

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI TECNICA E

GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCATRONICA

TESI DI LAUREA

**ANALISI DEI RISCHI E ADEGUAMENTO
DI UNA MACCHINA PER LA TARATURA DINAMICA
DI UN REGOLATORE DI PRESSIONE**

Relatore: Prof. DAINESE DIEGO

Laureando: ALEX VEZZARO

Matricola 1163235-IMC

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

INDICE:

Ringraziamenti

1. SOMMARIO

2. INTRODUZIONE

- 2.1. Funzionamento Norval**
- 2.2. Funzione della macchina**
- 2.3. Motivi di costruzione**

3. UNI ISO TR 14121-2: Analisi dei Rischi

- 3.1. Gravità (Gr)**
- 3.2. Frequenza (Fr)**
- 3.3. Probabilità (Pr)**
- 3.4. Evitabilità (Av)**
- 3.5. Classe (Cl)**
- 3.6. Analisi sulla macchina**

4. CEI EN 60204: protezione elettrica

- 4.1. Contatti diretti**
- 4.2. Contatti indiretti**
- 4.3. Protezione dal cortocircuito**

5. CEI IEC\TR 60890: calcolo termico

6. UNI EN-ISO 13854:2020 (ex 349:2008) e 13855:2010

- 6.1. Comando bimanuale**
- 6.2. Radar**
- 6.3. Barriere fotoelettriche**
- 6.4. Portello**

7. UNI EN-ISO 13849: circuiti di controllo e comando (PL e sicurezza)

7.1. Gravità della lesione

7.2. Frequenza e/o tempo di esposizione al pericolo

7.3. Possibilità di evitare il pericolo o limitare il danno

7.4. PL ottenuto

8. CONCLUSIONE

Ringraziamenti

Voglio ringraziare i miei genitori per avermi sempre sostenuto e incoraggiato, il professor Dainese per avermi introdotto a un'ottima azienda e avermi aiutato per questa tesi e l'azienda Pietro Fiorentini per l'occasione che mi sta dando.

Vorrei ringraziare anche la mia fidanzata per l'amore e il sostegno che mi ha dato, e i miei amici per esserci stati e avermi allietato in questi anni.

CAPITOLO 1

Sommario

Obiettivo di questa tesi è lo studio di un banco di collaudo dinamico, e di come le direttive europee e relative norme abbiano influito sulla sua progettazione.

La direttiva europea di riferimento è la Direttiva Macchine 2006/42/CE. Seguire le norme citate in questa tesi ne dà presunzione di conformità, permette cioè di poter assicurare che la macchina in oggetto rispetti la Direttiva Macchine.

La progettazione di questo banco dinamico ha avuto due obiettivi principali: l'adeguamento alle norme di sicurezza e l'aumento della produzione giornaliera.

Nel prossimo capitolo leggeremo più in dettaglio del perché di questa tesi e degli obiettivi che si è posta.

Nel capitolo 3 vedremo come è stata svolta l'analisi dei rischi e quali misure sono state prese per ridurre i rischi principali.

Nei capitoli successivi esamineremo le norme in particolare e come esse abbiano influito sulla progettazione del banco.

CAPITOLO 2

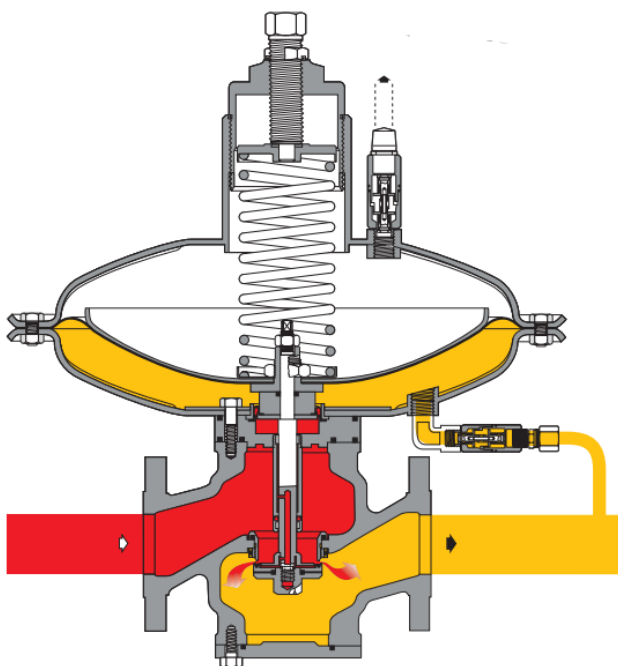
Introduzione

Questa tesi è stata svolta all'interno dell'azienda Pietro Fiorentini, società che offre prodotti e servizi nel campo dell'energia con sedi in Italia e nel mondo. In particolare, si è lavorato nella sede di Arcugnano su una linea di produzione di regolatori di pressione di media portata. Scopo di questa tesi era la progettazione di un banco di collaudo dinamico per il regolatore di pressione Norval.



