



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



MIT  
MINISTERO  
DELLE INFRASTRUTTURE  
E DEI TRASPORTI



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



Regione Lombardia  
Direzione Generale Infrastrutture e Opere Pubbliche



FERROVIENORD  
FNM GROUP



un progetto di  
FNM FERROVIENORD TRENORD

CODICE  
COMMESSA

LIVELLO  
PROGETTAZIONE

D.P.R.  
207/10

PROGRESSIVO  
ELABORATO

CATEGORIA  
OPERA

NUMERO  
OPERA

REVISIONE

SCALA

B 3 5

D

b

0 1 3

I M

0 2

R 0

===

IMPIANTO DI PRODUZIONE, STOCCAGGIO E DISTRIBUZIONE  
DI IDROGENO DI EDOLO  
Progetto Definitivo

Relazione Tecnica Specialistica  
Classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione  
(CEI EN 60079-10-1 e l.g. 31-35)

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3		-		
	2		-		
	1		-		
	0	Lug. 2024	PRIMA EMISSIONE		

FERROVIENORD

APPALTATORE



Progettista



BTP INFRASTRUTTURE S.p.A.

Via di Torre Rosa 66 - 00165 ROMA  
☎ (+39) 06 8710088 ✉ info@btpinfra.it  
Web: www.btpinfrastrutture.com

REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
G.STAMMATI	D.PERSIA	N. SBARIGIA	09/07/2024
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.

---

## Sommario

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. RISPONDENZA A NORME, LEGGI E REGOLAMENTI</b>	<b>2</b>
2.1 Luoghi con pericolo di esplosione – Norme di riferimento	2
2.2 Testo unico sulla sicurezza	4
<b>3. STATO DI PROGETTO</b>	<b>5</b>
<b>4. DETERMINAZIONE DEI FATTORI DI RISCHIO</b>	<b>7</b>
<b>5. CLASSIFICAZIONE DELLE ZONE PERICOLOSE</b>	<b>7</b>
5.1 Identificazione delle sostanze pericolose (SE e SEP)	8
5.2 Individuazione delle sorgenti di emissione	10
5.3 Definizione della portata di emissione delle sorgenti	10
5.4 Grado di ventilazione	11
5.5 Definizione delle zone pericolose	12
5.6 Estensione delle zone pericolose	13
<b>6. VALUTAZIONE DEL RISCHIO</b>	<b>14</b>
6.1 Probabilità “P”	15
6.2 Danno “D”	17
<b>7. ATTREZZATURE E IMPIANTI</b>	<b>21</b>
<b>8. RIDUZIONE DEL RISCHIO</b>	<b>22</b>
<b>9. ASSUNZIONE DI RESPONSABILITA’</b>	<b>23</b>

## **1. PREMESSA**

La presente relazione analizza i rischi di esplosione, la classificazione delle aree in cui si possono formare delle concentrazioni di gas e polveri, gli effetti prevedibili e le misure di sicurezza da porre in atto.

In particolare, il progetto di realizzazione di un nuovo impianto di produzione, stoccaggio e distribuzione di gas idrogeno a servizio della rete ferroviaria della FERROVIENORD (FNM GROUP), ubicato nel comune di Edolo (BS), all'interno della stazione ferroviaria e compreso tra Via Industriale e Via Rassiche, rientra nei campi di applicazione dell'analisi indicata.

## **2. RISPONDENZA A NORME, LEGGI E REGOLAMENTI**

### **2.1 LUOGHI CON PERICOLO DI ESPLOSIONE – NORME DI RIFERIMENTO**

- Decreto 23 ottobre 2018 - Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio degli impianti di distribuzione di idrogeno per autotrazione.
- Decreto 07 luglio 2023 – Regola tecnica di prevenzione incendi per l'individuazione delle metodologie per l'analisi del rischio e delle misure di sicurezza antincendio da adottare per la progettazione, la realizzazione e l'esercizio di impianti di produzione di idrogeno mediante elettrolisi e sistemi di stoccaggio.
- Testo coordinato di prevenzione incendi - allegato I del DM 03 agosto 2015, edizione in vigore dal 02 gennaio 2022 – Capitolo V2: Aree a rischio per atmosfere esplosive.
- CEI EN 60079-10-1 Atmosfere esplosive. Classificazione dei luoghi. Atmosfere esplosive per la presenza di gas.
- CEI EN 60079-10-2 Atmosfere esplosive. Classificazione dei luoghi. Atmosfere esplosive per la presenza di polveri combustibili
- Guida CEI 31-35 Guida all'applicazione della norma CEI EN 60079-10-1
- Guida CEI 31-56 Guida all'applicazione della norma CEI EN 60079-10-2
- CEI EN 60079-14 Atmosfere esplosive. Verifica e manutenzione degli impianti elettrici
- UNI EN 1127-1 Atmosfere esplosive. Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione. Concetti fondamentali e metodologia
- Direttive Comunitarie e documenti della commissione delle comunità europee

