

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLA
SICUREZZA CIVILE ED INDUSTRIALE**

**Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria della Sicurezza Civile e
Industriale**

**La prevenzione incendi nei depositi di GPL e Acetilene: strategie e
criteri per la gestione in conformità.**

Relatore: Prof. Angelo Bertolazzi

Correlatore: Prof. Paolo Mocellin

Correlatore: Prof. Cristiano Cusin

Laureando: Flavio Spampinato

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Riassunto

Con questo elaborato, si vuole andare a verificare o meno, come le distanze di sicurezza riportate nella Circolare del 1956 n°70, siano sufficienti a garantire un'effettiva diluizione della sostanza dispersa, in quanto, tale circolare trova applicazione per i depositi di gas di petrolio liquefatto o acetilene. Nel seguente elaborato viene analizzata la dispersione di un gas all'interno di una realtà produttiva ove vengono svolte diverse mansioni, le quali possono fungere da possibili fonti di innesco. In questo documento viene quindi analizzata la Circolare per la regolamentazione dei depositi di gas come Gpl e Acetilene, per poi confrontare i risultati ottenuti dall'uso dei Software Pyrosim e Aloha con le distanze di sicurezza annoverate in tale documento. Successivamente viene ricercata una strategia efficace post rilascio per la diluizione di una nube di gas infiammabile fuori dai suoi range di infiammabilità prima che questa trovi ignizione.

Sommario

Introduzione	1
1 – I recipienti mobili di GPL e Acetilene: caratteristiche e peculiarità delle sostanze trattate.	2
1.1 Caratteristiche chimiche del Gas di Petrolio Liquefatto	3
1.2 Caratteristiche chimiche dell’Acetilene.....	5
1.3 Denominazione e classificazione recipienti per lo stoccaggio dei gas:	7
1.3.1 Identificazione bombole mediante etichette	9
1.3.2 Identificazione bombole mediante colorazione dell’ogiva	10
1.3.3 Identificazione mediante Schede di Sicurezza.....	12
1.3.4. Classificazione bombole e bidoni per lo stoccaggio dei gas secondo UNI-7131 ...	14
1.3.5. Caratteristiche bombola di GPL e bombola di Acetilene	15
1.4 Proprietà gas pesante e leggero	17
2 – Incidenti che coinvolgono bombole di Acetilene e GPL, analisi delle cause più comuni .	18
2.1 Le cause più comuni che coinvolgono le bombole di Gas	19
2.2 Modalità di frattura nelle bombole.....	21
2.3 Definizione degli scenari e dei possibili effetti dovuti al rilascio accidentale di GPL o Acetilene in atmosfera	24
2.4 Classificazione incendi e agenti estinguenti.....	27
2.5 Le distanze di danno.....	30
Cap.3 – Circolari e regole tecniche per la regolamentazione dei depositi di gas liquefatto e disciolto	32
3.1 Evoluzione delle normative per la regolamentazione dei depositi di GPL e di Acetilene	33
3.2. Soluzioni presenti nella circolare del ’56.....	35
3.3. Confronto Circolare Italiana del ’56 con Circolare Francese del ’53	37
3.4. Distinzione delle attività secondo D.P.R. n 151/2011 e relative procedure.....	40
3.5 Classificazione stabilimento secondo SEVESO III 105/2015 e documenti fondamentali per la gestione in conformità dei depositi di Gas	42
Cap.4 – Regolamentazione depositi con Codice Prevenzione Incendi e conversione soluzioni datate della Circolare del ’56 in soluzioni conformi	45
4.1 Novità e strategie del codice di prevenzione incendi	46
4.2 Conversione delle norme di sicurezza della Circolare del ’56 in soluzioni conformi del Codice Di Prevenzione Incendi.....	49
4.3 Norme di sicurezza escluse nella Circolare del ’56 ma previste nel Cpi.	53
4.4 LEL e UEL	54

Cap.5 – Sviluppo di un caso studio con la presenza di due depositi di gas rispettivamente di GPL e Acetilene trattati singolarmente	56
5.1. Destinazione uso attività, localizzazione attività e analisi condizioni al contorno.	57
5.1.1. Descrizione singole attività.....	58
5.1.2. Inquadramento territoriale con analisi condizioni al contorno e climatiche.....	59
5.2. Profili di rischio delle attività analizzate	61
5.3. Modellazione del termine sorgente	63
5.4. Analisi dispersione sostanza con Software Aloha.....	64
5.4.1 Modellazione con Aloha delle Toxic Area Of Vapor Cloud c2h2	71
5.4.2. Modellazione con Aloha delle Flammable Area of Vapor Cloud c2h2.....	77
5.4.3. Modellazione con Aloha delle Blast Area of Vapour Cloud Explosion c2h2	85
5.4.4. Modellazione con Aloha delle Toxic Area Of Vapor Cloud c3h8	92
5.4.5. Modellazione con Aloha delle Flammable Area of Vapor Cloud c3h8.....	94
5.4.6. Modellazione con Aloha delle Blast Area of Vapor Cloud Explosion c3h8	97
5.5. Modellazione del caso studio con il Software PyroSim c2h2	100
5.5.1. Risultati restituiti dal Software PyroSim	109
5.6. Modellazione del caso studio con il Software PyroSim c3h8.....	116
5.7. Classificazione secondo ATEX	118
5.7.1. L'efficacia della ventilazione.....	121
5.7.2 Ricerca della strategia più efficace all'allontanamento di un rilascio di gas.....	123
5.7. Diluizione di una perdita di gas mediante jet-fan rappresentata mediante l'utilizzo del software Pyrosim	125
Conclusioni.....	131
Riferimenti	138

Introduzione

Questa tesi nasce con l'intento di verificare come una misura di sicurezza passiva, quale la distanza di sicurezza accoppiata ad un'adeguata superficie aerata, possa effettivamente proteggere un edificio o una struttura da un eventuale rilascio. Nelle simulazioni condotte con i Software di modellazione Aloha e Pyrosim, vengono valutate le estensioni della nube rilasciate in atmosfera, confrontandole poi con le distanze di sicurezza riportate nella Circolare del 1956 n°70. Questo elaborato di tesi comprende 5 capitoli. Nel primo vengono trattate caratteristiche e peculiarità dei recipienti mobili di Gpl e acetilene. Nel secondo vengono analizzate le cause principali di incidenti con presenza di Gpl e acetilene. Nel terzo vengono riportate le normative vigenti e passate sulla regolamentazione dei depositi di gas. Nel quarto viene analizzata la progettazione dei depositi di gas dal punto di vista del codice di prevenzione incendi, riportando e trasformando le soluzioni datate in soluzioni conformi del Cpi. Nel quinto e ultimo capitolo, vengono riportate le simulazioni condotte con i programmi di modellazione antincendio e confrontati i risultati ottenuti dai software con le distanze di sicurezza riportate nella Circolare n°70 del 1956. Viene anche valutato l'effetto diluente dato dall'installazione dei jet-fan all'interno del box adibito al contenimento delle bombole di Acetilene.

1 – I recipienti mobili di GPL e Acetilene: caratteristiche e peculiarità delle sostanze trattate

1.1 Caratteristiche chimiche del Gas di Petrolio Liquefatto

Il gas di petrolio liquefatto, o meglio conosciuto con l'acronimo GPL¹, non è altro che una miscela di Butano e Propano in percentuali variabili dal 70%-30% al 50%-50%. Una delle peculiarità del gas di petrolio liquefatto è rappresentata dalla possibilità di poterlo stipare in piccoli volumi, in tale modo il trasporto e la manipolazione delle bombole risultano economicamente convenienti. Il gpl viene ottenuto per miscelazione di Propano e Butano, i quali a loro volta, sono ottenuti mediante distillazione frazionata del petrolio; entrambi risultano essere sia incolori che inodori, per cui il gpl prima dell'utilizzo viene odorizzato, per poter permettere all'utilizzatore un facile riconoscimento di una eventuale perdita, inoltre, in certi casi è colorizzato mediante dei pigmenti. Il gpl, viene odorizzato con l'etantiolo, un composto organico simile all'etanolo che si differenzia per la presenza di zolfo anziché ossigeno. Il gpl si presta per svariati usi tra cui, utilizzi domestici sia in cucina sia che per il riscaldamento o viene adoperato come carburante per le automobili, mentre in ambito industriale viene adoperato per la climatizzazione o nella produzione di energia. Le bombole di gpl adoperate sia nel settore automobilistico sia nel settore casalingo o nel settore industriale devono essere controllate ogni 10 anni, mentre gli altri organi accessori come valvole di sicurezza o altri devono essere sottoposti a controllo ogni 2 anni almeno, in quanto sono soggetti a maggiore usura. Per quanto riguarda i grossi serbatoi di gpl interrati e adoperati per il riscaldamento di grandi palazzine, anch'essi devono essere controllati ogni 10 anni; per questi però data la difficoltà del controllo vengono adoperate nuove tecniche innovative come la metodologia ad ultrasuoni o mediante emissione acustica.

¹ “GPL: vantaggi, informazioni e caratteristiche tecniche.” *Energygas*, <https://www.energygas.it/informazioni-tecniche/gp>

GPL (Gas Di Petrolio Liquefatto)	
<p>Il GPL è un prodotto che ha la proprietà di essere gassoso alla pressione atmosferica e liquefare a temperature ambiente sotto pressione. Questo consente facilità di trasporto e semplicità di collocazione ed utilizzo.</p>	
Caratteristiche fisiche termodinamiche	
CARATTERISTICHE	Propano Commerciale
Formula chimica Stato fisico alle cond. amb. (760mmHg, pressione atm.15°C, temperatura ambiente)	C3H8 Gassoso
Massa Volumica Media: allo stato liquido a 15 °C allo stato gassoso a 15 °C e 1013 mbar	0,51 Kg / dm ³ 1,87 Kg / m ³
Densità in rapporto all'aria	1,54
Temperatura di Ebollizione a pressione atmosferica	-42,1 °C
Pressione di Vapore Relativa: a +5 °C a +15 °C	0,52 MPa (5,2 bar) 0,75 MPa (7,5 bar)
Calore Latente di Vaporizzazione a: a +15°C per Kg.	356 KJ 0 98,8 Wh (85 Cal)
Potere Calorifico Superiore: per Kg per m ³ a +15 °C e 1013 mbar	13,8 kWh (11.987 K.cal.) 24,9 kWh (23.900 K.cal.)
Potere Calorifico Inferiore: a Kg a m ³	12,78 kWh(11.000K.cal.) 23,70 kWh(21.954K.cal.)
Limite di infiammabilità nell'aria: Inferiore Superiore	2,4% 9,3%
Temperatura di autoaccensione nell'aria: (Miscela corrispondente ad una combustione completa)	515 °C

Figura 1.1. Caratteristiche chimiche del Gas di Petrolio Liquefatto (<http://www.isigas.it>)

1.2 Caratteristiche chimiche dell'Acetilene

L'acetilene² è un gas molto adoperato nel settore industriale per svariate applicazioni quali: la saldatura e il taglio, la produzione di nerofumo, la sfiammatura e per l'analisi dei metalli mediante spettrofotometro ad assorbimento atomico. La produzione dell'acetilene avviene per reazione esotermica in dei generatori ad umido dove avvengono reazioni tra acqua e carburo di calcio, in uscita dai generatori, il prodotto ottenuto subisce un lavaggio ad acqua con funzione di raffreddamento e pre-purificazione per poi essere sottoposto alla completa depurazione e successivo essiccamento; in seguito viene compresso e stipato all'interno delle bombole; un altro metodo per la produzione dell'acetilene implica la decomposizione termica di idrocarburi.

Prodotto: acetilene

Formula chimica: C₂H₂

Densità (aria=1): 0,90

Aspetto: gas incolore

Odore: etereo, dolciastro

Limiti di infiammabilità in aria: L.I.E. 2,2%

Punto di ebollizione: -83,6 °C

Ogiva: marrone rossiccio (RAL 3009)

Figura 1.2. Caratteristiche chimiche acetilene (<https://www.tecnogas.eu/>)

² acetilene – De Marchi gas conegliano DeMarchi **1946**.

Con il termine acetilene nel linguaggio comune indichiamo in realtà l'etino, un composto facente parte della famiglia degli alchini, ovvero composti organici formati da catene aperte di soli atomi di carbonio e idrogeno. L'acetilene a temperatura ambiente si trova allo stato gassoso e risulta estremamente infiammabile; difatti la natura del composto fortemente insatura è il presupposto di una forte reattività in svariate reazioni; per ovviare i problemi legati alla sua estrema reattività viene stoccato in bombole le quali sono completamente riempite di un materiale poroso inerte imbevuto del solvente dell'acetilene stesso ovvero l'acetone. Una delle caratteristiche principali dell'acetilene è rappresentato dall'intervallo di concentrazioni per cui miscelato con aria dà vita a miscele esplosive; tale intervallo risulta molto ampio, infatti, va dal 2,2% al 100 % in volume, oltre ciò, se sottoposto ad alte pressioni, anche un solo urto può innescare la miscela, per cui non può essere compresso per il suo stoccaggio ma appunto disciolto in bombole. Un'altra preoccupante caratteristica è rappresentata dalla decomposizione esotermica esplosiva³ la quale si verifica in assenza di aria e solo ed esclusivamente a pressioni maggiori di 1,5 bar. La decomposizione esotermica non è altro che una reazione chimica che avviene secondo un meccanismo a stadi, spesso indesiderata e che sviluppa calore. Date queste caratteristiche peculiari della sostanza si avrà cura di stoccare le bombole contenenti acetilene in luoghi sicuri che non raggiungano temperature elevate e in sistemazioni tali da scongiurare eventuali urti tra bombole o urti con mezzi meccanici.

³ "Acetilene (C₂/H₂) precauzioni e consigli per un utilizzo sicuro dell'acetilene."
Gruppo Hera Srl.

1.3 Denominazione e classificazione recipienti per lo stoccaggio dei gas:

I gas o le miscele presenti all'interno delle bombole non sono tutti uguali, difatti esistono svariati tipi di bombole, le quali, in funzione del gas contenuto all'interno, presentano caratteristiche differenti. I gas⁴ che possono essere stoccati all'interno delle bombole sono rispettivamente: Gas compressi; Gas liquefatti e Gas disciolti. Per definire meglio le varie caratteristiche di ogni gruppo di gas si deve prima definire il concetto di Temperatura critica nei gas; difatti essa, generalizzando rappresenta una temperatura al di sopra della quale non è possibile liquefare un gas, indipendentemente dalla pressione che si esercita. In funzione quindi della temperatura critica vengono suddivisi in Gas Compressi se presentano una temperatura critica inferiore a -10°C ; Gas Liquefatti se la temperatura critica è maggiore di -10°C ; e i gas disciolti, gas che in base alla loro solubilità in un liquido vengono in questo disciolti a pressioni elevate come l'acetilene. Viene quindi adoperata la classica e conosciuta bombola per il gpl per quanto riguarda i gas liquefatti, i quali esercitano una pressione circa dai 2-8 Bar; per i gas compressi vengono invece adoperate bombole più resistenti in quanto dovranno sopportare pressioni 50 volte maggiori circa di 200-220 Bar, inoltre, tali recipienti presenteranno varie colorazioni dell'ogiva per una chiara e veloce identificazione del gas stipato; mentre per i gas disciolti come ad esempio l'acetilene, data la natura corrosiva del gas e l'instabilità di questo, esso verrà disciolto in solventi come l'acetone per evitare appunto azioni corrosive nei confronti del metallo con cui sarà costituito il recipiente. Il riempimento di tali bombole di gas disciolto, come per l'acetilene, avviene colando all'interno della bombola delle dispersioni minerali e acqua, per poi successivamente essere sottoposte a una fase di cottura in forni che raggiungono temperature che possono variare in funzione del gas disciolto dai 180°C - 280°C per svariate ore. Le bombole adoperate per il contenimento dei gas disciolti non risultano vuote ma, riempite di un'unica massa porosa, usualmente viene adoperato il calcio-silicato impregnato del solvente in cui è solubile il gas stipato.

⁴**Comitato tecnico scientifico.** "GUIDA ALLA GESTIONE DELLE BOMBOLE GAS COMPRESSI (refrigeranti)." *Esseclima Srl*



Figura 1.3. Bombola utilizzata per lo stoccaggio di GPL di 25 kg. (<https://www.cattaneoserafino.it/>)



Figura 1.4. Bombola utilizzata per lo stoccaggio di acetilene disciolto in massa 3kg
(<https://welditalia.com>)



Figura 1.5. Bombola utilizzata per lo stoccaggio di gas compressi 40lt
(<https://www.tuttigassaldatura.it>)

1.3.1 Identificazione bombole mediante etichette

Ogni bombola immessa nel mercato dovrà presentare apposita etichetta⁵ per essere riconosciuta prontamente da ogni operatore o utilizzatore. In ogni etichetta, quindi, saranno presenti informazioni come:

- N° ONU e denominazione del gas;
- Composizione del gas o della miscela;
- Nome, indirizzo e numero di telefono del fabbricante o del distributore;
- Simboli di pericolo e frasi di rischio;
- Consigli di prudenza;
- Numero CE per la sostanza singola o indicazione di “miscela di gas”;

Una bombola riempita di GPL e Acetilene, quindi, presentano le apposite etichette previste che quindi saranno come del tipo riportate qua sotto alla figura 1.6 e 1.7:



Figura 1.6. Etichetta adoperata per le bombole di GPL (<https://certifico.com/>)

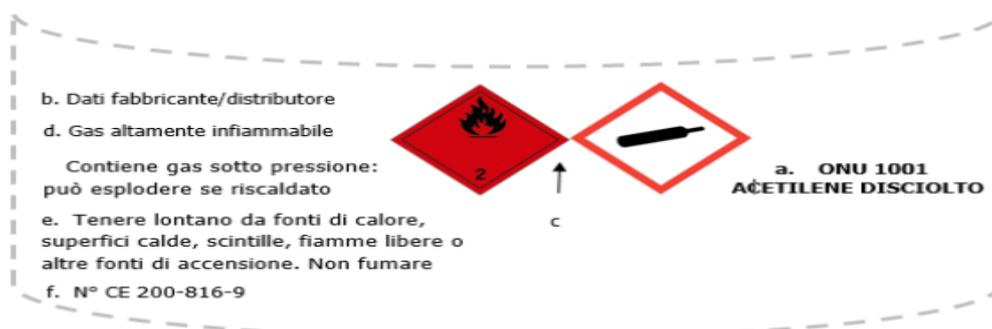


Figura 1.7. Etichetta adoperata per le bombole di Acetilene (<https://certifico.com/>)

⁵ <https://certifico.com/>

1.3.2 Identificazione bombole mediante colorazione dell'ogiva

Oltre alle tipiche etichette adoperate in tutti i recipienti utilizzati per lo stoccaggio dei gas, per i gas industriali o medicinali vengono adoperate per una facile distinzione, colorazioni dell'ogiva differenti per ogni gas stoccato. La colorazione dell'ogiva viene normata rispettivamente dalla UNI EN 1089. La colorazione dell'ogiva non viene applicata però alle bombole che contengono Gpl e agli estintori. La colorazione dell'ogiva non identifica propriamente il gas contenuto, bensì identifica il rischio principale al quale è associato il gas. Il Ral è un codice di origine Tedesca, al quale viene fatto corrispondere una scala di colori armonizzata; detta scala cromatica viene adoperata per la colorazione delle ogive e quindi per la distinzione dei gas. Vengono riportate a scopo illustrativo una parte delle colorazioni rinnovate e adottate attualmente⁶.

Gas con colorazione individuale e Formula chimica	Vecchia colorazione		Nuova colorazione		Numero RAL della nuova colorazione
		Ogiva Arancione		Ogiva Marrone rossiccio	
Acetilene (C ₂ H ₂)		Ogiva Verde		Ogiva Giallo	1018
Ammoniacca (NH ₃)		Ogiva Amaranto		Ogiva Verde scuro	6001
Argon (Ar)		Ogiva Nero		Ogiva Nero	9005
Azoto (N ₂)					

Figura 1.8. Aggiornamento colorazioni ogive dei gas più comuni in commercio
(<https://www.vigilfuoco.it/>)

⁶ <https://www.vigilfuoco.it/>

Inoltre, oltre alle etichette o alle colorazioni delle ogive, viene adoperata la punzonatura dell'ogiva la quale fornisce diverse informazioni utili quali:

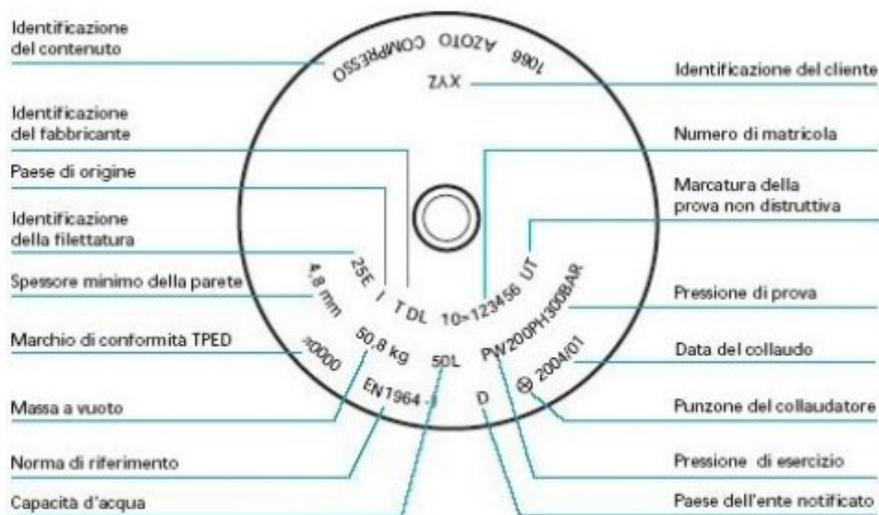


Figura 1.9. Punzonatura ogiva (<http://www.sabbatiniconsulting.com/>)

1.3.3 Identificazione mediante Schede di Sicurezza

Per una identificazione univoca vengono adoperate le SDS secondo quanto previsto dal REACH, regolamento Europeo che impone ai produttori/importatori di prodotti chimici di fornire ai propri clienti per ogni sostanza una scheda di sicurezza adeguata ed aggiornata, redatta nella lingua dello Stato in cui viene introdotta. Le SDS o anche denominate MSDS (Material Safety Data Sheet) dall'acronimo inglese, non sono altro che delle raccolte di schede di dati di sicurezza all'interno di un unico documento legale che viene costantemente aggiornato, il quale contiene varie informazioni utili per la tutela della salute e della sicurezza delle persone e dell'ambiente. All'interno di tale raccolta si trovano informazioni riguardo la composizione, il nome del produttore, i rischi connessi e associati al trasporto e le indicazioni utili allo smaltimento regolare della sostanza. Ogni scheda di sicurezza realizzata dovrà riportare i 16 punti obbligatori⁷:

1. Identificazione del prodotto e della società
2. Composizione/ informazione sugli ingredienti
3. Indicazione dei pericoli
4. Misure di pronto soccorso
5. Misure antincendio
6. Misure in caso di fuoriuscita accidentale
7. Manipolazione e stoccaggio
8. Controllo dell'esposizione e determinazione della protezione individuale
9. Proprietà fisiche e chimiche
10. Stabilità e reattività
11. Informazioni tossicologiche
12. Informazioni ecologiche
13. Considerazioni sullo smaltimento
14. Informazioni sul trasporto
15. Informazioni sulla regolamentazione
16. Altre informazioni

⁷ **Gruppo Maurizi** - Sicurezza Alimentare, Ambientale e sul Lavoro, <https://gruppomaurizi.it/>.

tecnigas[®] s.r.l. **Scheda dati di sicurezza**
 conforme al Regolamento (CE) n° 1907/2006 (REACH) con la modifica Regolamento (UE) 2015/830

ACETILENE DISCIOLTO

Riferimento SDS: 001
 Data di revisione: 29/04/2019
 Sostituisce la scheda: 01/10/2017
 Versione: 9.0

Pericolo



SEZIONE 1: identificazione della sostanza/miscela e della società/impresa

1.1 Identificatore del prodotto

Nome commerciale	: Acetilene (disciolto)
N° scheda	: 001
Denominazione chimica	: Acetilene (disciolto)
	Numero CAS : 74-86-2
	Numero CE : 200-816-9
	Numero indice EU : 601-015-00-0
Numero di registrazione	: 01-2119457406-36-0061
Formula chimica	: C2H2

1.2 Usi identificati pertinenti della sostanza o della miscela e usi sconsigliati

Usi identificati pertinenti	: Impiego industriale e professionale. Fare un'analisi di rischio prima dell'uso. Vedere la lista degli usi identificati e degli scenari d'esposizione nell'allegato alla presente scheda di dati di sicurezza.
Usi sconsigliati	: Contattare il fornitore per ulteriori informazioni sull'utilizzo. : Uso di consumo.

1.3 Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza

Identificazione della società	: Tecnigas srl Via Industriale, 19 - 25080 - PREVALLE Italia +39 030 603242 http://www.technigas.it technigas@technigas.it
-------------------------------	--

1.4 Numero telefonico di emergenza

Numero telefonico di emergenza	: Numero telefonico di emergenza nel trasporto: 800.452661 (operativo 24h/24h, 365 giorni all'anno, presso il centro di Risposta Nazionale del Servizio Emergenze Trasporti S.E.T.).
--------------------------------	--

SCHEDA DATI di SICUREZZA
GAS DI PETROLIO LIQUEFATTO (GPL)

(Data di compilazione: 31-10-2010; Rev.4 del 05-03-2020)

SEZIONE 1: IDENTIFICAZIONE DELLA SOSTANZA E DELLA SOCIETA'/IMPRESA

1.1. Identificazione del prodotto

Gas liquefatti, normalmente definiti anche con l'acronimo GPL.

Nome della sostanza:	GAS DI PETROLIO LIQUEFATTO
Nomi commerciali o sinonimi:	MISCELA A, A01, A02, A0, A1, B1, B2, B e C**
Numero EINECS:	649-202-00-6
Numero CAS:	68476-85-7
Numero CEE:	270-704-2
Numero ONU:	1965

Ndr:

**I nomi commerciali e sinonimi riportati sono mutuati dalle normative internazionali per il trasporto di merci pericolose. Per le sostanze suddette, rubricate sotto UN 1965, IDROCARBURI GASSOSI IN MISCELA LIQUEFATTA, N.A.S., i seguenti nomi, usati nel commercio, sono ammessi per la designazione della materia:
 ° BUTANO per le MISCELE A, A01, A02 e A0
 ° PROPANO per la MISCELA C

1.2. Usi pertinenti identificati della sostanza e usi sconsigliati.

Gli usi più comuni sono: combustibile per usi domestici, industriali ed agricoli, carburante per motori a combustione interna, propellenti, espandenti, refrigeranti.

I usi sconsigliati: qualunque uso differente da quelli sopra indicati

1.3. Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza

Fornitore:	LIQUIGAS S.p.a.
Indirizzo completo:	Via G.A. Amadeo, 59 - Milano Tel. 02/701681

Persona competente responsabile della SDS: **Simone Cascioli**
 mail: scascioli@liquigas.com

Figura 1.10. (a) Scheda dati di sicurezza per l'Acetilene (<https://www.technigas.it/>) **(b)** Scheda dati di sicurezza per il GPL (<https://cdn.liquigas.it/>)

Vengono riportate a scopo dimostrativo la sezione 1 della sds per l'acetilene e per il GPL.

1.3.4. Classificazione bombole e bidoni per lo stoccaggio dei gas secondo UNI-7131

Comunemente, ma erroneamente, si utilizza il termine bombola⁸ per descrivere tutti i recipienti idonei allo stoccaggio di gas in pressione; in realtà la norma UNI 7131 del 1999 distingue con chiarezza bidoni, bottiglie e bombole. Sono definiti quindi Bidoni o bottiglie di GPL, recipienti mobili a pressione con capacità non maggiore di 150 litri (75 kg) con pressione di carica ≤ 2 Mpa. Questi bidoni sono ottenuti saldando insieme lamiere di acciaio e perciò esternamente presentano i cordoni caratteristici della saldatura. Le bombole invece vengono definite come recipienti mobili a pressione con capacità non maggiore di 150 litri con pressione di carica > 2 Mpa. Le bombole sono costituite da un unico elemento pressofuso in acciaio; quindi, la superficie sarà esente da saldature.

In Italia i principali gas distribuiti privi di componenti tossici sono rispettivamente il Gas Naturale (metano) e il Gas di Petrolio Liquefatto (GPL). Il gas Naturale proveniente dai giacimenti di estrazione viene condotto direttamente alle nostre abitazioni mediante opportuni sistemi di trasporto e reti di distribuzione; il gas di Petrolio Liquefatto viene generalmente commercializzato in bottiglie o serbatoi per essere trasportato dove le reti di distribuzione vengono a mancare o risulta antieconomico la creazione delle reti di distribuzione. Nonostante la presenza di svariate reti di distribuzione del gas metano, in Italia tutt'ora molte famiglie rimangono legate all'utilizzo di Gpl sotto forma di bombole, difatti nonostante vengano ogni anno incrementate tali reti di distribuzione, permangono gli incidenti legati all'utilizzo, scorretto, delle bottiglie di Gpl in casa. A tal proposito nonostante la fonte CIG riporti una diminuzione degli incidenti e dei decessi legati all'utilizzo di Gpl, lo stesso Comitato Italiano Gas congiuntamente col dipartimento dei vigili del fuoco ha elencato dei requisiti essenziali, applicabili in ambito casalingo, da dover obbligatoriamente rispettare ed eseguire nel caso si adoperi o si possiede una bottiglia di gpl, in quanto gli incidenti che appunto coinvolgono l'utilizzo delle bombole di gas risultano ancora in numero elevato.

⁸ **E.D. BASSO**, et al. "Evento Incidentale su un veicolo con bidoni di GPL: Reati e responsabilità."

1.3.5. Caratteristiche bombola di GPL e bombola di Acetilene

Con il termine bombola, anche se risulta più corretta, data la distinzione proposta dalla UNI 7131⁹ del 1999, la denominazione di bottiglia o bidone, nel linguaggio comune, spesso, si intende il contenitore di GPL presente in ogni casa, almeno prima della metanizzazione del paese. Essa si presenta di forma cilindrica ed equipaggiata sulla parte superiore con una maniglia, sia per facilitarne la presa e sia per la protezione della valvola a cui deve essere applicato un riduttore di pressione prima di allacciarla all'utenza domestica. Generalmente può contenere dai 10 ai 25 kg di gas liquefatto che rappresenta l'80% del volume occupato, in quanto il restante 20% dovrà rimanere libero per consentire eventuali variazioni di volume. Una delle proprietà caratteristiche del GPL è la variazione di volume specifico all'aumentare della temperatura. Data questa particolare caratteristica ogni bombola al momento del riempimento presenterà un franco del 20% lasciato vuoto, per far sì che il GPL possa espandersi senza causare esplosioni o variazioni di pressione; tale caratteristica, può essere spiegata confrontando le densità di tale gas in fase liquida e in fase gassosa. In fase liquida il GPL risulta essere ben 35 volte più denso del gas allo stato aeriforme, difatti 1 m³ di liquido di GPL occuperà allo stato aeriforme circa 270 m³, quindi con un rateo di espansione di 1:270.

Da varie prove di laboratorio¹⁰ è stato individuato che è sufficiente un incremento di un solo °C per determinare una sovrappressione di circa 10 bar rispetto alla tensione di vapore; da tali prove distruttive è stata valutata una pressione totale di 11 MPa (110 bar) per determinare lo scoppio di una bombola; valore nettamente superiore rispetto alle pressioni di collaudo delle bombole. Le bombole utilizzate invece per il contenimento di gas medicinali o tecnici come l'acetilene, hanno forme e caratteristiche generalmente diverse rispetto a quelle adoperate per lo stoccaggio del GPL. Le forme adoperate per queste bombole, nettamente più snelle e più allungate, risultano esenti da qualsiasi tipo di saldatura longitudinale in quanto devono resistere a pressioni nettamente superiori, e usualmente hanno una capacità variabile tra i 5 e i 150 litri di gas. I principali elementi di queste bombole sono: Corpo Cilindrico, Fondo inferiore, Fondo superiore, Piede d'appoggio, Collare filettato e il Cappellotto. Il cappellotto, presente in sommità della bombola, ha come scopo principale la protezione della valvola di erogazione, punto più delicato della bombola.

⁹ **E.D. BASSO**, et al. "Evento Incidentale su un veicolo con bidoni di GPL: Reati e responsabilità."

¹⁰ Capannelle, N. i. (2019). *Scoppi di bombole e serbatoi: analisi ed interpretazione dei segni*. Roma: **Ing. Massimo Nazzareno Bonfatti**.

Spesso tale tappo di protezione viene equipaggiato con un cordino legato al collare filettato, appunto per riporlo in posizione di protezione ogni qual volta si termina l'operazione o termina l'utilizzo della bombola di acetilene. Un'ulteriore differenza è data dalla presenza di materiale poroso all'interno della bombola, il quale viene utilizzato per disciogliere l'acetilene nel suo solvente in maniera tale da renderlo il più chimicamente stabile. Data questa caratteristica, le bombole di acetilene presenteranno un peso maggiore del quantitativo effettivamente contenuto di acetilene all'interno della stessa; una bottiglia dal peso di 27 kg contiene circa 2 kg di acetilene disciolto.

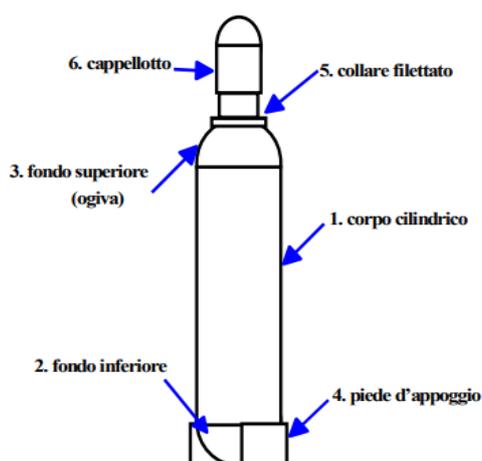


Figura 1.11. Elementi principali una bombola adoperata per il contenimento di gas medicinali/tecnici
(<https://www.vigilfuoco.it/>)

1.4 Proprietà gas pesante e leggero

I gas in generale possono essere suddivisi in due grandi categorie¹¹ in funzione del comportamento che hanno nell'aria espresso appunto dalla loro densità, definita come rapporto tra il peso della sostanza allo stato gassoso e quello di uno stesso volume di aria a pressioni e temperature ambientali. Possono esserci gas pesanti caratterizzati da densità rispetto all'aria maggiori di 0,8 come il GPL e l'Acetilene e gas leggeri, come i gas naturali, ad esempio, metano e biogas, che invece hanno una densità rispetto all'aria inferiore a 0,8. Il Gas di petrolio liquefatto e l'acetilene, nonostante entrambi siano classificati come gas pesanti, presentano due comportamenti diversi se dispersi in aria; l'acetilene con densità rispetto all'aria di 0,9 risulta maggiore del limite posto a 0,8 per la classificazione in gas leggero o pesante, ma superando di poco tale intervallo e rimanendo compreso in questo, nonostante l'abbassamento della temperatura dovuta alla fuoriuscita del gas liquefatto, nell'intervallo di 0,8 - 1,2 tenderà, se disperso, a permanere nel luogo del rilascio e non avrà tendenza al movimento; invece il GPL avendo una densità nettamente maggiore del limite posto a 0,8, ovvero di 1,54, avrà la tendenza di stratificare al suolo e se confinato si accumula.

La presenza di un deposito di gas comporta la possibilità che un'eventuale perdita possa formare la miscela pericolosa e la presenza di una possibile fonte di innesco può portare facilmente all'incendio o all'esplosione. In caso di depositi chiusi la strategia più importante per diluire la concentrazione di gas è la ventilazione, la quale avrà due andamenti opposti nel caso di gas leggero o gas pesante. In un deposito di gas pesante, l'aria pulita entra dall'alto e fuoriesce dal basso mentre in un deposito di gas leggero, l'aria pulita entra dal basso e fuoriesce dall'alto. Si può immaginare come una perdita di GPL o acetilene, se non controllata possa stratificare al suolo e ancor peggio formare un accumulo di gas o di sacche; per evitare quindi tale scenario possono essere adoperate oltre alle opportune prese d'aria che permettano lo smaltimento mediante i moti convettivi dell'aria, delle canalizzazioni che permettano l'accumulo e il successivo allontanamento di eventuali rilasci in zone sicure.

¹¹ Corso Antincendio: Tipi di fuoco e sorgenti di innesco.” *AddettiAntincendio.net*,

2 – Incidenti che coinvolgono bombole di Acetilene e GPL, analisi delle cause più comuni

In questo capitolo, data la pericolosità delle sostanze trattate, vengono analizzati tutti i possibili scenari incidentali a cui possono dar vita Acetilene e Gpl. Vengono inoltre analizzate le cause principali mediante l'analisi dei materiali che contengono questi due gas e analizzati i rispettivi agenti estinguenti in funzione del tipo di fuoco generato.

2.1 Le cause più comuni che coinvolgono le bombole di Gas

Dagli interventi riportati dal comando dei vigili del fuoco italiano, si contano circa 2342 interventi effettuati dal 2004 al 2023, ove è stata riscontrata la presenza di acetilene, che ha impiegato circa 9635 uomini per 3577 ore totali di intervento. Di questi interventi, in 1101 casi sono sfociati in incendi ed esplosioni, mentre vengono contati solo 50 interventi ad opera dei vvf per situazioni ove si è verificata una fuoriuscita o dispersione. I restanti interventi sono riconducibili a varie, ad incidenti stradali, falsi allarmi e recuperi. Di 2342 interventi effettuati, 755 volte l'intervento è dovuto a cause di innesco della sostanza. La città italiana a contare un maggior numero di interventi con presenza di acetilene è Roma con 153 interventi, a seguire vi è Torino con 144 e terza ma non meno importante Milano con 139 interventi effettuati. Tutti gli interventi conteggiati vengono calcolati dal 2004 al 2023. Ogni anno in Italia, in media avvengono circa 123 interventi dove risulta necessario l'intervento di personale specializzato come quello dei VVF. Per quanto riguarda invece il Gpl dal 2004 al 2023 sono stati contati ben 128326 interventi, che hanno impiegato ben 581450 uomini per un totale di ore di intervento pari a 109000 ore. Su 128326 interventi circa 105890 sono stati causati da varie situazioni non definite con certezza, mentre solo il 10% degli interventi è dovuto ad incendi ed esplosioni della sostanza. Le città Italiane a contare un maggior numero di incidenti sono rispettivamente Napoli, a seguire Roma e in 3 posizione Torino. Naturalmente vengono contati molti più interventi con presenza di Gpl rispetto all'utilizzo di Acetilene in quanto il Gpl nella quotidianità risulta trovare molte più applicazioni dell'Acetilene, basti pensare al boom di utilizzo del gpl per l'autotrazione. Ad esempio, la rivista automobilistica quattroruote.it, riporta che nel 2008 è stato registrato un boom di auto alimentate a gpl; è stato registrato un aumento del 325% di auto a gpl immatricolate nel 2008. Nonostante i risultati riportati siano ancora alti, i grafici sotto riportati per le due sostanze registrano un decremento degli interventi registrati ad opera dei VVF negli ultimi anni.



