



Pompa per vuoto e sistemi per vuoto

MANUALE DI SICUREZZA

Avviso sul copyright

©Edwards Limited 2019. Tutti i diritti riservati.

Sommario

1. Introduzione.	5
1.1 Ambito della presente pubblicazione.	5
1.2 Rischi di esplosione.	5
2. Quando possono verificarsi pericoli.	7
2.1 Progettazione.	7
2.2 Costruzione.	7
2.3 Funzionamento / Messa in esercizio.	8
2.4 Manutenzione / Messa fuori esercizio.	8
3. Pericoli di origine chimica.	9
3.1 Reazioni chimiche ed esplosioni.	9
3.1.1 Reazioni omogenee.	9
3.1.2 Reazioni eterogenee.	9
3.2 Problemi legati a reazioni anormali.	9
3.3 Pericoli di esplosione.	10
3.3.1 Ossidanti.	10
3.3.2 Materiali infiammabili/esplosivi.	11
3.3.3 Materiali piroforici.	11
3.3.4 Azoturo di sodio.	12
3.4 Materiali tossici o corrosivi.	12
3.4.1 Materiali tossici.	12
3.4.2 Materiali corrosivi.	13
3.5 Riepilogo - pericoli di origine chimica.	14
4. Pericoli di origine fisica.	15
4.1 Tipi di pericoli da sovrappressione.	15
4.2 Scarico della pompa sottoposto a sovrappressione.	15
4.3 Protezione contro la sovrappressione dello scarico.	15
4.4 Sovrappressione di aspirazione.	16
4.4.1 Alimentazione di gas compressi e contropressione.	16
4.4.2 Funzionamento scorretto della pompa.	17
4.5 Riepilogo - pericoli di origine fisica.	17
5. Analisi dei pericoli.	18
6. Progettazione del sistema.	19
6.1 Pressioni massime di un sistema.	19
6.2 Eliminazione di volumi stagnanti.	19
6.3 Sistemi di scarico ed estrazione.	20
6.4 Fonti di miscele di gas o vapori potenzialmente esplosive.	20

6.5 Evitare la zona infiammabile.	21
6.6 Livelli di integrità del sistema.	23
6.7 Utilizzo di sistemi di protezione rompifiamma.	24
6.8 Fonti di accensione.	25
6.9 Riepilogo - progettazione del sistema.	26
7. Scelta delle apparecchiature del sistema.	28
7.1 Pompe rotative volumetriche e pompe a pistone a tenuta d'olio.	29
7.2 Pompe a secco Edwards.	29
7.3 Progettazione delle tubazioni.	29
7.3.1 Soffietti.	29
7.3.2 Tubazioni flessibili.	30
7.3.3 Punti di ancoraggio.	30
7.3.4 Tenute.	30
7.4 Protezione fisica da sovrappressioni.	30
7.4.1 Dispositivi di scarico della pressione.	30
7.4.2 Allarme/arresto automatico per sovrappressione.	31
7.4.3 Regolatori di pressione.	31
7.4.4 Rompifiamma.	31
7.5 Sistemi di flussaggio.	32
7.6 Riepilogo - scelta delle apparecchiature del sistema.	32
8. Procedure operative e formazione.	33
9. Riepilogo.	34

Edwards Ltd. non si assume alcuna responsabilità né garantisce in alcun modo l'accuratezza, la praticabilità, la sicurezza e i risultati delle informazioni e delle procedure o delle loro applicazioni qui descritte. Edwards Ltd. non accetta alcuna responsabilità per perdite o danni derivanti dall'affidamento alle informazioni contenute in questa presentazione o dal fatto che le informazioni fornite siano non corrette o incomplete sotto qualsiasi aspetto. Si noti che le informazioni qui contenute sono da intendersi esclusivamente come consigli e, sebbene Edwards possa dare indicazioni relativamente ai rischi potenziali nell'uso dei materiali pericolosi, è responsabilità dell'utente finale condurre una valutazione dei rischi/analisi dei rischi specifica per le proprie attività e il proprio ambiente nonché conformarsi alle norme di legge.

1. Introduzione

1.1 Ambito della presente pubblicazione

Questo documento contiene informazioni di sicurezza associate con le specifiche, la progettazione, il funzionamento e la manutenzione di pompe per vuoto e sistemi per vuoto.

Il presente documento specifica alcuni dei potenziali pericoli che potrebbero verificarsi e fornisce linee guida volte a ridurre al minimo la probabilità di pericoli per la sicurezza e ad assicurare che, qualora un pericolo si presenti, questo venga affrontato adeguatamente.

Questo documento è destinato a essere letto da chiunque si occupi di specifiche, progettazione, installazione, funzionamento e manutenzione delle pompe per vuoto e dei sistemi per vuoto. Si raccomanda di leggere questo documento unitamente a:

- i manuali di istruzioni forniti con le apparecchiature;
- le informazioni fornite dai fornitori di gas di processo e prodotti chimici;
- le informazioni fornite dal reparto di sicurezza.



PERICOLO:

Il mancato rispetto delle istruzioni di sicurezza indicate in questo manuale e nel relativo manuale di istruzioni della pompa può causare gravi lesioni o la morte.

Qualora si necessiti di ulteriori informazioni sull'idoneità dei prodotti Edwards per la propria applicazione di processo o in caso di dubbi su aspetti di sicurezza delle pompe per vuoto o dei sistemi per vuoto, contattare il fornitore o Edwards.

1.2 Rischi di esplosione

Nota:

Sono disponibili pompe Edwards rispondenti alla direttiva europea ATEX per le apparecchiature destinate all'uso in atmosfere potenzialmente esplosive.

Le esplosioni impreviste sono invariabilmente causate dalla mancata osservanza delle linee guida di sicurezza. Con ciò, alcuni incidenti esplosivi sono risultati estremamente violenti, con possibilità di causare gravi lesioni o morte.

Tra le cause più comuni della rottura violenta di un componente del sistema per vuoto sono annoverate l'accensione di materiali infiammabili e l'ostruzione o il restringimento dello scarico della pompa. Per evitare pericoli, prestare attenzione a quanto segue per contribuire ad assicurare il funzionamento in sicurezza delle pompe e dei sistemi per vuoto.

- A meno che il sistema non sia progettato per il pompaggio di materiali a concentrazioni suscettibili di ignizione all'interno della pompa per vuoto, è necessario assicurarsi che le miscele di infiammabili e ossidanti siano tenute al di fuori dell'intervallo di ignizione. Uno dei modi per ottenere questo risultato è il flussaggio a gas inerte. Vedere [Evitare la zona infiammabile](#) a pagina 21.
- Assicurarsi che durante il funzionamento non possano verificarsi ostruzioni dello scarico, sia a causa di componenti meccanici (ad esempio valvole o coperture) o a causa di depositi di materiali di processo o sottoprodotti nelle tubazioni, nei filtri e in altri componenti dello scarico, a meno che il sistema non sia specificamente progettato per affrontare tali situazioni.

- Utilizzare solo oli a base di PFPE (perfluoropolietere) nelle parti dei meccanismi della pompa esposte a elevate concentrazioni di ossigeno o di altri ossidanti. Altri tipi di oli venduti come "non infiammabili" potrebbero essere solamente adatti all'utilizzo con concentrazioni di ossidanti fino al 30% in volume.
- Assicurarsi che non possa verificarsi la sovrappressione accidentale di un sistema per vuoto volontariamente chiuso e isolato, ad esempio a causa di un guasto nel regolatore di pressione o nel sistema di controllo del flussaggio.
- Nei casi in cui il prodotto pompato può reagire violentemente con l'acqua, si raccomanda di utilizzare un materiale di raffreddamento diverso (ad esempio, fluido per trasferimento di calore) nel circuito di raffreddamento. Consultare Edwards per un consiglio.

2. Quando possono verificarsi pericoli

I pericoli possono verificarsi durante tutte le fasi della vita dei sistemi. Queste fasi sono:

- Progettazione
- Costruzione
- Funzionamento / Messa in esercizio
- Manutenzione / Messa fuori esercizio

I tipi di problemi che si verificano in ciascuna fase sono riassunti di seguito. In ogni caso, è necessario essere consapevoli che è possibile ridurre al minimo i pericoli del sistema solamente quando si ha una conoscenza approfondita delle apparecchiature e della lavorazione/applicazione nel sistema. In caso di dubbi, chiedere ulteriori informazioni o consigli ai fornitori.

2.1 Progettazione

Al momento della progettazione del sistema, è necessario scegliere il tipo di apparecchiature idonee all'applicazione. È necessario tenere presenti:

- le specifiche tecniche delle apparecchiature;
- i materiali utilizzati nella costruzione delle apparecchiature;
- i materiali di consumo utilizzati nel funzionamento delle apparecchiature (come i lubrificanti e i fluidi di esercizio);
- le condizioni di processo e i materiali.

È inoltre necessario considerare l'idoneità generica delle apparecchiature per l'applicazione e assicurarsi che le apparecchiature vengano utilizzate sempre alle condizioni di esercizio specificate.

È necessario stabilire procedure di progettazione per assicurarsi che gli errori in questa fase siano ridotti al minimo. Tali procedure dovrebbero includere un controllo indipendente dei calcoli di progettazione e un consulto sui parametri di progettazione.

L'analisi dei rischi deve sempre far parte della revisione del progetto. È possibile eliminare numerosi potenziali pericoli considerando attentamente l'utilizzo delle apparecchiature nel sistema.

2.2 Costruzione

Ridurre la probabilità che si verifichino pericoli durante la costruzione impiegando personale qualificato e procedure di assicurazione qualità. Il personale qualificato è in grado di identificare i componenti corretti richiesti durante l'assemblaggio e di rilevare componenti e apparecchiature guasti o con difetti di fabbricazione. Le procedure di garanzia di qualità contribuiranno a rilevare e a correggere i difetti di fabbricazione e consentiranno di garantire che le specifiche di progettazione vengano seguite scrupolosamente.

Il personale deve prestare particolare attenzione e osservare tutte le precauzioni di sicurezza durante l'installazione di nuove apparecchiature in un sistema in cui sono state pompate, prodotte, o possano ancora essere presenti sostanze tossiche, corrosive, infiammabili, asfissianti, piroforiche o altrimenti pericolose.

Gli apparecchi elettrici devono essere installati da personale esperto e qualificato, in conformità con tutti i regolamenti locali e nazionali applicabili in materia di elettricità.

2.3 Funzionamento / Messa in esercizio

I pericoli possono verificarsi durante il funzionamento a causa di guasti alle apparecchiature o ai componenti dovuti a età, uso improprio e cattiva manutenzione. Ridurre la probabilità di tali pericoli attraverso una corretta formazione nell'uso (e nella manutenzione) delle apparecchiature. All'occorrenza, fare riferimento alle informazioni fornite da Edwards e dagli altri fornitori sotto forma di manuali di istruzioni, formazione e servizi post-vendita.

