



ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Sezione di Firenze

INFN-23-19/FI

22 Maggio 2023

LINEE GUIDA PER LA DISTRIBUZIONE E L'UTILIZZO DI GAS COMPRESSI IN LABORATORIO

Carlo Cialdai¹

*¹INFN Sezione di Firenze, Fisica Sperimentale, Polo Scientifico di Sesto F.no,
Univ. di Firenze, I-50019 Sesto Fiorentino (FI), Italia*

Abstract

La presente nota interna costituisce riferimento generale per la distribuzione e l'esercizio di impianti di distribuzione di gas tecnici oltre che per il deposito di bombole di gas compressi all'interno della sede INFN di Firenze. I sistemi di distribuzione considerati sono quelli in cui i gas sono stoccati come gas compressi, gas liquefatti o gas disciolti in un solvente; sono esclusi i liquidi criogenici (es. azoto liquido), la rete dipartimentale dell'aria compressa (alimentata da compressori) e la rete di distribuzione del metano (prelevato da rete esterna).

*Published by
Laboratori Nazionali di Frascati*

1 Definizioni

Bombole: ai fini del seguente documento sono genericamente denominati “bombole” tutti i recipienti contenenti gas compressi, liquefatti o disciolti di capacità maggiore o uguale a 3 litri.

Bombola in uso: bombola connessa alla linea di distribuzione di un gas che ha il compito di alimentarla quando questa è in uso.

Bombola di pronto ricambio: bombola di riserva disponibile per alimentare una linea di distribuzione di un gas in caso di esaurimento della bombola sorgente (bombola in uso); ha quindi lo scopo di garantire la continuità del servizio di erogazione del gas. Una bombola di pronto ricambio può essere collegata alla linea di distribuzione (il ricambio è eseguito azionando delle valvole di intercettazione); oppure, non essere connessa alla linea (il ricambio richiede la sostituzione fisica della bombola sorgente da parte di un operatore).

Bombola in deposito: bombola non collegata a una linea di distribuzione di gas che non svolga la funzione di pronto ricambio.

Uso occasionale: per uso occasionale si intende l’impiego di una bombola di un gas compresso per alcune ore durante la giornata lavorativa con frequenza inferiore o uguale a quattro volte l’anno.

Tubazione, linea: parte dell’impianto di distribuzione del gas compresa tra la bombola sorgente (o il pacco bombole) e i punti di presa (punti di prelievo dei gas).

Gas compressi: tutti i gas con temperatura critica minore di -10°C stoccati allo stato gassoso in pressione.

Gas liquefatti: tutti i gas con temperatura critica maggiore o uguale a -10°C stoccati allo stato liquido in pressione.

Gas disciolti: tutti i gas stoccati in pressione disciolti in un solvente.

Gas leggero: gas con densità relativa rispetto all’aria inferiore a 0,8.

Gas pesante: gas con densità relativa rispetto all’aria maggiore di 1,2.

Gas intermedio: gas con densità relativa compresa tra 0,8 e 1,2.

Gas infiammabile esplosivo: gas infiammabile che può esplodere anche senza la presenza di aria. Nella classificazione basata sulla direttiva 67/548/CEE è associata la frase di rischio R6 (Esplosivo a contatto con l'aria); nella classificazione in base al regolamento UE 1272/2008 è riportata la stessa frase come indicazione di pericolo (codice EUH006).

Gas infiammabile: come definito dal regolamento UE 1272/2008 (categorie 1 e 2) esclusi i gas esplosivi in assenza di aria.

Gas comburente: come definito dal regolamento UE 1272/2008 (categoria 1).

Gas letale: gas con tossicità acuta per inalazione di categoria 1 e 2 (Acute Tox. 1 e 2) come definito dal regolamento UE 1272/2008. Gas molto tossici (T+; R26) secondo la direttiva 67/548/CEE.

Gas tossico: gas con tossicità acuta per inalazione di categoria 3 (Acute Tox. 3) come definito dal regolamento UE 1272/2008. Gas tossici (T; R23) secondo la direttiva 67/548/CEE. I gas corrosivi sono tossici per inalazione.

Gas nocivo: gas con tossicità acuta per inalazione di categoria 4 (Acute Tox. 4) come definito dal regolamento UE 1272/2008. Gas nocivo (Xn; R20) secondo la direttiva 67/548/CEE.

Gas inerte: gas non infiammabile, non comburente e non tossico (non letale, tossico o nocivo).

Gas dannoso per la salute: gas inerte il cui rilascio può comportare danni alla salute prima che l'ambiente diventi sotto-ossigenato. L'anidride carbonica è un gas inerte dannoso per la salute.

Atmosfera sovra-ossigenata: un'atmosfera è sovra-ossigenata quando la concentrazione dell'ossigeno è superiore al 23,5%.

Atmosfera comburente: un'atmosfera è comburente quanto la sua capacità ossidante è superiore a quella di una miscela al 23,5% di ossigeno in azoto.

Atmosfera sotto-ossigenata: un'atmosfera è sotto-ossigenata quando la concentrazione dell'ossigeno è inferiore al 19,5%.

Atmosfera asfissiante: un'atmosfera è asfissiante quando la concentrazione dell'ossigeno è inferiore al 18%.

2 Classificazione degli impianti di distribuzione

Gli impianti di distribuzione in linea generale possono essere distinti in tre diverse tipologie:

- linee di distribuzione interna;
- reti di distribuzione locali;
- rete di distribuzione centralizzata di Sezione.

Gli impianti di distribuzione dei gas devono sempre essere dotati di dichiarazione di conformità o di rispondenza secondo le previsioni del D.M. 37/08.

2.1 Linea di distribuzione interna

La linea di distribuzione interna viene alimentata dal gas che viene prelevato da una bombola sorgente collocata all'interno del laboratorio dove questo è distribuito. Per questioni legate alla sicurezza del personale, questa tipologia di distribuzione non dovrebbe mai essere adottata. Solo in casi eccezionali può essere una soluzione alternativa da attuare salvo il superamento di determinati requisiti minimi da valutare con l'Ufficio Tecnico Generale ed il Servizio di Prevenzione e Protezione dell'Istituto, nonché il rilascio dell'autorizzazione da parte dell'Università degli Studi di Firenze (UNIFI).

Nei casi in cui questa distribuzione venga autorizzata si dovranno comunque rispettare i vincoli riportati nei seguenti sottoparagrafi (da 3.1.1 a 3.1.4) ed è comunque auspicabile affidarsi a professionisti del settore per la corretta progettazione e installazione.

2.1.1 *Bombole all'interno dei laboratori*

Al fine di limitare il numero di bombole presenti nei laboratori, è consentito, per ciascuna linea interna, l'impiego di una singola bombola in uso (bombola di alimentazione) e, eventualmente, di una singola bombola di pronto ricambio (bombola di riserva che può anche non essere connessa alla linea); ulteriori bombole non sono ammesse. Nei laboratori o in altri locali chiusi non si possono pertanto collocare delle bombole in deposito. Oltre al divieto generale di uso di gas cancerogeni e/o mutageni e gas letali, non si possono collocare in luoghi chiusi bombole contenenti:

- gas infiammabili esplosivi (es. acetilene);
- gas tossici (Acute Tox. 3 - H330).

Le seguenti bombole possono essere collocate all'interno dei laboratori a condizione che siano saldamente ancorate ad una parete o disposte su idonei carrelli:

- aria compressa;
- gas inerti.

Le bombole di gas incompatibili per reattività chimica devono essere collocate in armadi per bombole differenti, in particolare:

- le bombole con gas infiammabili devono essere separate dai comburenti;
- le bombole di gas nocivi devono essere separate dai gas infiammabili o comburenti non nocivi;
- i gas nocivi chimicamente incompatibili devono essere collocati in armadi differenti, i gas nocivi infiammabili devono essere separati dai gas nocivi comburenti.