Figura 2.1. Andamento temporale degli interventi registrati per l'acetilene (Banca Dati VVF)

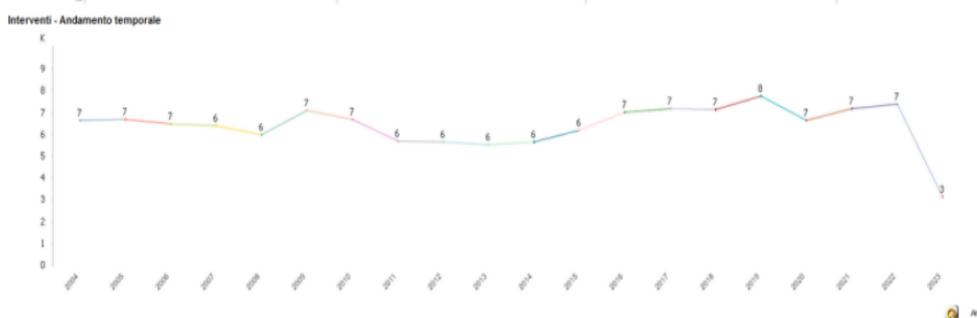


Figura 2.2. Andamento temporale degli interventi registrati per il Gpl (Banca Dati VVF)

Dalle statistiche condotte dal Comitato Italiano Gas (CIG)¹² si desume che la maggior parte degli incidenti da gas che coinvolge bombole, non si può attribuire ad una anomalia del recipiente, bensì va ricercata nell'uso e nella manutenzione dell'impianto e degli utilizzatori. Inoltre, una pratica sempre più crescente è la ricarica delle bombole effettuata dai gestori dei rifornimenti di GPL per autotrazione, i quali non curanti della violazione di norme fiscali e di sicurezza, riempiono bombole piccole medie o grandi senza preoccuparsi di non superare il limite dell'80% fissato per legge. Seguendo questa pratica non è più sotto controllo la corretta miscelazione dei due gas (butano e propano) ciò determina un aumento delle tensioni di vapore che di conseguenza esercitano sul contenitore una maggior sollecitazione. Inoltre, la possibile situazione di sovra riempimento che con facilità si verifica, in quanto non si utilizzano bilance o altri tipi di accorgimenti, può creare gravi rischi legati alle variazioni di temperatura che scaturiscono in aumento delle sovrappressioni e scoppio della bombola. Per l'acetilene la causa più comune che determina l'esplosione della bombola, come per il GPL, va ricercata nella manutenzione della bombola stessa e nei comportamenti degli utilizzatori/gestori, in quanto per tali sostanze un aumento di temperatura o un semplice urto per l'acetilene, può portare alla scissione del triplo legame tra gli atomi di carbonio, già instabile per natura, che può condurre facilmente alla decomposizione della molecola di acetilene nei suoi componenti di carbonio e idrogeno. Tale decomposizione viene favorita da aumenti di pressione, usualmente generati dopo un urto e da temperature elevate, determinando così possibili esplosioni. La presenza del sistema solvente/acetilene permette una riduzione della probabilità di innescare le decomposizioni nell'acetilene solo ed esclusivamente se il rapporto tra solvente ed acetilene viene mantenuto superiore ad un certo valore; difatti si fa divieto assoluto di travaso di acetilene da bombole diverse in quanto, non si può verificare il corretto quantitativo di solvente contenuto e integrarlo se necessario.

¹² Capannelle, N. i. (2019). *Scoppi di bombole e serbatoi: analisi ed interpretazione dei segni*. Roma: **Ing. Massimo Nazzareno Bonfatti**.

2.2 Modalità di frattura nelle bombole

L'analisi della rottura¹³ che si può verificare in una bombola, porta alla determinazione della causa scatenante; le rotture possibili in una bombola di gas possono essere di due tipi: rottura fragile e quindi improvvisa o rottura lenta quindi plastica. Per accertare le caratteristiche meccaniche del contenitore e stabilire il tipo di rottura, fragile o duttile, si possono eseguire sul reperto delle indagini sperimentali. La frattura di tipo fragile avviene totalmente nel campo elastico del materiale senza che si verifichino deformazioni apprezzabili prima di arrivare a rottura. Tale frattura, essendo causata da sollecitazioni normali, presenterà un tipico aspetto di clivaggio. ¹⁴“*Il clivaggio è la naturale tendenza di determinate strutture a separarsi, per la presenza di un'interfaccia tra due materiali diversi*”. La frattura di tipo fragile nelle bombole può anche verificarsi se poniamo i nostri bidoni a temperature inferiori alla temperatura di transizione a duttilità nulla. Questa sensibilità alla temperatura di transizione a duttilità nulla è molto più marcata nei metalli che presentano una struttura cristallina cubica a corpo centrato (ccc). Generalmente per i metalli comuni tale temperatura di transizione a duttilità nulla è circa di -50° ; a tali temperature si adoperano quindi metalli con struttura cristallina cubica a facce centrate (cfc) come gli acciai austenitici, i quali risentono poco di tali temperature di transizione.

Nei materiali fragili la rottura avviene dopo una piccola o in assenza, di deformazione plastica. Questo tipo di frattura è spesso associato alla presenza di difetti nel materiale come pieghe, porosità, presenza di cricche, danni da corrosione e infragilimento. Usualmente un materiale fragile va in frattura per allungamenti di circa il 5%.

¹³ Capannelle, N. i. (2019). *Scoppi di bombole e serbatoi: analisi ed interpretazione dei segni*. Roma: **Ing. Massimo Nazzareno Bonfatti**.

¹⁴ **Bacci, Prof. Stefano**. “Dispense citologia e istologia | Dispense di Citologia.”

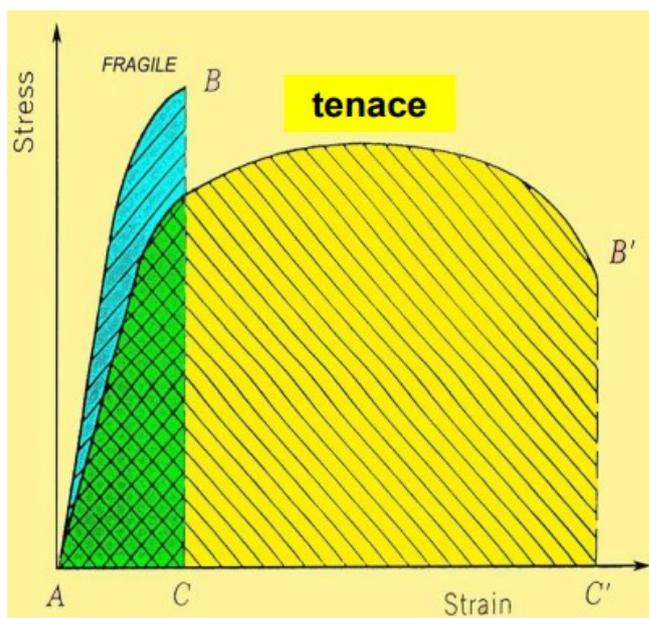


Figura 2.3. Grafico sforzo deformazione per materiale duttile e fragile
(<https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/308130>)

Per un materiale duttile, la frattura avviene dopo una sequenza di effetti dovuti all'applicazione di uno sforzo; tali azioni sono rispettivamente in ordine:

- Applicazione dello sforzo
- Inizio della strizione
- Coalescenza delle cavità ed inizio della rottura
- Propagazione frattura interna
- Rottura (a coppa o cono)

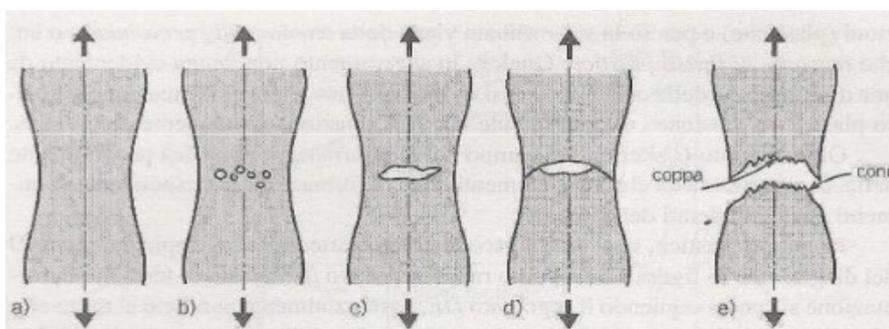


Figura 2.4. Andamento rottura di tipo duttile, fasi evolutive che portano alla rottura [Bonfatti, 2019]

La determinazione di una rottura duttile o fragile può essere condotta dall'osservazione del materiale dopo rottura, in particolare una superficie poco riflettente e dall'aspetto fibroso è tipica di una rottura di tipo duttile; mentre se la superficie risulta essere riflettente è avvenuta una rottura di tipo fragile con deformazione plastica quasi nulla.

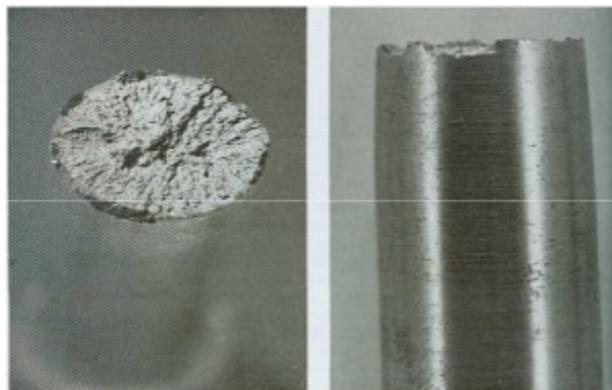


Figura 2.5. Indagini superficie con rottura fragile [Bonfatti, 2019]

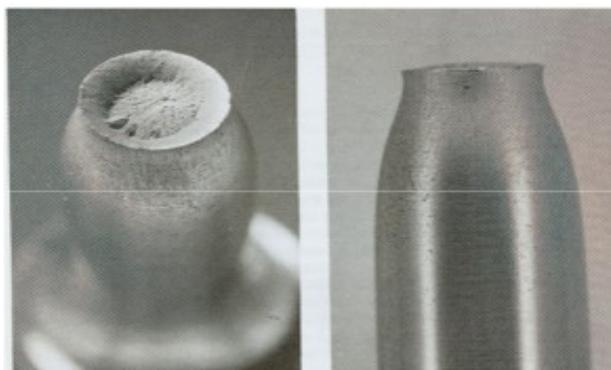


Figura 2.6. Indagini superficie con rottura duttile
[Bonfatti, 2019]

Per determinare le varie cause che hanno portato all'evolversi di un incidente che coinvolge bombole di gas viene utilizzata l'indagine macro frattografica delle superfici della frattura, così mostrando la morfologia ed il possibile punto di innesco della lesione; oltre ciò vengono svolti degli esami metallografici per la determinazione dei tipi e le caratteristiche degli acciai adoperati per bombole o serbatoi così potendone determinare le tecniche di saldature adoperate e le eventuali cause che hanno determinato una sovrappressione interna che ha portato all'apertura del mantello della bombola o del serbatoio.

Un altro eventuale aspetto da tenere in considerazione è la valutazione di un eventuale stato di corrosione, per la verifica prima, durante e dopo il riempimento; la norma UNI EN 1439 e la UNI EN 16728 del 2016 forniscono precise indicazioni per la valutazione visiva dello stato di corrosione.

2.3 Definizione degli scenari e dei possibili effetti dovuti al rilascio accidentale di GPL o Acetilene in atmosfera

I possibili scenari incidentali dovuti al rilascio accidentale di GPL¹⁵ sono:

INCENDIO:

- Incendio di pozze di liquido (POOL FIRE)
- Incendio di vapori effluenti a bassa velocità (FLASH-FIRE)
- Incendio di vapori effluenti ad alta velocità (JET-FIRE)
- Incendio di vapori in espansione a seguito di un BLEVE (FIREBALL)

ESPLOSIONE:

- Esplosione di nube di vapori in ambiente non confinato (UVCE)
- Esplosione di nube di vapori in ambiente non confinato (UVCE)

I possibili scenari incidentali dovuti al rilascio accidentale di Acetilene¹⁶ sono:

INCENDIO:

- Incendio di vapori effluenti ad alta velocità (JET-FIRE)
- Incendio di vapori in espansione a seguito di un BLEVE generato dalle reazioni di decomposizione dell'acetilene (FIREBALL)

ESPLOSIONE:

- Esplosione di nube di vapori in ambiente non confinato (UVCE)
- Esplosione di nube di vapori in ambiente non confinato (UVCE)

¹⁵ **E.D. Basso**, C. C. (2017). *Evento incidentale su un veicolo con bidoni di GPL: reati e responsabilità*.

¹⁶ Capannelle, N. i. (2019). *Scoppi di bombole e serbatoi: analisi ed interpretazione dei segni*. Roma: **Ing. Massimo Nazzareno Bonfatti**.

Molti degli scenari incidentali appena elencati possono discendere come conseguenza secondaria di altri (effetto domino); ad esempio successivamente al verificarsi di un POOL-FIRE o un JET-FIRE spesso segue l'esplosione di una nube di vapori. Negli scenari incidentali riportati, per l'acetilene non viene compreso il Flash-Fire o il Pool-Fire in quanto, date le caratteristiche di densità dell'acetilene risulta fortemente improbabile la creazione di una pozza di liquido infiammabile perché pur essendo un gas definito come pesante, risulta essere così poco pesante più dell'aria che non stratificherà al suolo, bensì rimarrà fermo nella zona del rilascio; risentirà invece di eventuali moti convettivi instaurati nel deposito.

I possibili effetti fisici da prendere in considerazione per i depositi di GPL¹⁷ e Acetilene¹⁸ sono i seguenti:

- **Radiazione termica stazionaria** a seguito di un POOL-FIRE o un JET-FIRE
- **Radiazione termica variabile** a seguito di un FIREBALL con durata dell'ordine di 10-40 sec
- **Radiazione termica istantanea** a seguito di un FLASH-FIRE con durata di esposizione breve 1-3 secondi,
- **Onda di pressione** a seguito di un VCE o UVCE, in questa casistica i valori di soglia di riferimento vengono definiti sia per i possibili effetti letali estesi (0,6 bar) ma anche per i possibili effetti letali indiretti causate da cadute, crolli, ecc.
- **Proiezione di frammenti** a seguito di un BLEVE, viene considerata la proiezione di un singolo frammento di grosse dimensioni e, data la poca affluenza di personale all'interno dei depositi, tale effetto contribuisce in maniera minoritaria rispetto agli altri effetti sul rischio globale; nonostante ciò, la proiezione di frammenti derivante dall'esplosione di un contenitore di acetilene, può arrivare a distanze dell'ordine dei 150 metri.

¹⁷ **Menduto, T.** (2019, settembre 18). *Quali sono le cause degli incidenti in cui scoppiano bombole di GPL?*

¹⁸ **Ruggeri, Ing. Giacomo.** "CAUSE ED EFFETTI DELL' ESPLOSIONE DI UNA BOMBOLA DI ACETILENE." *ANTINCENDIO* novembre 1997.

L'acetilene è un gas molto sensibile a temperature elevate o urti, difatti risulta essere instabile e una sua particolare caratteristica è la decomposizione delle sue molecole. La decomposizione dell'acetilene è una reazione che si manifesta o in modo esplosivo o come reazione a catena determinata dalla scomposizione dell'acetilene nei suoi componenti, carbonio e idrogeno, con effetti distruttivi che possono essere innescata dai seguenti fattori:

- Fiamma diretta
- Scarica statica da un dito di una mano o dal vestiario
- Scintille
- Attrito
- Shock.

Tuttavia, se l'acetilene o il Gpl disperso non trovano ignizione, risulta lo stesso obbligatoria un'azione tempestiva da parte degli addetti in quanto sia in dosi alte o basse rappresenta un rischio per l'uomo. L'acetilene o il Gpl se inalato in alta concentrazione può causare asfissia fino alla morte, se inalato invece in concentrazioni relativamente più basse può causare vertigini, nausea fino a portare l'individuo alla perdita dei sensi.

2.4 Classificazione incendi e agenti estinguenti

In base al tipo di materiale combustibile che prende parte ad un incendio, la norma UNI-EN 2:2005, distingue 5 categorie di incendi per i quali viene individuato l'agente estinguente appropriato.

FUOCHI	AGENTI ESTINGUENTI	AZIONE ESTINGUENTE
A: Fuochi da solidi 	-Schiumogeni - Acqua -Polveri Polivalenti (fosfato monoammonico)	- Raffreddamento soffocamento - Raffreddamento soffocamento -Raffreddamento soffocamento e schermatura ed ignifugazione delle parti incombuste
B: Fuochi da liquidi 	-Schiumogeni - Anidride carbonica - Acqua (se il combustibile ha una densità maggiore dell'acqua) - Polveri Bivalenti (fosfato monoammonico /Bicarbonato di sodio o di potassio)	- Raffreddamento soffocamento - Raffreddamento soffocamento - Raffreddamento soffocamento - Raffreddamento soffocamento e schermatura ed ignifugazione delle parti incombuste
C: Fuochi da gas 	-Anidride carbonica -Polveri Bivalenti (fosfato monoammonico /Bicarbonato di sodio o di potassio) -Acqua nebulizzata	- Raffreddamento soffocamento - Raffreddamento soffocamento e schermatura ed ignifugazione delle parti incombuste - Con il semplice scopo di abbassare le temperature di bombole o elementi che partecipano all'incendio
D: Fuochi da metalli 	-Polveri di grafite/allumina (polveri chimiche speciali come cloruro di sodio) -Anidride Carbonica	-Raffreddamento soffocamento e schermatura ed ignifugazione delle parti incombuste. - Raffreddamento soffocamento

F: Fuochi da oli e grassi 	-Schiume e PROKF	-Catalisi negativa
---	------------------	--------------------

Tabella 2.1. Classificazione incendi e ricerca dell'agente estinguente adatto¹⁹.

Le azioni estinguenti possibili sono:

- **Catalisi negativa:** Non è altro che il processo di rallentamento della combustione fino alla completa estinzione. Tale azione si verifica mediante l'interruzione delle reazioni a catena. Le sostanze contenute nelle polveri interagendo con i radicali liberi H⁺ e OH⁻ creano delle strutture molecolari stabili che permettono l'interruzione e quindi il blocco della combustione.
- **Raffreddamento:** Tale azione estinguente permette di sottrarre calore al combustibile fino a portarlo a temperature inferiori della temperatura di accensione.
- **Soffocamento:** Questa azione estinguente agisce interrompendo il contatto tra combustibile e comburente quindi impedendo il progredire della reazione di combustione.

Tale distinzione pratica rispetto alle sostanze coinvolte in un incendio, ha il principale scopo di determinare immediatamente il tipo di incendio per definire l'estintore più adatto e quindi l'agente estinguente. I fuochi di categoria C, ovvero da gas, sono una delle categorie più particolari in quanto vi è un elevato rischio che l'incendio si trasformi in esplosione. Una delle prime azioni da svolgere in caso di questi incendi è tentare di bloccare la fuoriuscita del gas ostruendo il flusso. Data la particolarità dell'acetilene, a incendio terminato, non basterà spostare le bombole esposte al fuoco, ma sarà vietata qualsiasi movimentazione di queste, data la possibilità di innescare una decomposizione dell'acetilene; verranno quindi eseguiti dei test di bagnabilità o se si possiede l'attrezzatura adatta si verificheranno le temperature della bombola mediante termocamera per scongiurare l'eventuale presenza di una decomposizione in corso. Il test di bagnabilità si esplica nella semplice bagnatura della bombola e successivo esame visivo per determinare se l'acqua evapora o meno, così facendo si possono stimare le temperature della bombola senza recarsi troppo vicino e quindi mantenendo delle adeguate distanze di sicurezza. L'acqua nebulizzata viene utilizzata sia per la determinazione approssimativa delle temperature raggiunte dalla bombola, sia per abbassare le temperature del contenitore e rallentare o bloccare la decomposizione dell'acetilene.

¹⁹ https://www.gielle.it/agenti_estinguenti.htm

2.5 Le distanze di danno

La determinazione delle distanze di danno²⁰ risulta essere uno strumento importante per i depositi che detengono sostanze infiammabili o esplosive, data la possibilità di effetti domino. La determinazione di tali distanze dovrà tenere conto sia delle condizioni al contorno che della meteorologia locale in quanto possono modificare o variare eventuali movimenti dei gas dispersi o peggio ancora, la presenza di muri o ostacoli potrebbe far accumulare la “nube” in zone sensibili. Il DM del 1996 fornisce per ogni scenario incidentale individuato delle tabelle, le quali presentano rispettivamente lungo le ordinate le distanze di danno e in ascissa, se considerato un POOL-FIRE l’area di pozza espressa in m^2 , se considerato un JET-FIRE la portata espressa in kg/s , se considerato un FIREBALL la quantità coinvolta espressa in tonnellate, se considerato un UVCE come per il fireball ovvero anche qui la quantità coinvolta. Utilizzando quindi le tabelle appena descritte e individuati i livelli di soglia di danno a persone o strutture possiamo determinare le varie distanze di danno. I livelli di soglia di danno a persone e strutture vengono forniti in letteratura dalla seguente tabella riportata nel DM del ‘96:

²⁰ Ministero dell'Ambiente. (1996, Luglio 9). Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di gas e petrolio liquefatto GPL. Roma.

SOGLIE DI DANNO A PERSONE E STRUTTURE					
Scenario incidentale	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili	Danni alle strutture Effetti domino
Incendio (radiazione termica stazionaria)	12,5 kW/m ²	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²	12,5 kW/m ²
BLEVE / Fireball (radiazione termica variabile)	raggio fireball	350 kJ/m ²	200 kJ/m ²	125 kJ/m ²	100 m da parco bombole 600 m da stoccaggio in sfere 800 m da stoccaggio in cilindri
Flash-fire (radiazione termica istantanea)	LFL	1/2 LFL	---	---	---
UVCE (sovrapressione di picco)	0,6 bar (0,3 bar)*	0,14 bar	0,07 bar	0,03 bar	0,3 bar

Figura 2.7. Tabella esplicativa del danno atteso in funzione dello scenario incidentale previsto
(<https://www.vigilfuoco.it/>)

La determinazione delle distanze di danno non risulta utile solo al costruttore per dimostrare di aver considerato, individuato e valutato ogni tipo di rischio presente, bensì risulta avere un'importanza strategica nei confronti della stesura del PEE (Piano di Emergenza Esterno), in quanto permette di individuare le aree più potenzialmente impattate dagli eventi considerati e quindi permetterà l'individuazione delle zone a rischio e quindi di evitare possibili effetti domino; oltre questo fornisce alle autorità una chiara identificazione delle aree o zone che necessitano delle prime attenzioni. L'interposizione delle distanze di sicurezza tra i box destinati al contenimento dei gas, e i fabbricati vicini, risulta essere una delle poche ma efficienti strategie antincendio, in quanto definire una certa distanza, nelle ipotesi di dispersione accidentale, assicura che la nube, in tale tragitto, non raggiunga determinate concentrazioni che possano determinare l'accensione della miscela di aria più gas.

Cap.3 – Circolari e regole tecniche per la regolamentazione dei depositi di gas liquefatto e disciolto

In questo capitolo si cerca di individuare quali siano le procedure corrette per l'installazione e quindi la creazione di un deposito che tratti sia bombole di Gpl che di Acetilene. Si propone un'analisi delle passate normative e un'analisi dei documenti necessari ad oggi per la costruzione e l'esercizio di depositi di gas. Viene inoltre fatta un'analisi della circolare risalente al 1956 Italiana che permetteva all'epoca la regolamentazione dei depositi di gas o olii minerali con la rispettiva circolare del 1953 di origine Francese.

3.1 Evoluzione delle normative per la regolamentazione dei depositi di GPL e di Acetilene

Le regole tecniche²¹ emanate dal comando dei VVF per la regolamentazione dei depositi di GPL o LPG sono state soggette a diverse modifiche ed evoluzioni nel tempo da svariati Decreti Ministeriali, tra cui quelli elencati qui di seguito; per la regolamentazione invece dell'acetilene, tale sostanza risulta essere sprovvista di alcuna regolamentazione o circolare, bensì vengono validate le stesse circolari adoperate per il Gpl per l'Acetilene.

- Circolare n. 74 del 20 Settembre 1956 con la quale venivano disciplinate le varie concessioni per i depositi di olii minerali e gas di petrolio liquefatto.
- D.M del 13 Ottobre 1994, col quale viene approvata la regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'installazione e l'esercizio dei depositi di GPL in serbatoi fissi con capacità complessiva superiore a 5 m³ e/o in recipienti mobili di capacità complessiva superiore a 5000 kg;
- D.M del 14 Maggio 2004, col quale viene approvata la regola tecnica di prevenzione incendi per l'installazione e l'esercizio dei depositi di GPL con capacità complessiva maggiore di 13 m³;
- D.M del 4 Marzo 2014, col quale viene approvata, modificata e integrata la regola tecnica del 14 Maggio 2004;

²¹ Ing. Mauro Malizia. (2020). *Testo coordinato e commentato depositi di GPL*. Tratto da Prevenzione Incendi e Sicurezza

Si può affermare quindi che il D.M. del 14 Maggio del 2004 può essere applicato a tutti i serbatoi fissi con capacità complessive fino a 13 mc ma anche per depositi fissi con capacità inferiori a 0,3 mc; per quanto riguarda i recipienti mobili di capacità complessive superiori a 5.000 kg trova applicazione il D.M. del 13 Ottobre del 1994 questo, un tempo regolamentava anche le parti inerenti i depositi fino a 13 mc non adibiti ad uso commerciale, ma con l'art. 6 del D.M. del 14 Maggio 2004 tale parte è stata abrogata. Per i depositi in recipienti mobili fino a 5.000kg trova ancora applicazione la Circolare n.74 del 20 Settembre del 1956 limitatamente alle parti che rimangono in vigore. Gli svariati decreti ministeriali hanno abrogato la parte 1 e 4 dell'allegato I della Circolare n° 74 del 20 Settembre del 1956, prima Circolare emanata con lo scopo di regolamentare le concessioni per l'uso o la movimentazione del GPL; mantenendo valide le restanti disposizioni inerenti ai gruppi di recipienti portatili.

Viene riportato l'art.35 della Circolare 1956 N°74 del 20 Settembre in quanto tali distanze di sicurezza riportate nella figura seguente, rimangono valide come mezzo di protezione passivo per i box adibiti al contenimento di bombole di gas.

Figura 3.1. Art. 35 della Circolare n°74 del 1956

Art. 35. - Le distanze di sicurezza interna ed esterna di cui al precedente articolo sono quelle indicate nella seguente tabella, in relazione alla categoria del deposito:

Categoria	Distanze di sicurezza interna	Distanze di sicurezza esterna
1ª (fino a 5.000 kg.)	m. 6	m. 15
2ª (fino a 1.000 kg.)	---	m. 10
3ª (fino a 300 kg.)	---	m. 8

in dipendenza delle predette caratteristiche costruttive le distanze di sicurezza esterna dei depositi di 1ª categoria potranno essere modificate come è indicato al successivo articolo 37.

3.2. Soluzioni presenti nella circolare del '56

Al Titolo 1 della parte seconda della Circolare del '56, i depositi di gas disciolti o liquefatti vengono classificati in 3 categorie in funzione del contenuto espresso in kg rispettivamente in: I categoria fino a 5000 kg, II categoria fino a 1000 kg e III categoria fino a 300 kg; al Titolo 2 della seguente circolare vengono definite le caratteristiche per l'installazione e le relative distanze di sicurezza da mantenere. Al Titolo 3 della seguente circolare vengono definite le caratteristiche costruttive da adottare per la realizzazione di locali adibiti al contenimento di bombole di gas liquefatto; infine, al Titolo 4 vengono definiti in funzione della categoria di deposito i mezzi di estinzione con cui equipaggiare ogni box.

Per gli impianti di riempimento o deposito o attività di rivendita di gas infiammabili in recipienti mobili, questi vengono individuati dall'attività n°3 A o B del D.P.R. 1° agosto 2011 n.151²² ove sono soggetti a una suddivisione, concorde con la Circolare del '56, in funzione della capacità geometrica complessiva.

N.	Attività	Cat. A	Cat. B	Cat. C
Impianti di riempimento,² depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili:³				
3 <i>(3)</i>	a) compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 mc		Rivendite, depositi fino a 10 mc	Impianti di riempimento, depositi oltre 10 mc
	b) disciolti o liquefatti per quantitativi in massa complessivi superiori o uguali a 75 kg	Depositi di GPL fino a 300 kg	Rivendite, depositi di GPL oltre 300 kg e fino a 1.000 kg; Depositi di gas infiammabili diversi dal GPL fino a 1.000 kg	Impianti di riempimento, depositi oltre 1.000 kg
Depositi di gas infiammabili in serbatoi fissi: ⁴				
4 <i>(4)</i>	a) compressi per capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 mc		fino a 2 mc	oltre i 2 mc
	b) disciolti o liquefatti per capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,3 mc	Depositi di GPL ⁵ fino a 5 mc	Depositi di gas diversi dal GPL fino a 5 mc, Depositi di GPL da 5 mc fino a 13 mc	Depositi di gas diversi dal GPL oltre i 5 mc, Depositi di GPL oltre i 13 mc

Figura 3.2. Suddivisione attività N°3 secondo DPR 151 2011 (<https://www.vigilfuoco.it/>)

²² *Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco*, <https://www.vigilfuoco.it/>

Tabella 3.1. Strategie adottate nella circolare²³ n. 74 del 20 Settembre 1956

Categoria	I Fino a 5.000 kg	II Fino a 1.000 kg	III Fino a 300 kg
TITOLO II Ubicazione e Distanze di sicurezza	-Non devono essere ubicati all'interno di centri abitati -costituito da un sol piano fuori terra e isolati interamente su tutti i lati -distanza sic. Interna 6m -distanza sic. Esterna 15 m	-Ubicazione consentita anche all'interno di centri abitati -costituito da un sol piano fuori terra e isolati interamente su tutti i lati -distanza sic. Interna -- -distanza sic. Esterna 10 m	- Ubicazione consentita anche all'interno di centri abitati -due lati potranno essere contigui ad altri locali -distanza sic. Interna -- -distanza sic. Esterna 8m
TITOLO III Caratteristiche costruttive	-Recinzione realizzata con muro di H 2,50m lungo i lati prospicienti vie pubbliche se no H min 2,0m e recinzione metallica -ogni scomparto costituito da muratura in pietrame sp.40 cm, 4° lato con rete metallica maglie larghe -Copertura leggera realizzata con strutture portanti o in laterizio armato o cls armato -Aperture almeno pari a 1/5 della superficie di calpestio e debitamente protette con reti metalliche -Impianto elettrico del tipo a forte isolamento e prese e interruttori H 1,50 m dal pavimento	-Locale costruito con strutture resistenti al fuoco (sp.40 cm) e copertura leggera come categoria I. -i vari box devono essere separati con muri privi di aperture -Aperture almeno pari a 1/5 della superficie di calpestio e debitamente protette con reti metalliche -Impianto elettrico del tipo a forte isolamento e prese e interruttori H 1,50 m dal pavimento	-Locale costruito con strutture resistenti al fuoco (sp.40 cm) e copertura leggera come categoria I. -i vari box devono essere separati con muri privi di aperture -Aperture almeno pari a 1/5 della superficie di calpestio e debitamente protette con reti metalliche -Impianto elettrico del tipo a forte isolamento e prese e interruttori H 1,50 m dal pavimento
TITOLO IV Mezzi di estinzione e norme di esercizio	-Installazione di un idrante 45 mm munito di raccordo con tubo di canapa di lunghezza 20 m con pressione non minore di 4 atm. -dotazione di estintori a CO2 o polvere secca da 5kg	-Dotazione di almeno 1 estintore di CO2 o polvere secca da 5kg	-Dotazione di almeno 1 estintore di CO2 o polvere secca da 5kg

²³ <https://www.vigilfuoco.it/allegati/PI/RegoleTecnicheXAttivita>

3.3. Confronto Circolare Italiana del '56 con Circolare Francese del '53

Prima di procedere con l'analisi delle Circolari che trattano la movimentazione, lo stoccaggio o la vendita di bombole di gas, è stata compiuta una ricerca sul panorama europeo per indagare sulla presenza o meno di normative tecniche riguardo appunto depositi che stoccano bombole di Gpl o Acetilene. Purtroppo la disciplina di prevenzione incendi in passato ha avuto poco seguito o meglio è stata prestata poca attenzione riguardo le misure da attuare pre-incidente, infatti le uniche circolari o linee guida presenti in Europa per la gestione in conformità dei depositi di gas vengono distribuite dall'Italia e dalla Francia, che però presentano già in passato particolare attenzione riguardo le caratteristiche costruttive, le distanze di sicurezza e i mezzi di estinzione appropriati, infatti come vedremo successivamente, parti della Circolare Italiana ad oggi vengono tuttora utilizzate come linee guida. La normativa francese²⁴ del 1953 riguardo i depositi di bombole e le centraline di acetilene disciolto procede con una prima suddivisione in funzione del quantitativo stoccato, suddividendo in questo modo i depositi in due categorie. Per la prima categoria vengono compresi i depositi con una capacità superiore ai 12 metri cubi ma inferiori a 100 metri cubi con la particolarità che tale deposito sia locato almeno ad 8 metri da edifici occupati o abitati da terzi; la seconda categoria invece comprende i depositi con capacità superiori a 48 metri cubi ma inferiori a 300 metri cubi anch'essi, localizzati a distanze non inferiori a 8 metri da qualsiasi edificio occupato o abitato da terzi.

Per il confronto tra la circolare del 1956 italiana e la circolare del 1953 francese vengono analizzate le categorie delle due circolari più restrittive ovvero quelle che disciplinano i depositi con maggiori quantità di acetilene/gpl stoccato. Vengono quindi messe a confronto le strategie di sicurezza antincendio riportate nella circolare del '56 relativi ai depositi contenenti una quantità di gas stoccato fino ai 5000 kg e la sezione del '53' relativa ai depositi di acetilene per quantità fino a 300 metri cubi.

Vedasi tabella sottostante:

²⁴ **Ing. Borghese.** *La prevenzione incendi nella piccola e media industria.* Roma, Giacomo Elifani EPC.

Tabella 3.2. Confronto tra la Circolare Italiana del '56 e la Circolare Francese del '53

Circolare	1956 Italiana	1953 Francese
Caratteristiche e costruttive	<p>Recinzione estesa all'intero perimetro del box con altezza minima pari a 2,50 metri lungo i lati prospicienti vie pubbliche e aree su cui sorgono edifici di abitazione o attività industriali; per i restanti lati la recinzione può essere realizzata con rete metallica con h minima di 2 metri.</p> <p>Il deposito dovrà essere costituito da un solo piano fuori terra e non potrà essere ubicato all'interno di centri abitati.</p> <p>La copertura del deposito sarà leggera e costituita da strutture portanti in laterizio armato o cls e manto di lastre in fibrocemento appoggiate.</p> <p>Le aperture di aerazione dovranno avere una sup. pari a 1/5 della superficie calpestabile e saranno poste in basso (filo pavimento) e in alto protette da rete metallica a maglie fitte senza alcun tipo di serramento.</p> <p>il pavimento sarà sopraelevato e costituito da materiali incombustibili e non assorbenti i cavi degli impianti elettrici dovranno essere del tipo a forte isolamento; gli interruttori e le prese di corrente dovranno essere di tipo stagno e installati ad un h non minore di 1,50 m dal pavimento</p>	<p>Il locale deposito non potrà essere al di sopra di un locale abitato od occupato</p> <p>il deposito sarà interamente costruito da materiali leggeri ed incombustibili senza alcuna comunicazione diretta con i locali vicini.</p> <p>sarà presente almeno una porta con apertura verso l'esterno in materiale incombustibile od in legno foderato di lamiera, tale porta deve essere munita di serratura.</p> <p>il locale sarà largamente ventilato all'esterno ma in maniera tale che non possa derivare inconveniente o pericolo per il vicinato.</p> <p>l'illuminazione artificiale sarà effettuata a mezzo di lampade esterne sottovetro a tenuta o all'interno a mezzo di lampade elettriche ad incandescenza eseguite secondo le norme CEI; i conduttori saranno disposti secondo le norme vigenti in maniera da evitare ogni rischio di corto circuito, l'installazione sarà controllata periodicamente da tecnico competente.</p>
Distanze di sicurezza	<p>il deposito avrà una distanza di sicurezza interna pari a 6 metri e una distanza di sicurezza esterna pari a 15 metri. se il deposito sorge in vicinanza alle rotaie di linee ferroviarie bisognerà mantenere una distanza non inferiore ai 20 m.</p> <p>le distanze di sicurezza esterna vanno raddoppiate nel caso in cui i manufatti esterni siano chiese, scuole ecc</p>	<p>Il deposito sarà posto a distanze di 8 metri da edifici occupati o abitati da terzi ed almeno 2 metri dalle vie di esodo e dalle strade pubbliche</p> <p>se il deposito sorge a 5 metri dalla strada pubblica o locali costruiti in materiali combustibili o contenente sostanze esplosive, potrà essere costruito un hangar non completamente chiuso in materiale leggero incombustibile e in maniera tale che le bombole siano al riparo dalle intemperie</p>
Mezzi di estinzione	<p>Installazione di un idrante 45 mm munito di raccordo con tubo di canapa di lunghezza 20 metri con pressione non minore di 4 atm.</p> <p>dotazione di estintori a CO2 o polvere secca da 5kg</p>	<p>In caso di incendio nelle vicinanze del deposito saranno adottate delle misure per proteggere il deposito e per allontanare rapidamente le bombole.</p> <p>lo stabilimento sarà dotato di idonei mezzi antincendio quali: prese d'acqua, secchi d'acqua con pompe a mano, estintori, secchi di sabbia e mucchi di sabbia con barili</p>

Dal confronto fra le due Circolari, rispettivamente quella francese e quella italiana si desume come già in passato, si fosse notato come per i depositi di gas, una delle poche strategie attuate per la mitigazione del rischio fosse l'interposizione di distanze di sicurezza tra deposito di gas e attività circostanti; infatti sia la Circolare francese che quella italiana, riportano come distanze di sicurezza esterna 8 m per quella francese e 15 m per quella italiana. Oltre a tale misura di sicurezza viene posta particolare attenzione nella Circolare francese riguardo le lampade utilizzate all'interno di tali box, difatti viene riportato come solo certe tipologie di lampade possono essere adoperate all'interno di questi. Tale attenzione posta riguardo le fonti di illuminazione all'interno dei box può essere interpretata come un'introduzione alle aree definite poi come Atex. In aggiunta a tali caratteristiche riportate in entrambe Circolari per la regolamentazione di depositi di gas come Acetilene e Gpl, viene posta particolare attenzione riguardo la superficie areata del box, in quanto già nel 1950 fu notata l'importanza di una corretta circolazione dell'aria all'interno di tali depositi.

3.4. Distinzione delle attività secondo D.P.R. n 151/2011 e relative procedure

Viene riportata secondo il DPR n. 151 la suddivisione e i documenti necessari per l'attività di deposito di gas quali gpl e acetilene in quanto, tali attività, ricadendo nelle 80 attività soggette al controllo di prevenzione incendi, avranno delle procedure ben definite da seguire per poter operare in piena legalità in funzione di diversi parametri.

Tutte le attività che utilizzano oppure immagazzinano dei carburanti sono soggette a controlli per la prevenzione incendi. Tra queste ricadono anche i serbatoi per il GPL o per l'Acetilene. Il regolamento in materia è stato semplificato con il DPR n. 151 del 1° agosto 2011²⁵ ed attualmente è questa la normativa che detta le procedure e indica le attività obbligate ad effettuare tali controlli. Le attività vengono suddivise in tre diverse categorie in base alla tipologia e alla grandezza che ne determina la pericolosità:

- **A** attività a basso rischio e standardizzata
- **B** attività a medio rischio
- **C** attività ad elevato rischio

L'attività di deposito di GPL o Acetilene può quindi ricadere in una delle rispettive categorie A, B o C.