2.4 Manutenzione / Messa fuori esercizio

Per impedire che il personale entri in contatto con sostanze pericolose, è necessario prestare particolare attenzione e osservare tutte le precauzioni di sicurezza durante la manutenzione dei sistemi in cui sono state pompate o prodotte sostanze tossiche, corrosive, infiammabili, asfissianti, piroforiche o altrimenti pericolose.

È inoltre opportuno considerare un programma di manutenzione pianificata e lo smaltimento in sicurezza dei componenti che potrebbero essere contaminati da sostanze pericolose. È necessario seguire le raccomandazioni di manutenzione indicate nei manuali di istruzioni di tutte le apparecchiature per assicurare un funzionamento affidabile e in sicurezza. Tipicamente, i sistemi ATEX hanno ulteriori requisiti.

3. Pericoli di origine chimica

3.1 Reazioni chimiche ed esplosioni

È necessario considerare attentamente tutte le possibili reazioni chimiche che potrebbero verificarsi durante il funzionamento normale, in caso di uso improprio e in condizioni di guasto in qualsiasi punto del sistema per vuoto. In particolare, è necessario prestare attenzione alle reazioni che coinvolgono gas e vapori che potrebbero comportare esplosioni. L'esperienza ha dimostrato che si sono verificate esplosioni nei casi in cui erano presenti materiali non originariamente considerati dal progettista del sistema e nei casi in cui non si è tenuto conto delle modalità di guasto delle apparecchiature.

3.1.1 Reazioni omogenee

Le reazioni omogenee si verificano nella fase gassosa tra due o più tipi di molecole di gas. Le reazioni di combustione dei gas sono solitamente in questa forma. Ad esempio, secondo la nostra conoscenza, la reazione tra silano (SiH_4) e ossigeno (O_2) è sempre omogenea. Pertanto, se in un processo di fabbricazione sono presenti tali reazioni, è necessario controllare attentamente la pressione di processo e le concentrazioni di reagenti per impedire velocità di reazione eccessive.

3.1.2 Reazioni eterogenee

Le reazioni eterogenee richiedono una superficie solida per aver luogo, ovvero alcune molecole di gas reagiscono solamente quando sono adsorbite su una superficie, ma non reagiscono nella fase gassosa a basse pressioni. Questo tipo di reazione è ideale per determinati processi perché riduce al minimo gli effetti delle reazioni che avvengono nella camera di processo, diminuisce la generazione di particelle e la probabilità di contaminazione.

La maggior parte delle reazioni eterogenee diventano omogenee a pressioni più elevate, normalmente ben al di sotto della pressione atmosferica. Ciò significa che la maniera in cui i gas reagiscono nelle camere di processo non è necessariamente in rapporto con la maniera in cui i gas reagiscono quando sono compressi da una pompa per vuoto.

3.2 Problemi legati a reazioni anormali

È possibile che si verifichino reazioni anormali quando le sostanze chimiche entrano in contatto con gas e materiali non previsti dal progettista del sistema. Ciò può accadere, ad esempio, quando è presente una perdita che permette ai gas atmosferici di penetrare nel sistema o ai gas tossici, infiammabili, esplosivi o altrimenti pericolosi di entrare nell'atmosfera.

Per impedire il verificarsi di queste reazioni, è necessario mantenere nel sistema un grado di tenuta di 1×10^{-3} mbar l s^{-1} (1×10^{-1} Pa l s^{-1}) o inferiore. Le applicazioni per alto vuoto mantengono solitamente un grado di tenuta di 1×10^{-5} mbar l s^{-1} (1×10^{-3} Pa l s^{-1}) o inferiore. È necessario assicurarsi che tutte le valvole del sistema siano a prova di perdite attraverso le sedi.

I gas che normalmente non entrano in contatto durante il ciclo di processo potrebbero essere miscelati nel sistema della pompa e nella tubazione di scarico.

È possibile che nella camera di processo siano presenti vapore acqueo o detersivi dopo le procedure di manutenzione di routine. Ciò potrebbe verificarsi una volta che la camera di processo è stata pulita e lavata. Il vapore acqueo potrebbe inoltre entrare nel sistema da condotti di scarico e depuratori di scarico.

Quando si utilizzano solventi per il flussaggio di depositi di processo dal sistema per vuoto, è importante assicurarsi che il solvente selezionato sia compatibile con i materiali di processo nel sistema per vuoto.

3.3 Pericoli di esplosione

La fonte dei pericoli di esplosione generalmente rientra in una delle seguenti categorie:

- Ossidanti
- Materiali infiammabili/esplosivi
- Materiali piroforici
- Azoturo di sodio

Tenere presente che, nei Paesi dell'Unione europea (e in alcuni altri), i fornitori dei materiali di processo hanno l'obbligo per legge di rendere pubblici i dati fisici e chimici dei materiali venduti (solitamente sotto forma di schede di sicurezza del prodotto). I dati di un materiale devono includere, ove applicabile, le informazioni relative ai limiti di esplosione inferiore e superiore, alle proprietà fisiche e termodinamiche del materiale ed eventuali pericoli per la salute associati all'uso del materiale. Fare riferimento a queste informazioni come guida.

3.3.1 Ossidanti

Ossidanti come ossigeno (O_2), ozono (O_3), fluoro (F_2), trifluoruro di azoto (NF_3) ed esafluoruro di tungsteno (WF_6) vengono spesso pompate nei sistemi per vuoto. Gli ossidanti reagiscono immediatamente con una vasta gamma di sostanze e materiali e la reazione produce spesso calore e l'incremento della pressione del gas. I pericoli potenziali che ne derivano comprendono incendio e sovrappressione nel sistema di pompaggio e/o di scarico.

Al fine di pompare questi gas in sicurezza, è necessario osservare le istruzioni di sicurezza del fornitore del gas, oltre alle seguenti raccomandazioni.

- Utilizzare sempre lubrificanti di perfluoropolietere (PFPE) nelle pompe utilizzate per pompare ossigeno con concentrazioni superiori al 25% in volume in un gas inerte.
- Utilizzare lubrificanti di PFPE nelle pompe utilizzate per pompare gas in cui la percentuale di ossigeno è normalmente inferiore al 25% in volume, ma in cui potrebbe salire al di sopra del 25% in condizioni di guasto. Se vengono pompate ossidanti diversi dall'ossigeno, consultare il fornitore del lubrificante per conoscere i livelli consigliati di ossidante presente.
- I lubrificanti di PFPE sono quelli raccomandati, tuttavia possono anche essere utilizzati lubrificanti idrocarburici nel caso venga impiegato un adeguato flussaggio con gas inerte per garantire che il lubrificante non sia esposto a livelli di ossidante non sicuri.

In circostanze normali, i lubrificanti di PFPE non si ossidano o scompongono nella scatola dell'olio e nella scatola degli ingranaggi delle pompe rotative volumetriche a tenuta d'olio o delle pompe a pistone, riducendo in tal modo la probabilità di esplosione.

Tenere presente che la decomposizione termica dei lubrificanti di PFPE potrebbe verificarsi a temperature pari o superiori a 290 °C in presenza di aria e metalli ferrosi. Ciononostante, la

temperatura di decomposizione termica si abbassa a 260 °C in presenza di titanio, magnesio, alluminio e relative leghe.

Se non si desidera utilizzare lubrificanti di PFPE nelle pompe rotative volumetriche o nelle pompe a pistone per vuoto a tenuta d'olio, è possibile diluire l'ossidante fino a raggiungere una concentrazione sicura con un gas inerte come l'azoto secco. Questo approccio è possibile solamente per portate del flusso di gas ossidanti ridotte. È necessario installare dispositivi di sicurezza nel sistema per assicurare che sia sempre disponibile il flusso minimo del gas inerte di diluizione necessario per ridurre la concentrazione dell'ossidante a livello di sicurezza e per garantire che il flusso di ossidante non superi la portata massima consentita. È necessario progettare il sistema in modo tale che il flusso di ossidanti si arresti immediatamente se queste condizioni non sono soddisfatte.

Si consiglia l'utilizzo di pompe a secco Edwards quando si pompano ossidanti (vedere [Pompe a secco Edwards](#) a pagina 29). Le pompe a secco non hanno fluidi di tenuta nel volume di processo (Swept Volume), pertanto la probabilità di esplosione è notevolmente ridotta se si usa una pompa a secco per lavorare gli agenti ossidanti. Edwards consiglia il flussaggio con gas inerte per i cuscinetti e nella scatola degli ingranaggi quando si usa un lubrificante idrocarbonico.

3.3.2 Materiali infiammabili/esplosivi

Molti gas e polveri, come idrogeno (H₂), acetilene (C₂H₂), propano (C₃H₈) e polvere fine di silicio sono infiammabili e/o esplosivi in determinate concentrazioni se è presente un ossidante o una fonte di accensione. Una fonte di accensione può crearsi, ad esempio, da un accumulo di calore localizzato. Questo argomento è trattato in [Fonti di accensione](#) a pagina 25.

È possibile evitare il rischio di esplosione assicurandosi che la concentrazione della miscela potenzialmente infiammabile sia mantenuta al di fuori della zona infiammabile. Maggiori dettagli sono disponibili in [Evitare la zona infiammabile](#) a pagina 21.

Un altro metodo che è possibile utilizzare per ridurre la probabilità di esplosione è eliminare la fonte di accensione. Maggiori dettagli sono disponibili in [Fonti di accensione](#) a pagina 25.

Quando non è possibile evitare la zona infiammabile, è necessario assicurarsi che le apparecchiature siano progettate per evitare o contenere eventuali esplosioni senza rompersi o trasmettere la fiamma all'atmosfera esterna. L'uso dei rompifiamma è trattato in [Utilizzo di sistemi di protezione rompifiamma](#) a pagina 24. Se l'atmosfera esterna del sistema per vuoto è pericolosa, è necessario accertarsi che tutte le apparecchiature siano idonee all'uso in quell'atmosfera.

Nell'Unione europea, la direttiva ATEX fornisce chiare indicazioni sulla progettazione delle apparecchiature destinate all'uso in atmosfere potenzialmente esplosive.

Ove sia possibile evitare atmosfere potenzialmente esplosive in tutte le condizioni, tutti i tipi di pompe per vuoto Edwards possono essere utilizzati per pompare vapori o gas infiammabili.

3.3.3 Materiali piroforici

Nella maggior parte delle condizioni, i gas piroforici come silano (SiH₄) e fosfina (PH₃) o le polveri piroforiche reagiscono spontaneamente con l'aria a pressione atmosferica, pertanto la combustione potrebbe avvenire quando questi gas entrano in contatto con l'aria, o altri ossidanti, in un punto a pressione sufficientemente elevata da sostenere la combustione. Ciò può avvenire se nel sistema penetra aria o se lo scarico del sistema entra in contatto con

l'atmosfera. Il calore dovuto alla reazione tra un ossidante e un gas piroforico può costituire una fonte di accensione per i materiali esplosivi.