2.1.2 *Collegamento della bombola alla linea interna*

Le bombole che alimentano la linea devono avere un dispositivo di limitazione e regolazione della portata, il quale è di norma costituito da un riduttore/regolatore di pressione con a valle una valvola a spillo. Un riduttore/regolatore di pressione, infatti, oltre a contribuire a regolare il flusso, limita la portata massima di gas emessa dalla bombola. Se le bombole sono collocate in armadi, la depressurizzazione deve avvenire all'interno dell'armadio in modo da avere nel laboratorio solo la parte della linea a bassa pressione.

2.1.3 Tubazioni

Per contenere i rischi connessi alla distribuzione dei gas è bene che, compatibilmente con la necessità di garantire la portata e la perdita di carico massime previste per ciascuna linea, le tubazioni abbiano dei diametri, per quanto possibile, di piccole dimensioni. Le tubazioni devono garantire il contenimento del gas: devono avere uno spessore adeguato, non devono essere permeabili al gas trasportato, e non devono presentare problemi di compatibilità chimica.

2.1.4 Punti di presa

I punti di arrivo della linea, (punti presa), devono avere una valvola di intercettazione del flusso. Se la linea del gas non è chiaramente identificabile dalla vicinanza della bombola di alimentazione, nei punti di presa devono essere riportati in modo chiaramente visibile delle targhette del fluido distribuito (es. nome del gas, simbolo chimico o altra sigla/codice nota agli operatori).

2.2 Reti di distribuzione locale

La rete di distribuzione locale viene alimentata prelevando il gas da una o più bombole collocate in un deposito d'uso esterno situato in un cortile interno o in un balcone/terrazzo adiacente al laboratorio dove il gas è distribuito. Una rete di distribuzione locale può servire un solo laboratorio o più laboratori limitrofi. Per l'installazione di una nuova rete locale è obbligatorio preventivamente avvisare il Responsabile dell'Ufficio Tecnico Generale oltre che il RSPP dell'Istituto. Ciascuna richiesta sarà analizzata in sinergia dalle due figure sopra citate discussa con l'Ufficio Tecnico di UNIFI e nel caso autorizzata.

Di seguito alcune informazioni e/o raccomandazioni generali da seguire per questo tipo di distribuzione che in tutti i casi dovrà essere progettata e installata da ditta abilitata come previsto nel D.M. 37/08.

2.2.1 Depositi d'uso

I depositi d'uso sono depositi contenenti bombole in uso o di pronto ricambio (riserva); non sono depositi per scorte di magazzino. I depositi d'uso hanno lo scopo di alimentare una rete locale di distribuzione del gas; questa soluzione è preferibile rispetto all'uso di bombole collocate nei laboratori in quanto l'elemento a maggiore pressione, cioè la bombola, è collocato in un luogo ben ventilato e lontano dagli operatori.

I depositi d'uso non includono depositi ad elevata capacità soggetti a norme particolari come i depositi di bombole di gas combustibili con capacità complessiva maggiore o uguale a 75 m³ (gas compresso) o maggiore o uguale 75 kg (gas liquefatti o disciolti). Sono anche esclusi i depositi di gas tossici come definiti nel R.D. 9 gennaio 1927, n. 147 che sono soggetti a un regolamento speciale contenuto nel decreto.

I criteri da applicare per la realizzazione dei depositi dipendono dalla fonte di pericolo di gas presenti; tuttavia, è consigliabile realizzare i depositi cercando di garantire il più possibile l'intercambiabilità della loro destinazione d'uso in modo da rendere più flessibile e adattabile alle esigenze di ricerca il loro utilizzo.

Nella realizzazione di depositi d'uso, si consiglia avvalersi della consulenza di personale esperto; i criteri qui di seguito riportati sono solo delle indicazioni di massima.

2.2.2 Collocazione dei depositi d'uso

I depositi d'uso devono essere collocati in luoghi aperti quali cortili interni o terrazze. I depositi devono essere collocati in modo da rendere agevoli le operazioni di trasporto delle bombole. Il percorso da percorrere con il carrello non deve essere accidentato. Il deposito deve essere inaccessibile al personale non autorizzato.

In prossimità del deposito devono essere presenti le attrezzature necessarie per interventi di emergenza (es. idranti, estintori). Il deposito deve risultare facilmente accessibile per interventi di soccorso. Nella collocazione del deposito è necessario verificare l'impossibilità o la scarsa probabilità che, in caso di fuga, il gas fluisca all'interno di un laboratorio o in un altro ambiente chiuso ed eventualmente valutare le conseguenze se l'evento è ritenuto possibile. Considerare la posizione delle finestre e di eventuali altre aperture. Per i gas densi o intermedi, prestare attenzione alla posizione dei tombini e altri punti dove il gas può ristagnare o penetrare.

2.2.3 Requisiti generali dei depositi d'uso

Ancoraggio

I depositi devono essere dotati di idonei sistemi di ancoraggio delle bombole in modo da evitare il pericolo di cadute o spostamenti accidentali (telai a rastrelliera, staffe, catenelle, bracciali) ed i pericoli ad essi associati.

Aerazione

I depositi devono garantire una buona circolazione naturale dell'aria. La ventilazione può essere agevolata dalla presenza di una o più pareti costituite da griglie antintrusione. Le finestre di ventilazione, se necessarie, devono essere poste sia in alto sia in basso in modo da favorire la diluizione degli eventuali gas emessi indipendentemente dalla loro densità relativa rispetto all'aria. I depositi per gas infiammabili devono rispettare i criteri da applicare per il gas naturale se leggeri, ai GPL se pesanti, entrambe nei gas intermedi (si consiglia realizzare depositi adatti per tutti i gas infiammabili indipendentemente dalla loro densità relativa).

Copertura e base di appoggio

La copertura del deposito deve proteggere le bombole dalla pioggia e dall'irraggiamento solare diretto. Nel caso di bombole collocate in terrazze coperte, è necessario verificare l'effettiva protezione dalla pioggia e dell'irraggiamento solare. Nel caso di depositi apposti, la copertura deve essere leggera. Il basamento del deposito deve essere rialzato rispetto al livello del terreno; il caricamento delle bombole deve avvenire tramite una agevole pedana di accesso.

Strutture metalliche

Se in metallo, la struttura del deposito deve essere saldamente ancorata al suolo e collegata ad una terra elettrica.

Paraschegge

La presenza di bombole in prossimità di un edificio, soprattutto se queste contengono gas infiammabili, può rendere necessaria la presenza di paraschegge. La parete del deposito può essere

realizzata appositamente per svolgere questa funzione; in caso contrario, la parete dell'edificio può essere opportunamente rinforzata.

Zone a pericolo di formazione di atmosfere esplosive

Il rilascio accidentale di gas infiammabili genera un'atmosfera esplosiva. Si ha quindi che la presenza di una o più bombole di gas infiammabili rende il deposito ed eventualmente parte dell'ambiente circostante una zona a pericolo di formazione di atmosfere esplosive; cioè, una zona in cui, in caso di rilascio accidentale, la concentrazione del gas infiammabile può potenzialmente essere maggiore o uguale al limite inferiore di esplosività. In questa zona, non devono essere presenti potenziali fonti d'innescio, e le apparecchiature e i componenti (elettrici e non elettrici) eventualmente presenti devono soddisfare i requisiti imposti dalla normativa europea sulle atmosfere esplosive (ATEX) per una zona 2. Poiché nella medesima zona sussiste anche il pericolo di incendio, è necessario evitare la presenza di materiali combustibili.

Zone a pericolo di formazione di atmosfere comburenti

Il rilascio accidentale di gas comburenti genera una atmosfera comburente con conseguente pericolo di incendio. In queste condizioni, è necessario evitare la presenza di materiali combustibili all'interno della suddetta zona.

Zone a pericolo di formazione di atmosfere intossicanti

Il rilascio accidentale di gas tossici o nocivi genera un'atmosfera intossicante. In questa zona la presenza di personale deve essere ridotta al minimo necessario; è inoltre consigliabile che tutto il personale all'interno della zona indossi come dispositivi di protezione individuale dei rivelatori di gas portatili.

