

# SAFAP 2018

## SICUREZZA E AFFIDABILITA' DELLE ATTREZZATURE A PRESSIONE

La gestione del rischio dalla costruzione all'esercizio a 130 anni dalla prima legge sulla sicurezza delle caldaie a vapore

INAIL

Bologna - 28 e 29 novembre 2018

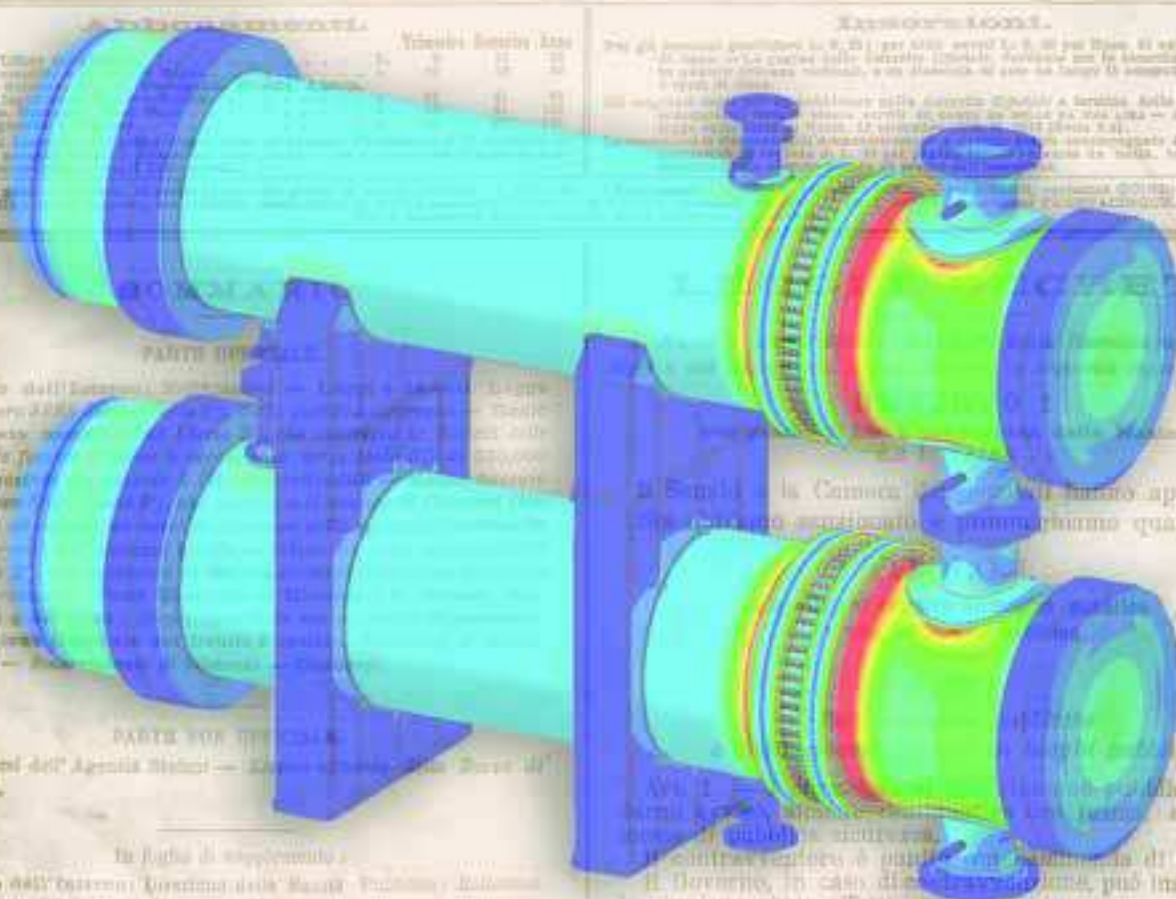
# GAZZETTA UFFICIALE

DEL REGNO D'ITALIA

ANNO 1888

ROMA — SABATO 29 GENNAIO

NUM. 22



PARTE UFFICIALE

MINISTERO DELL'INTERNO

Atti di Convegno

The logo for INCIL, consisting of the letters 'INCIL' in white, bold, uppercase font, centered within a solid gold-colored rectangular background.

INCIL

SAFAP 2018

SICUREZZA E AFFIDABILITÀ DELLE  
ATTREZZATURE A PRESSIONE

La gestione del rischio dalla costruzione  
all'esercizio a 130 anni dal primo  
decreto sulla sicurezza delle caldaie a  
vapore

Bologna, 28 e 29 novembre 2018

Edizione 2018

## **Pubblicazione realizzata da**

### **INAIL**

Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti,  
prodotti e insediamenti antropici (Dit)

### **A cura di**

Francesca Ceruti  
Daniela Gaetana Cogliani

### **Grafica di copertina**

Francesco Di Palo

### **per informazioni**

**INAIL** - Dipartimento innovazioni tecnologiche  
e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici  
via Roberto Ferruzzi, 38/40 - 00143 Roma  
dit@inail.it  
**www.inail.it**

© 2018 INAIL  
isbn 978-88-7484-139-4

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nella pubblicazione, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

## Sicurezza, conduzione e gestione delle macchine frigorifere

A. Nuzzo<sup>1</sup>, G. De Gennaro<sup>1</sup>, F. P. Nigri<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Inail - Uot di Bari

### Sommario

Le macchine frigorifere, ampiamente diffuse nelle industrie alimentari, presentano oltre ai problemi di sicurezza legati al superamento della pressione, anche e soprattutto, quelli conseguenti al rischio di rilascio in ambiente del fluido impiegato nel ciclo.