- Direttiva 94/9/EC; Direttiva 1999/92/EC; Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea OJ 2012/C 130/01 del 2012-05-04; Comunicazione della Commissione delle Comunità Europee n.515 del 2003: "Guida di buone prassi a carattere non vincolante per l'attuazione della direttiva 1999/92/CE del Parlamento europeo e del Consiglio relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive"
- Norme IEC e CENELEC IEC 60079-0:2007 "Explosive atmospheres - Part 0: Equipment - General requirements";
- EN 60079-0:2009 "Explosive atmospheres -- Part 0: Equipment - General requirements";
- EN 60079-0:2006 "Electrical apparatus for explosive gas atmospheres -- Part 0: General requirements";
- EN 60079-1:2007 "Explosive atmospheres -- Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures "d"";
- EN 60079-2:2007 "Explosive atmospheres -- Part 2: Equipment protection by pressurized enclosure "p"";
- EN 60079-5:2007 "Explosive atmospheres -- Part 5: Equipment protection by powder filling "q"";
- EN 60079-6:2007 "Explosive atmospheres -- Part 6: Equipment protection by oil immersion "o"";
- EN 60079-7:2007 "Explosive atmospheres -- Part 7: Equipment protection by increased safety "e"";
- EN 60079-10:2004 "Electrical apparatus for explosive gas atmospheres -- Part 10: Classification of hazardous areas";
- EN 60079-10-1:2009 "Explosive atmospheres -- Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres";
- EN 60079-10-2:2009 "Explosive atmospheres -- Part 10-2: Classification of areas - Combustible dust atmospheres";
- EN 60079-11:2007 "Explosive atmospheres -- Part 11: Equipment protection by intrinsic safety "i""; E
- N 60079-14:2008 "Explosive atmospheres -- Part 14: Electrical installations design, selection and erection";
- EN 60079-15:2005 "Explosive atmospheres -- Part 15: Equipment protection by type of protection "n"";
- EN 60079-17:2007 "Explosive atmospheres -- Part 17: Electrical installations inspection and maintenance"
- EN 60079-18:2009 "Explosive atmospheres -- Part 18: Equipment protection by encapsulation "m"";
- EN 60079-31:2009 "Explosive atmospheres -- Part 31: Equipment dust ignition protection by enclosure "t""
- EN 61241-0:2006 "Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust -- Part 0: General requirements"

- EN 61241-1:2004 “Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust -- Part 1: Protection by enclosures "tD"”
- EN 61241-4:2006 “Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust -- Part 4: Type of protection "pD"”
- EN 61241-10:2004 “Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust -- Part 10: Classification of areas where combustible dusts are or may be present”
- EN 61241-11:2006 “Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust -- Part 11: Protection by intrinsic safety "iD"”
- EN 61241-14:2004 “Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust -- Part 14: Selection and installation
- EN 61241-17:2005 “Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust -- Part 17: Inspection and maintenance of electrical installations in hazardous areas (other than mines)
- EN 61241-18:2004 “Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust -- Part 18: Protection by encapsulation "mD"”.

## **2.2 TESTO UNICO SULLA SICUREZZA**

Il Datore di Lavoro ha l’obbligo di effettuare il Documento sulla protezione contro le esplosioni che costituisce parte integrante del Documento di Valutazione dei Rischi (DVR) e viene redatto ai sensi dell’art. 294 del D.Lgs.81/08 contenente la classificazione delle aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive ai sensi dell’allegato XIX del D.Lgs.81/08. In tale valutazione dei Rischi, viene valutata in termini probabilistici:

- la presenza di eventuali fonti di accensione che possano divenire attive ed efficaci;
- la stima dell’entità degli effetti prevedibili;
- un programma di attuazione delle misure di sicurezza per l’adozione delle misure di prevenzione e protezione per i luoghi con pericolo di esplosione.

Esso si applica alle attività industriali in cui sono presenti sostanze in grado di formare un’atmosfera esplosiva, ossia una miscela con l’aria, a condizioni atmosferiche, di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri in cui, dopo accensione, la combustione si propaga all’insieme della miscela incombusta. Ai fini di una corretta valutazione devono essere presi in considerazione tutti i luoghi in cui possono formarsi atmosfere esplosive e quelli che sono o possono essere in collegamento con essi, tramite aperture.

Nell'assolvere gli obblighi stabiliti dall'articolo 17, comma 1, del D.Lgs.81/2008 il datore di lavoro valuta i rischi specifici derivanti da atmosfere esplosive, tenendo conto dei seguenti elementi:

- Probabilità e durata della presenza di atmosfere esplosive.
- Probabilità che le fonti di accensione, comprese le scariche atmosferiche, siano presenti e divengano attive ed efficaci.
- Caratteristiche dell'impianto, sostanze utilizzate, processi e loro possibili interazioni.
- Entità degli effetti prevedibili.

La valutazione, la scelta e l'installazione degli impianti elettrici è stata effettuata facendo riferimento alla guida CEI 31-108 (parti 1 e 2) che supporta la norma CEI EN 60079-14 (CEI 31-33) Atmosfere esplosive – parte 14.

La Norma CEI 31-33 e la sua Guida CEI 31-108 sono destinate agli impianti elettrici di luoghi destinati prevalentemente ad attività lavorative. Quest'ultimo aspetto è significativo ed importante tenendo conto che il Decreto legislativo 81/08 sulla salute e la sicurezza dei lavoratori dedica una parte importante del suo impianto giuridico proprio sulla sicurezza dei luoghi di lavoro in presenza di atmosfera esplosiva.

### **3. STATO DI PROGETTO**

Nell'insediamento sussistono due distinte aree tecnologiche, la prima per la produzione e lo stoccaggio di idrogeno, la seconda per l'erogazione ai treni.