Se i gas di scarico di altri processi sono sfiatati attraverso un sistema di estrazione comune, è possibile che si verifichino la combustione e/o l'esplosione. Pertanto si consiglia di utilizzare sistemi di estrazione indipendenti quando vengono pompate materiali piroforici.

I processi che utilizzano fosforo possono consentire al fosforo solido di condensare nel sistema per vuoto o nello scarico. In presenza di aria, e soggetto ad agitazione meccanica anche ridotta (ad esempio, l'attivazione di una valvola o la rotazione della pompa causata dalla differenza di pressione), il fosforo può incendiarsi spontaneamente rilasciando gas tossici. Si raccomanda di far funzionare le pompe con un flussaggio di gas inerte e di azionarle a temperatura sufficiente da ridurre al minimo la condensazione del fosforo.

I lubrificanti di PFPE possono assorbire i gas di processo che, nel caso di materiali piroforici, possono condurre all'accensione locale quando il lubrificante è esposto all'aria. Questo pericolo può diventare particolarmente evidente durante la manutenzione o quando un ossidante viene pompato nel sistema dopo un gas o particolato piroforico. È possibile ridurre la probabilità del verificarsi di questo pericolo utilizzando pompe a secco Edwards, che non contengono lubrificanti nel volume di processo (Swept Volume). Assicurarsi che tutto il materiale piroforico sia stato passivato prima di sfiatarlo o movimentarlo.

3.3.4 Azoturo di sodio

L'azoturo di sodio viene a volte utilizzato nella preparazione di prodotti per liofilizzazione e in altri processi di fabbricazione. L'azoturo di sodio può produrre acido azotidrico. I vapori di acido azotidrico possono reagire con metalli pesanti per formare azoturi metallici instabili. Questi azoturi potrebbero esplodere spontaneamente.

I metalli pesanti includono:

- | | | |
|---|-------------|------------|
| • Bario | • Cadmio | • Cesio |
| • Calcio | • Rame | • Piombo |
| • Litio | • Manganese | • Potassio |
| • Rubidio | • Argento | • Sodio |
| • Stronzio | • Stagno | • Zinco |
| • Leghe di rame e zinco (come l'ottone) | | |

Ottone, rame, cadmio, stagno e zinco sono comunemente utilizzati in molti componenti delle pompe per vuoto, accessori e tubi. Se il sistema di processo utilizza o produce azoturo di sodio, è necessario assicurarsi che il percorso del gas nel sistema di processo non contenga metalli pesanti.

3.4 Materiali tossici o corrosivi

Molte applicazioni di vuoto implicano la lavorazione e manipolazione di materiali tossici e corrosivi e richiedono procedure specifiche.

3.4.1 Materiali tossici

I materiali tossici sono per loro natura pericolosi per la salute. Ciononostante, la natura del pericolo è specifica del materiale e della relativa concentrazione. È necessario rispettare le corrette procedure di manipolazione fornite dal fornitore del materiale e le leggi applicabili.

È inoltre necessario tenere presenti i seguenti punti:

- **Diluizione del gas** - esistono dispositivi per consentire la diluizione dei gas di processo tossici durante il passaggio nella pompa per vuoto e nello scarico. Questa diluizione può essere utilizzata per ridurre la concentrazione al di sotto del limite tossico. Consigliamo di monitorare il flusso del gas di diluizione in modo che l'interruzione del flusso generi un allarme. Nello specifico, per le pompe con tenuta a olio, consultare il manuale di istruzioni della pompa per gli eventuali kit di ritorno olio necessari.
- **Rilevamento delle perdite** - i sistemi per vuoto Edwards sono generalmente progettati per essere a prova di perdite al livello di $< 1 \times 10^{-3}$ mbar l s⁻¹ ($< 1 \times 10^{-1}$ Pa l s⁻¹). Ciononostante, il grado di tenuta del sistema adiacente non può essere garantito. È necessario utilizzare un adeguato metodo di rilevamento delle perdite (ad esempio, rilevamento di perdite mediante spettrometria di massa a elio) per verificare l'integrità del sistema per vuoto e di scarico.
- **Tenuta dell'albero (pompe a secco Edwards)** - molte pompe per vuoto a secco usano un sistema di flussaggio di gas per assicurarsi che i gas di processo non entrino nella scatola degli ingranaggi e nei cuscinetti e pertanto, potenzialmente, nell'atmosfera intorno al sistema per vuoto. È necessario assicurarsi dell'integrità di tale alimentazione del gas quando si movimentano materiali tossici. Devono essere utilizzati regolatori senza sfiato combinati a una valvola di controllo di non ritorno, come descritto in [Regolatori di pressione](#) a pagina 31.
- **Tenuta dell'albero (altre pompe Edwards)** - i progetti delle tenute dell'albero lubrificate a olio (ad esempio, le pompe con booster meccanico EH e le pompe rotative volumetriche EM) riducono al minimo il rischio di perdite di gas di processo (o di penetrazione di aria) e possono fornire un allarme visivo (perdita di olio o riduzione del livello di olio) prima che si verifichi il pericolo. Altri modelli di progettazione delle tenute potrebbero non fornire adeguati avvertimenti del guasto.
- **Unità magnetiche** - quando è necessaria una tenuta ermetica totale, le pompe per vuoto a secco Edwards EDP possono essere dotate di unità magnetica con recipiente di contenimento in ceramica, che elimina la necessità di una tenuta dell'albero sull'albero di ingresso del motore.

Se vengono utilizzati valvole di sicurezza o dischi di rottura per ridurre la pressione in eccesso, assicurarsi che questi vengano sfiatati in sicurezza in un sistema di scarico adeguato che impedisca un pericolo di tipo tossico.

Quando vengono restituite apparecchiature per vuoto contaminate a Edwards per la riparazione o la manutenzione, è necessario seguire le procedure specifiche (Modulo HS1) e compilare la dichiarazione (Modulo HS2) indicate nel Manuale di istruzioni in dotazione con l'apparecchiatura.

3.4.2 Materiali corrosivi

Quando si pompano materiali corrosivi con le pompe per vuoto Edwards, considerare i punti seguenti.

- **Ingresso di umidità** - è necessario prestare particolare attenzione a prevenire l'ingresso dell'aria umida, che può accelerare gli effetti corrosivi. Deve essere utilizzato un gas di flussaggio inerte nell'ambito della procedura di arresto per fluire le sostanze corrosive fuori dal sistema prima dell'arresto.
- **Diluizione** - utilizzare un gas di diluizione adeguato per evitare la formazione di condensa delle sostanze corrosive e mitigare la conseguente corrosione.
- **Temperatura** - aumentare la temperatura della pompa e della linea di scarico per evitare la formazione di condensa del vapore acqueo e quindi limitare la

corrosione. In alcuni casi, temperature più elevate possono aumentare i tassi di corrosione. Consultare il paragrafo seguente.

- **Corrosione dei dispositivi di sicurezza** - nei casi in cui i dispositivi critici per la sicurezza (come elementi rompifiamma, sensori di temperatura e altri) possano essere danneggiati da prodotti corrosivi nel flusso di gas di processo, i materiali in cui sono costruiti devono essere selezionati al fine di eliminare questo pericolo.
- **Cambiamenti di fase** - i cambiamenti di fase non previsti possono comportare la formazione di condensa. È necessario tenere in considerazione i cambiamenti di temperatura e pressione per evitare questo pericolo.
- **Reazioni non previste** - reazioni chimiche non previste possono portare alla generazione di prodotti corrosivi. È necessario prestare particolare attenzione alla possibilità di contaminazione crociata quando le apparecchiature vengono utilizzate per più di uno scopo.

Alcuni materiali corrosivi come fluoro, cloro, altri alogeni o alogenuri, e agenti ossidanti come l'ozono e agenti riducenti come il solfuro di idrogeno possono a loro volta intaccare i materiali con cui si trovano a contatto, con o senza necessità della presenza di liquidi. In questi casi, la pressione parziale del materiale corrosivo deve essere ridotta al minimo tramite l'uso di un gas di diluizione idoneo. I materiali di costruzione del sistema per vuoto e del modello di pompa devono essere scelti in modo da essere compatibili con il gas specifico nelle concentrazioni attese. Temperature elevate possono accelerare la corrosione e devono essere ridotte al minimo, quando le altre caratteristiche del processo lo consentano. Rivedere gli intervalli di manutenzione in modo da considerare l'effetto dei materiali corrosivi sul sistema.

3.5 Riepilogo - pericoli di origine chimica

- Considerare tutte le possibili reazioni chimiche all'interno del sistema.
- Prevedere una tolleranza per le reazioni chimiche anormali, incluse quelle che potrebbero verificarsi in condizioni di guasto.
- Fare riferimento alle schede di sicurezza dei prodotti nella valutazione dei potenziali pericoli associati ai materiali di processo.
- Utilizzare tecniche di diluizione per ridurre al minimo le reazioni con ossidanti e materiali infiammabili.
- Nell'UE, laddove sia stata specificata una zona infiammabile, è necessario utilizzare una pompa per vuoto certificata ATEX. Per tutte le altre aree geografiche, Edwards raccomanda l'uso di pompe certificate ai sensi della direttiva ATEX ogni qualvolta sia possibile.
- Utilizzare il tipo corretto di lubrificante quando si pompano ossidanti e considerare l'utilizzo di una pompa a secco.
- Non utilizzare metalli pesanti nel percorso del gas del sistema di processo se il processo utilizza o produce azoturo di sodio.
- Prestare particolare attenzione nella manipolazione di materiali tossici, corrosivi o instabili.

4. Pericoli di origine fisica

4.1 Tipi di pericoli da sovrappressione

La sovrappressione dei componenti di un sistema per vuoto può essere il risultato di una delle seguenti cause:

- l'introduzione di gas ad alta pressione nel sistema;
- la compressione di gas da parte del sistema;
- un aumento improvviso della temperatura del gas volatile nel sistema;
- un cambiamento di fase che comporta il deposito di prodotto solido;
- una reazione all'interno del sistema per vuoto;
- uno scarico bloccato.

Sono possibili anche altre cause.

4.2 Scarico della pompa sottoposto a sovrappressione

Una causa comune della sovrappressione nello scarico è l'ostruzione o il restringimento del sistema di scarico. Ciò può comportare il guasto della pompa o di altri componenti del sistema.

Le pompe per vuoto sono compressori specificatamente progettati per funzionare con elevati rapporti di compressione tra aspirazione e scarico.

Oltre alla potenziale sovrappressione causata dal funzionamento della pompa, anche l'introduzione di gas compresso (come gas di flussaggio o di diluizione) può sottoporre il sistema a pressione eccessiva se il sistema di scarico è ostruito o presenta un restringimento.

