- Soglia elevata letalità: *raggio fireball*
- Soglia inizio letalità $q = 25.6 \text{ kW/m}^2$
- Soglia lesioni irreversibili $q = 14.3 \text{ kW/m}^2$
- Soglia lesioni reversibili $q = 8.9 \text{ kW/m}^2$

Tabella 39 Distanze di danno (in m) ottenute per il danneggiamento catastrofico di entrambi i serbatoi di GPL. Condizioni meteo 2F.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
BLEVE/Fireball collisione	105	192	302	402
BLEVE/Fireball incendio esterno	105	192	302	402
Flash fire	109	257	-	-

Tabella 40 Distanze di danno (in m) ottenute per il danneggiamento catastrofico di entrambi i serbatoi di GPL. Condizioni meteo 5D.

Scenario incidentale	Soglia elevata letalità	Soglia inizio letalità	Soglia lesioni irreversibili	Soglia lesioni reversibili
BLEVE/Fireball collisione	105	192	302	402
BLEVE/Fireball incendio esterno	105	192	302	402
Flash fire	173	363	-	-

Considerando la valutazione delle zone ad elevata letalità, lo scenario peggiore risulta il *flash fire* che interessa anche porzioni areali poste oltre i confini dello stabilimento. Si deve rilevare, tuttavia, il fatto che il *flash fire* risulta avere una probabilità di accadimento molto limitata in quanto associato all'innesco ritardato del combustibile (in realtà estremamente infiammabile).

Il *fireball*, presenta un'estensione minore dal punto di vista dell'elevata letalità, ma può interessare un areale più ampio se si considerano anche gli effetti lievi (lesioni reversibili). Inoltre, se generato da domino per incendio esterno, il *fireball* risulta l'unico scenario credibile.

10.2.2 Analisi della compatibilità territoriale ed effetto domino di secondo livello

L'analisi della compatibilità territoriale è stata effettuata separatamente per *flash fire* e *fireball* di GPL, data la natura differente dei due scenari, a priori entrambi potenzialmente critici. Per entrambi gli scenari, la probabilità annuale di accadimento risulta largamente minore di 10^{-6} eventi/anno; pertanto l'impianto è compatibile con le categorie territoriali indicate nel D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale ed evidenziate in Tabella 41 [22].

Tabella 41 Valutazione della compatibilità territoriale attraverso la matrice del DM 9 maggio 2001; in grigio la riga di riferimento per il presente caso.

Classe di probabilità degli eventi	Categoria per effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili
$<10^{-6}$	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF	(A)CDEF
$10^{-4} - 10^{-6}$	(E)F	(D)EF	(C)DEF	(B)CDEF
$10^{-3} - 10^{-4}$	F	(E)F	(D)EF	(C)DEF
$>10^{-3}$	F	F	(E)F	(D)EF

Si mostra in Figura 31 la rappresentazione spaziale delle zone di danno associate al *flash fire* di GPL che tiene conto dell'involuppo di tutte le possibili direzioni del vento nella condizione meteo peggiore (in questo caso 5D) per identificare l'uso del territorio. Tale scenario impatta su zone esterne allo stabilimento; la zona ad elevata letalità resta tuttavia interamente confinata all'interno dell'area industriale.

