

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Dipartimento di Ingegneria Industriale - D.I.N

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

TESI DI LAUREA

Laboratorio di Disegno C.A.D

**Studio ed Ottimizzazione Energetica di una Macchina
Blisteratrice**

CANDIDATO

Matteo Ballanti

RELATORE

Chiar.mo Prof. Luca Piancastelli

CORRELATORE/CORRELATORI

Ing. Simone Nannetti
Ing. Alessandro Grazia

Anno Accademico 2013/2014

Sessione II

INDICE

1. PREMESSA

1.1 Premessa Iniziale.....	5
----------------------------	---

2. L'AZIENDA

2.1 La Storia	7
2.2 Dati e Numeri	10
2.3 Le Aziende del Gruppo	12
2.4 Prodotti e Servizi.....	14
2.5 Mission Aziendale.....	18

3. LA BLISTERATRICE

3.1 Nozioni Generali	19
3.2 Processo di Formazione del Blister	19
3.2.1 Gruppo Carico Materiale Formatura	20
3.2.2 Gruppo Preriscaldi e Formatura	21
3.2.3 Gruppo Carico Prodotto	23
3.2.4 Gruppo Centratura Stampa e Saldatura	24
3.2.5 Gruppo Tranciatura e Cicloide	26
3.3 Controllo Prodotto.....	28

4. INDAGINE ENERGETICA

4.1 Generalità	31
4.2 Assorbimenti Pneumatici	31
4.3 Assorbimenti Elettrici	32

5. RECUPERO DELL'ENERGIA DI FRENATURA

5.1 Introduzione	35
5.2 Cablaggio Elettrico.....	39
5.3 Svolgimento della Prova	41

5.4 Conclusioni.....	44
----------------------	----

6. LA TECNOLOGIA DEL VUOTO

6.1 Introduzione	47
6.2 Cos'è il Vuoto.....	48
6.3 Legame tra Energia e Livello di Vuoto.....	49
6.4 Legame tra Pressione ed Altitudine	50
6.5 La Componentistica Principale dei Sistemi per il Vuoto	51
6.5.1 Ventosa.....	51
6.5.2 Produttori di Vuoto.....	53
6.5.3 Vacuostati.....	57
6.6 Caratterizzazione Energetica dei Sistemi per il Vuoto.....	58
6.7 Tipologie di Circuito	59
6.8 Valutazioni e Considerazioni Generali	62
6.9 Validazione del Sistema.....	66
6.10 Conclusioni.....	73

7. GRUPPO SALDATURA E PRERISCALDI

7.1 Introduzione	75
7.2 Richiami sulla Trasmissione del Calore.....	77
7.2.1 Conduzione.....	78
7.2.2 Convezione.....	80
7.2.3 Irraggiamento	82
7.2.4 L'Equazione di Fourier	84
7.2.5 L'Analogia Elettrotermica	92
7.3 Gruppo Saldatura.....	94
7.3.1 Principio di Funzionamento	94
7.3.2 Validazione.....	96
7.3.3 Isolamento Termico.....	101
7.3.4 Costi e Conclusioni	108
7.4 Gruppo Preriscaldi - Formatura	109
7.4.1 Principio di Funzionamento	109

7.4.2 Struttura dei Preriscaldi	111
7.4.3 Isolamento Termico.....	115
7.4.4 Costi e Conclusioni	125
7.5 Sviluppi e Miglioramenti Futuri: la Tecnologia dell'Infrarosso.....	126
7.5.1 Cenni Teorici.....	126
7.5.2 La Metodologia di Riscaldamento	128
7.5.3 Caratteristiche Tecniche e Funzionali Ricercate	130
7.5.4 Linee Guida per il Dimensionamento di un Impianto	132

8. CONCLUSIONI

8.1 Conclusioni Finali	135
------------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA

Premessa

Il risparmio energetico, o "*energy efficiency*", sta diventando un tema di grande attualità non solo nell'industria del packaging ma in generale in tutto il settore industriale e civile: se fino a pochi anni fa fornire una macchina dalle elevate prestazioni e modellata sulle specifiche esigenze del cliente costituiva lo scopo principale della mission aziendale, oggi ciò non basta più.

In unione alle performance bisogna anche riuscire a garantire il minor consumo di risorse necessarie per il corretto funzionamento della macchina.

Questa tesi, svolta in collaborazione con Marchesini Group, si pone l'obiettivo di andare ad individuare delle possibili soluzioni atte a migliorare l'efficienza energetica nel campo delle macchine automatiche per il confezionamento.

Nello specifico, si prefigge come obiettivo principale quello di poter fornire una linea guida per poter sviluppare in futuro macchine sempre più risparmiose dal punto di vista energetico, lasciando inalterate se non incrementate quelle che sono le performance.

Si andrà quindi ad eseguire quello che viene chiamato audit energetico, ovvero un'attenta valutazione della macchina dal punto di vista dei consumi, per individuare quali sono le parti macchina che hanno più bisogno di risorse per svolgere la funzione alla quale sono preposte.

Partendo quindi dallo studio delle soluzioni adottate si cercherà di proporre dei possibili miglioramenti e laddove è possibile, si proverà ad applicarli concretamente, così da poter verificare nell'immediato l'efficacia della soluzione adottata.

L'Azienda

2.1 La Storia

1974: nasce la “*Marchesini*”. Massimo Marchesini, tecnico specializzato nella costruzione di macchine automatiche, decide di mettersi in proprio creando la 2M: il progetto è possibile grazie alla collaborazione di un giovanissimo progettista, Giuseppe Monti, un tecnico dell'industria motociclistica.

L'anno 1976 vede la nascita delle prime macchine prototipali, fra cui la prima astuciatrice intermittente.

Successivamente, con la creazione della *Generalmac*, affidata al figlio Maurizio, l'azienda entra nel primary packaging: nasce così la prima macchina confezionatrice di polveri in sachet e la prima intubettatrice per compresse effervescenti in tubi rigidi.

E' l'anno 1982 che segna l'inizio dello sviluppo produttivo vero e proprio: infatti, per rispondere alle crescenti richieste del mercato farmaceutico, che comincia a reclamare linee di confezionamento sempre più veloci, Marchesini lancia sul mercato la prima astuciatrice continua.

Affidato alla creatività di Giuseppe Monti, il progetto presenta soluzioni tecniche estremamente originali, mutate dalla meccanica motociclistica: motori a bagno d'olio, carterature innovative che ne

aumentano l'estrema affidabilità e la sicurezza; per la produzione di questa nuova serie viene creata un'azienda ad hoc: la M80.

La presenza nel mondo del confezionamento primario inizia a consolidarsi: nel 1984 con l'acquisizione della Gamma di Carpi, che permette l'ingresso di Marchesini nel mondo del confezionamento blister e l'anno successivo con l'ingresso nel settore riempimento liquidi.