Nel caso in cui la pompa sia dotata di rompifiamma o altre apparecchiature come filtri o condensatori sul lato di scarico, è fondamentale che la contropressione di scarico non superi il limite massimo indicato nel manuale di istruzioni del sistema per vuoto. È necessario impiegare un programma di manutenzione idoneo per garantire che i depositi di processo non blocchino il sistema di scarico e il rompifiamma. Se ciò non è possibile, è necessario utilizzare un sensore di pressione posizionato tra la pompa e il rompifiamma per rilevare l'ostruzione. È necessario dare simile considerazione ad altre apparecchiature di scarico, come filtri e condensatori.

Sublimazione o cambiamenti di fase possono comportare l'ostruzione della tubazione di processo dovuta a depositi solidi e il pericolo di sovrappressione.

Consultare i Manuali di istruzioni forniti con il sistema di pompaggio per vuoto per la contropressione massima e la contropressione continua raccomandata per tutti i componenti dello scarico, compresa la pompa per vuoto. Progettare il sistema di scarico in modo da poter soddisfare tali limitazioni.

Per i limiti di funzionamento continuo, consultare il manuale di istruzioni della pompa.

4.3 Protezione contro la sovrappressione dello scarico

Raccomandiamo in generale di far funzionare le pompe con lo scarico collegato a un sistema di scarico libero. Ciononostante, il sistema di scarico può includere componenti che potrebbero causare il restringimento o l'ostruzione del sistema. In tal caso, è necessario

includere anche metodi di protezione idonei contro la sovrappressione. Tali metodi includono, ad esempio, quanto segue.

Componente	Metodo di protezione
Valvola nella tubazione di scarico	Interbloccare la valvola in modo che sia sempre aperta con la pompa in funzione.
	Incorporare un bypass di sicurezza.
Depuratore di scarico	Incorporare un bypass di sicurezza.
	Incorporare un dispositivo di monitoraggio della pressione interbloccato con la pompa in modo che questa si disinserisca con una pressione di scarico troppo alta.
Rompifiamma	Misurazione della pressione di scarico.
	Misurazione della pressione differenziale.
Filtro per nebbia d'olio	Incorporare un dispositivo di sicurezza di scarico della pressione.

Riassumendo, se la pressione nel sistema di scarico si avvicina al massimo ammissibile:

- ridurre la pressione mediante un dispositivo in un percorso del gas parallelo al restringimento o all'ostruzione;
- eliminare la fonte di pressione. Arrestare la pompa o chiudere l'alimentazione del gas compresso.

4.4 Sovrappressione di aspirazione

4.4.1 Alimentazione di gas compressi e contropressione

È facile sottovalutare la pressione massima necessaria per la tubazione che collega la pompa al sistema per vuoto, dato che si può venire indotti a pensare che tale tubazione non sia sottoposta a pressioni superiori a quella atmosferica. In pratica ciò è soltanto vero in condizioni di esercizio normali. Si dovrà pertanto calcolare la pressione massima necessaria in modo da fare fronte ad eventuali aumenti di pressione dovuti a condizioni anormali o di guasto.

Una causa comune di sovrappressioni nelle tubazioni di aspirazione della pompa è dovuta all'introduzione di gas compressi (come per esempio gas di flussaggio) con pompa non in funzione. Se i componenti della tubazione di aspirazione non sono in grado di resistere alla pressione che ne risulta, si ha la rottura con conseguente fuga di gas di processo dal sistema. Anche un riflusso di gas dal sistema in una camera di processo che non sia di per sé in grado di resistere alla pressione risultante può causare rotture e fughe.

Quando si collegano alimentazioni di gas compresso al sistema tramite regolatori di pressione previsti per provvedere un flusso a bassa pressione, assicurarsi che la pressione sia entro i limiti del sistema.

I regolatori di pressione senza sfianto comunemente utilizzati consentono alla pressione all'interno del sistema di salire fino alla pressione dell'alimentazione del gas a monte del regolatore, qualora nel sistema non vi sia alcun flusso di gas di processo. Per evitare sovrappressioni si dovrà quindi impiegare uno dei due metodi seguenti:

- ridurre la pressione, consentire ai gas di bypassare la pompa e defluire in uno scarico libero
- monitorare la pressione del sistema e usare una valvola a chiusura positiva per arrestare l'alimentazione del gas compresso a un determinato valore di pressione.

4.4.2 Funzionamento scorretto della pompa

Si dovranno prendere speciali precauzioni finché non si sia constatato che la pompa funzioni correttamente.

Se il senso di rotazione della pompa non è corretto, oppure se essa funziona con l'aspirazione bloccata o ristretta, si possono generare pressioni eccessive nella tubazione di aspirazione. Ciò può portare a un conseguente scoppio della pompa, delle tubazioni e/o dei relativi componenti.

Usare sempre una piastra di chiusura senza fissarla sull'aspirazione della pompa finché non si sia appurato che la pompa giri nel senso corretto.

Il funzionamento a velocità di rotazione elevate potrebbe risultare nella rottura della pompa. Non far funzionare la pompa a velocità di rotazione superiori alla velocità di rotazione di progetto massima. Ciò è particolarmente importante quando vengono utilizzati convertitori di frequenza per il controllo della velocità.

4.5 Riepilogo - pericoli di origine fisica

- Per i calcoli di sicurezza, prendere in considerazione la pressione di funzionamento sicuro di tutti i componenti del sistema.
- Assicurarsi che lo scarico della pompa non si possa ostruire del tutto o in parte.
- Se la pressione rischia di superare il valore nominale di qualsiasi componente del sistema per vuoto, si consiglia di incorporare nel sistema apparecchiature di misurazione della pressione in posizione idonea. Tali apparecchiature devono essere collegate al sistema di controllo in modo da poter mantenere il sistema in sicurezza, se si rileva una condizione di sovrappressione.
- Per il calcolo della pressione massima ammissibile dei componenti della pompa e del sistema per vuoto tenere anche in considerazione le condizioni di funzionamento anormale e di guasto.
- Incorporare un dispositivo di sicurezza di tipo corretto e tarato alla pressione adatta per l'applicazione.
- Assicurarsi che le alimentazioni di gas compresso siano regolate e monitorate come dovuto. Chiudere queste alimentazioni quando si disinserisce la pompa.
- Ove possibile, assicurarsi che la pressione di alimentazione ai gas di flussaggio regolati sia inferiore alla pressione statica massima ammessa del sistema. In alternativa, assicurarsi che sia possibile lo scarico della pressione in caso di guasto dei componenti.

5. Analisi dei pericoli

Le tecniche di analisi dei pericoli forniscono un approccio strutturato all'identificazione e alla analisi dei pericoli che potranno insorgere in un sistema nel suo uso normale, come pure in condizioni di guasto e avaria. Queste tecniche, che possono condurre a una vera e propria gestione dei pericoli, possono in molti casi essere obbligatorie per legge. Per la massima efficacia, le analisi dei pericoli devono iniziare nelle fase preliminare di progettazione e continuare durante l'installazione e il funzionamento del sistema, nonché durante la manutenzione e la messa fuori servizio.

Lo studio dettagliato delle tecniche di analisi dei pericoli non rientra negli obiettivi di questa pubblicazione. Ciononostante, numerose tecniche di analisi dei rischi sono descritte altrove. Una tecnica comunemente utilizzata, ad esempio, nell'industria chimica di trasformazione è l'HAZOP (analisi di rischio e operabilità). Si tratta di una procedura per l'analisi dei pericoli che si occupa dell'identificazione di potenziali pericoli e problemi di funzionamento.

In genere le analisi dei pericoli producono informazioni circa il tipo di pericoli, la loro gravità e la probabilità di evenienza. Queste informazioni possono essere usate per decidere il metodo migliore per ridurre a un livello accettabile gli effetti di eventuali pericoli. A seconda della sua origine, potrà essere possibile eliminare il pericolo, ridurre la gravità e/o ridurre la probabilità che si verifichi. È tuttavia raro che si possa eliminare completamente un pericolo.

Si dovranno considerare tutti i possibili effetti di un pericolo per poter decidere il migliore metodo per la sua gestione. Per esempio, una piccola superficie rovente potrà costituire un pericolo per l'operatore, anche se limitato (potrebbe causare ustioni). Per ridurre tale rischio, il progettista potrà impiegare un segnale di pericolo oppure impedire fisicamente il contatto con una protezione. Un'analisi dei pericoli del sistema, però, può anche indicare che la medesima superficie rovente potrebbe essere fonte di accensione per vapori infiammabili, ovvero potrebbe condurre a un'esplosione o alla generazione di una nuvola di vapori tossici. Per ridurre il rischio derivante da una fonte di accensione, il progettista dovrà ridurre la temperatura di tale superficie o assicurare che gli eventuali vapori infiammabili non possano venirne a contatto.

6. Progettazione del sistema

6.1 Pressioni massime di un sistema

Come ricordato in [Pericoli di origine fisica](#) a pagina 15, le tubazioni e i componenti del sistema per vuoto sono progettati per funzionare con pressioni interne inferiori a quella atmosferica. In pratica, tuttavia, è normalmente necessario progettare il sistema per pressioni interne superiori a quella atmosferica. Se necessario si dovranno incorporare dispositivi per lo scarico della pressione e evitare che la pressione salga oltre certi limiti.

È importante che i tubi e gli altri componenti di aspirazione non diventino la parte più debole del sistema, poiché si presume che essi funzioneranno sempre sotto vuoto, anche in condizioni di guasto.

Il sistema di scarico deve sempre essere progettato in modo da offrire la più bassa contropressione possibile durante il funzionamento. È importante, tuttavia, progettare il sistema di scarico con un'adeguata resistenza alla pressione massima. Deve essere idoneo all'uso con le pressioni generate dalla pompa e anche, ad esempio, nel caso di introduzione nel sistema di gas compressi, nonché essere adatto per l'uso con i dispositivi di protezione dalla sovrappressione impiegati.

Durante l'analisi dei pericoli si dovrà sempre considerare quanto segue:

- ingressi esterni come per esempio collegamenti per gas inerti;
- isolamenti e bloccaggi di tutti i tipi, specialmente nella linea di scarico;
- reazioni tra gas di processo.

È necessario tenere presente che nel caso in cui un serbatoio contenga un liquido volatile e possa essere isolato dal resto del sistema, l'applicazione di calore esterno (ad esempio, da fiamme) potrebbe comportare pressioni interne superiori alla pressione di progetto del serbatoio. In questo caso si deve considerare la necessità di un adeguato scarico della pressione.

