



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

**Politiche di manutenzione per le apparecchiature degli impianti di
processo**

Maintenance policies for process plants equipment

Relatore: Chiar.mo

Prof. Filippo Emanuele Ciarapica

Tesi di Laurea di:

Michele Colonna

A.A. 2019 / 2020

Indice

Introduzione	1
1. La manutenzione.....	3
1.1 Introduzione alla manutenzione	3
1.2 Evoluzione della manutenzione.....	4
1.2.1 Definizione di manutenzione.....	4
1.2.2 Concetto di manutenzione	5
1.3 La funzione manutenzione.....	6
1.4 Compiti della manutenzione.....	7
1.5 Teoria dell'affidabilità.....	8
1.5.1 Introduzione alla teoria dell'affidabilità	8
1.5.2 Tempo di guasto	9
1.5.3 Probabilità di guasto	9
1.5.4 Affidabilità di un componente.....	10
1.5.5 Rateo di guasto condizionato.....	11
1.5.6 Affidabilità di un sistema	13
1.5.7 Manutenibilità di un componente.....	16
1.5.8 Disponibilità	17
1.6 Politiche di manutenzione	18
1.6.1 Tipi di politiche manutentive.....	18
1.6.1.1 Manutenzione correttiva	19
1.6.1.2 Manutenzione preventiva	19
1.6.1.3 Manutenzione predittiva.....	20
1.6.1.4 Manutenzione migliorativa.....	22
1.6.1.5 Manutenzione produttiva.....	23
1.6.2 La scelta della politica manutentiva da applicare	24
2. Apparecchiature degli impianti di processo	29
2.1 Valvole	29
2.1.1 Valvola di intercettazione.....	29
2.1.2 Valvola di non ritorno	33
2.1.3 Valvola di sicurezza.....	34
2.1.4 Valvola di regolazione.....	36
2.2 Pompe.....	41

2.2.1	Pompa centrifuga.....	46
2.2.2	Pompa alternativa a stantuffo	46
2.2.3	Pompa rotativa ad ingranaggi.....	48
2.2.4	Pompa rotativa a palette	49
2.3	Serbatoi.....	50
3.2.1	Serbatoi pressurizzati.....	52
3.	Ispezione e manutenzione delle apparecchiature degli impianti di processo .	55
3.1	Rischi, verifiche e manutenzione delle valvole di sicurezza	55
3.1.1	Caratteristiche dell'officina per la manutenzione.....	56
3.1.2	Compiti del manutentore	57
3.1.3	Compiti dell'utilizzatore.....	57
3.1.4	Procedura di verifica e manutenzione	58
3.2	Rischi, verifiche e manutenzione delle pompe volumetriche.....	60
3.1.2	Requisiti per evitare pericoli di diversa natura	61
3.2.1.1	Requisiti per evitare i pericoli di natura meccanica	62
3.2.1.2	Requisiti per evitare i pericoli di natura elettrica	62
3.2.1.3	Requisiti per evitare i pericoli di natura termica	63
3.2.1.4	Requisiti per evitare il pericolo derivante dal rumore o dalle vibrazioni	63
3.2.1.5	Requisiti per evitare i pericoli generati dai materiali	64
3.2.1.6	Requisiti per evitare i pericoli causati da interruzioni nell'erogazione di energia, guasti di componenti di macchinari ed altre disfunzioni.....	64
3.2.1.7	Requisiti per evitare i pericoli derivanti dai guasti e/o dalla scorretta installazione dei dispositivi di protezione	65
3.2.2	Metodi di verifica dei requisiti e delle misure di sicurezza.....	65
3.2.3	Manuale di istruzioni	66
3.2.4	Installazione e manutenzione.....	71
3.3	Rischi, verifiche e manutenzione dei serbatoi.....	72
3.3.1	Serbatoi fuori terra.....	73
3.3.1.1	Progettazione di sistemi di protezione catodica	73
3.3.1.2	Installazione di sistemi di protezione catodica	74
3.3.1.3	Collaudo	74
3.3.1.4	Verifiche e manutenzione.....	76
3.3.2	Serbatoi interrati	79

3.3.2.1	Progettazione di sistemi di protezione catodica	79
3.3.2.2	Installazione di sistemi di protezione catodica	80
3.3.2.3	Collaudo	81
3.3.2.4	Controlli e manutenzione.....	82
	Conclusioni	85
	Bibliografia	86
	Sitografia.....	87
	Normative	88
	Ringraziamenti	89

Introduzione

Tra gli aspetti che, da sempre, influenzano la produzione all'interno delle aziende troviamo la manutenzione. Essa non svolge un'unica mansione, ma opera a tutto tondo svolgendo più compiti. Infatti, è una funzione aziendale che supervisiona gli impianti di produzione e che progetta, organizza e realizza interventi al fine di garantire il corretto funzionamento degli impianti, e mantenere un buono stato di conservazione delle attrezzature. La manutenzione è una scienza indispensabile e insostituibile, ed è la protagonista di questo elaborato.

All'interno di questo progetto di tesi verrà trattata, in particolar modo, la manutenzione delle apparecchiature degli impianti di processo, ovvero di pompe, valvole e serbatoi. Ovviamente non ci si limiterà solo ad analizzare l'aspetto manutentivo di queste, bensì verranno trattati anche quelli che sono i rischi a cui tali attrezzature sono esposti, come evitarli, quindi le verifiche che bisogna effettuare affinché tutto funzioni regolarmente ed infine il programma di manutenzione.

L'obiettivo di tale elaborato è, oltre ad evidenziare ancor di più l'importanza della manutenzione, quello di realizzare una sorta di manuale, basato su normative, nella quale viene spiegato come comportarsi quando si ha a che fare con determinate apparecchiature degli impianti di processo.

Più nel dettaglio, la trattazione è stata suddivisa in 3 capitoli: nel primo capitolo viene affrontata la manutenzione in tutte le sue sfaccettature, ovvero a partire da quella che è la sua definizione, passando per la sua storia. Poi vi è l'introduzione di una teoria strettamente legata alla manutenzione e che prende il nome di teoria dell'affidabilità; infine, vengono analizzate tutte le tecniche e le politiche manutentive applicabili, e viene spiegato come scegliere un determinato tipo di tecnica manutentiva, piuttosto che un'altra.

Nel secondo capitolo, invece, vengono illustrate le apparecchiature degli impianti di processo, ovvero pompe, valvole e serbatoi. Senza di essi, gli impianti non funzionerebbero, ed è per questo che bisogna sceglierli e progettarli con cura. Ovviamente, oltre a sceglierli e progettarli, è fondamentale evitare che questi vadano a deteriorarsi e quindi fare in modo che abbiano una lunga vita di processo; proprio di ciò si parla nel terzo ed ultimo capitolo.

Come già detto sopra, all'interno dell'ultimo capitolo, non viene affrontata solo ed esclusivamente la manutenzione applicata a tali apparecchiature, bensì vengono

analizzati anche quelli che sono i rischi a cui esse sono sottoposte e le verifiche da effettuare per essere sicuri che l'impianto funzioni come da progetto. Il tutto si basa su normative, pubblicate da enti nazionali ed internazionali, valide tuttora nel nostro paese e che vengono utilizzate tutti i giorni nelle aziende per effettuare interventi di questo genere. C'è da specificare che nel terzo capitolo non vengono coinvolte tutte le apparecchiature degli impianti di processo descritte nel secondo capitolo, ma solo alcune di esse.

1. La manutenzione

1.1 Introduzione alla manutenzione

In tutti gli impianti di processo, le varie apparecchiature hanno un ciclo di vita che è caratterizzato da periodi di corretto funzionamento e periodi in cui non svolgono correttamente la propria funzione andando a compromettere, in maniera parziale o totale, la produzione dell'impianto. Nella Figura 1 viene rappresentato in maniera schematica l'alternanza tra il periodo di funzionamento nominale e il periodo di fermo o funzionamento parziale.

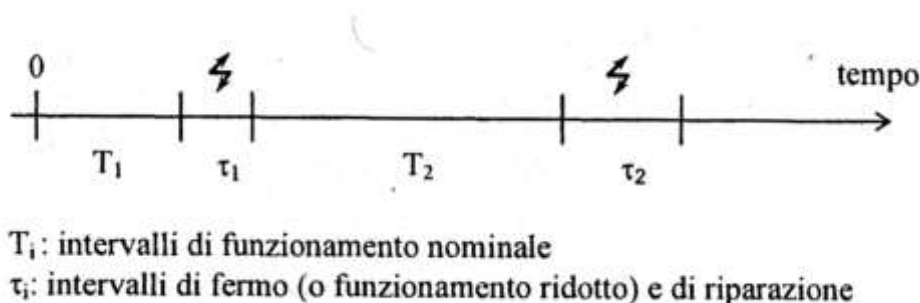


Figura 1: Ciclo di vita di un'apparecchiatura di un impianto.

Secondo la Normativa UNI EN 13306 del 2018, per “Manutenzione” si intende

«la combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, durante il ciclo di vita di un'entità, destinate a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta».

Inoltre, le azioni di manutenzione tecnica comprendono osservazione e analisi dello stato dell'entità (per esempio ispezione, monitoraggio, collaudo, diagnosi, prognosi, etc.) e azioni di manutenzione attiva (per esempio: riparazione, ricondizionamento).

Le procedure manutentive influiscono sulla produttività di un impianto a vari livelli, in particolare vengono considerati i seguenti aspetti:

- *patrimoniale* → in quanto un impianto è a tutti gli effetti un immobilizzo di denaro e va remunerato al meglio;
- *tecnologico* → se l'impianto si trova in cattive condizioni, il servizio erogato non potrà mai essere quello richiesto e di conseguenza verrà compromessa la qualità del prodotto;

- *economico* → in presenza di difetti o di mancata produzione si riscontra una riduzione degli utili;
- *sociale/legale* → le cattive condizioni delle attrezzature provocano infortuni, inquinamenti e problemi di sicurezza.

Le attività di manutenzione contribuiscono in maniera significativa a raggiungere gli obiettivi di produttività del sistema. Va, però, considerato che come aiutano la produzione, allo stesso tempo, esse consumano importanti risorse sia tecniche che economiche. Per questo motivo, la scelta del “livello” del sistema di manutenzione da implementare nasconde un problema di compromesso (trade-off). Il fine deve sempre essere la massimizzazione del profitto; di conseguenza non è possibile intraprendere una sola strategia, bensì essa deve essere calibrata in base alla fattispecie reale da fronteggiare.

Spesso e volentieri vi è una tendenza nel sottovalutare l'importanza della manutenzione, soprattutto nelle industrie italiane. Così facendo, la ricerca del miglior trade-off viene trasformata nel tentativo di diffondere il più possibile l'applicazione delle varie tecniche manutentive nei sistemi produttivi.

1.2 Evoluzione della manutenzione

1.2.1 Definizione di manutenzione

L'OCSE, Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico, nel 1963 diede una prima definizione di manutenzione; con il tempo molte cose cambiarono, in particolar modo, nel corso degli anni '80, vennero formulate nuove teorie. Nel 1963, la manutenzione fu definita in questo modo:

«S'intende per manutenzione quella funzione aziendale alla quale sono demandati il controllo costante degli impianti e l'insieme dei lavori di riparazione e revisione necessari ad assicurare il funzionamento regolare e il buono stato di conservazione degli impianti produttivi, dei servizi e delle attrezzature di stabilimento» (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico).

Tale definizione sconvolse poco e niente il mondo normativo, infatti la definizione di manutenzione del 2003 formulata dal Comitato Tecnico TC319 non si distacca di molto da quella formulata dall'OCSE del 1963. Più di quindici anni fa, la commissione manutenzione dell'UNI, nella normativa UNI 9910 – poi diventata UNI 10147 – definì

la manutenzione come la “combinazione di tutte le azioni tecniche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare una entità in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta”.

Nel 1970 la manutenzione fu recepita come “scienza della conservazione” e in seguito a tale occasione venne creato un nuovo termine: terotecnologia; tale termine significa letteralmente “tecnologia della conservazione”. Sempre nello stesso anno la terotecnologia venne associata, dalla British Standard Institution, alla seguente definizione:

«La terotecnologia è una combinazione di direzione, finanza, ingegneria e altre discipline, applicate ai beni fisici per perseguire un economico costo del ciclo di vita ad esse relativo. Tale obiettivo è ottenuto con il progetto e l'applicazione della disponibilità e manutenibilità agli impianti, alle macchine, alle attrezzature, ai fabbricati e alle strutture in genere, considerando la loro progettazione, installazione, manutenzione, miglioramento, rimpiazzo con tutti i conseguenti ritorni di informazioni sulla progettazione, le prestazioni e i costi» (British Standard Institution).

Tale definizione è più ampia di quelle associate finora alla manutenzione, ma allo stesso tempo contiene concetti che non sono strettamente legati alla manutenzione. Inoltre, c'è da dire che tale definizione non tiene conto, ovviamente, delle evoluzioni che sono avvenute negli anni successivi.

Tutte queste normative sono state sostituite, nel 2003 prima e nel 2018 poi, dalla UNI EN 13306 già nominata nel paragrafo precedente.

1.2.2 Concetto di manutenzione

Il concetto di manutenzione è cambiato molto nel corso degli anni; in particolar modo, lo sviluppo dei processi tecnologici, il progresso della tecnica e la ricerca di una maggiore efficienza hanno portato alla costruzione di apparecchiature sempre più complesse modificando, quindi, l'approccio alla risoluzione dei vari problemi.

Negli anni antecedenti la rivoluzione industriale, la maggior parte delle lavorazioni erano manuali, come ad esempio la vecchia bottega artigiana, dove la manutenzione consisteva negli interventi correttivi, visti come un “male necessario” a servizio della produzione. Con l'avvento della rivoluzione industriale, vennero introdotti metodi di meccanizzazione e specializzazione del lavoro; venne, quindi, abbandonato il vecchio approccio alla manutenzione, sostituito da un approccio più diretto, che consisteva nell'effettuare interventi preventivi, visti come un bisogno tecnico. Inoltre, nacque la figura del manutentore, il quale era considerato una necessità per conservare il buon

funzionamento delle attrezzature. Successivamente si passò dalla meccanizzazione all'automazione, e poi ancora alla globalizzazione, dove ci fu un incontro tra produzione e manutenzione, che portò quest'ultima ad acquisire una maggiore importanza.

La manutenzione più moderna, che viene intesa come servizio aziendale, è basata sulle seguenti proprietà:

- la formazione del personale messo a capo delle operazioni manutentive assume un ruolo indispensabile nel creare una mentalità adatta ad accettare le nuove procedure e a far in modo che siano operative ed efficaci;
- la funzione manutentiva risulta essere non complementare rispetto alle altre attività produttive, bensì è un'unità responsabile caratterizzata da razionalità e competenza e da un notevole senso di integrazione nell'attività dell'impresa;
- la manutenzione deve programmare, coordinare e controllare le varie attività in modo che il lavoro effettuato dall'impresa sia tecnicamente più completo e più vantaggioso economicamente.

Quindi, questa dimensione evolutiva della manutenzione prevede che le varie tecniche non siano più indirizzate al semplice mantenimento dello "status quo", ma che vadano a far sì che il sistema stesso evolva, adattandolo a nuove esigenze, all'esperienza che si fa su di esso e al bisogno di migliorare costantemente la produttività.

1.3 La funzione manutenzione

La funzione manutenzione deve risultare fortemente legata ed integrata con le principali funzioni aziendali affinché rappresenti una valida risorsa produttiva. All'interno di un'impresa, le attività che hanno a che fare anche con la manutenzione sono:

- progettazione;
- programmazione della produzione;
- pianificazione del lavoro;
- assicurazione e controllo della qualità;
- approvvigionamento dei materiali;
- pianificazione strategica;
- direzione del personale;

- amministrazione;
- centro di elaborazione dati.

Fra questi, quelli che hanno maggiore importanza sono la programmazione della produzione, il servizio di controllo qualità, il servizio approvvigionamenti e la gestione delle risorse umane.

Programmazione della produzione. Il flusso dei materiali in produzione deve essere continuo e senza interruzioni affinché si ottengano delle buone prestazioni dell'impianto. Per questo motivo, è importante che ci sia una stretta connessione tra manutenzione e la funzione di programmazione della produzione, in modo che sia sempre garantita la disponibilità delle attrezzature produttive.

Controllo della qualità. Mettendo insieme il servizio di controllo qualità e quello di manutenzione, è possibile evitare, o quantomeno diminuire i difetti nei prodotti e gli scarti di materiale. In questo modo, oltre a ridurre le spese, viene anche migliorato il servizio al cliente.

Gestione degli approvvigionamenti. Per far sì che la produzione continui in maniera ininterrotta, è fondamentale che ci sia un impeccabile servizio di approvvigionamento, in modo tale da non far mai mancare i materiali per la produzione. La manutenzione, in questo caso, va a definire in modo inequivocabile le specifiche di ciò che viene acquistato. Inoltre, il servizio di manutenzione, quando arriva la merce, la deve collaudare, e se c'è del materiale che non corrisponde alle richieste, lo deve rimandare indietro.

Gestione delle risorse umane. Il personale che si occupa della manutenzione deve essere scelto attraverso una selezione. La ricerca di tale personale, viste le mansioni e le conoscenze richieste, è molto delicata.

1.4 Compiti della manutenzione

In relazione a quanto detto sull'evoluzione, la manutenzione si è data scopi, organizzazioni e modalità più evolute tali da non limitarsi più ai singoli aspetti di efficienza tecnica, bensì di occuparsi anche della parte gestionale e organizzativa. Tali obiettivi si possono definire nel seguente modo:

- minimizzare, per quanto possibile, le fermate degli impianti per guasti e assicurarne il corretto funzionamento;

- far sì che le strutture e le macchine siano in grado di funzionare nelle condizioni stabilite;
- incrementare l'efficienza del sistema produttivo;
- gestire le risorse aziendali in maniera corretta al fine di minimizzare i costi degli interventi;
- contribuire ad assicurare la sicurezza del personale e la tutela dell'ambiente.

Al fine di raggiungere tali obiettivi, sono necessarie attività di varia natura:

- attività di natura **esecutiva** quali riparazione, sostituzioni, revisioni, ispezioni e controlli;
- attività di natura **tecnica** come le analisi dei guasti dei dati sulle prestazioni, la preparazione dei piani di manutenzione, gli adeguamenti alle norme di sicurezza, l'addestramento tecnico per gli operai;
- attività di natura **organizzativa** tra cui troviamo l'elaborazione di piani tecnico-economici, l'elaborazione di rapporti periodici su andamenti e consumi, e il reperimento delle risorse necessarie per eseguire i lavori;
- attività di natura **consulativa** come il contributo nell'installazione ed avviamento di nuovi impianti.

1.5 Teoria dell'affidabilità

1.5.1 Introduzione alla teoria dell'affidabilità

La teoria dell'affidabilità comprende un insieme di teorie, metodi matematici e statistici, di metodi organizzativi e pratiche operative che mirano alla soluzione di problemi di previsione, stima, ottimizzazione delle probabilità di sopravvivenza, durata media di vita e percentuale di tempo di buon funzionamento di un sistema. Si tratta di tecniche mirate a determinare la presenza di un guasto, come e se è possibile prevenire il guasto e, nel caso in cui tale guasto si verifichi, quali siano le modalità più adatte a ripristinare il funzionamento e cercare di limitare le conseguenze.

L'*affidabilità* di un dato elemento è definita come la probabilità che l'elemento funzioni senza guastarsi in determinate condizioni ambientali e per un tempo t prefissate. Ovviamente, deve essere fissato in modo univoco il criterio per giudicare se l'elemento sia funzionante o meno, devono essere stabilite esattamente le condizioni ambientali e di impiego, e che esse si mantengano costanti nel periodo prefissato.

Si definisce *guasto* la cessazione dell'attitudine di un dispositivo a adempiere alla funzione richiesta, ovvero si ha una prestazione differente del dispositivo tale da non renderlo più utile per l'uso a cui era destinato. Non è detto che il guasto sia tale da mettere il dispositivo fuori funzione, infatti si parla anche di guasti parziali, dove le prestazioni vengono ridotte ma senza compromettere del tutto il funzionamento, oppure di guasti intermittenti, dove si ha un'alternanza di periodi di guasto e di funzionamento.

1.5.2 Tempo di guasto

Il *tempo di guasto* o TTF (time to failure) corrisponde al tempo che intercorre tra due guasti e si indica con la lettera τ . Trattiamo una grandezza di tipo casuale in quanto dipende da numerosi fattori e la maggior parte risulta incontrollabile. Indichiamo con $f(t)$ la distribuzione di probabilità dei valori di τ . Valgono le seguenti relazioni fondamentali:

$$P(\tau < T) = \int_{-\infty}^T f(x)dx$$

(1)

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1$$

(2)

La (1) sta ad indicare la probabilità che τ sia minore di T , mentre la (2) rappresenta la condizione di normalizzazione. La funzione $f(t)$ è detta *rateo di guasto non condizionato* in quanto rappresenta la velocità puntuale con la quale un generico componente si rompe all'istante t , quando è messo in funzione all'istante $t=0$.

1.5.3 Probabilità di guasto

Per *probabilità di guasto* si intende la funzione cumulata della $f(t)$ e sta a rappresentare la probabilità che un componente si rompa nell'intervallo $T = [0,t]$. Viene definita da:

$$F(T) = \int_{-\infty}^t f(x)dx = \int_0^t f(x)dx$$

e corrisponde alla probabilità che il tempo tra guasti sia inferiore a t. Questo implica che:

$$f(t) = \frac{dF(T)}{dt}$$

1.5.4 Affidabilità di un componente

Si definisce *affidabilità di un componente*, la probabilità che il componente svolga la funzione per il quale è stato concepito senza subire un guasto, date le condizioni ambientali e il processo in cui opera. Essa è una grandezza probabilistica definita su un intervallo di missione T; spesso viene indicata con R(t) in quanto, fissato il tempo t₀ in cui viene messo in funzione il componente, t rappresenta un istante di tempo dell'intervallo T=t-t₀. L'espressione generale dell'affidabilità è:

$$R(T) = \int_T^{\infty} f(x)dx$$

ed è pari alla probabilità che il tempo tra i guasti sia non inferiore a T.

É possibile ottenere una serie di espressioni empiriche considerando un gruppo di elementi N tutti dello stesso tipo:

- N = numero totale di componenti identici messi in opera all'istante t=0;
- N_g(t) = numero di componenti guasti all'istante t;
- N_s(t) = numero di componenti funzionanti all'istante t.