Nel 1990 tutte le aziende vengono riunite in una realtà unica: nasce la *Marchesini Group S.p.A.*

Nel biennio 1995/96, la *Smabo* (una delle maggiori aziende produttrici di macchine avvolgitrici), la *Packservice* (con la sua produzione di incartonatrici, sachet e strip) e la *Tonazzi* (pioniera nel segmento delle intubettatrici) entrano a far parte del Gruppo.

A partire dal nuovo millennio, l'espansione continua con l'acquisizione della maggioranza di *Farcon* (leader nella produzione di termoformatrici ad alta profondità e macchine per wallet), *CNC* (azienda specializzata nella progettazione e costruzione di stampi e trancianti complessi) e *Teamac* (produttrice di macchine per l'impacchettamento del tè in bustine).

Nel 2003 entra nel Gruppo una storica azienda produttrice di linee per trattare fiale e siringhe: *Corima*; Marchesini diventa così l'unico Gruppo al mondo capace di offrire ai propri clienti linee complete per siringhe, dal riempimento alla pallettizzazione.

Nel 2004 entra nel Gruppo la *Vasquali s.r.l.*, azienda milanese specializzata nella produzione di macchine contatrici.

Nell'ottobre dello stesso anno, in presenza del Presidente della Camera dei Deputati on. Casini, viene inaugurato a Pianoro, il nuovo Headquarters del Gruppo.

All'inaugurazione segue una settimana di open - house al quale partecipano più di duemila clienti da tutto il mondo.

L'anno 2006 è quello che vede superata la boa delle oltre 100 linee vendute nel corso di un solo anno.

E la crescita prosegue: *Marchesini Group* si consolida sia in Italia, con l'acquisizione nel 2008 del 100% di *Neri* (già partner da oltre trent'anni e leader nella produzione di macchine per l'applicazione di etichette autoadesive su un'ampia gamma di prodotti e linee di sterilizzazione) che all'estero, con tre nuovi branch office nei mercati emergenti, portando la "cultura della tecnica" e il suo approccio "sartoriale" anche in Medio Oriente, Estremo Oriente e India.

Viene anche inaugurato il nuovo stabilimento di *Corima* a Monteriggioni: un investimento complessivo di oltre 7 milioni di euro per uno stabilimento moderno e funzionale di 6 mila mq che occupa un'ottantina di operai e tecnici specializzati.

Il mese di Ottobre 2010 vede i due eventi clou dell'anno: l'inaugurazione dell'ampliamento dello stabilimento per le attività logistiche del gruppo e 5 giorni di Open House (18-22 Ottobre).

L'evento è stata l'occasione per presentare i trend tecnologici del futuro: le più innovative soluzioni nel l'ambito del packaging farmaceutico e cosmetico, con focus tematici nei settori della robotica, delle applicazioni per la lavorazione in ambiente sterile e delle tecnologie per l'anticontraffazione.

Nel 2012 *Marchesini Group* acquisisce il comparto farmaceutico e cosmetico della PRB: l'acquisizione include le tecnologie per il packaging secondario (avvolgitrici, cartonatrici, astuciatrici e pallettizzatori) di prodotti farmaceutici e cosmetici.

2.2 Dati e Numeri

Situato nel cuore della Packaging Valley bolognese, Marchesini Group è un'azienda leader nella fornitura di linee complete e macchine per il confezionamento.

Il Gruppo ha saputo ritagliarsi questo ruolo grazie all'originalità e all'affidabilità dei propri prodotti: i numeri testimoniano il suo successo.

Il fatturato consolidato 2012 è stato di 204 milioni di Euro (+8.5% rispetto al 2011), il portafoglio complessivo del Gruppo 160 milioni Euro (+ 24% rispetto al 2011), mentre la raccolta ordini è aumentata del 7,2% rispetto al 2011.

L'utile lordo del 2012 ha raggiunto i 19,8 milioni di euro rispetto ai 13,6 del 2011, mentre il margine operativo lordo (EBITDA) è di 31,8

milioni di euro (+17% rispetto al 2011) e l'EBIT è pari a 18,1 milioni di euro (+33% rispetto al 2011).

L'87% del fatturato del Gruppo è generato dalle esportazioni, che raggiungono significative percentuali in Europa (39%), Cina (13%) e America Latina (10%).

Nata nel 1974 a Pianoro (Bologna), dove è tutt'oggi basato il quartier generale, Marchesini ha dato vita nel corso degli anni a un vero e proprio Gruppo che, attraverso acquisizioni e accordi di partnership con aziende complementari del settore, è in grado di far fronte all'intero processo di confezionamento, da monte a valle, per le industrie farmaceutica e cosmetica.

Oggi Marchesini Group è articolato in 14 divisioni produttive, 7 aziende acquisite e 1 azienda partner, ognuna con una consolidata esperienza nella progettazione e realizzazione di macchine per il packaging in specifiche tipologie produttive.

Grazie al costante impegno nell'innovazione, Marchesini Group è stato in grado di ritagliarsi un ruolo da protagonista in Italia e sui mercati internazionali: oggi oltre l'85% del fatturato del Gruppo è generato dalle esportazioni, principalmente in Europa e negli USA.

Per presidiare al meglio i mercati internazionali, Marchesini può contare su una rete di 20 agenzie e 11 branch office: una capillarità che consente la presenza di *Marchesini Group* in oltre 100 Paesi nel mondo.

Pur avendo potenziato le reti di vendita e assistenza in tutto il mondo, punto di forza e caratteristica distintiva di *Marchesini Group*

è l'aver basato la produzione interamente in Italia, a garanzia dell'alta qualità del prodotto e della valorizzazione del rapporto con l'indotto locale.

La maggior parte della produzione del Gruppo, circa l'85%, è destinata al settore farmaceutico, nel quale *Marchesini* costituisce un importante punto di riferimento non solo per le multinazionali (tra cui GSK, Novartis, Sanofi Aventis, Wyeth, Novartis, BMS e Pfizer) ma anche per le piccole e medie imprese, attive nel comparto dei generici e del contoterzismo farmaceutico.

Il restante 15% circa della produzione è destinato al settore cosmetico, nel quale *Marchesini* presenta soluzioni innovative per il packaging di prodotti cosmetici realizzati ad hoc per clienti di altissimo livello come il Gruppo L'Oréal, Procter&Gamble, Dior Parfum, Guerlain Paris e Yves Saint Laurent Beauté.

Percentuali, queste, in dinamica evoluzione, da quando anche il settore della cosmoceutica, è entrato a far parte degli attuali segmenti di business, ai quali *Marchesini Group* sta dedicando sempre maggiore attenzione.

2.3 Le Aziende del Gruppo

Dall'anno della sua fondazione ad oggi, il Gruppo *Marchesini* si è progressivamente ampliato attraverso acquisizioni e partnership con aziende complementari.

Oggi *Marchesini Group* è in grado di realizzare linee complete per l'intero processo di confezionamento, dal dosaggio del farmaco in fiale, flaconi e blister fino al confezionamento del prodotto nelle successive presentazioni, quali ad esempio fardelli, cartoni, pallett. Il quartier generale di Pianoro (Bologna), dove hanno sede anche gli stabilimenti produttivi, garantisce il coordinamento del Gruppo.