6.2 Eliminazione di volumi stagnanti

Si definisce volume stagnante un qualsiasi volume in un tubo o in un componente per vuoto in cui non si verifica alcun passaggio di gas, come per esempio la scatola degli ingranaggi di una pompa booster meccanica o la testa del manometro di uno strumento. Le tubazioni dotate di valvole e quelle di alimentazione dell'azoto gassoso possono inoltre diventare volumi stagnanti quando vengono isolate.

È necessario tenere conto di questi volumi stagnanti quando si considera la miscela e la reazione di gas di processo che normalmente non sono presenti assieme nella camera di processo. Tubi, pompe e camere di processo generalmente trasportano i gas linearmente, vale a dire gas o miscele di gas in successione, uno dopo l'altro. I gas trasportati in tale flusso lineare normalmente non si mischiano a meno che la velocità del gas di scarico si riduca per via di un restringimento o di un'ostruzione. Dato che non vengono spurgati, i volumi stagnanti possono riempirsi con i gas di processo in seguito alle oscillazioni di pressione nel sistema. In tal modo, nei volumi stagnanti possono rimanere i gas che passano nel sistema in uno stadio del processo. Questi gas potranno quindi reagire con i gas di una successiva fase del processo. Per eliminare il rischio di esplosioni, occorrerà spurgare tali volumi stagnanti tra un gas e l'altro, qualora questi siano incompatibili.

Prestare la massima attenzione alla contaminazione crociata all'interno di volumi stagnanti e qualora i gas siano potenzialmente esplosivi. In particolare occorre considerare il pericolo di

accumulo di gas in filtri, separatori e altri componenti. Per ridurre il rischio di contaminazione crociata, usare, se appropriato, un elevato flusso continuo ad alta integrità di gas inerte di flussaggio.

Quando vengono pompate materiali infiammabili, è possibile che i volumi stagnanti si riempiano di gas e vapori potenzialmente esplosivi che non possono essere rimossi con il normale flussaggio. Nei casi in cui potrebbe essere presente anche una fonte di accensione, è necessario considerare un flussaggio specifico del volume stagnante.

6.3 Sistemi di scarico ed estrazione

È importante utilizzare un sistema di scarico ed estrazione di tipo corretto per il proprio processo. Come spiegato precedentemente, il sistema di estrazione deve essere progettato per resistere alle pressioni di esercizio e, qualora si producano o trattino materiali pericolosi, dovrà essere sufficientemente a tenuta per contenere i materiali di processo e i loro sottoprodotti.

6.4 Fonti di miscele di gas o vapori potenzialmente esplosive

Quando un gas o un vapore infiammabile viene miscelato con la corretta concentrazione di ossigeno o di altro ossidante adatto, forma una miscela potenzialmente esplosiva che può accendersi in presenza di una fonte di accensione.

Mentre in genere è evidente se un materiale pompato sia potenzialmente esplosivo, in alcune condizioni non considerate in fase di progettazione del sistema per il processo, secondo l'esperienza maturata da Edwards, possono prodursi miscele potenzialmente esplosive. È necessario identificare tutte le possibili condizioni di processo e tutte le possibili fonti di miscele potenzialmente esplosive che potrebbero essere generate dalle apparecchiature. Alcuni esempi basati sull'esperienza di Edwards sono elencati di seguito, ma non a titolo esaustivo.

- **Contaminazione crociata** - quando una pompa per vuoto viene utilizzata per vari compiti è possibile che il suo utilizzo con i singoli materiali sia sicuro, ma, qualora la pompa non venga flussata prima dell'uso con un altro materiale, è possibile che avvenga una contaminazione crociata con reazioni non previste.
- **Detergenti liquidi** - un'applicazione può essere considerata non pericolosa, ma l'utilizzo di detergenti liquidi infiammabili e la successiva asciugatura attraverso l'evacuazione nella pompa per vuoto può creare una miscela potenzialmente esplosiva.
- **Materiali non previsti** - nelle applicazioni in cui la pompa per vuoto è utilizzata per un sistema per vuoto distribuito, è possibile che vengano pompate materiali infiammabili che non erano stati considerati durante la progettazione del sistema. Questi materiali potrebbero avere temperature di autoaccensione inferiori alle temperature interne o alla temperatura nominale della pompa per vuoto.
- **Vapori disciolti** - possono evolversi durante il funzionamento e pertanto deve essere scelta con attenzione la temperatura nominale interna corretta per il processo. Tipicamente, nel settore dei processi chimici, i requisiti ATEX sono sufficienti.
- **Ingresso d'aria** - l'ingresso accidentale di aria o di ossidante in un sistema potrebbe cambiare la concentrazione di un gas o di un vapore infiammabile e creare una miscela potenzialmente esplosiva.
- **Liquidi tenuti in infiammabili** - nel caso in cui un liquido infiammabile venga utilizzato come liquido di tenuta per pompe per vuoto ad anello liquido, l'ingresso di aria potrebbe creare una miscela interna potenzialmente esplosiva.

- **Condensa di materiali di processo** - se esiste la possibilità di formazione di condensa di materiali infiammabili all'interno del sistema, considerare che possono reagire con gli ossidanti provenienti da altre fasi del processo o con l'aria (per esempio allo scarico). Per evitare questo, sarà sufficiente un controllo adeguato della pressione parziale o della temperatura.

6.5 Evitare la zona infiammabile

Un materiale infiammabile crea un'atmosfera potenzialmente esplosiva se combinato con aria, ossigeno o altri ossidanti e se la sua concentrazione è compresa tra il limite inferiore di infiammabilità - LFL (o limite inferiore di esplosione - LEL) e il limite superiore di infiammabilità - UFL (o limite superiore di esplosione - UEL). Si noti che, per la maggior parte, i dati che si trovano in letteratura fanno riferimento ai limiti di infiammabilità in aria, ovvero con l'ossigeno come ossidante. Tutte le informazioni fornite di seguito sono basate sulla stessa ipotesi.

Per essere potenzialmente esplosiva, è inoltre necessario che la concentrazione di ossigeno sia superiore alla concentrazione minima di ossigeno - MOC (o concentrazione limite di ossigeno - LOC). Il valore di MOC (LOC) per la maggior parte dei gas infiammabili è del 5% in volume o superiore. (Nota: quanto sopra non si applica ai materiali piroforici, che richiedono precauzioni speciali).

Al fine di evitare il funzionamento con miscele di gas nella zona infiammabile è possibile adottare diverse strategie. La scelta della strategia dipende dal risultato della valutazione del rischio (analisi dei pericoli) del processo e del sistema della pompa.

- **Mantenere la concentrazione del gas infiammabile al di sotto del valore di LFL (LEL)**

Per ridurre al minimo il rischio dell'ingresso accidentale del gas infiammabile nella zona infiammabile, è necessario adottare un margine di sicurezza per il funzionamento al di sotto del valore di LFL (LEL).

L'utente deve determinare un margine di sicurezza a seguito della valutazione del rischio. Alcune fonti autorevoli suggeriscono di mantenere la concentrazione al di sotto del 25% del valore di LFL (LEL).

Il metodo più comunemente usato per mantenere una concentrazione idonea al di sotto del valore di LFL (LEL) è la diluizione con flussaggio con gas inerte (ad esempio azoto) introdotto attraverso le connessioni di aspirazione della pompa e/o del gas di flussaggio. L'integrità necessaria del sistema di diluizione e di eventuali allarmi o interblocchi dipende dalla zona pericolosa che risulterebbe in caso di avaria del sistema di diluizione.

Nota:

Assicurarsi che siano state adottate le precauzioni adatte per evitare il rischio di asfissia.

- **Mantenere la concentrazione di ossigeno al di sotto del valore di MOC (LOC)**

Questa modalità operativa richiede l'utilizzo del monitoraggio della concentrazione di ossigeno dei gas pompati per garantire il funzionamento in sicurezza. Per ridurre al minimo il rischio dell'ingresso accidentale del gas infiammabile nella zona infiammabile, è necessario adottare un margine di sicurezza per il funzionamento al di sotto del valore di MOC (LOC). Quando la concentrazione di ossigeno viene costantemente monitorata, gli standard di settore suggeriscono di mantenerla inferiore a meno del 2% in volume del valore minore di MOC (LOC) pubblicato per la miscela di gas. A meno che la MOC (LOC) sia inferiore al 5%, la concentrazione di

ossigeno deve essere mantenuta a un valore non superiore al 60% della MOC (LOC). Se il monitoraggio avviene solamente sotto forma di controlli di routine del livello di ossigeno, questo non deve superare il 60% del valore minore di MOC (LOC) stabilito, a meno che la MOC (LOC) sia inferiore al 5%; in quest'ultimo caso, la concentrazione di ossigeno deve essere mantenuta al di sotto del 40% della MOC (LOC).

Il metodo da preferire per mantenere il livello di ossigeno al di sotto del valore di MOC (LOC) stabilito è la rigorosa esclusione di aria e ossigeno dal processo e dal sistema della pompa, insieme alla diluizione del gas pompato con un gas di flussaggio inerte (come l'azoto), introdotto all'occorrenza attraverso i collegamenti di aspirazione della pompa e/o di flussaggio. L'integrità necessaria delle misure di esclusione di aria/ossigeno e di eventuali allarmi e interblocchi dipende dalla zona pericolosa che risulterebbe in caso di avaria dei sistemi di esclusione e diluizione.

Le precauzioni tipicamente richieste per escludere rigorosamente l'aria dal processo e dal sistema della pompa sono trattate al termine di questa sezione.

- **Mantenere la concentrazione di gas infiammabile al di sopra del valore di UFL (UEL)**

Nel caso in cui le concentrazioni di gas infiammabile sono elevate, il funzionamento sopra al livello di UFL (UEL) può essere più idoneo. Per ridurre al minimo il rischio di eventuali incursioni accidentali nella zona infiammabile, è necessario adottare un margine di sicurezza per il funzionamento al di sopra del valore di UFL (UEL). Si raccomanda di mantenere il livello di ossigeno residuo nel gas a una percentuale inferiore al 60% del livello assoluto di ossigeno normalmente presente nella concentrazione UFL (UEL) di gas infiammabile.

Il metodo da preferire per mantenere il livello di ossigeno al di sotto di questo margine di sicurezza è la rigorosa esclusione di aria e ossigeno dal processo e del sistema della pompa. Potrebbe inoltre essere necessaria la diluizione del gas pompato con un gas di flussaggio inerte (come

l'azoto) o con ulteriore gas infiammabile (gas "di riempimento"), introdotti attraverso le connessioni di aspirazione della pompa e/o di flussaggio. L'integrità richiesta delle misure di esclusione dell'aria, di eventuali sistemi di introduzione di gas di flussaggio, allarmi e interblocchi dipende dalla zona pericolosa che risulterebbe in caso di avaria dei sistemi di esclusione e diluizione.