Considerando che al tempo t:

$$N_g(t) + N_s(t) = N$$

La funzione empirica dell'affidabilità risulta essere:

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N} = \frac{N - N_g(t)}{N}$$

Mentre quella della probabilità di guasto è:

$$F(t) = \frac{N_g(t)}{N} = \frac{N - N_s(t)}{N} = 1 - R(t)$$

Sapendo che $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$ si ha che: $f(x) = -\frac{dR(t)}{dt}$

Quindi:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1.$$

1.5.5 Rateo di guasto condizionato

Il *rateo di guasto condizionato* (hazard function) rappresenta la velocità di rottura di un componente non riparabile e si indica con $\lambda(t)$. Essa, a differenza dell'affidabilità, è una grandezza puntuale ed è definita secondo la seguente relazione:

$$\lambda(t) \cdot \Delta t = P(t \leq \tau \leq t + \Delta t)$$

con:

- $P(\tau)$ = misura della probabilità associata alla rottura del componente;
- τ = variabile aleatoria del tempo al guasto del componente in oggetto;
- Δt = intervallo di tempo breve.

Ci sono alcuni componenti che sono caratterizzati dalla proprietà di “non memoria” dal punto di vista affidabilistico. Per essi il rateo di guasto non dipende dal particolare istante di tempo preso in considerazione, ma rimane costante. Ne consegue una funzione di tipo esponenziale se il rateo di guasto risulta costante.

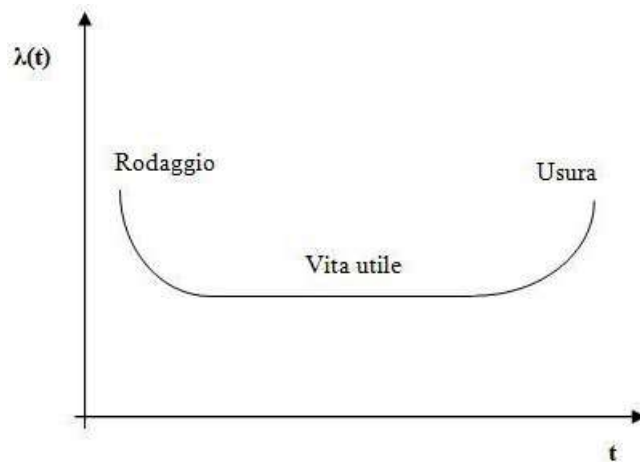


Figura 2: Profilo a vasca da bagno.

Il rateo di guasto assume un andamento chiamato “curva a vasca da bagno”, come rappresentato in figura. Possiamo distinguere 3 fasi:

- I. rodaggio: in questa fase i componenti più deboli si rompono fin da subito; questo è dovuto alla presenza di difetti nascosti che portano a rottura per fatica oligociclica nelle prime ore di funzionamento. Questo fenomeno termina con il passare del tempo e la curva decresce;
- II. funzionamento normale: i guasti avvengono in modo casuale e la curva ha un andamento costante;
- III. invecchiamento: il rateo di guasto cresce perché l’usura ha ridotto le proprietà di resistenza dei componenti.

È bene specificare che il rateo di guasto non ha lo stesso andamento per tutti i tipi di componenti. Si possono avere andamenti crescenti a ritmo costante, con usura iniziale e in seguito costanti, costanti con mortalità infantile e in seguito costanti, etc.

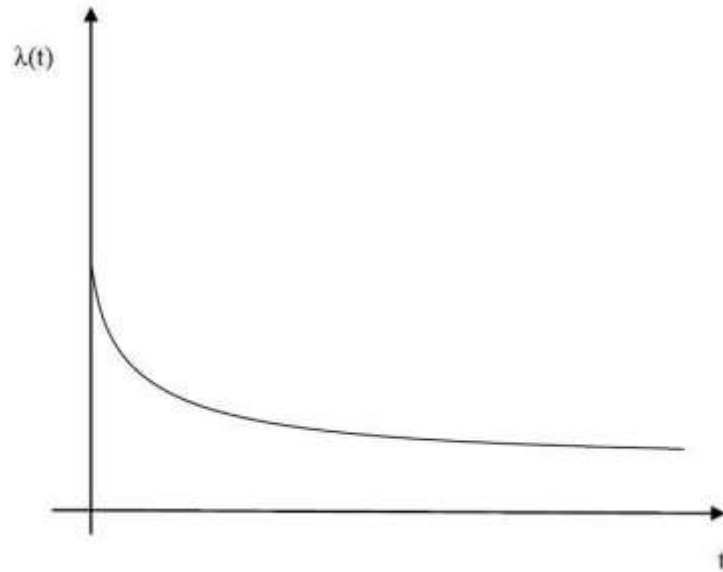


Figura 3: Rateo di guasto con usura iniziale.

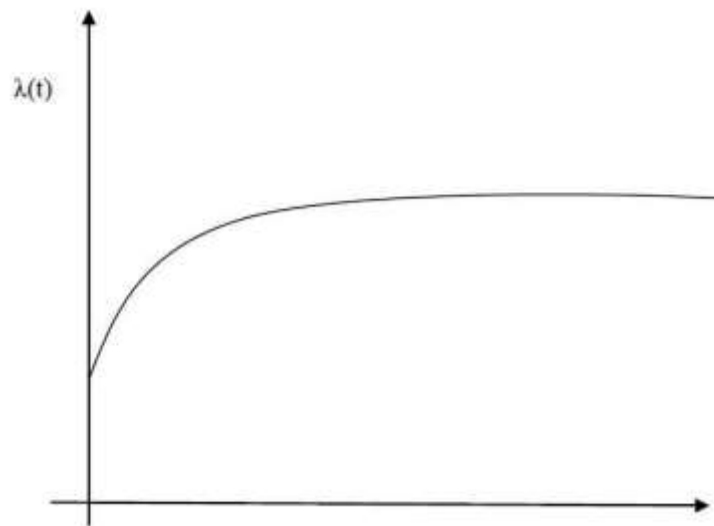


Figura 4: Rateo di guasto con mortalità infantile.

1.5.6 Affidabilità di un sistema

Finora è stata trattata l'affidabilità di un componente senza mai analizzare il sistema nel complesso. Quindi ora si vanno ad analizzare le relazioni che legano l'affidabilità di un sistema a quella dei singoli componenti.

L'affidabilità di un sistema è la probabilità di ricorrenza dell'evento "non guasto", che a sua volta risulta dalla combinazione di più eventi semplici; pertanto le regole di combinazione delle affidabilità corrispondono alle regole generali di combinazione delle probabilità di eventi qualsiasi.

Per quanto riguarda i singoli componenti di un sistema, in termini di affidabilità, essi si possono comportare in maniera indipendente o meno; cioè il fatto che si verifichi un guasto di una parte costituisce un evento casuale statisticamente indipendente, o meno, dal verificarsi di un guasto in un'altra parte. L'affidabilità viene definita in maniera analitica a partire da quella dei singoli componenti, nel caso in cui le varie parti del sistema si comportino in modo indipendente. Questo non accade se, invece, il guasto del singolo componente può influenzare la probabilità che accada un guasto su un altro componente.

È possibile rappresentare in maniera grafica, attraverso l'utilizzo di schemi a blocchi interconnessi, il funzionamento di un sistema dal punto di vista affidabilistico; ogni blocco rappresenta un componente o un sottosistema. In generale si ha che, se un elemento di un impianto viene rappresentato in parallelo, un suo guasto non provoca la messa fuori servizio dell'intero sistema; mentre se tale elemento viene rappresentato in serie, un suo guasto comporta il fuori servizio di tutto il sistema.

1. SISTEMI SERIE

Un sistema di n componenti viene considerato serie rispetto ad uno specifico evento guasto, quando tale evento si verifica nel momento in cui almeno un componente del sistema è guasto.



Figura 5: Schematizzazione del sistema serie.

L'affidabilità del sistema esprime la probabilità che il sistema sia in condizioni di buon funzionamento al generico istante e, se si suppongono indipendenti i guasti dei singoli componenti, allora l'affidabilità del sistema di n componenti in serie è data dal prodotto delle affidabilità dei singoli componenti:

$$A_s(t) = \prod_{i=1}^n A_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\int_0^t \lambda_i(t) dt}$$

$$A_s(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i(t) dt} = e^{-\int_0^t \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) dt} = e^{-\int_0^t \lambda_s(t) dt}$$

Da qui otteniamo che il rateo di guasto del sistema è uguale alla somma dei ratei di guasto dei singoli componenti:

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

2. SISTEMI PARALLELO

Un sistema di n componenti è considerato parallelo a funzionamento permanente rispetto ad un determinato evento guasto, se tale evento si verifica nel momento in cui un certo numero di componenti o tutti i componenti del sistema sono guasti.

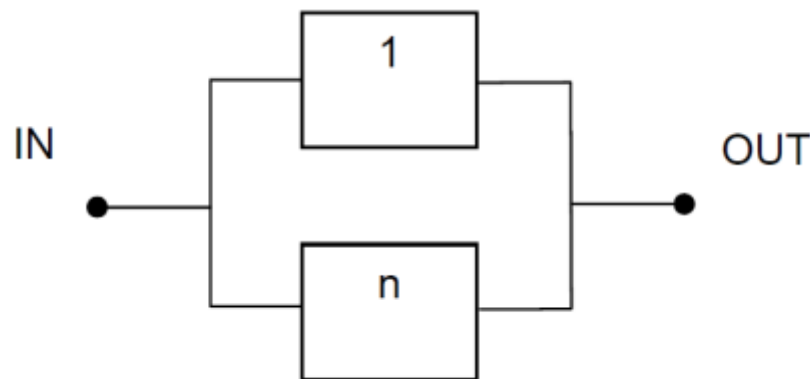


Figura 6: Schematizzazione di un sistema in parallelo a funzionamento permanente.

Si parla di ridondanza semplice se ci troviamo nel caso in cui tutti i componenti sono guasti e quindi è guasto anche il sistema; si parla di ridondanza multipla quando, invece, almeno due componenti sono funzionanti in modo da garantire il funzionamento del sistema.

Se consideriamo un sistema parallelo a funzionamento permanente in ridondanza semplice, l'affidabilità viene calcolata partendo dalla guastabilità del sistema, tenendo presente che il sistema è guasto al generico istante se tutti i componenti sono guasti in quel preciso istante.

In base a quanto detto:

$$G_s(t) = \prod_{i=1}^n G_i(t) = \prod_{i=1}^n (1 - A_i(t)) = \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\int_0^t \lambda_i(t) dt})$$

$$A_s(t) = 1 - G_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\int_0^t \lambda_i(t) dt})$$

1.5.7 Manutenibilità di un componente

La *manutenibilità* rappresenta la probabilità che un componente venga riparato entro un determinato tempo t e si indica con $F(t_r)$. Viene espressa secondo la relazione:

$$F(t_r) = \int_0^{t_r} f(t_r) \cdot dt_r$$

dove:

- $f(t_r)$ corrisponde alla densità di probabilità dei tempi di riparazione e vale

$$f(t_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma \cdot t_r}} \cdot e^{-\frac{(\ln t_r - m)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

- t_r è la distribuzione di probabilità dei tempi di riparazione.

Il tempo medio di riparazione MTTR, invece, è dato da:

$$MTTR = \int_0^{\infty} t_r \cdot f(t_r) \cdot dt_r = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma}} \cdot e^{-\frac{(\ln t_r - m)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \cdot dt_r$$

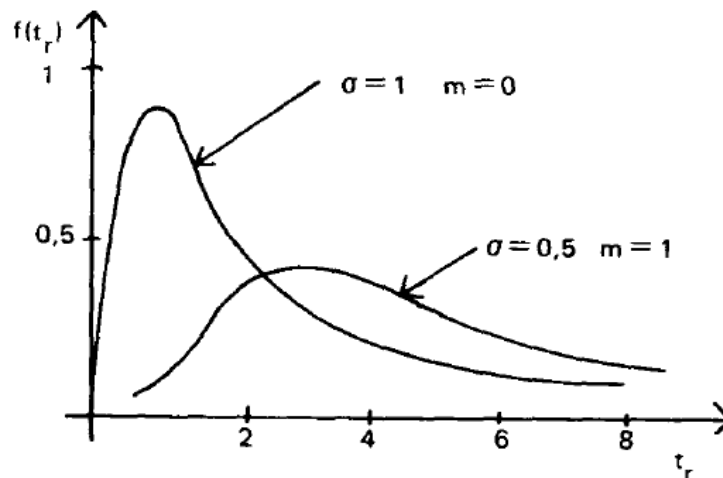


Figura 7: Andamento della funzione densità di probabilità del tempo di riparazione.

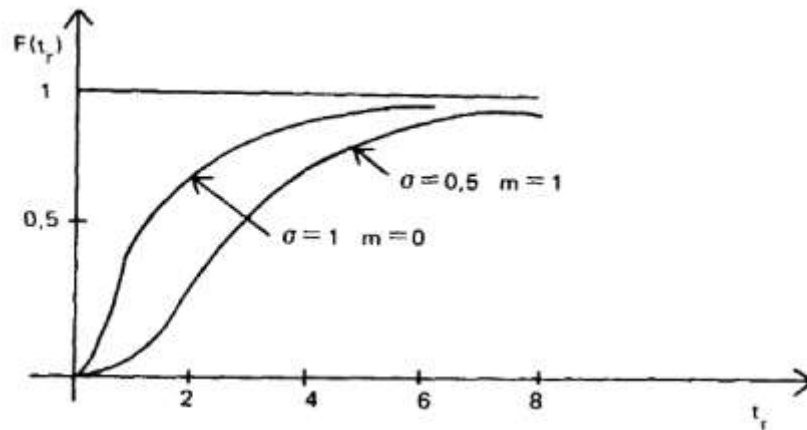


Figura 8: Andamento manutenibilità.

1.5.8 Disponibilità

Prima di arrivare a quella che è la funzione che descrive la diponibilità, è necessario introdurre l'up time, il down time ed il total time.

Si definisce “Up Time” (UT) il tempo in cui il componente o sistema è realmente disponibile e funziona in maniera corretta; corrisponde al tempo in cui il sistema potrebbe essere in esercizio.

Si definisce “Down Time” (DT) il tempo in cui il componente o sistema è fuori servizio; esso è la risultante di numerosi fattori concorrenti.

Infine, si definisce “Total Time” (TT) la somma tra il down time e l'up time, ovvero il tempo totale.

Quindi, la disponibilità si può esprimere come:

$$A = \frac{\sum UT_i}{TT} = \frac{\sum UT_i}{\sum UT_i + \sum DT_i}$$

Al fine di ridurre al minimo le perdite e minimizzare le fermate, bisogna cercare di aumentare il più possibile la disponibilità, il che vuol dire aumentare la manutenibilità e l'affidabilità dei componenti in esercizio.

Nel caso di manutenzione in seguito a guasto, è possibile identificare una serie di tempi componenti, la cui somma dà il valore complessivo del tempo di fermata in seguito a guasto. Di seguito sono riportati i tempi:

- **tempo di preparazione:** corrisponde al tempo necessario per ottenere gli strumenti per i controlli, le apparecchiature, i manuali di manutenzione e per la fornitura degli strumenti fondamentali per localizzare il guasto;

- **tempo di localizzazione:** è il tempo durante la quale il guasto deve essere individuato;
- **tempo di smontaggio:** è il tempo in cui si accede alle parti guaste per poi decidere come comportarsi con il guasto;
- **tempo di ottenimento dei pezzi di ricambio:** è quella parte di tempo di manutenzione dove si vanno ad ordinare i pezzi di ricambio al magazzino per i componenti da sostituire;
- **tempo di riparazione:** è il tempo durante la quale viene riparata la parte guasta mediante o riparazione in loco, o con rimozione, o ancora mediante rimozione e sostituzione con pezzi di ricambio;
- **tempo di aggiustaggio e calibrazione:** corrisponde al tempo durante la quale si effettuano le operazioni di calibrazione e aggiustaggio del componente riparato;
- **tempo di riassetto:** è il tempo necessario per rimontare la macchina;
- **tempo di verifica:** è quella parte del tempo di manutenzione durante la quale ci si accerta che l'apparecchiatura riparata funzioni correttamente;
- **tempo di pulizia e chiusura:** corrisponde al tempo di manutenzione necessario a riassegnare la macchina alla sua funzione.

1.6 Politiche di manutenzione

Al fine di poter garantire la disponibilità dei sistemi, la loro sicurezza e l'impiego in maniera ottimale delle risorse ambientali, è necessario mettere in atto azioni gestionali e conservative che consistono in un insieme di attività tecniche e amministrative: si tratta delle politiche di manutenzione. Esse sono il tipo di risposta che va a coinvolgere l'azione manutentiva nel momento in cui si manifesta un guasto o un'avaria.

1.6.1 Tipi di politiche manutentive

In base al fabbisogno da fronteggiare si adotta un determinato tipo di risposta manutentiva, dalla quale dipende l'economicità di esercizio del sistema interessato da questi fenomeni. Tale economicità è una conseguenza dei vari costi di mancanza attribuibili ai fabbisogni di manutenzione, dei costi per effettuare gli interventi di manutenzione, e degli strumenti tecnici e culturali che sono stati messi a punto per comprendere e governare i fabbisogni di manutenzione e le conseguenti azioni manutentive.

Le principali politiche manutentive sono:

- manutenzione correttiva;
- manutenzione preventiva;
- manutenzione predittiva;
- manutenzione migliorativa;
- manutenzione produttiva.

Ovviamente non tutti i tipi di manutenzione risultano convenienti in ogni impianto, ma ci sono dei motivi di natura economica, piuttosto che tecnologica, che ci portano a scegliere quale politica manutentiva applicare.

1.6.1.1 Manutenzione correttiva

Si definisce manutenzione correttiva o a guasto:

«la manutenzione eseguita a seguito della rilevazione di un'avaria e volta a ripristinare l'entità in uno stato in cui essa possa eseguire una funzione richiesta» (UNI EN 13306:2018 Manutenzione – Terminologia di Manutenzione).

Si tratta del modo più antico e semplice di intervenire e che per prima ha portato alla piena affermazione della professionalità dei manutentori.

Nei sistemi non critici (come, ad esempio, quelli con le linee buffer) e facili da rimpiazzare a basso costo può risultare conveniente aspettare che si presenti il guasto per poi effettuare un intervento di “ripristino” per riportare il sistema alle stesse prestazioni che aveva prima del manifestarsi del guasto.

Adottando questo tipo di politica manutentiva, però, si va incontro a numerosi fattori negativi che possono essere sintetizzati così:

- i guasti si presentano in maniera casuale e spesso nel momento meno opportuno;
- se il guasto su un componente è grave, può provocare conseguenze dannose su altri elementi del sistema, aumentando ancora di più i costi;
- riparazioni non programmate comportano tempi lunghi, andando ad ostacolare la produzione.

1.6.1.2 Manutenzione preventiva

Viene definita:

«la manutenzione eseguita, destinata a valutare e/o a mitigare il degrado e a ridurre la probabilità di guasto di un'entità» (UNI EN 13306:2018 Manutenzione – Terminologia di Manutenzione).

Questo tipo di manutenzione si basa sulla determinazione della vita media dei vari componenti che costituiscono una macchina in modo tale da intervenire, in funzione del tempo vita atteso del componente, prima che si verifichi un guasto della macchina o della linea di produzione. Sicuramente, con la manutenzione preventiva, siamo un passo avanti rispetto quella correttiva, in quanto l'intervento viene effettuato a sistema ancora funzionante, anche se le prestazioni risultano inferiori e ci si trova in una situazione di guasto imminente.

In base al metodo con cui vengono determinati gli intervalli di tempo e alla definizione dei criteri prescritti, è possibile distinguere tre tecniche manutentive all'interno della manutenzione preventiva:

- la *manutenzione programmata statica*, all'interno della quale vengono fissati gli intervalli e i criteri prescritti per tutta la vita utile del componente;
- la *manutenzione programmata dinamica*, dove gli intervalli sostitutivi vengono determinati in base alla storia della macchina stessa. Attraverso la rilevazione del tempo medio tra i guasti (MTBF), è possibile stilare un calendario di intervento preventivo basato su una specifica probabilità che il guasto non si manifesti nell'intervallo che c'è tra due sostituzioni successive;
- la *manutenzione su condizione*, invece, tende ad evitare di bloccare capitali importanti per garantire le parti di ricambio necessarie per coprire tutte le eventualità e favorisce la manutenzione solo se necessaria.

Con il tempo si è arrivati a capire che la manutenzione preventiva tende a far salire i costi di impiego delle risorse umane e dei materiali tecnici, senza incrementare effettivamente il tempo di disponibilità degli impianti.

1.6.1.3 *Manutenzione predittiva*

Si definisce come:

«manutenzione secondo condizione eseguita in seguito a una previsione derivata dall'analisi ripetuta o da caratteristiche note e dalla valutazione dei parametri significativi afferenti il degrado dell'entità» (UNI EN 13306:2018 Manutenzione – Terminologia di Manutenzione).

Il suo scopo è quello di minimizzare, per quanto possibile, il numero di ispezioni e revisioni che potrebbero dar luogo a guasti o deterioramenti.

Sulla base di alcuni parametri che consentono di capire quello che è lo stato reale della macchina e che sono rilevati attraverso delle misure, ispezioni, controlli non

distruttivi, prove operative o funzionali, viene definita quella che è la manutenzione predittiva. Tutte queste operazioni permettono di rilevare quando le prestazioni di un componente si riducono e, di conseguenza, di decidere se intervenire in maniera anticipata andando a sostituire il componente prima che si verifichi il guasto.

Questo tipo di manutenzione si basa su tecniche quali:

- *monitoraggio della rispondenza alle specifiche;*
- *monitoraggio visivo;*
- *monitoraggio delle vibrazioni del rumore;*
- *monitoraggio dei detriti da usura.*

Questa pratica manutentiva non utilizza metodi probabilistici per effettuare una prognosi dei guasti, bensì sfrutta i trend dei parametri monitorati per prevedere i guasti. Si tratta, quindi, di una sorta di processo diagnostico che consente di pianificare operazioni di manutenzione basandosi su quello che è lo stato reale dei componenti, anziché sul tempo di funzionamento.

La manutenzione su condizione comporta benefici economici e operativi, aiuta ad aumentare la sicurezza degli impianti e dei dipendenti, assicura che l'impianto sia utilizzato in maniera efficace. Oltre a quelli già citati, ci sono una serie di vantaggi non trascurabili, che vengono riportati qui di seguito.

- *sicurezza:* grazie al tempo di risposta della manutenzione su condizione è possibile predisporre il fermo macchina prima di arrivare alle condizioni critiche;
- *maggior efficienza dell'impianto e migliore qualità:* questo è possibile variando le condizioni di funzionamento della macchina, al fine di ottenere un miglior compromesso tra il tempo di produzione e lo stato della macchina;
- *aumento della disponibilità dell'impianto e minori costi di manutenzione:* questo perché si possono aumentare gli intervalli tra due successive revisioni;
- *migliore relazione con i clienti:* è possibile organizzare meglio la produzione sapendo in anticipo quando si presenterà il guasto;
- *opportunità di progettare meglio impianti futuri:* attraverso l'esperienza acquisita nel tempo si potranno migliorare gli impianti futuri;
- *aumento della soddisfazione del lavoro:* il manager di manutenzione è in grado di pianificare meglio il lavoro del personale al suo servizio.