Nei processi di refrigerazione in campo industriale è molto diffuso l'R717 (ammoniaca) che è un fluido tossico, infiammabile e corrosivo pertanto questi impianti devono essere progettati il più possibile a tenuta ermetica, caratteristica questa che deve essere mantenuta anche durante la fase di funzionamento. Il tema della sicurezza di questi impianti è affrontato in modo dettagliato dalla norma UNI EN 378 che, suddivisa in quattro parti, ne definisce i requisiti di base, la progettazione, la costruzione, la scelta del fluido, l'installazione, l'esercizio, la manutenzione, la riparazione e il riutilizzo.

In tale norma, nel capitolo relativo alla manutenzione, viene specificato che ogni impianto frigorifero deve essere assoggettato a "manutenzione preventiva" in accordo con il manuale di istruzione.

Tra le tipologie di manutenzione preventiva si colloca la manutenzione predittiva che viene effettuata a seguito dell'individuazione di uno o più parametri legati allo stato di salute della macchina, quali ad esempio la misura di vibrazioni, la termografia, l'analisi delle correnti assorbite, allo scopo di individuare il tempo residuo prima del guasto.

Nella presente memoria si intende affrontare un caso di studio con un esempio concreto di applicazione della manutenzione predittiva ad un impianto frigorifero.

## 1. La sicurezza delle macchine frigorifere

### 1.1 Introduzione

Gli impianti frigoriferi, oltre che rispettare la direttiva macchine 2006/42/CE, rientrano tra le attrezzature a pressione e pertanto devono seguire anche la direttiva PED 2014/68/EU. Per tali impianti le problematiche da affrontare, a partire dalla costruzione fino all'installazione ed all'esercizio, non riguardano solo il campo della sicurezza ma anche quello ambientale. I fluidi frigoriferi impiegati sono spesso afferenti al gruppo 1 e quindi bisogna valutare attentamente il rischio connesso all'eventuale rilascio di fluido nell'ambiente nonché quello relativo all'accidentale diretto contatto con il refrigerante medesimo.

L'ammoniaca (NH<sub>3</sub> o R717 secondo l'ASHRAE o American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering) è stata uno dei primi refrigeranti ad essere utilizzato per il funzionamento degli impianti frigoriferi. Successivamente con l'avvento dei refrigeranti di natura chimica (CFC, HCFC) tale fluido è stato messo in disparte.

Col tempo ci si è resi conto che l'utilizzo di questi nuovi fluidi ha determinato un assottigliamento della fascia di ozono in quanto nella stratosfera le molecole di CFC (clorofluorocarburi totalmente alogenati) vengono dissociate dalla radiazione solare con liberazione di atomi di cloro in grado di distruggere l'ozono (O<sub>3</sub>) che costituisce un utile filtro contro le radiazioni U. V. Altro effetto deleterio riscontrato, a partire dagli anni '80, è stato quello del riscaldamento globale del pianeta.

Il Protocollo di Montreal, in attuazione della Convenzione di Vienna (1985), ha stabilito nel 1987 gli obiettivi e le misure per la riduzione delle produzioni e degli usi delle sostanze pericolose per la fascia di ozono stratosferico ed è entrato in vigore nel gennaio 1989.

Questo stabiliva i termini di scadenza entro cui le Parti firmatarie si impegnavano a contenere i livelli di produzione e di consumo delle sostanze dannose (Clorofluorocarburi, tetracloruro di carbonio, tricloroetano, ecc.), e disciplinava, tra le altre cose, l'attività di ricerca, scambio di informazioni, ecc.

Al protocollo di Montreal si sono succedute nel tempo varie revisioni, regolamenti europei e leggi nazionali e pertanto sia i CFC che gli HCFC sono stati progressivamente eliminati e sostituiti con nuovi fluidi privi di cloro (HFC) a potenziale distruttivo nullo nei confronti dell'ozono.

Gli operatori del settore della refrigerazione sono stati indotti a considerare nuovamente i refrigeranti naturali, come l'ammoniaca, e questo non solo a seguito degli effetti del riscaldamento globale ma anche a causa dei costi sempre più elevati dell'energia che ha prodotto un crescente interesse nei confronti dell'uso di refrigeranti efficienti.

Infatti l'ammoniaca, che ha un GWP (Global Warming Potential) e un ODP (Ozone Depletion Potential) pari a zero (Tabella 1), offre, rispetto alla maggior parte dei refrigeranti chimici, anche migliori proprietà di trasferimento del calore considerando il suo elevato valore del calore latente di vaporizzazione a pressione atmosferica (1369,12 kJ/Kg) nonché la sua bassa temperatura di saturazione sempre a pressione atmosferica ( $T_{sat} = -33,35^{\circ}\text{C}$ ).

## 1.2 Schema impianto frigorifero

Le macchine frigorifere utilizzano, durante il proprio funzionamento, il così detto ciclo frigorifero (o ciclo inverso) consistente in una trasformazione termodinamica ciclica che permette di trasferire calore da un ambiente a bassa temperatura ad uno a temperatura superiore esattamente al contrario di quanto avviene normalmente in natura.