Le varie attività (progettazione, Ricerca & Sviluppo, commerciali e marketing, amministrazione, gestione acquisti, formazione e controllo qualità) vengono svolte in loco dalle diverse aziende del Gruppo per mantenere e sviluppare lo specifico know-how a livello locale, pur sotto stretto coordinamento da parte della casa madre di Pianoro.

Una delle caratteristiche di *Marchesini Group*, infatti, è che l'Headquarters di Pianoro funge da collante tra le varie aziende che utilizzano le medesime modalità di progettazione e scambio di informazioni in ogni fase della produzione.

Tutte le aziende del Gruppo *Marchesini* si caratterizzano per la consolidata esperienza nella progettazione e realizzazione di macchine per il packaging in specifiche tipologie produttive:

- **Co.Ri.M.A.** (Siena): leader nella produzione di infialatrici e riempitrici di siringhe; linee di lavaggio.
- **Neri** (Barberino del Mugello - FI): leader nella produzione di macchine per l'applicazione di etichette autoadesive su un'ampia gamma di prodotti e linee di sterilizzazione.
- **Packservice** (Latina): specializzata nella produzione di macchine automatiche per strip e fine linea.

- **Tonazzi-Vasquali** (Cerro Maggiore – MI): leader nella costruzione di macchine automatiche per il riempimento di tubi, mascara, lip-gloss, vasetti e macchine per il conteggio di confetti, compresse e capsule.
- **Farcon** (Carpi - Mo): specializzata nella produzione di macchine automatiche termoformatrici per il contenimento di fiale, flaconi, siringhe e aghi.
- **OMAC** (Budrio - BO): specializzata in lavorazioni meccaniche per conto terzi; dotata di innovativi sistemi produttivi.
- **CNC** (Carpi – MO): specializzata in lavorazioni meccaniche per conto terzi, dotata di innovativi sistemi produttivi. Leader nel settore degli stampi per termoformatrici soprattutto nel settore alimentare.
- **CBS Engineering**: leader nella progettazione meccanica.
- **Teamac** (Budrio - BO): specializzata nella progettazione e produzione di macchine per il confezionamento del tè in bustine totalmente ecologiche.
- **Multipack** (Casalecchio di Reno - BO): è punto di riferimento per il packaging di fine linea.

2.4 Prodotti e Servizi

Marchesini Group produce linee complete in grado di far fronte all'intero processo di confezionamento (da monte a valle) e macchine automatiche “stand alone” per il confezionamento (primario e secondario) per i settori farmaceutico e cosmetico.

Le linee Marchesini si caratterizzano in particolare per la completezza e la modularità. Le fasi di ingegnerizzazione e progettazione di ogni macchina vengono effettuate nella sede centrale di Pianoro, in stretta collaborazione tra i team tecnici di Marchesini ed il cliente stesso.

Le macchine vengono dapprima prodotte nelle varie sedi del Gruppo o nelle aziende partner, per raggiungere, in un secondo momento, la sede produttiva centrale di Pianoro: qui vengono assemblate in linee complete e poi spedite ai clienti in tutto il mondo. Grazie alla loro modularità, le linee Marchesini possono adattarsi a qualsiasi conformazione ambientale (dalla linea retta sino alle forme geometriche più diverse), garantendo sempre la massima flessibilità.

Per la produzione di farmaci in forma liquida l'offerta del Gruppo prevede un range di macchine e linee complete che vanno dal riempimento alla pallettizzazione per trattare flaconi, bottiglie, fiale, cartridge e siringhe monouso.

Nel confezionamento primario si producono: macchine lavatrici (lineari o rotative), macchine soffiatrici e tavoli soffianti, tunnel di sterilizzazione, riempitrici lineari e rotative, macchine infialatrici, riempitrici/chiuditrici per siringhe.

Per il confezionamento secondario l'offerta prosegue con le etichettatrici astinatrici, le macchine per applicare Safety Device, le confezionatrici per cassonetti sia in cartone che materiali termoplastici, le astucciatrici e tutte le macchine per il fine linea: fardellatrici, casepacker e pallettizzatori.

Tutte le riempitrici, costruite con le più moderne tecnologie, vengono equipaggiate con diversi gruppi di riempimento a seconda del prodotto da trattare, e sono sia in versione monoblocco che per operazioni separate.

Sono provviste di tutti i dispositivi CIP/SIP per la pulizia e la decontaminazione, per l'IPC, e sono rispondenti a tutte le normative cGMP.

Il vasto range di modelli disponibili, la velocità dei cambi di formato ed i gruppi di dosaggio smontabili in modo facile e veloce sono caratteristiche integranti di tutte le macchine prodotte.

Oltre al confezionamento di solidi in blister, il Gruppo Marchesini è presente sul mercato con linee per trattare prodotti solidi e polveri in diversi tipi di confezionatrici: intubettatrici per compresse effervescenti in tubi rigidi, linee di confezionamento per strip, confezionatrici per polveri e granuli, sia in sachet che stickpack.

Nel settore della produzione di creme, gel, mascara ed altri prodotti cosmetici, la gamma di macchine e linee offerte dal Gruppo è completa: intubettatrici, riempitrici/tappatrici per vasetti, riempitrici/chiuditrici per mascara, imbustinatrici verticali ed orizzontali per sachet e stickpack; tutte disegnate e sviluppate tenendo conto delle specifiche peculiarità ed esigenze di ogni prodotto.

Marchesini Group ribadisce la sua forza come fornitore di linee per il packaging secondario, con una gamma infinita di etichettatrici, astucciatrici, fardellatrici, incartonatrici e sistemi di pallettizzazione, equipaggiati con una altrettanto infinita varietà di gruppi di alimentazione, per tutti i prodotti farmaceutici e cosmetici.

Tra le prime aziende in Italia nel settore del packaging a dotarsi di linee automatizzate per la gestione e lo stoccaggio dei pezzi di ricambio, Marchesini Group garantisce inoltre ai propri clienti la fornitura dei pezzi di ricambio per l'intera vita di ogni macchina.

Il Gruppo può, infatti, contare su un reparto efficiente e flessibile che coordina tempestivamente le richieste dei ricambi, grazie a 16 magazzini automatici a gestione computerizzata che movimentano ogni anno circa 1.300.000 componenti.

Tanto le macchine quanto le linee complete prodotte da Marchesini Group sono seguite costantemente attraverso i servizi di assistenza post vendita, verso i quali il Gruppo pone la massima attenzione e cura.

Grazie ad un team di oltre 100 tecnici dislocati in tutto il mondo e 200 trasferitisti che operano dalle sedi italiane (tutti formati e coordinati da Marchesini Group) viene garantita l'assistenza immediata a tutti i clienti.