ELENCO DELLE ATTIVITÀ SOGGETTE ALLE VISITE
E AI CONTROLLI DI PREVENZIONE INCENDI^{10, 11, 12, 13}

N.	ATTIVITÀ	CATEGORIA		
		A	B	C ¹⁴
1	Stabilimenti ed impianti ove si producono e/o impiegano gas infiammabili e/o combustibili con quantità globali in ciclo superiori a 25 Nm ³ /h. ^{15, 16, 17, 18}			Tutti
2	Impianti di compressione o di decompressione dei gas infiammabili e/o combustibili con potenzialità superiore a 50 Nm ³ /h, con esclusioni dei sistemi di riduzione del gas naturale inseriti nelle reti di distribuzione con pressione di esercizio non superiore a 0,5 MPa. ¹⁹		Cabine di decompressione del gas naturale fino a 2,4 MPa	tutti gli altri casi
3	Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili:			
	a) Compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³ :		rivendite, depositi fino a 10 m ³	Impianti di riempimento, depositi oltre 10 m ³
	b) disciolti o liquefatti per quantitativi in massa complessivi superiori o uguali a 75 kg:	Depositi di GPL fino a 300 kg	rivendite, depositi di GPL oltre 300 kg e fino a 1.000 kg, depositi di gas infiammabili diversi dal GPL fino a 1.000 kg	Impianti di riempimento, depositi oltre 1.000 kg

Figura 3.3. Elenco attività soggette <https://www.vigilfuoco.it/>

Per la categoria A, basso rischio e standardizzata non è necessaria la richiesta del parere preventivo dei vigili del fuoco prima della realizzazione dei lavori. Una volta terminati i lavori si presenterà la SCIA per iniziare l'attività; per la categoria B attività a medio rischio il

²⁵ Testo coordinato del DPR 1° agosto 2011 n. 151." *Vigili del Fuoco*,

procedimento risulta analogo con la sola differenza che è necessario richiedere il parere di conformità al Comando dei Vigili del Fuoco allegandone il progetto. Il Certificato (CPI) viene consegnato in seguito alla presentazione della SCIA per le sole attività di categoria C ossia con depositi GPL con 13 m cubi di capacità; In questa casistica il Comando realizza un sopralluogo per gli eventuali controlli entro 60 giorni dalla presentazione della SCIA e successivamente rilascia il certificato se l'esito ha risultato positivo. La SCIA sostituisce il vecchio certificato di prevenzione incendi CPI e attesta che l'impianto del serbatoio di GPL posseda i requisiti idonei per la prevenzione degli incendi previsti dalla normativa. In realtà ancora oggi è previsto, dopo la presentazione della SCIA, il rilascio del certificato prevenzione incendi (CPI) ma solamente in casi specifici.

Attività	Cat. A	Cat. B	Cat. C
Parere VV.F	Non previsto	Valutazione con parere conformità entro 60 gg.	
SCIA	Avvio Attività tramite SCIA		
Controllo VV.F	Controllo a campione entro 60 gg.		Controllo sistematico entro 60 gg

Tabella 3.3. Documenti necessari alla prevenzione incendi in funzione dell'attività svolta (<https://www.vigilfuoco.it/>)

3.5 Classificazione stabilimento secondo SEVESO III 105/2015 e documenti fondamentali per la gestione in conformità dei depositi di Gas

Definite le caratteristiche che rendono particolarmente pericoloso lo stoccaggio e la movimentazione dell'acetilene, si è deciso di ricercare se fosse presente una linea guida o dei documenti da redigere data la pericolosità delle sostanze trattate. Nonostante nel caso studio riportato, che verrà analizzato nei capitoli successivi, non si rientri nella casistica di Stabilimento di Soglia né Inferiore né Superiore, viene riportata la Direttiva Seveso 3, direttiva che permette, mediante la stesura di particolari documenti, la corretta gestione di uno stabilimento che manipola, distribuisce o utilizza sostanze pericolose in determinati quantitativi. Con l'adozione del Decreto Legislativo 105/2015²⁶ è stata recepita la Direttiva 2012/18/UE Seveso III. La direttiva permette di individuare in funzione delle sostanze pericolose detenute all'interno dello stabilimento, due categorie di assoggettabilità, classificando quindi gli stabilimenti in *Soglia inferiore*, e *Soglia superiore*. Tali stabilimenti vengono suddivisi in due categorie in funzione delle sostanze/miscele e dei quantitativi presenti; questo elenco di sostanze o miscele si ritrova nell'Allegato I del D.Lgs. 105/2015 ove saranno riportati appunto due limiti, rispettivamente per la classificazione in stabilimento di Soglia Superiore o Inferiore. Per gli stabilimenti rientranti nella classe di soglia superiore il gestore di uno stabilimento è tenuto a redigere i seguenti documenti: il PPIR, un documento inerente la politica di prevenzione degli incidenti rilevanti (soggetto a revisione ogni 2 anni); il programma per l'attuazione del sistema di gestione della sicurezza anche denominato SGS e il rapporto di sicurezza (RDS) comprendente il documento relativo alla politica di prevenzione degli incidenti rilevanti. Per gli stabilimenti di Soglia inferiore il gestore è tenuto alla redazione del Piano di Emergenza Interna (PEI), aggiornato rispettivamente ogni 3 anni, e al SGS sistema di gestione della sicurezza. È possibile riassumere il tutto con la seguente tabella esplicativa.

²⁶ "Il D.Lgs. 105/2015 sulla prevenzione dei rischi di incidenti rilevanti

Tabella 3.4. Documenti di prevenzione incendi obbligatori in funzione della categoria di soglia superiore o inferiore dello stabilimento analizzato

DOCUMENTI PREVENZIONE INCIDENTI	DEFINIZIONI	STAB. SOGLIA SUP.	STAB. SOGLIA INF.
RDS	Questo doc. fornisce informazioni dettagliate alle Autorità di controllo riguardo la localizzazione dello stabilimento, le attività esercitate, i processi condotti, i pericoli connessi e gli strumenti tecnici-gestionali adottati per garantire le condizioni di sicurezza.	✓	✗
SGS	È uno strumento gestionale che comprende le attività di pianificazione, le responsabilità e la struttura organizzativa. Deve definire per le varie fasi: Politica e conduzione aziendale per la sicurezza; organizzazione tecnica, amministrativa e delle risorse umane; pianificazione delle attività interessate compresa l'assegnazione delle risorse e la documentazione.	✓	✓
PEI	Piano di emergenza interno da adottare per minimizzare gli effetti, limitarne gli effetti per salute umana, ambiente e beni; informare i lavoratori e le Autorità; fornisce indicazioni e procedure per il ripristino e disinquinamento dopo un incidente rilevante.	✓	✓
PEE	Piano di emergenza esterno ottenuto previa consultazione con il CTR e gli enti locali interessati; predisposto al fine di controllare e minimizzare gli effetti o i danni di un incidente rilevante mediante la cooperazione negli interventi di soccorso con l'organizzazione di protezione civile; e per informare la popolazione, i servizi di emergenza e le Autorità locali competenti.	✓	✗
ISPEZIONI	Sono svolte al fine di consentire un esame pianificato e sistematico dei sistemi tecnici, organizzativi e di gestione negli stabilimenti. Permette al gestore di provare di aver adottato le misure adeguate e di disporre di mezzi sufficienti a limitare le conseguenze di incidente rilevante all'esterno del sito.	✓	✓

L'acetilene, come il gas di petrolio liquefatto, sono una di quelle sostanze presenti nell'elenco dell'allegato I del D.Lgs. 105/2015 e vengono riconosciute da apposito numero CAS (Chemical Abstract Services) ovvero un identificativo numerico che individua in maniera univoca il composto o la sostanza chimica trattata. Nell'allegato I alla parte 2 del D.Lgs. vengono riportate le quantità espresse in tonnellate per la suddivisione dello stabilimento in soglia superiore o inferiore.

Alchili di piombo	—	5	50
Gas liquefatti infiammabili, categoria 1 o 2 (compreso GPL) e gas naturale (cfr. nota 19*)	—	50	200
19. Acetilene	74-86-2	5	50

Figura 3.4. Estratto da tabella allegato I D.Lgs. 105/2015 (<http://ecologia.provincia.treviso.it/>)

Acetilene e GPL presentano gli stessi limiti per la determinazione delle due soglie di assoggettabilità che sono rispettivamente: 5 tonnellate (Soglia Inferiore) e 50 tonnellate (Soglia Superiore). Nel caso in cui in uno stabilimento vengano trattate più sostanze pericolose, presenti nell'elenco dell'allegato I, queste non devono essere trattate singolarmente, bensì devono essere sommate, mediante media pesata al fine di verificare o meno il superamento dell'unità, che appunto permetterà di determinare se lo stabilimento rientra in Soglia Superiore o Soglia Inferiore.

Cap.4 – Regolamentazione depositi con Codice Prevenzione Incendi e conversione soluzioni datate della Circolare del '56 in soluzioni conformi

In questo capitolo viene affrontata la regolamentazione dei depositi di gas con l'adozione del codice di prevenzione incendi, inoltre viene fatta un'analisi tra le varie soluzioni proposte dalla circolare del 1956 che si occupa della regolamentazione dei depositi di gas e di olii combustibili, trasformando quindi, le soluzioni datate, in soluzioni conformi del cpi.

4.1 Novità e strategie del codice di prevenzione incendi

Con l'introduzione del Codice di Prevenzione Incendi²⁷ o anche conosciuto come DM del 3 Agosto 2015, l'approccio all'ingegneria della sicurezza è mutato, da un approccio strettamente prescrittivo ad un approccio prestazionale. Tale approccio permette la diversificazione di ogni attività in funzione della pericolosità individuata del sito di studio, così andando a definire livelli di prestazione diversi e le differenti misure. In definitiva, tale metodologia conferisce al progettista antincendio maggiore flessibilità nel raggiungimento del livello di sicurezza, il quale può essere raggiunto o mediante soluzioni conformi o alternative, le quali dovranno essere accompagnate da relative dimostrazioni di raggiungimento di livello di sicurezza accettabile o soluzioni in deroga anch'esse da dimostrare. Il raggiungimento di livelli di sicurezza ritenuti accettabili che vadano a tutelare la sicurezza della vita umana, l'incolumità delle persone e la tutela dei beni e dell'ambiente, vengono raggiunte dal progettista mediante l'applicazione di svariate strategie riportate nel codice al capitolo S strategie. Di primaria importanza e da eseguire antecedentemente la determinazione delle strategie da applicare per la mitigazione del rischio, risulta essere la determinazione di tre profili di rischio principali su cui è fondata appunto la disciplina di prevenzione incendi. Le metodologie per la determinazione dei profili di rischio sono presenti al capitolo G 3 del codice di prevenzione incendi. I profili di rischio su cui si fonda la disciplina di prevenzione incendi sono Rischio vita, Rischio beni e Rischio ambiente; determinati questi si può determinare il "grado/livello" delle strategie da adottare. Il Profilo di Rvita viene determinato per ogni singolo compartimento e vede coinvolti due parametri: delta occupanti e delta alfa. Il primo parametro fornisce informazioni sugli occupanti mentre il secondo viene determinato in funzione delle velocità caratteristiche di crescita dell'incendio. Dalla combinazione di questi parametri si può determinare il Rvita come mostrato nella tabella sottostante:

²⁷ "Norme tecniche di prevenzione incendi." *Vigili del Fuoco*.

Figura 4.1. Tabella riportata nel DM del 3 Agosto 2015 per la determinazione del R.Vita
(<https://www.vigilfuoco.it/>)

Caratteristiche prevalenti degli occupanti δ_{occ}		Velocità caratteristica prevalente dell'incendio δ_a			
		1 lenta	2 media	3 rapida	4 ultra-rapida
A	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	A1	A2	A3	A4
B	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	B1	B2	B3	Non ammesso [1]
C	Gli occupanti possono essere addormentati: [2]	C1	C2	C3	Non ammesso [1]
Ci	• in attività individuale di lunga durata	Ci1	Ci2	Ci3	Non ammesso [1]
Cii	• in attività gestita di lunga durata	Cii1	Cii2	Cii3	Non ammesso [1]
Ciii	• in attività gestita di breve durata	Ciii1	Ciii2	Ciii3	Non ammesso [1]
D	Gli occupanti ricevono cure mediche	D1	D2	Non ammesso [1]	Non ammesso
E	Occupanti in transito	E1	E2	E3	Non ammesso [1]

[1] Per raggiungere un valore ammesso, δ_a può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3 del paragrafo G.3.2.1.
[2] Quando nel presente documento si usa il valore C1 la relativa indicazione è valida per Ci1, Cii1 e Ciii1. Se si usa C2 l'indicazione è valida per Ci2, Cii2 e Ciii2. Se si usa C3 l'indicazione è valida per Ci3, Cii3 e Ciii3.

Il Profilo Rbeni invece viene individuato per l'intera attività ed esso viene calcolato considerando il carattere strategico dell'opera e se essa risulta vincolata per arte o storia come la tabella sottostante:

		Attività o ambito vincolato	
		No	Si
Attività o ambito strategico	No	$R_{beni} = 1$	$R_{beni} = 2$
	Si	$R_{beni} = 3$	$R_{beni} = 4$

Figura 4.2. Tabella riportata nel DM del 3 Agosto 2015 per la determinazione del R.Beni
(<https://www.vigilfuoco.it/>)

Anche il Profilo R.ambiente viene individuato per l'intera attività come per il Profilo R.beni. Per la determinazione del R.ambiente il progettista deve tenere in considerazione diversi elementi tra cui l'ubicazione dell'attività, la presenza di aree esterne sensibili come ad esempio la presenza di scuole, asili, ospedali, ecc., la tipologia e la quantità di materiali combustibili presenti all'interno dell'attività da valutare, dei prodotti della combustione che si possono sviluppare in caso di incendio ed anche in funzione delle misure di protezione antincendio adottate. Ad esempio, nel caso in cui un'attività venga equipaggiata con strategia S6 di livello IV o V ovvero con sistemi automatici di completa estinzione dell'incendio il profilo R ambiente è ritenuto non significativo. La determinazione di questi parametri è fondamentale in quanto permette la calibrazione delle misure di protezione in funzione dell'attività realmente svolta, rendendo così la progettazione meno quantitativa ma più qualitativa.

Il codice di prevenzione incendi²⁸ riporta alla Sezione S le strategie antincendio proponendo le soluzioni conformi previste per ogni livello di prestazione individuato e le soluzioni alternative definendone le modalità di raggiungimento degli obiettivi di sicurezza.

La sezione S è così strutturata:

S.1 Reazione al fuoco --- Misura di protezione passiva con l'obiettivo di limitare la partecipazione al fuoco dei materiali sia nelle fasi iniziali di innesco che di propagazione.

S.2 Resistenza al fuoco --- Obiettivo di garantire la capacità portante delle strutture e la compartimentazione per un tempo minimo necessario al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza di prevenzione incendi.

S.3 Compartimentazione --- Obiettivo di limitare la propagazione dell'incendio sia all'interno dell'attività stessa che all'esterno verso altre attività

S.4 Esodo --- Obiettivo di assicurare che gli occupanti dell'attività o persone terze all'attività possano raggiungere un luogo sicuro o permanere al sicuro prima che l'incendio possa determinare per tali persone condizioni di incapacità

S.5 Gestione della sicurezza antincendio --- Obiettivo di garantire nel tempo un adeguato livello di sicurezza in caso di incendio

S.6 Controllo dell'incendio --- Obiettivo di individuare i presidi antincendio più conformi in funzione del tipo di incendio che si possa evolvere

S.7 Rivelazione ed allarme --- Obiettivo di sorvegliare e rivelare precocemente un incendio mediante la diffusione di allarmi

S.8 Controllo di fumi e calore --- Obiettivo di individuare i presidi antincendio per consentire il controllo e l'evacuazione o lo smaltimento dei prodotti della combustione

S.9 Operatività antincendio --- Obiettivo di agevolare e supportare gli interventi di soccorso dei Vigili del Fuoco

S.10 Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio --- Obiettivo di mantenere in efficienza e secondo la regola dell'arte gli impianti realizzati con i requisiti di sicurezza antincendio specifici.

²⁸<https://www.vigilfuoco.it/>

4.2 Conversione delle norme di sicurezza della Circolare del '56 in soluzioni conformi del Codice Di Prevenzione Incendi

Oltre all'applicazione di tali strategie annoverate nel Codice di Prevenzione Incendi, l'esperienza ha dimostrato come l'utilizzo di grandi quantità di acqua all'insorgere di un incendio che coinvolga dei serbatoi di GPL o Acetilene, nel caso non si possa intervenire direttamente sulla valvola per bloccarne la fuoriuscita, sia una strategia efficiente in quanto permette l'abbassamento tempestivo delle temperature delle bombole nonché la protezione degli elementi al contorno i quali se sottoposti a temperature elevate o sovrappressioni generate da BLEVE possono determinare un effetto domino. Tale strategia può essere attuata solo ed esclusivamente dopo la verifica di disponibilità di acqua in quanto i quantitativi impiegati sono notevoli. Nel caso invece di perdita si può, mediante getti di acqua nebulizzata, ottenuti utilizzando particolari ugelli spray, disperdere la nube andando quindi a diminuire notevolmente le probabilità di innesco; tale strategia con mix di aria e acqua nebulizzata permette un forte diminuzione dei volumi di acqua adoperati; possono inoltre essere utilizzati, per l'allontanamento della nube, dei Jet fan per la diluizione e allontanamento del rilascio fuori dal deposito.

Le norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio dei depositi di gas di petrolio liquefatto, presentate nella Circolare²⁹ n.74° del 20 Settembre 1956, nonostante siano datate, possono essere convertite in soluzioni conformi andando a correlare ai relativi titoli, le strategie adoperate nel Codice di Prevenzione Incendi come riportato dalla tabella sottostante.

²⁹ "Circolare 03/07/67 n° 75." *Vigili del Fuoco*, 6 June 2013

Tabella 4.1. Conversione strategie della Circolare Italiana del '56 in soluzioni conformi e ricerca soluzione alternativa

Strategia antincendio	Soluzione conforme	Soluzione alternativa
S 1	Utilizzo di materiali incombustibili appartenenti alla classe di materiali GM0 Art 37. Livello prestazione: IV "Art. 47. - Il pavimento del locale dovrà essere costituito da materiali non combustibili e non assorbenti."	Nel caso vengano utilizzati materiali diversi dal gruppo GM0 va dimostrata lo stesso la salvaguardia della vita degli occupanti mediante il calcolo del fattore delta q2 (in f. dell'attività svolta). La struttura dovrà comunque assicurare la non combustione di elementi sensibili e non impiegare materiali che possano assorbire eventuali perdite.
S 2	""	Nella circolare del '56 non viene riportato nulla, bisognerà comunque garantire il mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la durata al fine di evitare il collasso della struttura ed eventuali effetti domino. Lvl III.
S 3	Se vi è la presenza di più depositi accostati fra di loro; per garantire la compartimentazione si dovrà: muri di separazione sovrastanti la copertura almeno di 1 m e pareti comuni esenti da qualsiasi apertura (Art 38) Lvl III. Distanza di sicurezza esterna da altre attività 15m (Art 35)	Installare i box singolarmente a distanza almeno di 10 m tra loro (in f. della quantità di GPL/C2h2 stoccato tale distanza sarà aumentata o diminuita)
S 4	""	Nella circolare del '56 non viene riportato nulla, bisognerà comunque prevedere vie d'esodo orizzontali e illuminarle e segnalarle per diminuirne i tempi di percorrenza e Individuare un luogo sicuro ove far stazionare al riparo da eventuali effetti domino il personale interessato.
S 5	Per la GSA la circolare non riporta nulla bisognerà comunque garantire il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza	Costruzione di un apposito centro gestione emergenze separato dal resto dell'attività e dal quale mediante gli appositi comandi si potrà segnalare alle autorità tempestivamente l'incidente o il rilascio registrato o bloccare eventualmente macchinari ecc.

S 6	Installazione di un idrante 45 mm munito di raccordo con tubo di canapa di lunghezza 20 m con pressione non minore di 4 atm. O per depositi con quantitativi maggiori di GPL stoccato dotazione di estintori a CO2 o polvere secca da 5kg	Possono essere adoperati sistemi automatici di inibizione, controllo o estinzione dell'incendio (sprinkler) per abbassare le temperature nei box ed evitare effetti domino; prevedere lo stesso estintori a CO2 di capacità almeno 5kg
S 7	Nella circolare del '56 non viene riportato nulla riguardo la rivelazione ed allarme; bisognerà comunque, data la pericolosità dell'attività esercita assicurare un Lvl III con rilevazione automatica e diffusione dell'allarme mediante sorveglianza.	Data la pericolosità dell'attività svolta bisognerà assicurare una tempestiva rivelazione ed allarme tale da poter permettere agli occupanti di recarsi in luogo sicuro e alle squadre designate per le emergenze di potersi attivare nelle tempistiche prestabilite.
S 8	Non viene richiesto nessun tipo di sistema per l'evacuazione di fumo e calore; bensì viene richiesto un controllo e un ricambio continuo e costante dell'area mediante la creazione di opportune aperture sia nella parte bassa che alta dei muri per un totale di 1/5 della superficie calpestabile Art 38. Tali aperture devono essere protette con apposita rete tagliafiamma	Installazione di un sistema automatico per la fuoriuscita e il ricambio d'aria mediante SEFFC. Prevedere opportuno isolamento degli elementi impiantistici come previsto per s10
S 9	“”	Con l'adozione del Decreto Legislativo 105/2015 si fa obbligo della redazione del PEI; per realtà più grandi anche PEE
S 10	Gli impianti elettrici di illuminazione o forza motrice devono essere realizzati con cavi a forte isolamento, meglio se sottotraccia, oppure con conduttori stagni a forte isolamento. Le prese e gli interruttori devono essere installati almeno a 1,50 mt dal pavimento. (Art 49)	Applicazione direttiva ATEX se presente sostanza in tale quantità. (vedere cap. 5.8)

La compartimentazione, strategia di prevenzione incendi S3, si applica mediante la creazione di compartimenti antincendio o con l'interposizione di distanze di separazione. Le distanze di separazione vengono calcolate attraverso procedura tabellare o procedura analitica. Seguendo la procedura tabellare riportata nel codice di prevenzione incendi, vengono adoperati due coefficienti, alfa e beta, i quali variano in funzione della larghezza degli elementi radianti e della percentuale di foratura. La percentuale di foratura, per il caso studio riportato, essendo un deposito con la caratteristica di superficie aerata pari a 1/5 della superficie calpestabile, sarà pari ad 1. B_i , la larghezza della piastra radiante è pari a 12 m.

Calcolo Tabellare

$$d_i = \alpha_i \cdot p_i + \beta_i \quad (S.3-2)$$

Con:

d_i = distanza di separazione. [m]

p_i = percentuale di foratura per l'i-esima piastra radiante.

α_i, β_i = coefficienti ricavati alternativamente dalle tabelle S.3-7 o S.3-8 in relazione al carico di incendio specifico q_f nella porzione d'edificio retrostante l'i-esima piastra radiante ed alle dimensioni della piastra radiante B_i ed H_i .

Figura 4.3. Procedura tabellare per il calcolo delle distanze di separazione. S3 CPI

Tabella S.3-7: Coefficienti α e β
per attività con carico d'incendio specifico $q_f > 1.200 \text{ MJ/m}^2$

B_i [m]	H_i [m]																			
	3		6		9		12		15		18		21		24		27		30	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
3	2,5	1,0	4,0	0,9	5,0	0,7	5,7	0,6	6,2	0,5	6,5	0,4	6,8	0,4	7,0	0,3	7,1	0,3	7,2	0,3
6	3,2	1,6	5,2	1,8	6,8	1,7	8,1	1,5	9,2	1,4	10,1	1,2	10,9	1,1	11,5	1,0	12,0	0,9	12,5	0,8
9	3,5	2,1	6,0	2,5	8,0	2,6	9,6	2,5	11,0	2,4	12,3	2,2	13,4	2,1	14,4	1,9	15,3	1,7	16,0	1,6
12	3,7	2,6	6,6	3,1	8,8	3,3	10,7	3,3	12,4	3,3	13,9	3,2	15,2	3,0	16,5	2,9	17,6	2,7	18,6	2,6

Figura 4.4. Procedura tabellare per il calcolo delle distanze di separazione. S3 CPI

Applicando quindi, la procedura tabellare per il calcolo delle distanze di separazione si ottiene il valore di 6,3; distanza inferiore rispetto alla distanza di sicurezza riportata nelle circolari analizzate.

4.3 Norme di sicurezza escluse nella Circolare del '56 ma previste nel Cpi.

Una delle strategie che non è stata presa in considerazione dalla direttiva del '56 risulta essere S7³⁰ rivelazione ed allarme, la quale permette di esplicitare i compiti di sorveglianza, rivelazione e diffusione dell'allarme di incendio. Nonostante ciò, il deposito di GPL o Acetilene, rientrando nella categoria Aree a rischio specifico, data la presenza di sostanze o miscele pericolose, verrà equipaggiato di un impianto IRAI con livello di prestazione pari a III. Un impianto IRAI con livello di prestazione pari a III si traduce in un impianto con funzioni principali: A, B, D, L, C.

A sta per: rivelazione automatica d'incendio

B sta per: funzione di controllo e segnalazione

D sta per: funzione di segnalazione manuale

L sta per: funzione di alimentazione

C sta per: funzione di allarme incendio

Inoltre, un impianto IRAI di lvl III dovrà presentare anche delle funzioni secondarie quali: E, F, G, H e N.

E sta per: Funzione di trasmissione dell'allarme incendio

F sta per: Funzione di ricezione dell'allarme incendio

G sta per: Funzione di comando del sistema o attrezzatura di protezione contro l'incendio

H sta per: Sistema o impianto automatico di protezione contro l'incendio

N sta per: Funzione di ingresso o uscita ausiliaria.

Immagini prese da slide prof chiavetta usb da slide 132 ci sono degli accorgimenti sui depositi mobili leggi.

La circolare del '56 non prende in considerazione, dati gli albori dell'evoluzione della disciplina Sicurezza e Prevenzione Incendi, la strategia S 5 riguardante la gestione della sicurezza antincendio (GSA), la quale permette grazie a uno scambio di informazioni tra progettista e responsabile dell'attività la redazione della Relazione Tecnica, ove si riportano tutte le informazioni indispensabili per la GSA sia in esercizio che in emergenza.

³⁰ <https://www.vigilfuoco.it/>

4.4 LEL e UEL

Gli acronimi Inglesi LEL³¹ e UEL indicano rispettivamente Lower explosive limit (**LEL**) e upper explosive limit (**UEL**). Per ogni gas tali limiti variano, nonostante la maggior parte dei gas presentino un limite di infiammabilità inferiore al 5% in volume. Il combustibile per dar vita alla reazione deve essere presente in determinate quantità come mostrato nella figura sottostante; difatti se il combustibile risulta essere in concentrazione inferiore al LEL la miscela risulta troppo magra per bruciare, mentre se è presente in concentrazione maggiore del UEL la miscela è troppo ricca e nemmeno in questo caso può bruciare.

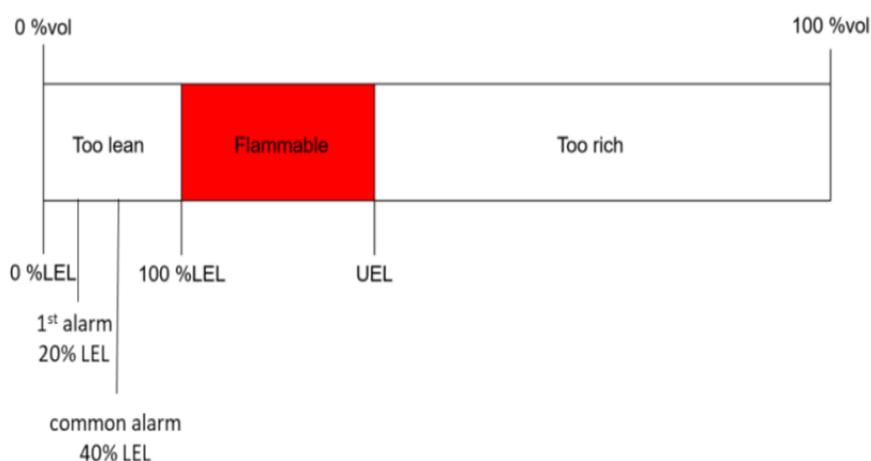


Figura 4.5. Grafico esplicativo limite superiore e inferiore di infiammabilità per i gas
(<https://www.crowcon.com/>)

Per far sì che avvenga un'esplosione o un incendio devono verificarsi la presenza contemporanea di tre elementi principali chiamato anche triangolo del fuoco ovvero gas che funge da combustibile, l'aria che rappresenta il comburente e la fonte di innesco che rappresenta la sorgente che apporta calore al sistema. Come riporta il CIG spesso gli scoppi delle bombole di GPL o Acetilene, determinano effetti a catena andando a incrementare il danno atteso. Le reazioni a catena che si verificano possono essere considerate il quarto elemento del triangolo del fuoco quindi determinando il cosiddetto tetraedro di incendio o anche chiamato diamante dell'incendio.

³¹ "Cos'è il LEL?" **Crowcon**

Figura 4.6. Tetraedro dell'incendio e diamante dell'incendio (<https://it.dreamstime.com/>)



I valori di LEL E UEL per l'Acetilene sono pari rispettivamente a: 2,3% - 100%; per il GPL invece i valori di LEL E UEL sono rispettivamente: 1,8% - 15%. I limiti di infiammabilità appena esposti sono stati ricavati attraverso una media svolta da diverse sds riportate nel capitolo di modellazione delle Flammable Area of Vapor Cloud con software Aloha. Dal confronto dei limiti di esplosività per i due gas considerati possiamo notare come l'intervallo di esplosione dell'Acetilene è nettamente maggiore a confronto con il GPL. I due acronimi inglesi LEL e UEL sono espressi in volume per cento e rappresentano rispettivamente il limite inferiore o meglio dire il volume minimo in aria per avere una miscela infiammabile; UEL indica invece la percentuale di combustibile in aria superata la quale non vi sia più la possibilità di avere una miscela infiammabile; di conseguenza un rilascio di acetilene in aria avrà una probabilità, dato l'immenso intervallo di infiammabilità, molto maggiore di trovare un innesco se rapportato ad uno stesso rilascio in aria di GPL.

**Cap.5 – Sviluppo di un caso studio con la
presenza di due depositi di gas
rispettivamente di GPL e Acetilene
trattati singolarmente**

5.1. Destinazione uso attività, localizzazione attività e analisi condizioni al contorno

L'Azienda G.F. S.r.l. con sede Campodarsego (PD) presenta le seguenti attività individuate nell'Allegato I del D.P.R. 1°Agosto 2011, n 151 quali:

- N°3, categoria B: rivendita di bombole di Gpl con capacità superiore a 500 kg,
- N°3, categoria B: rivendita di bombole di Acetilene con capacità superiore a 500 kg;
- N°53, categoria 1.B: officina riparazione veicoli a motore;
- Attività di uffici aperti al pubblico non rientrante nell'allegato I del DPR 151/2011 in quanto gli occupanti presenti sono in minor numero di 300
- N°36, categoria 1.B: deposito in legna da ardere in massa superiore a 50000 kg.



Figura 5.1. Foto vista dall'alto dell'azienda oggetto di studio (Google Earth)

5.1.1. Descrizione singole attività

L'attività di deposito legname viene contrassegnata da apposito rettangolo arancione. In questo locale viene depositata legna da ardere stoccata rispettivamente in 240 bancali di dimensioni 1,2 x 1 x 1,5 ottenuti sovrapponendo i bancali su due livelli raggiungendo così la quota max di 3 m. Nella parte nord del locale vengono inoltre stoccati 36 bancali di pellets anch'essi di dimensioni di 1,2 x 1 x 1,5. All'interno del locale vengono comunque assicurati dei corridoi di larghezza di 3 metri per permettere la movimentazione agevole delle merci mediante macchinari come muletti, ecc.

L'attività di autofficina per la riparazione dei veicoli a motore viene individuata da apposito rettangolo rosso. Tale attività risulta confinante con locale adibito a spogliatoio, individuato da rettangolo rosa. Data la differenza delle mansioni svolte nei due locali confinanti verrà posta tra essi apposita porta taglia fuoco per evitare spiacevoli situazioni.

L'attività di uffici aperti al pubblico con massima presenza occasionale prevista inferiore a 300 individui viene contrassegnata da apposito rettangolo giallo. Questo locale risulta essere decentrato rispetto alle restanti attività. Questo decentramento è conveniente in quanto si ipotizza un Profilo di Rischio Vita differente rispetto alle restanti attività perché è l'unica attività che consente l'accesso a individui estranei alle mansioni svolte all'interno dell'azienda.

Le attività di deposito e distribuzione di bombole di GPL e Acetilene vengono individuate da appositi rettangoli blu e azzurro. Tali depositi sono localizzati marginalmente all'attività per evitare che eventuali dispersioni possano incontrare ostacoli che determinino una stratificazione della nube.



Figura 5.2. Foto vista dall'alto con suddivisione blocchi per singole attività
(<https://www.google.it/maps>)

5.1.2. Inquadramento territoriale con analisi condizioni al contorno e climatiche

L'Azienda G.F. S.r.l. con sede in via C. 26, Campodarsego (PD) confina rispettivamente a Sud con vasti lotti di terreno privati lasciati incolti, tra cui un lotto di terreno di proprietà della OFFCAR the great cooking, azienda che si occupa della produzione di cucine tradizionali e cucine per il settore della ristorazione mentre, i restanti lotti risultano di proprietà privata. L'azienda oggetto di studio risulta essere confinante a Est con una linea ferroviaria, rispettivamente la linea ferroviaria di Campodarsego mentre a nord confina con altri lotti di terreno di proprietà privata. Ad Ovest, l'azienda si affaccia su pubblica via denominata appunto Via C. Analizzati i confini si deduce come le condizioni al contorno non risultano essere condizioni peggiorative e degne di particolari note con l'esclusione del lato Est che si trova ad affacciarsi sulla linea ferroviaria pubblica. I rischi derivanti da una localizzazione prossima ad una linea ferroviaria sono molteplici tra cui la presenza di eventuali scintille provocate dall'attrito tra pantografo e linea aerea.



Figura 5.3. Foto vista dall'alto con identificazione confini attività (Google Earth)

Le condizioni climatiche caratteristiche di Campodarsego in provincia di Padova, come riportato dal Weatherspark³², Azienda mondiale che si occupa della restituzione dei rapporti climatici per anno, mesi e giorni, riporta come le temperature medie vanno da una minima di -1°C a +31°C e solo raramente nei mesi più freddi le temperature minime possano raggiungere i -5°C e nei mesi più caldi la massima temperatura registrata è di +35°C.

Per quanto riguarda le precipitazioni, a Campodarsego la stagione piovosa dura circa 7-8 mesi dal mese di Marzo fino a Novembre. Il mese di Ottobre risulta essere il mese più piovoso dell'anno e viene registrata una media di circa 72 mm di pioggia.

Il vento, in questa zona localizzata tra le campagne padovane, subisce solo leggere variazioni stagionali; i mesi che risultano essere caratterizzati da maggiori intensità sono circa 4. (da Gennaio a Maggio con dei picchi registrati nel mese di Marzo di circa 10,1 km/h) Di fondamentale importanza, data la presenza di depositi di gas, è la determinazione della direzione principale del vento, nonostante questa cambi col variare delle stagioni, si registra, per circa 11 mesi l'anno, una direzione principale del vento da est, mentre per il restante mese si registra come direzione principale il nord. L'analisi della direzione principale del vento risulta essere un aspetto di particolare attenzione in quanto mediante lo studio di questa direzione si avrà cura di posizionare le aperture e le bocchette di aerazione dei depositi dal lato investito per più tempo dal vento in modo tale da avere una buona ventilazione sia all'interno del deposito che nell'area circostante.

³² "Weather Spark." <https://it.weatherspark.com/>

5.2. Profili di rischio delle attività analizzate

All'interno dell'area analizzata vengono svolte diverse attività per le quali vengono individuati, per ciascuna il profilo di Rischio Vita, mentre per l'intera realtà viene determinato il profilo di Rischio Beni e Rischio Ambiente.

Per la prima attività analizzata: deposito di legname e pellets, escludendo la presenza di personale non autorizzato all'attività e considerando una velocità caratteristica dell'incendio media, viene individuato un R.Vita pari ad A2

Per la seconda attività analizzata: autofficina, si esclude anche per questa la presenza occasionale di personale non autorizzato e, considerando una velocità caratteristica dell'incendio media, viene individuato un R. Vita pari ad A2

Per la terza attività analizzata: uffici aperti al pubblico, viene considerata la presenza di personale non autorizzato e, data la presenza di apparecchi elettronici e documenti cartacei, viene individuato un R. Vita pari ad B2

Per la quarta attività analizzata: deposito di bombole piene e vuote di GPL, viene esclusa la presenza di personale non autorizzato e, data la velocità caratteristica di un possibile incendio che coinvolga le bombole di Gpl, viene individuato un R. Vita pari ad A3

Per la quinta ed ultima attività analizzata: deposito di bombole piene e vuote di Acetilene, viene esclusa anche qui la presenza seppur occasionale di personale non autorizzato e, data la velocità caratteristica di un possibile incendio che coinvolga le bombole di Acetilene, viene individuato un R. Vita pari ad A3

Per la determinazione di tali profili di rischio viene utilizzata la seguente tabella contenuta all'interno del Codice di Prevenzione Incendi:

Caratteristiche prevalenti degli occupanti δ_{occ}		Velocità caratteristica prevalente dell'incendio δ_a			
		1 lenta	2 media	3 rapida	4 ultra-rapida
A	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	A1	A2	A3	A4
B	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	B1	B2	B3	Non ammesso [1]
C	Gli occupanti possono essere addormentati: [2]	C1	C2	C3	Non ammesso [1]
Ci	• in attività individuale di lunga durata	Ci1	Ci2	Ci3	Non ammesso [1]
Cii	• in attività gestita di lunga durata	Cii1	Cii2	Cii3	Non ammesso [1]
Ciii	• in attività gestita di breve durata	Ciii1	Ciii2	Ciii3	Non ammesso [1]
D	Gli occupanti ricevono cure mediche	D1	D2	Non ammesso [1]	Non ammesso
E	Occupanti in transito	E1	E2	E3	Non ammesso [1]

[1] Per raggiungere un valore ammesso, δ_a può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3 del paragrafo G.3.2.1.

[2] Quando nel presente documento si usa il valore C1 la relativa indicazione è valida per Ci1, Cii1 e Ciii1. Se si usa C2 l'indicazione è valida per Ci2, Cii2 e Ciii2. Se si usa C3 l'indicazione è valida per Ci3, Cii3 e Ciii3.