1. Funzionamento Norval

Come si vede dalla vista di taglio, il regolatore riceve gas ad alta pressione e tramite una molla con membrana regola e mantiene costante la pressione in uscita. Possono essere



presenti anche un blocco SN e un monitor come sicurezze aggiuntive richieste dal cliente. Il blocco SN serve a bloccare il flusso del gas in caso di malfunzionamento del regolatore, il monitor invece è una membrana aggiuntiva che ha la funzione di limitare il flusso in caso di rottura della membrana principale.

2.Funzione della macchina

Il banco di collaudo in analisi è progettato per tarare il blocco SN e il corpo principale e verificare che il regolatore rispetti gli standard aziendali. La macchina dovrà ricevere i dati di taratura dal database aziendale e regolare automaticamente la pressione in entrata al regolatore. Dovrà inoltre comandare un circuito pneumatico a parte che permetta la taratura del blocco SN.

Una volta che l'operatore avrà tarato correttamente il regolatore, la macchina farà delle prove per misurarne l'accuratezza e invierà i dati raccolti al database aziendale.

3.Motivi di costruzione

La macchina oggetto di questa tesi è stata voluta dall'azienda per 2 motivi principali: rispondere alla maggiore richiesta del mercato e adeguare la linea di produzione alle nuove norme sulla sicurezza. Il banco è stato progettato internamente e permetterà una riduzione del tempo ciclo, con conseguente aumento della produzione, oltre a garantire una maggiore sicurezza per gli operatori e il rispetto delle vigenti norme di qualità.

CAPITOLO 3

UNI ISO TR 14121-2: Analisi dei Rischi

Come primo passo è stata svolta un'analisi dei rischi sul banco. Vengono valutati 4 parametri: gravità, frequenza, probabilità e evitabilità.

13849 traduce da SIL a PL

1.Gravità (Se)

La gravità o Se della lesione indica la gravità del danno che può avvenire a causa del pericolo. Si valuta così:

- 1 graffi o lividi che possono essere curati con misure di primo soccorso
- 2 graffi, lividi o tagli più gravi che richiedono attenzione medica da parte di professionisti
- 3 lesione generalmente irreversibili, che però permettono di proseguire l'attività lavorativa dopo la ripresa
- 4 lesioni irreversibili che rendono molto difficile, o impossibile, la prosecuzione dell'attività lavorativa dopo la ripresa

2.Frequenza (Fr)

Questo parametro rappresenta la frequenza media di esposizione al pericolo. Si valuta così:

- 2 intervallo tra le esposizioni maggiori di un anno
- 3 intervallo tra le esposizioni maggiore di due settimane ma minore di un anno
- 4 intervallo tra le esposizioni maggiore di un giorno ma minore o uguale a due settimane
- 5 intervallo tra le esposizioni maggiore di un'ora ma minore o uguale a un giorno
- 5 intervallo tra le esposizioni minore o uguale a un'ora

3.Probabilità (Pr)

Pr è la probabilità che si verifichi un evento pericoloso. In questo parametro vengono considerati più fattori, come il comportamento umano, l'affidabilità dei componenti e anche la natura del componente stesso. Si valuta così:

- 1 Trascurabile: il componente non è soggetto a guasti pericolosi e l'errore umano è impossibile
- 2 Raramente: è improbabile che quel tipo di componente si guasti in modo pericoloso e che ci sia un errore umano
- 3 Possibile: quel tipo di componente può essere soggetto a un guasto pericoloso, e l'errore umano è possibile
- 4 Probabile: è probabile che quel tipo di componente si guasti in modo pericoloso, l'errore umano è probabile
- 5 Molto alto: quel tipo di componente non è costruito per quell'applicazione, rendendolo soggetto a guasti pericolosi. Il comportamento umano rende molto probabile l'errore.

4.Evitabilità (Av)

L'evitabilità è la possibilità di evitare o limitare il danno, sia tramite la competenza richiesta all'operatore sia per le scelte progettuali. È così valutata:

- 1 Probabile: è probabile evitare o limitare il danno, per esempio se del movimento pericoloso avviene dietro un riparo
- 3 Possibile: è possibile evitare il danno in specifiche condizioni, per esempio se ci sia bassa velocità o spazio sufficiente per evitare parti mobili
- 5 Impossibile: è impossibile evitare il danno, per esempio per eventi improvvisi.

5. Classe (CI)

Una volta assegnati dei valori ai parametri, si passa alla stima del rischio. I parametri Fr, Pr e Av vengono sommati e riuniti nel parametro CI. Vengono quindi inseriti i parametri Se e CI nella matrice e viene valutato il rischio.

Le zone più scure rappresentano il rischio alto, le zone bianche il rischio basso e le zone intermedie il rischio medio.