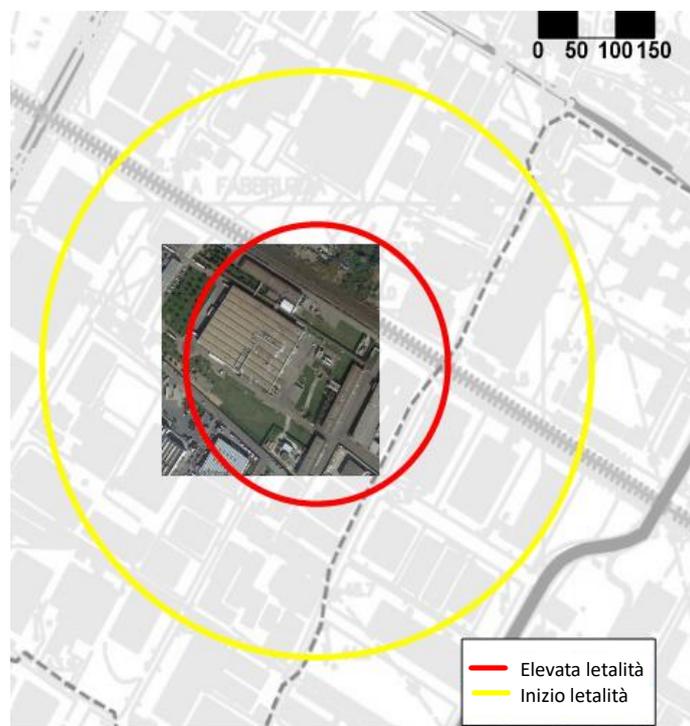


Figura 31 Valutazione dell'impatto sul territorio del flash fire associato alla rottura dei serbatoi di GPL; rappresentazione dell'involuppo dello scenario considerando tutte le possibili direzioni del vento.

Si rileva che nella scheda di informazione della popolazione, questo scenario è esplicitamente considerato e presenta un'estensione simile, nonostante in essa sia considerato come generato da rotture dovute a malfunzionamenti di processo. Questo fa sì che tale area di impatto, comprensiva anche della zona ad incipiente letalità, sia già contemplata nella pianificazione territoriale e nella gestione dell'emergenza nell'area abitata circostante.

In Figura 32 viene mostrata l'area di impatto dovuta al *fireball*. La zona di impatto è indipendente dalla direzione del vento² ed è da considerarsi effettiva (ovvero, non è un involucro come nel caso delle altre mappe mostrate in questo studio ai fini della verifica della pianificazione territoriale). La zona ad elevata letalità presenta un'estensione simile a quella del *flash fire* e risulta, pertanto, confinata nella zona industriale. Effetti di minore entità possono raggiungere zone limitrofe più ampie. Come nel caso precedente, dette zone risultano già interessate da un piano di emergenza specifico.

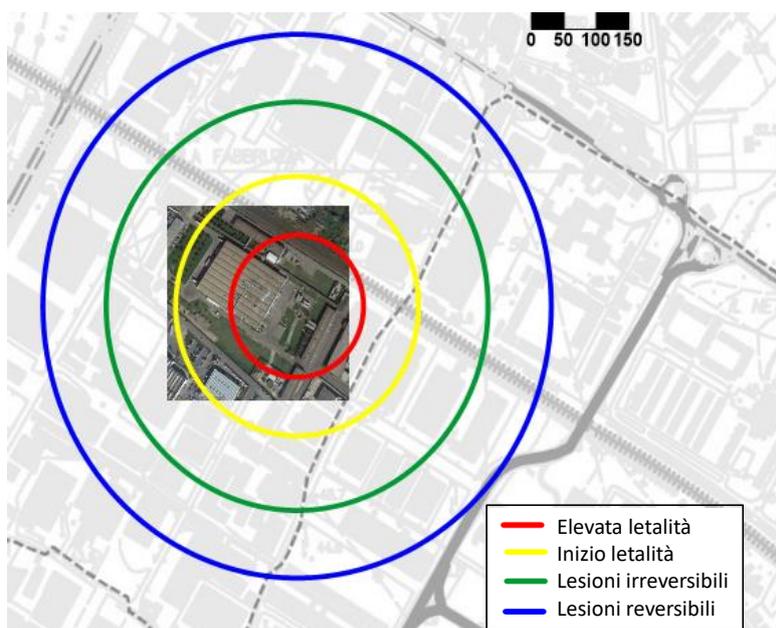


Figura 32 Valutazione dell'impatto sul territorio del *fireball* associato alla rottura dei serbatoi di GPL; rappresentazione dell'area di impatto effettiva, che risulta indipendente dalla direzione del vento.