2.5 Mission Aziendale

La mission di Marchesini Group è fornire linee complete per il confezionamento, altamente personalizzate per il cliente: un'offerta "on demand", perfettamente adattata alle esigenze dei vari clienti, una cura sartoriale nella progettazione, unita ad un'attenzione verso il servizio di post vendita ed assistenza su scala globale.

La strategia del Gruppo è da sempre incentrata sulla ricerca e lo sviluppo per dare al cliente una gamma sempre più completa di prodotto.

La politica strategica di Marchesini prevede per il futuro il continuo investimento per potenziare sia le reti commerciali - così da garantire l'adeguata copertura dei mercati mondiali - che quelle di assistenza - così da rendere il prodotto pienamente fruibile da parte del cliente finale - nonché la valorizzazione del marchio, sinonimo di qualità ed eccellenza nel mondo.

La Blisteratrice

3.1 Nozioni Generali

La macchina oggetto dello studio è la blisteratrice Integra 320, avente una capacità produttiva massima pari a 320 blister/minuto; la macchina si occupa di formare, riempire e chiudere il blister, trasferendolo poi alla successiva stazione a valle.

L'accoppiamento tipico che viene realizzato è quello con una macchina astucciatrice, la quale provvede alla formazione dell'astuccio nel quale inserire il blister e il bugiardino (foglio delle istruzioni); a seguito di questa è poi possibile trovare una cartonatrice, macchina adibita alla formazione di scatole in cartone all'interno delle quali inserire gli astucci mediante l'utilizzo di robot.

3.2 Processo di Formazione del Blister

L'Integra 320 è una blisteratrice in grado di formare due tipologie di materiale, tipiche del comparto blister:

- ✓ Alluminio
- ✓ Materiale Plastico (polietilene, polipropilene, pvc, ecc..)

Da un punto di vista del flusso logico di funzionamento, la macchina può essere suddivisa in gruppi e sottogruppi, ognuno dei quali è predisposto per una specifica funzione.

3.2.1 Gruppo Carico Materiale Formatura



Fig.1 - Carico Bobine Materiale Formatura

Il processo di formazione del blister inizia con la fase di carico del materiale di formatura (Fig.1): due bobine (in materiale plastico o in alluminio) vengono posate su due supporti paralleli così da poter essere trascinate e svolte in maniera agevole durante il processo; viene utilizzata una bobina alla volta, la seconda serve da riserva e va collegata alla prima in prossimità dell'ultimazione di questa.

Le bobine vengono inserite manualmente da un operatore con l'ausilio di un apposito carrello elevatore dato il peso non piuma di queste.

3.2.2 Gruppo Preriscaldi e Formatura

I primi gruppi che si incontrano durante il processo sono quelli relativi ai preriscaldi ed alla formatura (Fig.2); a seconda del materiale che si sta utilizzando, il funzionamento del processo e la tecnica di formazione risultano essere differenti.



Fig.2 - Gruppo Preriscaldi e Formatura

Lavorando con materiale plastico, questo viene formato mediante la tecnica di "soffiatura dei corpi cavi" (la stessa che viene utilizzata per la formazione delle bottiglie in plastica dell'acqua): la stazione dei preriscaldi ha la duplice funzione di riscaldare il film di materiale plastico (facendolo giungere alla temperatura necessaria per la formatura) e di guida di quest'ultimo verso la stazione di formatura;

una volta giunto in formatura, viene insufflata aria compressa così da poter far aderire il materiale plastico riscaldato alla matrice sagomata con la forma dell'alveolo che si vuole ottenere.

Discorso diverso per quanto riguarda la lavorazione dell'alluminio: questo viene sempre guidato verso la formatura dai preriscaldi, ma senza essere scaldato in quanto il processo di formazione dell'alveolo avviene mediante punzonatura del film.

I preriscaldi non sono altro che due piastre affacciate con interposto il film, con movimento di guida dal basso verso l'alto in maniera ciclica, così da guidare il film verso la formatura e riscaldarlo nel caso sia in materiale plastico (Fig.3).



Fig.3 - Preriscaldi

3.2.3 Gruppo Carico Prodotto

Una volta formata la parte, avviene il processo di inserimento del prodotto; questo si realizza mediante il gruppo caricatore che presenta in testa la tramoggia di carico prodotto (Fig.4).



Fig.4 - Gruppo Carico Prodotto

Il gruppo caricatore presenta due scivoli di uscita prodotto ed è montato in posizione superiore rispetto al film formato in modo da inserire il prodotto per gravità; è possibile gestire l'inserimento di prodotti diversi in maniera alternata, aventi la stessa forma ma una composizione chimica diversa (solitamente contraddistinti da colori diversi); ciò viene fatto per soddisfare quelle esigenze mediche che

prevedono di avere, ad esempio, in un unico blister, prodotti di composizione diversa d'assumere in momenti differenti della giornata.

Si osserva inoltre che viene installato anche un dispositivo di aspirazione polveri, le quali sono generate dall'urto fra le varie compresse del prodotto medicinale durante il percorso di discesa dalla tramoggia di carico fino agli scivoli caricatori.

3.2.4 Gruppo Centratrice Stampa e Saldatura

Il successivo gruppo che si incontra è quello di centratrice stampa e saldatura (Fig.5).

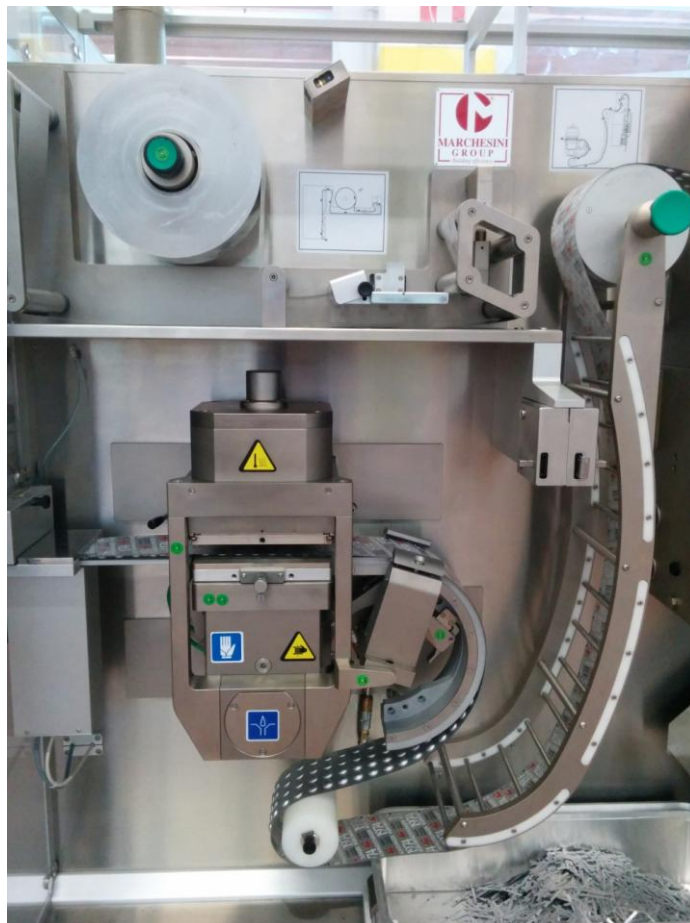


Fig.5 - Gruppo Centratrice Stampa e Saldatura

Il film di copertura (in alluminio) tipicamente presenta un disegno con il nome del prodotto e/o il nome dell'azienda produttrice con il relativo logo: per esigenze estetiche e di visibilità si vogliono avere queste caratteristiche appena sopra elencate ben in mostra sul blister, senza quindi avere nomi e/o loghi mozzati; tramite il processo di centratura stampa, andiamo a snervare il film ricoprente mediante un coltello: con questa operazione di snervatura si va a regolare in maniera continua l'allungamento del film così da avere sempre nella medesima posizione tutti i riferimenti grafici. E' possibile andare a regolare tramite software la posizione della stampa rispetto al blister.