Conseguenze	Gravità Se	Classe CI (Fr + Pr + Av)					Frequenza Fr	Probabilità Pr	Evitabilità Av		
		4	5 - 7	8 - 10	11 - 13	14 - 15					
Morte, perdita di un occhio o di un braccio	4						≥1 h	5	Molto alta	5	
Permanente, perdita di dita	3						Da <1 h a ≥24 h	5	Probabile	4	
Reversibile, attenzione medica	2						Da <24 h a ≥2 settimane	4	Possibile	3	Impossibile
Reversibile, pronto soccorso	1						Da <2 settimane a ≥1 anno	3	Raramente	2	Possibile
							<1 anno	2	Trascurabile	1	Probabile

Rischio	Stima iniziale				Azioni intraprese				Fds PLR				Stima Finale			
	Gravità (Se)	Permanente, perdita dita (3)	3	5	Il comando del motore dello staffaggio viene interbloccato con comando bimanuale	PLR	Gravità (Se)	Reversibile, pronto soccorso (1)	3	Gravità (Se)	Permanente, perdita dita (3)	3	5	Gravità (Se)	Reversibile, pronto soccorso (1)	3
R1	Schiacciamento durante la fase di staffaggio pezzo tra flange monte e valle	Frequenza (Fr) <=1h (5) Probabilità (Pr) Possibile (3) Evitabilità (Av) Possibile (3) Classe	3	5		X	Frequenza (Fr) <=1h (5) Probabilità (Pr) Trascurabile (1) Evitabilità (Av) Probabile (1) Classe	2	2	2	2	2	2	2	2	2
R2	Iniezione di aria dovuta all'avviamento dell'impianto con il noval non presente o non correttamente staffato	Gravità (Se) Morte, perdita occhio o braccio (4) Frequenza (Fr) <=1h (5) Probabilità (Pr) Probabile (4) Evitabilità (Av) Probabile (1) Classe	4	5	Aggiunta di valvole a monte, le valvole restano chiuse se il pezzo non è stato staffato	X	Frequenza (Fr) <=1h (5) Probabilità (Pr) Trascurabile (1) Evitabilità (Av) Probabile (1) Classe	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R4	Proiezione di oring dovuta all'apertura dell'impianto in pressione	Gravità (Se) Reversibile, attenzione medica (2) Frequenza (Fr) <=1h (5) Probabilità (Pr) Molto alta (5) Evitabilità (Av) Impossibile (5) Classe	2	5	Uso tamponi in vulcolan Carter protezione protezioni		Reversibile, pronto soccorso (1) Frequenza (Fr) <=1h (5) Probabilità (Pr) Trascurabile (1) Evitabilità (Av) Possibile (3) Classe	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R3	Iniezione di aria dovuta all'apertura dell'impianto in pressione	Gravità (Se) Reversibile, attenzione medica (2) Frequenza (Fr) <=1h (5) Probabilità (Pr) Probabile (4) Evitabilità (Av) Possibile (3) Classe	2	5	Il comando del motore dello staffaggio viene interbloccato quando l'impianto è in pressione	X	Reversibile, pronto soccorso (1) Frequenza (Fr) >1 anno (2) Probabilità (Pr) Trascurabile (1) Evitabilità (Av) Probabile (1) Classe	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R5	Urto con tubo in pressione flessibile di monte	Gravità (Se) Reversibile, attenzione medica (2) Frequenza (Fr) <=1h (5) Probabilità (Pr) Possibile (3) Evitabilità (Av) Possibile (3) Classe	2	5	Collari fissano il tubo alla struttura in caso di distacco		Reversibile, pronto soccorso (1) Frequenza (Fr) >1 anno (2) Probabilità (Pr) Trascurabile (1) Evitabilità (Av) Probabile (1) Classe	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R5	Urto con prese impulso flessibili in pressione	Gravità (Se) Reversibile, attenzione medica (2) Frequenza (Fr) <=1h (5) Probabilità (Pr) Raramente (2) Evitabilità (Av) Possibile (3) Classe	2	5	Il collaudo può partire solo in caso di esito positivo del collaudo di tenuta		Reversibile, pronto soccorso (1) Frequenza (Fr) >1 anno (2) Probabilità (Pr) Trascurabile (1) Evitabilità (Av) Probabile (1) Classe	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R6	Schiacciamento durante l'utilizzo dell'avvitatore utilizzato per taratura noval	Gravità (Se) Permanente, perdita dita (3) Frequenza (Fr) <=1h (5) Probabilità (Pr) Probabile (4) Evitabilità (Av) Possibile (3) Classe	3	5	Braccio di reazione che impedisce il movimento dell'avvitatore		Permanente, perdita dita (3) Frequenza (Fr) >1 anno (2) Probabilità (Pr) Trascurabile (1) Evitabilità (Av) Probabile (1) Classe	3	3	3	3	3	3	3	3	3

6. Analisi sulla macchina

Seguendo questo iter, è stata fatta un'analisi dei rischi preliminare sulla macchina. Ne è risultata la tabella nella pagina precedente

Alcuni rischi sono stati eliminati tramite decisioni progettuali: per esempio, per proteggere l'operatore dalla proiezione di o-ring è stato deciso di montare delle carterature. Un altro rischio è il possibile sbandieramento dei tubi flessibili in pressione, risolto progettualmente usando dei collari in acciaio che fissano il tubo alla struttura in caso di distacco. Non è stato tuttavia possibile eliminare tutti i rischi, e i seguenti sono rimasti irrisolti.