Per quanto riguarda la valutazione dell'effetto domino indotto dal *fireball*, tale scenario non è in grado di impattare significativamente sui limitrofi serbatoi di etanolo, poiché interrati; inoltre la durata del *fireball* è limitata per poter indurre la rottura della tubazione di etanolo; tuttavia i frammenti proiettati in seguito all'espansione dei vapori potrebbero impattare sulle unità di processo e tubazioni. Quindi questo scenario di fatto è accoppiato conservativamente al *pool fire* di etanolo, i cui effetti sono comunque meno severi (e di fatto "assorbiti" in quelli del *fireball*).

Il bersaglio più vicino del limitrofo stabilimento ENICAL si trova a 1.32 km, quindi ogni possibile interazione con esso è da escludersi (la distanza attesa di proiezione frammenti nei rapporti di sicurezza, secondo il D.M. 9 maggio 2001 sulla pianificazione territoriale, varia da 200 a 800 m a seconda della tipologia di serbatoio, senza mai superare detto valore massimo).

² I modelli integrali per la valutazione del *fireball* considerano la fiamma come un corpo solido emittente sferico, quindi capace di irradiare in modo uniforme le zone circostanti

11 Discussione dei risultati

11.1 Osservazione 1

Nell'ambito delle valutazioni del rischio industriale, le rotture catastrofiche che danno luogo a rilasci istantanei non vengono considerate, essendo poco credibili ed essendo gli impianti a rischio di incidente rilevante tutelati da ispezioni continue e sistemi di protezione manuali e automatici.

In letteratura, fonti standard di dati indicano che un evento di rilascio catastrofico per serbatoi atmosferici a singolo contenimento, ovvero simili a quelli presenti fuori terra negli stabilimenti *Toscochimica* ed *ENICAL*, presenta una probabilità annuale compresa tra 5.00×10^{-6} eventi/anno (fonte Purple Book olandese [4]) e 2.00×10^{-5} eventi/anno (fonte API std. 581 [29]). Tali fonti riportano anche valori delle rotture tipiche (10-35mm) nel range $10^{-5} - 10^{-4}$ eventi /anno. Per quanto riguarda i serbatoi pressurizzati (ovvero quelli che detengono GPL nel deposito *M&R*), le medesime fonti indicano che un evento di rilascio catastrofico presenta una probabilità annuale compresa tra 5.00×10^{-7} eventi/anno (fonte Purple Book olandese [4]) e 6.00×10^{-6} eventi/anno (fonte API std. 581 [29]). Tali fonti riportano anche valori delle rotture tipiche (10-35mm) nel range $10^{-5} - 10^{-4}$ eventi /anno.