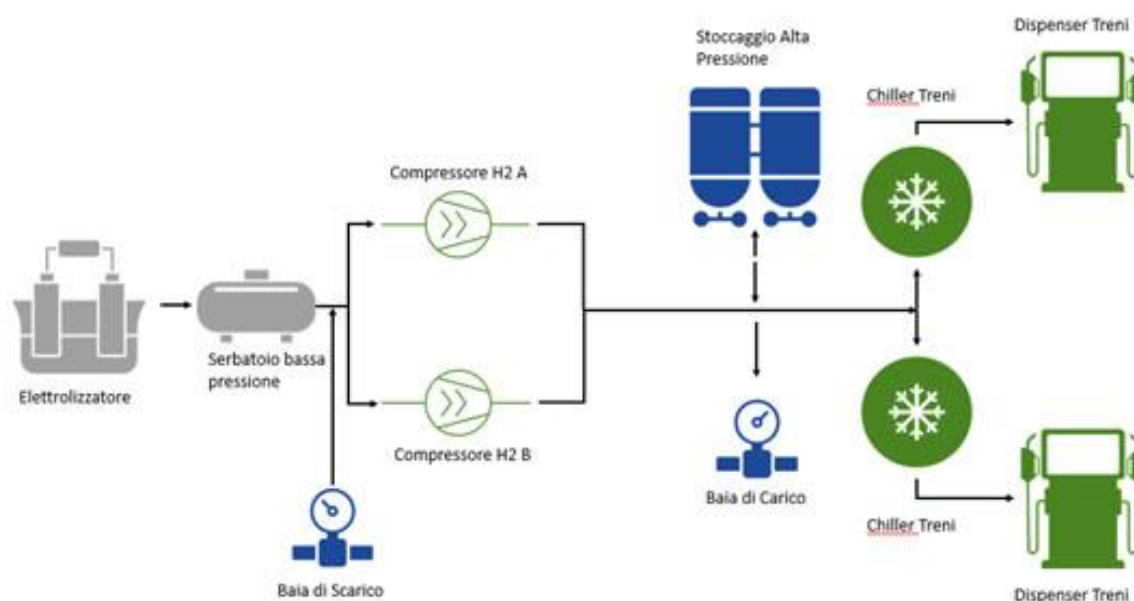
In particolare, la prima area (AREA 1) sarà costituita da:

- Impianto di produzione di idrogeno H<sub>2</sub> verde;
- Area nella quale saranno realizzate due strutture distinte in calcestruzzo armato, ossia due "fortini", uno dedicato allo stoccaggio fisso in alta pressione ed uno dedicato allo stoccaggio tramite carro bombolaio.

La seconda area (AREA 2) sarà:

- Banchina con n.2 dispenser per la distribuzione dell'idrogeno ai treni;
- Stazione di ricarica delle motrici, costituita da n. 4 punti di presa elettrici;

Il processo è schematizzato nel seguente diagramma a blocchi semplificato.



L'impianto di produzione, compressione, stoccaggio e distribuzione d'idrogeno sarà costituito dalle seguenti apparecchiature principali:

- n.1 Elettrolizzatore PEM da 5 MW con relativi accessori.
- n.1 Serbatoio buffer a bassa pressione (30 - 40 barg) con relativi accessori.
- n.2 Compressori con pressione di mandata di 500 barg per idrogeno con relativi accessori.
- n.1 Sistema di stoccaggio ad alta pressione (500 barg) da circa 2850 kg di H2 con relativi accessori.
- n.2 Chiller per il raffreddamento della corrente di rifornimento H2 ai treni con relativi accessori.
- n.2 Dispenser H2 ad uso ferroviario con doppio erogatore con relativi accessori.
- n.4 Colonnine elettriche ad uso ferroviario costituite ciascuna da spina pentapolare CEE 3P+N+T da 400VAC 125A.
- n.1 Sistema di produzione e distribuzione Aria Strumenti con relativi accessori.
- n.2 Sistemi di stoccaggio e distribuzione Azoto gassoso con relativi accessori (uno nel lotto 1 e uno nel lotto 2).
- n.1 Serbatoio per l'accumulo del ritentato osmotico.
- n.1 Pompa di distribuzione del ritentato osmotico (1 in funzione+ 1 spare in magazzino).

- n.1 Gruppo elettrogeno da 160 kVA.
- n.2 Serbatoi antincendio.
- n.1 Skid gruppo pompe antincendio.
- n.1 locale per alloggiamento e sosta di carro bombolaio per stoccaggio “bidirezionale” (supporto al sistema di stoccaggio dell’impianto / approvvigionamento impianti esterni).

Per la progettazione dell’impianto è stata considerata una capacità garantita (oggetto di garanzia prestazionale) pari a 1644 kg H<sub>2</sub>/giorno; tuttavia per il dimensionamento dell’elettrolizzatore è stata utilizzata una capacità di design (ovvero al 100% del carico elettrico) di circa 89 kg H<sub>2</sub>/ora in previsione di un futuro ampliamento dell’impianto.

Il rifornimento dei mezzi avverrà con una massima capacità di erogazione per il rifornimento di 1 treno con due manichette in parallelo (totale portata massima di 240g/s con protocollo di temperatura T20). La ricarica dei mezzi avverrà in modalità back to back (la ricarica del secondo treno inizia immediatamente al termine della ricarica del primo treno).

Elettrolizzatore, compressori e stoccaggi saranno da considerarsi sempre operativi durante la tipica giornata lavorativa, al contrario di Chiller e Dispenser, che avranno un funzionamento discontinuo, in base alla richiesta momentanea di Idrogeno da rifornire.

#### **4. DETERMINAZIONE DEI FATTORI DI RISCHIO**

Dall’analisi delle informazioni raccolte e dai dati sulle attività che vengono svolte nel sito è possibile condurre la valutazione del rischio.

In particolare si è proceduto nella seguente schematizzazione:

- Classificazione delle aree pericolose, secondo CEI EN 60079-10 (CEI 31-87);
- Valutazione dei rischi di esplosione, secondo art. 294 Titolo XI D.Lgs.81/2008;
- Analisi di dettaglio del rischio, secondo art. 294 Titolo XI D.Lgs.81/2008;
- Eliminazione o riduzione del rischio mediante misure specifiche di prevenzione e protezione;
- Utilizzo di attrezzature marcate CE nelle aree in cui si possono formare atmosfere esplosive.

#### **5. CLASSIFICAZIONE DELLE ZONE PERICOLOSE**



La classificazione delle zone pericolose è regolata da norme diverse a seconda del combustibile che causa l'atmosfera esplosiva. Le tre grandi famiglie di combustibili sono: gas, vapori, nebbie o polveri.

La classificazione delle zone pericolose si basa sulle seguenti determinazioni:

- identificazione delle sostanze pericolose;
- individuazione delle sorgenti di emissione;
- definizione della portata di emissione delle sorgenti;
- ventilazione;
- definizione delle zone pericolose;
- estensione delle zone pericolose.