Tipi di depositi e valutazione dell'estensione della zona pericolosa

A seconda della tipologia di deposito l'estensione e la forma della zona pericolosa possono variare. Nei depositi a gabbia, quelli cioè dotati di una griglia su ciascuno dei quattro lati del loro perimetro, si può assumere, per la definizione della zona pericolosa, una distanza dalle bombole perimetrali pari alla distanza di sicurezza della bombola più pericolosa calcolata per un getto libero solo nel caso in cui non siano presenti edifici a disturbare il flusso gassoso. L'effetto della parete può essere escluso utilizzando dei depositi a griglia frontale aventi cioè una struttura delimitata da tre pareti laterali e da una porta d'accesso a battente con griglia di aerazione. Questi depositi compensano lo svantaggio di essere meno aerati rispetto ai depositi a gabbia con la presenza di una efficace azione di contenimento di eventuali getti liberi laterali; infatti, l'espansione di getti gassosi liberi è possibile solo attraverso la griglia frontale, mentre nelle altre direzioni è impedita dalle pareti di contenimento. I depositi a griglia frontale, a differenza dei depositi a gabbia, possono essere facilmente posizionati in prossimità di edifici. I depositi che esercitano la migliore azione di contenimento dei getti gassosi sono costituiti da tre pareti laterali e da una porta d'accesso a battente priva di griglia. Non devono essere presenti aperture di aerazione in prossimità dell'altezza delle valvole delle bombole: si consigliano almeno 30 cm di altezza dalle valvole nel caso di bombole ancorate a parete. In caso di perdita, le pareti e la porta devono poter esercitare un'efficace azione di contenimento del getto di gas; la fuoriuscita del gas deve avvenire attraverso le aperture di

aerazione collocate in alto e in basso.

Recinzioni

Se in caso di rilascio accidentale di gas, si possono generare delle atmosfere esplosive, comburenti o tossiche la cui estensione sia oltre il perimetro del deposito, è necessario delimitare ulteriormente l'accesso al deposito aggiungendo un'apposita recinzione oppure vietando l'ingresso al personale non autorizzato in una zona più vasta quale, ad esempio, l'intero cortile, balcone o terrazzo dove è dislocato il deposito. Nel caso di gas infiammabili tossici oppure comburenti tossici, la zona pericolosa da considerare per la delimitazione dell'accesso è data dall'unione delle singole zone pericolose. I pericoli, i divieti e le prescrizioni presenti nella zona pericolosa devono essere chiaramente segnalati nei punti di accesso. Le recinzioni devono essere alte almeno un metro e ottanta centimetri e devono includere l'intero perimetro della zona pericolosa. Le pareti di un edificio, eventualmente rinforzate, possono essere un elemento delle recinzioni purché siano prive di porte, finestre o altre aperture fino ad un'altezza di almeno 2,5 m dal suolo.

2.2.4 Compartimentazione e incompatibilità chimica

Le bombole di gas incompatibili per reattività chimica devono essere separate, cioè collocate in depositi, balconi/terrazze o compartimenti distinti.

Le bombole con gas infiammabili devono essere separate dai comburenti. Le bombole contenenti gas inerti possono essere depositate insieme a infiammabili o comburenti.

I depositi di gas tossici o nocivi devono essere sempre compartimentati rispetto alle altre tipologie di gas. Gas tossici o nocivi chimicamente incompatibili non possono essere depositati nello stesso deposito/compartimento.

2.2.5 Classificazione dei depositi d'uso

La seguente classificazione dei diversi tipi di deposito d'uso si basa sul pericolo derivante dal tipo di gas stoccato e sulle incompatibilità chimiche presenti tra differenti categorie di gas. Riguardo ai gas infiammabili, si sono distinti i depositi dedicati allo stoccaggio di gas infiammabili esplosivi dai depositi generici per infiammabili. I gas infiammabili esplosivi sono gas instabili che possono esplodere anche senza il contatto con l'aria; la loro distribuzione richiede, pertanto, particolari cautele. Nella tabella sono elencate le diverse classi di deposito.

Tabella 1: Classi di deposito.

Deposito	Class e	Bombole stoccabili
Gas inerti e aria	DA	Gas inerti e aria
Gas infiammabili	DF	Gas infiammabili (e gas inerti), sono esclusi i gas esplosivi
	DFE	Gas infiammabili esplosivi
Gas comburenti	DO	Gas comburenti (e gas inerti)
Gas tossici o nocivi	DT	Gas tossici o nocivi (e gas inerti)
	DTF	Gas infiammabili tossici o nocivi (e gas inerti)
	DTO	Gas comburenti tossici o nocivi (e gas inerti)

2.2.6 *Segnaletica deposito d'uso*

All'ingresso del deposito d'uso devono essere di norma riportati:

- il codice identificativo del deposito;
- la capacità effettiva del deposito;
- i codici locale e la denominazione dei laboratori serviti;
- il nome del responsabile del deposito;
- il nome dei responsabili delle attività didattiche e di ricerca che utilizzano il deposito;
- i necessari segnali di avvertimento, divieto e prescrizione.

2.2.7 *Connessione delle bombole in uso alla linea di distribuzione*

Le bombole che alimentano una linea di distribuzione di un gas compresso (bombole in uso) devono avere un dispositivo di limitazione di portata. Il primo stato di depressurizzazione deve avvenire all'interno del deposito in modo da avere la linea di distribuzione a bassa pressione. La bombola deve essere connessa a un riduttore/regolatore di pressione con a valle una valvola a spillo. Il riduttore/regolatore di pressione, infatti, oltre a eseguire una depressurizzazione, limita la portata massima di gas emessa dalla bombola.

2.2.8 *Tubazioni*

La tubazione di alimentazione proveniente da un deposito deve essere esterna all'edificio, tranne per l'ultimo tratto in cui entra nel laboratorio per connettersi al punto presa. Le tubazioni devono avere il minimo diametro che garantisca la portata e la perdita di carico massime previste per la linea. Le tubazioni devono garantire il contenimento del gas, devono avere uno spessore adeguato, non devono essere permeabili al gas trasportato, e non si devono avere problemi di compatibilità chimica (guarnizioni, valvole incluse). La progettazione delle tubazioni dovrà essere sempre effettuata da ditte esterne certificate e certificatrici. Le tubazioni devono essere, se possibile, facilmente accessibili e i giunti meccanici facilmente ispezionabili. Le tubazioni devono essere sufficientemente distanti da muri o altri tubi in modo da facilitarne la manutenzione. Le tubazioni devono essere adeguatamente supportate in modo da evitare affaticamenti ed eccessive sollecitazioni incluse quelle dovute a dilatazioni termiche. Le tubazioni non devono essere installate in luoghi dove potrebbero essere esposte al rischio di danni meccanici. Le tubazioni devono essere protette da sorgenti di calore (escluso il normale irraggiamento solare). Le tubazioni devono passare ad almeno 50 mm da conduttori elettrici a bassa tensione. Nel caso di gas infiammabili la distanza e i componenti elettrici devono soddisfare la normativa europea sulle atmosfere esplosive (ATEX). Le tubazioni metalliche devono assicurare una continuità elettrica ed essere messe a terra; nessun cavo, altra tubazione o apparecchiatura deve essere messo a terra tramite esse.

2.2.9 *Valvole di intercettazione*

Le valvole di intercettazione vanno posizionate:

- alla partenza della tubazione principale (comunque dopo il riduttore se questo è presente);
- all'inizio di ogni derivazione;
- a valle di ogni riduttore di pressione;

- all'inizio di ogni interrimento o passaggio in cunicoli chiusi;
- prima dell'ingresso in un qualsiasi locale o laboratorio.

Le valvole di intercettazione devono aver segnalata la condizione di apertura e chiusura.

2.2.10 Punti presa

Nei punti di arrivo della linea, punti presa, devono di norma essere montati una valvola di intercettazione del flusso seguita da un regolatore di pressione con valvola a spillo o altro dispositivo di regolazione e/o limitazione del flusso; tuttavia, se la pressione di distribuzione è moderatamente bassa (3-4 bar), è sufficiente una valvola di intercettazione. Nei punti presa devono essere riportate le targhette che indicano il fluido distribuito (es. nome del gas, simbolo chimico).