1.6.1.4 *Manutenzione migliorativa*

Si definisce manutenzione migliorativa, anche detta proattiva:

«l'insieme delle azioni di miglioramento o piccola modifica che non incrementano il valore patrimoniale del bene» (UNI 10147:2013 Manutenzione – Termini aggiuntivi alla UNI EN 13306 e definizioni).

Si tratta di una serie di azioni mirate a correggere le condizioni che possono condurre al deterioramento del sistema, anticipando qualsiasi danno relativo al materiale o alla prestazione del sistema. Questo tipo di manutenzione, in particolare, si propone di individuare e correggere valori anomali che sarebbero in grado di portare a condizioni di instabilità operativa. Tali condizioni rappresentano il primo livello di malfunzionamento che viene chiamato “guasto condizionale”.

La manutenzione migliorativa costituisce una prima sorta di “difesa” contro il degrado del materiale e il conseguente indebolimento delle prestazioni che, per forza di cose, porterebbero al guasto. Si riesce, in tal modo, a garantire un’affidabilità elevata con importanti tempi di utilizzo per i vari componenti del sistema, incidendo sui valori del tasso di guasto e del tempo medio tra i guasti. Inoltre, si eviterebbe il verificarsi di molti guasti secondari che si potrebbero presentare sugli elementi adiacenti a quello in esame.

Tale pratica presenta una fase iniziale nella quale viene eseguita un’attività di monitoraggio dei parametri chiave, attraverso i quali è possibile valutare la criticità delle cause prime di guasto: se viene identificata una condizione di instabilità, vuol dire che si è in presenza di un guasto condizionale; vi è poi una fase successiva nella quale si vanno a correggere i fattori critici individuati. Nello specifico, la manutenzione migliorativa viene svolta seguendo questi step:

- monitoraggio dei parametri chiave che indicano lo stato del sistema;
- definizione dei valori di soglia, ovvero quei valori massimi accettabili per ogni parametro;
- riconoscimento e interpretazione di valori anomali dei parametri chiave, i quali indicano una instabilità delle condizioni operative;
- indicazione dei metodi e dei mezzi da utilizzare, al fine di correggere le cause prime di guasto e ripristinare la stabilità del sistema.

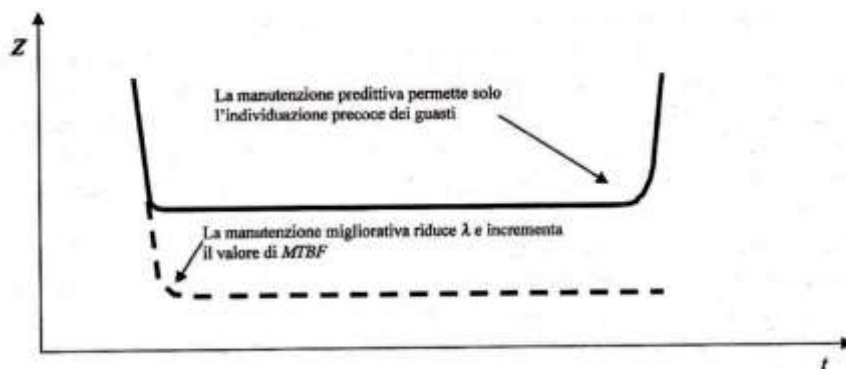


Figura 9: Effetto sul rateo di guasto della manutenzione migliorativa.

1.6.1.5 Manutenzione produttiva

Per manutenzione produttiva – detta anche Total Productive Maintenance (TPM) – si intende l'insieme di azioni volte alla prevenzione, al miglioramento continuo e al trasferimento di funzioni elementari di manutenzione al conduttore dell'entità, avvalendosi del rilevamento di dati e della diagnostica sull'entità da mantenere.

La TPM ha come obiettivo quello di ottenere la massima efficienza e la massima affidabilità dell'impianto per poter ridurre tutti i costi che vengono sostenuti nel ciclo di vita utile dell'impianto. Si tratta di un mix completo di tecniche, che vanno dalle politiche manutentive fino alla pianificazione degli interventi. Prevede, inoltre, il coinvolgimento operativo di tutto il personale dell'azienda, dalla dirigenza agli operatori in linea.

Una delle caratteristiche fondamentali di questo tipo di manutenzione è che essa punta ad eliminare alcune delle cause di guasto delle macchine, legate principalmente ad errori di progettazione e gestione dell'impianto. Questi tipi di cause sono:

- *errori di progetto*, ovvero quegli errori commessi in fase di progetto, costruzione ed installazione;
- *errori di esercizio*, cioè errori in avviamento o conduzione;
- *errori di manutenzione*, che possono avvenire nell'esecuzione degli interventi di ripristino.

È possibile sintetizzare il processo di manutenzione produttiva con i seguenti punti:

- *mantenere* l'impianto nelle condizioni ottimali per tutta la sua vita utile, sfruttando le risorse che già sono state acquisite dalla manutenzione;
- *gestire* l'impianto in maniera globale, in modo tale da ottenere quanto detto nel punto precedente;
- *proteggere* l'impianto dal deterioramento;

- *correggere* le imperfezioni di progetto;
- *prevenire* gli errori degli operatori attraverso la formazione.

Come già detto in precedenza, la TPM coinvolge settori aziendali diversi e va ben oltre la singola attività di riparazione del guasto; in particolar modo, la vera e propria innovazione è stata portata attraverso l'introduzione della manutenzione autonoma. Si definisce manutenzione autonoma – o anche detta automanutenzione – l'insieme delle azioni manutentive eseguite dal personale di esercizio. Quando si parla di affidabilità e disponibilità bisogna, quindi, interpretarle anche come capacità, da parte dell'impianto, di fornire le prestazioni migliori.

Quindi lo scopo della manutenzione autonoma è quello di realizzare un sistema di gestione globale che consenta il miglioramento delle prestazioni dell'impianto ed il mantenimento, a livelli ottimali, di queste prestazioni.

1.6.2 La scelta della politica manutentiva da applicare

Per spiegare come si effettua la scelta della politica manutentiva da applicare, utilizzo la normativa **UNI 10366:2007 Manutenzione - Criteri di progettazione della manutenzione**, all'interno della quale è riportata l'intera procedura.

La scelta della politica manutentiva che più si adatta al bene da mantenere dipende dalle seguenti valutazioni:

- effetti prodotti dal guasto del bene sulla sicurezza del personale, sulla tutela dell'ambiente, sul danneggiamento del bene stesso e sulla produttività aziendale;
- obiettiva necessità e possibilità di applicare, a un bene considerato critico, una tipologia di intervento manutentivo in funzione delle modalità di guasto;
- convenienza economica di implementare la tipologia manutentiva individuata.

Queste tre categorie di valutazioni si riflettono nelle seguenti fasi, nelle quali viene articolato il processo di selezione delle politiche di intervento.

Prima fase: Individuazione dei beni critici

Gli elementi discriminanti in questa fase, in ordine di priorità, sono:

- a) la sicurezza delle persone in caso di guasto;
- b) gli effetti sull'ambiente in caso di guasto;
- c) le disposizioni legislative in materia di controlli periodici e di collaudi;
- d) la disponibilità richiesta al bene dai piani di produzione;
- e) l'esistenza di beni di riserva;

- f) la possibilità di alternative al flusso produttivo;
- g) l'effetto sulla qualità del prodotto;
- h) l'effetto sul maggiore danneggiamento e/o del bene.

Gli elementi a), b) e c) devono essere valutati singolarmente, mentre gli elementi d), e), f), g), h), e i) devono essere valutati globalmente, considerando le possibili alternative.

Questi beni non richiedono altre analisi e pertanto si possono individuare le tipologie d'intervento più idonee al loro comportamento:

- intervento a guasto;
- manutenzione preventiva ciclica;
- manutenzione secondo condizione predittiva;
- manutenzione migliorativa.

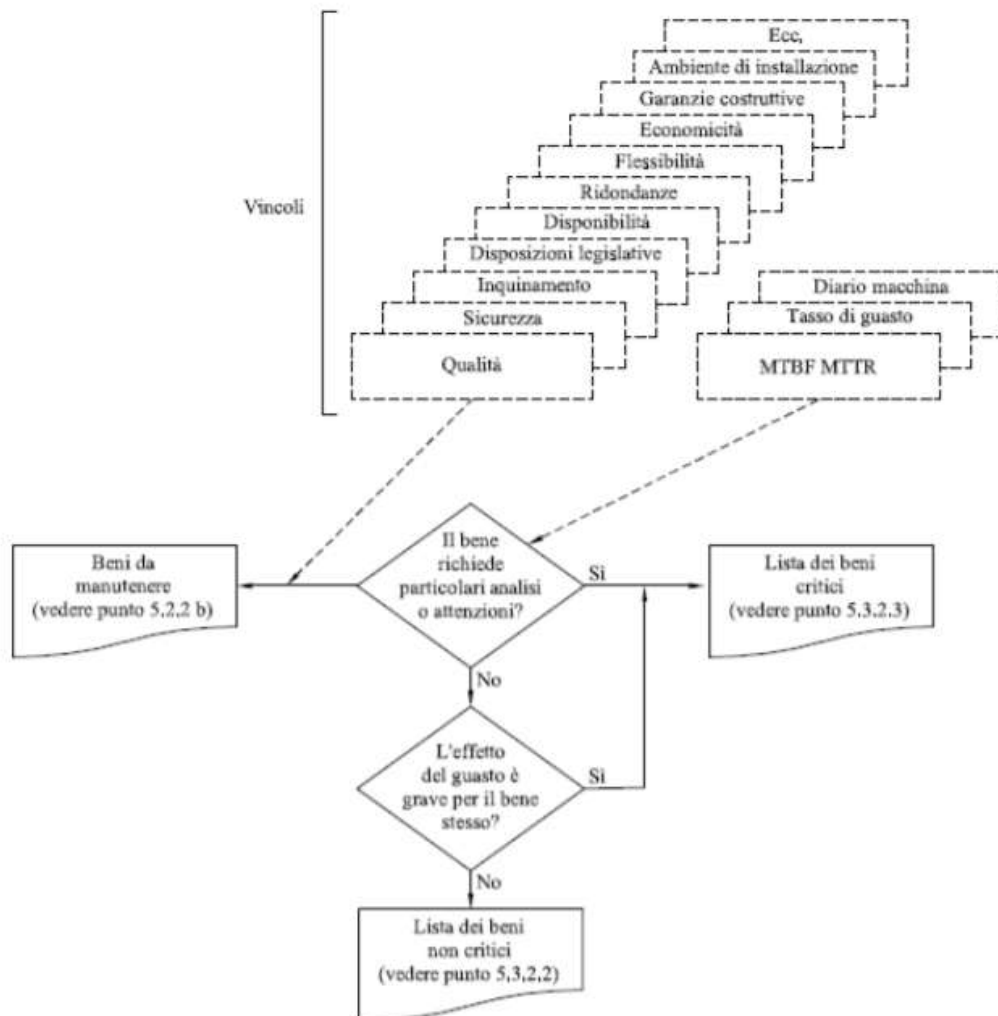


Figura 10: Diagramma di flusso per l'individuazione dei beni critici.

Seconda fase: Beni critici – Considerazioni sulle politiche di intervento

È necessario ottimizzare l'affidabilità e la disponibilità dei beni critici.

Bisognerebbe preferire, alle politiche d'intervento a guasto, le politiche di manutenzione preventiva e, tra queste, quelle che effettuano interventi secondo condizione o predittivi.

Bisogna studiare e realizzare interventi migliorativi al fine di aumentare l'affidabilità, la disponibilità e la manutenibilità dei beni.

Gli strumenti che permettono di esplorare le reali possibilità d'impiego dei vari tipi di intervento sono:

- l'analisi dei modi di guasto dei sottoinsiemi, dei componenti e delle varie parti elementari che costituiscono il bene;
- l'analisi degli effetti che il guasto di ogni componente esercita sulla disponibilità intrinseca dei beni.

I criteri informativi e le più importanti linee di sviluppo della metodologia sono:

- costituire un gruppo formato da più discipline che esaminino il fenomeno guasto in un'ottica di processo e di prodotto;
- scomporre il bene considerato in parti funzionali, insiemi e componenti;
- per ogni insieme e/o componente individuare e quantificare i possibili modi di guasto, la loro frequenza e durata, gli effetti sulla quantità e sulla qualità dei prodotti;
- attribuire ad ogni componente esaminato un indice di criticità del guasto;
- nei componenti dove i guasti sono più critici si deve analizzare e identificare la causa riferibile al guasto;
- controllare lo stato in cui si trova il componente guasto e verificare la sua idoneità alla funzione richiesta;
- pianificare le attività di manutenzione ciclica, quelle d'ispezione e di monitoraggio, le azioni correttive e migliorative, i programmi di manutenzione autonoma, la gestione dei ricambi.

L'indice di criticità del guasto ha come obiettivo la classificazione della gravità del guasto attraverso determinati parametri, non per assegnare un valore assoluto, ma per definire delle priorità di gravità.

Tale indice deve tenere conto della:

- frequenza del guasto;

- durata del malfunzionamento legata al singolo guasto;
- classificazione delle conseguenze del guasto, che possono riguardare perdite di produzione, scarti, derive qualitative e pericolo per il personale o l'ambiente.

Terza fase: Valutazione economica

La scelta delle diverse politiche di manutenzione è determinata dal grado di criticità che il bene riveste all'interno del ciclo produttivo dell'azienda e anche dalla valutazione economica delle possibili scelte, senza considerare i principi di sicurezza delle persone e dell'ambiente.

Può risultare utile applicare metodi come l'Analisi dei Costi – Efficacia (ACE) o l'Analisi Costi – Benefici (ACB). Tali metodi prevedono la valutazione del costo globale di manutenzione.

Il costo globale di manutenzione esprime il costo che l'azienda deve sostenere per effettuare una certa politica di manutenzione e tutta una serie di costi causati dal guasto.

Il costo proprio della semplice manutenzione a guasto è espresso da: manodopera, attrezzature, costi generali di struttura, materiali e ricambi. A questi costi vanno aggiunti:

- i costi di preparazione e programmazione lavori per la manutenzione preventiva ciclica;
- i costi di preparazione e programmazione, i costi di controlli e ispezioni e i costi per ammortamento e oneri finanziari relativi agli strumenti per il monitoraggio dei beni, tutti per la manutenzione preventiva su condizione.

I costi dovuti al tipo di politica di manutenzione comprendono gli immobilizzi dei ricambi a magazzino saranno tanto più elevati quanto minore sarà la programmazione dei lavori.

I costi indotti dal guasto sono:

- il costo di indisponibilità del bene e conseguente mancata produzione;
- il costo d'immobilizzo delle scorte di prodotto finito, necessario per la variabilità della produzione causata dal basso grado di affidabilità degli impianti;
- il costo dovuto agli scarti di prodotti che hanno subito il guasto e che a causa di esso presentano dei difetti;
- il costo derivante dal disservizio causato dalla mancata erogazione del servizio.

Si può presupporre che alla manutenzione a guasto si contrappongano dei costi indotti elevati. Può anche succedere che la riduzione dei tempi di fermata e l'aumento

della disponibilità non sia tale da compensare il maggior onere derivante da alcune politiche di intervento più sofisticate.

Si deve continuare ad ottimizzare le politiche aziendali di manutenzione al fine di migliorare la redditività aziendale, il servizio erogato e, in particolare, il risultato operativo.

2. Apparecchiature degli impianti di processo

Un qualsiasi impianto di processo, per poter funzionare in maniera adeguata e svolgere i compiti per il quale è stato progettato, necessita della presenza di determinate apparecchiature. In questo capitolo sono proprio loro le protagoniste, in particolar modo si parlerà di valvole, pompe e serbatoi. La trattazione di questi ultimi è basata su quanto studiato nel corso di impianti meccanici tenuto dal Prof. Emanuele Ciarapica e sulle slides da lui stesso forniteci come materiale di studio.

2.1 Valvole

Le valvole sono dei “ponti termici” e costituiscono gli elementi di intercettazione e di regolazione del flusso dei fluidi all’interno delle reti di trasferimento; servono a regolare sia la portata che la pressione dei fluidi.

Esse vengono suddivise in valvole di:

- intercettazione
- non ritorno
- sicurezza
- regolazione.

2.1.1 Valvola di intercettazione

La valvola di intercettazione è così denominata perché, appunto, intercetta il flusso del fluido. Consente il completo passaggio del fluido con piccola perdita di carico se la valvola è aperta, mentre impedisce il passaggio del fluido con tenuta perfetta se la valvola è chiusa. Non consente di regolare il flusso.

Esistono diversi tipi di valvole di intercettazione, tra le quali troviamo quelle a saracinesca, a sfera, a tappo e a farfalla.

1) Valvola a saracinesca

La valvola a saracinesca apre su tutta la sezione della tubazione. L’azione di chiusura è esercitata da un otturatore, il quale viene mosso dallo stelo e scorre sulle guide del corpo valvola, fino a venire a contatto con dei seggi anulari. Il corpo cuneiforme, di cui la saracinesca è costituita, esercita sulle sedi fisse della valvola una notevole pressione che garantisce la tenuta.

Questo tipo di valvola viene utilizzato per fluidi ad alta pressione in quanto impedisce molto bene al fluido di trafilare.

Principali caratteristiche:

- ottima intercettazione del fluido;
- risparmio di energia di pompaggio per via delle basse perdite di carico;
- alto costo;
- azione di serraggio lenta.

Principali campi di applicazione:

- acqua;
- aria;
- oli;
- combustibili.



Figura 11: Valvola a saracinesca.

2) Valvola a sfera

La valvola a sfera è costituita da un otturatore sferico, il quale, mediante una rotazione di 90° attorno all'asse principale, intercetta il fluido. L'otturatore, all'interno della valvola, è schiacciato contro due sedi laterali, le quali hanno il compito di garantire la tenuta, non facendo passare il fluido. La tenuta della valvola verso l'esterno viene assicurata da opportune guarnizioni che sono montate sul perno in maniera apposita.

Un difetto di questo tipo di valvola di intercettazione è la non perfetta tenuta da parte delle guarnizioni, le quali non consentono un serraggio ottimale per i fluidi ad alta

pressione; infatti, le valvole a sfera vengono utilizzate solamente con fluidi a basse pressioni.

Principali caratteristiche:

- apertura e chiusura molto rapide;
- risparmio di energia di pompaggio per via delle basse perdite di carico;
- indicazione visuale immediata sulla posizione della valvola tramite l'asta di prova.

Principali campi di applicazione:

- reti vapore;
- impianti antincendio;
- idrocarburi liquidi;
- gas industriali;
- gas inerti;
- gas naturale;
- fluidi sporchi e slurry.

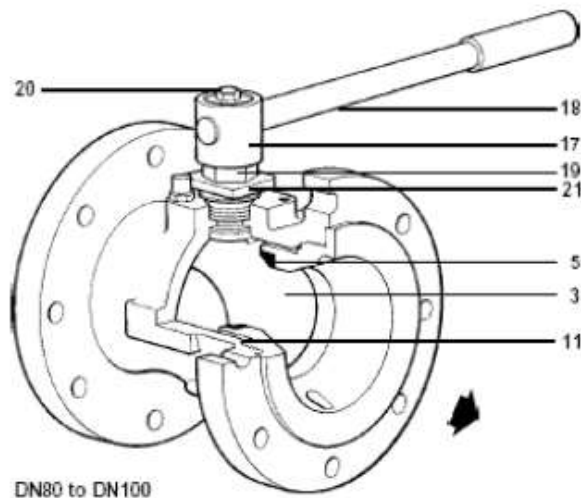


Figura 12: Valvola a sfera.

3) Valvola a farfalla

Nella valvola a farfalla l'otturatore è costituito da un disco che ruota attorno ad un'asse diametrale, fino ad arrivare in contatto con la sede diametrale a valvola completamente chiusa. Quindi, quando il disco è parallelo al flusso del fluido la valvola è aperta, mentre quando è perpendicolare al flusso del fluido la valvola è chiusa.

Solitamente la chiusura completa non è perfetta a causa della presenza di trafiletti. Proprio per questo motivo, la valvola a farfalla non può essere utilizzata per pressioni troppo elevate; sono particolarmente adatte in presenza di grandi diametri.

Principali caratteristiche:

- compattezza, occupano uno spazio ridotto nella tubazione;
- leggerezza, sono supportate facilmente dalle tubazioni;
- facilità di esercizio dovuta al basso valore di coppia per la chiusura;
- basso o nullo accumulo di sporcizia nel corpo valvola;
- risparmio di energia di pompaggio per via delle basse perdite di carico;
- efficiente gestione dell'energia dovuta alla facilità di isolamento termico della valvola.

Principali campi di applicazione:

- acque di alimento caldaie;
- pompe di circolazione;
- acqua di condensazione;
- gas inerti.

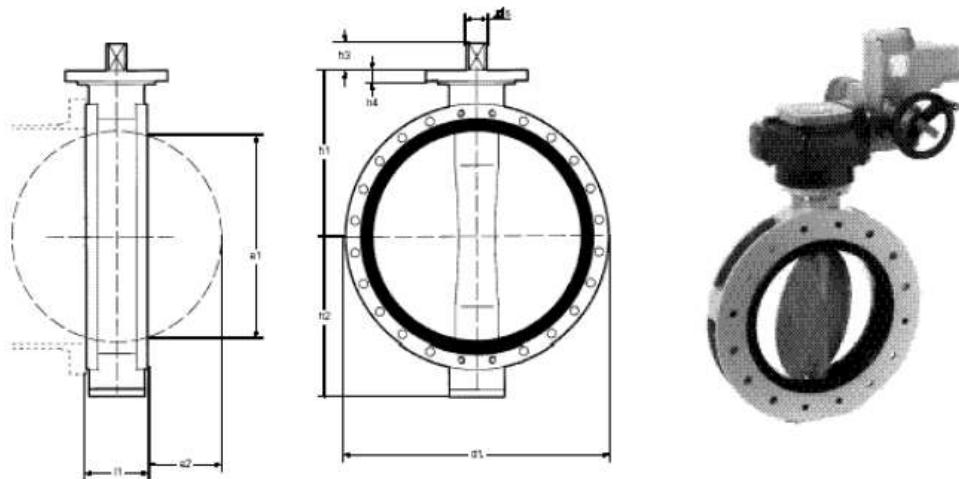


Figura 13: Valvola a farfalla.

4) Valvola a tappo

La valvola a tappo è costituita, appunto, da un otturatore “a tappo”, il quale, se poggia completamente sulla sede – quindi se è abbassato – la valvola è chiusa; se, invece, l’otturatore si trova alla distanza massima dalla sua sede, allora la valvola è completamente aperta. È possibile che l’otturatore assuma posizioni intermedie al fine di regolare il flusso.

Ci sono principalmente due tipi di tappi e sono: il tappo di intercettazione ed il tappo di regolazione. Sostanzialmente quello più utilizzato è il tappo di intercettazione

in quanto ha una buona efficacia, mentre per la regolazione si hanno delle perdite di carico non irrilevanti.