Abbiamo individuato n. 2 aree nelle quali si concentrano le attività per le quali sono presenti zone pericolose; tali aree, riportate sulle planimetrie di corredo alla presente relazione, vengono sinteticamente descritte nel seguente modo:

- AREA 1 – Area di produzione e stoccaggio fisso / carro bombolaio;
- AREA 2 – Area di rifornimento dei treni.

Il collegamento tra l'AREA 1 e l'AREA 2 sarà eseguito per mezzo di tubazione interrata in struttura rigida; eventuali impianti elettrici in transito e/o a servizio di tali tubazioni di distribuzione, sia per quanto riguarda sistemi di potenza che a correnti deboli, saranno gestiti come di seguito indicato.

## 5.1 IDENTIFICAZIONE DELLE SOSTANZE PERICOLOSE (SE E SEP)

Per i gas, vapori o nebbie, la norma CEI 31/87 definisce sorgente di emissione (**SE**) un punto o una parte di impianto da cui può essere emessa in atmosfera una sostanza infiammabile con modalità tali da originare un'atmosfera esplosiva.

Il Grado di emissione può essere continuo (quando l'emissione è sostanzialmente funzionale e continua), Primo (quando l'emissione è sostanzialmente funzionale ma discontinua), Secondo (quando l'emissione non è funzionale ed è rara).

Per le polveri, la norma CEI 31/87 definisce sorgente di emissione della polvere (**SEP**) un punto o una parte di impianto da cui può essere emessa polvere combustibile nell'atmosfera. Il Grado di emissione può essere continuo (quando l'emissione è sostanzialmente funzionale e continua), Primo (quando l'emissione è sostanzialmente funzionale ma discontinua), Secondo (quando l'emissione non è funzionale ed è rara).

Le sostanze pericolose presenti nel nuovo impianto di produzione, stoccaggio e distribuzione di gas idrogeno a servizio della rete ferroviaria della FERROVIENORD (FNM GROUP), ubicato nel comune di Edolo (BS), all'interno della stazione ferroviaria e compreso tra Via Industriale e Via Rassiche, sono caratterizzate essenzialmente da idrogeno; in tale valutazione si sono quindi considerate le caratteristiche di infiammabilità e combustibilità di tale tipo di combustibile, con i propri valori caratteristici di temperatura di infiammabilità, temperatura di ebollizione, LEL (limite inferiore di esplodibilità), UEL (massima concentrazione possibile di combustibile nella miscela affinché avvenga un'esplosione) e tensione di vapore.

Sostanza	LEL	UEL	Densità ( $\rho$ )
Idrogeno	4,00 % vol	75,00 % vol	0,0838 kg/m <sup>3</sup>

Per il combustibile preso in considerazione, affinché possa avvenire un'esplosione occorre che nella miscela comburente-combustibile, quest'ultimo non scenda al di sotto della percentuale del 4 % (LEL). All'aumentare della percentuale di combustibile, la diminuzione di comburente rende ad un certo punto impossibile l'esplosione: 75% (UEL).

La temperatura di accensione viene definita dalla norma EN 60079-10 (CEI 31-30) come la "minima temperatura di una superficie riscaldata, alla quale, in condizioni specificate, avviene l'accensione di una sostanza infiammabile allo stato di gas o vapore in miscela con aria". È quindi evidente che la massima temperatura sulla superficie dell'apparecchiatura non deve mai raggiungere la temperatura di accensione di un gas o vapore presente in quel luogo. Allo scopo di suddividere le varie custodie delle apparecchiature a seconda della massima temperatura superficiale si adotta la classificazione in classi di temperatura di cui alla tabella sottostante (più la classe è alta, tanto migliore è l'apparecchiatura); T6 significa che, durante il suo funzionamento, un dispositivo così marcato non supererà gli 85 °C e quindi non fornirà possibilità di esplosione causata dal raggiungimento della temperatura di accensione.

**Suddivisione in classi di temperatura delle apparecchiature elettriche in base a norma EN 50014 (CEI 31- 8)**

Classe di temperatura	Massima temperatura superficiale (°C) (per apparecchiature elettriche di gruppo II)
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Tabella - Classi di temperatura stabilite in base ad una temperatura ambiente di 40 °C

In considerazione della temperatura di auto-ignizione dell'idrogeno pari a circa 560 °C, la classe di temperatura minima per le apparecchiature elettriche operanti in area classificata sarà la T1.

## 5.2 INDIVIDUAZIONE DELLE SORGENTI DI EMISSIONE

I punti dai quali potrebbe essere emesso il gas infiammabile, sono rappresentati da:

- Compressore;
- Elettrolizzatore;
- Serbatoi di stoccaggio ad alta pressione;
- Sistema di carico / scarico da carro bombolaio;
- Erogatori;
- Raccordi filettati e flangiati di accoppiamento delle tubazioni alle valvole, alla strumentazione di impianto, alle pompe ed agli organi meccanici, con foro di guasto non superiore a 0,25 mm<sup>2</sup> (raccordi di tubazioni e tenute che nel funzionamento normale possono dar luogo ad emissioni di sostanze infiammabili).

Tubazioni, valvole ed organi meccanici, non sono state considerate sorgenti

Tali sorgenti sono state catalogate in: "sorgenti di emissione di primo grado" in quanto l'emissione può avvenire periodicamente od occasionalmente durante il funzionamento ordinario.

## 5.3 DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI EMISSIONE DELLE SORGENTI

La portata è la quantità di gas o vapore emesso nell'unità di tempo dalla sorgente di emissione e dipende dai seguenti parametri:

- velocità di emissione (più è alta la velocità con cui esce il gas o vapore infiammabile dalla sorgente e maggiore sarà la sua portata);
- geometria della sorgente (il tipo di apertura da cui esce il gas, influenza la portata);
- concentrazione del gas o vapore nella miscela (più è alta questa concentrazione e maggiore risulta la portata);
- volatilità e temperatura di un liquido infiammabile (nel caso in cui l'emissione derivi da un liquido evaporato, la sua portata dipende dalla tensione di vapore e dalla temperatura del liquido, in quanto aumentandola, aumenta anche la tensione di vapore).