2.3 Rete di distribuzione centralizzata di Sezione

La rete di distribuzione centralizzata di Sezione distribuisce i gas dal deposito bombole (bunker locali 83 e 85) esterno all'edificio e alimenta contemporaneamente tutti i laboratori con 5 differenti linee di gas. La gestione e la manutenzione di questo impianto sono controllate direttamente da UNIFI.

Ad oggi tale distribuzione è fuori uso.

3 Sistema di rivelazione di fuga di gas

Un sistema di rilevazione di fuga è costituito da sensori di gas controllati da una centralina, un allarme e un'eventuale sistema di intercettazione automatico del flusso che si attiva in caso di emergenza. Nel caso di linee interne o reti locali, l'installazione di tali dispositivi è valutata di caso in caso dal RSPP in collaborazione con il Responsabile del Servizio Tecnico e personale esperto del settore. Nel caso di un sistema di rilevazione con rilevatori di gas fissi, le centraline devono essere collocate all'esterno del laboratorio, possibilmente in prossimità dell'ingresso. L'allarme deve essere sia ottico che acustico con il segnale luminoso situato all'esterno del laboratorio, in prossimità del suo ingresso, e il segnale sonoro udibile sia all'esterno che all'interno del laboratorio. La posizione, il numero e il tipo di rilevatori di gas fissi, deve essere definito sulla base di una valutazione del rischio dovuto alle fughe di gas. Il numero dei rilevatori è determinato dall'estensione dell'area da monitorare e dalla tipologia di sensori (catalitici, elettrochimici ecc.): non è quindi possibile una valutazione a priori del loro numero senza conoscere le loro caratteristiche tecniche. Se nel laboratorio sono distribuiti dei gas infiammabili o comunque sono presenti sostanze e/o preparati che possono portare alla formazione di atmosfere esplosive, è necessario eseguire una valutazione del rischio di esplosione classificando le zone del laboratorio conformemente alla normativa europea sulle atmosfere esplosive (ATEX); in questo caso, tutti i dispositivi del sistema di rilevazione di fuga quali, ad esempio, sensori di gas, valvole di intercettazione e linee elettriche, e ogni altra apparecchiatura, dovranno soddisfare le specifiche ATEX previste la zona in cui sono collocati. Si consiglia di avvalersi di personale esperto per la progettazione e l'installazione di un sistema di rivelazione.

Di seguito alcune indicazioni di massima in merito alla collocazione dei rivelatori di gas, alla gestione degli allarmi e alla gestione delle emergenze. L'installazione delle centraline e le procedure di emergenza da adottare saranno caso per caso curate da esperti del settore e comunque concordate con il RSPP.

3.1 Posizione dei rivelatori di gas

I seguenti criteri qui riportati sono solo delle indicazioni di massima utili per valutare se un impianto di rilevazione presenta carenze nel posizionamento dei sensori fissi. I fattori principali da considerare per il loro posizionamento sono i seguenti: la densità relativa del gas, la presenza di correnti d'aria, la difficoltà di dispersione del gas (es. vapori di liquidi scarsamente volatili), eventuali vibrazioni che possono disturbare il sensore, i collegamenti elettrici, l'accessibilità del rivelatore per interventi di manutenzione e la protezione dall'acqua e dall'umidità.

3.1.1 Gas leggeri

I gas leggeri (densità relativa rispetto all'aria minore di 0,8) richiedono la collocazione dei sensori in alto. Nelle aree dove è trascurabile la presenza di flussi d'aria (velocità dell'aria stimata inferiore a 0,5 m/s), i rivelatori possono essere posizionati a distanze uniformi a circa 30 cm dal soffitto. Nel caso in cui sia presente un controsoffitto i rivelatori devono essere posizionati sia sul soffitto che sul controsoffitto; mentre in presenza di tetti inclinati, i rivelatori vanno posizionati a circa 30 cm dal punto più alto. In presenza di ventilazione (velocità dell'aria stimata superiore a 0,5 m/s), dovuta ad esempio a ventilazione artificiale o riscaldamento, si deve evitare di posizionare i rivelatori in zone morte a meno che la zona non sia a potenziale rischio di fuga di gas. In generale è bene collocare i rivelatori fissati sul soffitto ad almeno un metro di distanza dalle pareti del locale, dalle finestre o altre aperture di ventilazione e da eventuali travature, e almeno mezzo metro dai pilastri.

3.1.2 Gas pesanti

I gas pesanti (densità relativa rispetto all'aria maggiore di 1,2) richiedono la collocazione dei rivelatori in basso. Nelle aree dove è trascurabile la presenza di flussi d'aria (velocità dell'aria stimata inferiore a 0,5 m/s), i rivelatori possono essere montati lateralmente sul muro o su colonne a circa 30 cm dal pavimento. Uno dei rivelatori deve essere posizionato nelle immediate vicinanze del possibile punto di fuga del gas. Se il pavimento è in pendenza un rivelatore dovrà essere posizionato in corrispondenza del punto più basso del pavimento, a circa 30 cm di altezza. La presenza di pozzetti o intercapedini richiede l'installazione di rivelatori addizionali. In presenza di ventilazione, si deve evitare di posizionare i rivelatori in zone morte a meno che la zona non sia a potenziale rischio di fuga di gas.

3.1.3 Gas intermedi

I gas intermedi (densità relativa rispetto all'aria compresa tra 0,8 e 1,2) richiedono la collocazione dei sensori sia in alto che in basso oppure ad altezza di naso (1,5-1,7 m dal pavimento). Ad esempio, i rivelatori di monossido di carbonio di norma sono di norma installati ad altezza di naso. Analoga posizione è consigliabile per i rivelatori di ossigeno utilizzati per segnalare la presenza di altri gas non rilevabili direttamente.

3.1.4 Precauzioni aggiuntive per gas tossici

Nel caso di gas tossici, i rivelatori di gas devono essere posizionati innanzitutto a protezione degli operatori presenti nel laboratorio: è necessario accertarsi che il rivelatore sia investito dal gas prima che questo venga a contatto con il personale presente nel locale.

3.2 Allarme

Nel caso di un sistema di rivelatori fissi, l'allarme ottico-acustico deve essere posto all'ingresso del

laboratorio. La centralina dei sensori fissi deve essere esterna al laboratorio e consentire l'identificazione dei rivelatori di fuga da cui è stato attivato. L'allarme di rivelatori portatili o individuali può essere solo acustico (di solito è ottico-acustico e, nel caso rivelatori individuali, a vibrazione), la sua disabilitazione non deve essere possibile oppure deve essere protetta da una password.

3.3 Intercettazione del flusso in caso di allarme

Nel caso di una linea proveniente da un deposito, l'intercettazione della linea deve essere facilmente accessibile e collocata in luogo all'aperto. L'intercettazione deve essere automatica nel caso di gas infiammabili, comburenti o tossici, mentre negli altri casi può essere manuale.

In assenza di un sistema automatico di intercettazione azionato da un segnale di allarme, le procedure di emergenza devono prevedere, in caso di allarme, l'intercettazione manuale della linea di distribuzione del gas. L'intercettazione manuale di linee di distribuzione alimentate da bombole collocate nei laboratori (ancorate a parete o in armadi) deve avvenire senza pericolo per l'operatore: è quindi opportuno che il primo livello di allarme del sistema di rivelazione sia sufficientemente basso da consentire di eseguire l'operazione in sicurezza.

3.4 Codici dei rivelatori di fuga fissi e delle centraline

In caso di allarme, è necessario individuare rapidamente il rivelatore di gas che ne ha determinato la sua attivazione, in modo da definire le modalità con cui affrontare l'emergenza. La procedura di emergenza è opportuno che debba prevedere le seguenti azioni:

- l'interruzione delle attività all'interno del laboratorio. Nel caso di attività la cui interruzione possa essere pericolosa è necessario predisporre una specifica procedura di fermata/spengimento rapido;
- l'intercettazione del flusso di ogni gas distribuito (linee interne, rete di distribuzione locale). Nel caso di reti locali, l'intercettazione del flusso deve essere eseguita, se possibile, anche agendo sulle valvole esterne al laboratorio;
- l'interruzione della rete di alimentazione elettrica;
- l'apertura delle finestre;
- l'evacuazione del laboratorio;
- l'interdizione all'accesso del laboratorio;
- l'identificazione sulla centralina di controllo del rivelatore di gas che ha causato l'allarme;
- definizione degli interventi da eseguire in funzione del pericolo identificato.