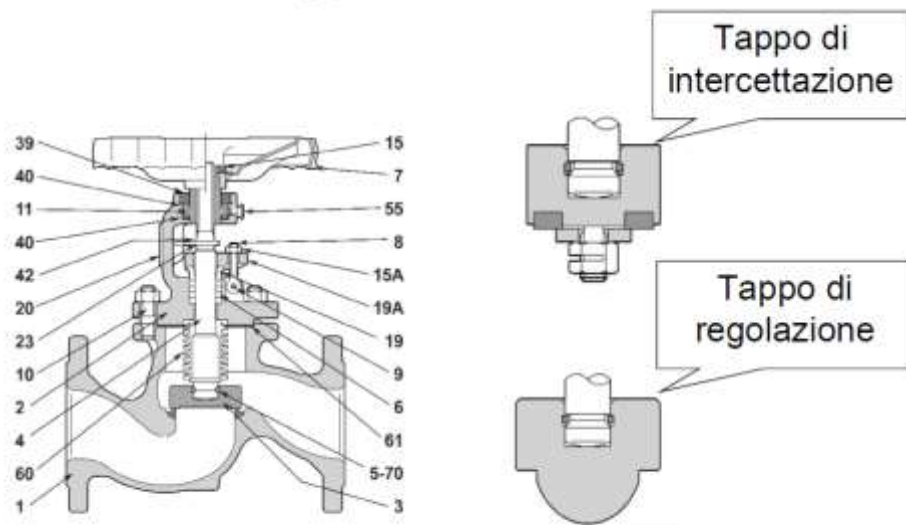


Figura 14: Valvola a tappo.

2.1.2 Valvola di non ritorno

La valvola di non ritorno o di ritegno è un dispositivo che permette il passaggio del fluido in una sola direzione, impedendo il ritorno del flusso. Questo avviene attraverso un organo di chiusura, che può essere di diversi tipi, come il clapet o la sfera. Solitamente tale organo rimane in posizione di chiusura se non c'è una pressione positiva tale da aprire la valvola stessa, mentre rimane chiusa se vi è una pressione negativa.

La valvola di non ritorno viene utilizzata, ad esempio, per evitare dispersione di fluidi che potrebbero essere nocive oppure, nel caso in cui si arrestasse una pompa, per evitare lo svuotamento dell'impianto.

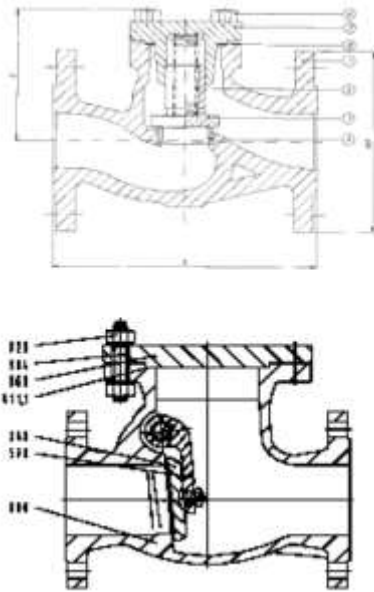


Figura 15: Valvola di non ritorno.

2.1.3 Valvola di sicurezza

In generale, la valvola di sicurezza ha lo scopo di mantenere in sicurezza l'impianto. Il più delle volte, viene utilizzata per impedire il superamento di valori di pressione pericolosi per l'integrità delle tubazioni e delle apparecchiature ad essa collegate. Quando viene raggiunta la pressione massima stabilita, allora la valvola si apre facendo fuoriuscire il fluido.

Essa è costituita da un corpo in metallo al cui interno è ricavato un condotto che ha lo scopo di mettere in comunicazione il fluido con l'atmosfera. Tale condotto, in normali condizioni di esercizio, è chiuso da un otturatore. Sull'otturatore, da un lato viene esercitata una forza da un peso o una molla, dall'altro è il fluido ad esercitare una forza. Quando la forza dovuta alla pressione del fluido riesce a vincere la forza agente per effetto della molla o del peso, l'otturatore si alza e permette la rapida fuoriuscita del fluido.

In base a come viene applicato il carico sull'otturatore, distinguiamo le valvole di sicurezza a peso diretto, a peso e leva, e a molla diretta.

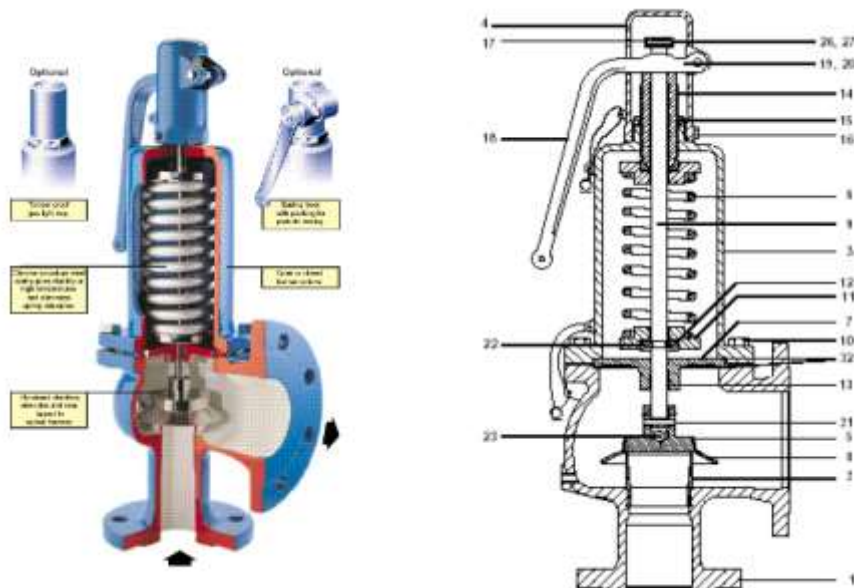


Figura 16: Valvola di sicurezza.

1) Valvola a peso diretto

In questo tipo di valvole, il carico sull'otturatore è costituito da un peso applicato direttamente sull'otturatore stesso. Quando la forza esercitata dalla pressione del vapore supera la forza esercitata dal peso sull'altro lato dell'otturatore, allora la valvola si apre.

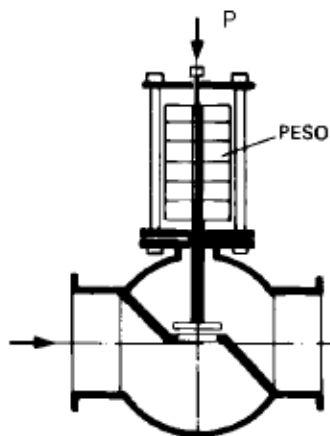


Figura 17: Valvola a peso diretto.

2) Valvola a peso e leva

Nella valvola a peso e leva il carico sull'otturatore è costituito da un peso che grava, mediante una leva, sull'otturatore. Quando il peso da applicare sull'otturatore, per vincere la forza esercitata dalla pressione del fluido, diventa

molto grande, si può utilizzare la valvola a peso e leva al posto della valvola a peso diretto.

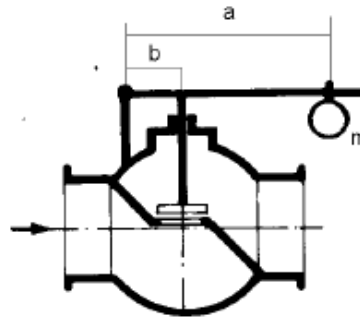


Figura 18: Valvola a peso e leva.

3) Valvola a molla diretta

Nella valvola a molla diretta il carico sull'otturatore è costituito dalla forza esercitata da una molla compressa tra una superficie fissa e l'otturatore. Questo tipo di valvole presentano dei vantaggi rispetto alle tradizionali valvole di sicurezza in quanto, a parità di dimensioni dell'orifizio, le valvole a molla diretta sono in grado di scaricare una quantità di fluido maggiore rispetto a quelle tradizionali; inoltre, presentano una maggiore accuratezza nella costruzione, quindi riescono a garantire una maggiore affidabilità.

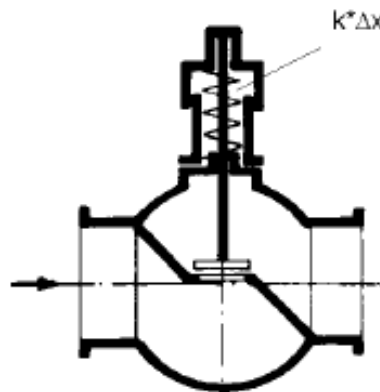


Figura 19: Valvola a molla diretta.

2.1.4 Valvola di regolazione

La valvola di regolazione è così denominata perché, appunto, permettono di regolare il flusso del fluido. L'otturatore di questo tipo di valvola può essere completamente aperto, completamente chiuso oppure aperto in posizioni intermedie. Permettono di regolare la portata o la pressione del fluido.

Quando è richiesta una variazione controllata della portata di un fluido, questa può essere ottenuta attraverso una variazione continua della caduta di pressione tramite uno strozzamento regolato della vena fluida.

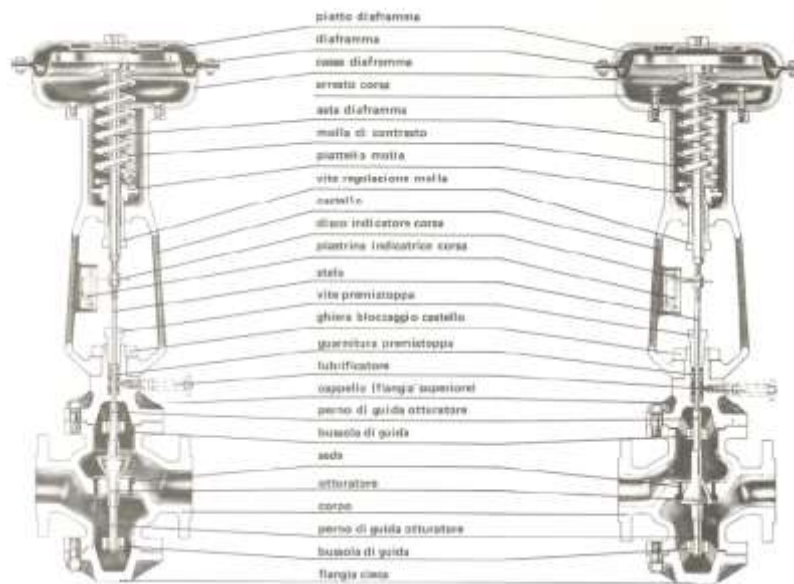


Figura 20: Schema completo valvola di regolazione.

La scelta di una corretta valvola di regolazione è facilitata dall'introduzione di appositi "coefficienti di portata" (A_v , K_v , C_v) i quali consentono di individuare la valvola adatta quando sono noti il salto di pressione che devono determinare, la portata di fluido che le attraversa ed il tipo di fluido.

Queste grandezze sono tra loro correlate dalla nota relazione delle perdite di carico concentrate:

$$\Delta P = \xi \cdot \rho_F \cdot \frac{u^2}{2}$$

u : velocità del fluido nella sezione di passaggio

ρ_F : densità del fluido

ξ : coefficiente di perdita

Coefficiente di portata A_v

A_v rappresenta il coefficiente di portata della valvola. Ha le dimensioni di un'area [m^2], ma non rappresenta la sezione di passaggio della valvola di regolazione. Esso è influenzato dalla contrazione della vena fluida e dalla resistenza idraulica all'interno del corpo. Si tratta di un'area fittizia ricavabile mediante prove. Valvole di tipo diverso ma

con la stessa area di passaggio possono essere caratterizzate da valori di A_v anche molto diversi.

$$A_v = A \cdot \sqrt{\frac{2}{\xi}}$$

A: sezione di passaggio a otturatore aperto

Coefficiente di portata K_v

Il coefficiente di portata K_v di una valvola è la portata volumetrica transitante attraverso la valvola ad una determinata apertura, riferita alle seguenti condizioni:

- caduta di pressione statica tra monte e valle: $\Delta P_{kv} = 1$ bar;
- valvola attraversata da acqua a temperatura di 15°C;
- unità di misura della portata m^3h^{-1} .

$$K_v = q_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{kv}}{\Delta P} \cdot \frac{\rho_F}{\rho_0}}$$

ΔP_{kv} : caduta di pressione statica pari a 1 bar

ΔP : caduta di pressione statica tra monte e valle della valvola espressa in bar o Pascal

ρ_F : densità del fluido espressa in kg/m^3

ρ_0 : densità dell'acqua espressa in kg/m^3 alle condizioni di riferimento

Coefficiente di portata C_v

Nei paesi anglosassoni, il coefficiente di portata viene espresso secondo unità di misura differenti e viene indicato con C_v .

$$C_v = q_v \cdot \sqrt{\frac{\rho_F}{\rho_0} \cdot \frac{\Delta P_{cv}}{\Delta P}}$$

Oppure:

$$C_v = 1,17K_v$$

Di valvole di regolazione ce ne sono diverse, tra le quali troviamo: la valvola miscelatrice e deviatrice, la valvola autoservoazionata e la valvola per la regolazione della temperatura.

1) Valvole miscelatrici e deviatrici

Sia le valvole miscelatrici che quelle deviatrici sono valvole a tre vie, però la valvola miscelatrice ha due ingressi e un'uscita, mentre la valvola deviatrice ha un ingresso e due uscite. Questi tipi di valvole vengono impiegate nei sistemi centralizzati di riscaldamento per poter permettere alle varie abitazioni di scegliere la temperatura desiderata, in quanto la valvola, in base alla scelta fatta, apre un otturatore piuttosto che l'altro.

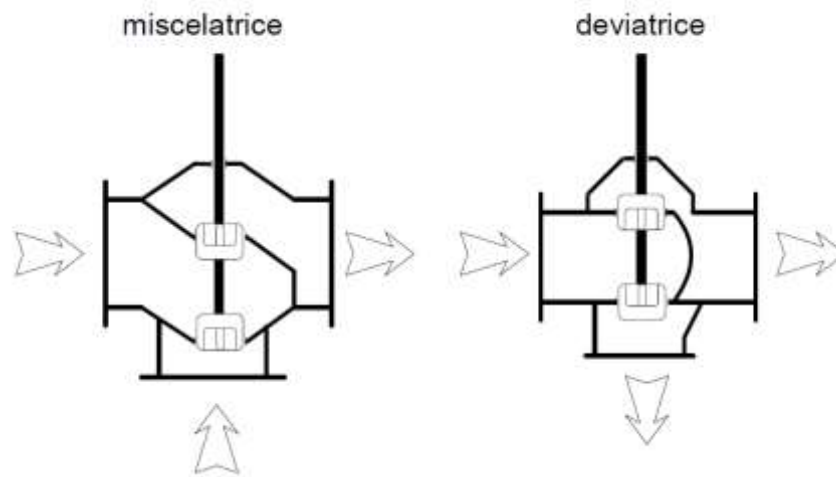


Figura 21: Valvola miscelatrice e valvola deviatrice.

2) Valvola autoservoazionata

La valvola autoservoazionata è un riduttore di pressione che serve, appunto, a regolare le pressioni di gas o vapori. Il riduttore di pressione viene azionato dal sistema pilota, il quale va a bilanciare la pressione a valle attraverso il controllo di una molla che agisce su una valvola pilota modulandone l'apertura. Il flusso del fluido viene, a sua volta, indirizzato verso il diaframma della valvola principale, modulandone il movimento. Se si è in condizioni di carico costante, la pressione nella parte inferiore del diagramma della valvola pilota bilancia la forza che viene esercitata dalla molla di controllo e il flusso viene mantenuto costante verso il diaframma principale. Questa condizione assicura che la valvola principale sia posizionata in modo tale da garantire una pressione costante a valle della stessa. Se la pressione a valle aumenta, la valvola pilota tende a chiudersi. Questo fa diminuire la pressione nella camera del diaframma principale, facendo chiudere la valvola principale. Qualsiasi variazione di carico o pressione viene risentita anche sul diaframma della valvola pilota, la quale andrà a modificare la posizione della valvola principale, garantendo una pressione costante a valle.

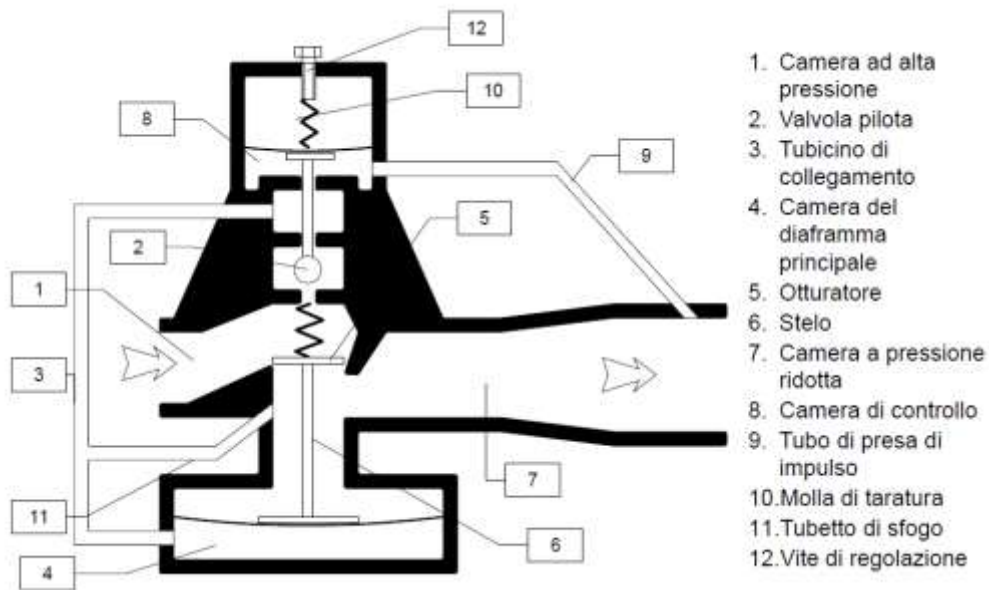


Figura 22: Valvola autoservoazionata.

3) Valvola per la regolazione della temperatura

Questa valvola è costituita da un gruppo termostatico dove vi sono un bulbo sensore (A), un capillare flessibile di collegamento (B) ed un soffietto metallico elastico (C), racchiuso nell'attuatore (D), collegato alla valvola (V) ed in grado di comandare l'otturatore (E). Il bulbo viene messo nel fluido da termoregolare. Attraverso la valvola passa il fluido che riscalda o raffredda: la dilatazione o la contrazione del liquido termostatico provocano variazioni di posizione dell'otturatore della valvola e, quindi, della portata di fluido primaria.

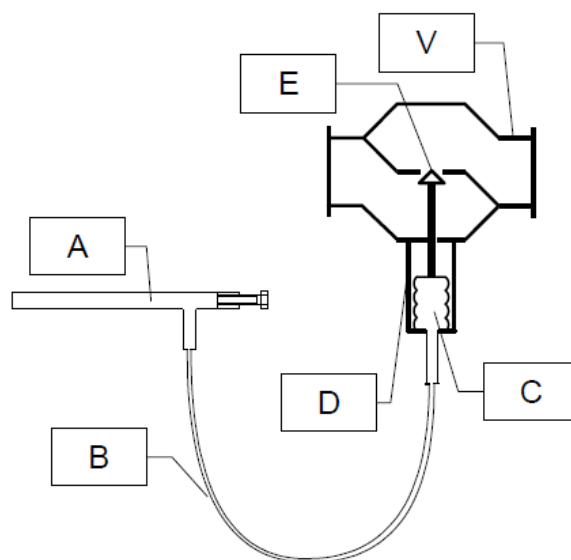


Figura 23: Valvola per la regolazione della temperatura.

2.2 Pompe

Le pompe sono macchine operatrici in quanto ricevono lavoro meccanico dall'esterno e operano sul fluido che le attraversa, fornendo ad esso energia. Il fluido che attraversa una pompa subisce variazioni di temperatura molto modeste, ed è proprio per questo che non sono classificate come macchine termiche.

Il funzionamento di una pompa viene generalmente caratterizzato attraverso alcune grandezze fondamentali: la prevalenza, il rendimento, la potenza, la curva caratteristica della pompa e le curve di iso-rendimento.

1) Prevalenza

La prevalenza H è definita come l'energia specifica fornita dall'unità di massa del fluido nell'attraversamento della macchina stessa, al netto delle perdite per attrito della macchina stessa.

$$H = L_i - R_i = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho}$$

Con R_i si intende le perdite idrauliche all'interno della pompa e L_i il lavoro fornito dalla pompa al fluido.

$g \cdot (z_2 - z_1)$: termine geodetico dell'energia.

$\frac{p_2 - p_1}{\rho}$: incremento dell'energia di pressione per unità di massa.

$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2}$: incremento dell'energia cinetica per unità di massa.

2) Rendimento

Rendimento idraulico: $\eta_i = \frac{H}{L_i} = \frac{L_i - R_i}{L_i}$

Rendimento meccanico: $\eta_m = \frac{L_i}{L_m} = \frac{L_m - R_m}{L_m}$

Rendimento totale: $\eta_{tot} = \eta_i \cdot \eta_m = \frac{H}{L_i} \cdot \frac{L_i}{L_m} = \frac{H}{L_m}$

Con il pedice "i" si intende idraulico, mentre con il pedice "m" si intende meccanico.

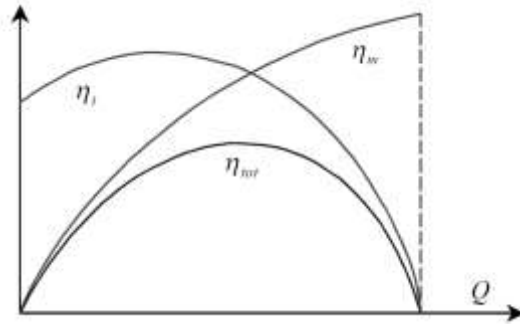


Figura 24: Andamento qualitativo dei rendimenti.

3) Potenza

Potenza assorbita dal fluido: $P = G \cdot H$

Potenza assorbita dalla pompa e fornita dal motore: $P = \frac{G \cdot H}{\eta_{tot}}$

G: portata massica

H: energia specifica (prevalenza)

4) Curva caratteristica della pompa

La curva caratteristica della pompa descrive l'andamento della prevalenza in funzione della portata per una determinata velocità della girante. Tale curva è sempre riferita ad una condizione di funzionamento per la quale vengono fornite delle curve che descrivono l'andamento del rendimento e della potenza meccanica in funzione della portata.