Un compressore, installato nell'AREA 1 riceverà l'idrogeno dall'elettrolizzatore (anch'esso posizionato nella medesima AREA 1) a 30 bar e lo comprimerà fino a 500 bar per poi consentire l'immagazzinamento nelle unità di stoccaggio ad alta pressione. La massima portata dell'idrogeno al compressore è di 2 x 35 kg/h.

Durante l'operazione di rifornimento del veicolo, il sistema di distribuzione, trasferirà l'idrogeno dallo stadio di stoccaggio ad alta pressione al veicolo, passando da 500 a 350 bar.

La portata di idrogeno disponibile agli erogatori posti nell'AREA 2 (zona di ricarica treni) è pari a 2 x 7,2 kg/min.

#### **5.4 GRADO DI VENTILAZIONE**

La ventilazione è un fattore fondamentale nella valutazione della pericolosità ed essendo i luoghi presso i quali si svolge l'attività sufficientemente areati, si assume la velocità del vento in condizioni naturali, pari a 0,5 m/sec.

Per l'AREA 1, nella quale è presente l'elettrolizzatore, la disponibilità di ventilazione può essere considerata adeguata (ventilazione presente con continuità) ed il grado di efficacia medio.

Per l'AREA 2, nella quale avviene la distribuzione ai treni, la disponibilità di ventilazione può essere considerata adeguata (ventilazione presente con continuità) ed il grado di efficacia medio.

Per i pipe rack che collegano le diverse aree, la disponibilità di ventilazione può essere considerata adeguata ed il grado di efficacia medio.

Per le aree circostanti le strutture destinate alla produzione stoccaggio e distribuzione dell'idrogeno, che però non contengono atmosfere potenzialmente esplosive), la disponibilità di ventilazione può essere considerata buona ed il grado di efficacia alto. Tale grado di efficacia consente di ridurre la concentrazione in prossimità della sorgente di emissione in modo rapido, limitandone il valore al disotto del LEL.

## 5.5 DEFINIZIONE DELLE ZONE PERICOLOSE

Per la definizione delle zone pericolose è stato fatto riferimento alla norma CEI EN 60079-10 (Zona 0: area in cui è presente in permanenza o per lunghi periodi o frequentemente un'atmosfera esplosiva; Zona 1: area in cui la formazione di un'atmosfera esplosiva è probabile che avvenga occasionalmente durante la normale attività; Zona 2: area in cui la formazione di un'atmosfera esplosiva non è normale durante la normale attività) come riepilogato nella seguente tabella.

Grado della emissione	Grado della ventilazione						
	Alto			Medio			Basso
	Disponibilità della ventilazione						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, Adeguata o scarsa
Continuo	Luogo non pericoloso	Zona 2	Zona 1	Zona 0	Zona 0 circondata da Zona 2	Zona 0 circondata da Zona 1	Zona 0
Primo	Luogo non pericoloso	Zona 2	Zona 2	Zona 1	Zona 1 circondata da Zona 2	Zona 1 circondata da Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Secondo	Luogo non pericoloso	Luogo non pericoloso	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o Zona 0

Classificazione in zone in base al grado di emissione della sorgente e al grado di ventilazione dell'ambiente

Da tale tabella di classificazione delle zone e come di seguito verificato analiticamente nella valutazione dei rischi, considerando il grado di ventilazione medio (con disponibilità adeguata) per le aree 1,2 individuate, si ha un grado di emissione di primo livello corrispondente a:

- zona 2 per le AREE 1 e 2;
- zona 1 per il volume sferico posto al disopra dell'elettrolizzatore;

- 
- luogo non pericoloso per le altre aree.

## **5.6 ESTENSIONE DELLE ZONE PERICOLOSE**

Nel presente paragrafo vengono indicate le distanze di sicurezza entro le quali si intende idealmente confinato il gas esplosivo.

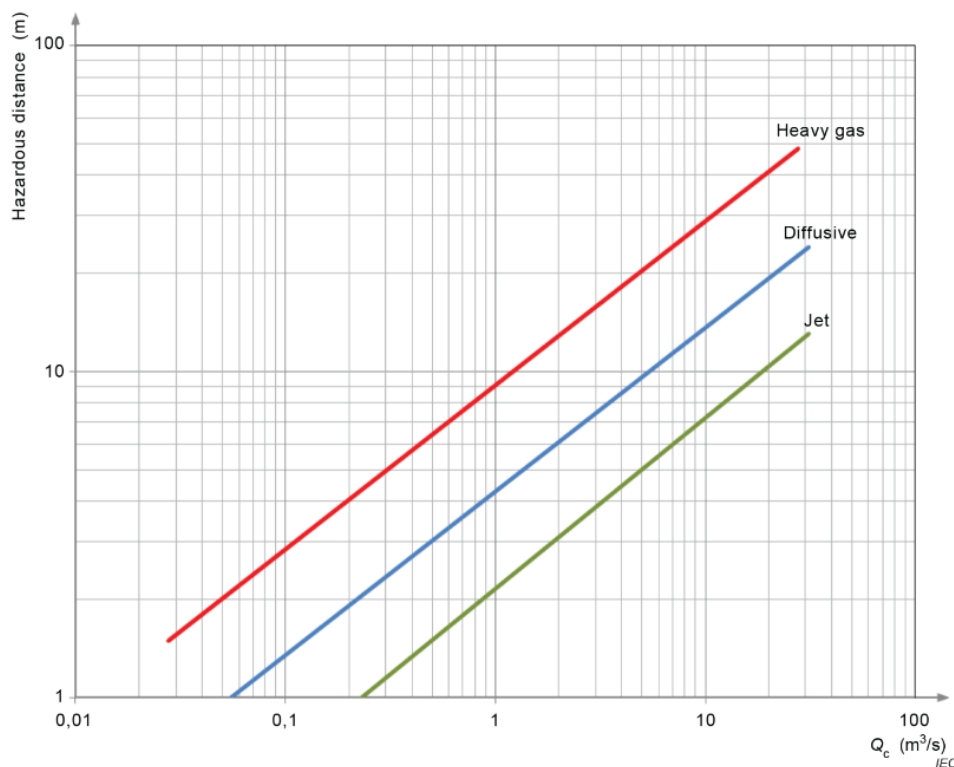
Di seguito vengono riportati i dati di input:

- Coefficiente di efflusso,  $C_d = 0,75$
- Sezione foro guasto,  $d_1 = 0,25 \text{ mm}^2$
- Pressione di esercizio,  $P=500 \text{ bar}$
- Temperatura di scarico,  $T = 303,15 \text{ °K}$

Nell'AREA 1 si assume come portata di riferimento quella dell'idrogeno che viene compresso, per poi essere immagazzinato; si tratta di 70 kg/h che potrebbero fuoriuscire accidentalmente dalle attrezzature. Utilizzando il diagramma di seguito riportato, per dispersione di tipo "diffusivo", potrà essere considerata una distanza di sicurezza in pianta, di 5,0 m (a favore di sicurezza) a partire dalla superficie esterna di: elettrolizzatore, compressore, raffreddatore e buffer.

Nell'AREA 2 la portata di idrogeno è di 14,4 kg/min e considerando emissioni per portate piene agli erogatori, la distanza di sicurezza in pianta (rilevata dall'asse del dispenser) è di 18 m.

Per tutte le tubazioni posate sul pipe rack e presenti nelle due aree, per quanto indicato al punto 6 del paragrafo 5.2 è stata stimata una possibile perdita "jet" di 2,205 m<sup>3</sup>/s che impone una distanza di sicurezza dall'asse delle tubazioni all'esterno della zona critica, pari a 3,0 m.



Per quanto riguarda l'elettrolizzatore, a partire da una quota di 8,5 m dalla quota di calpestio, sarà prevista una semisfera di sicurezza avente raggio di 10 m e che quindi comprenderà la quasi interezza del dispositivo; questo per fare in modo che in caso di scarsità di ventilazione e quindi in presenza di concentrazione di vapore infiammabile, sia mantenuta una zona di rischio specifico. In prossimità dell'estremità opposta sull'asse longitudinale dell'elettrolizzatore, ad altezza di 9 m, è prevista una sfera avente raggio di 1,2 m. Le suddette "semisfera" e "sfera" sono classificate come ZONE ATEX 1.

## 6. VALUTAZIONE DEL RISCHIO

La metodologia è del tipo qualitativo (CEI 31-87) e prevede la determinazione del rischio in funzione della probabilità di accadimento dell'esplosione e dell'eventuale danno procurato sia sotto il profilo della salute che della sicurezza dei lavoratori.

L'entità del rischio **R** è definita come prodotto tra la probabilità **P** che si verifichi un determinato evento e la magnitudo del danno **D** che tale evento, una volta verificatosi, può determinare. Il fattore di probabilità **P** racchiude al suo interno una serie di parametri che influiscono sulla possibilità che si verifichi un'esplosione (livello di

manutenzione delle attrezzature e impianti, presenza e pericolosità di sorgenti di innesco, formazione dell'atmosfera esplosiva, confinamento delle aree). Si considera che P è connessa al tipo di zona (determinabile mediante la classificazione delle aree) ed alla possibilità che possa avvenire l'innesco.

La probabilità che possa avvenire un'esplosione può essere suddivisa qualitativamente in quattro livelli, come da tabella riportata

<b>Grado di probabilità dell'esplosione “P”</b>	<b>DEFINIZIONE QUALITATIVA</b>
1	L'esplosione è improbabile quando il suo manifestarsi è legato ad una serie di eventi tra loro indipendenti poco probabili. Non si sono mai manifestati eventi in condizioni analoghe.
2	L'esplosione è poco probabile quando il suo manifestarsi è legato al contemporaneo verificarsi di eventi sfavorevoli, anche non indipendenti tra loro. Sono noti solo rarissimi episodi verificatisi in condizioni analoghe
3	L'esplosione è probabile quando è legata ad uni o più eventi concorrenti che possono innescare l'atmosfera esplosiva
4	L'esplosione è molto probabile quando l'evento che può determinarla ha un'elevata probabilità di verificarsi

## **6.1 PROBABILITÀ “P”**

In linea generale, si può considerare che la probabilità P che si verifichi un'esplosione dipenda dai seguenti fattori:

- Probabilità che la sorgente di emissione SE generi un'atmosfera esplosiva,  $P_{SE}$ .
- Probabilità di innesco dell'atmosfera esplosiva,  $P_{INN}$ .

La probabilità  $P_{SE}$  che possa crearsi un'atmosfera esplosiva può essere associata al tipo di zona ed essere suddivisa anch'essa qualitativamente in 4 livelli rispettivamente per le zone 0, 1, 2 e per le zone non pericolose indicate con NE, dove l'atmosfera esplosiva non esiste oppure è di dimensioni tanto ridotte da non essere considerata



pericolosa. A ciascuno di questi livelli è assegnato un punteggio che parte dal valore 4 per le zone 0 e finisce con il valore 1 (per quelle di NE), come indicato nella tabella di seguito riportata.

<b>P<sub>SE</sub></b>	<b>DEFINIZIONE QUALITATIVA</b>	<b>Punti</b>
4	Zona 0 – Area in cui è presente in permanenza o per lunghi periodi o frequentemente un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore, nebbia, polveri.	4
3	Zona 1 – Area in cui la formazione di un'atmosfera esplosiva, consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapori, nebbia, polveri, è probabile che avvenga occasionalmente durante le normali attività	3
2	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, nebbia, o polveri, qualora si verifichi, sia un inconveniente, sia unicamente di breve durata	2
1	Zona NE – Area non pericolosa	1

La probabilità  $P_{INN}$  che possa avvenire l'innesco di un'atmosfera esplosiva può essere suddivisa qualitativamente in 4 livelli. Nella tabella stessa vengono specificati i significati attribuibili a ciascun livello.