Figura 5.4. <https://www.vigilfuoco.it/>

Per la determinazione invece del profilo di rischio beni viene adoperata la tabella sottostante anch'essa presente nel Codice di Prevenzione Incendi:

		Attività o ambito vincolato	
		No	Si
Attività o ambito strategico	No	$R_{beni} = 1$	$R_{beni} = 2$
	Si	$R_{beni} = 3$	$R_{beni} = 4$

Figura 5.5. <https://www.vigilfuoco.it/>

Per tale azienda denominata appunto G.F. S.r.l. non essendo né in ambito strategico né sottoposta a vincoli viene individuato un Profilo di Rischio beni pari ad: 1

Per la determinazione dell'ultimo profilo di Rischio, quello Ambientale, si tiene in considerazione la distanza da strutture sensibili come asili, ospedali, scuole e case di riposo, il quantitativo e la tipologia dei materiali presenti nell'attività e le misure di protezione e prevenzione adottate. La scuola più vicina all'attività analizzata è collocata a circa 900 m in linea d'aria; l'asilo più vicino si trova a circa 950 m in linea d'aria, la casa di riposo più vicina si trova a 1,10 km e l'ospedale più vicino risulta essere a circa 4,5 km dall'azienda G.F. S.R.L. Considerando quindi tali distanze, le misure di prevenzione e protezione adottate e il quantitativo effettivo di gas combustibile stoccato, si individua un Profilo di Rischio Ambiente non significativo.

5.3. Modellazione del termine sorgente

Per la modellazione del termine sorgente sono stati adoperati i dati forniti dal software Aloha. Il software, immettendo come dati in input il totale della sostanza rilasciata in atmosfera e stimando una durata del rilascio, fornisce il rateo di rilascio corrispondente. Per questa simulazione è stato ipotizzato un quantitativo di sostanza rilasciata pari a 3 kg di acetilene, ovvero il contenuto di acetilene all'interno di un'unica bombola, stimando quindi una durata di rilascio di un minuto fino all'esaurimento di tutta la sostanza coinvolta il software restituisce un rateo di rilascio pari a 50 grammi/secondo che, convertito in kg/s, vale 0,05 kg/sec.

```
SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 3 kilograms           Source Height: 0
  Release Duration: 1 minute
  Release Rate: 50 grams/sec
  Total Amount Released: 3.00 kilograms
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
        Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.
```

Figura 5.6. Modellazione termine sorgente con ALOHA (<https://www.epa.gov/comeo/aloha-software>)

Definito il rateo di rilascio, viene ipotizzato che questo avvenga da un orifizio circolare di raggio di circa 1 cm avente area, quindi, pari a $0,000314 \text{ m}^2$. Dividendo quindi, il rateo di rilascio per l'area rappresentata dall'orifizio di 1 cm, si ottiene il flusso da una bombola che è pari appunto a $159,2359 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$. Verrà assunto un flusso di circa $160 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$.

Si è adoperata la medesima metodologia per la determinazione del flusso in $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$ da una bombola di Gpl, determinando quindi un rateo di rilascio pari a $0,417 \text{ kg/s}$. Si considera, che anche per questa casistica, il rilascio avvenga da un orifizio circolare di raggio di 1 cm, che determina quindi, un flusso da una bombola commerciale di Gpl di $1328 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$. La bombola di gpl viene ipotizzata riempita con circa 25 kg di prodotto.

```
SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 25 kilograms           Source Height: 0
  Release Duration: 1 minute
  Release Rate: 417 grams/sec
  Total Amount Released: 25.0 kilograms
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
```

Figura 5.7. Caratteristiche fonte di rilascio modellata da Aloha (<https://www.epa.gov/comeo/aloha-software>)

5.4. Analisi dispersione sostanza con Software Aloha

Mediante l'utilizzo del Software Aloha (Areal Location of Hazardous Atmospheres) si è potuto indagare sull'area ritenuta pericolosa, considerato il rilascio, in una casistica da una bombola di acetilene di 3kg e da una bombola di gpl da 25 kg.

Come primo Step, il programma di dispersione Aloha permette di inserire la Location mediante la seguente scheda dati di inserimento.

Location Input

Enter full location name:

Location is

Is location in a U.S. state or territory ?

In U.S. Not in U.S.

Enter approximate elevation

Elevation is ft m

Enter approximate location

	deg.	min.		
Latitude	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="30"/>	<input checked="" type="radio"/> N	<input type="radio"/> S
Longitude	<input type="text" value="11"/>	<input type="text" value="53"/>	<input checked="" type="radio"/> E	<input type="radio"/> W

Figura 5.8. Finestra Aloha per l'inserimento della località ove si voglia rappresentare la simulazione (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Come secondo step, il programma permette l'inserimento di dati relativi alle caratteristiche costruttive dell'edificio analizzato e le caratteristiche al contorno riguardo la presenza o meno di alberi o centri abitati (palazzi, campi, parchi ecc).

Infiltration Building Parameters

Select building type or enter exchange parameter Help

Enclosed office building
 Single storied building
 Double storied building
 No. of air changes is per hour

Select building surroundings Help

Sheltered surroundings (trees, bushes, etc.)
 Unsheltered surroundings

Figura 5.9. Finestra Aloha per inserimento caratteristiche della costruzione ove avviene la simulazione (<https://www.epa.gov/comeo/aloha-software>)

Allo step numero 3 il programma permette di sintonizzare o meno l'orario, in modo tale da poter fare delle simulazioni di rilascio, nel tempo che si vuole indagare. La seguente scheda dati permette l'inserimento di ora, giorno e anno.

Date and Time Options

You can either use the computer's internal clock for the model's date and time, or set a constant date and time.

Use internal clock Set a constant time

Input a constant date and time :

Month	Day	Year	Hour	Minute
<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="2023"/>	<input type="text" value="17"/>	<input type="text" value="12"/>
(1 - 12)	(1 - 31)	(1900 - ...)	(0 - 23)	(0 - 59)

Figura 5.10. Finestra Aloha per l'inserimento di data e ora (<https://www.epa.gov/comeo/aloha-software>)

Questi 3 step risultano essere essenziali per la modellazione della simulazione e insieme formano gli step iniziali del SiteData. (Figura 5.11.)

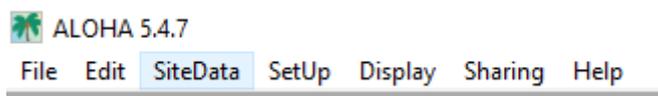


Figura 5.11.

Mediante i dati di Setup si possono inserire informazioni relative la sostanza chimica utilizzata, le condizioni atmosferiche e la fonte del rilascio. (Figura 5.12)

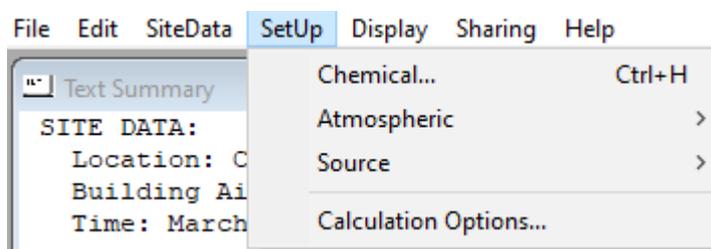
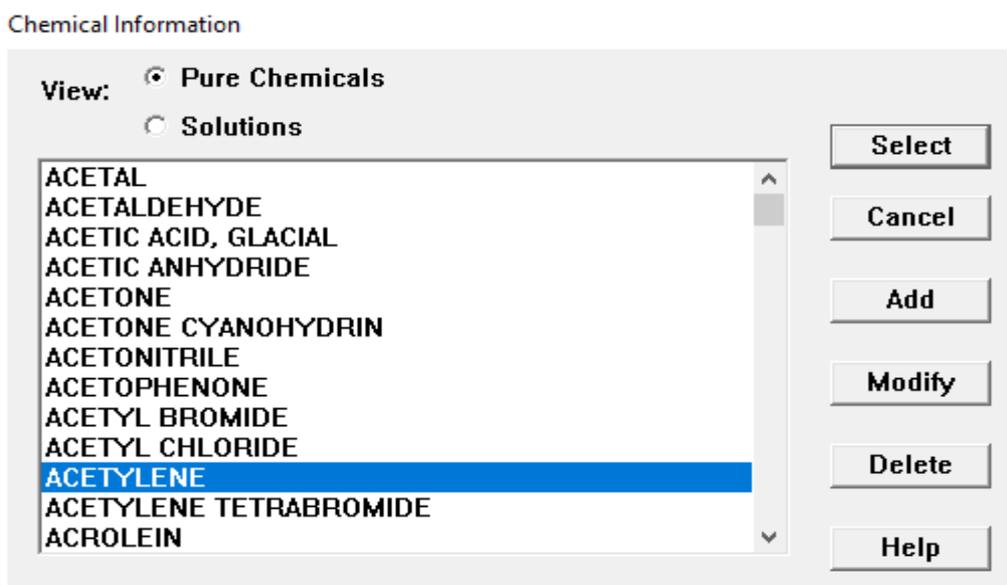


Figura 5.12. Finestra Aloha per inserimento informazioni e dati di Setup
(<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Per l'inserimento della sostanza chimica analizzata il Software permette, nel caso non fosse già presente in elenco, l'inserimento manuale della sostanza con le relative caratteristiche; l'acetilene risulta già essere nell'elenco delle sostanze analizzate dal software, infatti, è bastata la ricerca e la selezione della sostanza chimica come segue:

Figura 5.13. Finestra Aloha per inserimento sostanza trattata (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)



Il gas di petrolio liquefatto non è presente nel database di Aloha, di conseguenza è stata selezionata la sostanza più simile a questa. Essendo tale miscela, formata da propano e butano, è stata scelta come sostanza rappresentativa del rilascio il Propano, sostanza già presente in elenco.

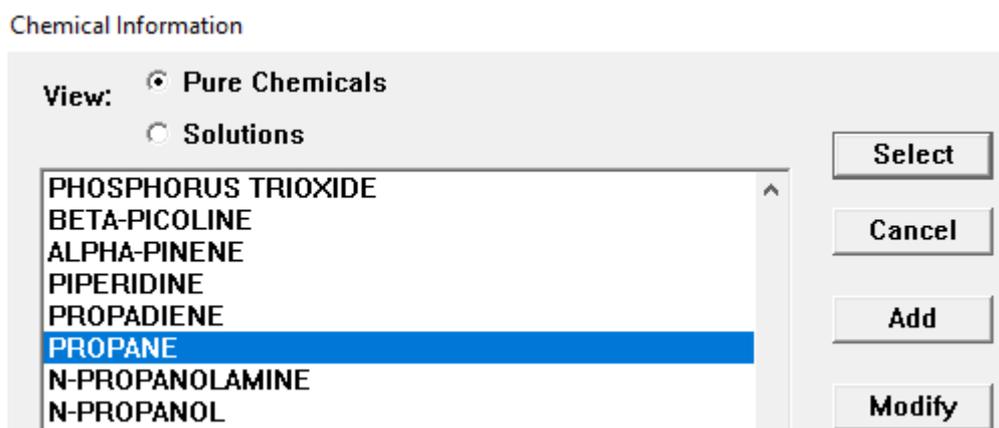


Figura 5.14. Finestra Aloha per inserimento sostanza trattata (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Come step Numero 2 dei dati di SetUp, vi è l'inserimento dei dati relativi all'atmosfera individuando direzione e velocità del vento, l'umidità in percentuale e altre caratteristiche fondamentali come quelle mostrate nelle due finestre di dialogo di Aloha.

Figura 5.15. Finestra 1 di Aloha per inserimento dati e caratteristiche atmosferiche

Atmospheric Options

Wind Speed is : knots mph meters/sec

Wind is from : Enter degrees true or text (e.g. ESE)

Measurement Height above ground is:

  OR enter value : feet meters

Ground Roughness is :

Open Country Urban or Forest OR Input Roughness (Zo) :

Open Water

Select Cloud Cover :

complete cover partly cloudy clear OR enter value : [0 - 10]

(<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Atmospheric Options 2

Air Temperature is : Degrees F C

Stability Class is : A B C D E F

Inversion Height Options are :

No Inversion Inversion Present, Height is : feet meters

Select Humidity :

wet medium dry OR enter value : % [0 - 100]

Figura 5.16. Finestra 2 di Aloha per inserimento dati e caratteristiche atmosferiche

(<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

La fonte del rilascio viene analizzata secondo le seguenti scelte:

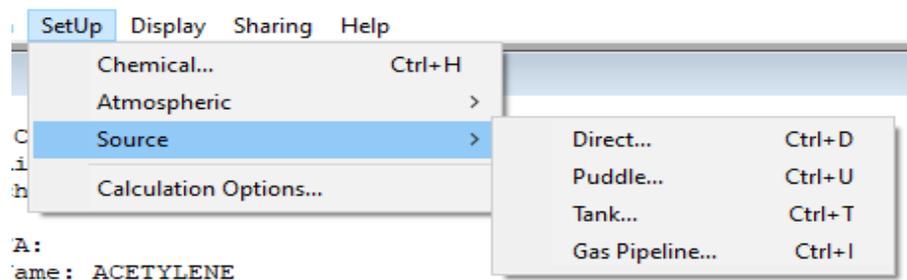


Figura 5.16. Finestra di Aloha per inserimento fonte di rilascio (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Come fonte di rilascio, in un primo momento è stato modellato un Tank, caso più veritiero in quanto si sta analizzando una fuoriuscita accidentale di una bombola in Via C. 26, Campodarsego (PD) ove vi è un deposito sia di bombole di acetilene e sia un deposito di bombole di Gpl. Si è deciso di simulare rispettivamente sia la fuoriuscita da una bombola di acetilene sia da una bombola di gpl, ma non contemporaneamente, in quanto, tale casistica risulterebbe inverosimile. Il software Aloha non permette la simulazione di una sola bombola di acetilene o gpl per i quantitativi irrilevanti di dispersione per cui è stata ridefinita la fonte della dispersione e per quantitativi di 3kg di Acetilene o 25 di GPL è risultata più adatta come fonte per la simulazione, una fonte Direct.

Inseriti tutti questi dati in input, è possibile quindi selezionare lo scenario che si vuole analizzare come segue:

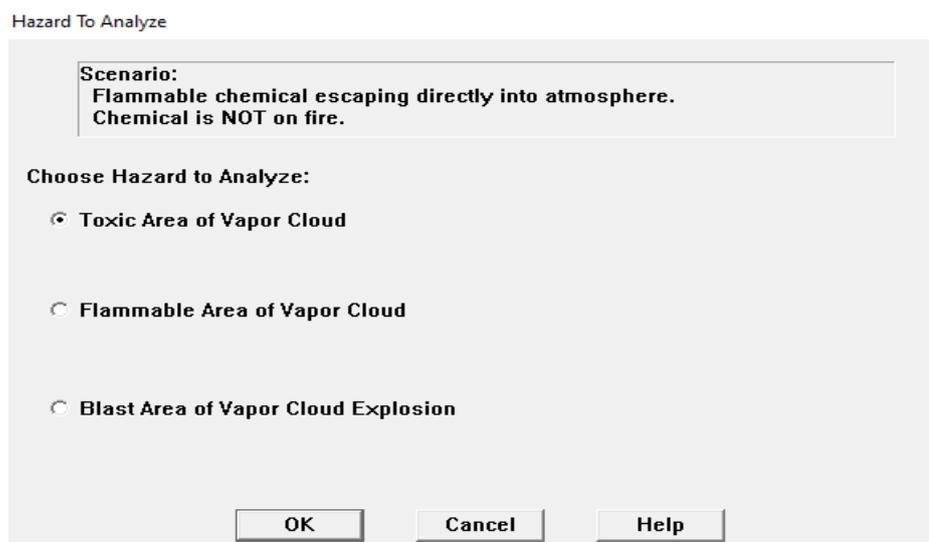


Figura 5.17. Finestra di Aloha per la scelta dei rischi che si voglia rappresentare in simulazione (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Gli scenari che il Software Aloha permette di analizzare sono rispettivamente:

- TOXIC AREA OF VAPOR CLOUD
- FLAMMABLE AREA OF VAPOR CLOUD
- BLAST AREA OF VAPOR CLOUD

5.4.1 Modellazione con Aloha delle Toxic Area Of Vapor Cloud c2h2

Definiti tutti i dati in input richiesti dal Software Aloha per la modellazione del rilascio analizzato, si analizza lo scenario di interesse.

Come primo scenario si è deciso di cominciare con l'analisi delle aree soggette a rilascio di acetilene analizzandone i possibili effetti tossici dovuti all'inalazione accidentale del Gas studiato.

Per definire i limiti di tossicità da indagare per l'acetilene sono state adoperate diverse SDS, in quanto in ogni scheda, alla sezione 8 sono riportate informazioni riguardo il Controllo esposizione e protezione individuale mentre nella sezione 11 sono riportate le informazioni tossicologiche del gas. La sezione 8 riporta come parametro di controllo il DNEL ovvero il livello derivato senza effetti sull'uomo cioè quello a cui un essere umano può essere esposto garantendo un utilizzo sicuro della sostanza trattata. La sezione 11 invece fornisce come parametro di controllo il LOAEC che indica il "lowest Observed Adverse Effect Concentration" ovvero la più bassa concentrazione di affetti avversi.

Come riporta ad esempio il Gruppo Sapio nella SDS dell'acetilene: *"L'acetilene ha una bassa tossicità per inalazione, il LOAEC per una leggera intossicazione nell'uomo senza effetti residui è di 100000 ppm (107.000 mg/m³). Non ci sono dati relativi alla tossicità orale e cutanea (non sono tecnicamente fattibili studi in quanto la sostanza è un gas a temperatura ambiente)"*.

Definito quindi sia il parametro DNEL di 2500 ppm e LOAEC di 100000 ppm le Threat Zone sono state modellate seguendo questi limiti; è stato inoltre necessario per avere un riscontro grafico, per l'esportazione dei risultati da Aloha su Google Earth, inserire un ulteriore Threat zone indagando su circa 800 ppm di sostanza rilasciata; tale quantità è stata individuata solo ai fini della rappresentazione.

11.1. Informazioni sugli effetti tossicologici

Tossicità acuta

: L'acetilene ha una bassa tossicità per inalazione, il LOAEC per una leggera intossicazione nell'uomo senza effetti residui è di 100000ppm (107000 mg/m³).
Non ci sono dati relativi alla tossicità orale e cutanea (non sono tecnicamente fattibili studi dato che la sostanza è un gas a temperatura ambiente).
I criteri di classificazione non sono soddisfatti.

Figura 5.18. Sezione 11 SDS acetilene distribuito da Sapio Group (<https://www.sapio.it>)

acetilene (disciolto) (74-86-2)	
DNEL: Livello derivato senza effetto (lavoratori)	
Acuta - effetti sistemici, inalazione	2675 mg/m ³
A lungo termine - effetti sistemici, inalazione	2675 mg/m ³

Figura 5.19. Sezione 8 Sds Acetilene distribuito da Sapio Group (<https://www.sapio.it>)

Toxic Level of Concern

Select Toxic Level of Concern:

Red Threat Zone
 LOC: 2500
 ppm
 milligrams/cubic meter
 milligrams/liter
 grams/cubic meter

Orange Threat Zone
 LOC: 100000
 ppm
 milligrams/cubic meter
 milligrams/liter
 grams/cubic meter

Yellow Threat Zone
 LOC: 800
 ppm
 milligrams/cubic meter
 milligrams/liter
 grams/cubic meter

Show wind direction confidence lines:
 only for longest threat zone
 for each threat zone

Figura 5.20. Finestra di Aloha per la definizione delle Threat Zone in funzione dei ppm selezionati (<https://www.epa.gov/comeo/aloha-software>)

Definiti i limiti in parti per milioni delle zone classificate come Red, Orange e Yellow il Software restituisce per ogni zona analizzata l'estensione massima del rilascio in funzione anche della direzione del vento; parametro fondamentale per poter comprendere gli eventuali spostamenti di gas rilasciato in atmosfera.

```

THREAT ZONE:
Model Run: Gaussian
Red : 41 meters --- (2500 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Orange: less than 10 meters(10.9 yards) --- (100000 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Yellow: 72 meters --- (800 ppm)

```

Figura 5.21. Finestre risultati di Aloha dove vengono riportate le estensioni della nube rilasciata (<https://www.epa.gov/comeo/aloha-software>)

Il Software restituisce le Threat zone analizzate con le relative estensioni; per la Threat zone Red, che corrisponde al Parametro DNEL di 2500 ppm l'estensione della nube raggiunge 41 m, interessando quindi anche le attività circostanti al deposito di gas; infatti, il corpo centrale dell'azienda oggetto di studio è localizzato a circa 35 m dal deposito. Nonostante le attività circostanti possano essere occupate da una nube con concentrazione pari a 2500 ppm non si registrano effetti avversi sull'uomo in quanto, tale Threat Zone rappresenta una zona interessata da rilascio ma senza effetti nocivi sull'uomo. La threat zone Orange ha un'estensione di poco meno di 10 m, estensione nettamente inferiore rispetto alla Red Zone in quanto i ppm indagati sono di molto aumentati da 2500 a 100000 ppm. In questa zona, corrispondente al raggiungimento del parametro LOAEC, si possono osservare sull'uomo, effetti di intossicazione senza però effetti residui.

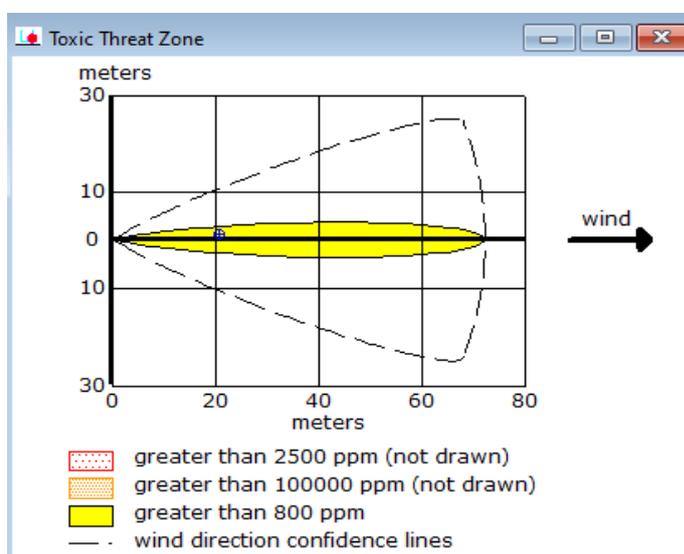


Figura 5.22. Finestra risultati Aloha rappresentate le distanze di estensione della nube (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Il software fornisce inoltre, selezionato un punto all'interno del rilascio, le concentrazioni registrate; indagando quindi nelle immediate vicinanze della fonte di rilascio si può notare, dallo screen riportato, come i livelli registrati, nelle immediate vicinanze del rilascio possano raggiungere concentrazioni anche maggiori quelle indagate seppur per un tempo limitato che si può stimare duri circa 1-2 minuti.

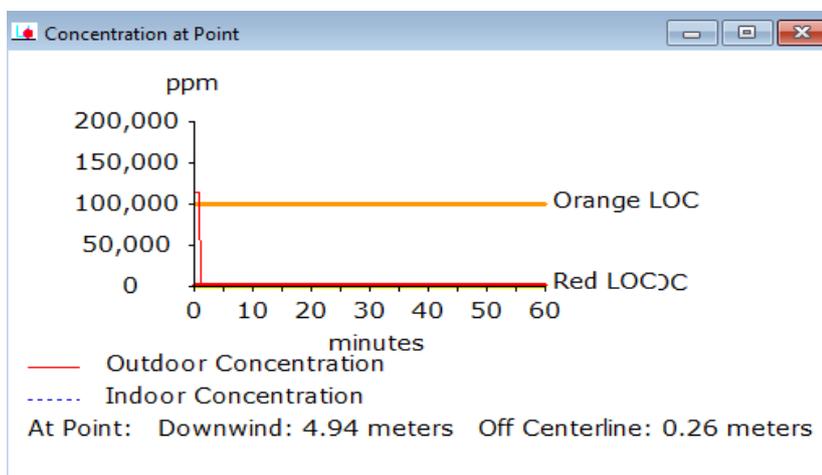


Figura 5.23. Analisi concentrazione nelle immediate vicinanze del rilascio (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

L'acetilene se inalato in grandi quantità può portare all'asfissia, ma se inalato in basse concentrazioni ha effetti narcotici. Nell'ipotesi quindi di rilascio accidentale con dispersione in atmosfera di Acetilene ne consegue che qualsiasi operatore si avvicini o provi a bloccare la fuoriuscita del gas, sia per lo meno protetto con appositi dpi per le vie respiratorie nonostante l'azione di chiusura della valvola richieda un tempo limitato di azione.



Figura 5.24. Risultati Aloha esportati in Google Earth (<https://www.google.it/intl/it/earth/>)

Con la prima simulazione è stato ipotizzato che avvenisse un rilascio accidentale da un'unica bombola di Acetilene e che il vento avesse come direzione predominante la direzione peggiorativa ovvero che tutta la nube venisse spinta verso il primo fabbricato contrassegnato da apposito rettangolo rosso ove viene svolta l'attività di autofficina, dove vi è una presenza di personale addetto alla mansione appena citata. Si vuole rappresentare anche la fuoriuscita accidentale da 5 bombole per un totale di sostanza coinvolta di 15 kg. Ragionevolmente ci si aspetta un'estensione delle Threat Zone. Tutte le caratteristiche inserite nel software sono rimaste invariate ad esclusione appunto del quantitativo coinvolto nella simulazione come si può notare dallo screen sotto riportato.

```
SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 15 kilograms           Source Height: 0
  Release Duration: 1 minute
  Release Rate: 250 grams/sec
  Total Amount Released: 15.0 kilograms
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
        Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.
```

Figura 5.25. Screen delle modifiche svolte per la seconda simulazione delle toxic area of vapor cloud (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Aumentando i quantitativi di sostanza dispersa anche le Threat zone analizzate sono aumentate; infatti la Red zone che prima aveva un'estensione di soli 41 metri si è più che raddoppiata mentre per l'Orange zone da poco meno di 10 m ora arriva fino a 14 metri.

```
THREAT ZONE:
  Model Run: Gaussian
  Red   : 92 meters --- (2500 ppm)
  Orange: 14 meters --- (100000 ppm)
  Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
        make dispersion predictions less reliable for short distances.
  Yellow: 163 meters --- (800 ppm)
```

Figura 5.26. Finestra risultati di Aloha dove vengono riportate le estensioni della nube rilasciata (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Dai risultati ottenuti si nota come la Red Zone abbia un'estensione che ricopre tutto il fabbricato lungo il suo lato corto. Viene indagato su un quantitativo in ppm che non può determinare effetti nocivi sull'uomo ma solo fastidio in quanto i ppm indagati sono solo 2500, nonostante ciò bisognerà monitorare un eventuale rilascio in quanto gli effetti potrebbero interessare anche i fabbricati privati presenti ai confini dell'azienda analizzata. Questa situazione simulata si discosta da una possibile situazione reale in quanto si sta ipotizzando che nello stesso momento 5 bombole di acetilene abbiano una perdita, per lavorare e operare in sicurezza viene comunque consigliata l'installazione di presidi di sicurezza quali sensori con allarmi, i quali captando la fuoriuscita possano segnalare questa dando la possibilità agli addetti di interrompere tale fuoriuscita e operare in maniera tempestiva.

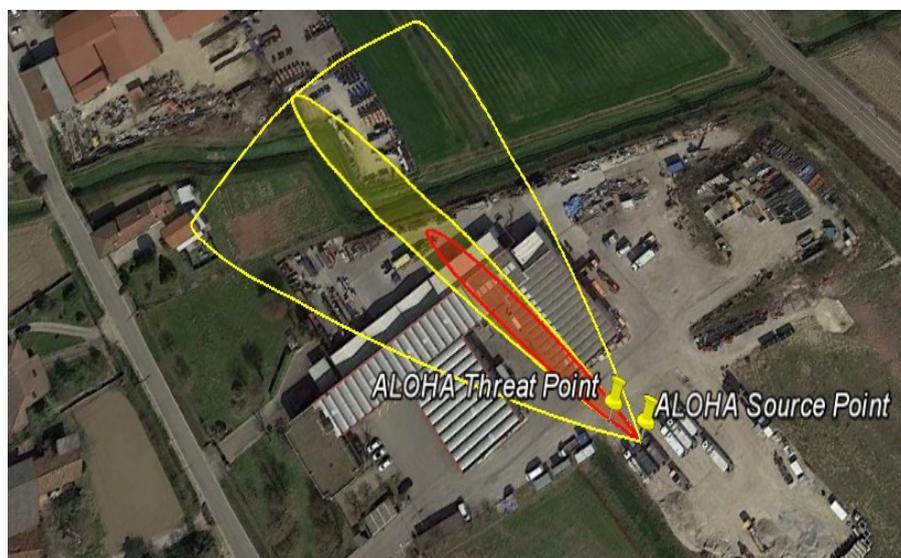


Figura 5.27. Risultati Aloha esportati in Google Earth (<https://www.google.it/intl/it/ea>)

5.4.2. Modellazione con Aloha delle Flammable Area of Vapor Cloud c2h2

Per procedere con la modellazione delle Flammable Area of Vapor Cloud innanzitutto sono state analizzate diverse SDS per poter andare ad inserire i ppm esatti per ogni Threat Zone analizzata. Le schede di sicurezza analizzate sono rispettivamente la SDS del Gruppo Sapio, la SDS del Gruppo SIAD, la SDS di SOLgroup e la SDS della MedicAir Industry. Di tali schede di sicurezza viene analizzata la sezione 9: Proprietà Fisiche e Chimiche. In tale sezione vengono confrontati i vari Limiti di Infiammabilità o Esplosività riportati, in quanto tali limiti corrispondono ai limiti inseriti per la visualizzazione delle estensioni della nube.

SEZIONE 9. Proprietà fisiche e chimiche	
9.1. Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali	
Aspetto	
Stato fisico a 20°C / 101.3kPa	: Gas.
Colore	: Incolore.
Odore	: Odore di aglio. Poco avvertibile a basse conce
Soglia olfattiva	: La soglia olfattiva è soggettiva e inadeguata p
pH	: Non applicabile.
Massa molecolare [g/mol]	: 26
Punto di fusione / Punto di congelamento	: 11.1
Punto di fusione [°C]	: -80.8
Punto di ebollizione [°C]	: -84 (s)
Temperatura critica [°C]	: 35
Punto di infiammabilità [°C]	: Non applicabile per i gas e le miscele di gas.
Velocità d'evaporazione (ether=1)	: Non applicabile per i gas e le miscele di gas.
Limiti di infiammabilità [vol % in aria]	: 2.3 - 100

Figura 5.28. SDS del Gruppo Sapio (<https://www.sapio.it>)

SEZIONE 9: Proprietà fisiche e chimiche	
9.1. Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali	
Aspetto	
- Stato fisico a 20°C / 101.3kPa	: Gassoso
- Colore	: Incolore.
Odore	: Odore di aglio. Poco avvertibile a basse conce
Soglia olfattiva	: La soglia olfattiva è soggettiva e inadeguata p
pH	: Non applicabile per i gas e le miscele di gas.
Punto di fusione / Punto di congelamento	: -80,8 °C
Punto di ebollizione	: -84 °C
Punto di infiammabilità	: Non applicabile per i gas e le miscele di gas.
Velocità di evaporazione	: Non applicabile per i gas e le miscele di gas.
Infiammabilità (solidi, gas)	: Gas altamente infiammabile.
Limiti di infiammabilità o esplosività	: 2,3 – 100 vol %

Figura 5.29. SDS Gruppo SIAD (<https://www.siad.com>)

SEZIONE 9: proprietà fisiche e chimiche

9.1. Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali

Aspetto	
- Stato fisico a 20°C / 101.3kPa	: Gassoso
- Colore	: Incolore.
Odore	: Odore di aglio. Poco avvertibile a basse conce La soglia olfattiva è soggettiva e inadeguata pi
pH	: Non applicabile per i gas e le miscele di gas.
Punto di fusione / Punto di congelamento	: -80,8 °C
Punto di ebollizione	: -84 °C
Punto di infiammabilità	: Non applicabile per i gas e le miscele di gas.
Infiammabilità	: Gas altamente infiammabile.
Limiti di infiammabilità o esplosività	: 2,3 – 100 vol %
Limite inferiore di esplosività (LEL)	: 2,3
Limite superiore di esplosività (UEL)	: 100

Figura 5.30. SDS di SOLgroup (<https://www.caldarini-gas.it>)

SEZIONE 9: proprietà fisiche e chimiche

9.1 Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali

Aspetto:	
a) Stato fisico	gas (a 20°C and 1013 hPa)
Colore	incolore
b) Odore:	odore di aglio. Poco avvertibile
c) Soglia olfattiva:	la soglia di odore è soggettiva un'esposizione eccessiva
d) pH:	Non applicabile
e) Punto di fusione/punto di congelamento:	-80,8 °C
f) Punto di ebollizione iniziale e intervallo di ebollizione:	-84,7 °C
g) Punto di infiammabilità:	Non applicabile ai gas e alle mis
h) Velocità di evaporazione:	Non applicabile ai gas e alle mis
i) Infiammabilità (solidi, gas):	estremamente infiammabile
j) limiti superiori/inferiori di infiammabilità o	2,3 - 77 vol %

Figura 5.31. SDS della MedicAir Industry (<https://www.medicairindustry.com>)

Dall'analisi delle quattro schede di sicurezza si nota come tutte le aziende o i distributori abbiano individuato lo stesso limite inferiore di infiammabilità, corrispondente al 2,3% che trasformato in parti per milione risulta 23000 ppm.

Per il limite di infiammabilità superiore, 3 schede di sicurezza su 4 riportano il 100% mentre solo una sds riporta il 77% in volume.

I dati in input inseriti per la modellazione e analisi delle Toxic Area of Vapor Cloud sono rimasti immutati: viene considerato in un primo momento un rilascio di 3 kg di sostanza per poi successivamente simulare un rilascio di 15 kg di sostanza. Le uniche modifiche apportate alla simulazione per l'analisi delle Flammable Area riguardano la scelta del rischio che si vuole analizzare e i limiti inseriti per la visualizzazione delle Threat zone.

I limiti inseriti che vanno a formare le Threat zone sono:

- Red Threat Zone = LEL 2,3%
- Orange Threat Zone = 50% LEL
- Yellow Threat Zone = 10% LEL

Flammable Level of Concern

Select Flammable Level of Concern:

Red Threat Zone

LOC:

percent by volume
 ppm

Orange Threat Zone

LOC:

percent by volume
 ppm

Yellow Threat Zone

LOC:

percent by volume
 ppm

Figura 5.32. Finestra dialogo Aloha per l'immissione dei limiti delle Threat Zone
 (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

È stato necessario inserire la Threat Zone relativa al 10% del LEL per avere una restituzione grafica dei risultati mentre il limite superiore di infiammabilità non è stato necessario inserirlo in quanto non vengono raggiunte tali concentrazioni da un rilascio di 3 o 15 kg di sostanza.

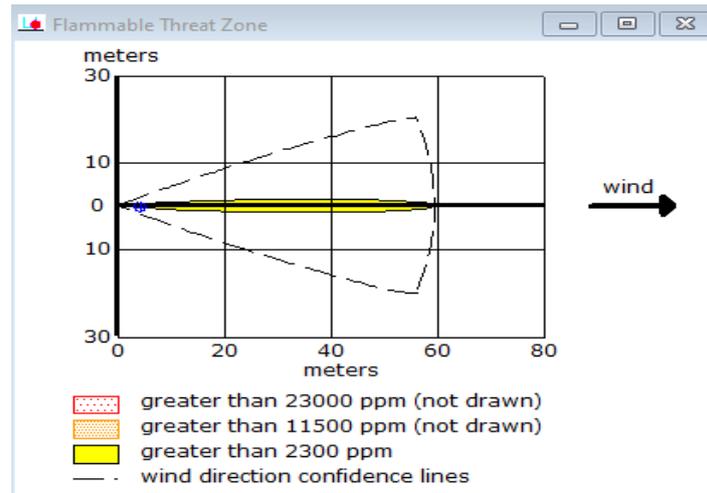


Figura 5.33. Risultati restituiti da Aloha riguardo le estensioni delle flammable area
(<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Il software rappresenta e quindi restituisce la zona corrispondente al 10% del LEL, tale dato non esclude la presenza di Acetilene in quantità diverse da quella rappresentata da Aloha; infatti, se si indaga nelle immediate vicinanze della fonte di rilascio, il software permette una quantificazione dei ppm registrati mediante tale scheda restituita dal Software.

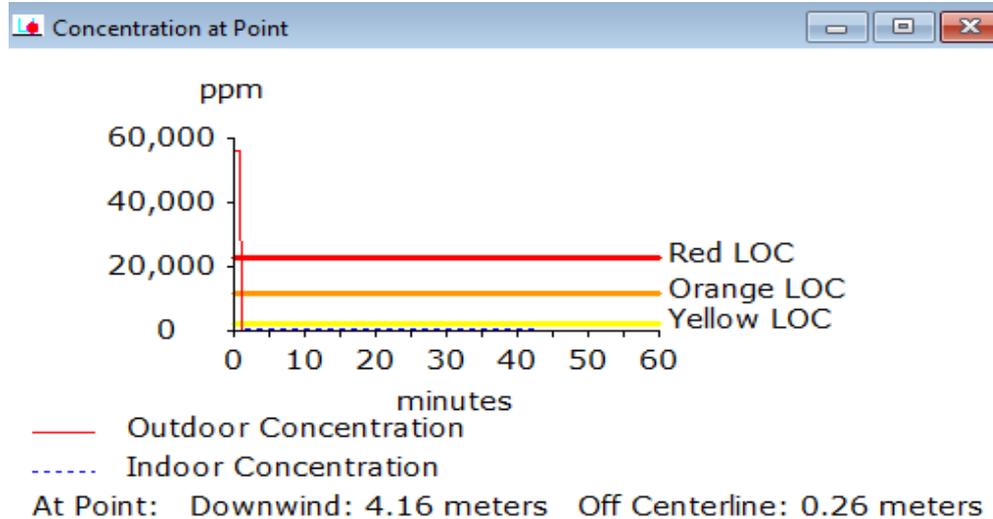


Figura 5.34. Risultati delle concentrazioni registrate nelle vicinanze della fonte di rilascio
(<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Selezionando quindi un punto all'interno del rilascio, Aloha fornisce i ppm registrati; scegliendo un punto nelle immediate vicinanze si nota dallo screen sopra riportato, come seppur per pochi minuti i ppm indagati sono superiori rispetto alla Red LOC, inserita manualmente e corrispondente al LEL. Per circa un minuto, vicino alla fonte di rilascio, vengono registrate quantità circa di 60000 ppm. Tale dato indica che si è all'interno del range dei Limiti di infiammabilità, quindi nel caso la nube di gas disperso trovi ignizione la combustione può avvenire.



Figura 5.35. Risultati Aloha riportati in Google Earth (<https://www.google.it/intl/it/earth/>)

Nonostante il simulatore rappresenti solo la Yellow Threat Zone sono presenti anche le altre Threat Zone analizzate infatti, nonostante non vengano rappresentate, il Software restituisce le estensioni di queste come si può leggere dallo screen riportato di seguito.

```

THREAT ZONE:
Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
Model Run: Gaussian
Red   : 19 meters --- (23000 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Orange: 27 meters --- (11500 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Yellow: 60 meters --- (2300 ppm)
  
```

Figura 5.36. Finestra risultati Aloha dove vengono riportate le estensioni della nube indagata (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Si ha quindi un'estensione di 19 metri che raggiunge il limite di infiammabilità inferiore dell'Acetilene, ne consegue che per 19 m intorno al deposito da cui proviene la "perdita" vi sarà la possibilità di verificarsi un incendio.