- **Mantenere la concentrazione del gas infiammabile al di sotto della pressione minima di esplosione:**

ogni materiale infiammabile ha una pressione minima al di sotto della quale non è possibile sostenere una reazione esplosiva. Se la pressione all'aspirazione della pompa per vuoto può essere mantenuta in sicurezza al di sotto di questo valore, le accensioni all'interno della pompa per vuoto non potranno propagarsi fino all'aspirazione. Occorre tuttavia adottare precauzioni per lo scarico della pompa per vuoto.

Le precauzioni tipicamente richieste per escludere rigorosamente l'aria dal processo e dal sistema della pompa sono le seguenti.

- **Eliminazione di infiltrazioni d'aria**

Utilizzare un rilevatore di perdite ed eseguire un test del "tasso di aumento" della pressione. Prima di immettere materiali infiammabili nella camera di processo, è possibile eseguire un test per stabilire se l'infiltrazione d'aria (ossigeno) all'interno del sistema per vuoto rientri nei limiti consentiti.

Per eseguire un test di "tasso di aumento" della pressione, la camera di processo viene evacuata a una pressione appena inferiore alla normale pressione di esercizio e poi isolata dalla pompa per vuoto. La pressione nella camera di

processo viene quindi registrata per un periodo di tempo prestabilito. Poiché il volume della camera di processo e l'infiltrazione d'aria massima ammissibile sono noti, è possibile calcolare l'aumento di pressione massimo ammissibile che può verificarsi nel periodo di tempo prestabilito. Se viene superato il limite di pressione massima, è necessario intervenire per sigillare la zona di origine dell'infiltrazione di aria (ossigeno) nella camera di processo. Il test deve quindi essere ripetuto con esito positivo prima che possa essere consentita l'immissione di materiali infiammabili nella camera di processo.

In alcuni casi, la capacità del sistema per vuoto di raggiungere una buona pressione di base può essere utilizzata per indicare il grado di tenuta del sistema.

- **Rimuovere tutta l'aria dal sistema prima di avviare il processo**

Prima di immettere gas infiammabili nel processo, il sistema deve essere completamente evacuato e/o flussato con gas inerte (come l'azoto) per rimuovere tutta l'aria dal sistema. Al termine del processo, ripetere questa procedura per rimuovere ogni traccia di gas infiammabile prima che il sistema possa infine sfiatare.

- **Per le pompe per vuoto a secco,**

assicurarsi che il gas della tenuta dell'albero o della tenuta di flussaggio non venga fornito o contaminato con aria in alcuna circostanza e assicurarsi che l'eventuale attacco del gas ballast sia sigillato o utilizzato esclusivamente per introdurre gas inerte.

- **Per pompe per vuoto immerse (ad es. pompe a pistone rotativo o rotative volumetriche),**

mantenere le tenute dell'albero in piena conformità alle istruzioni del fabbricante e utilizzare un sistema di lubrificazione a olio pompato e pressurizzato dotato di indicazione di allarme per la perdita di pressione dell'olio. Questo sistema potrebbe comprendere un accessorio esterno per la fornitura di olio lubrificante filtrato e pressurizzato dotato di interruttore di pressione. Assicurarsi che l'eventuale attacco del gas ballast sia sigillato o venga solamente utilizzato per introdurre gas inerte. Attivare un adeguato flussaggio di gas inerte nella scatola dell'olio per rimuovere l'aria prima di avviare il processo.

- **Per pompe booster per vuoto Roots,**

effettuare la manutenzione della tenuta dell'albero dell'elemento conduttore primario in conformità alle istruzioni del fabbricante e assicurarsi che i collegamenti delle porte di flussaggio e sfiato possano essere utilizzati esclusivamente per introdurre gas inerte.

- **Flusso inverso**

Assicurarsi che le procedure operative e i dispositivi del sistema lo proteggano da flussi d'aria inversi che potrebbero derivare da un'avarìa della pompa. Assicurarsi che tutti i gas infiammabili pompato vengano smaltiti in sicurezza nello sfiato finale dallo scarico della pompa. Assicurarsi che nella tubazione di scarico non possano crearsi miscele di gas infiammabili utilizzando il flussaggio adatto di gas inerte nella tubazione prima dell'inizio e dopo la fine del processo con gas infiammabile e mantenendo un adeguato flussaggio con gas inerte durante il funzionamento per evitare la retromiscelazione turbolenta di aria nello scarico.

6.6 Livelli di integrità del sistema

I metodi di protezione attraverso l'utilizzo di gas inerte di diluizione sono stati trattati in precedenza. Il principio di questo metodo è quello di miscelare un gas inerte (in genere azoto) con i gas di processo per diluirli fino a un livello in cui non possano avvenire esplosioni

o reazioni. Quando si utilizza la diluizione con gas come sistema di protezione primario contro possibili esplosioni, potrebbe essere necessario un allarme e un sistema di sicurezza ad alta integrità per evitare che il sistema funzioni quando il sistema di diluizione con gas non è attivo. L'integrità del sistema di diluizione del gas deve essere considerata nella valutazione del rischio (analisi dei pericoli) e dipende dalle zone interne (ovvero dal livello di rischio) che risulterebbero dall'avaria del sistema di diluizione. La miglior pratica corrente dovrebbe essere sempre applicata a questa valutazione del rischio per determinare i livelli richiesti di integrità del sistema.

Ad esempio, se un sistema di diluizione dovesse essere utilizzato per mantenere la concentrazione di gas infiammabili all'esterno della zona infiammabile e se la conseguenza dell'avaria della diluizione fosse l'entrata del gas pompato nella zona infiammabile costantemente o per lunghi periodi (generalmente, un requisito ATEX Zona 0 considererebbe > 50%), il sistema di diluizione dovrebbe soddisfare una delle condizioni seguenti:

- deve essere a prova di guasto anche in caso di malfunzionamento raro;
- deve essere sicuro in presenza di due guasti;
- deve comprendere due sistemi di alimentazione di diluizione indipendenti.

In alternativa, se la conseguenza dell'avaria del sistema di diluizione è l'ingresso occasionale del gas pompato nella zona infiammabile (tipicamente una condizione ATEX Zona 1), il sistema di diluizione deve soddisfare una delle seguenti condizioni:

- deve essere a prova di guasto anche in caso di malfunzionamento previsto;
- deve essere sicuro in presenza di un guasto.

Se la conseguenza dell'avaria del sistema di diluizione rende improbabile che il gas pompato entri nella zona infiammabile, sebbene possa entrare solo per brevi periodi (tipicamente una condizione ATEX Zona 2), il sistema di diluizione deve essere sicuro durante il funzionamento normale.

6.7 Utilizzo di sistemi di protezione rompifiamma

Se la miscela di gas e vapori pompata è infiammabile (vedere [Evitare la zona infiammabile](#) a pagina 21) continuamente o per lunghi periodi (ovvero una condizione di Zona 0) ed esiste il rischio di attivazione di una fonte di accensione (vedere [Fonti di accensione](#) a pagina 25) durante il funzionamento normale o un prevedibile malfunzionamento, è necessario installare rompifiamma come richiesto dalla pompa primaria (vedere anche [Rompifiamma](#) a pagina 31). È stata ottenuta certificazione indipendente per l'uso di specifici rompifiamma con le pompe per vuoto Edwards, dimostrandone la capacità di prevenire la trasmissione delle fiamme lungo le tubazioni di processo o nell'atmosfera circostante.

Quando la miscela infiammabile è presente per lunghi periodi, deve essere installato un trasmettitore di temperatura approvato e collaudato sul primo rompifiamma di aspirazione per rilevare una combustione continua. Se si rileva una combustione continua, la pompa deve essere spenta e isolata dalla fonte di combustibile. Contattare Edwards per avere dettagli su rompifiamma e trasmettitori di temperatura approvati. Per proteggere termicamente il rompifiamma e la pompa in caso di malfunzionamenti rari (Zona 0) della pompa, è necessario installare un trasmettitore di temperatura nello scarico della pompa. I punti di spegnimento dipendono dallo specifico sistema di pompaggio. Consultare il manuale ATEX relativo alla pompa.

Se il trasmettitore di temperatura dell'aspirazione o dello scarico raggiunge il limite massimo, indicando così una condizione di guasto, occorre intervenire in modo idoneo. L'intervento dipende dall'applicazione ma può includere quanto segue.

- **Arresto della mandata di combustibile** - la chiusura di una valvola sull'aspirazione della pompa per vuoto impedisce la mandata di combustibile alla pompa per vuoto.
- **Arresto della fonte di accensione** - arresto della pompa per vuoto scollegando l'alimentazione al motore.
- **Inertizzazione dell'area di combustione** - l'aggiunta rapida di gas inerte all'area di combustione (tipicamente, ma non sempre, nel collettore di scarico della pompa), soffoca le fiamme. Si ricorda che è possibile che le fiamme si riaccendano se la fonte di accensione non è stata rimossa.

6.8 Fonti di accensione

Quando vengono usate pompe per vuoto per pompare miscele infiammabili, è necessario considerare tutte le possibili fonti di accensione. Riportiamo di seguito alcune aree da considerare, che possono essere utilizzate nel contesto di un controllo generale. A seconda del processo in uso, può essere possibile evitare alcune o tutte le fonti di accensione. Se non è possibile evitare una fonte di accensione a causa di una condizione di processo o requisito del sistema, è necessario progettare il sistema di conseguenza.

Nota:

Alcune pompe Edwards sono certificate da terzi indipendenti a conferma del fatto che (se usate correttamente) sono in grado di contenere un'esplosione interna.

- **Contatto meccanico** - il contatto meccanico di parti rotanti e stazionarie all'interno della pompa per vuoto e del sistema per vuoto può costituire una fonte di accensione. Tutte le pompe per vuoto Edwards sono progettate e realizzate in modo da mantenere le distanze corrette tra elementi meccanici all'interno della pompa in tutte le condizioni di esercizio. Per evitare questa fonte di accensione è importante evitare l'accumulo di depositi di materiale sulle superfici interne o pulire la pompa. I cuscinetti devono essere mantenuti in buone condizioni, avere una lubrificazione sufficiente e un gas di flussaggio adatto per eliminare il contatto con i gas di processo. È necessario attenersi al regime di manutenzione consigliato per i cuscinetti in modo da assicurare un funzionamento affidabile e in sicurezza.
- **Ingestione di particelle** - tutti i meccanismi di pompaggio sono potenzialmente in grado di ingerire particelle create dal processo o risultanti dal processo di fabbricazione del sistema. Quando queste vengono fatte rotolare tra una superficie mobile e una statica, è possibile generare calore. Un filtro o retino (filtro a rete) idoneo sull'aspirazione impedisce l'ingresso di particelle nella pompa per vuoto in modo da ridurre a una quantità sicura le dimensioni e il volume delle particelle. Assicurarsi di adottare un regime di manutenzione idoneo per il retino sull'aspirazione.
- **Accumulo di polveri** - l'accumulo di sottili polveri compatte nelle tolleranze interne può verificarsi ogni volta che un meccanismo di pompaggio viene posizionato in un processo che genera polveri. Anche con l'utilizzo di un filtro antipolvere sull'aspirazione, è possibile che nella pompa entrino piccole particelle di polvere. A causa di piccole variazioni dimensionali dovute a cambiamenti termici, la polvere compatta può entrare in contatto con una superficie mobile generando calore.
- **Calore di compressione (autoaccensione)** - il calore interno di compressione di ciascun compressore deve essere considerato in relazione alla temperatura di autoaccensione dei gas e dei vapori pompati. È necessario assicurarsi che la pompa abbia una classificazione della temperatura almeno pari o superiore a quella dei gas pompati.