È stato quindi necessario studiare delle funzioni di sicurezza. In particolare, per ridurre il rischio di schiacciamento durante la movimentazione del martinetto è stato pensato inizialmente di usare delle barriere fotoelettriche o un radar, idee poi scartate per motivi di layout (verrà analizzato in dettaglio nel capitolo **UNI EN-ISO 13854:2020 (ex 349:2008) e 13855:2010**). Era stato valutato anche un comando bimanuale ma la presenza di più operatori ne vanificava l'utilità. Si è optato alla fine per un riparo interbloccato. Il PLC di sicurezza non permette al motore di attivarsi se il riparo non è correttamente chiuso. Il riparo permette inoltre di proteggere l'operatore dalla proiezione di o-ring durante la messa in pressione del pezzo.

Rischio	Descrizione del rischio	Azioni intraprese	PLr	Ingresso	Uscita
R1	Schiacciamento durante la fase di staffaggio pezzo tra flange monte e valle	Il comando del motore dello staffaggio viene interbloccato con comando bimanuale	PLd	Bimanuale/ Riparo mobile/ ESPE	STO inverter
R2	Iniezione di aria dovuta all'avviamento dell'impianto con il norval non presente o non correttamente staffato	Aggiunta di valvole a monte, le valvole restano chiuse se il pezzo non è stato staffato	PLd	Sensori presenza pezzo	Valvola monte + Valvola staflux
R3	Iniezione di aria dovuta all'apertura dell'impianto in pressione	Il comando del motore dello staffaggio viene interbloccato quando l'impianto è in pressione	PLc	Pressostato a monte + valle	STO inverter

Per quanto riguarda l'iniezione intempestiva di aria con regolatore non presente o non correttamente staffato, si è deciso di aggiungere dei sensori che ne controllassero il posizionamento. Il PLC di sicurezza comanderà delle valvole a monte e le terrà chiuse finché la logica di controllo non confermerà la sicurezza dell'apertura.

CAPITOLO 4

CEI EN 60204-1: protezione elettrica

La norma CEI EN 60204-1 *si applica agli equipaggiamenti e sistemi elettrici, elettronici e programmabili di macchine non portatili quando sono in moto, inclusi i gruppi di macchine che lavorano in modo coordinato. L'equipaggiamento considerato inizia dal punto di connessione dell'alimentazione dell'equipaggiamento elettrico della macchina.*

Nel nostro caso il punto di connessione dell'alimentazione si trova all'interno del quadro elettrico. La protezione richiesta consiste in protezione da:

- Contatti diretti (grado IP)
- Contatti indiretti
- Sovratemperatura all'interno del quadro (analizzata nel capitolo seguente)
- Tenuta al cortocircuito

1. Contatti diretti

Contro i contatti diretti la norma prevede una protezione IP 2X all'interno del quadro elettrico. Il grado IP è formato da 2 cifre e 2 lettere:

- La prima cifra varia da 0 a 6 e indica la protezione contro la penetrazione di corpi solidi estranei
- La seconda cifra varia da 0 a 9 e indica la protezione contro la penetrazione di liquidi
- La prima lettera indica la protezione contro l'accesso diretto alle zone pericolose, si usa solo se è superiore alla prima cifra
- La seconda lettera indica informazioni sulla protezione del materiale

Un grado IP 2X indica che l'interno del quadro elettrico deve essere protetto dal contatto con un dito, non deve cioè essere possibile toccare con un dito parti in tensione. In alternativa si può fare in modo che non sia possibile aprire il quadro senza togliere prima l'alimentazione con il sezionatore.

In questo progetto sono state adottate entrambe le misure: non sarà infatti possibile aprire il quadro con sezionatore chiuso e l'interno del quadro ha un grado di protezione IP2X

Inoltre, per policy aziendale è stato preso un quadro certificato IP 54, e anche i circuiti a bordo macchina saranno protetti con lo stesso grado.

2.Contatti indiretti

Per proteggere le persone dai contatti indiretti tutte le masse della macchina, nel nostro caso soprattutto la struttura stessa, sono state collegate al circuito equipotenziale di protezione. Con massa si intende qualsiasi parte della macchina non in tensione durante il normale funzionamento, ma che può andare in tensione e diventare quindi pericolosa in seguito ad un guasto.