<b>P<sub>INN</sub></b>	<b>DEFINIZIONE QUALITATIVA</b>	<b>Punti</b>
4 (molto probabile)	Le sorgenti di accensione sono presenti in maniera continua o frequente durante il normale funzionamento	4
3 (probabile)	Le sorgenti di accensione possono manifestarsi in circostanze rare a seguito di malfunzionamenti	3

P <sub>INN</sub>	DEFINIZIONE QUALITATIVA	Punti
2 (poco probabile)	Le sorgenti di accensione possono manifestarsi in circostanze molto rare a seguito di malfunzionamenti	2
1 (improbabile)	Zona NE – Area non pericolosa	1

In base alla tabella sopra riportata, si applica quanto segue:

- per le AREE 1 e 2, P<sub>INN</sub> = 2 (le sorgenti di accensione possono manifestarsi in circostanze molto rare a seguito di malfunzionamenti);
- zona 1 per il volume sferico posto al disopra dell'elettrolizzatore, P<sub>INN</sub> = 2 (poco probabile - le sorgenti di accensione possono manifestarsi in circostanze molto rare a seguito di malfunzionamenti);
- luogo non pericoloso per le altre aree, P<sub>INN</sub> = 1 (improbabile – area non pericolosa).

## 6.2 DANNO “D”

Il danno “D” può essere suddiviso in 4 livelli (trascurabile, lieve, grave e gravissimo) a ciascuno dei quali è associato un valore numerico da 1 a 4; nella tabella stessa vengono specificati i significati attribuiti a ciascun livello.

Valore	DEFINIZIONI/CRITERI	Livello
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti anche letali o che possono determinare una condizione di invalidità permanente</li> <li>• Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti totalmente invalidanti</li> </ul>	Gravissimo
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di invalidità parziale</li> <li>• Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti parzialmente invalidanti</li> </ul>	Grave

Valore	DEFINIZIONI/CRITERI	Livello
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infortunio o episodio di esposizione acuta inabilità reversibile</li> <li>• Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico con effetti reversibili</li> </ul>	Lieve
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infortunio o episodio di esposizione con inabilità rapidamente reversibile</li> <li>• Piccoli infortuni e patologie di carattere fisico rapidamente reversibili</li> </ul>	Trascurabile

La magnitudo del danno può essere considerata dipendente dai seguenti parametri

- Classificazione della zona  $CL_{ZONA}$
- Presenza di lavoratori esposti  $L_{ESP}$
- Fattore di esplodibilità dell'atmosfera  $K_{EXP}$
- Indice relativo al volume pericoloso  $F_{VZ}$
- Fattore di confinamento  $F_C$

Per il parametro  $CL_{ZONA}$  vengono definiti n.4 livelli associati al tipo di zona e ad ognuno viene attribuito un valore numerico crescente in funzione della pericolosità della zona, come indicato nella tabella seguente:

Zona	$CL_{ZONA}$
0	2
1	1
2	0,5
NE (non estesa)	0

Per il parametro  $L_{ESP}$  vengono definiti n.3 livelli associati alla presenza di persone (nulla, saltuaria, continua) e ad ognuno viene attribuito un valore numerico:

<b>Zona</b>	<b>L<sub>ESP</sub></b>
Nulla	0
Saltuaria	0,25
Continua	0,5

Per il parametro  $K_{EXP}$  vengono definiti n.3 livelli associati al valore dell'indice di esplosione  $K_G$  e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato nelle seguenti tabelle:

<b><math>K_G</math> [bar m/s]</b>	<b><math>K_{EXP}</math></b>
Nulla	0
Saltuaria	0,25
Continua	0,5

Per il parametro  $F_{Vz}$  relativo ad atmosfere esplosive generate da miscele di gas ed aria, vengono definiti n.3 livelli associati al volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva  $V_z$  e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato nella tabella seguente

<b><math>V_z</math> [dm<sup>3</sup>]</b>	<b><math>F_{Vz}</math></b>
$\leq 10$	0
$10 < V_z \leq 50$	0,25
$> 50$	0,5

Per il parametro  $F_c$  vengono definiti n.3 livelli associati al confinamento dell'atmosfera potenzialmente esplosiva e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato nella tabella seguente

<b>Tipo confinamento</b>	<b><math>F_c</math></b>
Non confinata	0
Parzialmente confinata	0,25

Completamente confinata	0,5
-------------------------	-----

Il Danno per le zone di tipo 1 è rappresentato dalla somma dei parametri sopra indicati secondo la relazione seguente:

$$D_{GAS1} = CL_{ZONA1} + L_{ESP} + K_{EXP} + F_{VZ} + F_C = 1 + 0,5 + 0,5 + 0,25 + 0,25 = 2,50$$

Il Danno per le zone di tipo 2 è rappresentato dalla somma dei parametri sopra indicati secondo la relazione seguente:

$$D_{GAS2} = CL_{ZONA2} + L_{ESP} + K_{EXP} + F_{VZ} + F_C = 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,25 + 0,25 = 2,00$$

Il rischio, per ciascuna zona di emissione può essere calcolato con la formula  $R = P \times D$  arrotondando il valore alla cifra intera.

Per l'AREA 1, Il risultato ottenibile per R (nelle condizioni più critiche, corrispondenti a prendere in esame la zona 1) è compreso tra 2 e 4 e rientra pertanto in una scala di rischio basso.

Per l'AREA 2, Il risultato ottenibile per R è compreso tra 2 e 4 e rientra pertanto in una scala di rischio basso.