Tutto il personale deve essere a conoscenza della procedura di emergenza.

3.5 Gas inerti

La presenza di bombole di un gas inerte o la sua distribuzione tramite rete locale richiede un sistema di rilevazione di fughe con sensori di ossigeno solo se sussiste pericolo di sotto ossigenazione del locale o asfissia. Un'eccezione è costituita dall'anidride carbonica, la quale richiede sempre la

presenza di rivelatori specifici per anidride carbonica anche in assenza di pericolo di sotto-ossigenazione; infatti, concentrazioni di anidride carbonica superiori alla norma hanno effetti pericolosi sulla respirazione e sul battito cardiaco che si manifestano prima che l'ambiente diventi sotto-ossigenato. Per misurare l'ossigeno o l'anidride carbonica, si consiglia l'adozione di rivelatori di fuga di gas fissi; tuttavia, è consentito l'uso di rivelatori portatili o rivelatori di fuga individuali purché dotati di sistema di allarme non disattivabile (o la cui disattivazione richiede una password). Il rivelatore portatile deve essere posizionato in prossimità del potenziale punto di emissione più rischioso e deve essere sempre attivo in presenza di bombole nel laboratorio se non sono attivi rivelatori di fuga fissi del gas. I rivelatori individuali devono essere sempre indossati da tutti gli operatori presenti nel laboratorio se non sono attivi altri rivelatori di fuga; la prescrizione di indossare i rivelatori personali deve essere segnalata all'ingresso del laboratorio. In caso di allarme, in assenza di un sistema automatico di intercettazione della linea di distribuzione, le procedure di emergenza devono prevedere l'intercettazione manuale della linea di distribuzione del gas inerte.

3.6 Gas infiammabili

La presenza di bombole di un gas infiammabile in uso non occasionale o la sua distribuzione tramite rete locale richiede un sistema di rilevazione di fughe che soddisfi la normativa europea sulle atmosfere esplosive (ATEX). Nel caso di una miscela di gas infiammabili, si può monitorare un solo gas, preferibilmente il più pericoloso o il più facile da misurare. In questo caso, il valore di soglia a cui riferirsi è il minimo valore di concentrazione assunto dal componente monitorato quando il gas miscelato con l'aria raggiunge il limite inferiore di infiammabilità. I gas infiammabili in uso non occasionale richiedono sempre, in caso di emergenza, un sistema di intercettazione automatica della linea di distribuzione.

3.7 Gas comburenti

La presenza di bombole di un gas comburente in uso non occasionale o la sua distribuzione tramite rete locale richiede un sistema di rilevazione di fughe con sensori specifici fissi. Nel caso di una miscela di gas comburenti, si può monitorare un solo gas, preferibilmente il più pericoloso o il più facile da misurare. In questo caso, il valore di soglia da considerare è il valore di concentrazione assunto dal componente monitorato quando il gas miscelato con l'aria raggiunge la capacità comburente equivalente a quella di una miscela al 23,5% di ossigeno in azoto. I gas comburenti in uso non occasionale richiedono sempre un sistema di intercettazione automatica del flusso in caso di emergenza. L'interruzione istantanea del flusso comporta un riscaldamento del gas per compressione adiabatica. Questa situazione può diventare critica per la linea di distribuzione che si può trovare a dover resistere ad alta temperatura ad ambienti fortemente ossidanti; è quindi necessario porre dei limiti sulla pressione massima e sulla velocità del gas comburente, i quali dipendono dai materiali utilizzati per le tubazioni (guarnizioni e valvole incluse). Ad esempio, nel caso di ossigeno puro in tubazioni di acciaio inossidabile, i limiti di pressione e velocità sono: 15 bar e 20 m/s.

3.8 Gas tossici o nocivi

La presenza di bombole di un gas nocivo in uso non occasionale o la distribuzione tramite rete locale di un gas tossico o nocivo richiede sia la presenza di un sistema di rilevazione di fughe con sensori specifici fissi. Nel caso di una miscela di gas tossici/nocivi si può monitorare un solo gas,

preferibilmente il più pericoloso o il più facile da misurare. In questo caso, il valore di soglia da considerare è il valore di concentrazione assunto dal componente monitorato quando il gas miscelato con l'aria raggiunge il valore soglia di tossicità acuta di categoria 4. I gas tossici in uso non occasionale richiedono sempre un sistema di intercettazione automatica del flusso in caso di emergenza; mentre, per i gas nocivi, a causa della loro minore pericolosità, è consentita un'intercettazione del flusso manuale.

3.9 Controllo dei valori limite di soglia

In generale, la presenza di bombole di un gas dannoso per la salute o la sua distribuzione tramite rete locale richiede almeno un controllo giornaliero della sua concentrazione nel laboratorio per verificare che sia inferiore ai valori limite di soglia (TLV). La misurazione può essere eseguita tramite dei rivelatori di fuga di gas o altri sistemi quali ad esempio pompe di campionamento con fiala di rivelazione colorimetrica.

4 Segnaletica all'ingresso del laboratorio

All'ingresso del laboratorio d'uso devono essere di norma affissi i seguenti elementi:

- i segnali di pericolo di gas presenti in bombole all'interno del laboratorio; i cartelli devono indicare anche la collocazione delle bombole (ancorate a una parete o in un armadio);
- i segnali di pericolo dei gas distribuiti come rete locale;
- i segnali di pericolo dei gas distribuiti tramite rete gas dipartimentale;
- i necessari segnali divieto e prescrizione dovuti alla presenza dei gas (es. divieto di fiamme libere per gas infiammabili; indossare rivelatori di gas individuale per gas molto tossici);
- l'Indicazione dei rilevatori di gas fissi installati, i relativi codici per abbinarli al canale della corrispondente centralina e la sorgente del gas (bombola ancorata a parete, codice dell'armadio o del deposito con la bombola di alimentazione);
- l'indicazione dei rilevatori di gas portatili che devono essere obbligatoriamente presenti nel laboratorio;
- l'elenco dei depositi esterni con indicazione della loro collocazione.

5 Movimentazione delle bombole

Si consiglia di lasciare al personale fornitore le operazioni di trasporto e movimentazione delle bombole. Si precisa in ogni caso che il trasporto di bombole di gas compressi deve avvenire esclusivamente tramite ausilio di carrelli muniti di appositi fissaggi. La bombola deve essere posizionata verticalmente, assicurandola saldamente per evitare cadute e rovesciamenti. Non sono ammesse movimentazioni manuali, anche per tragitti brevi. Il trasporto ai vari piani dell'edificio, quando previsto nella pianificazione del servizio e indispensabile per le attività sperimentali, deve avvenire per mezzo di montacarichi o ascensore, previa verifica della capacità di portata compatibile con il peso delle bombole da trasferire. È inoltre vietato il trasporto di bombole contenenti gas incompatibili tra loro all'interno dello stesso montacarichi. L'operazione di

trasferimento ai piani mediante montacarichi deve avvenire per mezzo di due lavoratori: uno addetto al carico della bombola al piano di partenza e l'altro addetto alla chiamata dell'ascensore ed al suo scarico al piano di arrivo. Durante la movimentazione le bombole di gas devono essere munite di cappello di protezione e l'addetto deve assicurarsi che il recipiente non subisca urti o sollecitazioni meccaniche in grado di compromettere la stabilità del recipiente stesso. Gli urti potrebbero alterare la pressione interna del gas e l'integrità della bombola, con conseguente rilascio di gas all'interno dell'ambiente e proiezione di componenti del recipiente.