Una volta completato il collegamento elettrico del bordo macchina, verrà verificata la continuità del circuito equipotenziale di protezione come stabilito dalla norma. Le prove consistono nel verificare se, misurando tra la barra di terra e ogni massa della macchina, il circuito di protezione sia efficace controllando che il valore di resistenza misurata sia consistente con il valore di resistenza atteso.

Inoltre, è stato predisposto un interruttore differenziale da 30 mA che interrompe l'alimentazione in caso di guasto verso massa.

3.Tenuta al cortocircuito

Il valore di picco della corrente presunta di cortocircuito attesa nel punto d'installazione è non superiore a 10 kA. Ciò ci permette di non dover fare delle prove distruttive sull'equipaggiamento elettrico e di proteggere la macchina con un interruttore magnetotermico con potere di interruzione di almeno 10 kA.

CAPITOLO 5

CEI IEC\TR 60890:2018: calcolo termico

Questa norma è entrata in gioco nella progettazione del quadro elettrico. Essa definisce come calcolare la sovratemperatura raggiunta all'interno del quadro, tenendo conto delle dimensioni dello stesso, della presenza di diaframmi e della potenza dissipata dai componenti all'interno.

La progettazione è stata fatta utilizzando SPAC 2021, un programma della famiglia AutoCAD. Il calcolo termico è stato fatto usando proprio questo programma. Il software, una volta inserite nei database le caratteristiche del quadro e la potenza dissipata dai singoli componenti, ha svolto il calcolo termico come descritto dalla normativa.

Verifica Sovratemperatura all'interno del Quadro a Norma CEI 17-43

Caratteristiche dell'involucro e tipo di installazione		Dati principali del progetto																																	
Quadro		Nome progetto	Nuovo Progetto																																
Costruttore	Zanardo	Potenza termica generata dai componenti installati [W]	96,28																																
Codice	D93/35	Fattore di contemporaneità	1																																
Descrizione	Anfa cieca, piastra interna, flangia	Potenza termica complessiva (P) generata all'interno dell'involucro [W]	96,28																																
		Temperatura ambiente [°C]	40																																
		Temperatura massima accettabile dell'aria nell'involucro [°C]	50																																
<p>Involucro a parete, libero su tutti i lati</p> <p>N° Diaframmi: 0</p> <p>Superficie aperture di Ventilazione [cm²]: 0</p> <p>Altezza di installazione dell'involucro [m]: 0</p>		Parametri per il Calcolo																																	
		Superficie totale Effettiva Ae [m²]	2,017																																
		Superficie aperture di Ventilazione [cm²]	0																																
		N° Diaframmi	0																																
		Costante d'involucro (k)	0,345																																
		Fattore di (d)	1																																
Esponente x (n)	0,804																																		
Fattore di distribuzione della temperatura (c)	1,345																																		
<p>Superficie totale Effettiva Ae [m²]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Dimensione [mm x mm]</th> <th>Superficie [m²]</th> <th>Fattore B</th> <th>Effettiva [m²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Parete Superiore 906x300</td> <td>0,2418</td> <td>14</td> <td>0,339</td> </tr> <tr> <td>Parete Anteriore 906x1006</td> <td>0,810836</td> <td>0,9</td> <td>0,73</td> </tr> <tr> <td>Parete Posteriore 906x1006</td> <td>0,810836</td> <td>0,5</td> <td>0,405</td> </tr> <tr> <td>Lato Sinistro 300x1006</td> <td>0,3018</td> <td>0,9</td> <td>0,272</td> </tr> <tr> <td>Lato Destro 300x1006</td> <td>0,3018</td> <td>0,9</td> <td>0,272</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Superficie totale Effettiva Ae [m²]</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">2,017</td> </tr> </tbody> </table>		Dimensione [mm x mm]	Superficie [m²]	Fattore B	Effettiva [m²]	Parete Superiore 906x300	0,2418	14	0,339	Parete Anteriore 906x1006	0,810836	0,9	0,73	Parete Posteriore 906x1006	0,810836	0,5	0,405	Lato Sinistro 300x1006	0,3018	0,9	0,272	Lato Destro 300x1006	0,3018	0,9	0,272	Superficie totale Effettiva Ae [m²]				2,017				Risultati	
		Dimensione [mm x mm]	Superficie [m²]	Fattore B	Effettiva [m²]																														
		Parete Superiore 906x300	0,2418	14	0,339																														
		Parete Anteriore 906x1006	0,810836	0,9	0,73																														
Parete Posteriore 906x1006	0,810836	0,5	0,405																																
Lato Sinistro 300x1006	0,3018	0,9	0,272																																
Lato Destro 300x1006	0,3018	0,9	0,272																																
Superficie totale Effettiva Ae [m²]																																			
2,017																																			
Temperatura massima dell'aria raggiunta nell'involucro senza l'utilizzo di un sistema di raffreddamento [°C]	58,23																																		
Temperatura massima dell'aria raggiunta nell'involucro con l'utilizzo del sistema di Ventilazione forzata scelto [°C]	45,06																																		
Sovratemperatura dell'aria a mezza altezza dell'involucro	13,55																																		
Sovratemperatura dell'aria all'estremità superiore dell'involucro	18,23																																		
<p>Calcolo della superficie di raffreddamento effettiva $A_e = \sum (A_i \times b)$</p>		Ventilatore scelto																																	
		Costruttore	Fandis																																
		Codice	FF12024UN																																
		Descrizione	Gruppo Filtro serie FF Portata 47 mc/h																																
		Portata Aria [m³ / h]	47																																