L'azione diluente del vento permette quindi una diluizione della sostanza dispersa in atmosfera; infatti, l'Orange Threat Zone avrà un'estensione di 27 metri, raggiungendo quindi il primo fabbricato nelle vicinanze del deposito analizzato. Il raggiungimento del 50% del LEL dato un rilascio da una singola bombola di 3 kg funge da "campanello d'allarme" per le mansioni svolte, difatti ci si aspetta che aumentando il quantitativo disperso in atmosfera, la nube che raggiungerà il fabbricato non avrà una concentrazione del 50% o del 10% del LEL bensì ci si aspetta un raggiungimento del LEL, entrando quindi nel range di infiammabilità anche per le mansioni svolte nelle vicinanze del deposito.

Indagando sulle estensioni dato un rilascio da una singola bombola si analizza l'estensione di una nube nell'ipotesi di rilascio contemporaneo da 5 bombole per un totale di sostanza coinvolta di 15 kg.

Come per le altre simulazioni i dati in input inseriti in Aloha rimangono immutati per poter confrontare le situazioni analizzate.

```
THREAT_ZONE:  
Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud  
Model Run: Gaussian  
Red   : 42 meters --- (23000 ppm)  
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness  
      make dispersion predictions less reliable for short distances.  
Orange: 60 meters --- (11500 ppm)  
Yellow: 135 meters --- (2300 ppm)
```

Figura 5.37. Finestra Risultati estensione nube con 15 kg di sostanza dispersa
(<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Come ci si aspettava, le Threat Zone studiate si sono estese in quanto la sostanza rilasciata è aumentata. In un rilascio quindi che coinvolga 5 bombole di acetilene si raggiunge il limite di infiammabilità inferiore, condizione sufficiente per poter sfociare in un incendio, per 42 metri.

Figura 5.38. Risultati Aloha riportati in Google Earth (<https://www.google.it/intl/it/earth/>)



Come si nota dai risultati riportati in Google Earth, l'Orange Threat Zone corrispondente al 50% del LEL, avrà un'estensione tale da interessare sia il primo fabbricato ove viene svolta la mansione di autofficina ma anche quella adiacente, locale destinato a spogliatoio dei lavoratori.

Per ogni prova ne viene anche simulata un'altra modificando determinati parametri tra cui il parametro di Roughness, che ne indica il grado di rugosità del terreno, dato dalla presenza di piccoli elementi chiamati elementi di rugosità. Questi elementi fanno sì che il flusso d'aria venga disturbato a causa dell'attrito tra il suolo e l'aria che lo attraversa provocando effetti di turbolenza atmosferica, questo può portare in certe circostanze anche alla creazione di vortici d'aria. Più alto sarà il parametro di rugosità del terreno più si avrà turbolenza atmosferica nella zona selezionata.

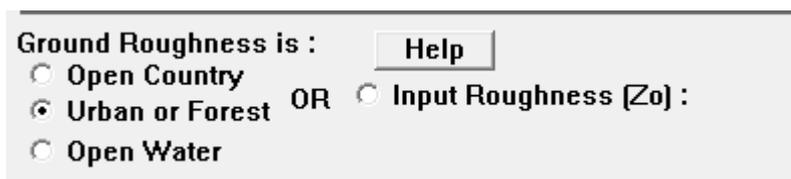


Figura 5.39. Finestra Aloha adoperata per la modifica dei parametri di rugosità del terreno (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Viene mantenuta questa caratteristica sia per simulare un rilascio che coinvolge 3 kg di Acetilene, sia per simulare un rilascio da 15 kg.

```

THREAT_ZONE:
Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
Model Run: Gaussian
Red   : less than 10 meters(10.9 yards) --- (23000 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Orange: less than 10 meters(10.9 yards) --- (11500 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Yellow: 19 meters --- (2300 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.

```

Figura 5.40. Threat Zone con rilascio di 3 kg di Acetilene (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

```

THREAT_ZONE:
Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
Model Run: Gaussian
Red   : 13 meters --- (23000 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Orange: 19 meters --- (11500 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Yellow: 41 meters --- (2300 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.

```

Figura 5.41. Threat Zone con rilascio di 15 kg di Acetilene (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Dai risultati ottenuti dal Software possiamo notare come le distanze di propagazione della nube sono fortemente diminuite grazie agli effetti di rugosità e dalla presenza di elementi quali alberi o fabbricati nei dintorni.

Confrontando i risultati di queste due simulazioni con il parametro di rugosità modificato, con le simulazioni svolte in precedenza, si nota come le estensioni della nube siano diminuite ma le concentrazioni rilasciate rimangono invariate.

Aver modificato il parametro di rugosità ha diminuito sì le estensioni della nube, ma ha diminuito l'effetto diluente del vento, ne consegue che modificando il parametro di rugosità, la nube aumenterà il tempo di permanenza vicino alle attività studiate, determinando quindi un aumento del pericolo di incendio, in quanto aumentando il tempo di permanenza ne aumenta la possibilità di trovare un possibile innesco.

5.4.3. Modellazione con Aloha delle Blast Area of Vapour Cloud Explosion c2h2

Modellate le Flammable Area of Vapor Cloud e le Toxic Area of Vapor Cloud, è possibile simulare anche le Blast Area of Vapor Cloud Explosion. Come per le simulazioni già svolte i dati in input inseriti nel Software Aloha rimangono immutati. Anche per questo scenario analizzato verranno simulati due rilasci che coinvolgeranno 3 kg di sostanza dispersa e 15 kg.

Il Software Aloha permette di individuare le zone esplosive interessate dalla nube, oltre questo restituisce una stima delle sovrappressioni generate. Per questa simulazione vi è l'ipotesi di base che avvenga un rilascio di acetilene per un totale di 3 kg, e successivamente al rilascio, la nube trova ignizione, da una ipotetica scintilla o fiamma.

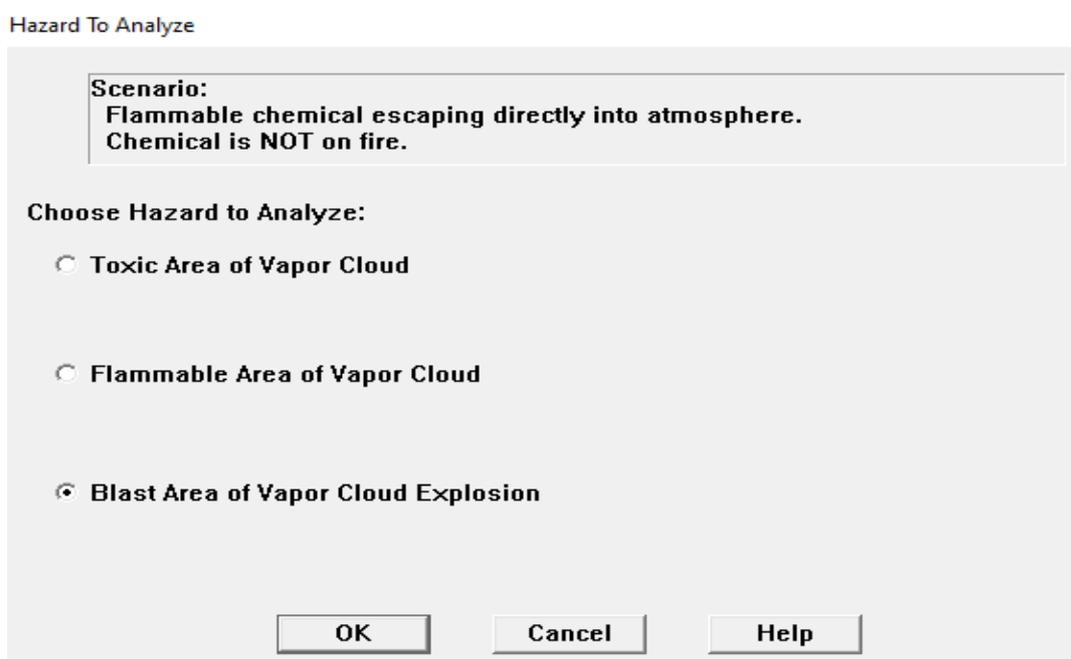


Figura 5.42. Finestra di Aloha per selezionare il rischio da simulare (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Registrando questa scelta, il Software modella un'esplosione di nube di Acetilene per un totale di sostanza coinvolta di 3 kg, quantitativo contenuto usualmente all'interno di una bombola commerciale.

Per simulare l'esplosione, il Software permette di impostare sia il tempo esatto in cui avviene l'esplosione che il tipo di ignizione che troverà la nube e il livello di congestione della stessa. Definendo il tipo di ignizione come: "ignited by detonation" vi è l'ipotesi di base che vi sia la presenza di un ordigno esplosivo, ipotesi poco veritiera e poco probabile possa avvenire all'interno di un'azienda ove sono collocati dei depositi di gas, per cui si è ritenuto più probabile procedere con l'ignizione dovuta a una scintilla o a fiamme libere. Per simulare la situazione peggiorativa, è stato selezionato come livello di congestione congestionato. Selezionando tale scelta gli effetti e le probabilità di esplosione sono maggiori. (il carattere esplosivo dell'acetilene si verifica quando la pressione eccede i 15 psig (circa 1 Atm)).

Vapor Cloud Explosion Parameters

Time of vapor cloud ignition: Help

unknown [show composite threat zone from all possible ignition times]

known, ignition time is :

Type of vapor cloud ignition: Help

ignited by spark or flame

ignited by detonation

Level of congestion : Help
(in the flammable part of the vapor cloud)

congested, difficult to walk through [e.g. pipe rack, dense forest]

uncongested, easy to walk through [e.g. residential neighborhood]

OK Cancel

Figura 5.43. Finestra Aloha per l'immissione dei parametri per la simulazione di un'esplosione
(<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Per le Threat Zone analizzate sono state assunte quelle di default fornite dal software stesso. Aloha come Red Threat Zone associa la distruzione degli edifici assumendo una pressione generata di 8 psi; per l'Orange Threat Zone viene associato come effetto gravi infortuni probabili assumendo una pressione di 3.5 psi; per la Yellow Threat Zone viene assunta una pressione di 1.0 psi ove come effetto si avrà la frantumazione e rottura dei vetri.

Overpressure Level of Concern

Select Overpressure Level of Concern:

Red Threat Zone
LOC: 8.0 psi = destruction of buildings

Orange Threat Zone
LOC: 3.5 psi = serious injury likely

Yellow Threat Zone
LOC: 1.0 psi = shatters glass

Show wind direction confidence lines:
 only for longest threat zone
 for each threat zone

Figura 5.44. Finestra Aloha per la selezione delle Threat Zone studiate
(<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Per la prima simulazione delle Blast Area of Vapor Cloud Explosion, che coinvolge 3 kg di sostanza rilasciata, non vi sono le condizioni necessarie affinché avvenga un'esplosione in quanto nessuna parte della nuvola di rilascio è sopra il limite di infiammabilità inferiore.

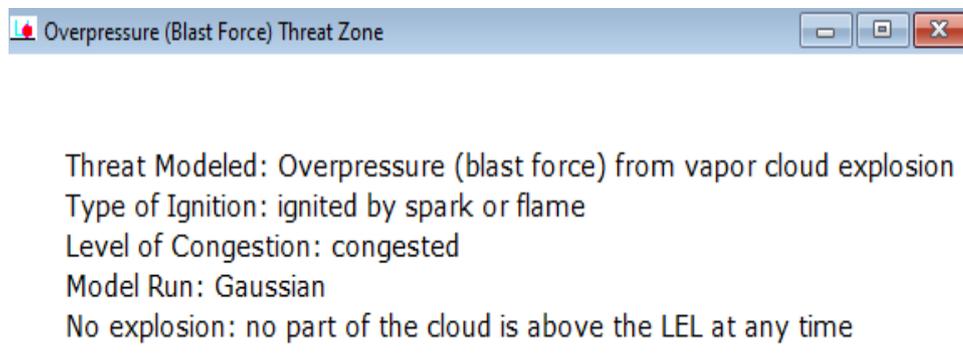


Figura 5.45. Risultati di Aloha per le blast area of vapor cloud explosion
 (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

La seconda simulazione mantiene le caratteristiche e i parametri selezionati per la prima simulazione inalterati, mutando solo il quantitativo di sostanza rilasciata che appunto per questa simulazione sarà pari a 15 kg.

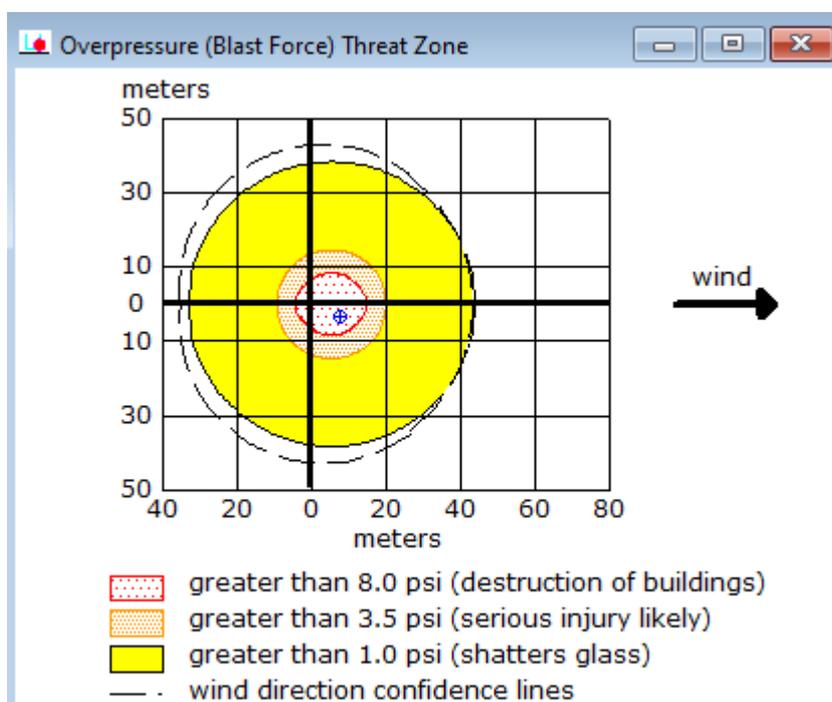


Figura 5.46. Risultati Aloha di un'esplosione di 15 kg di Acetilene
 (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Per la seconda simulazione che coinvolge 15 kg di acetilene ci si aspetta risultati ben differenti dalla prima simulazione con 3 kg. Per questa simulazione si avrà per circa un diametro di 15 metri la distruzione di qualsiasi edificio che sorge in tale area, mentre per circa 20 metri si risentirà di infortuni gravi e, per 44m, ogni abitazione subirà la distruzione o frammentazione dei vetri.

```

THREAT_ZONE:
Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
Type of Ignition: ignited by spark or flame
Level of Congestion: congested
Model Run: Gaussian
Red   : 15 meters --- (8.0 psi = destruction of buildings)
Orange: 20 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
Yellow: 44 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

```

Figura 5.47. Risultati Aloha delle pressioni e delle blast area formatesi
(<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)



Figura 5.48. Risultati Aloha esportati in Google Earth (<https://www.google.it/intl/it/earth/>)

Dai risultati esportati in Google Earth si può notare come nonostante siano aumentate le quantità coinvolte di acetilene, né la Red Treat Zone né l'Orange Threat Zone raggiungono l'Azienda oggetto di studio. Si nota invece come nel caso in cui avvenga un'esplosione di 15 kg di Acetilene questa possa fungere da innesco per le restanti bombole presenti nel deposito, in quanto vi è l'ipotesi che incendi, rilasci o esplosioni partano tutte all'interno del deposito di Acetilene. Ipotizzando quindi che vi si possa verificare un'esplosione di qualche bombola di acetilene si vuole simulare la situazione peggiorativa che si possa palesare ovvero che tutte le bombole di Acetilene presenti nel deposito partecipino all'esplosione, con un totale di sostanza coinvolta di 500 kg.

```

SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 500 kilograms           Source Height: 0
  Release Duration: 1 minute
  Release Rate: 8.33 kilograms/sec
  Total Amount Released: 500 kilograms
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
        Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

THREAT ZONE:
  Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
  Type of Ignition: ignited by detonation
  Model Run: Gaussian
  Red   : 178 meters --- (8.0 psi = destruction of buildings)
  Orange: 200 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
  Yellow: 335 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

```

Figura 5.49. Risultati Aloha zone di estensione (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

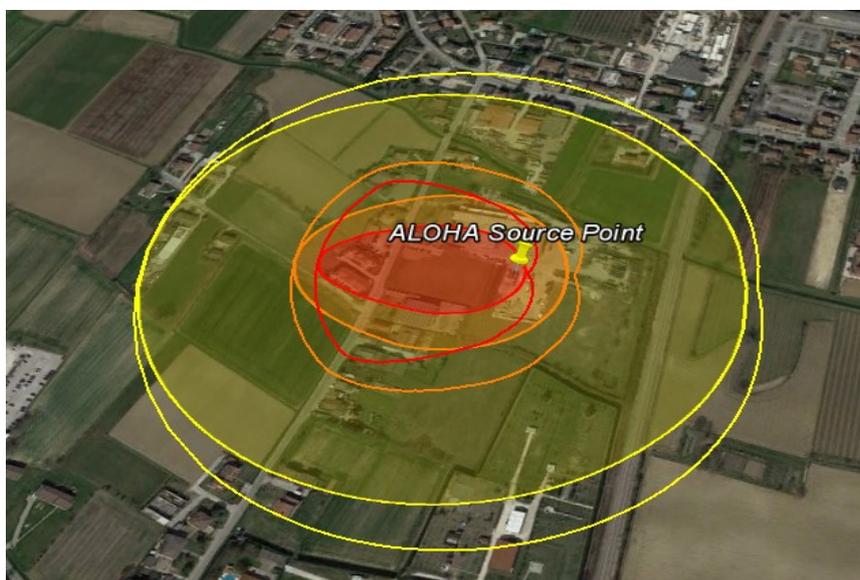


Figura 5.50. Risultati Aloha esportati in Google Earth (<https://www.google.it/intl/it/earth/>)

Per un'esplosione quindi che coinvolge 500 kg di sostanza si può notare come gli effetti di distruzione delle abitazioni siano molto estesi, in questo caso si avrà un'area influenzata da una sovrappressione di 8.0 psi di circa 180 m di diametro; inoltre gli effetti devastanti di tale simulazione possono giungere fino alla linea ferroviaria posta ad Est del fabbricato analizzato, situazione molto pericolosa in quanto si potrebbero generare dei problemi al trasporto pubblico ferroviario di Campodarsego nonostante le aree delle sovrappressioni generate in tale zona siano solo di 1.0 psi..

5.4.4. Modellazione con Aloha delle Toxic Area Of Vapor Cloud c3h8

Così come per l'acetilene, anche per il Gpl, il software permette di analizzare le Toxic Area of Vapor Cloud. La modellazione delle Toxic Area permette di individuare le zone definite appunto tossiche, restituendone l'estensione. Per analizzare le Toxic Area sono state utilizzate diverse schede di sicurezza, in ognuna di queste alla sezione 11 si riportano le informazioni e gli effetti tossicologici. Vengono riportate qui di seguito due parti della sezione 11 delle sds adoperate.

a) Tossicità acuta

Il prodotto è costituito da gas a temperatura e pressione ambiente per cui considerazioni sulla tossicità orale e cutanea non sono ritenute rilevanti.

Sulla base dei dati disponibili i criteri di classificazione non sono soddisfatti.

Di seguito è riportata una sintesi degli studi maggiormente rappresentativi del Dossier di registrazione.

Metodo	Risultato	Commenti	Fonte
Via Orale			
In conformità con il punto 2 dell'Allegato XI del Regolamento REACH, tale studio non deve essere condotto poiché il gas di petrolio è infiammabile a temperatura ambiente e in grado di formare miscele esplosive con l'aria. Un elevato rischio di incendio e di esplosione sarebbe associato a qualsiasi test a concentrazioni significative.			
Via Inalatoria			

Figura 5.51. Sezione 11 sds q8

(https://www.q8.it/documents/9712510/9745023/GPL_QUASER_02.pdf/8953e2d1-6635-7e68-0b38-0926e9f11b7c)

i) Tossicità specifica per organi bersaglio (STOT) - esposizione ripetuta:

Orale:

In conformità con il punto 2 dell'allegato XI del regolamento REACH, tale studio non deve essere condotto poiché gas di petrolio infiammabile a temperatura ambiente e in grado di formare miscele esplosive con l'aria. Un elevato rischio di incendio e di esplosione sarebbe associato a qualsiasi test a concentrazioni significative.

Cutanea:

In conformità con il punto 2 dell'allegato XI del regolamento REACH, tale studio non deve essere condotto poiché gas di petrolio infiammabile a temperatura ambiente e in grado di formare miscele esplosive con l'aria. Un elevato rischio di incendio e di esplosione sarebbe associato a qualsiasi test a concentrazioni significative.

Inalazione:

Metano: non sono disponibili studi dose-risposta.

Propano: in uno studio condotto per un periodo di 6 settimane su ratti maschi e femmine non si sono osservati effetti neurologici, ematologici o clinici. A dosi di 12000 ppm, gli animali di sesso maschile hanno mostrato una diminuzione del 25% di peso durante la prima settimana di esposizione.

La concentrazione più bassa alla quale si sono osservati effetti avversi (LOAEC) in questo studio è di 12000 ppm (equivalente a 21641 mg/m³).

Figura 5.52. Sezione 11 parte i sds Univergas

(https://www.q8.it/documents/9712510/9745023/GPL_QUASER_02.pdf/8953e2d1-6635-7e68-0b38-0926e9f11b7c)

Gli effetti di tossicità orale e cutanea, non sono ritenuti rilevanti, viene solo riportato un LOAEC, concentrazione più bassa alla quale si sono osservati effetti avversi di 12000 ppm; tale dato verrà inserito quindi nel software per la restituzione dell'estensione del rilascio.

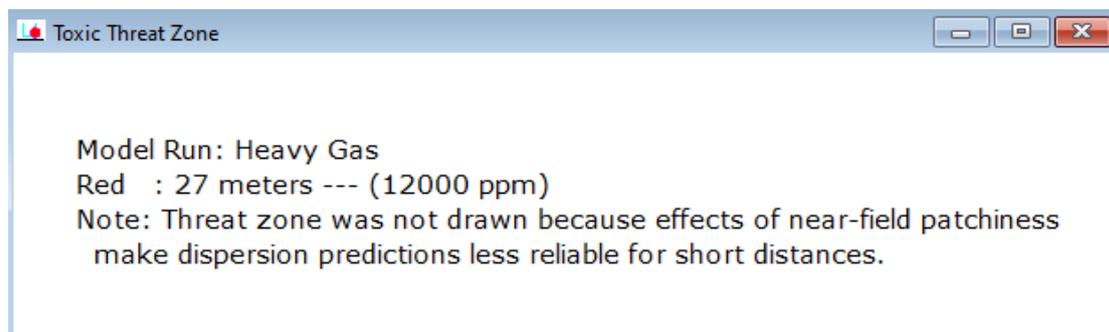


Figura 5.53. Finestra restituzione risultati Aloha della Toxic Area indagata

Il software, per la modellazione delle aree ritenute e indagate come tossiche, restituisce un'estensione di 27 m; distanza comunque maggiore rispetto alla distanza di sicurezza riportata in Circolare '56, ma inferiore rispetto alla distanza in cui è posizionato il deposito. (circa 34 m)

5.4.5. Modellazione con Aloha delle Flammable Area of Vapor Cloud c3h8

Per la modellazione delle Flammable Area of Vapor Cloud sono state analizzate differenti sds, per definire il LeL rispetto del Gpl. La definizione di tale limite di infiammabilità risulta essere un'azione fondamentale prima della modellazione tramite software, in quanto inserendo i limiti di infiammabilità, espressi in ppm, il software restituirà, le zone interessate dai limiti inseriti. Come limiti di infiammabilità vengono inseriti il LeL, 50% LeL e il 10% del LeL. I limiti indagati e inseriti sono stati ricavati da una media dei limiti presentati nelle sds adoperate qui di seguito.

9.1 Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali

a) <i>Aspetto:</i>	gas liquefatto a pressione; incolore
b) <i>Odore:</i>	distintivo, sgradevole e costante
c) <i>Soglia olfattiva:</i>	25% L.I.E. con odorizzante
d) <i>pH:</i>	neutro.
e) <i>Punto di fusione/punto di congelamento:</i>	da -188 (propano) a -138 (butano) °C
f) <i>Punto di ebollizione iniziale e intervallo di ebollizione:</i>	da -88 a -0,5 °C
g) <i>Punto di infiammabilità:</i>	da -104 a -60 °C
h) <i>Tasso di evaporazione:</i>	n.a.
i) <i>Infiammabilità (solidi, gas):</i>	n.a.
j) <i>Limiti superiore/inferiore di infiammabilità o di esplosività:</i>	LEL 1,86 – 2,27 %; UEL 8,41 – 9,5 %

Figura 5.54. Sezione 9 SDS UniverGas

(https://www.univergas.it/ZeusInc/Publisher/Documents/Scheda%20di%20Dati%20Sicurezza%20GPL%204.0%20UniverGas_09102020.pdf)

9.1 Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali

a) <i>Aspetto</i>	Gas
b) <i>Odore</i>	distintivo e sgradevole
c) <i>Soglia olfattiva</i>	n.d.
d) <i>pH</i>	n.a.
e) <i>Punto di fusione/punto di congelamento</i>	da -188 a -138°C
f) <i>Punto di ebollizione iniziale e intervallo di ebollizione</i>	da -162 a -0,5°C (intervallo)
g) <i>Punto di infiammabilità</i>	da -104 a -60°C
h) <i>Tasso di evaporazione</i>	n.a.
i) <i>Infiammabilità (solidi, gas)</i>	n.a.
j) <i>Limiti superiore/inferiore di infiammabilità</i>	LEL 1,8% UEL 15 %

Figura 5.55. Sezione 9 SDS Q8

(https://www.q8.it/documents/9712510/9745023/GPL_QUASER_02.pdf/8953e2d1-6635-7e68-0b38-0926e9f11b7c)

Le rispettive sds adoperate, riportano a loro volta un lel variabile tra 1,86% - 2,27%; verrà assunto un lel corrispondente a 2,10% che, espresso in ppm vale 21000, valore concorde con il lel presente nel database del software di modellazione. Come per la simulazione condotta per l'acetilene, anche in questo caso, come limiti da indagare per la dispersione di una nube in atmosfera vengono inseriti rispettivamente i limiti riportati dallo screen sottostante.

Flammable Level of Concern

Select Flammable Level of Concern:

Red Threat Zone
LOC: 21000 ppm = LEL

Orange Threat Zone
LOC: User specified
10500 percent by volume
 ppm

Yellow Threat Zone
LOC: 2100 ppm = 10% LEL

Show wind direction confidence lines:
 only for longest threat zone
 for each threat zone

OK Cancel Help

Figura 5.56. Finestra dialogo Aloha per inserimento limiti da indagare

La Red Threat Zone rappresenta il raggiungimento del lel=21000 ppm.

L'Orange Threat Zone rappresenta il raggiungimento del 50%del lel=10500 ppm.

La Yellow Threat Zone rappresenta il raggiungimento del 10% del lel=2100 ppm.

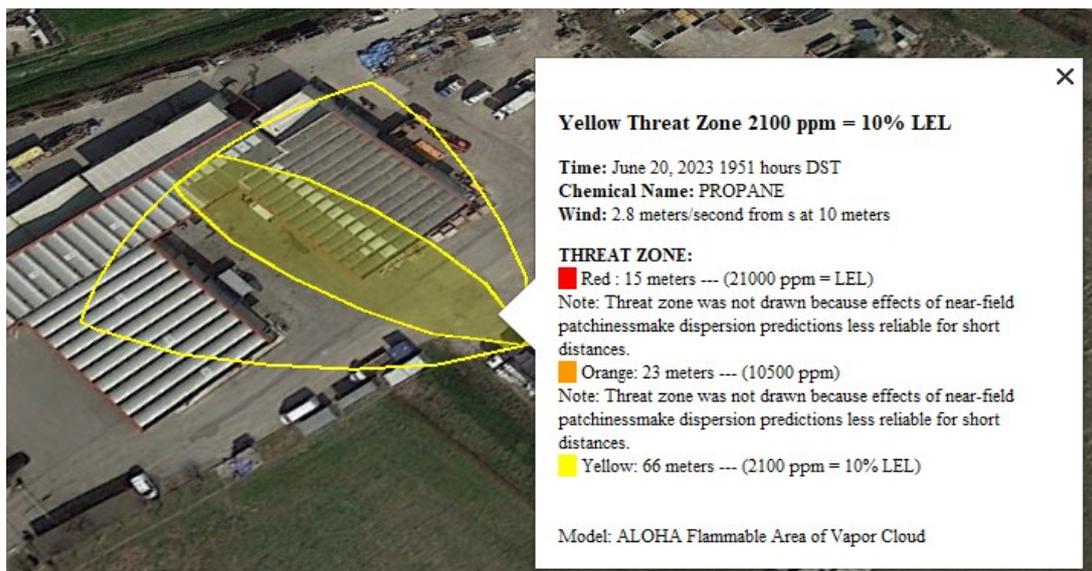


Figura 5.57. Screen risultati Aloha riportati in Google Earth

Dai risultati ottenuti dal software Aloha, si identifica un'estensione della nube, che raggiunge il lel corrispondente, di circa 15 m, distanza concorde con le distanze di sicurezza riportate in Circolare del 1956 n°74. L'Orange Threat Zone, rappresentativa del limite di infiammabilità inferiore al 50%, ha invece un'estensione fino a 23 m mentre la Yellow Threat zone ovvero la zona che raggiunge il 10% del lel avrà un'estensione ben maggiore, pari a 66 m. Di conseguenza, in questa casistica di rilascio di Gpl in atmosfera, da una singola bombola, contenente 25 kg di sostanza, solo il lel al 50% e al 10% raggiungono i fabbricati vicini mentre, la nube che raggiunge il lel non coinvolge nessun fabbricato circostante, scartando quindi la possibilità che si possa creare un'atmosfera a rischio di infiammabilità. Si ricorda comunque, che la soglia olfattiva per il gpl è al 25% del lel, di conseguenza, nonostante non sarà presente il rischio di incendio di tale nube, si risentirà, all'interno di tale realtà produttiva, dei disturbi derivanti dall'aspirazione di tale gas.

5.4.6. Modellazione con Aloha delle Blast Area of Vapor Cloud Explosion c3h8

Il programma Aloha permette di modellare, oltre alle Toxic Area e le Flammable Area anche le Blast Area of Vapor Cloud Explosion, in pratica permette di simulare una situazione in cui il quantitativo di Gpl inserito dia vita ad un'esplosione.

Vapor Cloud Explosion Parameters

Time of vapor cloud ignition: Help

unknown (show composite threat zone from all possible ignition times)
 known, ignition time is :

Type of vapor cloud ignition: Help

ignited by spark or flame
 ignited by detonation

Level of congestion : Help
(in the flammable part of the vapor cloud)

congested, difficult to walk through (e.g. pipe rack, dense forest)
 uncongested, easy to walk through (e.g. residential neighborhood)

OK Cancel

Figura 5.58. Finestra dialogo Aloha per l'immissione di dati utili alla modellazione di un'esplosione. Viene modellata quindi un'esplosione che trova, come fonte di ignizione una scintilla o una fiamma inoltre si ipotizza, per avere più dati restituiti dal software, che il livello di accumulo della nube sia congestionato, tale ipotesi coinvolgerà maggior quantitativo di sostanza nella combustione.

Overpressure Level of Concern

Select Overpressure Level of Concern:

Red Threat Zone

LOC: 8.0 psi = destruction of buildings

Orange Threat Zone

LOC: 3.5 psi = serious injury likely

Yellow Threat Zone

LOC: 1.0 psi = shatters glass

Show wind direction confidence lines:

only for longest threat zone

for each threat zone

Figura 5.59. Finestra dialogo Aloha per inserimento dei dati di pressione da indagare per l'esplosione simulata

Vengono inseriti, come limiti da indagare di pressione attesa, 8 psi che equivalgono alla distruzione degli edifici, 3.5 psi che corrispondono ad effetti probabili di grave infortunio e 1.0 psi ove l'effetto è dato dalla frantumazione dei vetri.



Figura 5.60. Screen risultati Aloha riportati in Google Earth

Dallo screen dei risultati riportati, si può notare come l'unica zona indagata a raggiungere il fabbricato in vicinanza al deposito, sia la Yellow Threat Zone, alla quale sono stati fatti corrispondere 1.0 psi di pressione attesa. Nonostante l'esplosione non raggiunga il primo fabbricato, tale evento è stata ipotizzato, avvenisse all'interno di un deposito di Gpl. Ne consegue che, la situazione riportata dallo screen, sia solo un'ipotetica situazione in cui avvenga l'esplosione di una sola bombola di gpl. Se tale situazione si verificasse all'interno di una realtà produttiva, il quantitativo totale di sostanza coinvolta sarà pari a tutto il quantitativo stipato all'interno del deposito cioè 500 kg. Viene simulato, qui di seguito, la situazione in cui, da una singola bombola, si possa innescare un'esplosione delle restanti bombole contenute all'interno del box quindi, viene simulata un'esplosione di 500 kg di Gpl.



Figura 5.61. Screen risultati Aloha riportati in Google Earth con 500 kg di Gpl

Come si nota dallo screen dei risultati riportato, nel caso in cui si verifichi un effetto domino che coinvolga la totalità delle bombole, non si registrano zone corrispondenti alla Red Threat Zone, in quanto non vengono raggiunti i livelli di concentrazione tali per poter dar vita ad un'esplosione che determini la distruzione degli edifici.

5.5. Modellazione del caso studio con il Software PyroSim c2h2

Al fine di confermare e validare i risultati ottenuti mediante l'utilizzo del Software Aloha, si è deciso di riportare le situazioni precedentemente rappresentate in un altro Software di calcolo più avanzato ovvero Pyrosim. Così procedendo si potranno confrontare le distanze di sicurezza individuate precedentemente e rapportarle con quelle restituite dal suddetto Software.

La grafica e i comandi di Pyrosim sono molto intuitivi, inoltre il Software permette di convertire direttamente un file CAD e modificarne e implementarne le informazioni man mano che la simulazione procede.

È quindi stato rappresentato, con l'utilizzo di AutoCAD 3d, l'azienda oggetto di studio formata da un corpo centrale ove sorgono le principali attività come deposito di legname e pellets, uffici e autofficina mentre, nella parte di proprietà ad est, nonché zona esente da altre attività, sono stati inseriti i due depositi di gas oggetto di studio; rispettivamente da sinistra a destra sorge un primo deposito di Acetilene mentre il secondo rappresenta il deposito di GPL.

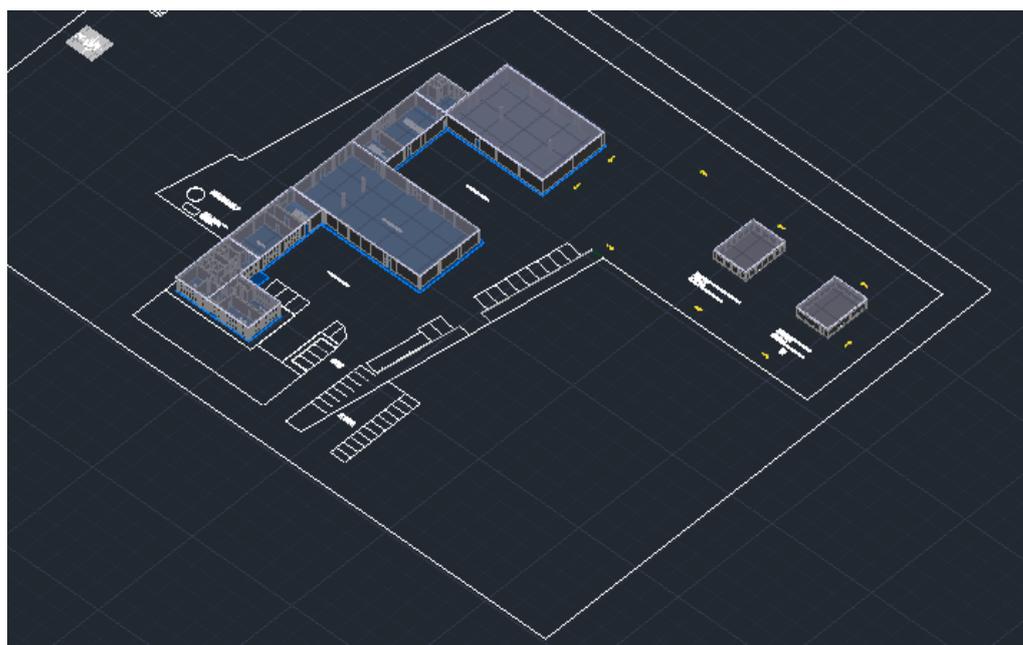


Figura 5.62. Screen da AutoCad del caso studio analizzato

Per la costruzione e quindi la rappresentazione dei depositi di Gas studiati, sono state seguite le strategie annoverate nel codice di prevenzione incendi per un deposito di gas disciolto/liquefatto classificato come N°3 cat.B.

I depositi seguiranno le varie caratteristiche riportate nella Tabella 4.1. ove le soluzioni esplicitate in passato nella Prima circolare per la regolamentazione dei Depositi di Gas del 1956 sono state convertite in soluzioni conformi del Codice di Prevenzione Incendi; difatti si è tenuta cura sia nel mantenimento delle distanze di sicurezza esterne poste a 15 m, sia nell'utilizzo di materiali ignifughi e sia per le aperture per il ricambio d'aria e il controllo di fumo e calore; quest'ultima strategia viene classificata nel CPI come S8 ed stata raggiunta creando delle aperture fino al raggiungimento di 1/5 della superficie calpestabile.

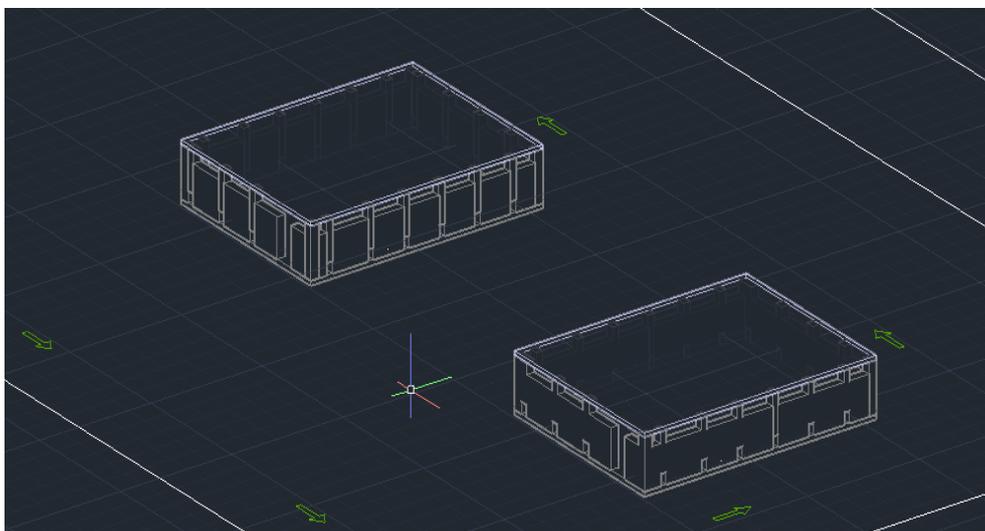


Figura 5.63. Screen da AutoCad dei depositi analizzati

Viene riportato uno screen da AutoCad 3d per la rappresentazione dei depositi di gas, i quali presenteranno copertura piana e aperture per un totale di 1/5 della superficie calpestabile.