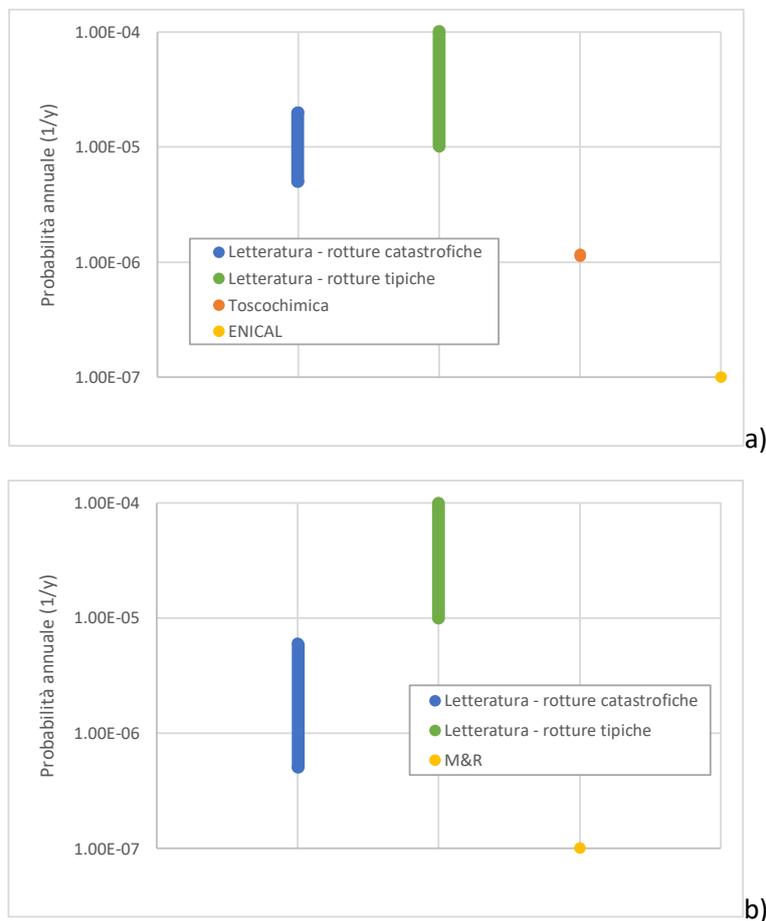


Figura 33 Confronto fra le frequenze di letteratura per rilascio da serbatoio atmosferico (a) e pressurizzato (b) e quelle stimate nel presente studio. Da notare che i diagrammi sono in scala logaritmica per meglio apprezzare i valori di probabilità annuale (in eventi/anno) e che per i serbatoi ENICAL e M&R si riporta l'estremo superiore per riferimento.

Ne deriva che i valori di probabilità di impatto aereo desumibili dagli studi probabilistici e dinamici condotti da ENAC in collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma e dall'Università Federico II di Napoli risultano almeno di 4 volte inferiori rispetto al caso peggiore riscontrato in letteratura e di 10-100 volte inferiori rispetto ai valori associati alle rotture tipiche di processo (si veda il confronto in Figura 33). Per i serbatoi ENICAL e M&R è stato indicato il valore massimo di frequenza attesa. In tal senso, risulta del tutto

evidente che la prevista attività aeronautica non rappresenta e non costituisce, per gli stabilimenti a rischio di incidente rilevante considerati, fattore di rischio incrementale più severo rispetto a quelli già intrinsecamente propri dei processi attuati.

11.2 Osservazione 2

Nella redazione dei rapporti di sicurezza degli impianti industriali a rischio di incidente rilevante vengono considerati sistemi di intervento o blocco in grado di limitare le quantità sversate durante l'incidente. Le ipotesi di calcolo delle conseguenze per i rilasci indotti da impatto aereo assunte nell'ambito del presente studio possono considerarsi, pertanto, estremamente conservative, atteso che non si è considerato alcun tipo di mitigazione.

11.3 Osservazione 3

Le frequenze degli scenari incidentali (es. *pool fire* o dispersione tossica) valutate nella presente analisi risultano minori rispetto a quelle dell'evento di rilascio e derivano dall'analisi mediante albero degli eventi. Nel caso dei serbatoi di sostanze infiammabili e tossiche, per l'analisi degli eventi indotti dall'impatto con un aeromobile è stata assunta una probabilità di innesco immediato e ritardato del 90% in entrambi i casi, dando luogo a eventi di dispersione di un ordine di grandezza inferiore per sostanze infiammabili e tossiche.

12 Considerazioni conclusive

In definitiva, gli impatti degli incidenti causati da potenziali effetti domino generati dal previsto esercizio aeronautico di cui al Masterplan 2014-2029 dell'aeroporto di Firenze, ovvero legati all'impatto di aeromobili con apparecchi di processo nell'area circostante alla prevista nuova pista, risultano comparabili per estensione, e solo eventualmente di maggiore severità, rispetto a quanto considerato nelle analisi di sicurezza convenzionale. Ciò è dovuto, comunque, all'assunzione assolutamente cautelativa inerente la stima delle quantità sversate, nonché all'ipotesi di totale assenza di mitigazione.

Le frequenze di accadimento degli incidenti associati al previsto esercizio aeronautico risultano, tuttavia, nettamente inferiori rispetto a quelle dei tipici incidenti dovuti all'attività industriale in esercizio e a malfunzionamenti di processo, e ciò anche nel caso in cui si considera la medesima tipologia di rilascio (ovvero istantaneo dovuto a cedimento catastrofico).