- **Superfici calde** - se gas o vapori infiammabili vengono in contatto con una superficie calda possono infiammarsi se viene superata la temperatura di autoaccensione. Nota: le pompe Edwards e i rompifiamma non devono essere isolati termicamente se ciò può causare un aumento della temperatura della superficie interna (ed esterna) che può risultare nell'autoaccensione.
- **Calore applicato esternamente** - è possibile che venga applicato calore esternamente, ad esempio, nel caso di un incendio nelle vicinanze immediate delle apparecchiature per vuoto. In queste condizioni, è possibile generare pressioni interne che superano la pressione statica massima del sistema e temperature superiori alla temperatura di autoaccensione. Questa possibilità deve essere considerata nell'analisi dei pericoli del sistema.
- **Flusso di gas di processo caldo** - le elevate temperature dei gas in entrata possono portare le superfici interne (o esterne) a superare la temperatura di autoaccensione del materiale pompato. L'elevata temperatura del gas in entrata può portare al grippaggio del rotore/statore. Consultare il manuale di istruzioni della pompa per vuoto per le temperature interne massime ammesse del gas. Contattare Edwards per ulteriori informazioni.
- **Reazione catalitica** - la presenza di determinati materiali può causare l'accensione catalitica. Tutti i materiali di costruzione nel sistema per vuoto devono essere considerati per il loro potenziale di reagire in questo modo con i gas e i vapori pompati.
- **Reazione piroforica** - il calore della combustione dei materiali piroforici causata dall'ingresso di aria o di ossidanti può agire da fonte di accensione per eventuali materiali infiammabili presenti. Vedere [Materiali piroforici](#) a pagina 11.
- **Elettricità statica** - è possibile che si verifichino determinate condizioni in cui l'elettricità statica può accumularsi in componenti isolati prima di scaricarsi a terra sotto forma di scintilla. Il potenziale di accumulo statico deve essere considerato nella progettazione del sistema.
- **Fulmini** - se il sistema è posizionato all'aperto, un fulmine può fornire l'energia per l'accensione. La possibilità che si verifichi un tale evento deve essere considerata nella progettazione del sistema.

6.9 Riepilogo - progettazione del sistema

Per progettare un sistema di pompaggio per vuoto sicuro, è necessario considerare i punti seguenti. A seconda dell'applicazione, può essere necessario considerarne anche altri.

- Se si pompano materiali pericolosi, occorre progettare il sistema in modo che in caso di avaria passi automaticamente in condizioni non pericolose.
- In presenza di ossidanti, impiegare lubrificanti di PFPE (perfluoropolietere) per le pompe.
- Quando viene usato gas inerte per ridurre la concentrazione dei gas infiammabili al di sotto del limite inferiore di esplosione o di infiammabilità o al di sotto della concentrazione minima o limite di ossidante, è necessario assicurare l'integrità del flusso di gas inerte.
- La concentrazione può essere mantenuta anche al di sopra del limite superiore di esplosione o infiammabilità, ma devono essere adottate precauzioni di sicurezza per assicurare che la concentrazione non scenda nell'intervallo di infiammabilità.
- Prima dell'uso, controllare il grado di tenuta del sistema e delle apparecchiature per assicurarsi che siano a prova di perdite.
- Prima di scaricarli nell'atmosfera o miscelarli con gas ossidanti, diluire i gas piroforici a livello di sicurezza con gas inerte.

- È necessario evitare il contatto tra l'azoturo di sodio e i metalli pesanti in qualsiasi punto del percorso del gas nel sistema.
- In ogni punto del sistema la pressione massima non deve superare il livello di sicurezza di ogni singolo componente del sistema.
- Consultare sempre le informazioni di sicurezza fornite con le sostanze da pompare.
- Considerare l'uso di pompe a secco come preferenziale rispetto alle pompe a pistone o alle pompe rotative volumetriche con tenuta a olio in presenza di pericoli associati alla presenza di olio nel volume di processo (Swept Volume).
- Quando vengono usate pompe per vuoto Edwards per pompare miscele potenzialmente infiammabili, è necessario considerare tutte le possibili fonti di accensione e le potenziali conseguenze di una possibile esplosione.

7. Scelta delle apparecchiature del sistema

Per assicurarsi di scegliere le corrette apparecchiature per la propria applicazione, è necessario considerare i limiti entro i quali il sistema dovrà operare. I dati tecnici delle apparecchiature Edwards sono forniti nel catalogo prodotti, nelle pubblicazioni di marketing e nei relativi manuali di istruzioni. In molti casi, ulteriori informazioni sono disponibili su richiesta. Contattare Edwards per ulteriori informazioni.

Quando si progetta un sistema per vuoto, prendere in considerazione i parametri meccanici rilevanti per la scelta della pompa, per esempio i seguenti:

- pressione statica massima (aspirazione e scarico);
- pressione di aspirazione d'esercizio massima;
- pressione di scarico d'esercizio massima;
- conduttanza dei componenti di aspirazione e scarico;
- specifiche di pressione degli altri componenti collegati alla pompa;
- monitoraggio della pressione nel caso in cui la linea di scarico sia ostruita.

Per le pompe rotative volumetriche e le pompe a pistone a tenuta d'olio, è inoltre necessario considerare, ad esempio:

- portata del flusso del gas ballast;
- portata del flussaggio della scatola dell'olio;
- gas e vapori chiusi nella scatola dell'olio;
- gas e vapori assorbiti dall'olio nella scatola.

La pressione statica massima indica la pressione massima a cui si può sottoporre l'aspirazione o il collegamento dello scarico quando la pompa non è in funzione. Il valore di questa pressione dipende dalla costruzione meccanica della pompa.

Le pompe rotative volumetriche a tenuta d'olio e a pistone sono progettate per il funzionamento con pressioni di aspirazione inferiori o al massimo uguali alla pressione atmosferica e, sebbene la pressione statica massima potrà essere superiore alla pressione atmosferica, durante il funzionamento la pressione massima di aspirazione non deve superare la pressione atmosferica. Alcuni costruttori limitano la pressione di aspirazione continua massima delle loro pompe a valori inferiori alla pressione atmosferica. La pressione massima di aspirazione con pompa in funzione si definisce pressione di esercizio massima.

La ragione per la limitazione della pressione di esercizio massima non è necessariamente correlata all'integrità meccanica della pompa. La pressione massima è normalmente proporzionale alla potenza massima della pompa a pressioni di aspirazione elevate e dipende dai pericoli potenziali di surriscaldamento dei componenti meccanici della pompa o del motore elettrico.

Per ragioni analoghe si raccomanda pertanto di mantenere la pressione di scarico della pompa per vuoto più bassa possibile (tipicamente inferiore a 0,15 bar manometro, $1,15 \times 10^5$ Pa, per funzionamento continuo). Le pompe sono progettate per funzionare con scarico libero e pertanto una pressione di scarico di 0,15 bar manometro ($1,15 \times 10^5$ Pa) è sufficiente per far passare i gas di scarico attraverso il sistema di scarico ed estrazione ed eventuali apparecchiature di trattamento.

7.1 Pompe rotative volumetriche e pompe a pistone a tenuta d'olio

Le pompe rotative a tenuta d'olio Edwards comprendono le pompe rotative volumetriche delle serie E1M, E2M, ES e RV e le pompe a pistone a tenuta d'olio della serie Stokes Microvac. Generalmente, tutte le pompe per vuoto sono progettate per operare con pressioni di aspirazione inferiori alla pressione atmosferica e con lo scarico della pompa con sfiato libero nell'atmosfera.

Le pompe rotative volumetriche e le pompe a pistone a tenuta d'olio sono compressori volumetrici e possono generare pressioni di scarico molto elevate se lo scarico è ostruito o ristretto. In questi casi, le pressioni possono superare la pressione statica di sicurezza della scatola dell'olio della pompa e, in molti casi, anche le pressioni statiche di sicurezza dei componenti a valle nel sistema (come i depuratori in polipropilene o i giunti a O-ring per vuoto). Pertanto, Edwards raccomanda vivamente il montaggio di un sensore della pressione di scarico ad alta integrità nella linea di scarico della pompa.

Per raggiungere un livello di diluizione di sicurezza, al gas ballast può essere aggiunto un flussaggio della scatola dell'olio (ove questo dispositivo sia disponibile) collegato alla scatola dell'olio sulla pompa. L'aumento della portata del flusso del gas ballast e del flussaggio della scatola dell'olio incrementa la quantità di olio trasportato nel sistema di scarico.

Tutte le pompe a tenuta d'olio Edwards sono dotate di notevoli volumi della scatola dell'olio che può contenere miscele di gas infiammabili ed esplosive. L'olio nella scatola dell'olio può efficacemente assorbire o far condensare vapori e sottoprodotti gassosi. I vapori e i gas assorbiti dall'olio possono essere piroforici o tossici. È pertanto necessario prevedere speciali procedure di manipolazione per garantire la sicurezza durante la manutenzione.

7.2 Pompe a secco Edwards

La pressione di esercizio massima è limitata dagli stessi fattori che influiscono sulle pompe a tenuta d'olio (ovvero i pericoli potenziali di surriscaldamento dei componenti meccanici della pompa o del motore elettrico).

Le pompe a secco Edwards sono compressori volumetrici e possono generare pressioni di scarico elevate. Quando le pompe sono incorporate in un sistema in cui il processo può dare origine a sottoprodotti solidi (e in cui pertanto ci sia la possibilità di ostruzione della linea di scarico), Edwards consiglia vivamente l'inserimento di un monitor di pressione di scarico ad alta integrità. Consultare il manuale di istruzioni della pompa per le pressioni di esercizio a cui impostare i pressostati.

Le pompe a secco Edwards hanno una capacità gas ballast ad alta produttività. Può essere effettuata un'aggiunta di un gas di diluizione come l'azoto nel meccanismo della pompa per ottimizzare la soppressione della reazione. Consultare il manuale di istruzioni della pompa per le portate del flussaggio di gas.

7.3 Progettazione delle tubazioni

7.3.1 Soffietti

Si tratta di brevi giunti a pareti sottili e ondulate. Si usano per ridurre la trasmissione di vibrazioni dalla pompa al sistema per vuoto.