Per raggiungere 1/5 della superficie calpestabile sono state create delle aperture sia a quota 0 ovvero a filo del pavimento e sia in sommità. Tale scelta risulta essere efficace sia per depositi che stipano gas pesanti o leggeri, in quanto garantiscono un ricambio dell'aria sia dalla parte superiore che inferiore. Nella casistica di gas pesante esso fuoriuscirà dalla parte sottostante mentre nel caso di gas leggero, esso tenderà a salire di quota e troverà evacuazione nella parte in sommità dove saranno presenti le aperture.

Le dimensioni in pianta dei due depositi oggetto di studio sono rispettivamente di 9,2 x 12,2 per un totale di superficie calpestabile pari a 112 m^2 ; nota quindi la superficie calpestabile è possibile verificare lo standard imposto dalla strategia S8 del Codice di Prevenzione Incendi.

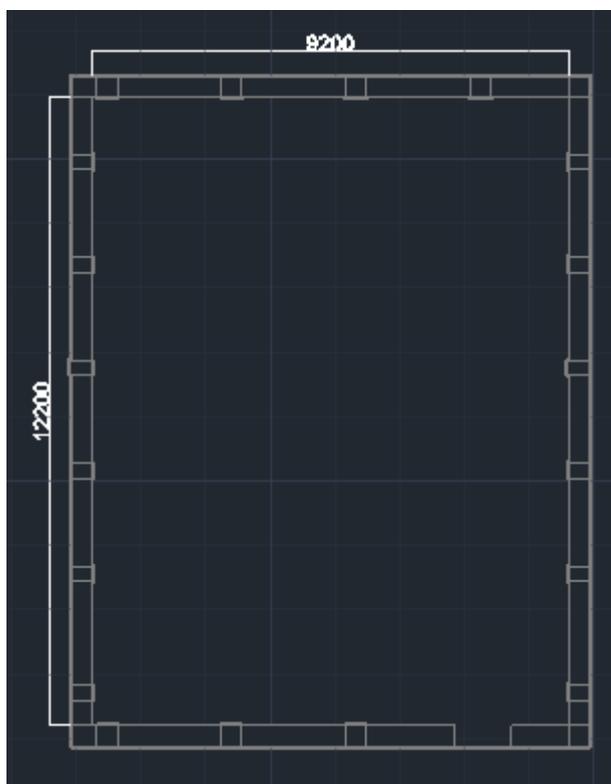


Figura 5.64. Screen da AutoCAD delle dimensioni in pianta del Box deposito

N°	Asse x	Asse y	Area m ²	Area tot. m ²
12	0,3	0,5	0,15	1,8
7	0,4	0,5	0,20	1,4
15	2	0,5	1	15
1	1,5	0,5	0,75	0,75
3	1,1	0,5	1,65	4,95
2	0,5	0,5	0,25	0,5
1	1,7	0,5	0,85	0,85

Tabella 5.1. Tabella esplicativa del numero e delle aree finestrate relative ai depositi di gpl e acetilene

Area finestrata totale = 25 m^2 che risulta comunque maggiore di $1/5$ della superficie calpestabile pari a 23 m^2 .

Verificato quindi che le aperture siano almeno 1/5 della superficie calpestabile, il file AutoCAD è stato importato in Pyrosim, ove è stato possibile, mediante la finestra di dialogo “Simulation Parameters”, inserire i vari parametri atmosferici scelti per rendere la simulazione il più verosimile possibile.

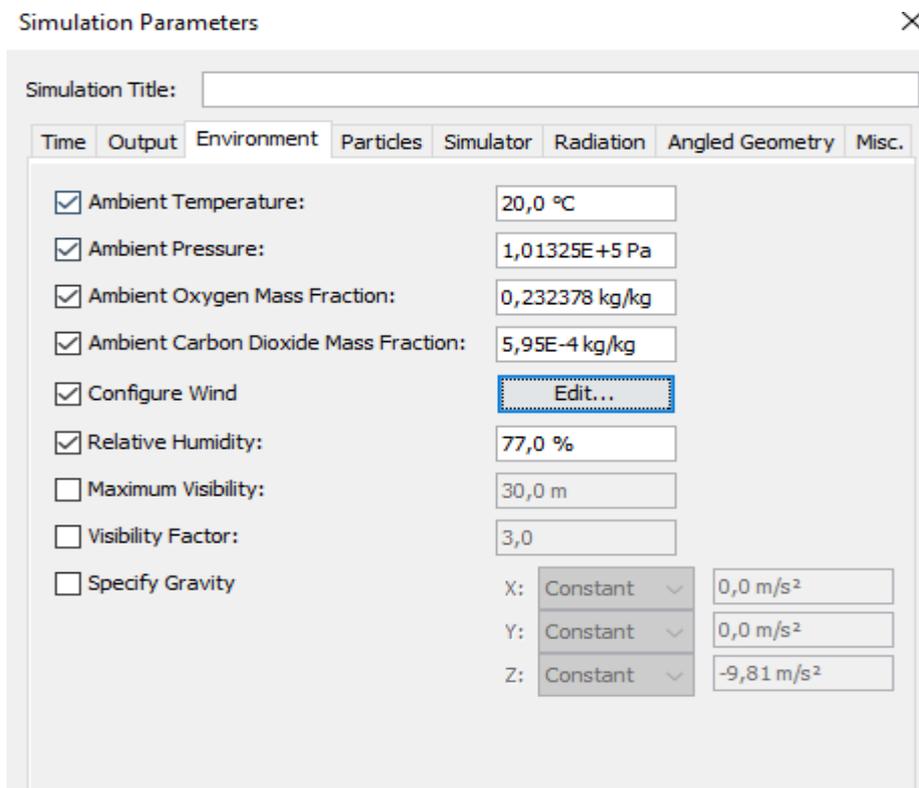


Figura 5.65. Finestra di dialogo Pyrosim per l'immissione di dati ambientali.

Per la simulazione è stata fissata una temperatura ambientale di 20°C mentre, per l'umidità relativa è stato fissato un valore di 77% restituito dal sito meteorologico Weatherspark, inoltre sempre mediante la banca dati di questo sito meteorologico mondiale è stato possibile inserire e quindi configurare i parametri relativi al vento. (è stata registrata una massima velocità del vento nella zona di Campodarsego in Provincia di Padova di 2,81 m/s con direzione predominante da Est per circa 11 mesi l'anno)

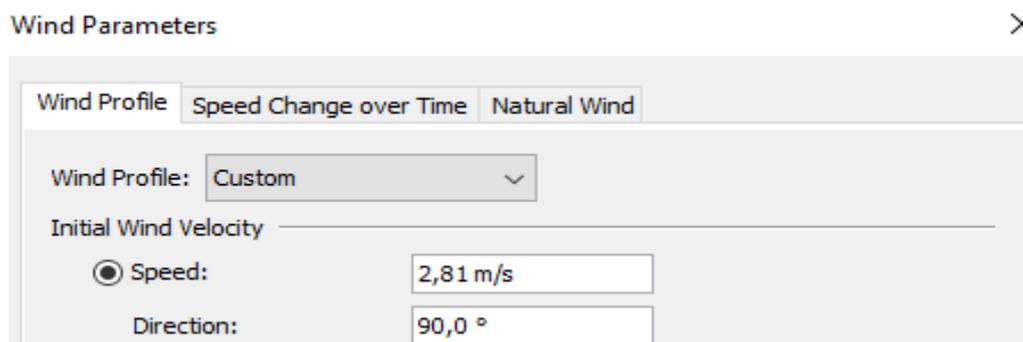


Figura 5.66. Finestra di Pyrosim per la configurazione del profilo del vento

Per situazione peggiorativa viene quindi intesa una situazione ove il vento, dato un rilascio accidentale, convogli le sostanze stipate nei depositi, verso attività che presentano possibili fonti di accensione.

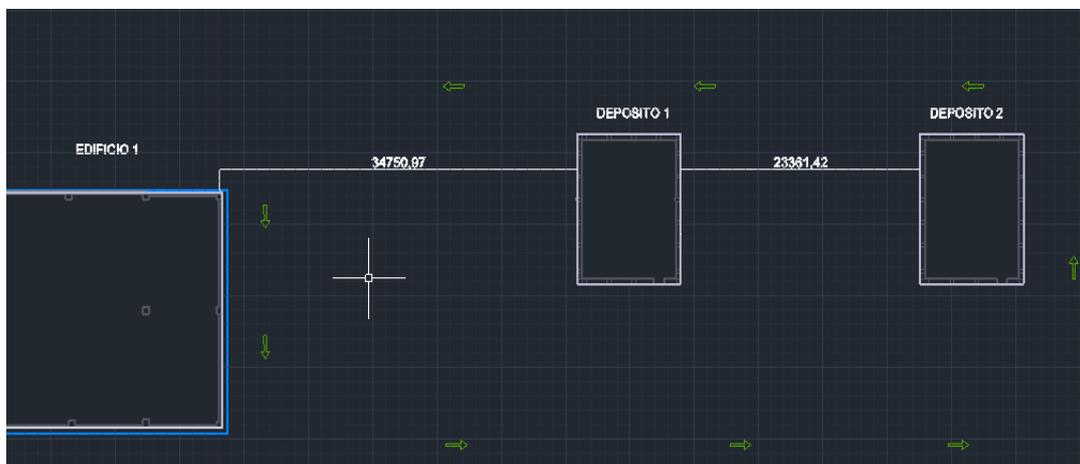


Figura 5.67. Screen AutoCAD per la verifica delle distanze di sicurezza tra depositi di gas e attività esistenti

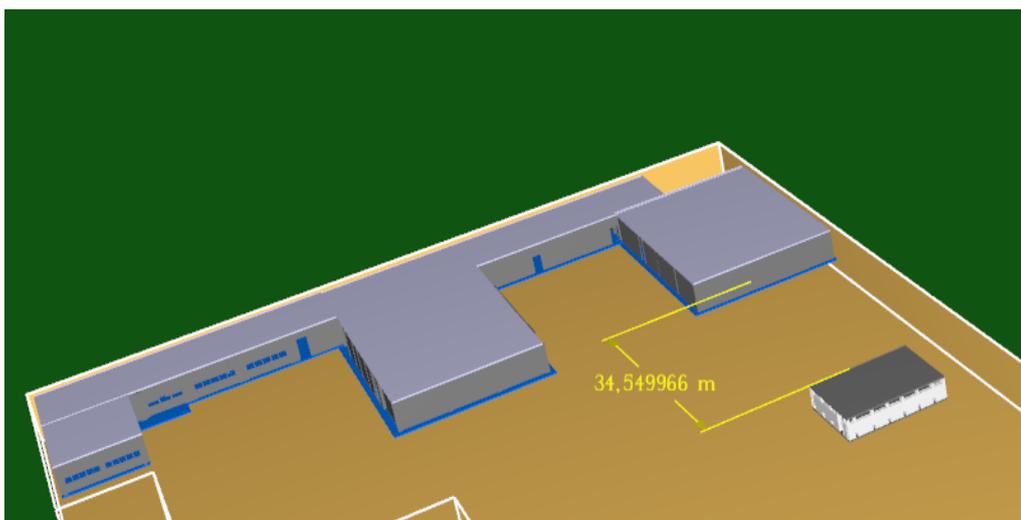


Figura 5.68. Screen da PyroSim dell'azienda oggetto di studio

Il primo deposito sorge a circa 35 m dal primo edificio mentre il secondo deposito viene posizionato a circa 23 m dal primo deposito di gas, in tale maniera viene rispettata la distanza di sicurezza riportata in normativa. Per la simulazione condotta con Pyrosim non viene rappresentato il secondo deposito per non caricare eccessivamente i dati in input immessi nel software e quindi per procedere più velocemente con il caricamento della simulazione e la visualizzazione dei risultati. Successivamente mediante il caricamento della simulazione nel software Pyrosim si potrà determinare se tali distanze risultano essere sufficienti o meno. A nord dell'azienda oggetto di studio, sorge una linea ferroviaria collocata circa a 115 m. Verificate quindi tali caratteristiche principali riguardo collocazione e caratteristiche costruttive dei depositi è stato possibile importare il file da AutoCad a Pyrosim e procedere con la simulazione.

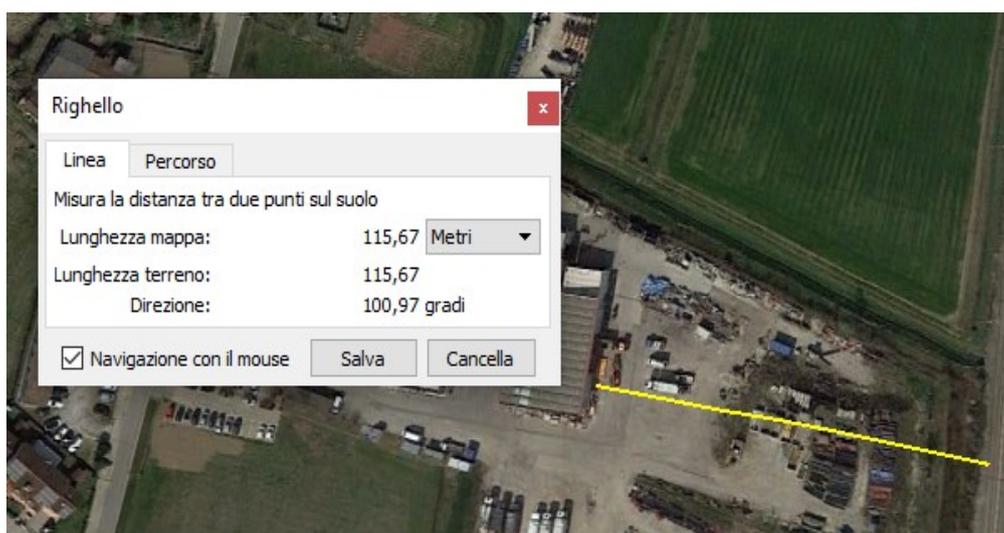


Figura 5.69. Screen da Google Earth per la verifica della distanza dal primo fabbricato alla linea ferroviaria

Per rendere il più veritiero possibile tale simulazione si è deciso di rappresentare il rilascio di una bombola collocata appunto nel deposito che sorge in vicinanza all'edificio 1, locale ove viene svolta l'attività di autofficina per la riparazione dei veicoli a motore.

Per la rappresentazione della bombola di acetilene è stato utilizzato un blocco definito come "Obstruction", inoltre tale blocco viene caratterizzato dalla definizione delle singole facce di questo, definendone quindi solo la superficie in sommità come "Supply" ovvero da tale superficie fuoriuscirà la specie selezionata mentre le restanti superfici sono state definite come inerti come illustrato nello screen di seguito:

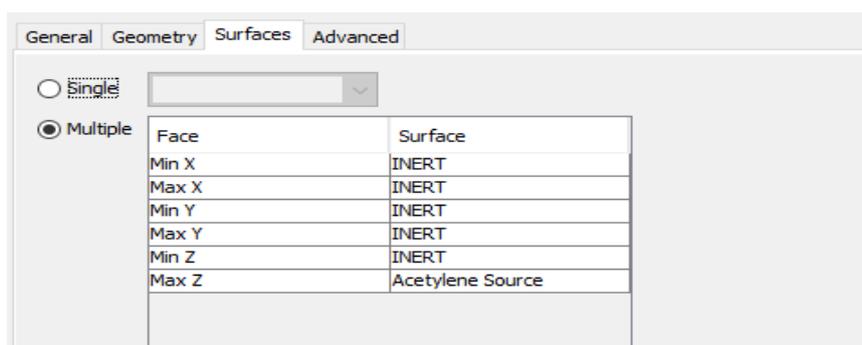
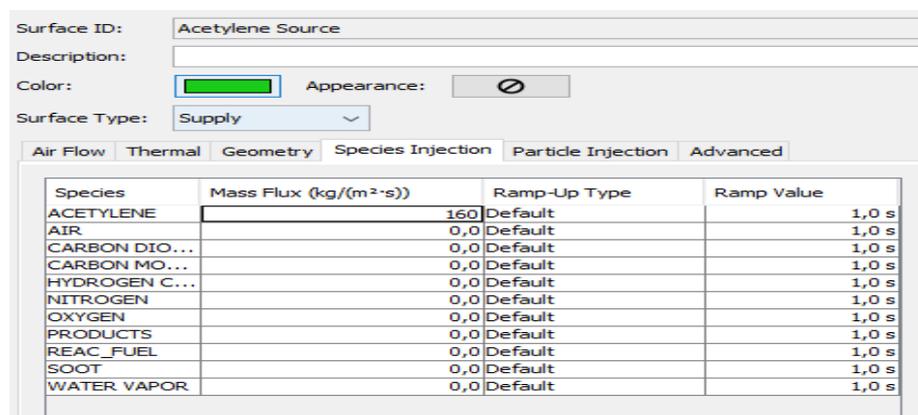


Figura 5.70. Finestra Pyrosim per la definizione delle caratteristiche delle singole superfici del blocco Obstruction

Alla faccia in sommità definita "Max z" è stata fatta corrispondere una superficie definita come "Acetylene Source" precedentemente definita come "Supply" per poter simulare la fuoriuscita di Acetilene. Per simulare quindi il rilascio da questa superficie, è stato inserito il Mass Flux espresso in $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ e stimato dal software Aloha. Il software Aloha stima un rilascio di circa 50 gr/s che suddiviso l'area di riferimento, determina un flusso di circa $160 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$.

Figura 5.71. Finestra di dialogo PyroSim per la caratterizzazione del flusso fuoriuscito dalla bombola



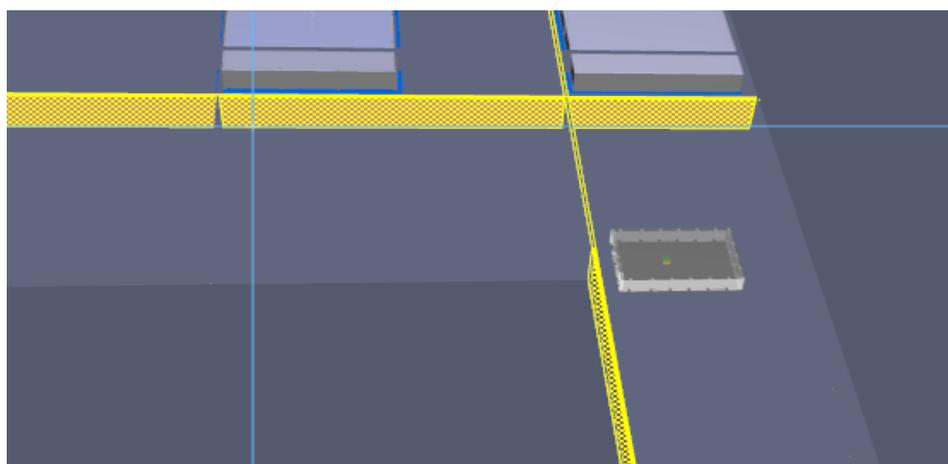
Definite quindi le condizioni ambientali e meteorologiche oltre alle caratteristiche costruttive dell'azienda oggetto di studio, è stato necessario inserire diversi piani di ispezione per la lettura dei risultati in quanto, tali piani permettono di individuare le concentrazioni disperse nell'aria, parametro di principale interesse per poter confrontare i risultati ottenuti con il software Aloha.

Vengono riportati due piani 2d in posizione strategica in quanto è stato ipotizzato, secondo la condizione peggiorativa analizzata, che il rilascio investa direttamente il fabbricato più vicino denominato appunto edificio 1.

Figura 5.72. Finestra di Pyrosim per la definizione della collocazione e della specie rilevata dai piani 2d

Name	XYZ Plane	Plane Value	Gas Phase Quantity
1 2	Y	224,4 m	[Species: ACETYLENE] Density
2 1	X	648,5 m	[Species: ACETYLENE] Density

Figura 5.73. Screen da Pyrosim per la localizzazione dei piani di ispezione.



Oltre ai piani 2d per l'ispezione dei quantitativi di sostanza rilasciata vengono adoperati anche dei piani 3d sempre per la definizione dei quantitativi dispersi in atmosfera e la definizione dei limiti della nube.

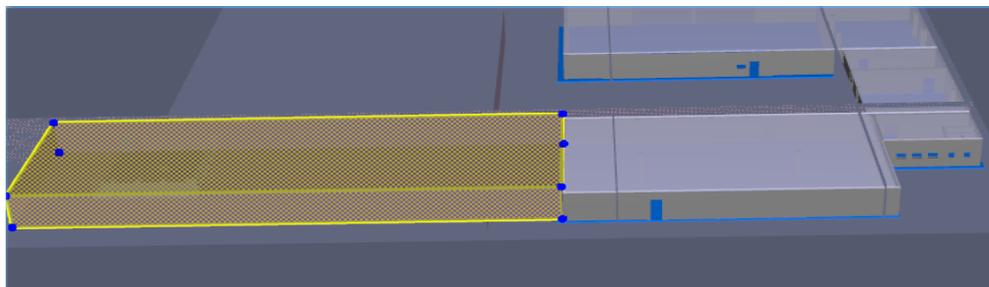


Figura 5.74. Screen Pyrosim per la localizzazione del piano 3d per l'ispezione dei quantitativi rilasciati in atmosfera

Insieme ai piani 2d e 3d viene adoperata anche l'Isosurfaces, funzione di Pyrosim che permette la visualizzazione del rilascio inserendo il valore rispettivamente o in mol/mol o in ppm del rilascio analizzato; in questa maniera inserendo in ppm il limite di infiammabilità inferiore si può indagare sull'effettiva estensione della nube.

Mediante questa simulazione svolta con il software Pyrosim, si dimostra come le distanze di sicurezza esterne proposte come protezione “passiva” non siano sufficienti se non accoppiate con altre strategie per la salvaguardia della vita umana.

Completate queste fasi è ora possibile inizializzare quindi caricare la simulazione.

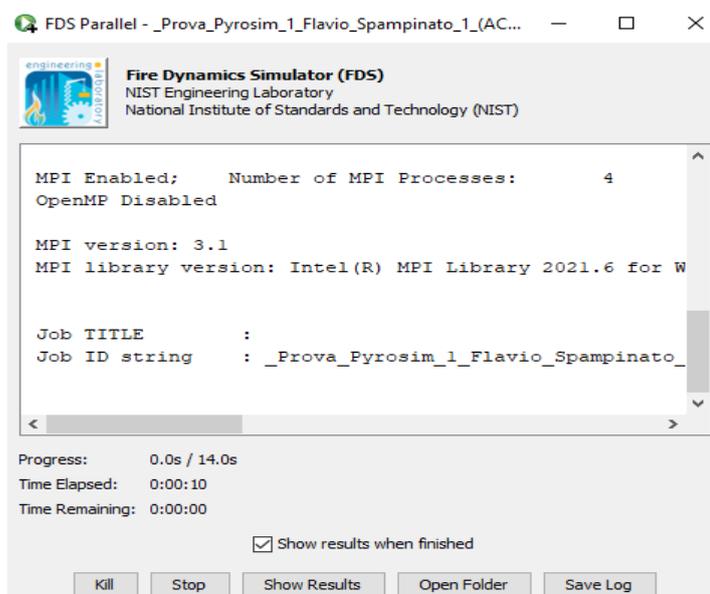


Figura 5.75. Schermata illustrativa del caricamento di una simulazione con Pyrosim

5.5.1. Risultati restituiti dal Software PyroSim

Il primo risultato visualizzato nei piani di ispezione 2d è visualizzato solo dopo circa 6 secondi, prima di questo tempo nessun piano di ispezione inserito registra acetilene disperso in atmosfera, se non l'unico piano inserito in adiacenza al deposito di gas. Dopo circa 6 secondi dall'inizio del rilascio, simulato al momento Zero, il piano 2d posto in direzione verticale con andamento lungo l'asse x di Pyrosim evidenzia una prima quantità di acetilene dispersa.

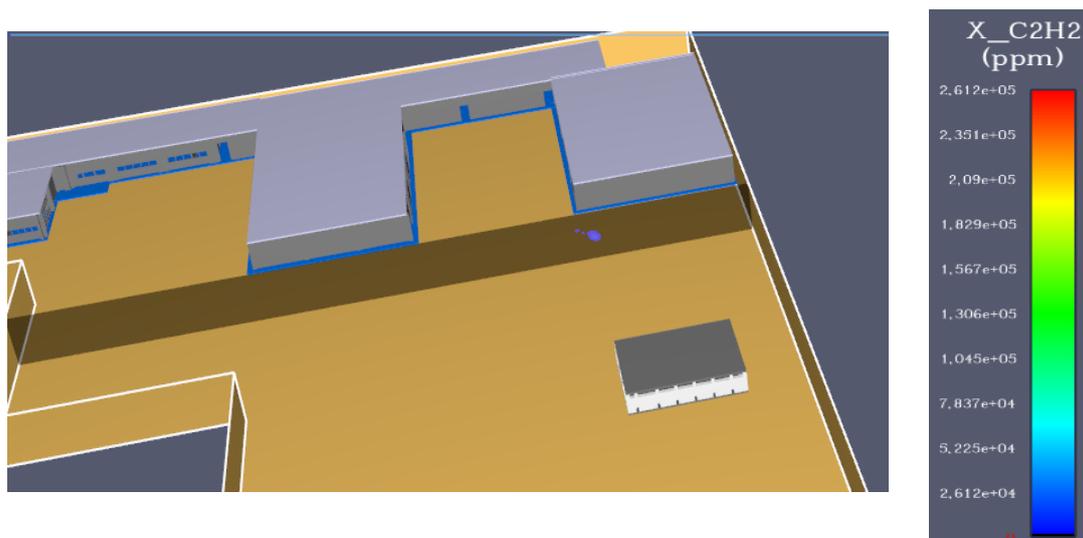


Figura 5.76. Screen risultati di Pyrosim del primo piano 2d di ispezione

Dopo appena 6 secondi dal rilascio il piano di ispezione 2d registra un totale di sostanza rilasciata pari circa a poco meno di $2,612e+04$, percentuale di acetilene ancora molto bassa per poter dar vita a un vero e proprio pericolo. Dopo circa il doppio del tempo, a 12 secondi dal rilascio, il software restituisce concentrazioni nettamente più alte; infatti nel piano di ispezione 2d si nota come la nube sia colorata di verde, convenzione di Pyrosim, per indicare una percentuale di circa $1,306e+05$. Come si rileva dallo screen riportato da Pyrosim riguardo la percentuale indagata in ppm siamo a circa metà della barra, la quale presenta come massimo il raggiungimento del lel impostato circa pari a 2500 ppm.

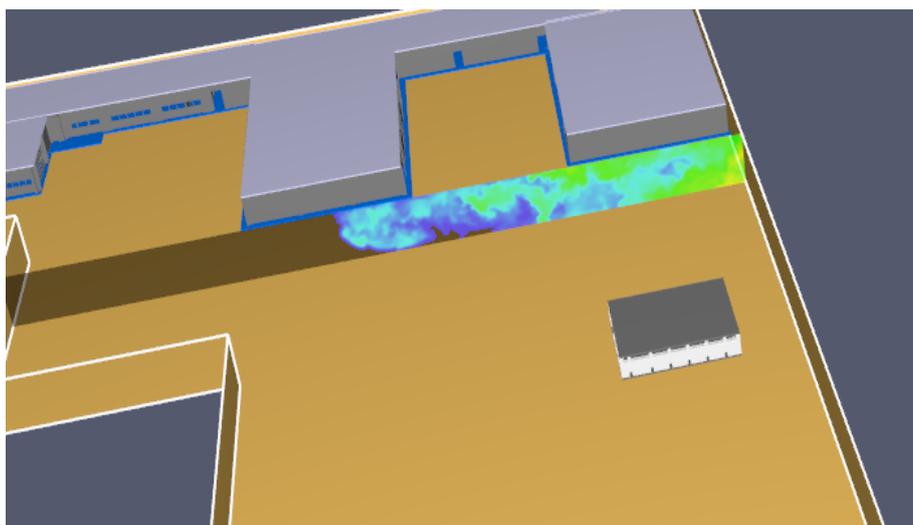


Figura 5.77. Screen risultati Pyrosim piano di ispezione 2d

Ricordando che il deposito sorge a circa 34 m e che la norma di prevenzione incendi impone una distanza di sicurezza esterna per un deposito con quantità di sostanza movimentata di 500 kg di soli 15 m, si nota come lasciando trascorrere il tempo, a circa 18 secondi dall'evento di rilascio la sostanza dispersa, Acetilene, raggiunge solo in una certa zona del piano 2d il suo limite di infiammabilità inferiore.

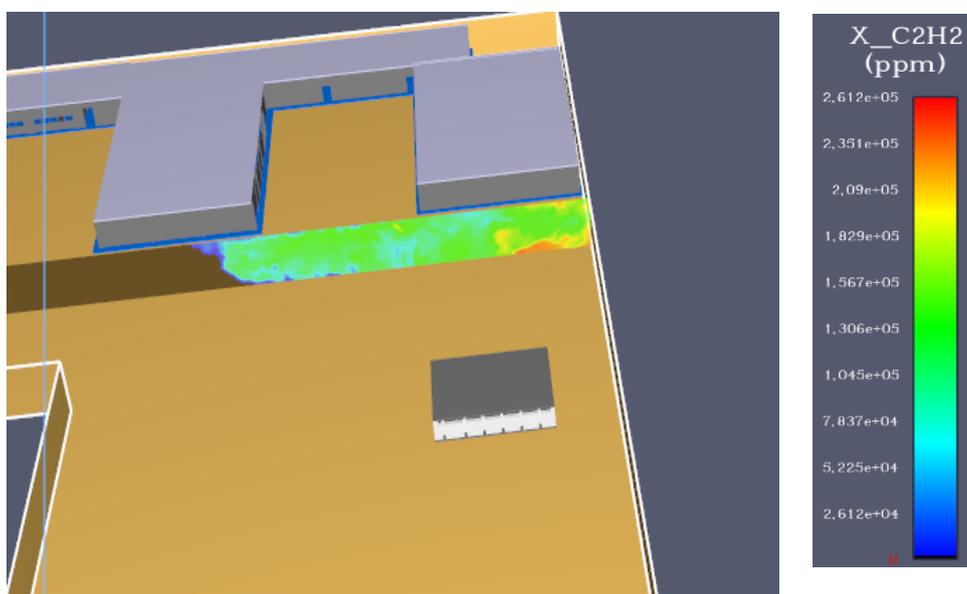


Figura 5.78. Screen risultati Pyrosim piano di ispezione 2d

Al termine della simulazione, posto dopo 25 secondi, si nota come la nube dispersa, nonostante sia soggetta all'azione diluente del vento, raggiunga il lel corrispondente, infatti nella finestra risultati sotto riportata, il piano 2d si colora di rosso nella parte esterna, che indica appunto il raggiungimento del lel.

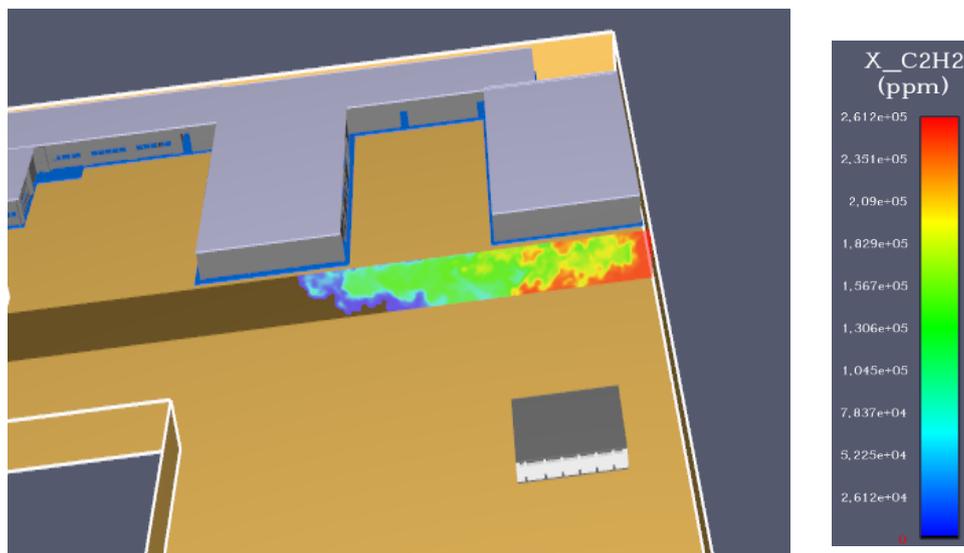


Figura 5.79. Screen risultati Pyrosim piano di ispezione 2d

```

THREAT ZONE:
Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
Model Run: Gaussian
Red : 19 meters --- (23000 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Orange: 27 meters --- (11500 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Yellow: 60 meters --- (2300 ppm)

```

Figura 5.36. Finestra risultati Aloha dove vengono riportate le estensioni della nube indagata (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Mentre il Software Aloha restituisce un'estensione fino al raggiungimento del lel di 19 metri, Pyrosim, software ingegneristico più preciso, restituisce un raggiungimento di 23000 ppm, corrispondenti al raggiungimento del LEL fino a 27 metri, circa 8 metri di differenza tra un software e l'altro.

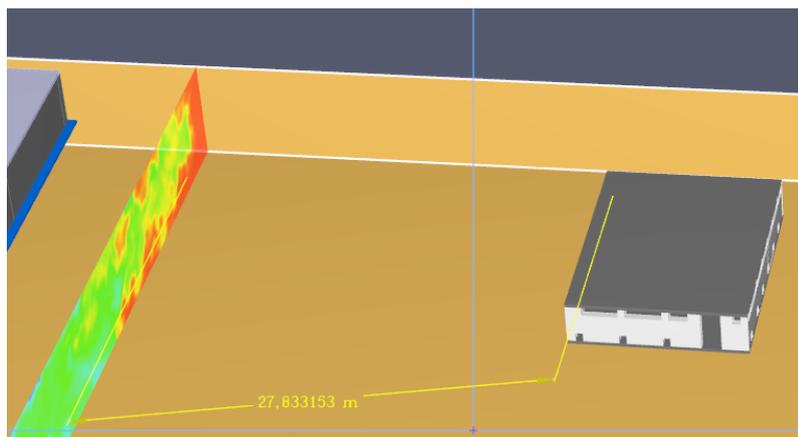


Figura 5.80. Screen risultati Pyrosim con attiva opzione righello

Indagando sui risultati ottenuti da un piano 2d posto in direzione y, si nota come in adiacenza al primo fabbricato al termine della simulazione vengano registrati quantitativi di acetile circa pari al 60% del lel. Ipotesi ulteriormente confermata dai risultati ottenuti dalla simulazione condotta con Aloha in quanto l'Orange Threat Zone corrispondente a 11500 ppm indagati ha un'estensione di 27m.

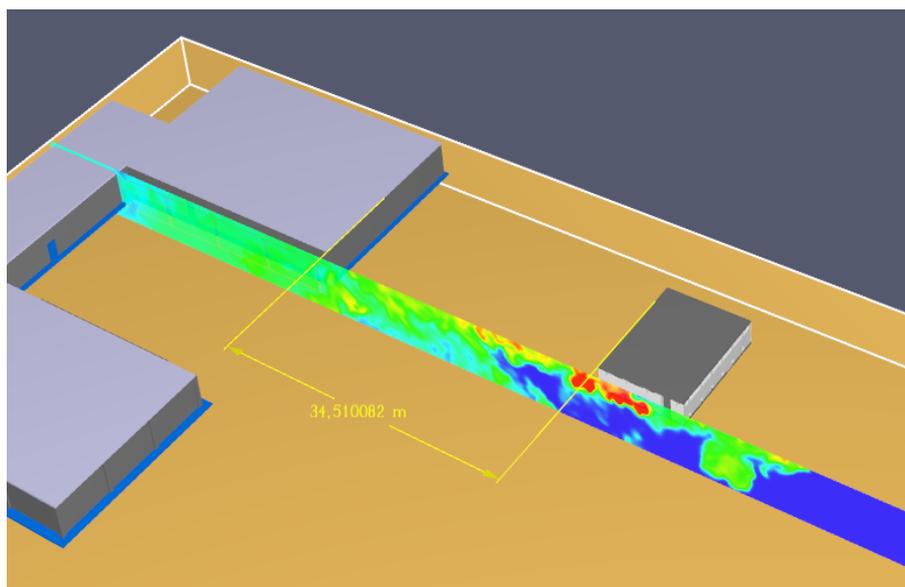


Figura 5.81. Screen risultati Pyrosim con attiva opzione righello e piano 2d (volume fraction)

Un'altra opzione di Pyrosim permette di ispezionare l'estensione di un rilascio mediante dei piani 3d di ispezione. Come si può vedere dallo screen sotto riportato, dalla finestra di visualizzazione dei risultati, si nota come il piano 3d registri una quantità pari a $2,363e+0,5$ a circa 31 m. Da questo risultato ottenuto si può verificare come le estensioni della nube analizzata col Software Aloha siano nettamente inferiore rispetto a quelle restituite da Pyrosim; mediante il piano 3d si evince come a 31 m la nube possa raggiungere quasi il lel corrispondente: nella parte finale del piano 3d una piccola parte assume un contorno giallo e

internamente presenta sfumature arancioni-rosse, tale convenzione di colori di Pyrosim indica che man mano che ci si avvicina a l'el inserito di 25000 ppm la nube assumerà colorazioni sempre più tendenti al rosso.

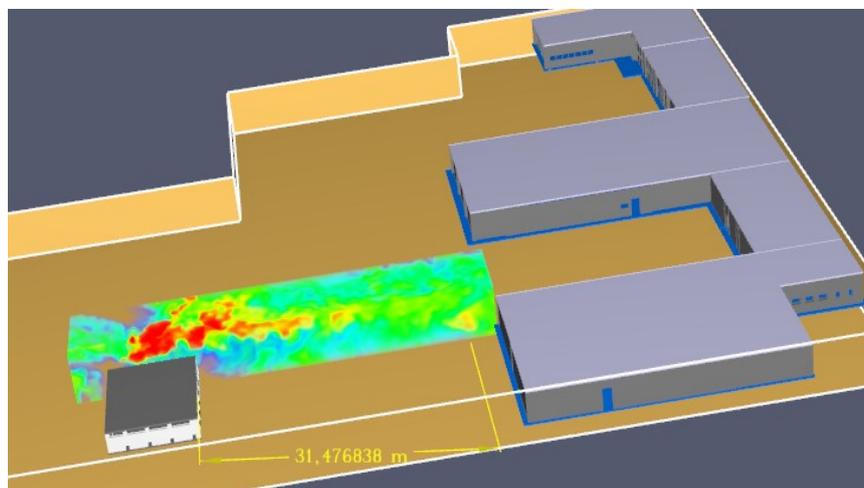
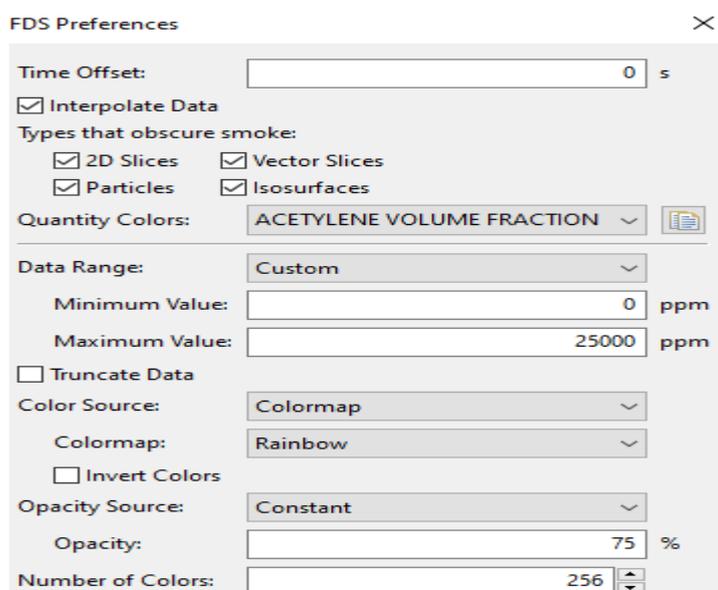


Figura 5.82. Screen risultati Pyrosim con attivo piano 3d

Un altro strumento che permette la visualizzazione delle zone di estensione della nube, come anticipato nel paragrafo precedente, è lo strumento di Isosurfaces. Per la simulazione, l'isosurfaces viene inserita con le seguenti caratteristiche mostrate dallo screen sottostante.