6 Controlli, verifiche periodiche e manutenzione

Sugli impianti di gas in pressione devono essere assicurati dei controlli funzionali, delle verifiche periodiche di sicurezza e delle sostituzioni di elementi soggetti ad usura o di materiali di consumo. Queste operazioni devono essere condotte da personale specializzato. Tali attività e interventi, effettuati indipendentemente dal verificarsi di guasti, sono finalizzati a ridurre la probabilità che si verifichino malfunzionamenti o deterioramento dei componenti che costituiscono continuità dell'impianto, con implicazioni sulle condizioni di funzionalità e sicurezza. Gli interventi di manutenzione vengono effettuati esclusivamente da operatori tecnici specializzati. Nel complesso, per le attività descritte nel presente paragrafo, occorre fare riferimento ai principi esposti nei riferimenti normativi e tecnici, ed in particolare nel D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 e nelle Norme Tecniche UNI EN 13306: 2018 e UNI 10147: 2021. Fermo restando quanto stabilito negli atti normativi e tecnici di riferimento, le complessive attività di controllo, verifica e manutenzione degli impianti di gas tecnici devono in generale essere articolate nelle seguenti fasi:

- controllo (compreso l'esame visivo) dello stato di integrità, ordine e pulizia di tutti gli elementi dell'impianto;
- verifica strumentale del funzionamento dell'impianto ed in particolare della tenuta in pressione dell'impianto;
- sostituzione di elementi soggetti ad usura o risultati malfunzionanti ad esito di controlli e verifiche.

Di seguito si riportano la periodicità che devono generalmente essere adottate per l'esecuzione degli interventi manutentivi su diversi componenti dell'impianto.

Tabella 2: Periodicità degli interventi di manutenzione.

Elemento di impianto	Frequenza del controllo
Controllo centrali di decompressione, locali bombole, box bombole, riduttori di pressione di 1° stadio	Mensile
Controllo utenze e riduttori di pressione di 2° stadio	Mensile
Verifica linee di distribuzione e prove di tenuta in pressione	Semestrale

Nel corso dei controlli e verifiche devono essere eseguite specifiche attività. Fra queste deve essere generalmente considerato quanto segue.

Locali bombole

- pulizia e integrità dei basamenti;
- assenza di materiali estranei, in particolare se combustibili entro una distanza di 5.0 m;
- drenaggio vasche di contenimento (ove presenti);
- stato delle aperture di ventilazione (assenza ostruzioni);
- stato delle recinzioni, delimitazioni e segnali identificativi e di sicurezza, etichettature di sicurezza, schemi di impianto con indicazione dei valori di regolazione e taratura;
- stato dell'illuminazione;
- presenza distanze di sicurezza;
- assenza linee elettriche interferenti;
- assenza ostacoli alla viabilità di servizio;
- stato dei collegamenti di messa a terra;
- stato degli impianti elettrici e degli impianti elettrici ATEX (ove presenti);
- stato delle verniciature e assenza di ruggine;
- separazione bombole piene e bombole vuote - Separazione bombole gas incompatibili;
- corretto fissaggio delle bombole su rastrelliera;
- presenza cappellotto di protezione su bombole in stoccaggio, non collegate all'impianto;
- assenza interferenze con i percorsi di accesso ai locali bombole e di movimentazione delle bombole;
- stato delle rampe di collegamento, delle serpentine, dei riduttori di 1° stadio e degli altri organi ed elementi di collegamento, compatibilità con il gas utilizzato;
- stato dei manometri e delle valvole di sicurezza, presenza del cartellino di taratura sulle valvole di sicurezza, stato degli scarichi di sicurezza convogliati all'esterno o in zona sicura, delle elettrovalvole e dei sensori e centraline con funzioni di sicurezza.

Tubazioni di distribuzione ed elementi collegati

- stato delle tubazioni e delle staffature, etichettatura;
- stato delle valvole di intercettazione e sezionamento;
- stato dei riduttori di 2° stadio, compatibilità con il gas utilizzato;
- stato degli elementi posti a valle del riduttore di 2° stadio (valvole di sicurezza, manometri, ecc.);

- rispetto delle scadenze di sostituzione o revisione indicate dai costruttori dei diversi elementi.

7 Raccomandazioni e consigli

L'alta pericolosità delle bombole sotto pressione fa sì che la loro applicazione debba limitarsi solo a quei casi in cui sia strettamente necessario; di seguito sono riportate delle possibili alternative al loro uso e dei criteri per ridurre la pericolosità.

Generatori di gas

Nel caso di idrogeno, azoto e aria è possibile evitare l'uso di bombole di gas compressi sostituendole con dei generatori di gas: un'apparecchiatura come un gascromatografo può funzionare senza l'impiego di bombole di gas compresso. Poiché un armadio di sicurezza per gas infiammabili conforme alla norma EN 14470-2 attrezzato con sistema di rivelazione di fuga e intercettazione automatica del flusso è nettamente più costoso di un generatore di idrogeno (il quale non richiede sistemi di sicurezza aggiuntivi oltre a quelli presenti nell'apparecchio), l'installazione di un generatore diventa economicamente conveniente quando l'alternativa è collocare una bombola all'interno del laboratorio. Esistono diversi tipi di generatori a seconda delle portate richieste e della purezza necessaria. Nei generatori di idrogeno il gas è prodotto per via elettrolitica; questi generatori sono in grado di fornire idrogeno ad elevata purezza a pressioni superiori a 10 bar e possono alimentare reattori da laboratorio e più gascromatografi; la portata massima dipende molto dal modello (100-1000 ml/min). I generatori di azoto lo separano dall'aria mediante adsorbimento (PSA): la portata massima varia molto a seconda del livello di purezza (0,5-120 litri/min). I generatori d'aria sono in realtà dei purificatori e possono fornire alte portate (es. 30 litri/min).

Bombolette monouso

Nel caso in cui sia necessaria una piccola quantità di gas si possono utilizzare delle bombolette monouso in sostituzione delle bombole di gas compresso. Le bombolette monouso sono disponibili sia per gas puri che miscele certificate (es. miscele di taratura); le informazioni riguardanti il gas contenuto sono riportate su un'etichetta applicata al corpo della bombola; sull'etichetta sono riportate la composizione del gas, la pressione di carica, la quantità contenuta e informazioni sulla stabilità della miscela. La capacità di queste bombolette è inferiore a 3 litri (di solito 1-1,5 litri) e le pressioni di carica sono nettamente inferiori alle bombole (es. 12 bar). Le bombolette monouso sono leggere, maneggevoli e occupano poco spazio. Il basso contenuto di gas le rende molto meno pericolose; esse non sono soggette alle limitazioni imposte per le bombole di gas compresso quali le norme per il trasporto e lo stoccaggio. Le bombolette monouso non hanno nessun onere di noleggio e quando sono vuote non vanno restituite al fornitore ma sono da smaltire come rifiuti.

Capacità delle bombole

Oltre alle capacità usuali di 40-50 litri, sono disponibili bombole di capacità ridotta (es. 5, 14, 20 litri, sotto i 3 litri sono denominate bombolette). L'impiego di bombole di ridotta capacità comporta la diminuzione e in alcuni casi l'eliminazione di alcuni pericoli (es. asfissia); tuttavia, dove possibile, si consiglia l'impiego di bombolette monouso.

Miscele di gas con componenti infiammabili o comburenti

In presenza di miscele gassose infiammabili conviene operare, quando possibile, con composizioni inferiori al limite di infiammabilità della miscela. È bene tenere presente che la scelta del gas inerte influenza l'infiammabilità della miscela; ad esempio, l'idrogeno è infiammabile se supera l'8% in miscela con l'anidride carbonica e il 3,1% in argon. Analoghe considerazioni valgono per miscele gassose con componenti comburenti.

Miscele di gas con componenti tossici

Nella scelta della composizione di miscele gassose contenenti componenti tossici è bene sempre considerare la possibilità di adottare livelli di concentrazione sufficientemente bassi da non avere effetti di tossicità acuta; questa condizione non esclude la necessità di monitorare la concentrazione nell'ambiente di lavoro in modo da verificare il rispetto dei valori di soglia per evitare eventuali effetti cronici.