Le parti componenti di una macchina frigorifera, che utilizzi il ciclo a compressione, sono sostanzialmente quattro: un compressore, un condensatore, una valvola di espansione (o di laminazione) ed un evaporatore. La possibilità di poter realizzare un ciclo inverso è dovuta all'apporto di lavoro esterno prodotto dal compressore. Nella Figura 1 è riportato lo schema di un ciclo frigorifero con i componenti principali che lo costituiscono.

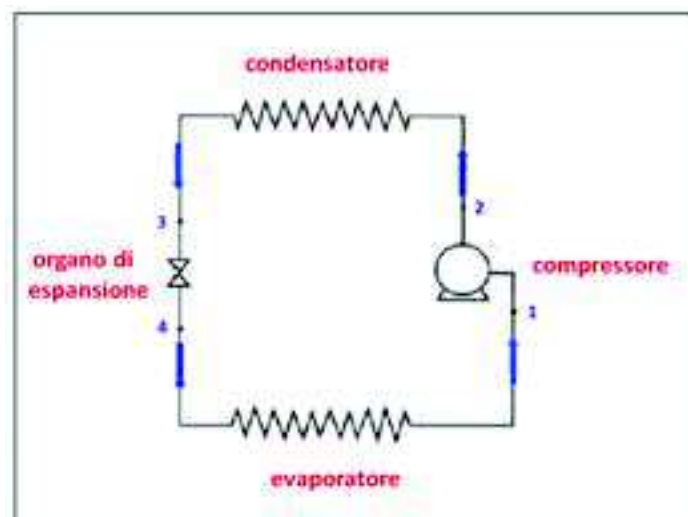


Figura 1. Schema di ciclo frigorifero



La condensazione del fluido frigorifero può avvenire tramite torri di condensazione evaporative nelle quali si verifica lo scambio termico del fluido con acqua ed aria. In figura 2 è riportata una torre di condensazione ed in figura 3 un compressore per ammoniaca.



Figura 2. Torre di condensazione



Figura 3. Compressore per ammoniaca

### 1.3 Uso industriale dell'ammoniaca

Molte industrie alimentari, che hanno necessità di fare frigoconservazione, utilizzano frigoriferi ad ammoniaca anidra per la conservazione di frutta e verdura (con temperature dell'ordine di  $3 \div 4$  °C) e per la conservazione di carne, prodotti ittici, gelati (con temperature nell'ordine di  $-30 \div -50$ °C). In quest'ultimo caso è largamente diffuso l'uso di celle di congelamento e tunnel di surgelazione.

Gli impianti frigoriferi possono essere realizzati sia con l'impiego diretto del fluido frigorifero, che nella cella scambia direttamente con il prodotto da congelare, che tramite l'utilizzo di un fluido di refrigerazione intermedio. Per impianti con fluido refrigerante intermedio, minori sono le temperature richieste nella cella e maggiore è la viscosità del fluido intermedio utilizzato con conseguenti maggiori costi energetici per la circolazione del fluido.

L'ammoniaca, come già innanzi illustrato, è uno dei refrigeranti più efficienti dal punto di vista energetico con migliori proprietà di trasferimento del calore rispetto alla maggior parte dei refrigeranti chimici e pertanto consente l'impiego di apparecchiature aventi una superficie di scambio termico inferiore e costi di costruzione più bassi. Ovviamente l'elevato scambio termico permette anche una riduzione dei costi di funzionamento. Inoltre il costo dell'ammoniaca (per kg) è notevolmente inferiore a quello degli HFC a cui si deve aggiungere il vantaggio che l'ammoniaca, allo stato liquido, ha una densità inferiore rispetto agli HFC.

### 1.4 Requisiti di sicurezza ed ambientali

Gli impianti frigoriferi, sia in relazione ai vari componenti che li costituiscono e sia in relazione all'intero impianto (insieme), rientrando tra le attrezzature a pressione, devono soddisfare i requisiti essenziali di sicurezza contenuti nella direttiva PED 2014/68/EU. Essendo questa una direttiva di prodotto, ai fini della progettazione, costruzione ed installazione è necessario fare riferimento a norme di buona tecnica che se armonizzate costituiscono presunzione di conformità alla direttiva e quindi soddisfacimento dei RES in essa contenuti.

Questi impianti presentano parti in movimento ed utilizzano, nel compimento del proprio ciclo, gas refrigeranti in pressione che possono essere pericolosi nonché inquinanti per l'ambiente. A livello internazionale, i requisiti per la sicurezza e la salvaguardia dell'ambiente nella progettazione, costruzione, installazione e funzionamento degli impianti frigoriferi sono disciplinati dalla norma ISO 5149 "Refrigerating systems and heat

pumps – Safety and environmental requirements” mentre le specifiche riguardanti i refrigeranti sono contenute per esempio nella norma ISO 187.

Le norme internazionali sono state il riferimento per la stesura dello standard europeo costituito dalla norma EN 378, divisa in 4 parti, che nel tempo ha subito varie modifiche fino all'edizione attuale UNI EN 378:2017 pubblicata il 13 aprile 2017.