$1 \leq R < 2$	$2 \leq R < 4$	$4 \leq R < 9$	$9 \leq R < 16$
Trascurabile	Basso	Medio	Alto

In linea di principio, basandosi sulla classificazione del Rischio, possono essere programmate le misure di Prevenzione e Protezione secondo la seguente tabella.

RISCHIO	MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE
ALTO	Sono richieste misure di prevenzione e protezione urgenti poiché determinano i presupposti per l'accadimento di un possibile infortunio di gravissima entità
MEDIO	Grado di rischio che implica la sussistenza di una condizione di rischio grave, ma non imminente per i lavoratori, e che potrebbe causare gravi danni con un elevato grado di inabilità o determinare patologie dagli effetti invalidanti permanenti. Sono richiesti interventi a medio termine.

BASSO	Gli interventi di adeguamento corrispondenti al presente livello di priorità possono essere programmati nel tempo in funzione della fattibilità degli stessi.
TRASCURABILE	Gli interventi di adeguamento corrispondenti, di tipo organizzativo e tecnico, verranno programmati nel tempo con il fine di evitare il livello di prevenzione e ottimizzare lo stato dei luoghi e le procedure di lavoro

## **7. ATTREZZATURE E IMPIANTI**

Ai fini della scelta delle apparecchiature e dei componenti elettrici essi devono

- possedere i requisiti di sicurezza idonei;
- rispondere alle relative norme di prodotto;
- essere utilizzati entro i propri dati nominali di potenza, corrente, frequenza, servizio di utilizzazione previsto, influenze esterne, temperatura ambiente e delle altre caratteristiche dove la non conformità può compromettere la sicurezza dell'impianto;
- essere adatti alle condizioni ambientali previste;
- essere installati e utilizzati in conformità delle istruzioni dei fabbricanti;
- essere installati in modo da consentire un facile accesso per la verifica e la manutenzione.

In funzione della classificazione delle aree con rischio di esplosione, tutti gli apparecchi e gli impianti elettrici installati all'interno delle **zone ATEX** risulteranno compatibili, al fine di non rendere possibile l'innescò dell'atmosfera esplosiva. Ai sensi della direttiva, su ogni apparecchio e sistema di protezione presente nell'area tecnologica, devono figurare le seguenti indicazioni generali:

- Nome del Fabbricante
- Sede legale del Fabbricante
- Designazione del prodotto
- Anno di costruzione
- Marcatura CE e numero organismo notificato (se applicabile)
- Marcatura esagonale

Per la zona 2 ricompresa nelle AREE 1 e 2, risulteranno osservate le seguenti indicazioni:

- Gruppo II
- Categoria del prodotto, nel caso specifico "3G"

- 
- Tipo di atmosfera esplosiva, nel caso specifico GD
  - Modo di protezione applicata, Ex
  - Classe di temperatura, nel caso specifico T1 o superiore
  - EPL, nel caso specifico Gc
  - Grado di protezione, nel caso specifico >IP65
  - Massima temperatura raggiungibile dall'apparecchiatura elettrica, nel caso specifico 450°C

Per la zona 1 ricompresa nell'AREA 1:

- Gruppo II
- Categoria del prodotto, nel caso specifico "2G"
- Tipo di atmosfera esplosiva, nel caso specifico GD
- Modo di protezione applicata, Ex
- Classe di temperatura, nel caso specifico T1 o superiore
- EPL, nel caso specifico Ga
- Grado di protezione, nel caso specifico >IP65
- Massima temperatura raggiungibile dall'apparecchiatura elettrica, nel caso specifico 450°C

Gli apparecchi installati saranno di categoria 2 G (per i gas), apparecchi concepiti in modo tale da poter essere utilizzati conformemente ai parametri forniti dal costruttore e tali da garantire un alto margine di sicurezza anche in caso di guasti ricorrenti o difetti di funzionamento di cui occorre tenere normalmente conto. Gli apparecchi di questa categoria devono soddisfare i requisiti menzionati dall'allegato II numero 2.2. della direttiva ATEX 9479/CE sugli apparecchi e i sistemi di protezione destinati ad essere usati in atmosfera esplosiva. Il grado di protezione minimo sarà IP 65.

## **8. RIDUZIONE DEL RISCHIO**

La valutazione delle frequenze di accadimento del singolo evento può essere ridotta attraverso il monitoraggio con tecniche analitiche quali l'analisi di operabilità (HAZOP) o l'individuazione dei modi di guasto (FMEA) oppure in alternativa, verificando la presenza o meno dei campi di infiammabilità.

La riduzione del rischio avviene principalmente con provvedimenti organizzativi rappresentati dalla formazione specifica e professionale e dalle disposizioni scritte.

Tutti i sistemi di sicurezza e protezione saranno installati secondo ISO-19880-1:2020, NFPA 2, M.D. 23/10/2018 e MD 07/07/2023.

Le apparecchiature di sicurezza installate, ad eccezione dei rivelatori di idrogeno installati nelle zone 1 (Ex-d), saranno ove possibile del tipo Ex-e.

Ulteriori sistemi di riduzione del rischio sono rappresentati dalla riduzione della geometria della sorgente di emissione, della velocità del fluido combustibile e della riduzione della concentrazione di polveri e vapori.

## **9. ASSUNZIONE DI RESPONSABILITA'**

L'utente finale sarà responsabile del mantenimento delle condizioni di efficienza delle attrezzature e degli impianti. L'utente finale deve attuare la sorveglianza, il controllo e la manutenzione delle attrezzature ed impianti in conformità a quanto previsto dalle disposizioni legislative e regolamentari vigenti. Scopo dell'attività di sorveglianza, controllo e manutenzione è quello di rilevare e rimuovere qualunque causa, deficienza, danno od impedimento che possa pregiudicare il corretto funzionamento dell'impianto. L'attività di controllo periodica e la manutenzione deve essere eseguita da personale competente e qualificato.