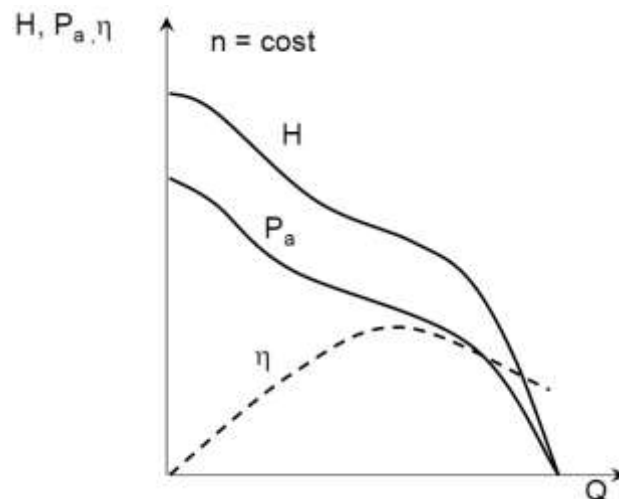


Figura 25: Curva caratteristica di una pompa assiale.

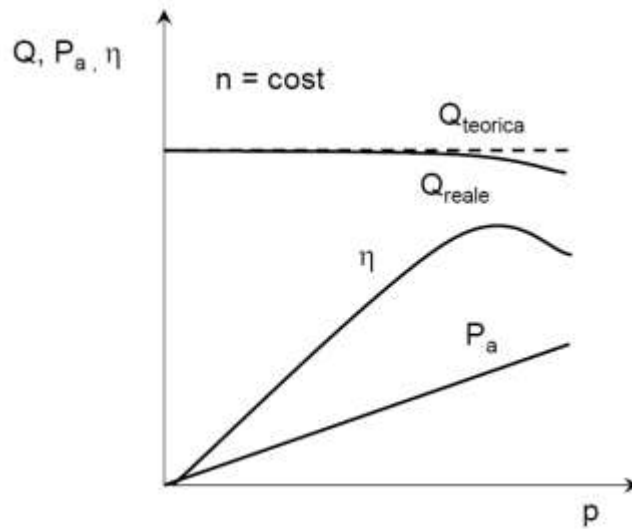


Figura 26: Curva caratteristica di una pompa volumetrica.

5) Curve iso-rendimento

Le curve di iso-rendimento sono famiglie di curve che rappresentano la possibilità di impiego ottimale di una determinata curva; ciascuna famiglia corrisponde ad un determinato numero di giri.

Per far sì che le condizioni teoriche di funzionamento della pompa non risultino sensibilmente alterate, è necessario che i triangoli di velocità siano simili al variare del numero di giri.

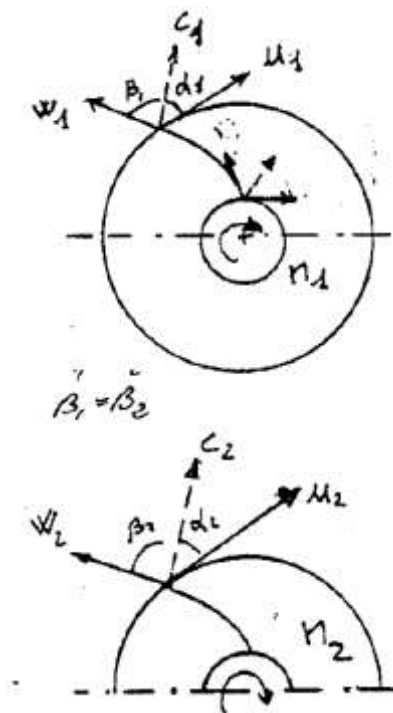


Figura 27: Triangoli di velocità.

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{u_1}{u_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$u = \omega \cdot r$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

Dalla trattazione teorica, infine, risulta:

$$\frac{G^2}{H} = \text{cost}$$

Esso rappresenta l'equazione di una parabola.

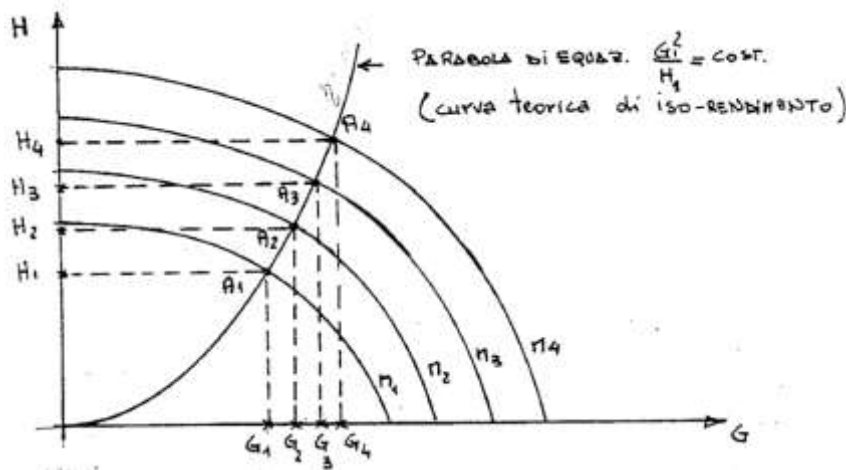


Figura 28: Curve iso-rendimento.

Nella realtà, le curve di iso-rendimento che si trovano nei cataloghi non sono rappresentate da un insieme di parabole, ma da un insieme di curve ellittiche che vanno a costituire il diagramma collinare. Queste curve si discostano dalla forma parabolica in quanto non si riferiscono alla costanza del rendimento idraulico, ma a quella del rendimento totale, che include le perdite di natura meccanica.

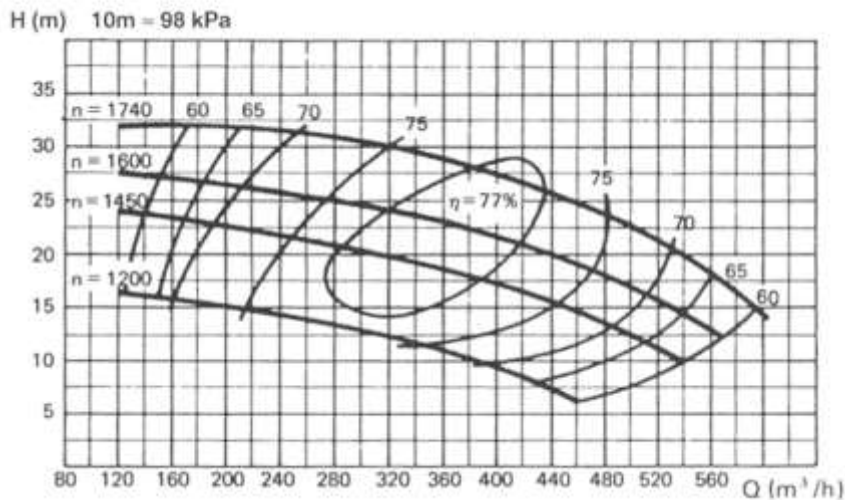


Figura 29: Curve di iso-rendimento.

Accoppiamento in serie e in parallelo

È possibile che alle volte si vadano a disporre due o più pompe, uguali o diverse tra di loro, in serie o in parallelo, al fine di ottenere un aumento della richiesta di prevalenza o di portata rispetto alle condizioni di progetto.

Due pompe operano in *serie* quando l'ingresso nella seconda è collegato all'uscita della prima pompa, in modo tale da ottenere una portata costante. In una disposizione come questa, le prevalenze generate dalle due pompe vengono sommate.

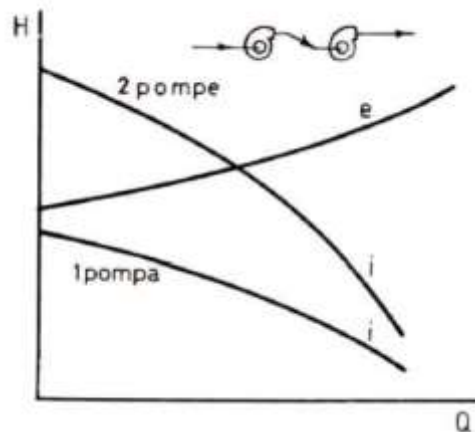


Figura 30: Accoppiamento in serie di due pompe uguali.

Due pompe operano in *parallelo* quando i condotti in ingresso e di uscita delle due macchine sono disposti, appunto, parallelamente. In una situazione di questo tipo, la portata totale è pari alla somma delle portate elaborate da ciascuna pompa. La prevalenza, invece, risulta essere uguale a quella fornita da ciascuna delle due pompe.

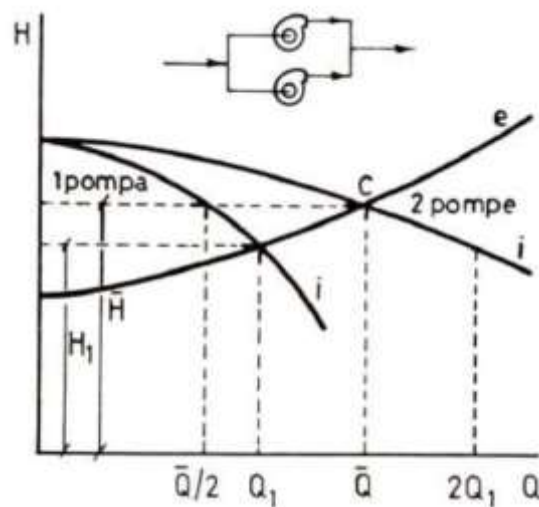


Figura 31: Accoppiamento in parallelo di due pompe uguali.

Le pompe sono suddivise essenzialmente in due categorie: le pompe dinamiche e le pompe volumetriche.

Le pompe dinamiche sono quel tipo di pompe nelle quali è il momento indotto del fluido stesso a fare in modo che il fluido si muova. Esse, a loro volta, sono suddivise in pompe centrifughe e pompe assiali, anche se, la forma più diffusa è quella centrifuga.

2.2.1 Pompa centrifuga

La pompa centrifuga è costituita da una girante che, attraverso l'effetto centrifugo, fa sì che il liquido si muova, un diffusore, che può essere costituito da una cassa a spirale o da una corona di pale fisse che delimitano condotti divergenti, il cui scopo è quello di deviare il flusso del fluido. Il fluido che fuoriesce dalla girante ad alta velocità viene decelerato in maniera graduale all'interno del diffusore, con conseguente trasformazione dell'energia cinetica in energia di pressione.

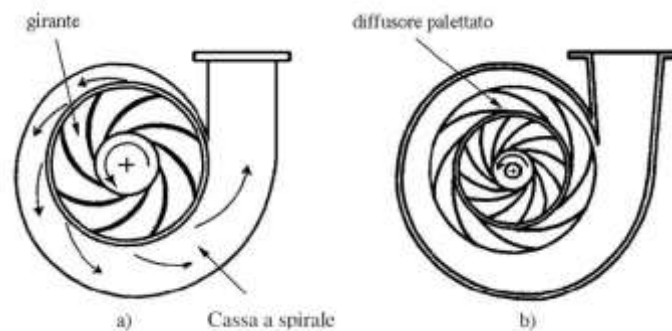


Figura 32: Pompa centrifuga a) con cassa a spirale b) con diffusore palettato.

Le pompe volumetriche sfruttano la variazione di volume per riuscire a pompare il fluido. Si distinguono in pompe alternative e rotative, a seconda che venga compiuto un moto alternato o rotativo da parte dell'organo meccanico mobile.

2.2.2 Pompa alternativa a stantuffo

La pompa alternativa a stantuffo viene utilizzata per portate modeste (al massimo dell'ordine di 50 l/s) e per prevalenze elevate, e dipende solo dalla potenza del motore di comando, dai condotti di mandata e dalla robustezza del cilindro. Lo stantuffo può essere di tipo tuffante, con il quale è possibile ottenere le tenute sulla parte fissa, oppure di tipo aderente, dove le tenute sono poste alla periferia dello stantuffo stesso. La pompa a stantuffo aderente può essere utilizzata solo con acque limpide e per modeste prevalenze, mentre quella a stantuffo tuffante può essere utilizzata in tutti gli altri casi, soprattutto per prevalenze elevate.

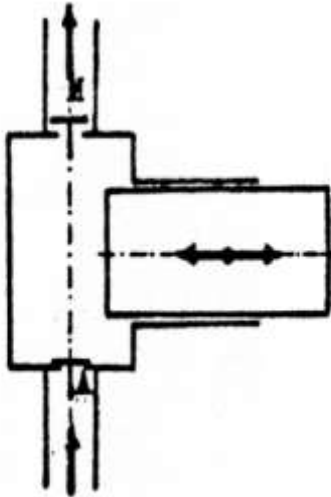


Figura 33: Pompa alternativa a stantuffo tuffante.

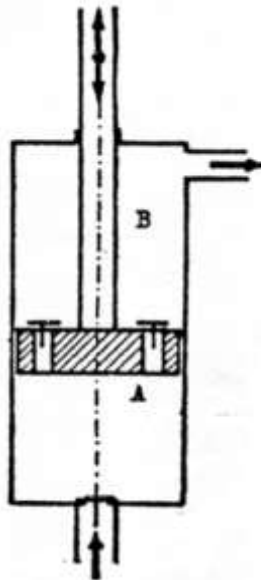


Figura 34: Pompa alternativa a stantuffo aderente.

Le pompe rotative vengono spesso utilizzate, ad esempio, per generare olio in pressione nei servocomandi, oppure nelle trasmissioni idrostatiche. In questo tipo di pompe, attraverso elementi in grado di delimitare camere rotanti a volume variabile, viene ottenuta la variazione del volume della camera di lavoro. Con la rotazione delle camere, è possibile eliminare le valvole di aspirazione e di mandata, affidando la distribuzione a luci che permettono il collegamento tra queste camere e gli ambienti di aspirazione e di mandata nel momento opportuno.

Le pompe rotative si presentano in più forme; in particolare ve ne sono due più comuni e sono quelle ad ingranaggi e quelle a palette.

2.2.3 Pompa rotativa ad ingranaggi

Esistono due tipi di pompe ad ingranaggi: quella ad ingranaggi esterni e quella ad ingranaggi interni.

Nella *pompa rotativa ad ingranaggi esterni*, il liquido che è racchiuso tra la cassa esterna e due denti consecutivi viene trasportato dall'aspirazione alla mandata e non può tornare verso l'aspirazione a causa della tenuta centrale. Essa è garantita dall'ingranamento reciproco tra i denti delle due ruote, i quali permettono di collegare il motore con una sola delle due ruote, facendo trascinare l'altra tramite l'accoppiamento appena nominato. Questo tipo di pompa fornisce buone prestazioni quando viene usata per fluidi lubrificanti, visto che l'usura dei denti determina un decadimento del rendimento volumetrico.

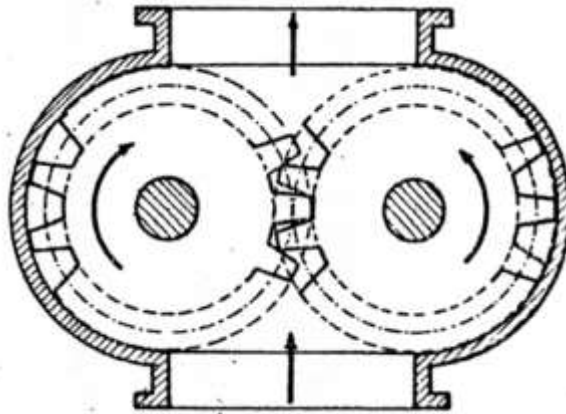


Figura 35: Pompa rotativa ad ingranaggi esterni.

Nella *pompa ad ingranaggi interni*, le pareti di due denti appartenenti alle due ruote delimitano le camere a volume variabile. Questo tipo di pompa, oltre ad essere molto semplice al livello costruttivo, è anche molto compatta e ha dimensioni ridotte rispetto a quella ad ingranaggi esterni.

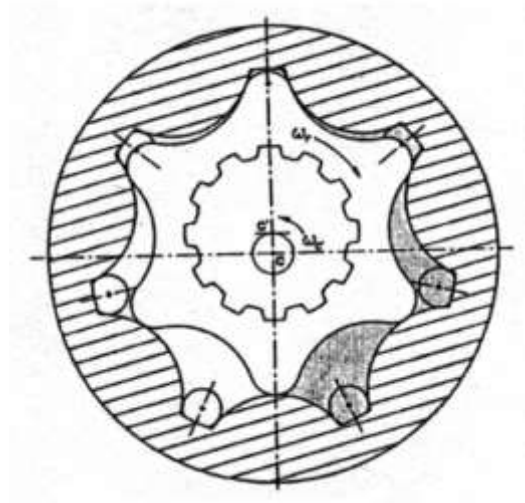


Figura 36: Pompa rotativa ad ingranaggi interni.

2.2.4 Pompa rotativa a palette

Nella pompa rotativa a palette, il liquido che è racchiuso tra due palette, la cassa esterna e il rotore viene trasportato dall'aspirazione alla mandata e non può rifluire a causa del volume modesto della camera sottostante. Questo tipo di pompa è meno sensibile all'usura rispetto alla pompa ad ingranaggi, in quanto l'usura delle palette a contatto con la cassa non ne riduce la capacità di tenuta. È possibile ridurre la portata di fine mandata fino ad annullarla completamente, variando l'eccentricità del rotore; così facendo si va a ridurre il volume della camera che passa dall'aspirazione alla mandata, aumentando quello della camera di ritorno.

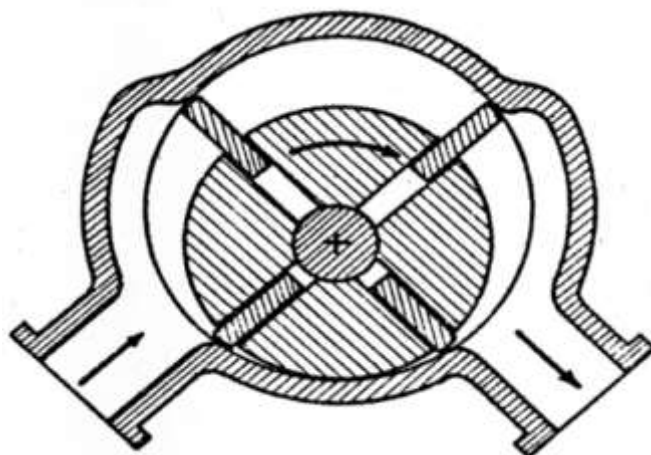


Figura 37: Pompa rotativa a palette.

2.3 Serbatoi

I serbatoi sono opere artificiali destinati all'accumulo temporaneo e successivo rilascio dell'acqua, o di altri fluidi, in base alle richieste delle utenze. Essi svolgono varie funzioni, tra cui:

- disconnettere idraulicamente l'opera di adduzione dalla rete di distribuzione;
- fissare il piano dei carichi sulla rete di distribuzione;
- compensare la variabilità delle portate richieste dalla rete;
- assolvere la funzione di riserva e riuscire a soddisfare i fabbisogni ordinari delle utenze.

I serbatoi, indipendentemente dal tipo di impiego, devono essere:

- protetti dall'ambiente circostante in modo tale da impedire infiltrazioni di acque esterne;
- costruiti con materiali che non si degradano al contatto con l'acqua;
- progettati garantendo la protezione igienica e termica;

In particolar modo questi serbatoi vengono utilizzati quando le utenze richiedono portate estremamente variabili e l'accoppiamento diretto tra sistema di pompaggio e utenze porterebbe il gruppo di pompaggio a funzionare in condizioni di costante regolazione. Tramite un serbatoio di accumulo è possibile far funzionare il gruppo di pompaggio in condizioni di portata costante e quindi in condizioni di massimo rendimento, mentre il serbatoio va a fronteggiare i picchi ed i cali di richiesta rispetto a tale portata, svuotandosi e riempiendosi.

Esistono diversi tipi di serbatoi di accumulo: sopraelevati, interrati e fuori terra.

1) Serbatoi di accumulo sopraelevati

Questo tipo di serbatoi viene realizzato quando non sono disponibili sul terreno le quote piezometriche necessarie per la rete di distribuzione. Esso viene realizzato con una vasca sopraelevata con adeguate strutture di sostegno; la vasca deve essere isolata termicamente. Essendo sopraelevati, questi serbatoi non presentano una capacità molto elevata, pertanto, dove occorre, si limiterà la funzione del serbatoio alla capacità massima realizzabile potendolo rifornire da un serbatoio a terra.

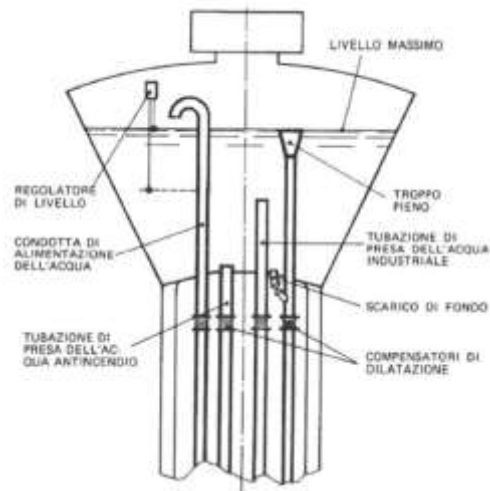


Figura 38: Serbatoio sopraelevato.

2) Serbatoi di accumulo interrati

Nel caso in cui la pressione in mandata richiesta per assicurare alle utenze il carico richiesto diventi troppo elevata, può diventare troppo costosa l'installazione di serbatoi sopraelevati. In casi come questo, occorre installare un serbatoio interrato (o anche fuori terra) che sia dotato di un apposito sistema di pressurizzazione per l'alimentazione delle utenze. Questo tipo di serbatoi viene generalmente realizzato con vasche interrate in cemento armato.

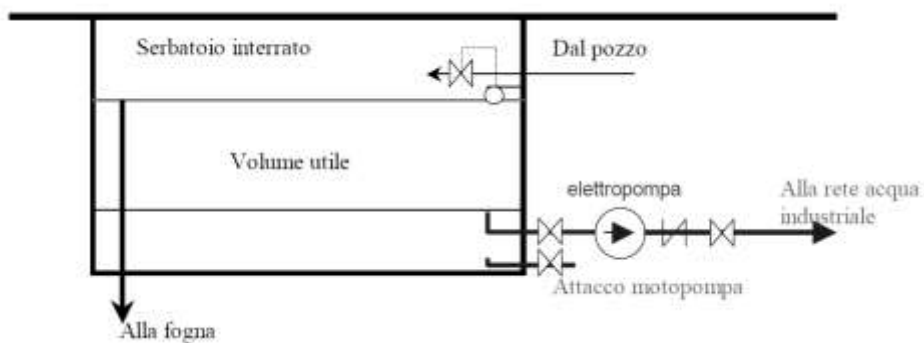


Figura 39: Serbatoio interrato.

3) Serbatoi di accumulo fuori terra

Una soluzione ancora più economica, per quanto riguarda i costi di installazione, sono i serbatoi di accumulo fuori terra. Essi consentono facili adeguamenti successivi e realizzazioni in tempi differenziati, ma essendo esposti all'ambiente sono più vulnerabili e più difficili da isolare termicamente. Lo schema impiantistico è simile a quello dei serbatoi interrati. Di solito viene messo anche un serpentino di riscaldamento per evitare possibili gelate.