L'attuale revisione della norma armonizzata è stata resa necessaria per adattarla sia alla direttiva PED 2014/68/EU che al Regolamento CE 1272/2008 (CLP) relativo alla classificazione, all'etichettatura ed all'imballaggio delle sostanze chimiche e delle miscele. Il recepimento della direttiva PED 2014/68/EU è stato suddiviso in due fasi, secondo quanto prescritto dall'art. 49, che ha indicato la data del 1 giugno 2015 per l'entrata in vigore dell'art. 13, “Classificazione delle attrezzature a pressione”, con menzionato l'obbligo di fare riferimento al Regolamento CE n. 1272/2008 (CLP) per l'individuazione del gruppo di appartenenza del fluido mentre il 19 luglio 2016 sono entrati in vigore i restanti articoli.

### 1.5 Norma armonizzata di riferimento UNI EN 378.2017

Come innanzi precisato la norma armonizzata UNI EN 378:2017 è suddivisa in n. 4 parti e specificatamente:

- *UNI EN 378-1:2017 “Sistemi di refrigerazione e pompe di calore - Requisiti di sicurezza e ambientali - Parte 1: Requisiti di base, definizioni, criteri di classificazione e selezione”*

La presente parte della EN 378 specifica i criteri:

- di classificazione degli impianti di refrigerazione se diretti, con l'utilizzo di un unico vettore termico, o indiretti;
- di base per la progettazione e la costruzione;
- di classificazione dei fluidi frigoriferi in base sia all'inflammabilità che alla tossicità, nonché ai fini della salute e sicurezza;
- di scelta del fluido frigorifero in base alla potenzialità di riscaldamento globale (GWP) ed alla potenzialità di assottigliamento dello strato di ozono (ODP).

Nella Tabella 1 è riportato un esempio dei valori di ODP e GWP di alcuni fluidi frigoriferi

Fluido	ODP	GWP	Ciclo di vita in atmosfera (anni)
Triclorofluorometano (R-11)	1	4750	45
Clorodifluorometano (R-22)	1	10890	100
2,2-dicloro-1,1,1-trifluoroetano (R-123)	0,02	77	1,3
Propano (R-290)	0	20	0,041
Anidride Carbonica (R-744)	0	1	> 50
Ammoniaca (R-717)	0	0	0,01

Tabella 1. ODP e GWP di alcuni fluidi frigoriferi

- *UNI EN 378-2:2017 Sistemi di refrigerazione e pompe di calore - Requisiti di sicurezza e ambientali - Parte 2: Progettazione, costruzione, prova, marcatura e documentazione.*

La presente parte della norma nell'indicare le specifiche di progettazione e costruzione, oltre a fare riferimento alla direttiva PED 2014/68/EU, pone l'attenzione sulla pressione massima ammissibile che deve tenere conto di una serie di parametri quali ad esempio la temperatura ambiente, il metodo di sbrinamento, il possibile accumulo di gas non condensabili, l'irraggiamento solare.

Quando gli evaporatori possono essere sottoposti ad alta pressione, per esempio durante lo sbrinamento mediante gas caldo o un'operazione di ciclo invertito, deve essere utilizzata la temperatura specificata nel lato di alta pressione.

I materiali da utilizzare per la costruzione, la saldatura e la brasatura forte devono resistere ai fluidi frigoriferi utilizzati ed alle sollecitazioni meccaniche, termiche e chimiche prevedibili. La norma si sofferma specificatamente sulle tubazioni, sui giunti, sulla saldatura e sulla brasatura per assicurare una buona tenuta del circuito ed impedire la dispersione nell'ambiente del fluido refrigerante. Le valvole di intercettazione devono essere progettate in modo da evitare qualsiasi manovra da parte di persone non autorizzate, per esempio mediante cuffie, manicotti, serrature che possono essere manovrate solo con utensili, da parte di persone autorizzate. I compressori devono essere progettati secondo la UNI EN 12693:2008 "Sistemi di refrigerazione e pompe di calore - Requisiti di sicurezza e ambientali - Compressori refrigeranti di tipo volumetrico".

Lo scarico di fluido frigorifero all'intervento dei dispositivi di sicurezza, quali valvole di sicurezza e dischi di rottura, deve essere realizzato in modo tale da non mettere in pericolo le persone ed i beni e scaricato in quantità adeguata al mezzo assorbente utilizzato.

Un esempio applicativo di quanto innanzi è evidenziato nelle figure sottostanti. In particolare sono raffigurate n. 2 valvole di sicurezza afferenti ad una valvola deviatrice a cassetto (Figura 3) il cui elemento di regolazione (Figura 4) è protetto da cappuccio metallico (Figura 3).

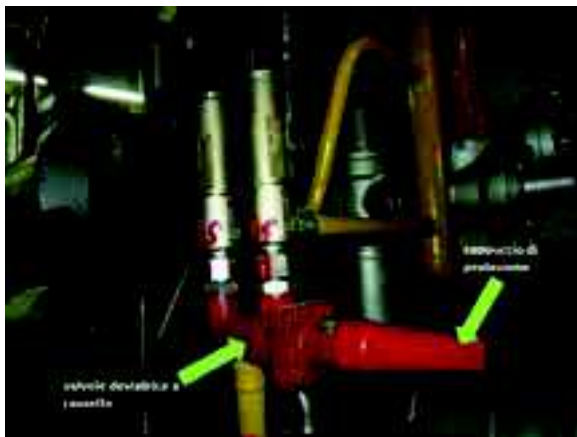


Figura 3



Figura 4

Tutte le tubazioni di scarico delle valvole di sicurezza presenti all'interno dell'impianto sono state convogliate e la tubazione finale termina nel mezzo assorbente.