Successivamente, si procede con la saldatura del film di copertura; la stazione di saldatura si compone di due piastre affacciate che muovendosi l'una verso l'altra vanno a comprimere il film del materiale da saldare contro il blister: grazie all'azione congiunta del calore (generato da un gruppo di resistenze) e della forza (applicata mediante un cilindro in pressione) si va a saldare il film.

Prima di arrivare alla stazione di tranciatura, il nastro appena formato viene fatto passare attraverso una serie di curve e di sali scendi in modo tale da stirarlo e raffreddarlo, evitando così che si ricurvi per via del calore somministratogli in saldatura.

3.2.5 Gruppo Trancia e Cicloide

Infine, il processo si conclude con la trancia e il deposito del blister sul nastro di uscita (Fig.6); la trancia taglia il nastro blisterato a seconda del formato impostogli: possiamo così ottenere blister a fila singola, doppia, tripla, ecc.



Fig.6 - Gruppo Trancia, Codifica e Cicloide

Una volta tranciato, il blister viene preso e depositato sul nastro di uscita; la funzione "pick&place" è affidata al gruppo cicloide.

Tale gruppo presenta due bracci disposti a 180°, ognuno dei quali è munito di una coppia di ventose (Fig.7). I bracci hanno la capacità di ruotare su se stessi. Tramite un selettore meccanico, che apre e chiude il canale di comunicazione del circuito del vuoto, viene attivata e disattivata la capacità di aspirazione del blister: questa sarà attiva nella fase di prelevamento dalla trancia e disattiva nella fase di appoggio sul nastro di uscita.



Fig.7 - Gruppo Cicloide e Nastro Uscita

3.3 Controllo Prodotto

Bisogna osservare che, prima di arrivare alla posatura del film di copertura ed alla successiva saldatura, viene eseguito un controllo di presenza e qualità prodotto tramite fotocamera (Fig.8): questa non fa altro che scattare foto alle compresse depositate nell'alveolo e verificare se queste sono integre oppure danneggiate e/o incomplete.



Fig.8 - Fotocamera Controllo Prodotto

Nel caso fossero presenti dei prodotti non conformi, il processo produttivo non viene arrestato: la macchina sa esattamente in quale posizione è presente il prodotto da scartare e conoscendo esattamente quanti passi macchina ci sono dal punto in cui è stata

rilevata la non conformità alla stazione di trancia, al posto che prelevare il blister e depositarlo sul nastro in uscita tramite il cicloide, lo lascia semplicemente cadere nel cesto delle non conformità; le non conformità possono essere di due tipologie:

- a) blister con mancanza prodotto/prodotto difettoso
- b) blister con difetto di saldatura o formazione alveolo

E' previsto anche un terzo cesto per la raccolta sfridi di trancia (Fig.9).



Fig.9 - Box Raccolta Sfridi e Non Conformità

Indagine Energetica

4.1 Generalità

Una maggiore comprensione del funzionamento generale della macchina e delle principali parti che la compongono, ci porta ad avere informazioni importanti relative a quelli che sono gli assorbimenti energetici.

Questi assorbimenti possono essere schematizzati in due categorie:

- Pneumatici
- Elettrici

4.2 Assorbimenti Pneumatici

Gli assorbimenti pneumatici sono relativi al consumo di aria compressa; nella macchina in esame, essendo equipaggiata per la formatura dell'alluminio, il consumo di aria compressa risulta essere contenuto dato che l'alluminio, come già detto precedentemente, viene formato tramite punzonatura, a differenza invece del materiale plastico il quale ha bisogno del soffio di aria compressa per poter formare l'alveolo.

Il consumo di aria compressa più rilevante in questa configurazione si ha nella fase di avvio del ciclo di lavoro (sia alla partenza del turno di lavoro sia in un qualsiasi altro momento di ripartenza dopo stop) quando cioè bisogna riempire il più velocemente possibile il cilindro

ad aria compressa della stazione di saldatura per poter essere pronti a lavorare nel minor tempo possibile: ecco quindi che in questa fase, seppur di breve durata, si ha il maggiore consumo di aria compressa.

All'interno del settore pneumatico può anche essere inserito il gruppo del vuoto, costituito da una pompa per il vuoto di tipo meccanico e la relativa circuiteria; essendo la pompa azionata elettricamente può essere interessante andare a realizzare un dimensionamento di massima del circuito del vuoto così da verificare se esistano margini per sostituire la pompa attuale con una di taglia minore, il che non solo porterebbe costi di funzionamento più bassi ma anche costi di acquisto più contenuti.

4.3 Assorbimenti Elettrici

Gli assorbimenti elettrici rappresentano l'altra quota importante degli assorbimenti energetici della macchina; i principali dispositivi che sfruttano questa fonte di energia sono:

- ✓ motori elettrici
- ✓ gruppo saldatura e gruppo preriscaldi

Sulla macchina in esame sono installati circa una ventina di motori elettrici, con taglie variabili da 0,025 kW fino a 1,75 kW; il loro impiego può essere o di tipo continuo (vedi ad esempio i motori delle spazzole) o intermittente, con rotazioni prima in un verso e poi nell'altro.

Se singolarmente la potenza nominale assorbita da ogni motore risulta essere poco rilevante, la somma totale della potenza installata di tutti i motori rappresenta un carico di sicuro rilievo per la macchina e quindi anche per i consumi; è anche ovvio che non tutti i motori assorbiranno la potenza loro disponibile nel medesimo istante e questo è dovuto, in ambito locale, alla funzione alla quale sono preposti ed in ambito generale a come questi partecipano nel funzionamento complessivo della macchina.

Da sottolineare come alcuni di essi presentino installato tra l'albero di uscita e l'applicazione da movimentare un riduttore meccanico.

Quello che a noi ci preme sottolineare ai fini dell'indagine energetica è il grado di efficienza sia dei motori che dei riduttori: entrambi i dispositivi infatti presentano massima efficienza nelle loro rispettive categorie di appartenenza.