L'inverter necessario al funzionamento del motore causa un surriscaldamento eccessivo dell'involucro, non dissipabile senza ventilazione forzata. Considerando una temperatura ambiente di 40°, la temperatura interna arriverebbe a circa 58°. Questo non è accettabile poiché, da manuali dei fornitori dei componenti del quadro, la temperatura massima ammissibile all'interno è non superiore a 50°

È stata quindi scelta una ventola con portata nominale pari a $47 \text{ m}^3/\text{h}$ ed è stata verificata la temperatura tramite il software. Con la ventola installata si raggiunge una temperatura interna di 45° , perfettamente accettabile per i componenti. La ventola verrà attivata da un termostato, evitando così spreco di energia elettrica.

CAPITOLO 6





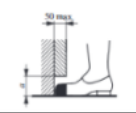


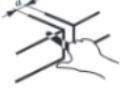
UNI EN-ISO 13854:2020 (ex 349:2008) e 13855:2010

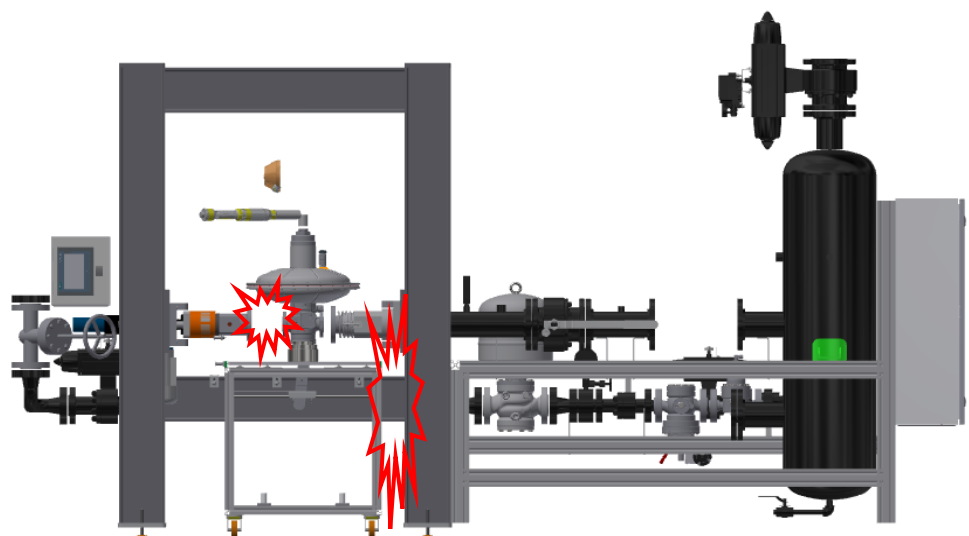
La norma 13854:2020 stabilisce gli spazi minimi rispetto alle parti del corpo per evitare lo schiacciamento.

Come si vede dalla figura sottostante, nella zona a destra non ci sono i 180 mm richiesti dalla norma perché la gamba dell'operatore sia al sicuro, mentre nella zona a sinistra la flangia va in pressione contro il corpo del regolatore, rischiando di schiacciare le mani dell'operatore. È stato quindi necessario studiare una

funzione di sicurezza.

6. DISTANZE MINIME DI SICUREZZA

PROSPETTO 1 DI UNI EN ISO 349:2008		
Parte del corpo	Spazio minimo a (mm)	Figura
Corpo	500	
Testa (posizione meno favorevole)	300	
Gamba	180	
Piedi	120	
Dita del piede	50	
Braccio	120	
Mano Pugno Polso	100	
Dita della mano	25	



1. Comando Bimanuale

Come prima opzione è stato valutato un comando bimanuale, tuttavia la presenza contemporanea di più operatori avrebbe reso inefficace questa soluzione. Sarebbe infatti stato possibile per un operatore azionare il motore mentre un altro operatore agiva sul regolatore da staffare, vanificandone la funzione di sicurezza.