Nella Figura 5 è raffigurato un recipiente, allocato all'esterno della centrale frigo, contenente acqua ed alla cui sommità si osserva l'ingresso del tubo collettore delle varie tubazioni di scarico di tutti i dispositivi di sicurezza installati nella centrale frigo.



Figura 5



- UNI EN 378-3:2017 – *“Sistemi di refrigerazione e pompe di calore - Requisiti di sicurezza e ambientali - Parte 3: Sito di installazione e protezione delle persone”*

La presente parte della norma si sofferma sulle peculiarità della sala macchine quali dimensioni, accessibilità, ventilazione, rilevatori di fuoriuscite di fluido, apparecchiature per la protezione delle persone ed attrezzature di soccorso.

- UNI EN 378-4:2017: *“Sistemi di refrigerazione e pompe di calore - Requisiti di sicurezza e ambientali - Parte 4: Conduzione, manutenzione, riparazione e recupero”*

La presente parte della norma fornisce e stabilisce procedure per il funzionamento, la manutenzione, la riparazione di impianti di refrigerazione e il recupero dei refrigeranti. La manutenzione deve essere effettuata in modo tale che siano minimizzati gli incidenti al personale, i componenti dell'impianto rimangano in buono stato di funzionamento, siano identificate e riparate le perdite di fluido frigorifero e di olio. L'estensione e il calendario degli interventi di manutenzione devono essere completamente descritti nel manuale d'istruzione secondo quanto previsto dalla EN 378-2.

La norma prescrive che ogni impianto frigorifero deve essere assoggettato a manutenzione preventiva in accordo con il manuale d'istruzione. *Le parti interessate per l'impianto frigorifero devono assicurare che lo stesso sia ispezionato, regolarmente supervisionato e mantenuto in modo soddisfacente.*

*In caso di manutenzione ordinaria che non comporta influenze sull'impianto frigorifero né sulla sua regolazione e che non richiede alcuna conoscenza specifica della tecnica di refrigerazione può essere effettuata da una persona di adeguata competenza alle dipendenze della persona responsabile.*

*La manutenzione deve essere effettuata in modo tale che:*

- a) siano minimizzati gli incidenti al personale;*
- b) sia prevenuto il deterioramento dei beni;*
- c) i componenti dell'impianto rimangano in buono stato di funzionamento;*
- d) siano mantenute la funzione e la disponibilità dell'impianto;*
- e) siano identificate e riparate le perdite di fluido frigorifero e di olio;*
- f) lo spreco di energia sia minimizzato.*

*L'estensione e il calendario degli interventi di manutenzione devono essere completamente descritti nel manuale d'istruzione, vedere EN 378-2.*

*Quando si usa un sistema di raffreddamento o di riscaldamento secondario il fluido termovettore deve essere controllato periodicamente per quanto riguarda la sua composizione e la presenza di fluido frigorifero.*

Devono essere effettuate regolari prove di tenuta, controlli e verifiche delle attrezzature di sicurezza, secondo quanto descritto nella EN 378-2.

Lo stato dell'arte relativamente all'impiego sicuro di ammoniaca nel settore della refrigerazione è ben riassunto da un estratto dalla *“Relazione della Commissione Europea relativa agli ostacoli posti dai codici, dagli standard e dalla legislazione all'utilizzo di tecnologie rispettose del clima nei settori della refrigerazione, della climatizzazione, delle pompe di calore e delle schiume”* datata 30/11/2016 che, per l'uso dell'ammoniaca recita testualmente:

*“Nella maggior parte dei casi, non sembra che i codici, gli standard o la legislazione, sia a livello europeo che nazionale, costituiscano un ostacolo significativo all'utilizzo di ammoniaca o di CO2 come refrigeranti. Provvedono ad assicurare l'uso sicuro di tali refrigeranti consentendo, al contempo, una più ampia penetrazione sul mercato di sistemi e apparecchiature che utilizzano tali sostanze. Gli esperti concordano sul fatto che l'ammoniaca è un refrigerante da utilizzare con cautela, ma che il rispetto delle prescrizioni degli standard di sicurezza vigenti, come l'EN 378 sono un passo avanti nella direzione giusta. Le prescrizioni nazionali aggiuntive non sembrano eccessivamente restrittive nella*

*maggior parte degli Stati membri. Analogamente, per le apparecchiature che utilizzano il CO<sub>2</sub>, le prescrizioni in materia di sicurezza stabilite dagli standard vigenti, come l'EN 378 e la direttiva sulle apparecchiature a pressione, offrono un quadro adeguato per l'uso sicuro di tali sistemi in futuro.”*

## 2. La conduzione delle macchine frigorifere

### 2.1 Introduzione

Come si è innanzi illustrato è notevolmente aumentata nel tempo l'attenzione verso i rischi derivanti dall'impiego delle cosiddette sostanze pericolose sia per gli ambienti di lavoro che agli ambienti di vita.

Di conseguenza abbiamo assistito, in questi anni, ad un progressivo cambiamento della normativa europea relativa alle sostanze chimiche quali ad esempio la normativa ADR, il Regolamento REACH – riguardante la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche ed il Regolamento CLP. Quest'ultimo ha introdotto diverse novità in merito alla classificazione ed etichettatura delle sostanze e delle miscele con l'adozione del sistema GHS (sistema globale armonizzato della classificazione ed etichettatura delle sostanze chimiche).