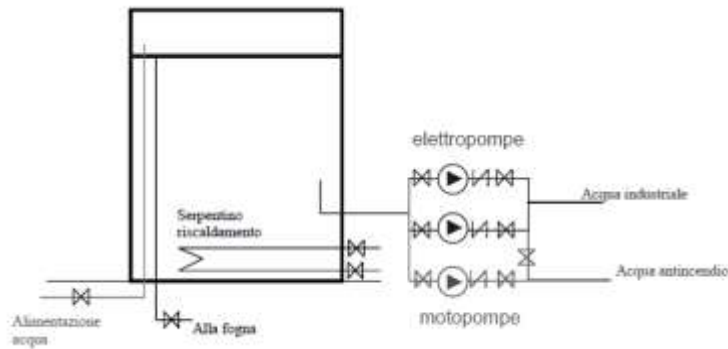


Figura 40: Serbatoio fuori terra.

Affinché l'acqua arrivi alle utenze è necessario che il serbatoio di accumulo venga messo ad una altezza minima H_{min} che deve valere:

$$H_{min} = H_u + \frac{C_u^2}{2g} + \frac{P_u - P_{min}}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta P_{tot}(Q_{max})}{\rho \cdot g}$$

3.2.1 Serbatoi pressurizzati

Quando la rete di distribuzione viene alimentata da un sistema che non è in grado di garantire una pressione e una portata sufficiente alle utenze, è necessario l'utilizzo di serbatoi pressurizzati. Il sistema di pressurizzazione è composto da un gruppo di pompaggio per alimentare il serbatoio in pressione che, appunto, serve a mantenere in pressione la rete di utenze. Tale rete viene alimentata attraverso il serbatoio in pressione, mentre il gruppo di pompaggio, il quale è azionato da pressostati di minima e di massima, interviene in maniera periodica per ripristinare il valore di pressione adeguato all'interno del serbatoio.

Tra i vari sistemi di pressurizzazione si distinguono quello a membrana e quello con autoclave. Il sistema *con autoclave* presenta un gruppo di pompaggio che viene comandato da un pressostato di massima e da uno di minima, un compressore, anch'esso comandato da un pressostato, che serve a mantenere sempre il serbatoio in pressione dato che ci sono delle perdite e, inoltre, l'aria tende a disciogliersi nell'acqua. Poi vi è una valvola di sicurezza, la quale apre l'otturatore quando si raggiunge la pressione massima nel serbatoio e stacca il sistema di pompaggio. Al fine di ottimizzare i costi, è necessario conoscere il numero massimo di accensioni del sistema di pompaggio N_{max} per potersi determinare il volume totale dell'autoclave V_0 :

$$N_{max} = \frac{1}{\tau_{min}} = \frac{Q_{max}}{2 \cdot V}$$

τ_{min} : tempo minimo tra due accensioni consecutive

Q_{max} : portata pompe

V : volume utile

$$V_0 = \frac{1}{2 \cdot N_{max}} \cdot \frac{Q_{max}}{P_{atm}} \cdot \left(\frac{P_{max} \cdot P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \right)$$

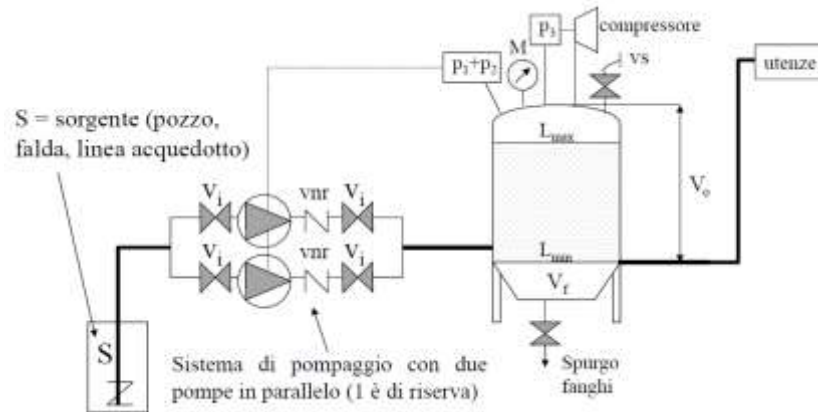


Figura 41: Sistema di pressurizzazione con autoclave.

Il sistema di pressurizzazione con serbatoio *a membrana* non necessita della presenza del compressore, in quanto nel serbatoio è presente una membrana che separa l'acqua dai gas, di conseguenza l'aria non si discioglie nell'acqua e quindi non bisogna reintegrarla. Inoltre, sempre per la presenza della membrana, è possibile l'impiego di acque difficili, come le acque calcaree. Altri vantaggi di questo tipo di serbatoio sono legati all'economia nell'installazione e la rapidità di montaggio; non è necessaria alcuna manutenzione.

Il volume del serbatoio è pari a:

$$V = 6 \cdot \frac{Q_{max} \cdot 60}{a} \cdot \frac{P_{max} + 1}{P_{max} - P_{min}}$$

V : volume dell'autoclave

Q_{max} : portata di progetto

P_{min} : pressione minima di sopraelevazione, pari alla pressione minima di intervento del pressostato

P_{max} : pressione massima di sopraelevazione, pari alla pressione massima di intervento del pressostato

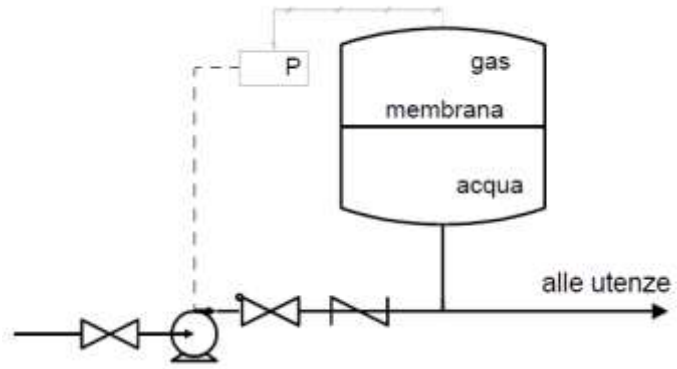


Figura 42: Sistema di pressurizzazione con serbatoio a membrana.

3. Ispezione e manutenzione delle apparecchiature degli impianti di processo

Dopo aver trattato la manutenzione in tutte le sue sfaccettature e, successivamente, le varie apparecchiature degli impianti di processo, in questo capitolo verranno analizzati i rischi a cui sono esposte pompe, valvole e serbatoi, come evitarli e come applicare su di essi la manutenzione. Questa trattazione non verrà effettuata su tutte le apparecchiature viste nel capitolo precedente, ma solamente su alcune di esse.

Quanto verrà trattato in questo capitolo è basato su Normative, tuttora in vigore, pubblicate dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), dal Comitato Europeo di Normalizzazione (CEN), e dall'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione (ISO).

3.1 Rischi, verifiche e manutenzione delle valvole di sicurezza

La manutenzione delle valvole di sicurezza verrà trattata basandosi, quasi alla lettera, sulla normativa **UNI/TR 11507:2013 “Manutenzione dei dispositivi per la limitazione diretta della pressione (valvole di sicurezza)”**, la quale fornisce indicazioni sulle operazioni di manutenzione, taratura e controllo di queste valvole, a protezione di attrezzature e insiemi a pressione; suggerisce procedure e limiti di intervento da parte del manutentore. Va specificato che quanto verrà illustrato di seguito potrà essere applicato solo ed esclusivamente alle operazioni eseguite in officina.

Come già spiegato nel capitolo 2, è fondamentale capire quali sono i difetti più comuni e le cause che li hanno prodotti, per cercare di evitarli e fare in modo che l'impianto continui a produrre senza doversi fermare. Sono elencati di seguito alcuni di questi difetti:

- *corrosione*: può indicare che i materiali della valvola o di alcune sue parti non sono idonei per il fluido di processo. Da questo punto di vista ha grande importanza l'identificazione del tipo di corrosione;
- *sedi danneggiate*. Possono indicare:
 - che il fluido contiene particelle solide, oppure

- che la differenza tra la pressione di taratura e la pressione di esercizio è troppo piccola, oppure
- che la tubazione di uscita trasmette sollecitazioni eccessive al corpo valvola, oppure
- che la valvola sbatte, ciò che a sua volta può essere causato o da contropressione superiore al valore massimo accettabile per il tipo di valvola o a caduta di pressione in ingresso troppo elevata rispetto al blowdown.

Gli ultimi due fenomeni possono essere dovuti a sovradimensionamento della valvola, a errata installazione o a ostruzione dei tubi di ingresso e/o uscita, rispettivamente causata da depositi. L'osservazione del tipo di danno subito dalle sedi può consentire di individuare la causa, per esempio:

- rigatura radiale: trafilamento o materiale interposto;
 - impronte con bordo sollevato: materiale interposto;
 - aspetto simile a quello di una superficie sabbiata: particelle liquide o solide in sospensione nel gas;
 - ammaccatura sul bordo esterno: sbattimento.
- *soffietto schiacciato*: può indicare che la pressione nel collettore di scarico ha superato il valore ammissibile per la resistenza strutturale del soffietto;
 - *soffietto rotto*: la rottura del soffietto può essere provocata da sbattimenti dell'otturatore o da vibrazioni durante l'esercizio. Lo sbattimento della valvola spesso provoca il contemporaneo grippaggio di stelo e guida;
 - *stelo e guida bloccati o danneggiati*: se la causa non può attribuirsi a forti vibrazioni dello stelo, l'ipotesi più probabile è la mancanza di coassialità tra stelo e guida o una non corretta scelta dei materiali accoppiati, oppure entrambe, ma può anche riscontrarsi la presenza di materiali estranei. Spesso per le valvole che hanno questi pezzi esposti all'atmosfera, il bloccaggio è determinato dalle condizioni ambientali.

3.1.1 Caratteristiche dell'officina per la manutenzione

Un'officina per eseguire i lavori di manutenzione sulle valvole di sicurezza dovrebbe:

- avere in dotazione, oltre alle specifiche attrezzature necessarie per attività di manutenzione, anche attrezzature specifiche che il fabbricante della valvola di sicurezza ha indicato nel manuale di uso e manutenzione;
- dotarsi di procedure, meglio se all'interno di un sistema di gestione della qualità, che assicurino che vengano osservate le indicazioni riportate sui manuali d'uso e manutenzione del fabbricante della valvola di sicurezza.

3.1.2 Compiti del manutentore

Il manutentore dovrebbe limitarsi ad operare in accordo al manuale d'uso e manutenzione fornito dal fabbricante della valvola di sicurezza. Le operazioni di manutenzione consentite, solitamente, comprendono:

- smontaggio;
- montaggio;
- sostituzione delle parti usurate utilizzando parti di ricambio che, qualora non originali e non accompagnate da indicazioni di intercambiabilità, dovrebbero comunque garantire le prestazioni originali della valvola di sicurezza;
- lavorazione e finitura dei componenti;
- prova di taratura al banco;
- prova di tenuta;
- altre operazioni e/o controlli necessari per la messa a punto della valvola di sicurezza.

Al termine delle attività, il manutentore redige il rapporto di manutenzione indicando i difetti riscontrati, le risultanze delle operazioni eseguite e lo consegna all'utilizzatore affinché possa intraprendere le eventuali azioni correttive.

Se il rapporto viene adeguatamente stilato e conservato, può anche fornire indicazioni utili per la programmazione delle operazioni di manutenzione sulla base dell'analisi del rischio.

3.1.3 Compiti dell'utilizzatore

Anche l'utilizzatore, come il manutentore, ha dei compiti da rispettare. Infatti, esso:

- rende disponibile al manutentore il manuale d'uso e manutenzione rilasciato dal fabbricante della valvola e/o altro documento necessario per la corretta manutenzione della valvola;

- informa il manutentore sui rischi collegati alla natura delle sostanze residue sulla valvola oggetto dell'intervento;
- quando necessario, informa il manutentore sulla modalità da adottare per la bonifica della valvola.

Per ogni valvola di sicurezza inviata in officina per la manutenzione, l'utilizzatore dovrebbe disporre di una scheda valvola nella quale sono indicati:

- nome del fabbricante;
- modello della valvola;
- numero di fabbrica o altro codice identificativo;
- anno di fabbricazione;
- ogni altro dato che l'utilizzatore ritenga utile segnalare (come ad esempio: sigla, posizione nell'impianto).

Sono, inoltre, annotati gli interventi di manutenzione eseguiti:

- data di ciascun intervento di manutenzione;
- dati identificativi del manutentore;
- operazioni eseguite ed eventuali osservazioni;
- posizione di tutti gli organi di regolazione mobili;
- quote, dopo manutenzione, delle parti per le quali il fabbricante, nelle istruzioni d'uso e manutenzione, dichiara i valori limite ammessi.

La scheda valvola dovrebbe essere conservata ed aggiornata dopo ogni intervento di manutenzione, allegando ad essa i rapporti di manutenzione rilasciati dal manutentore per essere resa disponibile al successivo intervento di manutenzione in officina.

3.1.4 Procedura di verifica e manutenzione

Attraverso questa procedura vengono descritte quelle che sono le operazioni di verifica e manutenzione.

Verifica preliminare

Il manutentore:

- esegue l'ispezione visiva della valvola "come ricevuta" per valutarne lo stato di conservazione e l'eventuale presenza di depositi o incrostazioni e ne registra il risultato;

- installa su banco prova la valvola “come ricevuta” ed esegue il controllo della pressione di taratura e della tenuta, utilizzando gas o liquido secondo le indicazioni del fabbricante e registra i risultati.

Nota: quest’ultima operazione può essere evitata nel caso in cui l’utente non richieda informazioni relative allo stato di tenuta e taratura della valvola prima dell’intervento di manutenzione.

Intervento di manutenzione

Quando necessario o quando contrattualmente richiesto, il manutentore esegue i seguenti interventi:

- smonta la valvola, secondo manuale d’uso e manutenzione, ed esegue l’esame visivo delle varie parti della valvola “come ricevuta” al fine di rilevare l’eventuale presenza di fenomeni di corrosione, depositi, rotture;
- pulisce accuratamente ed esegue l’esame visivo delle varie parti della valvola allo scopo di verificarne lo stato di conservazione e il possibile riutilizzo con particolare attenzione a: bocaglio, otturatore, stelo, molla e porta otturatore e soffietto, se presenti. Esamina accuratamente i diversi componenti per rilevarne lo stato di usura o di corrosione. In particolare, verifica lo stato di finitura superficiale delle sedi di tenuta dell’otturatore e del bocaglio;
- rimonta la valvola secondo il manuale d’uso e manutenzione utilizzando i lubrificanti consentiti dal fabbricante e approvati dall’utente e impiegando solo guarnizioni e tenute nuove;
- registra i risultati dell’intervento di manutenzione.

Operazioni finali

Il manutentore:

- regola e verifica la taratura della valvola al banco, secondo le indicazioni del fabbricante. È opportuno prestare attenzione affinché la valvola sia fissata sul banco prova in maniera sicura, curando che la distribuzione delle tensioni sulla flangia di ingresso sia uniforme (questo è particolarmente importante per le valvole di grandi dimensioni);
- esegue la prova di tenuta tra monte e valle della sede della valvola e valuta l’entità della perdita secondo le indicazioni riportate nel manuale d’uso e manutenzione. In mancanza di indicazioni del fabbricante possono essere adottate norme tecniche applicabili;

- esegue la prova di tenuta dell'involucro alla contropressione (dove è applicabile);
- provvede alla sigillatura di tutti gli organi di regolazione, con l'apposizione dell'identificativo suo o del soggetto preposto alla sorveglianza.

È bene ricordare che la manutenzione delle valvole di sicurezza, oltre ad assicurare una maggiore vita produttiva e far risparmiare sui costi di intervento, è obbligatoria per legge.

3.2 Rischi, verifiche e manutenzione delle pompe volumetriche

Per poter illustrare quella che è la manutenzione delle pompe volumetriche, è necessario fare riferimento alla normativa **UNI EN ISO 16330:2004 “Pompe volumetriche alternative – requisiti tecnici”**, ma soprattutto alla normativa **UNI EN 809:2009 “Pompe e gruppi di pompaggio per liquidi – Requisiti generali di sicurezza”**. Quest'ultima, infatti, definisce i requisiti tecnici di sicurezza per la costruzione, l'assemblaggio, il montaggio, il funzionamento, la manutenzione di una pompa o di un gruppo di pompaggio per liquidi; in particolare, questa normativa va ad elencare tutta una serie di rischi che si possono verificare utilizzando una pompa o un gruppo di pompaggio, e di conseguenza quali misure adottare per poterli evitare o quantomeno ridurre.

Tutte le informazioni che riguardano la pianificazione, l'installazione, il funzionamento e la manutenzione devono essere inserite nelle istruzioni per l'uso e devono comprendere gli apparecchi richiesti per la protezione del personale e le notifiche di avvertimento.

Condizioni ambientali e di lavoro

Un aspetto da non sottovalutare assolutamente nelle specifiche di una pompa o gruppo di pompaggio sono le condizioni ambientali e di lavoro. Di seguito vengono elencate alcune di queste condizioni particolari:

- temperatura anormale;
- umidità elevata;
- atmosfere corrosive;

- zone a rischio di esplosione e/o incendio;
- polvere, tempeste di sabbia;
- terremoti ed altre condizioni esterne imposte;
- vibrazioni;
- altitudini;
- inondazioni.

Ovviamente non tutti i tipi di liquidi possono essere utilizzati; i liquidi da pompare sono:

- liquido pompato (denominazione);
- miscela (analisi);
- contenuto di solidi (contenuto di materia allo stato solido);
- gassoso (contenuto).

Nel momento in cui viene pompato, il liquido deve avere queste proprietà:

- infiammabile;
- tossico;
- corrosivo;
- abrasivo;
- cristallizzante;
- polimerizzante;
- viscosità.

Inoltre, ci devono essere delle fluttuazioni operative nel sistema, quali:

- temperatura;
- pressione;
- portata;
- funzionamento a secco della pompa.

3.1.2 Requisiti per evitare pericoli di diversa natura

Il regolare funzionamento di una pompa può essere compromesso da più pericoli di diversa natura; per questo motivo è fondamentale che ci siano dei requisiti che permettano di evitare tali pericoli.

3.2.1.1 *Requisiti per evitare i pericoli di natura meccanica*

- Schiacciamento, taglio e impigliamento: sulle pompe volumetriche devono essere presenti dei mezzi quali barriere, fermi e ripari che devono ridurre il rischio che possono costituire parti esposte in movimento. L'importante è che linguette o altre protusioni esposte in grado di provocare tagli devono essere dotati di ripari. Questi ripari possono essere fissi o mobili, aperti o chiusi.
- Eiezione di un fluido ad alta pressione.
- Sistema di tenuta dell'albero, dello stelo dello stantuffo o del pistone.
- Elementi sotto pressione: la pompa deve essere dotata di una valvola limitatrice di pressione che non permetta di oltrepassare una pressione del 90% della pressione idrostatica. È necessario che i componenti della pompa siano idonei per poter stare alla massima pressione di esercizio.
- Forze e momenti consentiti sui raccordi delle tubazioni: i valori di tali forze e momenti devono essere dichiarati dal fabbricante o dal fornitore.
- Eiezione di parti di trasmissione.
- Perdita di stabilità: non ci deve mai essere una perdita di stabilità della pompa durante le fasi del trasporto, del montaggio e dello smontaggio nelle condizioni previste quando è inclinata di un angolo di 10° in qualsiasi direzione rispetto alla sua posizione normale. Nel caso contrario, il fabbricante o fornitore deve inserire specifiche informazioni nelle istruzioni per l'uso.
- Sollevamento di pompe o di gruppi di pompaggio: gli organi che vengono utilizzati per il sollevamento delle pompe o di gruppi di pompaggio devono riuscire a resistere alle sollecitazioni alle quali sono sottoposti.

3.2.1.2 *Requisiti per evitare i pericoli di natura elettrica*

La scelta dell'apparecchiatura elettrica di un gruppo di pompaggio è molto importante, in quanto essa deve poter funzionare in modo sicuro nelle condizioni di lavoro nelle quali viene impiegata. Per poter garantire l'isolamento della pompa dall'alimentazione elettrica, quest'ultima deve avvenire tramite opportuni accorgimenti. È fondamentale la presenza del morsetto di terra il quale fa sì che non si formino cariche positive andando a proteggere il gruppo di pompaggio. Il morsetto deve essere collegato in maniera diretta ad un conduttore di terra. Più in generale, si può affermare che

l'apparecchiatura elettrica deve soddisfare i requisiti generali presenti nella normativa EN 60204-1:2006.

- Fenomeni elettrostatici: attraverso l'uso di un circuito di terra, si deve prevedere un bilanciamento del potenziale elettrico per l'apparecchio relativo; ciò va effettuato per poter prevenire la formazione di cariche elettrostatiche.
- Contatto elettrico: le recinzioni e i sistemi di comando del gruppo di pompaggio devono fornire una protezione in conformità alla EN 60034-5:2001.
- Effetti esterni sugli apparecchi elettrici: tutti i sistemi di protezione elettrica devono essere costruiti in maniera tale da non provocare danni al personale.
- Compatibilità elettromagnetica.

3.2.1.3 Requisiti per evitare i pericoli di natura termica

Le elevate temperature che si sviluppano durante il funzionamento della pompa o del gruppo di pompaggio possono essere un pericolo per il personale. Per poter evitare tale pericolo bisogna fare in modo di minimizzare il contatto tra le superfici della pompa ed il personale.

	Superfici con le quali è previsto il contatto durante il normale funzionamento o con le quali è possibile il contatto accidentale in ambito ristretto ¹⁾	Superfici con le quali è possibile il contatto accidentale in ambito non ristretto
Metallo ²⁾	68 °C	80 °C
Ceramica	73 °C	84 °C
Plastica	80 °C	90 °C

1) Il presente prospetto tiene conto del fatto che se una superficie di contatto si trova in una posizione in cui l'atto di rimozione può risultare ritardato da restrizioni del movimento (un ambito ristretto), il tempo di contatto può essere involontariamente prolungato e pertanto il valore della temperatura massima dovrebbe essere fissato ad un livello minore.
2) Verniciato o non verniciato.

Figura 43: Temperature massime consentite per le superfici della pompa accessibili e prive di protezione durante il normale funzionamento.

3.2.1.4 Requisiti per evitare il pericolo derivante dal rumore o dalle vibrazioni

- Requisiti per evitare il pericolo generato dal rumore: il pericolo generato dal rumore non viene tenuto conto dai fabbricanti di pompe. Per questo motivo la normativa UNI EN 809:2009 non considera gli strumenti per la riduzione dei rischi di perdita dell'udito che può essere causata dall'esposizione prolungata al rumore.
- Requisiti per evitare il pericolo da vibrazioni: come per il rumore, anche le vibrazioni generate dalla pompa non vengono considerate dal fabbricante e la

normativa UNI EN 809:2009 non tiene conto dei mezzi per la riduzione del rischio.