2. Radar

Abbiamo quindi valutato la possibilità di usare un radar: lo strumento raggiunge un PL d e categoria 3, ma la distanza minima richiesta dalla zona di pericolo (1,33 m, come calcolata dalla formula seguente fornita dal venditore) è troppo grande per garantire un efficiente ciclo di lavoro e un buon layout della linea.

5.3.2 Formula

To calculate the depth of the dangerous area (S), use the following formula:

$$S = K * T + C$$

Where:

Variable	Description	Value	Measurement unit
K	Maximum dangerous area access speed	1600	mm/s
T	Total system stopping time (SBV System Series + machinery)	0.1 + Machinery stopping time (calculated in accordance with ISO 13855:2010 standard)	s
C	Corrective constant according to standard ISO 13855:2010	850	mm

Example 1

- Machinery stopping time = 0.5 s

$$T = 0.1 \text{ s} + 0.5 \text{ s} = \mathbf{0.6 \text{ s}}$$

$$S = 1600 * \mathbf{0.6} + 850 = \mathbf{1810 \text{ mm}}$$

3. Barriere fotoelettriche

Abbiamo valutato anche la possibilità di utilizzare barriere fotoelettriche che proteggessero l'area di lavoro. Tuttavia secondo il calcolo della distanza richiesto dalla norma UNI EN-ISO 13855:2010 si ricavava una distanza di 68,8 cm ($2000 * 0,3 + 8 * (25 - 14)$), minore del laser ma comunque non compatibile con il layout della linea.

(1) $S = (K * T) + C$	S	Distanza minima di sicurezza
	K	Costante nota da UNI EN ISO 13855 derivata da dati sulle velocità di avvicinamento del corpo o parti del corpo. Valore 2000 mm/s
	T	Tempo complessivo di arresto del sistema macchina
	C	$8 * (d - 14)$
(3) $T = t_1 + t_2$	t₁	Tempo del segnale elettronico del componente. Valore ricavabile dal manuale del componente
	t₂	Valore rilevato del tempo totale d'arresto delle funzioni pericolose della macchina.
(4) $C = 8 * (d - 14)$	8	Costante nota da UNI EN ISO 13855
	14	Costante nota da UNI EN ISO 13855
	d	Capacità di rilevamento del sensore del dispositivo. Valore ricavabile dal manuale del componente

4.Portello

Abbiamo infine optato per un portello che faccia da riparo durante l'operazione di staffaggio del pezzo e messa in pressione dell'impianto. Il PLC di sicurezza impedirà l'azionamento del motore del martinetto se il portello non è chiuso correttamente. Bloccherà inoltre la sua movimentazione qualora il portello venga aperto intempestivamente durante il ciclo di lavoro.

CAPITOLO 7

UNI EN-ISO 13849: circuiti di controllo e comando (PL e sicurezza)

Il circuito di controllo e comando deve rispettare dei requisiti dettati dalla norma. Questi requisiti sono riassunti nel PL o performance level che la funzione di sicurezza deve rispettare, calcolato secondo dei metodi forniti dalla direttiva. In questo caso, per il calcolo, è stato usato il software SISTEMA che ha permesso di calcolare il PL con il grafico di rischio.

Funzione di Sicurezza IFA

Documentazione PLr PL Sottosistemi

Inserisci direttamente il valore del PLr
 Determina il valore del PLr dal grafico del rischio

Livello di Prestazione Richiesto:

S1 F1 P1 a
 F2 P2 b
 S2 F1 P1 c
 F2 P1 d
 P2 e

Gravità della Lesione (S)

S1 Leggera (lesione normalmente reversibile)
 S2 Grave (lesione normalmente irreversibile o morte)

Frequenza e/o tempi di esposizione al pericolo (F)

F1 Da rara a infrequente e/o il tempo di esposizione è breve
 F2 da frequente a continua e/o tempo di esposizione lungo

Possibilità di evitare il pericolo o limitare il danno (P)

P1 Possibile in specifiche condizioni
 P2 Scarsamente Possibile

Il metodo del grafico di rischio consiste nel valutare 3 fattori in un preciso ordine.

1.Gravità della lesione

La gravità della lesione è valutata in base alla reversibilità o meno della stessa. Sarà lieve se la lesione è reversibile, grave se la lesione è irreversibile o se può portare alla morte dell'operatore.

In questo caso lo schiacciamento dovuto all'azione del martinetto avrebbe portato sicuramente a danni irreversibili e la gravità della lesione è stata quindi valutata GRAVE.

2.Frequenza e\o tempo di esposizione al pericolo

Questo fattore è valutato raro o infrequente se l'esposizione al pericolo è inferiore o uguale a 2 volte per turno di lavoro o se il tempo totale di esposizione al pericolo è inferiore ai 15 minuti, altrimenti viene considerata frequente.

Nel caso in esame il martinetto viene movimentato 2 volte per ciclo di lavoro su diversi cicli di lavoro al giorno, esponendo l'operatore a un rischio FREQUENTE.