Montare sempre questi soffietti in linea retta, con entrambe le estremità fissate rigidamente. Se montati correttamente, possono resistere a piccole pressioni interne positive (per ulteriori dettagli fare riferimento al manuale di istruzioni fornito con i soffietti). Non usare

soffietti dal lato dello scarico delle pompe a secco. Utilizzare tubi flessibili con maglia (vedere *Tubazioni flessibili* a pagina 30).

Considerare la possibilità di avaria dovuta a usura quando i soffietti vengono utilizzati in applicazioni a cicli frequenti.

7.3.2 Tubazioni flessibili

Le tubazioni flessibili presentano uno spessore di parete maggiore e ondulazioni meno profonde dei soffietti. Costituiscono un metodo conveniente per il collegamento di componenti del sistema per vuoto e compensano disallineamenti o piccoli movimenti in tubazioni del vuoto rigide. Queste tubazioni possono essere piegate con curve relativamente strette mantenendo la propria posizione.

Queste tubazioni sono previste per l'installazione in sistemi statici. Non sono perciò idonei a ripetute flessioni poiché potrebbero rompersi.

Con queste tubazioni usare la lunghezza minima necessaria ad evitare curve inutili. Per le applicazioni in cui possono presentarsi pressioni di scarico elevate, usare tubi flessibili con maglia.

Si tratta di tubi flessibili a soffietto con protezione esterna in maglia di acciaio inossidabile. Durante l'installazione di queste tubazioni si dovrà rispettare il raggio di curvatura minimo indicato nel manuale di istruzioni fornito con i tubi.

7.3.3 Punti di ancoraggio

Ancorare correttamente le tubazioni e i componenti montati su di esse. Per esempio, se i soffietti non vengono ancorati correttamente, non solo non saranno di grado di ridurre le vibrazioni generate dalla pompa, ma potranno anche causare usura delle tubazioni.

7.3.4 Tenute

Ove sussista la possibilità che in una qualsiasi parte del sistema per vuoto si verifichino pressioni superiori a quella atmosferica (anche in condizioni di guasto), è necessario utilizzare tenute di tipi e materiali capaci di resistere al vuoto e alle pressioni positive previste.

7.4 Protezione fisica da sovrappressioni

Come descritto in precedenza, si possono verificare sovrappressioni in seguito a un restringimento o a un'ostruzione nel sistema o in uno dei suoi componenti, come pure in seguito a un flusso di gas compresso proveniente dalla pompa o alimentato dall'esterno (come per esempio nel caso di sistemi di diluizione). Esistono due metodi principali per la protezione dalla sovrappressione, ovvero lo scarico della pressione e l'allarme/arresto automatico per sovrappressione, descritti di seguito.

7.4.1 Dispositivi di scarico della pressione

È possibile utilizzare dischi di rottura o valvole di sicurezza per sfogare una condizione di sovrappressione. La pressione di esercizio del dispositivo deve essere inferiore alla pressione massima di progetto del sistema. Questi dispositivi vanno collegati con una tubazione adatta a zone in cui sia sicuro sfiatare i gas di processo e non si abbiano restrizioni di sfiato. Se il processo produce sottoprodotti, questi dispositivi di protezione vanno ispezionati regolarmente per accertarsi che non siano presenti ostruzioni e restringimenti. Il design di

tali dispositivi di protezione deve tenere in considerazione l'effetto delle pulsazioni di pressione sulla durata del disco di rottura e sulla vita della valvola.

7.4.2 Allarme/arresto automatico per sovrappressione

Questo metodo di protezione è spesso utilizzato da Edwards. È raccomandato per qualsiasi sistema, ma può non essere adatto per sistemi che generano sottoprodotti solidi.

7.4.3 Regolatori di pressione

Ci sono due tipi principali di regolatori di pressione, con e senza sfiato.

Per mantenere costante la pressione di scarico in assenza di flusso, i regolatori con sfiato scaricano il gas di sfiato in atmosfera o in un'apposita tubazione separata. Tali regolatori sono normalmente usati ove l'integrità delle tubazioni è di importanza fondamentale.

I regolatori senza sfiato possono mantenere una pressione di scarico costante soltanto in condizioni di flusso.

In assenza di flusso, la pressione di scarico di alcuni regolatori può salire al valore della pressione di alimentazione. La velocità di salita della pressione dipende dalle caratteristiche del regolatore e dal volume a cui la suo scarico è collegata. Il tempo di raggiungimento della pressione di alimentazione potrà variare da alcuni minuti a diversi mesi.

I regolatori di pressione non sono progettati per funzionare come valvola di intercettazione e pertanto, se è necessario l'isolamento, devono venire impiegati assieme a dispositivi adatti (come per esempio una valvola elettromagnetica). Altrimenti si devono prendere provvedimenti per scaricare l'eccesso di pressione.

7.4.4 Rompifiamma

I rompifiamma non sono dispositivi per la prevenzione delle esplosioni. Servono per evitare la propagazione del fronte di fiamma in un tubo o in un condotto (vedere Utilizzo dei sistemi di protezione rompifiamma [Utilizzo di sistemi di protezione rompifiamma](#) a pagina 24). Poiché presentano una grande superficie e incavi dotati di una piccola conduttanza, la fiamma viene estinta. I rompifiamma sono in genere adatti soltanto per l'uso in sistemi con gas o vapori puliti.

L'energia esplosiva delle miscele di gas aumenta con la pressione. La maggior parte dei rompifiamma è progettata per proteggere aree in cui la pressione interna non supera quella atmosferica. È necessario assicurarsi che la pressione di esercizio nel sistema di scarico ed estrazione che conduce al rompifiamma non possa superare la pressione di esercizio massima. Tuttavia, nel caso di rompifiamma certificati per l'uso con le pompe chimiche per vuoto a secco Edwards, consultare il manuale di istruzioni ATEX per le pressioni massime ammesse. È inoltre necessario considerare la contropressione massima ammessa della pompa per vuoto.

I rompifiamma funzionano rimuovendo il calore della combustione dal fronte di fiamma e pertanto presentano una temperatura massima di esercizio sicuro. È perciò necessario evitare che questa temperatura venga superata da riscaldamento, isolamento o dalla temperatura del flusso di gas che li attraversa.

La capacità del rompifiamma di arrestare le fiamme dipende dalla velocità del fronte di fiamma, che dipende a sua volta dalla distanza dalla fonte di accensione. Se usati con le pompe chimiche per vuoto chimiche Edwards, i rompifiamma devono essere molto vicini ad aspirazione e scarico. L'uso di raccordi a gomito e a T tra la pompa e il rompifiamma è accettabile per alcune pompe in alcune condizioni. Consultare Edwards per un consiglio.

7.5 Sistemi di flussaggio

È possibile dotare le apparecchiature di sistemi di flussaggio con gas inerte per rimuovere il gas di processo che rimane nel sistema dopo il termine di un ciclo.

L'uso corretto del flussaggio può garantire la rimozione dei prodotti corrosivi, impedendo loro di danneggiare la pompa e soprattutto i sistemi di protezione come i rompifiamma. Inoltre, la rimozione di gas di processo assicura che non si verifichino reazioni chimiche indesiderate e potenzialmente pericolose tra i materiali utilizzati in differenti cicli di processo.

7.6 Riepilogo - scelta delle apparecchiature del sistema

- selezionare il tipo di apparecchiature corretto per l'applicazione;
- incorporare tutti i dispositivi di protezione appropriati necessari per assicurare la sicurezza del sistema in caso di guasto;
- eliminare i volumi stagnanti;
- assicurare che il sistema sia controllato e regolato appropriatamente;
- se appropriato, incorporare dispositivi di scarico della pressione;
- nei casi appropriati, utilizzare rompifiamma;
- prima dell'uso controllare la tenuta del sistema e delle apparecchiature.

8. Procedure operative e formazione

La sicurezza operativa delle apparecchiature richiede formazione corretta, istruzioni chiare e concise e manutenzione regolare. È fondamentale che tutto il personale che utilizza apparecchiature per vuoto sia correttamente formato, qualificato e, all'occorrenza, supervisionato.

In caso di dubbi su qualsiasi dettaglio di funzionamento o sicurezza relativamente alle apparecchiature Edwards, si consiglia di contattarci per avere consigli.

9. Riepilogo

- Eseguire una valutazione dei pericoli per individuare e possibilmente eliminare, o comunque mitigare, tutti i pericoli. Questa fase deve essere svolta per progettazione, costruzione, messa in esercizio, funzionamento, manutenzione e messa fuori esercizio del sistema per vuoto.
- Considerare tutte le possibili reazioni chimiche all'interno del sistema. Prevedere una tolleranza per le reazioni chimiche anormali, incluse quelle che potrebbero verificarsi in condizioni di guasto.
- Fare riferimento ai dati tecnici/alle schede di sicurezza dei prodotti nella valutazione dei potenziali pericoli associati ai materiali di processo, ad esempio l'autoaccensione.
- Utilizzare tecniche di diluizione per ridurre al minimo le reazioni con ossidanti e materiali infiammabili.
- Utilizzare un tipo di lubrificante adatto per la pompa qualora si pompino materiali ossidanti e piroforici.
- Non utilizzare metalli pesanti nel percorso del gas del sistema di pompaggio se il processo utilizza o produce azoturo di sodio.
- Per i calcoli di sicurezza, prendere in considerazione la pressione di funzionamento sicuro di tutti i componenti del sistema. Tenere conto anche di condizioni anormali o di guasto.
- Incorporare un dispositivo di scarico della pressione di tipo corretto e tarato alla pressione adatta per l'applicazione.
- Assicurarci che lo scarico della pompa non si possa bloccare.
- Assicurarci che i gas di diluizione siano correttamente regolate e monitorati.
- Se si pompano materiali pericolosi, si dovrà progettare il sistema in modo che in caso di avaria vada automaticamente in condizioni non pericolose.
- Se si pompano ossidanti, impiegare oli e lubrificanti di PFPE (perfluoropolietere).
- Utilizzare un gas inerte per diluire i gas infiammabili e piroforici a livelli sicuri, per assicurarsi di mantenersi al di sopra del limite superiore di infiammabilità/esplosione, considerando fattori di sicurezza adatti durante tutte le condizioni di processo, compresi i guasti.
- La massima pressione del sistema non dovrà superare la pressione massima di sicurezza di ogni singolo componente del sistema.
- Considerare l'uso di pompe a secco come preferenziale rispetto alle pompe con tenuta a olio quando sussistono pericoli associati alla presenza di olio nel volume di processo (Swept Volume).
- Eliminare i volumi stagnanti.
- Assicurare che il sistema sia controllato e regolato appropriatamente.
- Nei casi appropriati, utilizzare rompifiamma.
- prima dell'uso controllare la tenuta del sistema e delle apparecchiature.