13 Bibliografia

- [1] Crowl DA, Louvar JF. Chemical process safety – Fundamentals with applications. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall PTR; 2002.
- [2] Lees FP. Loss prevention in the process industries. 2nd ed. Oxford: Butterworth - Heinemann; 1996.
- [3] CCPS - Center of Chemical Process Safety. Guidelines for chemical process quantitative risk analysis. New York: American Institute of Chemical Engineers - Center of Chemical Process Safety; 2000.
- [4] Uijt de Haag PAM, Ale BJM. Guidelines for quantitative risk assessment (Purple Book). The Hague (NL): Committee for the Prevention of Disasters; 1999.
- [5] De Dianous V, Fiévez C. ARAMIS project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. *J Hazard Mater* 2006;130:220–33. doi:10.1016/j.jhazmat.2005.07.010.
- [6] Maillette J, Birk AM. Influence of release conditions on bleve fireballs. *Am. Soc. Mech. Eng. Press. Vessel. Pip. Div. PVP*, vol. 333, 1996, p. 147–52.
- [7] Johansen IL, Rausand M. Foundations and choice of risk metrics. *Saf Sci* 2014;62:386–99. doi:10.1016/j.ssci.2013.09.011.
- [8] CCPS - Center of Chemical Process Safety. Layer of protection analysis: simplified process risk assessment. New York, NY: American Institute of Chemical Engineers - Center of Chemical Process Safety; 2001.
- [9] Reniers G, Cozzani V. Domino Effects in the Process Industries: Modelling, Prevention and Managing. *Domino Eff. Process Ind. Model. Prev. Manag.* 1st ed., Amsterdam, The Netherlands: Elsevier B.V.; 2013, p. 1–372.
- [10] Cozzani V, Gubinelli G, Salzano E. Escalation thresholds in the assessment of domino accidental events. *J Hazard Mater* 2006;129:1–21.
- [11] Khakzad N, Reniers G. Using graph theory to analyze the vulnerability of process plants in the context of cascading effects. *Reliab Eng Syst Saf* 2015;143:63–73.
- [12] Bagster DF, Pitblado RM. Estimation of domino incident frequencies - an approach. *Process Saf Environ Prot Trans Inst Chem Eng Part B* 1991;69:195–9.
- [13] Hemmatian B, Abdolhamidzadeh B, Darbra RM, Casal J. The significance of domino effect in chemical accidents. *J Loss Prev Process Ind* 2014;29:30–8.
- [14] Casal J, Darbra R-M. Analysis of Past Accidents and Relevant Case-Histories. *Domino Eff. Process Ind. Model. Prev. Manag.*, 2013, p. 12–29.
- [15] Necci A, Cozzani V, Spadoni G, Khan F. Assessment of domino effect: State of the art and research Needs. *Reliab Eng Syst Saf* 2015;143:3–18.
- [16] Contini, S., Boy, S., Atkinson, M., Labath, N., Banca, M., Nordvik JP. Domino effect evaluation of major industrial installations: a computer aided methodological approach. *Proc. Eur. Semin. Domino Eff.*, Leuven, B: 1996.
- [17] Gledhill J, Lines I. Development of methods to assess the significance of domino effects from major hazard sites. London, UK: Health and Safety Executive, HM Stationery Office; 1998.
- [18] Cozzani V, Gubinelli G, Antonioni G, Spadoni G, Zanelli S. The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis. *J Hazard Mater* 2005;127:14–30.
- [19] Abdolhamidzadeh B, Abbasi T, Rashtchian D, Abbasi SA. A new method for assessing domino effect

in chemical process industry. *J Hazard Mater* 2010;182:416–26.