La legislazione italiana ha affrontato tali problematiche sin dai primi del '900 con la pubblicazione, sulla Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia n. 49 del 1 marzo 1927, del r.d. n.147 del 9 gennaio 1927 “Approvazione del Regolamento speciale per l'impiego dei gas tossici”, in applicazione dell'art. 57 del Testo Unico delle Leggi di Pubblica Sicurezza, approvato con r.d. n.1848 del 6 novembre 1926. Tale regolamento, sebbene modificato nel corso degli anni in alcuni punti, risulta ancora in vigore e costituisce una *stringente linea guida* per coloro che sono impegnati nell'utilizzo di sostanze pericolose.

Ciò che del Regolamento n. 147 del 1927 è cambiato, nel corso del tempo, riguarda fondamentalmente l'elenco dei gas tossici e l'Autorità di riferimento per la richiesta delle autorizzazioni necessarie all'utilizzo dei gas tossici a seguito dell'evoluzione istituzionale dell'Italia. Infatti originariamente le competenze erano in capo ad i Prefetti mentre successivamente il Ministero della Sanità, istituito con la Legge 13.03.1958, ha rivendicato la competenza del medico provinciale per il rilascio delle autorizzazioni previste dal Regolamento. Con l'entrata in vigore poi del all'articolo 13 del d.p.r. n. 4 del 14/01/1972, “Trasferimento alle regioni a statuto ordinario delle funzioni amministrative statali in materia di assistenza sanitaria ed ospedaliera e dei relativi personali ed uffici”, le competenze sono passate all'Assessorato Regionale della Sanità, Ufficio del Medico Provinciale. Infine, con l'istituzione delle USSL (Unità Socio Sanitarie Locali), l'ufficio del medico provinciale è stato abolito ed è stato istituito il “Dipartimento di Prevenzione”.

Naturalmente la conduzione delle macchine frigorifere non può prescindere dall'applicazione di detto Regolamento.

### 2.2 Normativa di riferimento per la conduzione delle macchine frigorifere: r.d. n.147 del 9 gennaio 1927

All'art.1 è *definito gas tossico* qualsiasi sostanza che si trova allo stato gassoso, o che per essere impiegata deve passare allo stato di gas o vapore, che è può essere utilizzata sia per il suo potere tossico e sia per scopi diversi da tale caratteristica, e che è *riconosciuta pericolosa per la sicurezza e l'incolumità pubblica*. In allegato al r.d. n.147 sono elencate le sostanze ritenute tossiche compresa l'ammoniaca. L'elenco è stato successivamente modificato e sostituito con d.m. del 6 febbraio 1935 dell'allora Ministro degli Interni.

All'art. 3 del r.d. n. 147 troviamo la definizione di *impiego dei gas tossici* che consiste nell'*utilizzazione* a qualsiasi scopo, nella *custodia* a qualsiasi scopo, nella *conservazione* a qualsiasi scopo ed nel *trasporto*.

Tutti gli impieghi innanzi elencati sono soggetti ad autorizzazione in quanto il titolare deve dimostrare di dare le necessarie garanzie di sicurezza, sotto i diversi punti di vista dell'adeguatezza degli impianti, delle procedure di utilizzazione e della competenza del personale impiegato. A questo proposito il regolamento prevede che gli addetti alle operazioni relative al gas tossico siano provvisti di apposita patente ed inoltre richiede che la direzione tecnica dei servizi relativi all'impiego del gas tossico sia riservata ad un laureato in chimica, chimica industriale, ingegneria chimica o farmaceutica. Nel caso dell'ammoniaca l'autorizzazione è prevista quando la massa della sostanza in questione supera i 75 Kg.

### 3. La gestione delle macchine frigorifere

#### 3.1 Introduzione

Una gestione efficiente di un impianto consiste nel preservare nel tempo il suo corretto funzionamento. In un contesto, come quello industriale, nel quale è necessario garantire la sicurezza delle persone e la disponibilità degli impianti, alla funzione gestionale si associa quella manutentiva. La manutenzione, se concepita ed attuata in modo corretto, permette di:

- conservare gli impianti;
- garantire un funzionamento ottimale delle macchine;
- minimizzare le fermate per guasti;
- garantire la sicurezza delle persone e la tutela dell'ambiente.

Negli ultimi decenni la concezione della manutenzione si è profondamente evoluta ed ha assunto un ruolo sempre più complesso e centrale nel processo produttivo. E' diventata una vera e propria *mission* e si è trasformata da attività prevalentemente di riparazione, e fonte di costi, ad un complesso sistema gestionale orientato a prevenire i guasti.

#### 3.2 Manutenzione predittiva

La manutenzione predittiva è una manutenzione di tipo preventivo che permette di individuare in anticipo le parti o componenti che iniziano a degradarsi riuscendo così a rilevare l'insorgere di malfunzionamenti che possono compromettere il funzionamento della macchina. La manutenzione predittiva è definita, secondo la norma UNI 10147, come quel tipo di manutenzione preventiva effettuata a seguito dell'individuazione di uno o più parametri e dell'estrapolazione, secondo modelli appropriati, del tempo residuo intercorrente prima del guasto. La logica alla base dell'adozione di questo approccio è che un guasto, nella maggioranza dei casi e soprattutto nel campo della meccanica, costituisce il punto di arrivo di un deterioramento progressivo. L'applicazione di politiche di manutenzione predittiva è complessa in quanto richiede la definizione accurata dei parametri critici ritenuti rilevanti e dei valori di soglia di questi.