Figura 5.83. Finestra dialogo Pyrosim per inserimento limiti della nube indagata



Viene quindi illustrata nei risultati, la nube con quantitativi di sostanza rilasciata in un range che va da 0 ppm a 25000 ppm che corrisponde al 2,5% di sostanza dispersa.

Azionando la visualizzazione contemporanea delle Isosurfaces inserite, nella rappresentazione dei risultati di Pyrosim si può indagare sulle effettive zone interessate dal rilascio. La schermata illustra la situazione dopo 10 secondi dal rilascio in atmosfera. La nube illustrata presenterà una colorazione diversa per ogni ppm indagato. In questa rappresentazione come ppm indagati sono stati selezionati 25000 ppm che corrispondono appunto al LEL per l'acetilene quindi, la nube che presenta tali quantitativi di acetilene assumerà una colorazione rossastra.

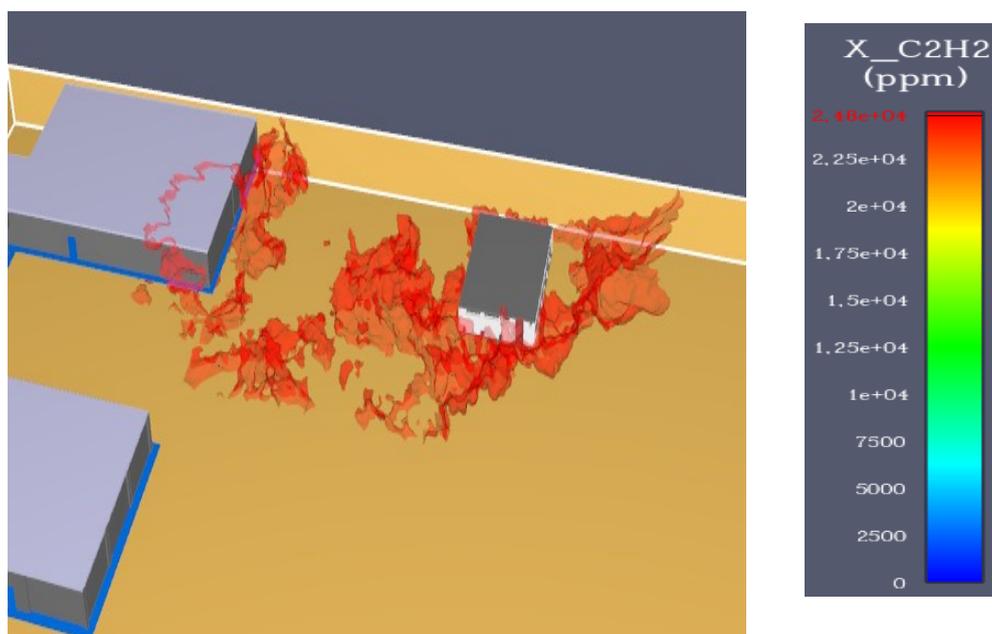


Figura 5.84. Screen risultati Pyrosim con attivo Isosurfaces

Per la visualizzazione della nube è stato selezionato il limite superiore di infiammabilità, che nonostante sia stato aumentato dal 2,3% al 2,5% restituisce una zona di estensione della nube nettamente maggiore rispetto ai risultati restituiti da Aloha, dove la zona di estensione relativa al raggiungimento del lel ha un'estensione massima di 19 m.

A rilascio terminato, ovvero al decorrere dei 25 secondi impostati come termine per la simulazione, si nota come la nube che raggiunge il lel, ha un'estensione tale da superare anche il primo fabbricato per un'estensione quindi di 70 m.

Determinato quindi, che il rilascio abbia un'estensione tale, da occupare anche la zona ove è inserito il fabbricato 1, luogo in cui si svolge l'attività di autofficina, si è deciso di deselegionare i layer corrispondenti a tetto e parte di muratura, per comprendere se il rilascio, possa, sotto l'azione del vento, essere convogliato all'interno di tale struttura.

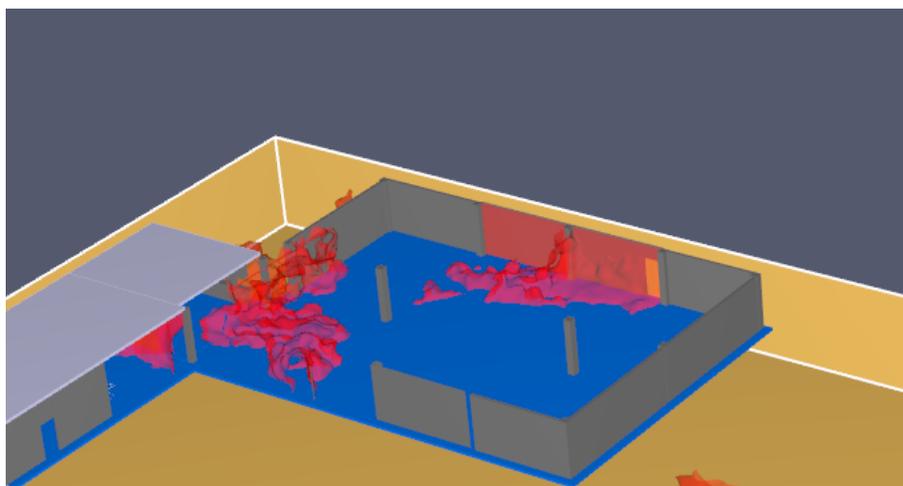


Figura 5.85. Screen risultati Pyrosim con attivo Isosurfaces e deselegionati layer costruzione primo fabbricato

Nonostante il fabbricato venga rappresentato con solo una parte delle aperture tenute aperte si nota come parte del rilascio riesca ad entrare nel fabbricato sotto l'azione del vento. Quella rappresentata nella finestra risultati di Pyrosim, è la situazione più conservativa, in quanto durante la normale attività di autofficina, la maggior parte delle lavorazioni vengano svolte con i portoni aperti, anche per assicurare un adeguato ricambio d'aria almeno durante la stagione estiva. Dai risultati ottenuti si evince come una possibile superficie calda o una semplice lavorazione che possa formare delle scintille possa fungere da possibile innesco per la nube simulata.

Combinando quindi i risultati ottenuti sia dal Software Aloha che dal Software Pyrosim, si può affermare che ci si trova in una potenziale atmosfera esplosiva, di conseguenza, tale zona interessata dal rilascio, verrà trattata come zona Atex.

5.6. Modellazione del caso studio con il Software PyroSim c3h8

Così come per l'acetilene, anche per il gpl viene adoperato il programma di modellazione Pyrosim, per simulare e indagare sulle effettive distanze raggiunte da una nube di gpl dispersa in atmosfera. Tale simulazione viene svolta con l'obiettivo di confrontare le estensioni della nube restituite da Aloha, con le distanze di propagazione registrate da Pyrosim. Le varie opzioni di visualizzazione e gli strumenti utilizzati per il monitoraggio della nube di acetilene, vengono adoperati anche per questa simulazione; l'unica differenza presente in simulazione è data dalla sostanza e dal flusso inserito, che sono quelli riportati in Figura 5.84.

Species	Mass Flux (kg/(m ² ·s))	Ramp-Up Type
ACETYLENE	0,0	Default
AIR	0,0	Default
CARBON DIOXIDE	0,0	Default
CARBON MONOXIDE	0,0	Default
HYDROGEN CYANIDE	0,0	Default
NITROGEN	0,0	Default
OXYGEN	0,0	Default
PRODUCTS	0,0	Default
PROpane	1328,0	Default
REAC_FUEL	0,0	Default

Figura 5.86. Finestra dialogo Pyrosim per l'immissione delle caratteristiche della fonte di rilascio

Dopo 4 secondi dal momento del rilascio, il Software Pyrosim, rappresenta la nube, con una colorazione verde, che raggiunge il fabbricato. In questa simulazione la concentrazione indagata viene espressa in mol/mol, valore che se convertito in ppm deve essere moltiplicato per 10^6 . La colorazione verde, che rappresenta una concentrazione di 0,02104 mol/mol, è pari a 21040 ppm. Il limite di infiammabilità individuato per il Gpl corrisponde al 2,10% che in ppm vale 21000, ne consegue che la nube rappresentata in figura 5.85, raggiungendo e superando seppur di poco il lel corrispondente, nell'ipotesi che vi possa essere un'ignizione efficace, potrebbe incendiarsi.

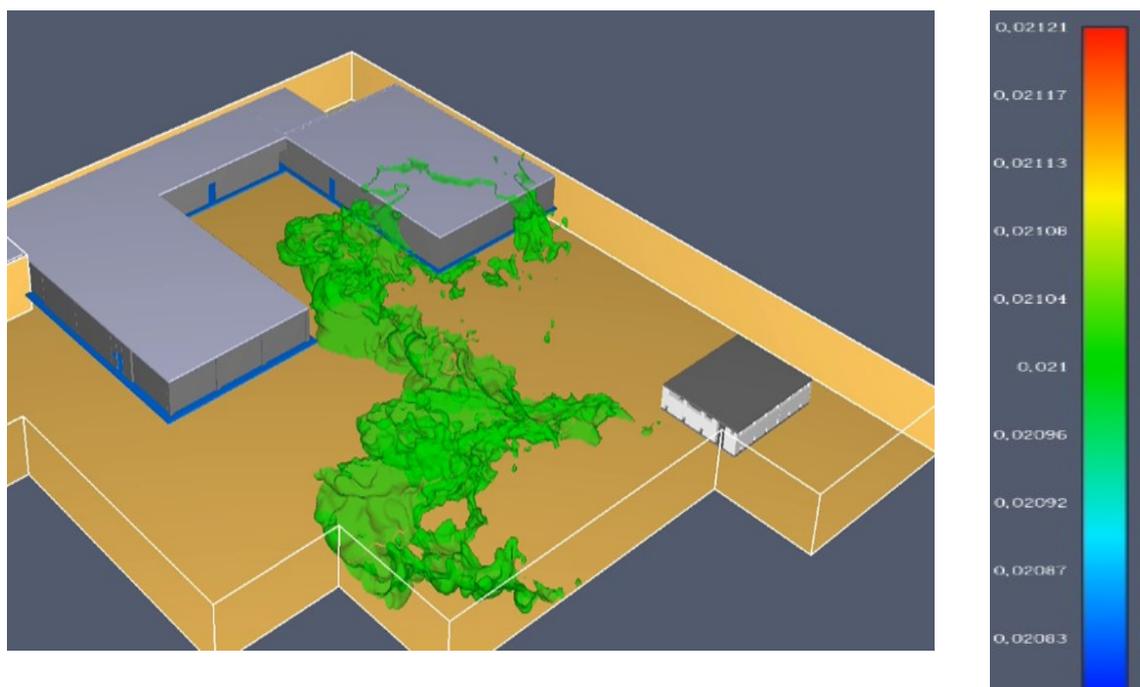


Figura 5.87. Finestra risultati Pyrosim rilascio gpl dopo 5 secondi

Nonostante i parametri atmosferici non siano stati modificati per tale simulazione, si nota come a fine di questa, parte del rilascio ha interessato pure i fabbricati circostanti, aumentando quindi la zona sottoposta al rilascio. Dopo circa 10 secondi l'area circostante al box risulta esente da qualsiasi presenza di gas, in quanto il rilascio si è spostato vicino ai fabbricati, i quali hanno svolto funzione contenitiva per il gas rilasciato.

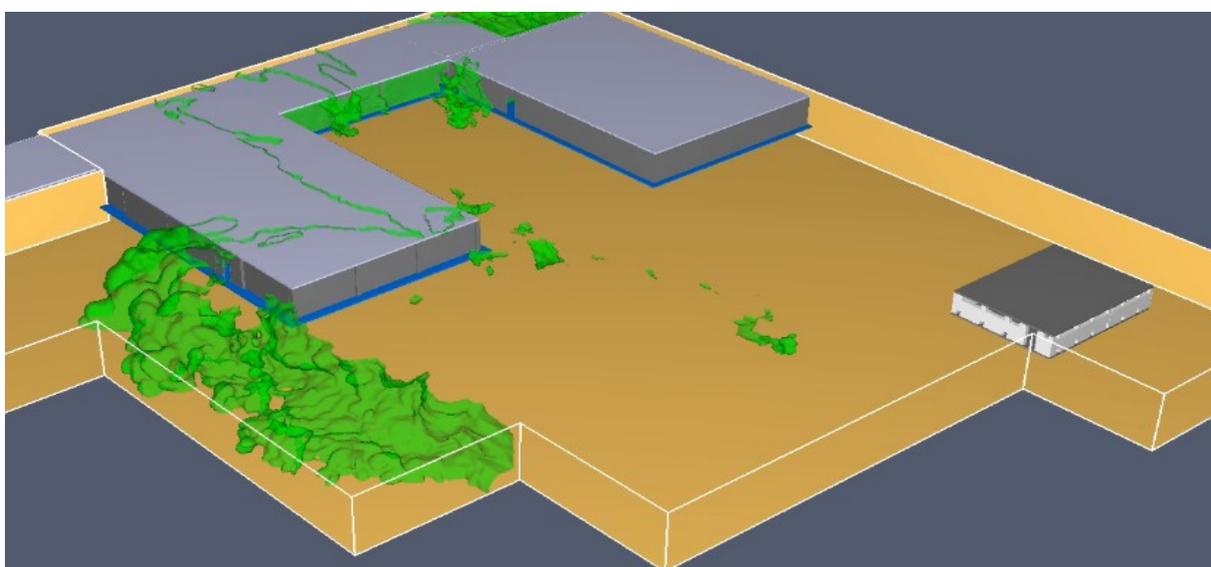


Figura 5.88. Finestra risultati Pyrosim rilascio gpl dopo 10 secondi

Dai risultati ottenuti, ne consegue come le distanze di sicurezza riportate nella Circolare del 1956 n°70, anche in questa casistica, non siano sufficienti a proteggere, o meglio diluire la nube, fuori dai suoi range di infiammabilità.

5.7. Classificazione secondo ATEX

Dai risultati ottenuti con l'utilizzo del Software Aloha e del Software Pyrosim si può definire l'area oggetto di studio, o meglio una parte di questa, come un'area caratterizzata da atmosfera potenzialmente esplosiva di aria più gas/vapori, in quanto dagli screen dei risultati restituiti, come si vede in Foto 5.82 per l'acetilene, o 5.86 per il gpl l'area occupata dalla mansione di autofficina sia soggetta al rilascio dei gas studiati.

L'Unione Europea in presenza di atmosfere esplosive permette l'adozione di due direttive, rispettivamente la direttiva ATEX³³ 2014/34/UE (atex 114) e la direttiva ATEX 1999/92/CE (atex 153).

La direttiva 1999/92/CE definisce i requisiti minimi di salute e sicurezza da adottare in presenza di atmosfere esplosive, questo, è possibile mediante una suddivisione e classificazione delle zone in funzione della probabilità di presenza di Atmosfera esplosiva.

La direttiva 2014/34/UE definisce, in funzione della classificazione delle zone, i prodotti adatti per ogni zona, oltre questo definisce le responsabilità dei principali soggetti coinvolti e le modalità di certificazione dei prodotti adoperati.

L'Azienda oggetto di studio viene definita come zona potenzialmente esplosiva in quanto mediante la simulazione di un rilascio sia di una bombola di acetilene sia di gpl, le sostanze rilasciate rimangono all'interno dei range di infiammabilità, condizione necessaria ma non sufficiente per l'evolversi in un incendio o una esplosione.



Figura 5.89. Regolamentazione Atex ("Direttive ATEX." *Atex Italia*)

³³ Direttive ATEX." *Atex Italia*, <https://www.atexitalia.it/atex/>.

Per l'azienda studiata si ipotizza che questa ricada in zona 1, in quanto nei depositi di gas è probabile che possa avvenire un rilascio da qualche serbatoio nel momento del riempimento o a causa di errori umani; inoltre, l'acetilene rientra in classe IIC, le apparecchiature e le costruzioni quindi contrassegnate come IIC potranno essere adoperate anche per i gas del gruppo IIA e IIB, idonei anche per il gpl.

Zona	Descrizione	Presenza Gas
Zona 0	Area in cui è presente in permanenza o per lunghi periodi o spesso un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia	> 1000 ore / anno
Zona 1	Area in cui durante le normali attività è probabile la formazione di un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapori o nebbia	10 a 1000 ore / anno
Zona 2	Area in cui durante le normali attività non è probabile la formazione di un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia e, qualora si verifici, sia unicamente di breve durata	< 10 ore / anno

Figura 5.90. Tabella per distinzione zone Atex (“Direttive ATEX.” *Atex Italia*)

In funzione delle temperature di accensione delle sostanze indagate, vengono individuate 6 classi distinte in funzione delle temperature massime raggiunte dalle superfici delle apparecchiature adoperate; L'acetilene rientra nel gruppo T2 quindi viene individuata una massima temperatura superficiale delle apparecchiature di 300°C; difatti l'acetilene ha una temperatura di autoaccensione che si aggira intorno ai 305°C; mentre il gpl viene classificato come T1 in quanto la sua temperatura di autoaccensione si aggira intorno ai 500°C.

Classe Temperatura *	Massima temperatura superficiale delle apparecchiature	Temperatura di accensione
T1	450°C	> 450°C
T2	300°C	> 300°C
T3	200°C	> 200°C
T4	135°C	> 135°C
T5	100°C	> 100°C
T6	85°C	> 85°C

Figura 5.91. Tabella per determinazione classi di temperatura Atex (“Direttive ATEX.” *Atex Italia*)

Definite quindi temperature di autoaccensione e zone in funzione della durata di un possibile rilascio, si può individuare il gruppo di classificazione dei prodotti presenti nell'area studiata. La direttiva distingue due gruppi, 1 e 2.

I prodotti classificati come gruppo I sono prodotti concepiti per l'utilizzo in miniere, mentre per il gruppo II, vengono riportate tutte le apparecchiature idonee per un utilizzo in superficie. Il gruppo I e II vengono successivamente suddivisi in Prodotti gruppo I e Prodotti gruppo II.

I prodotti del gruppo II, quelli di interesse per questa valutazione, sono suddivisi in:

Categoria I: apparecchi o sistemi di protezione che garantiscono un livello di protezione molto elevato;

Categoria II: apparecchi o sistemi di protezione che garantiscono un livello di protezione elevato;

Categoria III: apparecchi o sistemi di protezione che garantiscono un livello di protezione normale.

La direttiva ATEX propone diverse tecniche di protezione tra cui:

Tecnica di contenimento (a prova di esplosione)

Tecnica di segregazione (incapsulamento)

Tecnica di prevenzione (sicurezza intrinseca)

Viene valutato caso per caso quale di queste tecniche risulta avere maggiori effetti in quanto l'applicazione di tali tecniche spesso risulta costosa, per questo motivo si cercheranno strategie più convenienti.

Apparecchiature Elettriche – Gas

Simbolo	Denominazione	Marcatura	Zone Installazione	Norme Applicabili
	A Prova d'Esplosione	Ex da ¹ Ex db Ex dc	0 1 2	EN 60079-1
	Pressurizzazione	Ex pxb Ex pyb Ex pzb	1 1 2	EN 60079-2
	Riempimento in Sabbia	Ex q	1	EN 60079-5
 Exq	Immersione in olio	Ex ob Ex oc	1 2	EN 60079-6
	Sicurezza Aumentata	Ex eb Ex ec	1 2	EN 60079-7
	Sicurezza Intrinseca	Ex ia Ex ib Ex ic	0 1 2	EN 60079-11
	Zona Pressurizzata / Ventilazione	Ex pb Ex pc Ex vc	1 2 2	EN 60079-13

Figura 5.92. Metodi di protezione Atex (“Direttive ATEX.” *Atex Italia*)

5.7.1. L'efficacia della ventilazione

Nelle attività che vengono classificate come zone con presenza di atmosfera esplosiva, la ventilazione riveste un ruolo chiave in quanto permette la diluizione dell'eventuale perdita in determinati range che scongiurano la creazione di atmosfere esplosive. A livello internazionale la norma ATEX EN 60079-10-1 permette la classificazione e la determinazione di livelli idonei di ventilazione per ogni zona dell'impianto studiata, per l'Italia, è stata resa disponibile la guida CEI EN 60079-10-1 che illustra, rispettivamente nell'allegato C, le procedure di calcolo per la determinazione del grado di ventilazione adeguato. Tale guida permette di definire l'efficacia della ventilazione considerando anche elementi caratteristici al contorno come temperature medie stagionali, pressioni atmosferiche e direzione del vento. Come parametro nella guida CEI viene considerato il volume ipotetico (V_z) che rappresenta il volume nel quale la concentrazione di gas o vapore è pari a 0,25 o 0,5 il limite di infiammabilità inferiore (LEL). L'efficacia di tale misura viene valutata in gradi a partire dal volume ipotetico di diluizione denominato come V_0 , da cui si può avere: grado alto di diluizione (VH) a cui viene associato un V_z trascurabile; grado medio di diluizione (VM) a cui viene associato un V_z non trascurabile; e un grado basso di diluizione a cui viene associato un V_z superiore a quello dell'ambiente.

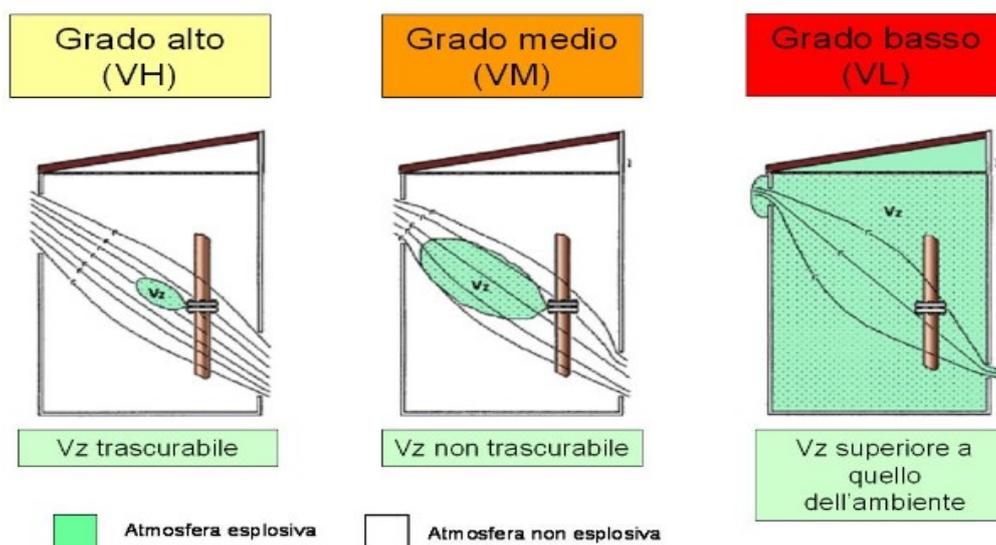


Figura 5.93. Gradi di ventilazione in funzione di atmosfera esplosiva o meno ("Direttive ATEX."

Atex Italia)

Un altro parametro che viene interpellato nella guida Italiana CEI 31-35 è la disponibilità della ventilazione che può risultare:

Tabella 5.2. Tabella per la definizione delle disponibilità alla ventilazione

BUONA	Ventilazione continua
ADEGUATA	Ventilazione attiva solo durante il funzionamento normale
SCARSA	Ventilazione né buona né adeguata

Determinati tali parametri essenziali, mediante l'utilizzo della tabella b1 della norma Internazionale EN 60079-10-1 o anche comunemente chiamata ATEX si procede con il calcolo delle distanze che determinano l'estensione della zona pericolosa mediante la lettura della tabella sottostante.

Grado di emissione	Efficacia della Ventilazione						
	Diluizione Alta			Diluizione Media			Diluizione Bassa
	Disponibilità della ventilazione						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE) ^a	Zona 2 (Zona 0 NE) ^a	Zona 1 (Zona 0 NE) ^a	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE) ^a	Zona 2 (Zona 1 NE) ^a	Zona 2 (Zona 1 NE) ^a	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 oppure Zona 0 ^c
Secondo^b	Non pericolosa (Zona 2 NE) ^a	Non pericolosa (Zona 2 NE) ^a	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e persino Zona 0 ^c

Figura 5.94. Efficacia della ventilazione in funzione del grado di emissione secondo direttiva ATEX ("Direttive ATEX." *Atex Italia*)

Nel caso specifico studiato, l'azienda è caratterizzata da una sorgente di emissione di grado Primo, infatti viene considerato una "Emissione che può essere prevista avvenire periodicamente oppure occasionalmente durante il funzionamento normale", inoltre avendo avuto cura nel posizionamento dei depositi di gas in una zona esente da ostruzioni per il vento, in modo tale da poter beneficiare completamente dell'azione diluente di questo nei confronti della nube, viene indicata un'efficacia della ventilazione con Diluizione media con disponibilità della ventilazione Adeguata; da queste considerazioni viene definito il deposito oggetto di studio come ZONA 1; quindi l'ipotesi sviluppata precedentemente, viene confermata in quanto in tale zona si considera una presenza di gas, quindi la creazione di un'Atmosfera potenzialmente esplosiva per un range di tempo dalle 10 alle 1000 ore l'anno, ipotesi più che ragionevole per un'attività di vendita di bottiglie di gas.

5.7.2 Ricerca della strategia più efficace all'allontanamento di un rilascio di gas

Dai risultati ottenuti mediante le simulazioni di rilascio effettuate con l'uso del Software Aloha e Pyrosim, si nota come l'azione del vento, nella casistica di rilascio di gas, sia il fattore che ne possa modificare maggiormente gli scenari incidentali.

Per i gas considerati, Gas di Petrolio Liquefatto e Acetilene, se dispersi in atmosfera e inalati, ad alta concentrazione possono causare la morte per asfissia; inoltre, i limiti di infiammabilità dei due gas fanno sì che nonostante vengano dispersi in atmosfera, dato l'intervallo così ampio presente per l'acetilene, la possibilità che il rilascio trovi ignizione sia molto elevato.

Da queste considerazioni si può pensare come l'azione consigliata, dati un deposito di Gpl e un deposito di Acetilene, localizzati all'interno di una realtà produttiva ove vengono svolte varie e differenti mansioni come attività di officina o attività di deposito legna/pellets, sia, che tutto il rilascio venga convogliato o meglio indirizzato nelle zone meno sensibili della realtà produttiva; per far questo ne risulta obbligatoria una prima analisi approfondita delle condizioni al contorno in quanto queste andranno a variare la posizione, quindi, l'installazione dei depositi di gas.

Il convogliamento o meglio il "raccolgimento" della nube in atmosfera, nasce da una riflessione effettuata per gli scarichi in torcia nelle raffinerie o negli impianti chimici; in tali impianti, infatti, il dispositivo denominato appunto torcia o fiaccola, è essenziale per la sicurezza ed il controllo ambientale, il quale permette mediante la combustione, la distruzione di eventuali gas idrocarburici presenti in eccesso. Così come per il sistema torcia, si vuole realizzare per i depositi di gas, un sistema ad azionamento automatico che mediante delle sonde, una volta registrato un valore prefissato in ppm di gas in aria, ne permetta l'azionamento, e mediante appositi JET-FAN tale rilascio venga convogliato e successivamente disperso in apposita area sicura. In questa casistica, come area sicura viene intesa un'area esente da possibili fonti di innesco e con presenza occasionale di persone.

I JETFAN vengono principalmente adoperati nelle gallerie o nei parcheggi sotterranei, in questi luoghi, nel caso vi si verifici un incidente o un incendio, questi ventilatori permettono un maggior ricambio d'aria assicurando quindi un "veloce" allontanamento dei fumi e dei prodotti della combustione; così come nelle gallerie o parcheggi interni vengono adoperati per l'allontanamento dei gas nocivi, si vuole adoperare la stessa strategia in un deposito di gas, con il duplice obiettivo di allontanare il gas disperso e diluirlo.

Nei depositi di gas vi si può optare sia per un JET-FAN con funzionamento di aria immessa all'interno dello stabile, sia con funzionamento inverso ovvero mediante aspirazione e successivo allontanamento esterno allo stabile.

Per la direzione di allontanamento della nube, si dovranno considerare oltre alla condizioni al contorno, quali presenza o meno di attività circostanti, la direzione principale del vento, in quanto questa, se opportunamente studiata e valutata potrà fornire un vantaggio per la

diluizione; nel caso contrario invece, potrà solo peggiorare la situazione presentata; inoltre si avrà particolare cura dell'altezza di installazione dei JET-FAN in quanto i gas studiati, se dispersi in aria presentano densità diverse che ne determinano due moti di avanzamento della nube differenti. L'acetilene, presentando una densità di circa 0,9, se disperso in aria tende quindi a "galleggiare" escludendo quindi eventuali moti di innalzamento o abbassamento della nube, caratteristica invece rappresentata dal Gas di Petrolio liquefatto, il quale avendo una densità maggiore dell'aria, rispettivamente di 1,54, una volta fuoriuscito si deposita al suolo.

Note tali caratteristiche per il deposito di acetilene, il posizionamento dei JET-FAN avverrà ad altezza dell'ugello della bombola, in modo tale da sfruttare l'azione mirata del turbine d'aria; mentre nel caso di deposito di GPL, dato che tutto il gas si deposita al suolo, questi verranno installati ad un'altezza tale da sfruttare al meglio l'azione mirata dell'aria, senza però determinare ulteriori movimenti del gas al suolo, in quanto se agissimo con un turbine d'aria a quota 0 si rischia di mettere nuovamente in movimento la nube instaurando dei moti convettivi. Quello che si vuole realizzare è un sistema di turbine ad azionamento automatico, capaci di convogliare istantaneamente un rilascio in zona sicura. Come ci si può immaginare un sistema di jet-fan avrà alle spalle un sistema con centraline e sensori molto complesso che verrà alimentato da energia elettrica. Dato l'esteso campo di infiammabilità dell'acetilene si avrà particolare cura nell'isolamento o meglio nel limitare che parti del sistema di jet-fan possano fungere da sorgenti di accensione come una superficie calda.

5.7. Diluizione di una perdita di gas mediante jet-fan rappresentata mediante l'utilizzo del software Pyrosim

Definito quindi come l'azione del vento sia una delle poche strategie utili per l'effettivo allontanamento e diluizione di una perdita di gas, si è voluto indagare sulle concentrazioni presenti all'interno di un deposito che presenta dei jet-fan. In un primo momento è stato pensato di allontanare e diluire la concentrazione di gas disperso con dei ventilatori che aspirassero da dentro il deposito gas ed aria e convogliassero la miscela esternamente al deposito. Tale strategia potrebbe essere utile nell'ipotesi di completa assenza di vento, in quanto, nel caso venisse estratta aria e gas dall'interno del deposito per allontanarla all'esterno, basterebbe una semplice "folata di vento" orientata verso le attività circostanti, per tornare alla situazione iniziale se non peggiorarla. Da questa riflessione si è quindi optato per simulare e quindi studiare un ipotetico rilascio e andare ad abbattere le concentrazioni di questo, immettendo aria al suo interno. Per simulare, in Pyrosim, la presenza dei jet-fan, è stata utilizzata l'opzione HVAC nodes, che permette la creazione di nodi comunicanti tra loro che, o immettono o estraggono aria, in base che si decida il passaggio tra nodo 1 a 2 o viceversa.

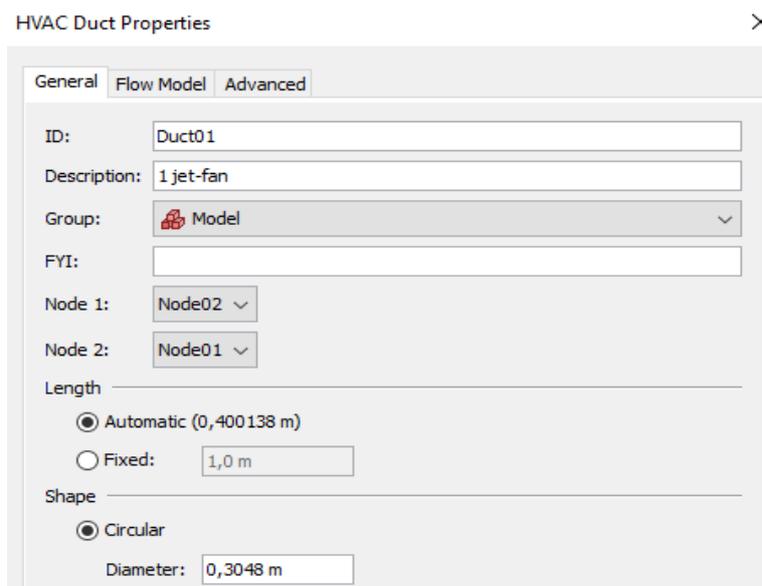


Figura 5.95. Screen finestra dialogo Pyrosim per l'immissione delle caratteristiche di un jet-fan

Per la rappresentazione più veritiera possibile dei jet-fan, sono prima stati ricavati i valori di aria trattata da dei jet-fan commerciali; sono stati utilizzati i dati relativi all'azienda Vortice, azienda leader nella fabbricazione di sistemi per il trattamento dell'aria. Si è scelto di adoperare sistemi vortice ad alta efficienza che assicurano un volume trattato di aria pari a 52.8 m³/s.

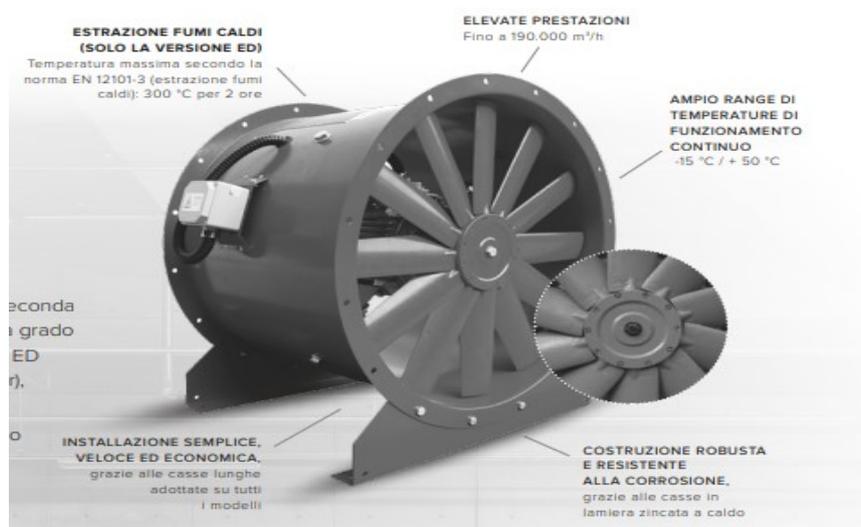


Figura 5.96. Screen dell'estrattore/jet-fan adoperato per la simulazione (<https://www.vortice.it/>)

Completando l'immissione dei dati per il funzionamento dei jet-fan è stata inserita la quantità d'aria trattata come segue:

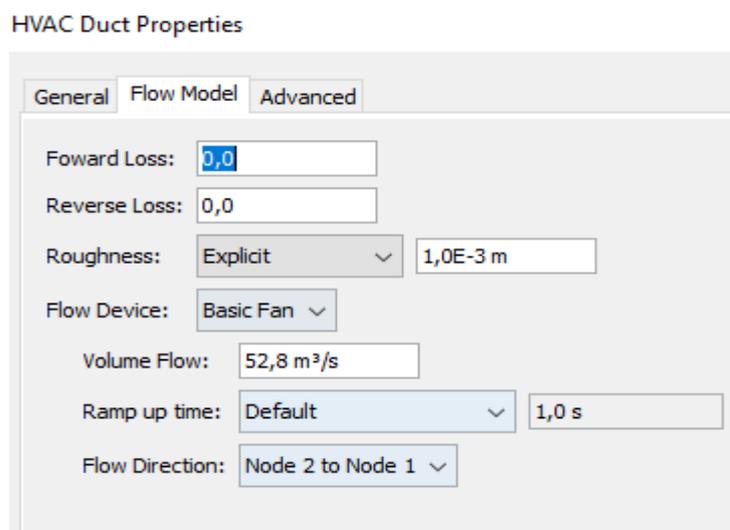


Figura 5.97. Screen finestra dialogo PyroSim per inserimento dati dei jet-fan

Per la seguente simulazione sono stati creati rispettivamente due jet-fan, i quali, sono stati posizionati in direzione opposta alla posizione del primo fabbricato.



Foto 5.98. Illustrazione deposito con jet-fan

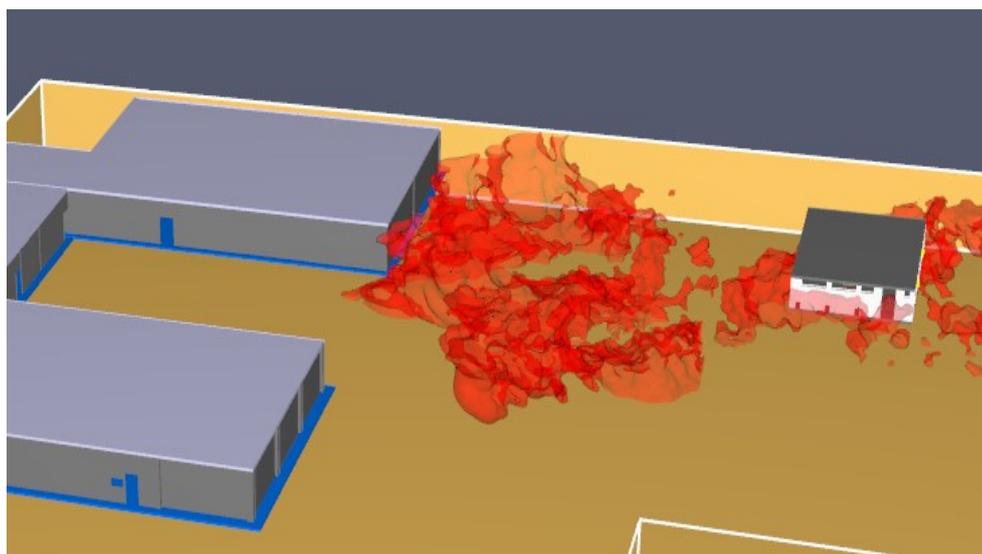


Foto 5.99. Finestra risultati Pyrosim

La simulazione di rilascio di acetilene, con attivazione istantanea dei jet-fan, non permette la diluizione del rilascio fuori dai range di infiammabilità, infatti il programma di modellazione, restituisce, sotto l'opzione di Isosurfaces, una nube rossa. La scala cromatica adoperata per la visualizzazione in ppm della sostanza indagata va dal Blu, che ne indica l'assenza di sostanza dispersa, al rosso, al quale è stato fatto corrispondere il limite di infiammabilità inferiore, condizione sufficiente affinché si verifichi un incendio, nel caso in cui sia presente una valida fonte di ignizione. Nonostante tale soluzione, non abbia evitato la possibile creazione di un'atmosfera esplosiva, si nota, confrontando tale simulazione con la simulazione svolta per lo stesso box ma in assenza di jet fan come il tempo impiegato dalla nube per raggiungere il fabbricato sia aumentato. Si riporta, per un facile confronto, lo screen delle due simulazioni allo stesso tempo, individuato a 10 s dal rilascio.