3.2.1.5 Requisiti per evitare i pericoli generati dai materiali

Le pompe possono essere costruite con un'elevata varietà di materiali. La scelta del tipo di materiale da utilizzare dipende dal tipo di fluido da utilizzare, quindi le sue caratteristiche chimico-fisiche, la pressione, la temperatura; dipende dalle condizioni ambientali in cui la pompa deve operare, dai carichi che deve sopportare e da qualsiasi fattore possa avere un impatto sui materiali.

- Smaltimento dei liquidi: se il liquido pompato all'interno della pompa o gruppo di pompaggio è un liquido pericoloso (infiammabile, tossico, corrosivo), allora la pompa deve essere dotata di un dispositivo che vada a raccogliere e smaltire, in totale sicurezza, tale liquido. Ovviamente il dispositivo che verrà utilizzato dipenderà dal tipo di liquido pompato.
- Smaltimento dei gas: se il gruppo di pompaggio viene azionato da un motore a combustione interna, allora tali gruppi devono essere dotati di dispositivi atti alla raccolta e allo smaltimento dei gas di scarico.
- Pericoli di incendio e di esplosione: le pompe e i gruppi di pompaggio devono essere progettati in modo tale da poter evitare rischi di incendi ed esplosioni.

3.2.1.6 Requisiti per evitare i pericoli causati da interruzioni nell'erogazione di energia, guasti di componenti di macchinari ed altre disfunzioni

- Errori di corrispondenza meccanica: non devono essere presenti errori di montaggio in fase di progettazione.
- Dispositivo di non ritorno: il dispositivo di non ritorno viene messo per evitare che, dopo lo spegnimento della pompa, il liquido abbia un ritorno, quindi ci sia un flusso inverso del liquido all'interno della pompa.
- Senso di rotazione della pompa: deve essere messa una freccia che indichi il senso di rotazione della pompa per evitare che si manifestino rischi al pericolo dovuti al flusso inverso della pompa.
- Tubazioni ausiliarie: se presenti devono essere indicate nelle istruzioni per l'uso.
- Avvio accidentale.

3.2.1.7 Requisiti per evitare i pericoli derivanti dai guasti e/o dalla scorretta installazione dei dispositivi di protezione

- Tutti i tipi di protezioni: devono potersi rimuovere solamente con l'impiego di uno specifico attrezzo e non deve aumentare il rischio qualora si vada ad effettuare una sostituzione scorretta.
- Strumenti di misurazione e connessioni per gli strumenti di misurazione.
- Arresto di emergenza: deve esserci un comando di arresto di emergenza attraverso cui si va ad intervenire manualmente, ponendo fine ad una situazione di pericolo.
- Attrezzi particolari: possono essere richiesti per l'installazione, la messa a punto o l'avviamento.
- Dispositivi di sicurezza: se sono di tipo regolabile possono essere regolati solo tramite attrezzi appositi.

3.2.2 Metodi di verifica dei requisiti e delle misure di sicurezza

I requisiti e le misure di sicurezza trattate nel paragrafo precedente devono essere verificati attraverso uno o più metodi. La verifica va effettuata in base all'uso che se ne deve fare e può essere effettuata in qualsiasi sequenza.

Ispezione

«Per ispezione s'intende osservazione, attento esame di qualche cosa, a scopo di controllo o anche per ricavarne elementi di giudizio, o per altri motivi» (Enciclopedia Treccani).

Infatti, si tratta di una verifica che viene eseguita tramite un esame fisico della pompa o del gruppo di pompaggio e misurazioni precise.

Revisione della documentazione

Le prestazioni effettive della pompa o del gruppo di pompaggio vanno confrontate con quelle presenti nelle tabelle dati, nelle norme, nei dati del fornitore o in altre fonti per poter dimostrare la conformità.

Calcoli

Quando viene stabilita la conformità ad un determinato requisito, i calcoli che vengono utilizzati devono poi essere controllati e conservati dal fabbricante per poter essere esaminati in futuro.

Prova della pressione idrostatica per le parti sotto pressione

In conformità alla EN 12162, bisogna sottoporre alla prova di pressione idrostatica tutte le componenti della pompa che sono sotto pressione. La pressione di prova va correlata da un fattore alla massima pressione di esercizio. Tale fattore non deve mai essere minore di 1.3.

Misurazione del rumore

Per poter controllare che il rumore emesso dall'apparecchio non sia pericoloso per gli operatori, è necessario effettuare delle misurazioni in conformità con la normativa EN ISO 20361. I valori ottenuti da tali misurazioni sono quelli a cui poi bisogna fare riferimento.

Dotazione di ripari

Per prevenire e quindi evitare il contatto con le superfici o con parti in movimento, vengono forniti dei ripari, i quali vengono ritenuti adeguati se, e solo se, non viene rilevato nessun contatto nell'ambito della prova effettuata con i tastatori, definiti dalla normativa EN 60529.

Stabilità

Attraverso l'effettuazione di prove si va a dimostrare la stabilità. La prova va effettuata con la pompa completamente assemblata, con tutti gli apparecchi ausiliari applicati, e deve essere montata sul proprio basamento. Le ruote, se presenti, devono essere orientate nel modo più sfavorevole per la prova. La base va inclinata di 10° e non deve essere ammessa nessuna perdita di stabilità.

Se, invece, la stabilità non viene verificata attraverso la prova, ma in base ai calcoli, questi devono essere basati sul metodo dei baricentri e non devono indicare alcuna instabilità per spostamenti fino a 12,5°.

Temperature delle superfici

In conformità al metodo illustrato dalla normativa EN ISO 13732-1, bisogna effettuare la misurazione delle temperature delle superfici esterne di contatto.

3.2.3 Manuale di istruzioni

Di seguito viene riportato esattamente quanto presente nella normativa **UNI EN 809: 2009 “Pompe e gruppi di pompaggio per liquidi – Requisiti generali di**

sicurezza” in merito alle istruzioni presenti del manuale, le quali corrispondono alle regole stabilite nella normativa EN ISO 12100-2.

Il manuale di istruzioni comprende le informazioni relative alla sicurezza per ciascuno dei seguenti argomenti:

- generalità;
- sollevamento, trasporto ed immagazzinaggio intermedio;
- descrizione della pompa o del gruppo di pompaggio;
- installazione/montaggio;
- messa in servizio, funzionamento e arresto;
- manutenzione ed assistenza post-vendita;
- guasti, cause e rimedi;
- smontaggio, demolizione e rottamazione;
- massa della pompa o massa del gruppo di pompaggio completo dei componenti aggiuntivi o massa delle parti di ricambio, qualora trasportate separatamente;
- documentazione relativa.

Più nello specifico, le informazioni presenti nel manuale sono, per quanto riguarda le generalità:

- copia della dichiarazione di conformità EC, che non includa il numero di serie e la firma;
- i campi ed i limiti di applicazione o d'impiego, l'uso previsto o consentito, comprese tutte le condizioni del sito;
- dettagli relativi alla pompa e al gruppo di pompaggio:
 - a) dettagli che rimandano il manuale operativo ad un prodotto particolare;
 - b) fabbricante, importatore o fornitore;
 - c) designazione, tipo, dimensioni;
 - d) numero della versione e/o data di emissione del manuale di istruzioni;
 - e) emissioni sonore:
 - livello di pressione sonora di emissione ponderata A, dove essa è maggiore di 70 dB(A) nei posti di lavoro;
 - valore istantaneo del picco della pressione sonora ponderata C, se esso è maggiore di 63 Pa nei posti di lavoro;

- livello di potenza sonora ponderata A emesso dalla macchina, dove il livello di pressione sonora di emissione ponderata A è maggiore di 80 dB(A) nei posti di lavoro.

Quando sono richiesti questi livelli di emissione del rumore, si devono specificare le incertezze da cui questi valori sono affetti.

- f) Requisiti dei servizi pubblici, ovvero fornitura di energia elettrica, fornitura idrica:
- Avvertenze in merito all'uso improprio prevedibile.

Nel manuale di istruzioni deve essere adottata la segnaletica seguente:

- le istruzioni relative alla sicurezza fornite nel manuale, la cui mancata osservanza provocherebbe una compromissione della sicurezza stessa, sono contrassegnate dal simbolo seguente:



Figura 44: Cartello di avvertenza pericolo.

- oppure, se è in gioco la sicurezza elettrica, dal simbolo:



Figura 45: Cartello di avvertenza pericolo energia elettrica.

- Le istruzioni relative alla sicurezza che devono essere considerate per motivi di funzionamento in sicurezza della pompa o del gruppo di pompaggio o per la protezione della pompa o del gruppo di pompaggio stessi, sono contrassegnate con la dicitura:



Figura 46: Cartello sicurezza pompa.

Per quanto riguarda il sollevamento, il trasporto e l'immagazzinamento intermedio vi sono:

- misure conservative:
 - a) durata della protezione,
 - b) tutte le misure di conservazione successive,
 - c) rimozione della protezione;
- protezione contro le influenze ambientali;
- istruzioni per un sollevamento e una movimentazione sicuri.

Descrizione della pompa o del gruppo di pompaggio:

- descrizione generale;
- progetto, funzionamento ed uso dei dispositivi di protezione;
- descrizioni aggiuntive relative agli accessori;
- dimensioni, massa, centri di gravità, capacità.

Installazione/montaggio:

- attrezzi speciali per il montaggio;
- installazione iniziale;
- dati relativi al sito di installazione:
 - a) requisiti spaziali per il funzionamento e la manutenzione,
 - b) ispezione prima dell'inizio dell'installazione,
 - c) dettaglio del basamento, fondazione,
 - d) installazione della pompa completamente montata,
 - e) requisiti di allineamento, compresi i giunti flessibili;
- montaggio dell'azionamento e degli accessori;
- installazione corretta dei dispositivi di sicurezza e dei sistemi di controllo;
- connessioni elettriche, cavi di collegamento;
- colata di cemento ed altri lavori di completamento;
- tubazioni:
 - a) generalità,
 - b) forze e momenti consentiti sui raccordi di aspirazione e di mandata;

- forze di fissaggio per le filettature delle viti.

Avviamento, funzionamento e arresto:

- documentazione:
 - a) punti di misurazione e schemi delle tubazioni,
 - b) lista dei lubrificanti;
- preparazione del prodotto per il funzionamento:
 - a) cuscinetti,
 - b) tenuta dell'albero,
 - c) riempimento/scarico,
 - d) connessioni elettriche,
 - e) controllo del senso di rotazione;
- dispositivo di comando e di sorveglianza:
 - a) prova di funzionamento,
 - b) valori di messa a punto,
 - c) installazioni complementari (raffreddamento, circolazione, riscaldamento, etc.),
 - d) protezione del motore (messa a punto),
 - e) interruttore di arresto di emergenza;
- dispositivi di sicurezza:
 - a) meccanici (ovvero ripari per i giunti o le cinghie),
 - b) isolamento acustico (ovvero elmetti protettivi),
 - c) protezione contro gli spruzzi (ovvero elmetti),
 - d) regolamentazioni relative alla parte elettrica,
 - e) dispositivi particolari;
- messa in servizio:
 - a) messa in servizio iniziale,
 - b) avvio in seguito ad interruzioni del funzionamento,
 - c) requisiti dell'impianto relativi alla pompa,
 - d) frequenza di attivazione/spengimento,
 - e) funzionamento ed avviamento a valvola chiusa,
 - f) informazioni particolari (ad esempio, modalità di pausa, guasti);
- arresto:
 - a) smessa fuori tensione,

- b) svuotamento,
- c) conservazione,
- d) immagazzinaggio;
- altre misure.

Manutenzione e assistenza:

- manutenzione e ispezione:
 - a) materiali che si consumano – comprese le parti di ricambio,
 - b) sorveglianza durante il funzionamento,
 - c) qualsiasi azione preventiva da intraprendere (ad esempio, le parti soggette ad usura, la lubrificazione, i materiali di tenuta);
- smontaggio e rimontaggio:
 - a) attrezzi,
 - b) procedura di smontaggio;
 - c) momenti di serraggio per le viti e i bulloni;
- specifica delle parti di ricambio riguardanti gli aspetti della sicurezza.

Guasti, cause e rimedi:

- guasti:
 - a) idrodinamici,
 - b) meccanici,
 - c) elettrici;
- modalità per rimediare alle cause utilizzando liste di controllo relative al prodotto.

Documentazione relativa:

Secondo gli accordi stabiliti tra il fabbricante o fornitore ed il cliente o acquirente.

3.2.4 Installazione e manutenzione

Guardando ora più nel dettaglio, l'installazione e la manutenzione, basandosi su quanto riportato nella normativa **UNI EN ISO 16330:2004 “Pompe volumetriche alternative – Requisiti tecnici”** e tenendosi sempre in conformità con la normativa EN 809, si ha che la pompa o il gruppo di pompaggio dovrebbero essere progettati e costruiti in modo da consentire l'installazione, la manutenzione, l'ispezione e la sostituzione di materiali di consumo quali olio, fasce elastiche, valvole e guarnizioni senza la necessità di ricorrere alla rimozione dei componenti principali.

L'installazione, la messa in funzione e la manutenzione, devono consentire l'utilizzo di strumenti correnti, salvo che non siano tecnicamente inappropriati per la loro funzione o altri motivi corrispondenti. Se si richiedono attrezzi speciali, il fornitore deve fornirne un elenco apposito.

I martinetti a vite, gli anelli di sollevamento o i golfari e i perni di riferimento devono essere forniti laddove necessario per facilitare lo smontaggio e il montaggio. Se vengono forniti i martinetti a vite, bisogna fare in modo che venga prevista una spoglia nel lato fisso per evitare che ci siano danni alla superficie, causati dai martinetti stessi e che possano poi pregiudicare la tenuta o la funzionalità.

3.3 Rischi, verifiche e manutenzione dei serbatoi

I serbatoi, come già detto nel capitolo 3, sono opere artificiali destinati all'accumulo temporaneo e successivo rilascio dell'acqua; di conseguenza, se si vuole fare in modo che il serbatoio abbia una vita più longeva possibile, bisogna mantenere la loro integrità. Per fare questo, è necessario evitare che le superfici dei serbatoi vengano attaccati dalla corrosione.

La corrosione è un fenomeno spontaneo, in quanto si verifica attraverso una variazione negativa di energia libera, che porta il materiale a deteriorarsi lentamente attraverso un'interazione chimico-fisica con l'ambiente che lo circonda. A causa della corrosione, il materiale perde in modo irreversibile le sue proprietà tecnologiche.

Al fine di evitare quanto più possibile che si verifichi tale fenomeno, è fondamentale agire in anticipo, quindi prevenire. La prevenzione può essere effettuata in diversi modi, tra cui:

- progettazione;
- scelta dei metodi di protezione;
- manutenzione.

Inoltre, va fatta una distinzione nell'affrontare la corrosione, in quanto ci sono serbatoi interrati e serbatoi fuori terra. Ovviamente la questione cambia perché si trattano due ambienti corrosivi diversi che sono, rispettivamente, il terreno e l'atmosfera.

Per spiegare i metodi utilizzati per evitare e combattere la corrosione, quindi il tipo di manutenzione da effettuare sui serbatoi, bisogna fare riferimento alla normativa **UNI**

EN 16299:2013 “Protezione catodica di fondi di serbatoi di stoccaggio fuori terra, la cui superficie esterna si trovi a contatto con il terreno o con fondazioni” e alla normativa UNI EN 13636:2004 “Protezione catodica di serbatoi metallici interrati e delle relative tubazioni”.

3.3.1 Serbatoi fuori terra

Per quanto riguarda i serbatoi fuori terra, si parla di corrosione in ambiente atmosferico, il quale è costituito principalmente da ossigeno. L'ossigeno è uno dei principali responsabili della corrosione, ma da solo non basta; infatti, è necessaria la presenza dell'acqua. Per questo motivo, gli ambienti più umidi sono quelli che causano una corrosione più aggressiva e di maggiore entità, rispetto agli ambienti più secchi. Va sottolineato, però, che non per forza la corrosione di un serbatoio fuori terra sia dovuta all'atmosfera; infatti, la parte esterna del fondo di un serbatoio è a contatto con lo strato di fondazione ed è quindi a contatto con un elettrolita che ne causa la corrosione.

La velocità di corrosione di un metallo è funzione del potenziale del materiale che costituisce il mezzo elettrolitico che lo circonda. Più il potenziale è alto e più sarà alta la velocità di corrosione. Si può ottenere una diminuzione della velocità di corrosione fornendo corrente al metallo bersaglio in modo tale da proteggerlo. Questo metodo di protezione viene chiamato protezione catodica. La corrente di protezione può essere fornita in due modi: attraverso anodi sacrificali (galvanici) oppure attraverso un impianto a corrente impressa.

3.3.1.1 Progettazione di sistemi di protezione catodica

Per poter stabilire il giusto metodo di protezione e per scegliere i materiali appropriati al raggiungimento e al mantenimento di una protezione catodica efficace, è necessario conoscere le strutture, le condizioni del terreno e la durata di vita prescelta per il sistema di protezione catodica.

A seconda dei fabbisogni di corrente di protezione catodica, delle dimensioni del serbatoio, delle resistività del terreno e della durata di vita di progetto, può essere possibile utilizzare il metodo di protezione catodica ad anodi galvanici. In questo caso, gli anodi si possono sistemare direttamente nel terreno sotto il serbatoio oppure si possono interrare sotto l'anello esistente lungo la periferia del serbatoio. Se, invece, si usa il metodo di protezione catodica a corrente impressa esistono due opzioni: o si vanno ad installare gli anodi nel terreno sottostante al serbatoio, oppure esternamente ad

esso. Per quanto riguarda la prima soluzione, è preferibile usare una configurazione a reticolo o ad anelli concentrici. Così facendo, ci sarà una migliore distribuzione di corrente e di conseguenza si ridurrà il fabbisogno di corrente e i rischi di interferenza.

3.3.1.2 Installazione di sistemi di protezione catodica

L'installazione dei sistemi di protezione catodica dovrebbe avvenire sotto la supervisione di personale qualificato, per far sì che vengano rispettati i disegni e le specifiche. Se, e solo se, si ha l'approvazione del proprietario, dell'operatore o di altre persone che li rappresentano, vi possono essere delle varianti nell'installazione.

Dato che in molti casi anodi, elettrodi di riferimento, piastrine e cavi vanno messi sotto il fondo del serbatoio, è necessario che questi ultimi vengano installati prima di posare il serbatoio stesso.

Bisogna tenere presente quanto segue:

- a) Prima di iniziare il lavoro va accertato se:
 - 1) le attrezzature e i materiali da installare corrispondono a quelli di progetto,
 - 2) è stata data la dovuta attenzione alla posizione e alla disposizione di ogni pozzetto di scarico e di tubi di drenaggio,
 - 3) le condizioni locali sono le stesse di quelle usate per il progetto;
- b) è necessario accertarsi che l'installazione e i materiali siano conformi alle regolamentazioni in materia, comprese quelle sulla sicurezza;
- c) tutte le varianti al progetto devono essere documentate e riportate nella documentazione.

Si raccomanda di assicurare un isolamento elettrico permanente prima di riempire gli scavi nel caso in cui ci fosse il rischio che la struttura entri in contatto metallico con altre strutture.

3.3.1.3 Collaudo

Una volta completate le installazioni di protezione catodica secondo il progetto, è possibile passare alla messa in servizio. Per prima cosa bisogna eseguire delle misurazioni, in conformità con la normativa EN 13509, quando nel serbatoio il liquido si trova ad una altezza sufficiente da assicurare che tutto il fondo del serbatoio si trovi in buon contatto con il suo strato di fondazione. In seguito, si devono effettuare delle verifiche preliminari; più nello specifico, si devono verificare i collegamenti catodici al

serbatoio, i cavi nel posto di collegamento all'anodo, la corretta polarità nei terminali di uscita dei collegamenti all'alimentatore e la corretta installazione di tutti gli eventuali dispositivi isolanti.

Dopo che tutti i collegamenti sono stati verificati, vanno adottati i seguenti provvedimenti:

- a) misurazioni di resistenza:
 - 1) resistenza del fondo del serbatoio rispetto alla terra remota,
 - 2) resistenza rispetto alla terra remota del dispersore o degli anodi galvanici,
 - 3) resistenza tra il serbatoio e il dispersore o gli anodi galvanici;
- b) separazione elettrica della struttura:
 - 1) sui giunti isolanti,
 - 2) dal sistema generale di messa a terra;
- c) misurazioni di potenziale:
 - 1) potenziali serbatoio-terra, utilizzando elettrodi di riferimento fissi,
 - 2) potenziali del serbatoio rispetto al terreno periferico in almeno 4 posizioni,
 - 3) interferenza da parte di sospette correnti disperse,
 - 4) potenziale di anodi galvanici rispetto all'elettrolita,
 - 5) potenziali struttura-terra di strutture interrato adiacenti;
- d) misurazioni per stabilire l'estensione di ogni interferenza subita da strutture estranee o su esse provocata.

Ora va fatta una distinzione, per quanto riguarda la messa in marcia, tra sistemi galvanici e sistemi a corrente impressa; per i sistemi galvanici bisogna applicare la seguente procedura, riportata nella normativa EN 13509:

- collegare tutti gli anodi;
- misurare la corrente erogata da ogni anodo, applicando la procedura indicata nella EN 13509;
- misurare i potenziali ON e quelli senza caduta di tensione IR tra serbatoio e terra, servendosi di elettrodi di riferimento fissi o portatili. Se si utilizzano elettrodi di riferimento portatili, si dovrebbero interessare gli stessi punti in cui si erano ricavati i valori di base;
- se necessario, collegare gli anodi galvanici alla struttura protetta tramite un resistore variabile con cui limitare la corrente.

Per i sistemi a corrente impressa, invece, va applicata la seguente procedura:

- accendere l'alimentatore;
- misurare i potenziali ON, OFF e senza caduta di tensione IR tra serbatoio e terreno e piastrina;
- regolare l'erogazione di corrente continua fino a raggiungere, in tutti i posti di misura prescelti e/o in punti prestabiliti, una completa protezione catodica con un potenziale conforme a quello richiesto nel progetto. Se si osservano deviazioni importanti, se ne dovrebbero accertare le cause mediante misurazioni;
- misurare le correnti erogate dagli anodi;
- misurare i potenziali struttura-terra di strutture adiacenti che erano già state controllate e accertare se i livelli di interferenza sono accettabili quando il sistema di protezione catodica del serbatoio è inserito (ON) e disinserito (OFF);
- lasciare in funzione il sistema di protezione catodica per il tempo necessario a raggiungere condizioni di regime (almeno 24h o più per serbatoi in precedenza mai protetti o non rivestiti);
- regolare l'erogazione di corrente continua in modo da mantenere uno stato di protezione catodica e rimisurare i potenziali sulle strutture adiacenti;
- se si riscontrano deviazioni importanti, se ne dovrebbero accertare le cause mediante misurazioni.