Vanno inoltre attentamente vagliate le metodologie di indagine da porre in essere come ad esempio la misura delle vibrazioni, le analisi tribologiche sui lubrificanti, l'analisi termografica, l'analisi delle correnti assorbite. Le constatazioni che sono alla base di questi differenti metodi partono dalle seguenti considerazioni:

- un cuscinetto danneggiato, e quindi un disassamento in una turbomacchina, provoca un aumento delle vibrazioni;
- le parti che sono soggette ad usura con l'aumentare dell'attrito producono calore e quindi un aumento di temperatura che può essere monitorato con analisi termografiche;
- l'usura delle parti rilascia nell'olio del particolato metallico.

Tale forma di manutenzione ha avuto un notevole sviluppo a partire dagli anni '70 con l'introduzione, nel settore aeronautico, della cosiddetta CBM, acronimo anglosassone che sta per Condition Based Maintenance.

### 3.2.1 La curva P-F

Il concetto alla base della “manutenzione predittiva” è rappresentato efficacemente dalla “curva P-F” (Figura 6), che mostra l’evoluzione nel tempo delle condizioni di funzionamento di una macchina.

La curva consente di individuare due punti salienti:

- 1) punto P che corrisponde al guasto Potenziale, ovvero al guasto che produce un’alterazione della condizione di funzionamento della macchina rilevabile attraverso il controllo di determinati parametri operativi;
- 2) punto F che corrisponde al guasto Funzionale, ossia al guasto che non permette più alla macchina di svolgere la funzione per la quale è stata inserita nell’impianto.

L’ampiezza dell’intervallo di tempo che separa i punti P ed F dipende dal tipo di guasto. Essa varia da pochi minuti ad alcune settimane o addirittura mesi. Per i guasti caratterizzati da un’evoluzione molto rapida (pochi minuti), l’intervento più appropriato consiste nell’arresto immediato della macchina, al fine di evitare cedimenti improvvisi e danni ingenti al personale e all’impianto. Per altri modi di guasto, caratterizzati da uno sviluppo decisamente più lento, si ricorre alle moderne tecniche di diagnostica industriale.

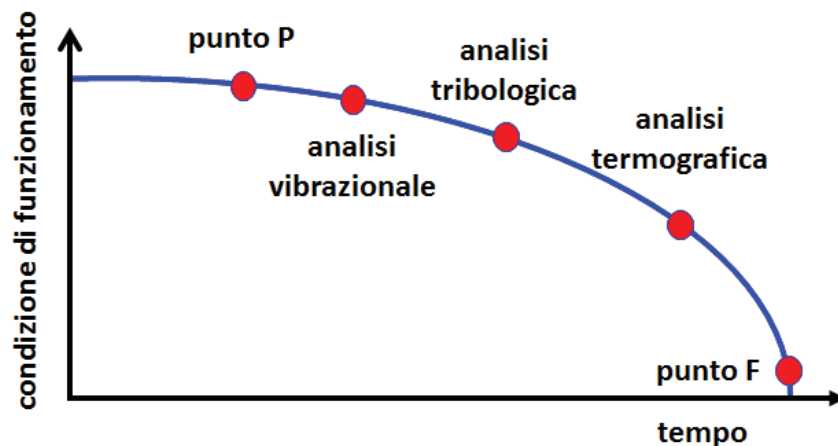


Figura 6. Curva P-F

Le tecniche diagnostiche hanno un duplice obiettivo:

- 1) identificare il componente nel quale il guasto inizia a svilupparsi;
- 2) tenere sotto controllo lo stadio di avanzamento del guasto nel tempo.

### 3.3 Esempio di manutenzione predittiva su compressore per ammoniacca

Per le turbomacchine, l’analisi vibrazionale rappresenta la tecnica diagnostica che, più delle altre, consente di rilevare un guasto in fase incipiente. Il compressore in esame, in condizioni di regime, ha una velocità di rotazione largamente superiore a quella che caratterizza il primo modo naturale di vibrare dell’elemento rotante (l’eventuale piccolo discostamento fra velocità angolare dell’asse di rotazione della macchina e frequenza naturale di vibrazione del sistema influisce in modo negativo sul comportamento dinamico della turbomacchina).

L’asse di rotazione della turbomacchina, opportunamente giuntato a quello del motore elettrico di trascinamento, è provvisto di cuscinetti a rulli. La lubrificazione dei cuscinetti è a circolazione d’olio, idonea all’elevata velocità angolare dell’asse di rotazione della macchina. I cuscinetti svolgono una duplice importante funzione:

1. sostengono l'asse di rotazione;
2. permettono il moto relativo dell'asse rispetto alle parti fisse della turbomacchina.

Da ciò deriva la necessità di rilevare l'ampiezza della vibrazione dell'asse di rotazione rispetto ai cuscinetti. A tal fine, si utilizzano strumenti atti a rilevare le velocità misurate assialmente, verticalmente e orizzontalmente da confrontare con dei valori limite in modo da rilevare eventuali deviazioni dei parametri rispetto ai valori normali. Lo scostamento rilevato è indice di usura dei cuscinetti o malfunzionamento in generale della macchina.