- [20] Zhang X-M, Chen G-H. Modeling and algorithm of domino effect in chemical industrial parks using discrete isolated island method. *Saf Sci* 2011;49:463–7.
- [21] Khakzad N, Khan F, Amyotte P, Cozzani V. Domino Effect Analysis Using Bayesian Networks. *Risk Anal* 2013;33:292–306.
- [22] Ministero dei lavori Pubblici. Decreto Ministeriale 9 Maggio 2001, Suppl. Ord. G. U. n.138 del 10/Giu/01, Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante 2001.
- [23] Cozzani V, Reniers G. Historical Background and State of the Art on Domino Effect Assessment. In: Reniers GLL, Valerio, Cozzani, editors. *Domino Eff. Process Ind. Model. Prev. Manag.*, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier; 2013, p. 1–10.
- [24] Landucci G, Bonvicini S, Cozzani V. A methodology for the analysis of domino and cascading events in Oil & Gas facilities operating in harsh environments. *Saf Sci* 2017;95:182–97.
- [25] Landucci G, Argenti F, Spadoni G, Cozzani V. Domino effect frequency assessment: the role of safety barriers. *J Loss Prev Process Ind* 2016. doi:10.1016/j.jlp.2016.03.006.
- [26] Van Den Bosh CJH, Weterings RAPM. *Methods for the calculation of physical effects (Yellow Book)*. third. The Hague (NL): Committee for the Prevention of Disasters; 2005.
- [27] CCPS - Center of Chemical Process Safety. *Guideline for chemical process quantitative risk analysis*. New York, NY: American Institute of Chemical Engineers - Center of Chemical Process Safety; 2000.
- [28] Van Den Bosh CJH. *Green Book, Methods for the Determination of Possible Damage, CPR 16E*. The Hague (NL): Committee for the Prevention of Disasters; 1989.
- [29] American Petroleum Institute. *API Publication 581. Risk-based inspection base resource document 2000*.

14 Allegati

14.1 Anagrafica aziende Seveso III

ID	NOME	PROV	COMUNE	LOCALITA	INDIRIZZO	CAP	NUM	ATTIVITA	SOGLIA	X	Y
84	Petrolgas s.r.l	FIRENZE	LASTRA A SIGNA	capannuccia	Via Livornese	50055	12	Deposito di G.P.L.	INFERIORE	1671348	4848562
40	Florengas s.r.l.	FIRENZE	CAMPI BISENZIO	S. Donnino	Via dei Bassi	50010	null	Deposito di G.P.L.	INFERIORE	1672140	4850597
13	Beyfin S.p.A. div. Etruriagas	FIRENZE	CAMPI BISENZIO	S. Angelo a Lecore	S.S.Pistoiese - Via Vingone	50010	94	Deposito di G.P.L.	SUPERIORE	1669146	4852896
47	Liquigas S.p.A. - Signa	FIRENZE	SIGNA	S. Angelo a Lecore	Via Filippo Turati	50058	12	Deposito di G.P.L.	SUPERIORE	1666075	4852932
52	Manetti e Roberts S.p.A.	FIRENZE	CALENZANO	null	Via Baldanzanes e	50041	177	Industria chimica	INFERIORE	1674479	4856921
5	ENI S.p.A.- Calenzano	FIRENZE	CALENZANO	Calenzano	Via Erbosa	50100	29	Deposito di prodotti petroliferi	SUPERIORE	1673377	4857517
93	Toscochimica s.p.a	PRATO	PRATO	null	via ettore strobino	59100	54/56	Deposito di sostanze tossiche	SUPERIORE	1669786	4856990
60	S.I.M.S. s.r.l.	FIRENZE	REGGELLO	Filarone	Loc. Montanino Al Filarone - 50066 Reggello (FI)	50066	null	Industria farmaceutica	INFERIORE	1698634	4836598

14.2 Appendice elettronica

Si riporta nell'appendice elettronica, allegata alla presente relazione cartacea, il riassunto dettagliato delle impostazioni di simulazione e dei risultati ottenuti. I file sono in formato Excel e sono stati trasmessi contestualmente all'Università degli Studi di Napoli Federico II affinché venissero implementati nell'analisi di rischio individuale.