Risulta quindi chiaro che in termini di assorbimenti energetici relativi ai motori, a meno che non se ne riduca il numero (andando ad eseguire una riprogettazione di interni gruppi macchina) , non vi sono margini di manovra.

Bisogna però sottolineare un aspetto importante del loro funzionamento: come già detto prima, alcuni di essi lavorano in continuo ma tanti altri presentano un funzionamento intermittente (ovvero presentano un'accelerazione per giungere ad una certa velocità e successivamente una frenatura per decelerare ed invertire il moto); può risultare quindi interessante cercare di capire se sia possibile recuperare l'energia che questi motori dissipano durante la frenatura nel ciclo intermittente e se contemporaneamente ad un

dispositivo che frena ce né uno che accelera e che quindi necessita di energia.

Per quanto concerne invece il gruppo saldatura e il gruppo preriscaldi, questi sono strutturati nel seguente modo: presentano entrambi delle resistenze elettriche che, per effetto Joule, producono calore utile ai fini della saldatura del film sul blister e della formatura del materiale plastico; la potenza installata totale in questi due gruppi rappresenta più di un terzo della potenza installata sulla macchina.

Risulta quindi interessante andare a capire com'è concepita ognuna delle due stazioni, esaminando il fenomeno fisico e la soluzione tecnica adottata, cercando poi di proporre un possibile miglioramento rivolto ovviamente alla riduzione dei consumi.

Nei capitoli successivi vedremo dunque l'applicazione di quanto detto sopra; in estrema sintesi:

- ✓ Prova di Recupero dell'Energia di Frenatura
- ✓ Calcolo Pompa e Circuito del Vuoto
- ✓ Analisi Gruppo Saldatura e Preriscaldi

Recupero dell'Energia di Frenatura

5.1 Introduzione

Molte applicazioni con azionamenti elettrici richiedono accelerazioni e/o frenature frequenti.

Durante l'accelerazione o il sollevamento l'energia elettrica viene trasformata in energia cinetica o potenziale, parte della quale viene recuperata nel corso della frenatura.

Questa energia recuperata oggi viene spesso convertita in calore tramite una resistenza di frenatura e quindi risulta essere dispersa e non utilizzata (Fig.10).

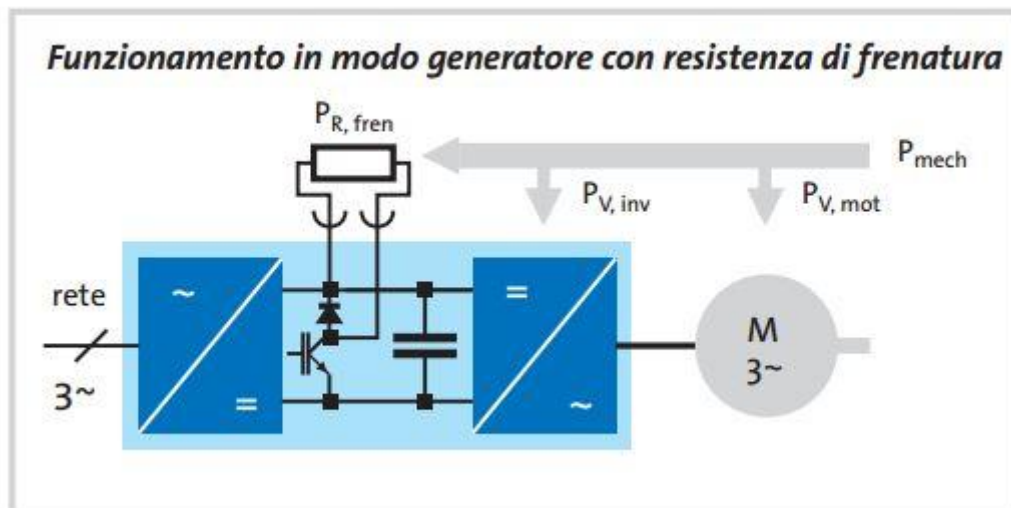


Figura 10 - Schema Dissipazione con Resistenza di Frenatura

Può essere così assolutamente conveniente riutilizzare questa energia di frenatura, andando così a migliorare l'efficienza energetica dell'intero sistema, non solo da un punto di vista dei consumi diretti

ma anche da quello dei consumi indiretti: basti pensare che contestualmente all'acquisto della macchina, il cliente provvede al dimensionamento dell'impianto dell'aria condizionata nel locale dove viene installata la suddetta macchina. Avere quindi una macchina in grado di recuperare questa energia, ci consente di avere un sistema che scambia con l'ambiente circostante una quantità di calore inferiore e di conseguenza un impianto d'aria condizionata meno esigente dal punto di vista dei consumi.

I principali riutilizzi dell'energia di frenatura possono essere così schematizzati:

1) Recupero in rete

Per eseguire questa modalità occorre collegare un modulo alimentatore aggiuntivo con funzionalità di recupero in rete al DC bus di uno o più inverter (Fig.11).

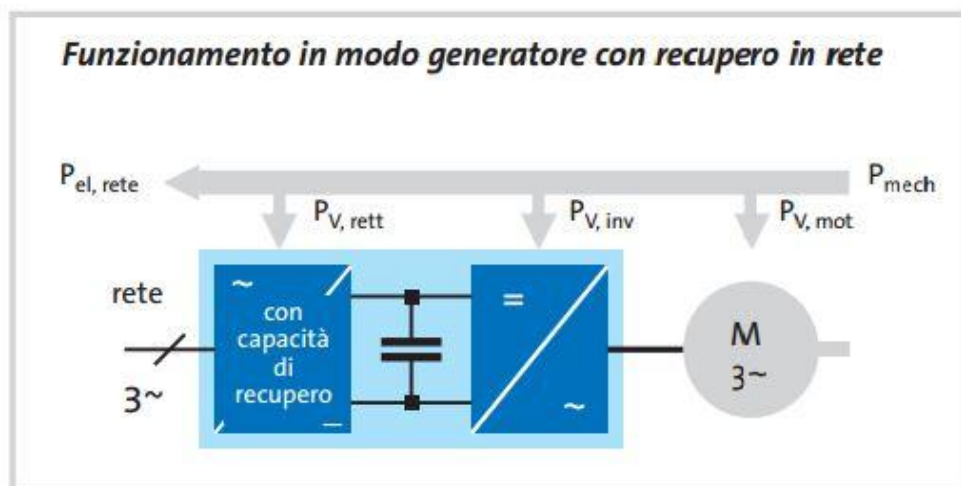


Figura 11 - Schema Recupero Energia in Rete

2) Scambio di Energia tra Azionamenti

In quelle applicazioni dove ho la contemporanea presenza di azionamenti funzionanti in modo motore e modo generatore, può risultare conveniente collegare i DC bus degli inverter l'uno con l'altro realizzando così una interconnessione in continua in modo tale da consentire uno scambio diretto di energia (Fig.12).