8 Pericoli dovuti ai gas compressi

La principale causa di pericolo che accomuna tutte le bombole è l'elevata energia di compressione del gas contenuto che, se liberata a causa di urti, cadute, o cedimento del materiale del contenitore (es. causato da surriscaldamento o basse temperature), può provocare danni a cose o persone. Ulteriori fonti di pericolo sono dovute alle proprietà intrinseche del gas contenuto che può essere infiammabile, esplosivo, tossico ecc.; infine, nel caso di bombole di grandi dimensioni, è necessario considerare che queste possono produrre danni semplicemente a causa del loro elevato peso. Nel caso delle linee di distribuzione, le situazioni di pericolo derivano principalmente dalla fuga di gas dovuta a tenute difettose o danneggiate (materiali inadeguati, corrosione, surriscaldamenti). Nelle sezioni che seguono sono esposte le principali situazioni di pericolo dovute alle bombole di gas compressi e in generale al rilascio di gas da bombole o da linee di distribuzione.

8.1 Pericoli derivanti da cadute accidentali di bombole

Nonostante le bombole di gas compressi siano dei recipienti estremamente robusti, devono essere maneggiate con estrema cura. Una caduta accidentale può causare danni a persone e cose (investendole), e al recipiente (causando una fuoriuscita, anche rapida, del gas contenuto). In caso di caduta, danni rilevanti si possono avere soprattutto quando le valvole delle bombole non sono protette dal cappello o addirittura montano un riduttore di pressione, il quale sporgendo dal corpo cilindrico rende possibile una sollecitazione di taglio sulla connessione tra l'ogiva e la valvola. Una fuoriuscita rapida del gas in pressione tende inizialmente a imprimere alla bombola un movimento rotatorio sul proprio asse difficilmente arrestabile, successivamente il recipiente inizia a muoversi in modo incontrollato e imprevedibile colpendo oggetti e persone. Una bombola da 40 litri con una pressione di carica di 200 bar ha un'energia di compressione di 4,4 MJ, energia sufficiente ad abbattere più di una parete. Una caduta accidentale si può verificare durante la manipolazione e il trasporto delle bombole oppure a causa di un ancoraggio difettoso o assente. Le cadute durante le operazioni di manipolazione e trasporto sono principalmente dovute a:

- perdita di presa della bombola da parte dell'operatore durante la movimentazione manuale

(assenza di guanti, scorretto modo di rotazione della bombola);

- suoli sconnessi (presenza di buche, dislivelli, ecc.);
- sosta nei passaggi (improvvisa collisione con cose e/o persone);
- sollevamento dal cappello (soprattutto quando non è ben avvitato sul collare);
- carico e scarico dai mezzi di trasporto (quando il carico è sfuso).

Al fine di ridurre questi rischi, gli operatori devono essere opportunamente addestrati, indossare dei guanti (per avere una buona presa e non depositare del grasso nel caso di bombole di gas comburenti) e proteggersi i piedi con delle calzature antinfortunistiche (la compressione a un piede causata da una bombola da 40 litri, circa 47 kg di peso, può causare serie lesioni). Oltre agli effetti dovuti alla liberazione dell'energia di compressione, si possono avere, a seconda del gas contenuto, altri eventi potenzialmente pericolosi come la formazione di atmosfere esplosive/infiammabili, comburenti o tossiche.

8.2 Pericolo di esplosione di bombole in caso di incendio

In presenza di un incendio, l'aumento di temperatura riduce la resistenza meccanica del contenitore e aumenta la pressione all'interno della bombola, si può quindi avere un cedimento meccanico; in questo caso, il corpo della bombola si fessura longitudinalmente fino a raggiungere l'ogiva, si ha quindi la proiezione di tre schegge principali: l'ogiva e i due frammenti del corpo cilindrico. Questa esplosione meccanica è particolarmente rischiosa per i vigili del fuoco che, per questa ragione, di norma prescrivono di limitare o eliminare l'impiego di bombole di gas compressi (inclusi aria e gas inerti) nei laboratori. Una riduzione del rischio di esplosione in caso di incendio la si ottiene collocando le bombole in appositi armadi coibentati. Gli armadi per bombole EN 14470-2 sono realizzati per resistere per un determinato tempo se sottoposti ad un incendio in condizioni standard (EN 1363-1). Un armadio EN 14470-2 G90 garantisce che le bombole contenute non superino la temperatura di 50°C per almeno 90 minuti.

8.3 Pericoli da esposizione di bombole a irraggiamento solare o altre fonti di riscaldamento

Riscaldamenti elevati hanno conseguenze analoghe a quelle di un incendio, cioè l'esplosione della bombola; tuttavia, anche se l'incremento di temperatura è modesto e non comporta quindi l'immediato cedimento del contenitore, escursioni termiche ripetute possono generare problemi di tenuta causando diversi pericoli a seconda del gas accidentalmente rilasciato (asfissia, incendio, esplosione o intossicamento). Riscaldamenti superiori alla temperatura di progetto di 50°C sono da evitare. Le bombole non devono quindi essere esposte direttamente ai raggi solari o ad altre fonti di riscaldamento.

8.4 Pericoli dovuti a basse temperature

L'esposizione delle bombole a basse temperature comporta l'infragilimento del contenitore e quindi il rischio di una sua fessurazione. I recipienti in acciaio si possono utilizzare sino a temperature di -20°C; temperature più basse richiedono appositi materiali. Questo tipo di inconveniente si può riscontrare durante l'erogazione di elevati flussi gassosi da bombole contenenti gas liquefatti; l'evaporazione del gas erogato avviene infatti a spese del raffreddamento del liquido contenuto nella bombola.

8.5 Pericoli derivanti da rilasci accidentali di gas

I rilasci accidentali di gas possono avvenire a causa di danni improvvisi alle bombole o alle linee di distribuzione causati da urti meccanici, in questo caso i rilasci sono rapidi; oppure, possono essere dovuti a tenute difettose causate da corrosione, invecchiamento dei materiali ecc., in questo caso i rilasci sono lenti. Le conseguenze dipendono molto dalla modalità del rilascio e dalle caratteristiche del gas rilasciato. I potenziali danni provocati dalla rapida fuoriuscita di gas dovuta a un urto o una caduta di una bombola sono stati descritti precedentemente, di seguito sono esposti le situazioni di pericolo derivanti dal rilascio di un gas nell'ambiente.

8.6 Rilasci accidentali di gas inerti

Il rilascio accidentale di un gas inerte in un ambiente chiuso può creare un ambiente carente di ossigeno. Un'atmosfera asfissiante non provoca, in un soggetto in buona salute, né difficoltà respiratorie né una netta sensazione di soffocamento, ma ha un effetto simile ai primi sintomi dell'anestesia (mancanza di equilibrio, vertigini, difficoltà di parola fino all'impossibilità di articolare suoni, rapida diminuzione e poi incapacità di effettuare sforzi fisici e movimenti, ridotta coscienza del mondo esterno, riduzione dei sensi, specialmente del tatto). Spesso ci si accorge del pericolo quando non si è più grado di muoversi e parlare oppure lo stato di incoscienza è raggiunto senza esserne minimamente consapevoli. Il fenomeno è rapido in quanto il contenuto di ossigeno nel sangue diminuisce rapidamente quando si respira aria povera di ossigeno; ambienti privi di ossigeno possono provocare collasso e perdita della coscienza al secondo respiro, dopo alcuni minuti il danno celebrale è irreversibile.

Nella tabella che segue sono riportati gli effetti provocati da atmosfere sotto-ossigenate.

Tabella 3: Rischi da atmosfere sotto-ossigenate.

% in moli di O₂	Effetti e sintomi
18-21	Non ci sono sintomi riconoscibili.
11-18	Riduzione progressiva delle prestazioni fisiche e intellettuali senza che la persona soggetta se ne renda conto. Si avverte solo un senso generale di malessere che è difficile da mettere in relazione con l'asfissia.
8-11	Possibilità di svenire entro pochi minuti senza preavviso. Concentrazioni di ossigeno minori dell'11% comportano il rischio di morte.
6-8	Lo svenimento avviene rapidamente. La rianimazione è possibile se è effettuata immediatamente.
0-6	Perdita quasi immediata di coscienza. Danni cerebrali anche se la vittima è soccorsa immediatamente.