3.Possibilità di evitare il pericolo o limitare il danno

Il terzo fattore tiene conto della capacità della funzione di sicurezza in esame di evitare il pericolo o comunque limitare il possibile danno.

In questo caso la soluzione del portello interbloccato permette di ridurre il rischio, considerando che il PLC di sicurezza non permetterà l'azionamento del motore fintantochè non riceverà da un apposito sensore il segnale di portello chiuso. In questo modo è stato possibile valutare questo fattore come

4.PL ottenuto

Queste valutazioni sui 3 fattori del grafico di rischio ci hanno portato ad avere una richiesta di PLd. Al fine di raggiungere questo performance level è stato necessario usare dei componenti di categoria maggiore di 2. È stato scelto di usare componenti con categoria uguale o maggiore di 3.

Una funzione di sicurezza è composta da ingresso, logica e uscita. L'ingresso, solitamente un sensore, invia un segnale che viene elaborato dalla logica di controllo che a sua volta attiva un'uscita.

La funzione di sicurezza è formata da:

- Sensori del portello come ingresso. Il fornitore certifica un PLe e una categoria di sicurezza 4
- PLC di sicurezza come logica. Anche in questo caso il fornitore assicura un PLe e una categoria di sicurezza 4
- L'inverter come uscita. In questo caso il fornitore assicura un PLe ma una categoria 3

La categoria 3, come si vede dalla figura, prevede un doppio canale così che l'avaria di un singolo canale non pregiudichi l'esecuzione della funzione di sicurezza. In questa funzione di sicurezza, infatti, la posizione del portello è rilevata da due sensori, funzionanti in logica opposta: uno è normalmente chiuso mentre uno è normalmente aperto. In questo modo il PLC può rilevare le avarie controllando che i segnali siano sempre diversi. Anche l'inverter dispone di due canali che ne controllano il funzionamento. La differenza principale con la categoria 4 dei sensori del portello o del PLC è la copertura diagnostica, cioè la probabilità che il sistema si accorga di un guasto pericoloso.

Categoria del Sistema di Controllo			
<p>3 Si devono applicare i requisiti di B ed utilizzare principi di sicurezza ben provati. Le parti legate alla sicurezza devono essere progettate in modo che 1. una singola avaria in una di queste parti non porti ad una perdita della funzione di sicurezza e 2. ogniqualvolta ragionevolmente fattibile, la singola avaria sia rilevata.</p>	<p>Quando si verifica una singola avaria la funzione di sicurezza è sempre eseguita. Alcune ma non tutte le avarie sono rilevate. L'accumulo di avarie non rilevate può portare alla perdita della funzione di sicurezza.</p>	<p>Caratterizzato principalmente dalla struttura</p>	

CAPITOLO 8

Conclusione

Il banco di collaudo dinamico è stato progettato secondo le vigenti norme di sicurezza. È stata fatta un'iniziale analisi dei rischi che ha evidenziato alcune criticità. Alcuni rischi sono stati eliminati prendendo delle misure di protezione, per altri è stato necessario progettare delle funzioni di sicurezza.

Abbiamo innanzitutto protetto l'operatore dal rischio elettrico, da contatti diretti, indiretti e cortocircuito secondo la **CEI EN 60204**. Il quadro elettrico è stato protetto anche dalle sovratemperature secondo la norma **CEI IEC\TR 60890:2018**: è stato fatto un calcolo termico ed è stata dimensionata una ventola per l'aerazione all'interno del quadro.

Secondo le distanze espresse nella **UNI EN-ISO 13854:2020 (ex 349:2008)** e **13855:2010** è stata studiata la possibilità di usare diversi ripari, ma per motivi di layout è stato deciso di usare un portello interbloccato.

Per la progettazione delle funzioni di sicurezza è stata seguita la **UNI EN-ISO 13849**. Questo ci ha permesso di calcolare il performance level delle funzioni di sicurezza e progettare la macchina di conseguenza.

BIBLIOGRAFIA

CEI EN 60204: Sicurezza del macchinario – Equipaggiamento elettrico delle macchine

CEI IEC\TR 60890: Modalità di verifica tramite calcolo della sovratemperatura per le apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT)

UNI EN ISO 13854:2020 : Sicurezza del macchinario – Spazi minimi per evitare lo schiacciamento di parti del corpo

UNI EN ISO 13855:2010 : Sicurezza del macchinario - Posizionamento dei mezzi di protezione in funzione delle velocità di avvicinamento di parti del corpo umano

UNI EN ISO 13849-1:2016 : Sicurezza del macchinario – Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza – Parte 1: principi generali per la progettazione

UNI EN ISO 13849-2:2013 : Sicurezza del macchinario – Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza – Parte 2: Validazione

UNI ISO TR 14121: Valutazione del rischio