Nelle figure sottostanti si riporta un esempio applicativo di manutenzione predittiva. Nella Figura 7 sono indicati i punti in cui è stato posizionato il sensore dello strumento atto a rilevare valori di velocità verticali, orizzontali ed assiali in mm/s, mentre la Figura 8 raffigura un disegno schematico del medesimo compressore su cui sono riportati i valori di velocità misurati (evidenziati in colore verde) ed i valori limite (evidenziati in colore giallo) oltre i quali è necessario prevedere un intervento di manutenzione mirato.

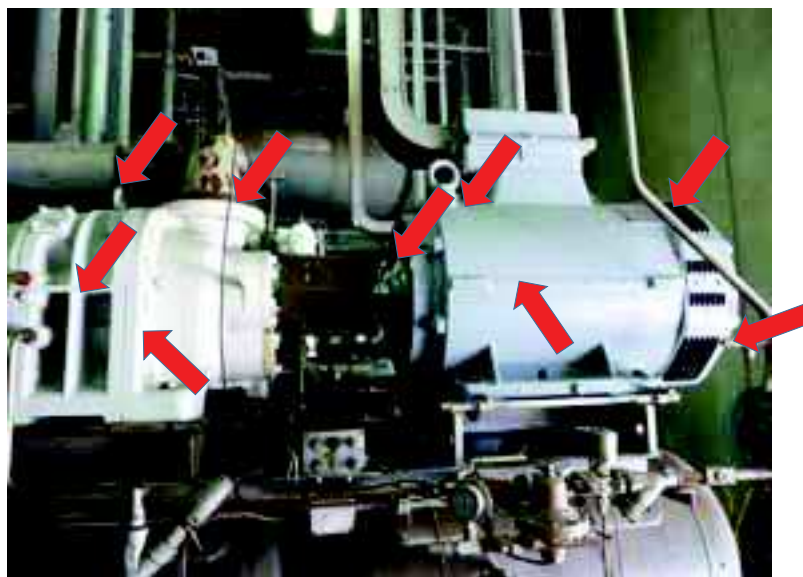


Figura 7. Parti del compressore per ammoniaca su cui effettuare le misurazioni di velocità

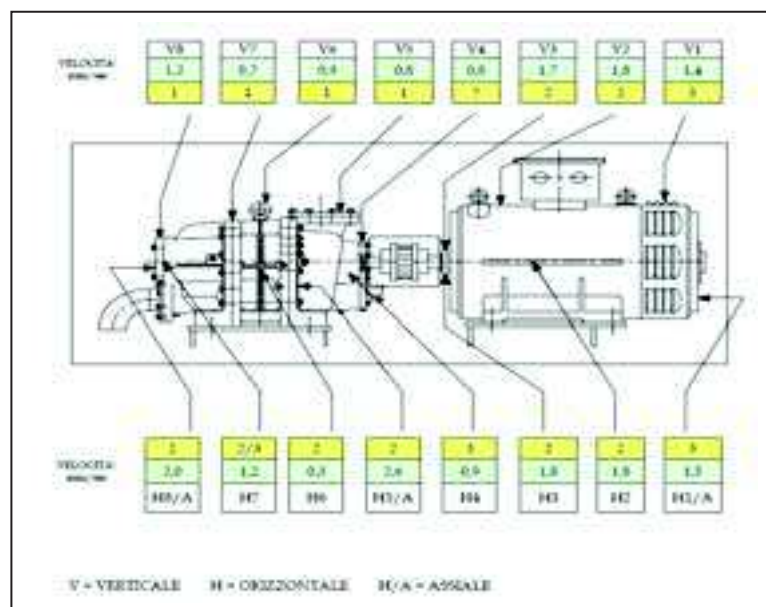


Figura 8. Report di misure di velocità puntuali espresse in mm/s



## 4. Conclusioni

A differenza di altre attrezzature a pressione, per le quali il rischio fondamentale da considerare è quello del superamento della pressione di progetto, le macchine frigorifere presentano in aggiunta il rischio connesso all'impiego di fluidi generalmente tossici e quindi il quadro normativo da rispettare è più vasto e complesso. Per la progettazione la norma di riferimento è la PED 2014/68/EU, da attuarsi tramite le norme armonizzate UNI EN 378, mentre l'impiego di fluidi tossici impone l'applicazione anche del R.D. n.147 del 9 gennaio 1927. Passando poi al controllo, che deve essere effettuato durante il ciclo di vita dell'attrezzatura, l'eventuale incidente connesso al superamento della pressione comporterebbe, a causa della pericolosità dei fluidi impiegati, sia un rischio per la sicurezza che per la salute delle persone coinvolte. Pertanto l'ipotesi di utilizzo della manutenzione predittiva è assolutamente auspicabile in quanto consentirebbe di verificare costantemente il reale stato di funzionamento della macchina e di programmare tempestivamente gli interventi manutentivi con conseguente riduzione del rischio di malfunzionamento nonché di accidentale rilascio di fluido frigorifero all'esterno.

## Bibliografia

- [1] Norme UNI EN 378-1:2017; UNI EN 378-2:2017; UNI EN 378-3:2017; UNI EN 378-4:2017.
- [2] r.d. n.147 del 9 gennaio 1927 - "Approvazione del Regolamento speciale per l'impiego dei gas tossici"
- [3] Direttiva PED 2014/68/EU
- [4] Norma UNI EN 12693:2008
- [5] Girardi M. "Il fluido frigorifero ammoniaca legislazioni a confronto" – Ed. Marzo 2000.