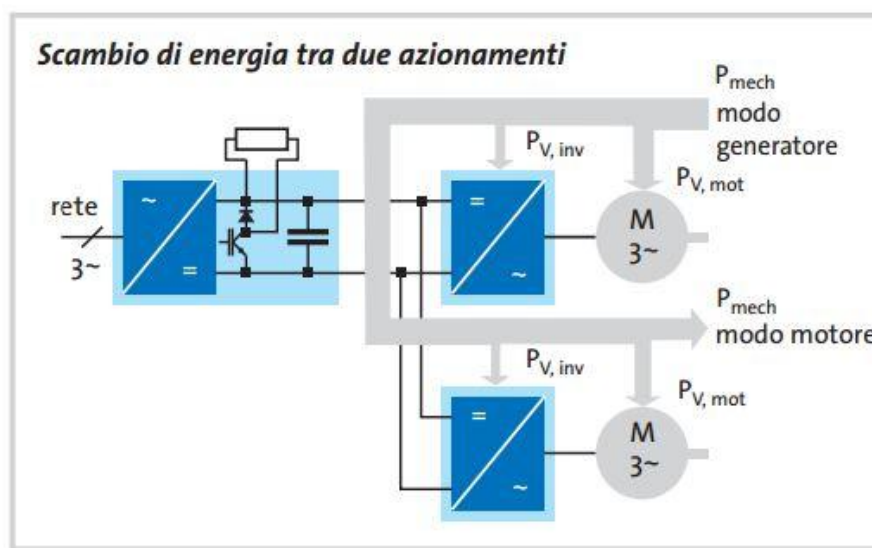


Figura 12 - Schema Scambio Energia fra Azionamenti

3) Accumulo di Energia in un Condensatore

E' possibile anche accumulare l'energia di frenatura in un condensatore, il quale la metterà a disposizione nel corso della successiva fase di accelerazione (Fig.13); è una soluzione più economica dal punto di vista dei costi di realizzazione rispetto alle altre soluzioni precedentemente illustrate, tuttavia il limite maggiore è rappresentato dalla capacità di accumulo del condensatore. Tale soluzione risulta essere conveniente per azionamenti con cicli di lavoro estremamente rapidi.

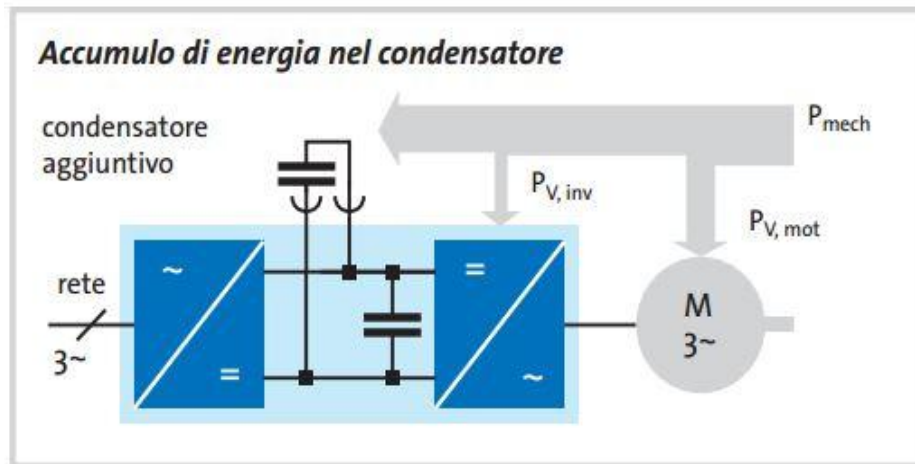


Figura 13 - Schema di Accumulo Energia con Condensatore

Per quanto concerne la nostra situazione, quello che ci proponiamo di fare è di applicare il concetto esposto nel punto 2: ovvero realizzare un DC bus comune a tutti gli azionamenti all'interno del quale sia possibile uno scambio continuo di energia tra chi frena e chi accelera.

Per fare questo è necessario apportare delle modifiche alla blisteratrice; le modifiche riguardano:

- a) cablaggio elettrico della macchina con la nuova configurazione di sistema
- b) aggiornamento software di comando degli azionamenti

5.2 Cablaggio Elettrico

L'upgrade della macchina con l'inserimento del sistema di recupero dell'energia di frenatura ha previsto il montaggio delle seguenti componenti:

- ✓ unità PSU (Power Supply Unit)
sistema di alimentazione AC/DC

- ✓ unità PSI (Power Supply Interface)
modulo d'interfacciamento tra l'unità di alimentazione PSU e gli azionamenti; in figura è possibile vedere il montaggio della PSU e della PSI (Fig.14)

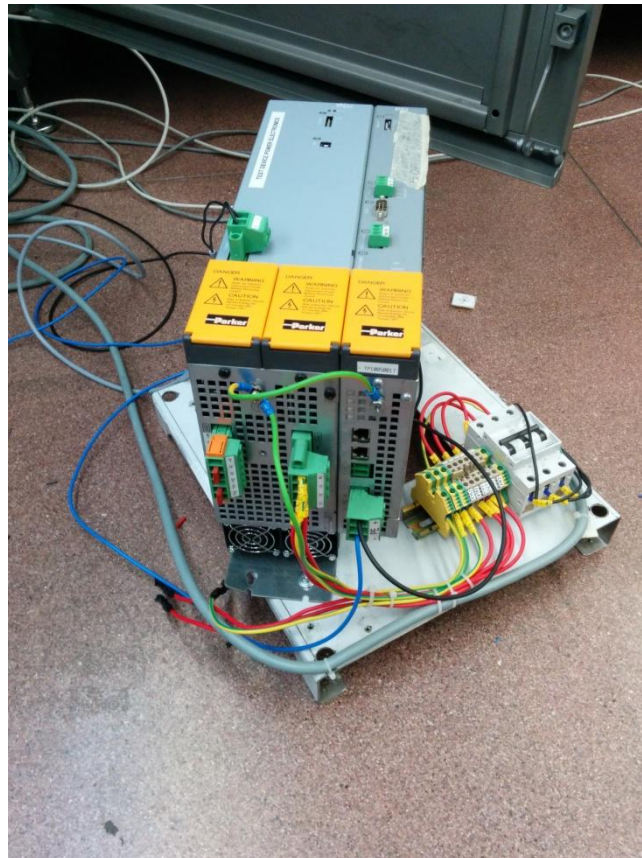


Figura 14 - Montaggio Unità PSU e PSI

- ✓ rete DC bus sulla quale collegare tutti gli azionamenti montati in macchina; in figura è possibile vedere il quadro elettrico prima (Fig.15) e dopo il cablaggio (Fig.16).