3.3.1.4 Verifiche e manutenzione

Al fine di garantire una continua protezione della struttura, si effettuano verifiche e manutenzione, cercando di mantenere il potenziale della struttura entro determinati limiti fissati.

Dopo la messa in servizio, occorre effettuare dei controlli in maniera regolare, con procedure approvate. Le verifiche che vengono effettuate devono comprendere:

- controlli di funzionamento dei dispositivi di protezione catodica;
- rilievi per la valutazione dell'efficacia della protezione.

I risultati ottenuti da tali verifiche devono essere approvati da personale specifico e poi essere registrati. Se dai controlli emergono delle anomalie, bisogna individuare le cause e adottare provvedimenti appropriati.

I controlli non devono essere eseguiti solamente sulle strutture, bensì anche sulle apparecchiature, come ad esempio l'alimentatore operativo, gli strumenti indicatori, i collegamenti per poter accertare il loro stato di funzionamento.

Misurazioni per la valutazione dell'efficacia della protezione catodica

In base al tipo di serbatoio interessato e al sistema di protezione catodica, si devono eseguire le seguenti misurazioni:

- tensione di uscita dall'alimentatore di una stazione di protezione a corrente impressa;
- corrente di protezione;
- potenziali ON e OFF nei posti di misura significativi e sulle piastrine;
- potenziali ON di strutture adiacenti e corrente erogata;
- interferenza in corrente continua prodotta su o da strutture estranee e, se ritenuto necessario, dopo modifica o nuova regolazione del sistema di protezione catodica.

Le varie verifiche e misurazioni sopraelencate devono essere eseguite con una determinata frequenza; secondo la normativa UNI EN 16299:

Sistemi con anodi galvanici	Conforme alle frequenze di verifica dell'efficacia della protezione catodica o con frequenza maggiore, se richiesto dalle condizioni operative.
Sistemi a corrente impressa	Mensilmente o con frequenza maggiore, se richiesto dalle condizioni operative, dipendenti dal tipo di installazione e dalla disponibilità di fornitura di energia elettrica. Minori intervalli possono rendersi necessari per impianti in cui detta fornitura è soggetta a interruzioni.
Collegamenti a strutture adiacenti	Annualmente o con frequenza maggiore, se richiesto dalle condizioni operative.
Dispositivi di sicurezza e di protezione	Annualmente o con frequenza maggiore, se richiesto dalle condizioni operative.
Postazioni di prova	Conforme alla frequenza delle misurazioni

	di potenziale o con frequenza maggiore, se richiesto dalle condizioni operative.
--	--

Solitamente tra due verifiche successive della protezione catodica intercorre un tempo di un anno. Ovviamente si parla di un tempo medio perché, in base al tipo di struttura, di progetto, alla posizione del serbatoio, l'intervallo temporale può essere ridotto o aumentato fino ad un massimo di tre anni. Quanto appena detto vale per verifiche ordinarie, mentre se vengono effettuati dei cambiamenti nella struttura o nell'ambiente, oppure vengono effettuati dei lavori di costruzione in vicinanza della struttura, è bene effettuare delle verifiche immediatamente dopo ciò.

Quanto emerso da tali verifiche deve poi essere conservato per tutta la vita del serbatoio per poter fornire, quando necessario, informazioni dettagliate sull'efficacia della protezione catodica.

Manutenzione

Come già spiegato nel capitolo 2, il fine ultimo della manutenzione è quello di garantire il corretto funzionamento del sistema. Nel caso di sistemi galvanici, è sufficiente controllare che le connessioni degli anodi alle morsettiere siano meccanicamente ed elettricamente saldi e che le correnti anodiche rientrino nei limiti del progetto.

Per quanto riguarda la frequenza con la quale la manutenzione deve essere effettuata, si parla di base annuale per i sistemi a corrente impressa; in particolar modo si tratta di verifiche elettriche e di funzionamento.

Va effettuata una manutenzione programmata per accertare se il sistema di protezione catodica continua a funzionare nel modo previsto dal progetto.

La manutenzione degli alimentatori deve essere effettuata secondo le raccomandazioni del fabbricante.

Inoltre, se necessario, bisognerebbe eseguire una manutenzione degli apparati di protezione catodica durante le verifiche di funzionamento e le misurazioni sulla struttura.

Infine, la strumentazione deve essere mantenuta in buone condizioni di funzionamento ed essere sottoposta a calibratura periodica e a verifiche di sicurezza.

3.3.2 Serbatoi interrati

Per quanto riguarda i serbatoi interrati, l'ambiente corrosivo con cui si ha a che fare è il terreno. In esso la corrosione aumenta all'aumentare della conducibilità, la quale è direttamente dipendente dalla concentrazione di ioni presenti nel terreno, come solfati e cloruri. Inoltre, la corrosione dipende dalla facilità con cui acqua e ossigeno riescono a penetrare nel terreno.

Come già detto per i sistemi fuori terra, per evitare questo problema della corrosione si adotta la protezione catodica. Facendo riferimento a quanto scritto nella normativa **UNI EN 13636:2004 “Protezione catodica di serbatoi metallici interrati e delle relative tubazioni”**, per poter applicare la protezione catodica è necessario che gli impianti di serbatoi da proteggere siano separati tra di loro; la distanza poi dipende da altri fattori come diametro, lunghezza e resistenza media del rivestimento dei serbatoi. La struttura dovrebbe essere lontana da ogni altra struttura interrata cosicché altre strutture estranee non facciano da schermo e non ci sia interferenza.

Deve essere garantita la continuità elettrica da parte della struttura, con bassa resistenza longitudinale. I serbatoi non devono avere contatti metallici con:

- a) parti di strutture che non sono protette catodicamente;
- b) strutture messe a terra;
- c) impianti di terra generali.

Inoltre, dovrebbe esserci un rivestimento esterno sulla struttura allo scopo di:

- a) fornirla di una sufficiente protezione contro la corrosione;
- b) ridurre il fabbisogno di corrente di protezione;
- c) migliorare la distribuzione di corrente;
- d) ridurre l'interferenza verso le strutture estranee.

Il rivestimento dovrebbe:

- a) essere compatibile con la protezione catodica;
- b) atto a resistere al fluido in deposito.

3.3.2.1 Progettazione di sistemi di protezione catodica

Uno degli aspetti più importanti da considerare in fase di progettazione è la separazione elettrica, ovvero le strutture protette catodicamente non devono essere collegate in maniera diretta all'impianto di terra generale dell'installazione.

I dispositivi isolanti dovrebbero essere installati in modo tale da evitare contatti accidentali tra le parti isolate della struttura e l'impianto di terra generale; tali dispositivi

dovrebbero anche essere protetti dagli agenti atmosferici e da azioni meccaniche che potrebbero causare dei danneggiamenti.

I giunti isolanti, se interrati, devono essere rivestiti. Quelli installati tra parti protette e parti non protette dell'installazione non dovrebbero essere collocati in aree di pericolo.

In fase di progettazione è bene considerare anche altri dispositivi.

- Posti di misura: almeno uno deve essere installato su ogni serbatoio elettricamente isolato.
- Piastrine e sonde di potenziale esterno: vanno collegate alla struttura quando non si può raggiungere lo stato di polarizzazione.
- Giunzioni meccaniche (anche quelle a flangia): devono essere elettricamente cortocircuitate.
- Tubo guaina: se non necessari è meglio evitarli.
- Attraversamenti di pareti.
- Impianto di drenaggio: se vi sono correnti continue disperse.
- Impianti di terra locali: nel caso in cui sia richiesta una messa a terra per motivi di sicurezza.

Va sottolineato che tali dispositivi, essendo parte integrante della struttura da proteggere, devono essere installati contemporaneamente alla struttura principale da proteggere.

3.3.2.2 Installazione di sistemi di protezione catodica

Tenendo in considerazione i requisiti indispensabili del progetto sopraelencati, l'installazione del sistema di protezione catodica deve avvenire il prima possibile; sarebbe preferibile farlo durante il rinterro del serbatoio e delle tubazioni.

Prima dell'inizio dei lavori, va accertato che:

- a) i dispositivi e i materiali da installare siano conformi a quelli indicati nel progetto;
- b) le condizioni locali siano quelle previste nel progetto.

Nel caso in cui dovessero esserci scostamenti rispetto a quanto presente nel progetto, questi dovranno essere per prima cosa approvati, successivamente documentati ed infine inseriti nella documentazione "come eseguito".

L'immersione dei serbatoi e delle relative tubazioni dovrebbe avvenire in un materiale che non ne danneggi il rivestimento, come ad esempio la sabbia. Inoltre, esso non deve contenere costituenti che siano conduttori di elettroni.

Prima di essere ricoperti con il terreno, i componenti da interrare devono essere verificati. Le prove che vengono eseguite possono riguardare:

- a) l'installazione degli anodi galvanici;
- b) l'installazione dell'alimentatore;
- c) l'installazione del dispersore con letto di posa;
- d) la posa, le connessioni e l'etichettatura dei cavi e l'integrità delle canalizzazioni per cavi;
- e) l'installazione di piastrine permanenti e sonda di potenziale esterna e/o misura;
- f) l'installazione di punti di misura fissi;
- g) i posti di misura.

3.3.2.3 *Collaudo*

Prima di arrivare al collaudo di un sistema di protezione catodica, bisognerebbe verificare che tutte le installazioni, di cui sopra, siano conformi al progetto. In particolare modo, è necessario controllare le connessioni dei cavi, quindi la corretta polarità dei collegamenti ai morsetti di uscita dell'alimentatore, e le varie misure di sicurezza.

Più nel dettaglio, vanno eseguite le seguenti misurazioni:

- a) misure di resistenza:
 - 1) resistenza, rispetto alla terra remota, del dispersore o dell'anodo galvanico;
 - 2) resistenza tra la struttura da proteggere e il dispersore o l'anodo galvanico.
- b) Separazione elettrica delle strutture:
 - 1) in corrispondenza di giunti isolanti;
 - 2) in corrispondenza di tubi guaina metallici;
 - 3) dall'impianto generale di terra.
- c) Misure di potenziale:
 - 1) potenziale di corrosione libera della struttura;
 - 2) interferenza dovuta a presumibili correnti disperse;
 - 3) potenziale anodo/elettrolita di anodi galvanici;
 - 4) potenziale struttura/elettrolita di strutture vicine.
- d) Misurazioni atte a determinare l'entità di ogni interferenza da o verso strutture estranee.

I risultati ottenuti vanno poi confrontati con quanto indicato nel progetto.

Una volta effettuate le verifiche preliminari, si può passare alla messa in servizio. Viene fornita tensione all'impianto di protezione catodica per verificare che esso stia funzionando in maniera corretta. Si va poi a regolare l'impianto, in modo da soddisfare i requisiti di potenziale indicati nel progetto.

Se necessario, si possono collegare gli anodi galvanici alla struttura protetta tramite un resistore variabile per limitare la corrente.

In seguito, vanno eseguite le misurazioni sottoscritte.

- a) Tensione di uscita dell'alimentatore dell'impianto a corrente impressa.
- b) Corrente di protezione erogata.
- c) Potenziali ON e OFF in tutti i punti misura.
- d) Potenziale ON e passaggio di corrente da e verso elettrodi estranei.
- e) Eventuale interferenza da corrente continua o alternata.

Inoltre, vanno eseguite misurazioni per verificare il livello di interferenza, qualora ci fossero delle correnti disperse. Anche in presenza di strutture estranee vicine, per evitare che esercitino un'influenza dannosa, vengono effettuate delle misurazioni.

Terminato il collaudo di accettazione, si individuano punti di misura, differenti dai precedenti, per eseguire altre misurazioni periodiche della struttura.

Nella documentazione del collaudo va inserito quanto segue:

- a) disegni "come eseguito" della struttura e della sua posizione geografica e disegni di tutte le strutture vicine che è probabile siano influenzate dal suo sistema di protezione catodica;
- b) progetto della protezione catodica con disegni "come eseguito" e con ogni dettaglio pertinente alla protezione catodica della struttura;
- c) risultati delle prove di interferenza eseguite sulle strutture vicine;
- d) dettagli sul funzionamento e sulla regolazione dei dispositivi e risultati di tutte le misurazioni eseguite prima e dopo il collaudo di accettazione;
- e) riassunto dei registri di cantiere, con riferimento a tutti i materiali usati e/o ai lavori di installazione che non siano stati considerati nel progetto.

3.3.2.4 Controlli e manutenzione

Come ripetuto più volte, al fine di allungare il più possibile la durata della vita di una struttura, è necessario effettuare controlli e manutenzione. In questo caso, ciò significa mantenere il potenziale dell'elettrolita entro limiti stabiliti in fase di progetto. I

controlli devono essere effettuati anche sulla strumentazione utilizzata per le misurazioni, per evitare che queste non risultino veritiere, e soprattutto devono essere effettuate con una certa periodicità.

I risultati ottenuti devono, come di consueto, essere esaminati e approvati dal personale di protezione catodica. Se emergono anomalie da tali risultati, bisogna innanzitutto scoprire le cause che l'hanno generata, quindi prendere provvedimenti appropriati.

Frequenza e natura dei controlli di funzionamento

Dispositivo	Frequenza e natura dei controlli di funzionamento
Impianti con anodi galvanici	Con la frequenza indicata per le misurazioni della struttura o più frequentemente, se le condizioni operative lo richiedono.
Impianti a corrente impressa	Ogni 3 mesi o più frequentemente, se le condizioni operative lo richiedono.
Collegamenti a strutture estranee	Annualmente o più frequentemente, se le condizioni operative lo richiedono.
Dispositivi di sicurezza e di protezione	Annualmente o più frequentemente, se le condizioni operative lo richiedono.
Posti di misura	Con la frequenza indicata per le misurazioni sulla struttura o più frequentemente, se le condizioni operative lo richiedono.

L'intervallo temporale che solitamente intercorre tra due controlli successivi dell'efficacia della protezione catodica è di un anno; esso può essere aumentato o diminuito in seguito a variazioni di posizione o a causa della presenza di perdite del serbatoio. L'importante è che questo intervallo non sia mai maggiore di tre anni.

Scelta degli indici ponderali

Voci	Indici ponderali		
	Basso	Medio	Alto
Complessità del sistema di protezione catodica	0	3	6
Imperfezione nel rivestimento	0	2	4
Condizioni dell'ambiente, per esempio, interferenza da corrente continua	0	2	4
Vulnerabilità al danneggiamento meccanico o alla fulminazione	0	1	2

Rischio di lesioni personali, di inquinamento dell'ambiente o danneggiamento di proprietà, che potrebbe derivare da fughe del prodotto in deposito	0	3	6
Usare soltanto i valori proposti.			

Scelta della frequenza di controllo

Indice ponderale totale delle voci	Frequenza di ispezione
Da 9 a 22	Un anno
Da 5 a 8	Due anni
Da 0 a 4	Tre anni

Tutti i rapporti derivanti dai controlli effettuati devono essere conservati per tutta la durata di vita della struttura per poter effettuare esami comparativi e ottenere maggiori informazioni sulla reale efficacia della protezione catodica.

Manutenzione

La manutenzione di routine deve essere eseguita in modo tale da avere la certezza che il sistema di protezione catodica continui a funzionare nel modo previsto e secondo progetto.

Gli alimentatori devono essere sottoposti a manutenzione seguendo le raccomandazioni del fabbricante.

Durante le verifiche di funzionamento o le misurazioni sulla struttura, bisognerebbe effettuare anche la manutenzione dei dispositivi di protezione catodica.

Infine, la strumentazione, come ad esempio gli elettrodi di riferimento fissi, i dispositivi di misura e di regolazione, il sistema di telecontrollo, etc. deve essere mantenuta in condizioni di funzionamento ed essere periodicamente sottoposta a verifiche e controlli di sicurezza.

Conclusioni

Nel corso dell'elaborato è stata esaminata in primo luogo la manutenzione, per poi proseguire con le varie apparecchiature degli impianti di processo. Tutto ciò è stato introdotto al fine di spiegare la procedura da mettere in atto, per far sì che queste apparecchiature rimangano in un buon stato di conservazione e continuino a funzionare come da progetto.

Arrivati a questo punto, da questo progetto di tesi è emerso che non esiste realmente una situazione per cui un impianto risulti immune dai guasti, qualsiasi sia la politica manutentiva applicata. Inoltre, applicando un tipo di politica manutentiva preventiva, non esclude la presenza di quella correttiva, proprio perché i guasti – anche se in numero inferiore – saranno sempre presenti. Nonostante ciò, è comunque possibile ridurre al minimo il rischio che minaccia il sistema.

L'obiettivo iniziale era quello di evidenziare maggiormente l'importanza della manutenzione, realizzando una specie di manuale, all'interno del quale viene spiegato come comportarsi quando si ha a che fare con determinate apparecchiature. Il tutto basato su normative.

Come illustrato nel terzo ed ultimo capitolo, è necessario seguire passo dopo passo tutte le istruzioni presenti al fine di evitare quante più perdite possibile, sia di materiale che di denaro, e permettere all'impianto di produrre in modo continuo. La procedura da seguire, sia che si tratti di pompe, di valvole, piuttosto che di serbatoi, è abbastanza simile. Si parte sempre dall'analizzare i rischi a cui l'apparecchiatura è esposta, quindi si ricercano i requisiti che essa deve avere per poter evitare tali rischi. In seguito, devono essere effettuate delle verifiche per essere sicuri che l'impianto funzioni come da progetto. Infine, si prepara un programma di manutenzione, specifico per ogni apparecchiatura.

Se si esegue tutto alla lettera e non si presentano imprevisti, allora quasi sicuramente il rischio sarà ridotto al minimo e le apparecchiature in questione avranno una vita di processo più longeva.

Bibliografia

Manzini R., Regattieri A. (2006), *Manutenzione dei sistemi di produzione*, Progetto Leonardo, Esculapio, Bologna.

Fedele L., Furlanetto L., Saccardi D. (2004), *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw-Hill, Milano.

Furlanetto L. (1998), *Manuale di manutenzione degli impianti industriali e servizi*, Ed. FrancoAngeli, Milano.

Bisignano B. (2011), “Sicurezza e manutenzione. Cento anni di storia”, in Giorgio Scip (a cura di), *Sicurezza accessibile: manutenzione sicura teoria e prassi: giornata di studi, Trieste, 26 ottobre 2010*, Trieste, EUT Edizioni Università di Trieste, pp. 35-47.

Pierangelo Andreini, Leopoldo Ilaria (2006), *Conduzione, controllo e manutenzione degli impianti di riscaldamento*, Ulrico Hoepli Editore, Milano.

Sitografia

www.diacs.it

www.lasi.unimore.it

www.learn.univpm.it

www.itisforli.it

www.meccanica-plus.it

www.doccity.com

www.corsiadistanza.polito.it

www.osf.io

www.unikore.it

Normative

UNI EN 13306:2018 Manutenzione - Terminologia di manutenzione

UNI 10147:2013 Manutenzione - Termini aggiuntivi alla UNI EN 13306 e definizioni

UNI 10366:2007 Manutenzione - Criteri di progettazione della manutenzione

UNI/TR 11507:2013 Manutenzione dei dispositivi per la limitazione diretta della pressione (valvole di sicurezza)

UNI EN ISO 16330:2004 Pompe volumetriche alternative - Requisiti tecnici

UNI EN ISO 13710:2005 Industrie del petrolio, petrolchimiche e del gas naturale - Pompe volumetriche alternative

UNI EN 809:2009 Pompe e gruppi di pompaggio per liquidi - Requisiti generali di sicurezza

UNI EN 16299:2013 Protezione catodica di fondi di serbatoi di stoccaggio fuori terra, la cui superficie esterna si trovi a contatto con il terreno o con fondazioni

UNI EN 13121-4:2005 Serbatoi e contenitori di materie plastiche rinforzate con fibre di vetro (PRFV) per utilizzi fuori terra - Parte 4: Consegna, installazione e manutenzione

UNI EN 13636:2004 Protezione catodica di serbatoi metallici interrati e delle relative tubazioni

Ringraziamenti

Questa è sicuramente la parte più difficile di tutta la tesi, visto che chi mi conosce veramente sa quanto faccia fatica ad esternare quel che provo, specialmente se si tratta di ringraziare!

Quando ho intrapreso questo percorso, non ero sicuro di riuscire a portarlo a termine; non mi sentivo pronto e soprattutto ero poco sicuro di me. È da lì che voglio partire, perché è in momenti come questi che capisci chi tiene veramente a te.

Ringrazio innanzitutto il professore Filippo Emanuele Ciarapica per la sua disponibilità e pazienza, per la sua prontezza di risposta nei momenti di bisogno e per i suoi inestimabili consigli.

Un ringraziamento particolare non può che andare alla mia Famiglia.

A mia madre che è il mio punto fermo, che è sempre stata dalla mia parte e che non mi ha mai fatto mancare nulla.

A mio padre che, anche se in maniera un po' più distaccata, è sempre stato presente, mi ha lasciato fare di testa mia e soprattutto ha finanziato tutti questi anni di studi (e so soldi!).

A mia sorella, che mi sopporta da ben 23 anni – e già la dice lunga – ma che addirittura mi ha aiutato in questo percorso, compresa la tesi (chi l'avrebbe mai detto).

Anche se non lo dimostro mai, loro lo sanno quanto gli voglio bene!

A nonna Maria, la mia seconda madre, la cui più grande preoccupazione era che il troppo studio potesse farmi male (a parte il fatto che non stessi troppo sciupato); per non parlare di quanti rosari avrà detto prima di ogni mio esame.

Un grazie va anche ai miei nonni, Michele ed Esterina, ai miei zii, cugini e comparì.

Vorrei, poi, ringraziare tutti gli ST4, una seconda famiglia più che un semplice gruppo di amici; persone come Vincenzo, che conosco dal giorno zero e che sono veri e propri fratelli, anche se non di sangue. Chi più e chi meno, hanno sempre creduto in me, spronandomi ad insistere nei momenti più bui.

Un grazie non può che andare anche ai Civitesi, sempre presenti, e agli Anconetani che, tra appunti e suggerimenti, hanno contribuito anche loro a trainare il carro.

Grazie a Fede che, soprattutto in quest'ultimo periodo di fuoco, non mi ha mai abbandonato.

Infine, ma non per ultimi, un ringraziamento straordinario va fatto ai miei coinquilini, perché nessuno come loro può sapere cosa ho dato realmente per raggiungere questo obiettivo.

A Mattia, con cui ho vissuto dal primo giorno e che non ha mai esitato ad aiutarmi quando ne avevo bisogno.

A Giuseppe, che non ti dice mai di no e che mi ha sopportato più di tutti.

Ma soprattutto voglio fare un ringraziamento speciale a Simone, con il quale forse ho avuto più discussioni rispetto agli altri, ma che nel vero momento del bisogno, quando stavo per mollare tutto, mi ha dato una spinta che mi ha fatto tornare in corsa; per non parlare degli esami studiati in quella camera, momenti che non dimenticherò mai.

Grazie a tutti, davvero, di cuore!