A differenza di molti gas tossici (cloro, ammoniaca, solfuro di idrogeno), gas inerti come l'azoto, l'elio e l'argon non sono direttamente percepiti dagli operatori in quanto inodori e incolori. In presenza di pericolo di atmosfere asfissianti (percentuale di ossigeno minore del 18%), è bene installare dei rivelatori di ossigeno con un preallarme per atmosfere sotto-ossigenate (percentuale di ossigeno minore del 19,5%) in modo da consentire la chiusura dalle bombole o l'intercettazione della linea e l'evacuazione del locale in sicurezza

8.7 Rilascio accidentale di ossigeno o altri gas comburenti

Il rilascio accidentale di ossigeno genera atmosfere sovra-ossigenate. Queste non creano normalmente difficoltà respiratorie fino a concentrazioni pari al 75% di ossigeno, ma possono causare un pericolo di incendio. Il rischio di incendio, già apprezzabile con il 25% di ossigeno, diventa notevole con il 28% e molto elevato con concentrazioni uguali o superiori al 35%. L'aumento della concentrazione di ossigeno può cambiare il comportamento di una sostanza facendola passare da "non-combustibile" a "combustibile". Molti materiali, inclusi i metalli, bruciano in atmosfere arricchite in ossigeno e quasi tutte le sostanze sono combustibili in ossigeno puro. Elevate concentrazioni di ossigeno incrementano anche la velocità combustione; questo effetto è evidente, ad esempio, nelle apparecchiature con oli o grassi le quali, per questa ragione, oltre a incendiarsi con maggiore facilità, bruciano con violenza esplosiva. Questa situazione è purtroppo vera anche per un corpo umano, il quale in atmosfere sufficientemente arricchite brucia vigorosamente. Poiché in un'atmosfera ricca di ossigeno la propagazione di una fiamma lungo una superficie combustibile solida è molto rapida, si ha che quando un vestito prende fuoco la persona che lo indossa si trova rapidamente completamente circondata dalle fiamme subendo quindi ustioni molto estese. L'ossigeno è inodore e insapore per cui l'aria arricchita di ossigeno non può essere percepita dai sensi; in caso di pericolo di atmosfere sovra-ossigenate, è quindi necessaria l'installazione di un sistema rilevazione di gas; poiché in caso di rapidi rilasci si possono facilmente generare incendi di cose e persone, è opportuno che l'intercettazione del flusso in caso di allarme sia automatica (percentuale di ossigeno al 23,5%). Se è necessaria la presenza di bombole nei laboratori, è bene collocarle all'interno di opportuni armadi ventilati in modo da confinare

l'estensione dalla zona a rischio di formazione di atmosfere comburenti. Simili pericoli sono causati anche dagli altri gas comburenti, per i quali sono quindi necessarie analoghe precauzioni.

8.8 Rilascio accidentale di gas infiammabili

Il rilascio di gas infiammabili genera un'atmosfera esplosiva facilmente innescabile. Particolarmente pericoloso è l'idrogeno, la cui bassa viscosità e elevata diffusività rendono più difficile evitare la presenza di fughe. L'idrogeno ha una bassissima energia di innesco, una elevata velocità di combustione e tende facilmente a detonare; per cui, in caso di esplosioni, si raggiungono facilmente sovrappressioni elevate con effetti distruttivi devastanti. La presenza di gas infiammabili richiede un sistema di rilevazione con intercettazione automatica del flusso. Se è necessaria la presenza di bombole di gas infiammabili nei laboratori, è bene collocarle all'interno di opportuni armadi ventilati in modo da confinare l'estensione dalla zona a rischio di formazione di atmosfere infiammabili.

8.9 Rilasci accidentali di anidride carbonica

L'anidride carbonica è un gas incolore e inodore anche se quando è inalata ad elevate concentrazioni produce in bocca un sapore amaro accompagnato da una sensazione pungente nel naso e nella gola dovuto alla formazione di acido carbonico nella mucosa e nella saliva. Essa, pur essendo classificata come un gas non tossico, causa, in caso di rilascio accidentale, effetti dannosi alla salute prima di generare un'atmosfera sotto-ossigenata; la ragione principale è che il controllo primario della respirazione si basa sul monitoraggio della concentrazione di anidride carbonica nel sangue (il segnale principale è fornito dalla variazione dell'acidità del liquido cerebrospinale), per cui un aumento della concentrazione di anidride carbonica nell'aria respirata (il valore normale è circa 0,035% in moli) comporta un aumento del ritmo respiratorio. Una concentrazione di anidride carbonica nell'aria uguale allo 0,5% in volume può essere tollerata per almeno otto ore (TLVTWA), ma concentrazioni superiori al 2% possono avere effetti rilevanti sulla funzionalità respiratoria e provocare eccitazione seguita da depressione del sistema nervoso centrale. Esposizioni brevi ad alte concentrazioni di anidride carbonica provocano, inoltre, danni alla sensibilità della retina alla luce (fotofobia), movimenti oculari anormali e restringimento del campo visivo. Esistono anche effetti cronici, ad esempio, l'esposizione a un massimo di 3,0% per più di 15 ore giornaliere, per sei giorni, provoca riduzione sia della visione notturna che della sensibilità ai colori. Visti i rischi per la salute che l'esposizione ad anidride carbonica comporta, l'uso di questo gas richiede un sistema di rivelazione e allarme con specifici sensori anche quando non sussiste un pericolo di asfissia in caso di un suo rilascio accidentale. Nella tabella che segue sono riportati i principali effetti che un'atmosfera ricca di anidride carbonica provoca sull'uomo.

Tabella 4: Rischi da atmosfera ricca di anidride carbonica.

% in moli di CO2	Effetti e sintomi
1	Sonnolenza in caso di esposizioni prolungate.
2	Frequenza di respirazione maggiore del 50% rispetto alle condizioni normali. Aumento della pressione arteriosa e della frequenza cardiaca, riduzione dell'udito.
5	Frequenza di respirazione quattro volte superiore alle condizioni normali. Vertigini, confusione, difficoltà di respirazione accompagnata da mal di testa mancanza di respiro. Possono verificarsi attacchi di panico.
8-15	Mal di testa, sudorazione, visione fioca, tremori e perdita di coscienza dopo l'esposizione da cinque a dieci minuti.
>15	Insufficienza cardiaca con possibili effetti letali.

8.10 Rilascio accidentale di gas tossici o nocivi

Il rilascio di gas tossici o nocivi genera un'atmosfera tossica i cui effetti dipendono dallo specifico gas. Ad esempio, nel caso del monossido di carbonio, la sua tossicità è dovuta alla formazione con l'emoglobina di un complesso molto più stabile dell'ossiemoglobina (l'affinità dell'emoglobina verso il CO è 200 volte quella verso l'ossigeno); questo causa una deficienza di ossigeno nel sangue che porta ad uno stato di incoscienza e quindi alla morte. Anche basse esposizioni al monossido di carbonio possono ridurre la concentrazione di ossigeno nel cervello in modo da rendere la vittima incosciente e causarne la morte per asfissia. Vista la pericolosità per gli operatori, la presenza di gas tossici o nocivi richiede un sistema di rilevazione di gas. Nel caso dei gas tossici, è consigliabile che, in situazioni di emergenza, l'intercettazione del loro flusso sia automatica; mentre, per i gas nocivi, essendo non pericolosi in tempi rapidi, è possibile prevedere nella procedura di emergenza la chiusura manuale da parte degli operatori. Non è consigliabile la collocazione di bombole di gas tossici in locali chiusi; è tollerata, visto il minor pericolo, quella di gas nocivi se queste sono collocate all'interno di opportuni armadi ventilati in modo da confinare l'estensione dalla zona a rischio di formazione di atmosfere tossiche.