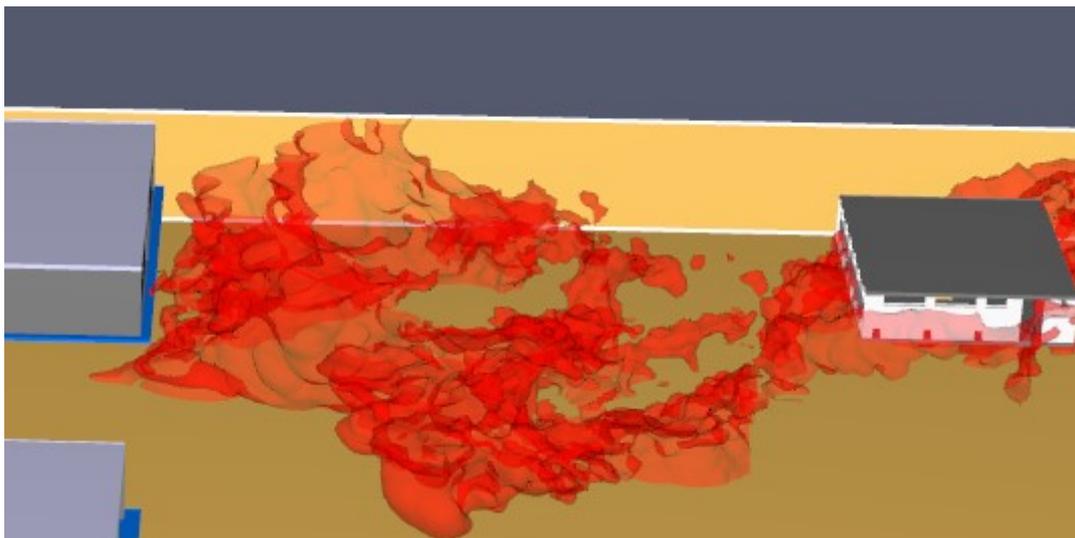


Figura 5.100. Finestra risultati Pyrosim con Isosufaces attiva e jet fan attivi

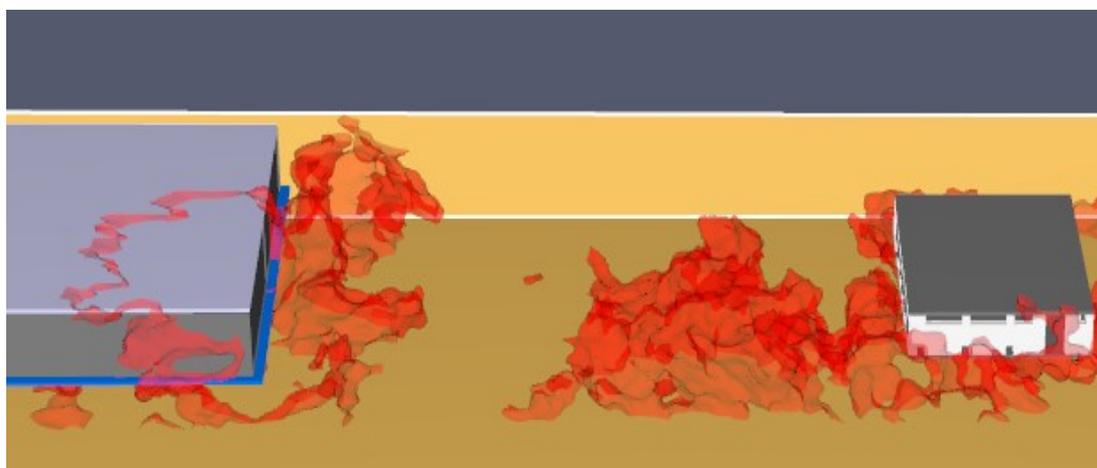


Figura 5.101. Finestra risultati Pyrosim con Isosufaces attiva

Per verificare l'effettiva efficacia, o meno, dei jet-fan, vengono bloccate entrambe le simulazioni a 10 s dall'inizio del rilascio. Si nota, come nella prima simulazione, situazione con presenza di jet fan attivi, la nube, trascorsi 10 s, non è ancora giunta al primo fabbricato, mentre, nella seconda simulazione, anch'essa stoppata dopo 10 s, la nube ha già raggiunto e superato il primo fabbricato. Nonostante i jet-fan installati non permettano alla nube di uscire fuori dai range di infiammabilità, l'utilizzo di questi, ha comunque dato un beneficio in termini di tempistiche. La nube, nella simulazione con jet-fan attivi, riesce a raggiungere il primo fabbricato solo dopo 12 secondi, questo ne determina un aumento del tempo disponibile per l'esodo, se fosse però presente un opportuno allarme di segnalazione accoppiato da particolari sensori ad attivazione automatica. Un altro vantaggio dato dall'installazione dei jet fan è dato da una forte riduzione del quantitativo di sostanza che può essere coinvolta in un incendio o un'esplosione. Diminuendo di molto il quantitativo che può prendere parte ad un incendio, viene mitigata la probabilità che si verifichi un'esplosione.

Definito quindi, in termini di tempistiche, il vantaggio principale, dato dall'installazione dei jet-fan, se ne determina un aumento sostanziale del tempo disponibile all'esodo, indicato come ASET. ASET è dato dalla somma del tempo di rivelazione, del tempo di allarme generale, del tempo di riconoscimento, del tempo di risposta e del tempo di movimento a cui si somma un tempo per i margini di sicurezza. L'utilizzo dei jet fan, quindi, permette un aumento di questi tempi in quanto diminuisce la velocità di avanzamento della nube entro i limiti di infiammabilità e presenterà un aumento di circa 3,5-4,5 secondi per la nube che raggiunge il fabbricato, in cui possono essere presenti delle fonti di innesco.

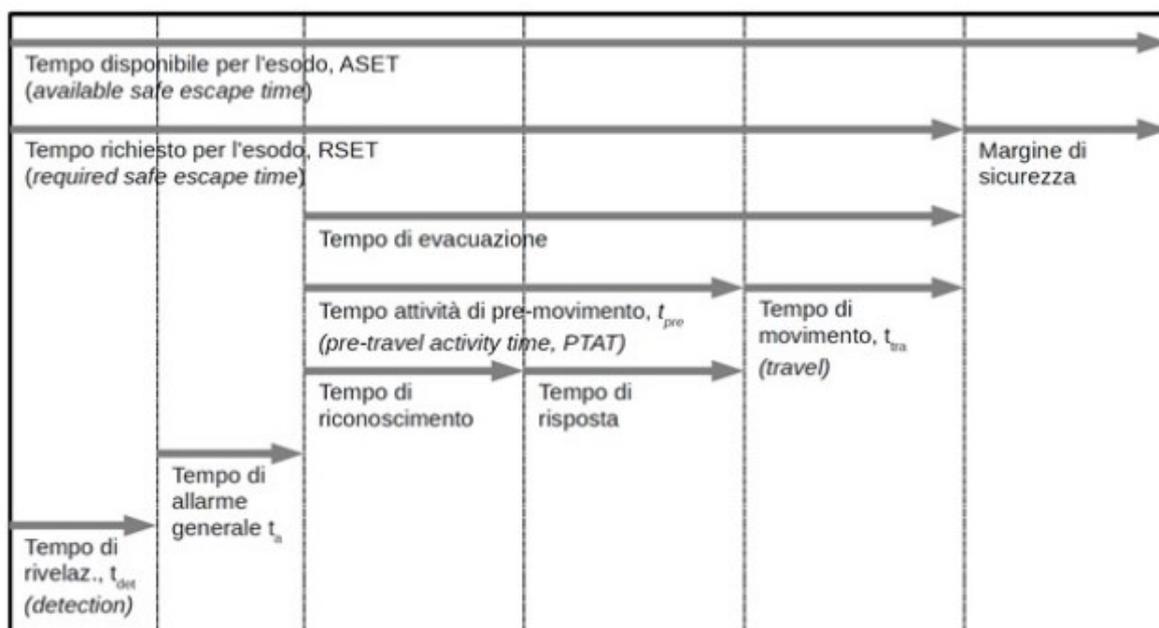


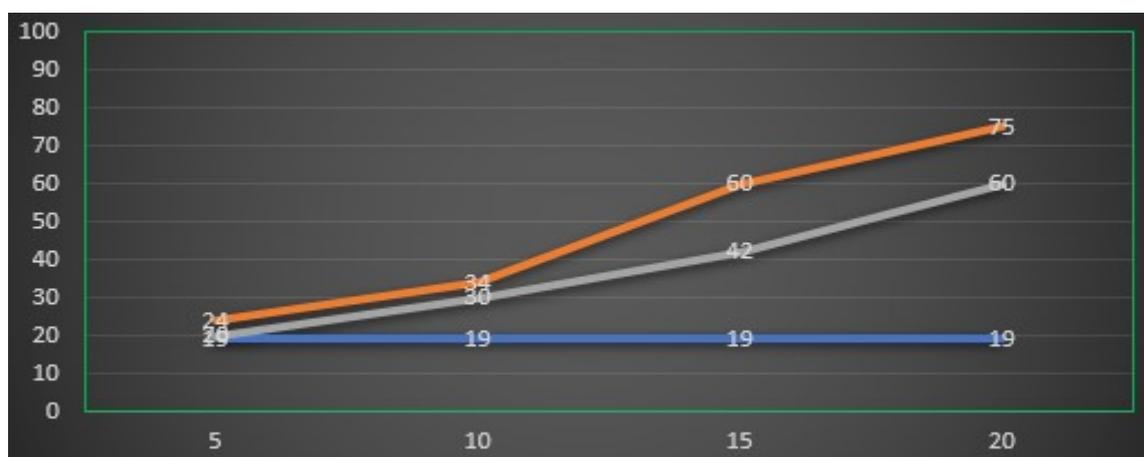
Figura 5.102. immagine esplicativa del tempo disponibile e richiesto per l'esodo
(<https://www.edilizianamirial.it/modelli-di-calcolo-per-esodo/>)

I jet-fan, diminuendo velocità e tempistiche con cui arriva la nube ad impattare il primo fabbricato, aumentano il tempo disponibile sia alla rivelazione che all'allarme, in tale maniera, una volta rilevato e attivato l'allarme si avrà a disposizione maggior tempo per l'esodo.

Confrontando quindi le varie simulazioni riportanti le distanze di sicurezza al decorrere del tempo, la situazione presentata sarà la seguente illustrata mediante grafico di Figura 5.103.

Figura 5.103. Confronto risultati estensioni nube

Tempo	Circolare 1956	Software Aloha rilascio di 3 kg in atmosfera	Software Pyrosim rilascio in atmosfera con 1/5 sup. aerata	Software Aloha rilascio in atmosfera con jet fan
5 s	15 m	19 m	24 m	20 m
10 s	15 m	19 m	34 m	30 m
15 s	15 m	19 m	60 m	42 m
20 s	15 m	19 m	75 m	60 m



Il convogliamento della nube tramite jet-fan, fa sì che il quantitativo indirizzato verso la zona definita come Atex, o meglio, come zona con possibili fonti di innesco, sia diminuito, infatti tra la simulazione esente da jet-fan rispetto alla simulazione con jet-fan si riscontra una differenza finale di estensioni di circa 15 m dato appunto da un minor quantitativo di miscela indirizzato in tale zona.

Conclusioni

Questo lavoro si pone l'obiettivo di verificare che le distanze di sicurezza riportate nella Circolare del 1956 n.74° accoppiate a una corretta superficie aerata, pari ad 1/5 della superficie calpestabile, possano essere considerate sufficienti, come forme di protezione passiva, dato un rilascio da una singola bombola di Acetilene di 3 kg, o un rilascio da una bombola di gpl da 25 kg. Dato appunto, la velocità caratteristica con cui si evolve un incendio che coinvolge gas, le strategie possibili da attuare, riguardano la prima fase di propagazione della nube e non le fasi successive, in quanto, una volta che la nube di gas trova ignizione non si può intervenire con altri mezzi di protezione se non precedentemente all'ignizione, con la diluizione della concentrazione della nube stessa.

Art. 35. - Le distanze di sicurezza interna ed esterna di cui al precedente articolo sono quelle indicate nella seguente tabella, in relazione alla categoria del deposito:

Categoria	Distanze di sicurezza interna	Distanze di sicurezza esterna
1ª (fino a 5.000 kg.)	m. 6	m. 15
2ª (fino a 1.000 kg.)	---	m. 10
3ª (fino a 300 kg.)	---	m. 8

in dipendenza delle predette caratteristiche costruttive le distanze di sicurezza esterna dei depositi di 1ª categoria potranno essere modificate come è indicato al successivo articolo 37.

Figura 3.1. Art. 35 della Circolare n°74 del 1956

La circolare riporta come massima distanza di sicurezza i 15 metri, oltre questo, nel caso in cui, il box, sorga in vicinanza ad una linea ferroviaria, la distanza di sicurezza da rispettare è di 20 m. Le simulazioni effettuate rispettivamente con i software Aloha e Pyrosim, sono svolte per misurare e successivamente confrontare, le estensioni della nube di Acetilene e Gpl disperso, con le distanze di sicurezza riportate in Circolare all'art.35. Lo screen sotto riportato, proveniente dal software Aloha, **Figura 5.33.** restituisce, considerato un rilascio continuo di 3kg di acetilene, una massima estensione di 19 metri, ove vengono raggiunti i livelli tali di concentrazione per poter dar vita ad un incendio. Tale livello, corrisponde al raggiungimento del limite di infiammabilità inferiore della sostanza considerata. Un'estensione di 19 metri risulta essere nettamente maggiore rispetto ad una distanza di sicurezza di 15 metri, non sufficiente a garantire la sicurezza se non integrata con altre strategie antincendio o se non vi fosse la presenza di attività che possano generare possibili inneschi per la nube.

```

THREAT ZONE:
Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
Model Run: Gaussian
Red   : 19 meters --- (23000 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Orange: 27 meters --- (11500 ppm)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
      make dispersion predictions less reliable for short distances.
Yellow: 60 meters --- (2300 ppm)

```

Figura 5.33. Finestra risultati Aloha dove vengono riportate le estensioni della nube indagata (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Le strategie antincendio ricercate non riguardano strategie da attuare successivamente al momento in cui il rilascio trova ignizione bensì si è ricercata una strategia di sicurezza presente prima dell'evoluzione incidentale. Da un primo confronto tra le distanze di sicurezza riportate e il Software Aloha, si evince che le distanze di sicurezza non sono sufficienti nemmeno nella casistica di rilascio da singola bombola di Acetilene. In tutte le simulazioni svolte, il modulo e la direzione del vento sono stati inseriti nei software, simulando la situazione peggiorativa, ovvero che la totalità del rilascio fosse convogliato nelle zone più pericolose cioè le zone caratterizzate da presenza di possibili fonti di innesco. Per i risultati ottenuti dal Software Aloha, certe distanze di estensione della nube, potrebbero risultare non completamente esatte in quanto, per la modellazione del termine sorgente, dato il poco quantitativo di sostanza dispersa in atmosfera, il software non riesce a simulare la fuoriuscita di 3 kg da una sorgente definita come tank ma, tale quantitativo, può essere simulato selezionando come tipo di fonte, una fonte direct, avente le seguenti caratteristiche illustrate nella finestra di dialogo del software qui si seguito in **Figura 5.6**.

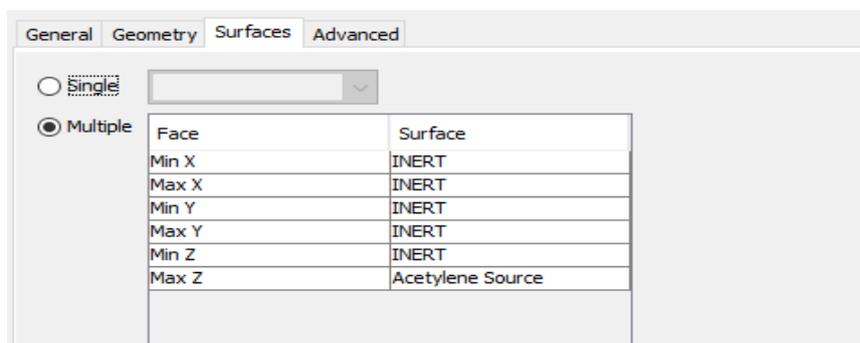
```

SOURCE STRENGTH:
Direct Source: 3 kilograms           Source Height: 0
Release Duration: 1 minute
Release Rate: 50 grams/sec
Total Amount Released: 3.00 kilograms
Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
      Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

```

Figura 5.6. Modellazione termine sorgente con ALOHA (<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

Per la simulazione svolta invece, col software Pyrosim, il termine sorgente è stato simulato come un Vent, con tutte le facce selezionate come superfici inerti ad esclusione di quella superiore impostata come Acetylene source, da cui appunto fuoriuscirà la sostanza.



Nel programma di modellazione Pyrosim, sono state utilizzate diverse funzioni per indagare sulle estensioni della nube entro i range di concentrazione inseriti. I range inseriti vanno dallo 0 ppm a 25000 ppm, la soglia maggiore rappresenta il limite di infiammabilità dell'acetilene. Il programma rappresenta i limiti indagati su una scala cromatica che evidenzia in ordine crescente dal blu al rosso i ppm selezionati.

Non è stato necessario l'inserimento del limite di infiammabilità superiore in quanto, dai dati restituiti da Aloha solo certe zone raggiungono il lel corrispondente e se questo accade, si verifica solo per pochi secondi.

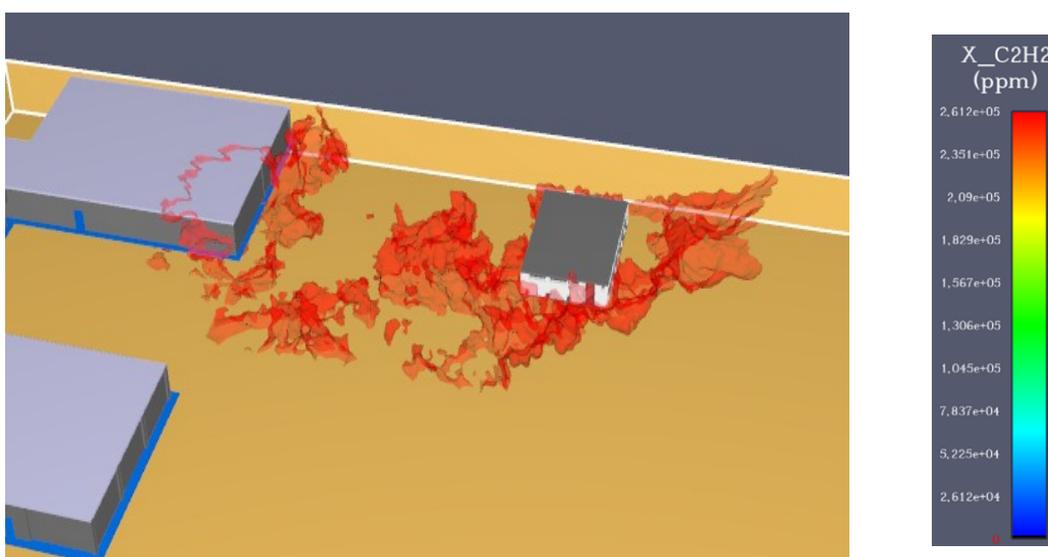


Figura 5.84. Screen risultati Pyrosim con attivo Isosurfaces

Il deposito è collocato a 34 m dal primo fabbricato e, come si nota dallo screen sopra riportato di **Figura 5.84.**, la nube raggiunge il fabbricato e lo oltrepassa. In conclusione, entrambi i software adoperati per la simulazione di una perdita in atmosfera di acetilene, restituiscono un'estensione della nube, comunque, sempre maggiore delle distanze di sicurezza riportate in Circolare; infatti, Aloha restituisce un'estensione della nube di 19 m che raggiunge il lel corrispondente, mentre Pyrosim restituisce un'estensione della nube di 34 m, raggiunti in 10 secondi dal rilascio. La strategia ricercata per la diluizione della nube fuori dai suoi range di infiammabilità, è stata individuata con l'installazione di due jet-fan, posizionati in direzione opposta al primo fabbricato. Nella simulazione svolta con Pyrosim con i jet-fan attivi, si nota come questi, non permettano alla nube di fuoriuscire dai suoi range di infiammabilità. Nello screen sotto riportato di **Figura 5.100.**, anche in questa simulazione, l'isosurfaces ha una colorazione rossa, indicante appunto il raggiungimento in ppm del lel corrispondente.

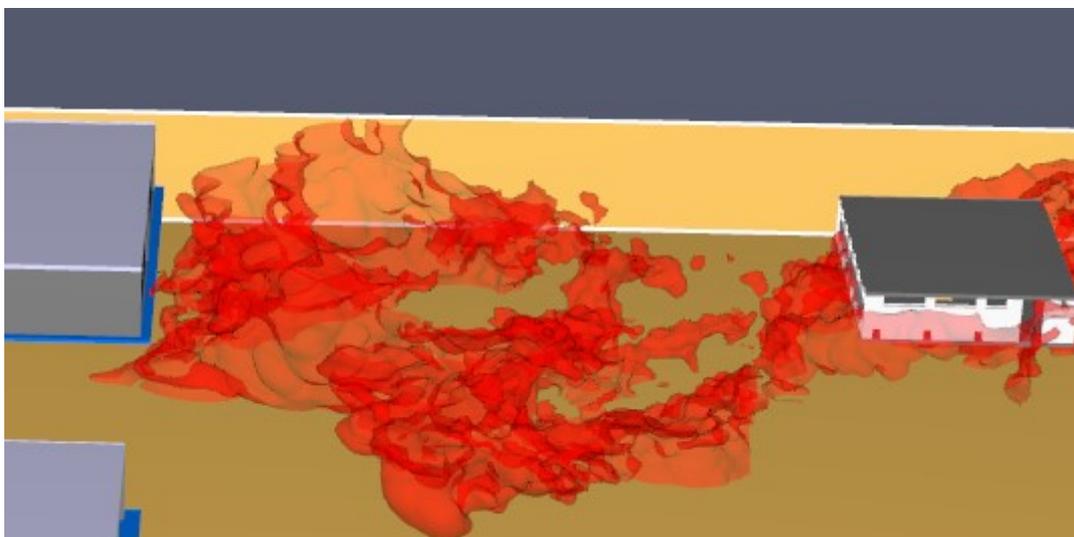


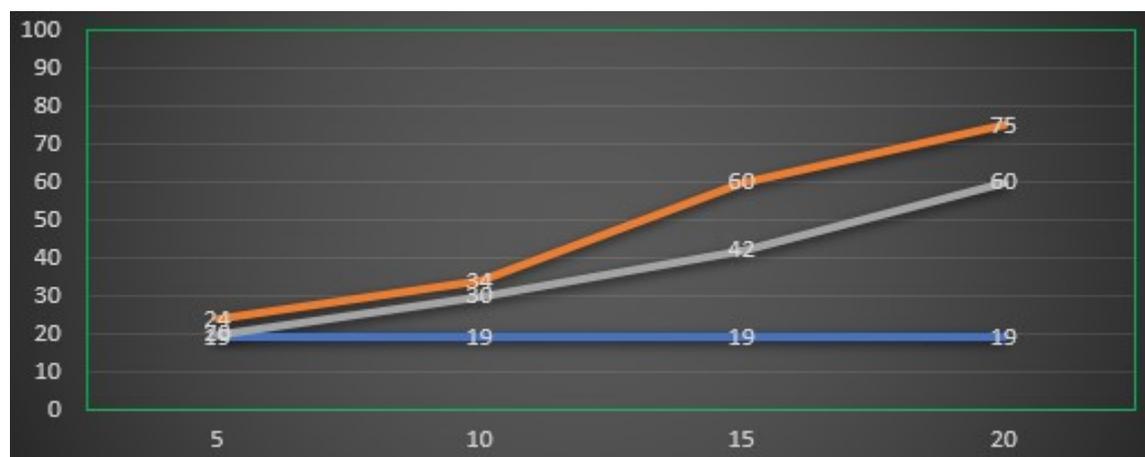
Figura 5.100. Finestra risultati Pyrosim con Isosurfaces attiva e jet fan attivi

Nonostante la nube rimanga dentro i suoi limiti di infiammabilità, permette un netto aumento del tempo disponibile all'esodo o alla gestione dell'emergenza in quanto, con la presenza dei jet-fan viene mitigata la velocità con cui la nube giunge al fabbricato, ne consegue, che la nube possa raggiungere il fabbricato con un ritardo di circa 4 secondi rispetto al box non equipaggiato con jet fan; oltre questo effetto positivo, il convogliare la sostanza dispersa in un'altra zona, fa sì che il quantitativo di sostanza che trovi ignizione sia nettamente minore; così facendo verrà a mancare una delle condizioni essenziali per cui si possa verificare un'esplosione ovvero una quantità di combustibile elevata.

Vengono rappresentati graficamente gli effetti dell'installazione dei jet fan, correlando tempo e distanze raggiunte dalla nube rilasciata, confrontati con le altre simulazioni svolte precedentemente.

Figura 5.103. Confronto risultati estensioni nube

Tempo	Circolare 1956	Software Aloha rilascio di 3 kg in atmosfera	Software Pyrosim rilascio in atmosfera con 1/5 sup. aerata	Software Aloha rilascio in atmosfera con jet fan
5 s	15 m	19 m	24 m	20 m
10 s	15 m	19 m	34 m	30 m
15 s	15 m	19 m	60 m	42 m
20 s	15 m	19 m	75 m	60 m



La diminuzione del quantitativo rilasciato verso la zona con possibili fonti di innesco fa sì che la nube possa raggiungere distanze inferiori, inoltre tale diminuzione di sostanza dispersa, diminuisce la probabilità che il rilascio possa esplodere; sono anche aumentate le tempistiche per la gestione di un eventuale rilascio.

Per il Gpl, il software Aloha, restituisce una Threat Zone che raggiunge il lel pari a 15 metri, distanza concorde ma comunque non sufficiente a poter proteggere il fabbricato, in quanto, se il box deposito fosse stato installato a 15 metri esatti da altri fabbricati con presenza di possibili fonti di ignizione, basterebbe una perturbazione o un aumento del modulo del vento per riscontrare presenza di Gpl internamento al fabbricato.

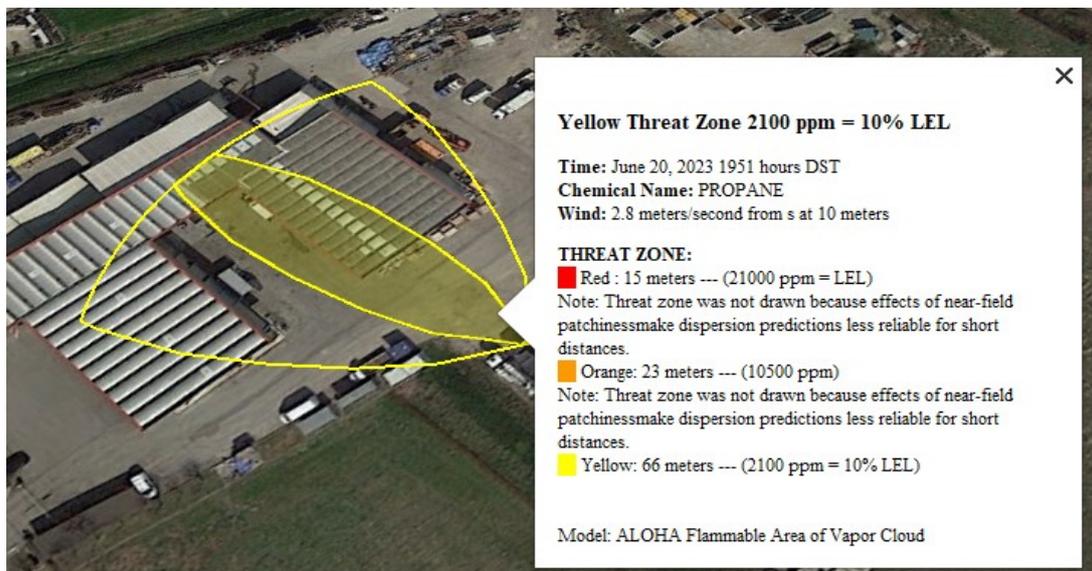
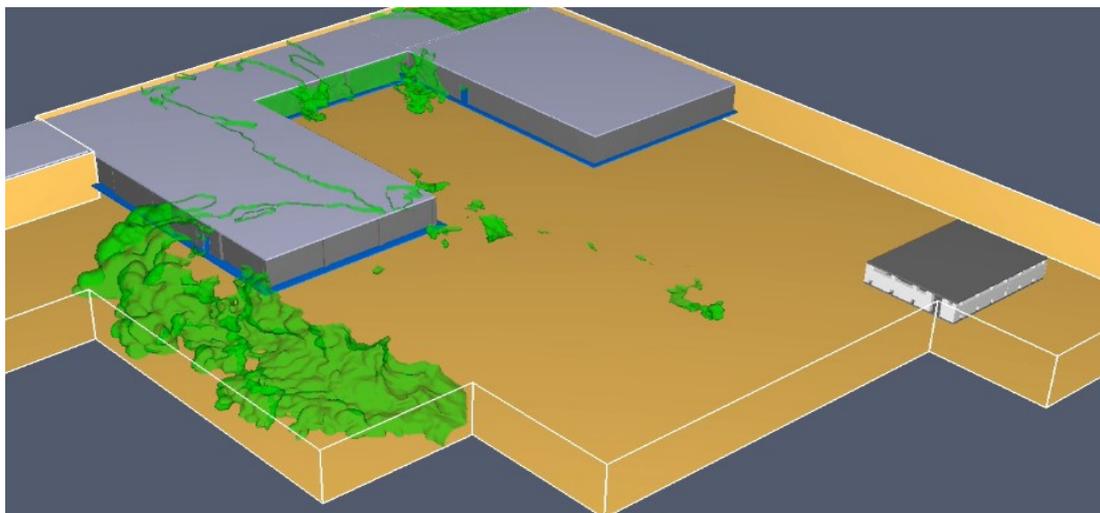


Figura 5.57. Screen risultati Aloha riportati in Google Earth

La simulazione condotta con Pyrosim per il gas di petrolio liquefatto, restituisce invece un'estensione della nube pari almeno a 34 m, raggiunti nei primi 5 secondi dal rilascio. Decorsi rispettivamente 10 secondi il rilascio riesce a raggiungere non solo il primo fabbricato in adiacenza, ove viene svolta l'attività di autofficina, ma riesce a superarlo. Il rilascio, inoltre, raggiunge pure le attività circostanti, nonostante le caratteristiche meteorologiche, come intensità e direzione del vento, siano immutate.

Figura 5.88. Finestra risultati Pyrosim rilascio gpl dopo 10 secondi



Determinato quindi, come distanze di sicurezza di 15 metri, e superficie aerata pari a $1/5$ della superficie calpestabile, non siano sufficienti a proteggere le attività circostanti, dato un rilascio di acetilene o gpl, ne consegue che una buona scelta per l'installazione o creazione di box adibiti allo stoccaggio di gas sia data dal posizionamento di questi, in lotti ove non vengano svolte altre attività diverse da quella di deposito di gas; inoltre, eventuali perdite potrebbero essere trattate, mediante l'interposizione di siepi lungo il contorno dei box, tali da formare una sorta di barriera ove il rilascio possa diluirsi automaticamente col decorrere del tempo. In tali aree adibite al contenimento dei rilasci dovrà essere posto divieto di circolazione per ogni mezzo a motore.

Riferimenti

- Gruppo Maurizi - Sicurezza Alimentare, Ambientale e sul Lavoro*, <https://gruppomaurizi.it/>. Accessed 25 May 2023.
- Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco*, <https://www.vigilfuoco.it/>. Accessed 25 May 2023.
- “Acetilene (C₂/H₂) precauzioni e consigli per un utilizzo sicuro dell'acetilene.” *Gruppo Hera Srl*, <http://gruppo-hera.it/acetilene-precauzioni-e-consigli-per-un-utilizzo-sicuro-dell-acetilene.php>. Accessed 29 May 2023.
- “acetilene – de marchi gas conegliano – DeMarchi 1946.” *DeMarchi 1946*, 10 October 2019, <http://www.demarchi1946.it/gas-conegliano-demarchi/gas-acetilene-de-marchi-conegliano/>. Accessed 29 May 2023.
- “Auto a Gpl - È BOOM, MA NON SEMPRE CONVENGONO.” *Quattroruote*, 30 March 2009, https://www.quattroruote.it/news/eco_news/2009/03/30/%C3%A8_boom_ma_non_sempre_convengono.html. Accessed 12 June 2023.
- Bacci, Prof. Stefano. “Dispense citologia e istologia | Dispense di Citologia.” *Docsity*, <https://www.docsity.com/it/dispense-citologia-e-istologia/595464/>. Accessed 1 June 2023.
- “Circolare 03/07/67 n° 75.” *Vigili del Fuoco*, 6 June 2013, https://www.vigilfuoco.it/allegati/PI/RegoleTecnicheXAttivita/COORD_C_20_09_1956_n_74.pdf. Accessed 23 May 2023.
- Comitato tecnico scientifico. “GUIDA ALLA GESTIONE DELLE BOMBOLE GAS COMPRESSI (refrigeranti).” *Esseclima Srl* |, 29 March 2018, <http://www.esseclimasrl.it/wp-content/uploads/2018/03/Assofrigoristi-GUIDA-BOMBOLE-e-book.pdf>. Accessed 31 May 2023.
- “Corso Antincendio: Tipi di fuoco e sorgenti di innesco, Pag. 4.” *AddettiAntincendio.net*, http://www.addettiantincendio.net/corsoAI_dettagli.asp?CAP=2&page=4. Accessed 25 May 2023.
- “Cos'è il LEL?” *Crowcon*, <https://www.crowcon.com/it/resources/talking-gas/what-is-lel/>. Accessed 26 May 2023.
- “Decreto Ministeriale 01/02/86.” *Vigili del Fuoco*, 8 April 2021, https://www.vigilfuoco.it/allegati/PI/ProceduraPI/COORD_DPR_01_08_2011_n_151_e_DM_07_08_2012.pdf. Accessed 23 May 2023.
- “Direttive ATEX.” *Atex Italia*, <https://www.atexitalia.it/atex/>. Accessed 23 May 2023.
- E.D. BASSO, et al. “Evento Incidentale su un veicolo con bidoni di GPL: Reati e responsabilità.”
- “GPL: vantaggi, informazioni e caratteristiche tecniche.” *Energygas*, <https://www.energygas.it/informazioni-tecniche/gpl>. Accessed 24 May 2023.
- “Il D.Lgs. 105/2015 sulla prevenzione dei rischi di incidenti rilevanti Il Decreto Legislativo 105 del 26 giugno 2015, che definì.” *ARTA Abruzzo*, 26 June 2015, https://www.artaabruzzo.it/download/aree/rischio_industriale/20181124_AL_rir_testo_all_00_02.pdf. Accessed 25 May 2023.

- “Impianti a GPL per uso domestico non alimentati da rete di distribuzione Progettazione, installazione, esercizio e manutenzione.” *NORMA ITALIANA UNI 7131 Seconda edizione GENNAIO 1999*.
- “Impianti antincendio, sistemi antincendio.” *Gielle Industries*, https://www.gielle.it/agenti_estinguenti.htm. Accessed 27 March 2023.
- Ing. Borghese. *La prevenzione incendi nella piccola e media industria*. Roma, Giacomo Elifani EPC.
- Monaco, Pietro. “I modelli di calcolo per l'esodo - Fire Safety Engineering.” *Edilizia Namirial*, 9 December 2020, <https://www.edilizianamirial.it/modelli-di-calcolo-per-esodo/>. Accessed 22 June 2023.
- “Norme tecniche di prevenzione incendi.” *Vigili del Fuoco*, https://www.vigilfuoco.it/allegati/PI/COORD_DM_03_08_2015_Codice_Prevenzione_Incendi.pdf. Accessed 23 May 2023.
- “Norme tecniche di prevenzione incendi.” *Vigili del Fuoco*, https://www.vigilfuoco.it/allegati/PI/COORD_DM_03_08_2015_Codice_Prevenzione_Incendi.pdf. Accessed 26 May 2023.
- “RISCHIO ATEX: LO STOCCAGGIO IN SICUREZZA DEI MATERIALI INFIAMMABILI.” *Consulenza sicurezza sul lavoro*, <https://www.servizi-sicurezza-sul-lavoro.it/rischio-atex-lo-stoccaggio-in-sicurezza-dei-materiali-infiammabili>. Accessed 23 March 2023.
- Ruggeri, Ing. Giacomo. “CAUSE ED EFFETTI D E L L' ESPLOSIONE DI UNA BOMBOLA DI ACETILENE.” *ANTINCENDIO novembre 1997*.
- SAPIO group. “Scheda dati di sicurezza acetilene.” *Scheda dati di sicurezza acetilene*, <https://www.sapio.it/wp-content/uploads/Acetilene-SDS.pdf>.
- “SCHEDA DATI DI SICUREZZA.” *SCHEDA DATI DI SICUREZZA: acetilene disciolto*, <https://www.medicairindustry.com/wp-content/uploads/2021/03/916-acetilene-Rev.-2-del-07.01.2020.pdf>.
- “SCHEDA DATI DI SICUREZZA: ACETILENE (disciolto) In caso di emergenza: +39 02.932821 (ore ufficio).” *Medicair Industry*, 10 October 2019, <https://www.medicairindustry.com/wp-content/uploads/2021/03/916-acetilene-Rev.-2-del-07.01.2020.pdf>. Accessed 17 May 2023.
- “Scheda di sicurezza GAS DI PETROLIO LIQUEFATTO (GPL).” *Q8 sds Acetilene*, q8, 16 October 2019, https://www.q8.it/documents/9712510/9745023/GPL_QUASER_02.pdf/8953e2d1-6635-7e68-0b38-0926e9f11b7c. Accessed 20 June 2023.
- “SCHEDA DI SICUREZZA – GAS DI PETROLIO LIQUEFATTO (GPL).” *UniverGas*, UniverGas, https://www.univergas.it/ZeusInc/Publisher/Documents/Scheda%20di%20Dati%20Sicurezza%20GPL%204.0%20UniverGas_09102020.pdf. Accessed 20 June 2023.
- SIAD. “SCHEDA DATI DI SICUREZZA.” *SCHEDA DI SICUREZZA ACETILENE DISCIOLTO*, https://www.siad.com/it/sicurezza/schede-di-sicurezza?p_p_id=com_liferay_sheet_portlet_SecuritySheetPortlet_INSTANCE_T7lbJDQ

JQNxs&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-3&p_p_col_pos=1&p_p_col_count.

“SISTEMA VORT JET FAN.” *Vortice*,

https://www.vortice.it/media2/Matele/Italiano/Doc_Pubblicita_Sistema_Vort_Jet_Fan_150576.pdf. Accessed 5 June 2023.

Solgroup. “Scheda dati di sicurezza.” *Scheda dati di sicurezza*, <https://www.caldarini-gas.it/storage/2021/03/12/sds-acet.pdf>.

“Testo coordinato del DPR 1 agosto 2011 n. 151.” *Vigili del Fuoco*, 8 April 2021,

https://www.vigilfuoco.it/allegati/PI/ProceduraPI/COORD_DPR_01_08_2011_n_151_e_DM_07_08_2012.pdf. Accessed 5 June 2023.