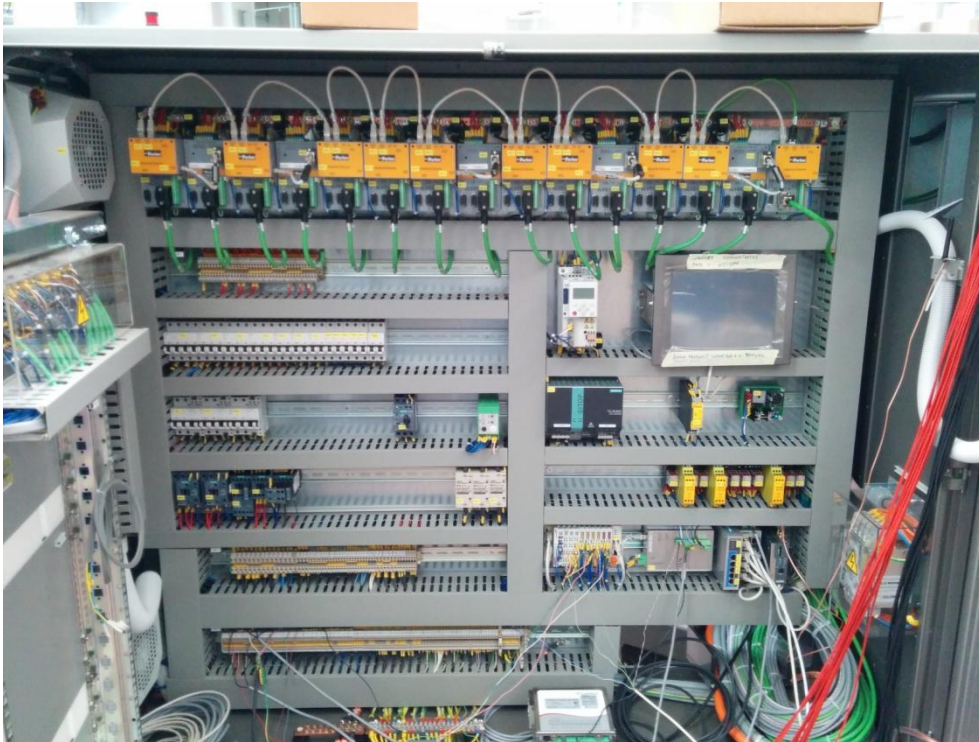


Figura 15 - Quadro Macchina non Cablato

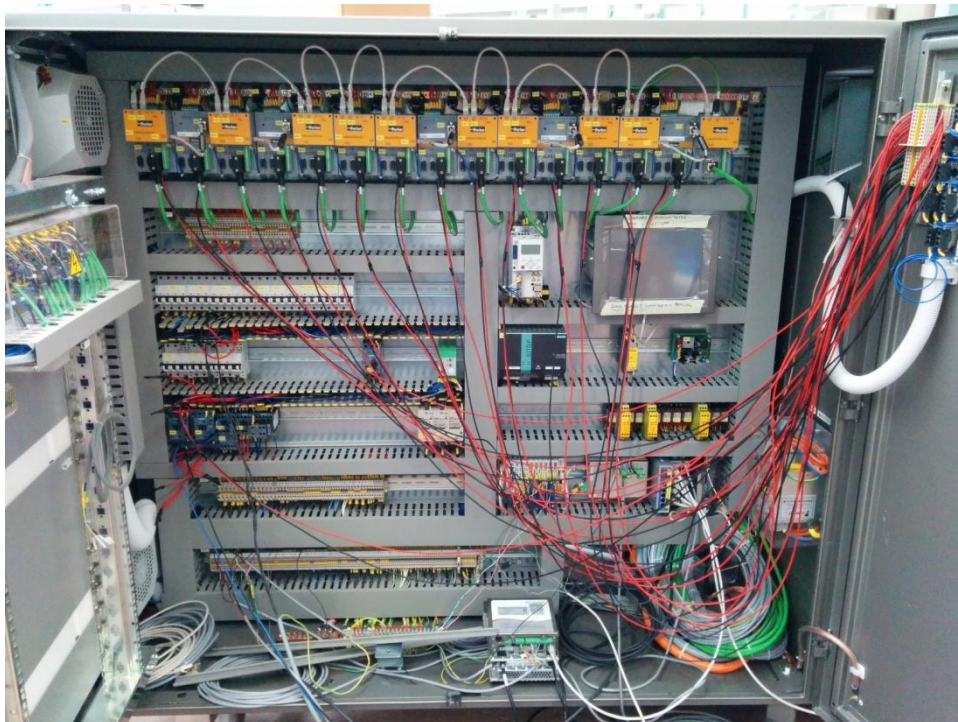


Figura 16 - Quadro Macchina Cablato

E' stato inoltre eliminato il ponticello che eseguiva il collegamento elettrico tra l'azionamento e la resistenza di frenatura, in quanto il nostro obiettivo è proprio quello di intercettare l'energia di frenatura senza che questa vada a dissiparsi sulla resistenza.

In contemporanea al cablaggio elettrico, è stato eseguito anche un upgrade del software della macchina in modo tale consentire la comunicazione tra gli azionamenti e l'unità PSI montata.

5.3 Svolgimento della Prova

La prova è stata eseguita correttamente, ovvero non si sono presentati malfunzionamenti o guasti e la macchina è stata in grado di produrre blister conformi alle specifiche esattamente come nella configurazione "base", cioè senza dispositivo di recupero di energia di frenatura.

Per poter verificare la reale efficacia del sistema, ovvero quantificare il risparmio energetico, è stata eseguita una misura di assorbimento mediante un wattmetro sia prima dell'inserimento del sistema di recupero sia dopo.

Confrontando i valori ottenuti, non è stata rilevata una sostanziale differenza di assorbimento da parte delle due configurazioni: questo in un primo momento è risultato abbastanza strano dato che molti azionamenti durante il ciclo di lavoro hanno varie fasi in cui frenano

mentre altri, per la loro particolare funzione, svolgono una frenatura continua durante tutto il processo di confezionamento.

Per comprendere meglio i risultati ottenuti, abbiamo realizzato un monitoraggio del DC Bus di tutti gli azionamenti durante il funzionamento (Fig.17).

Oltre al tracer, abbiamo incrociato questi dati con quelli costruttivi dell'azionamento, per comprenderne meglio la logica di funzionamento; ogni azionamento presenta una soglia di frenatura compresa tra 400 e 415 V ed una resistenza di frenatura interna pari a 40Ω ed in grado di dissipare una potenza media pari a 60 W.

La resistenza interna di frenatura è posta poi in parallelo con un condensatore di capacità pari a 820 μF : quando l'azionamento frena, il condensatore immagazzina una quantità di energia che va poi a restituire nel successivo ciclo di accelerazione.

Quando l'energia che esso deve immagazzinare è superiore alla propria capacità, questa viene "scaricata" sulla resistenza di frenatura e trasformata in calore (disperso poi nell'ambiente circostante).

Dall'analisi del tracer di tutti gli azionamenti possiamo vedere come solo il carro di saldatura (linea azzurra) ecceda il valore della capacità del condensatore e vada a scaricare sulla resistenza (la fase di scarico è rappresentata dal picco in verticale), a differenza di tutti gli altri che si attestano ben al di sotto dei 415 V d'intervento.

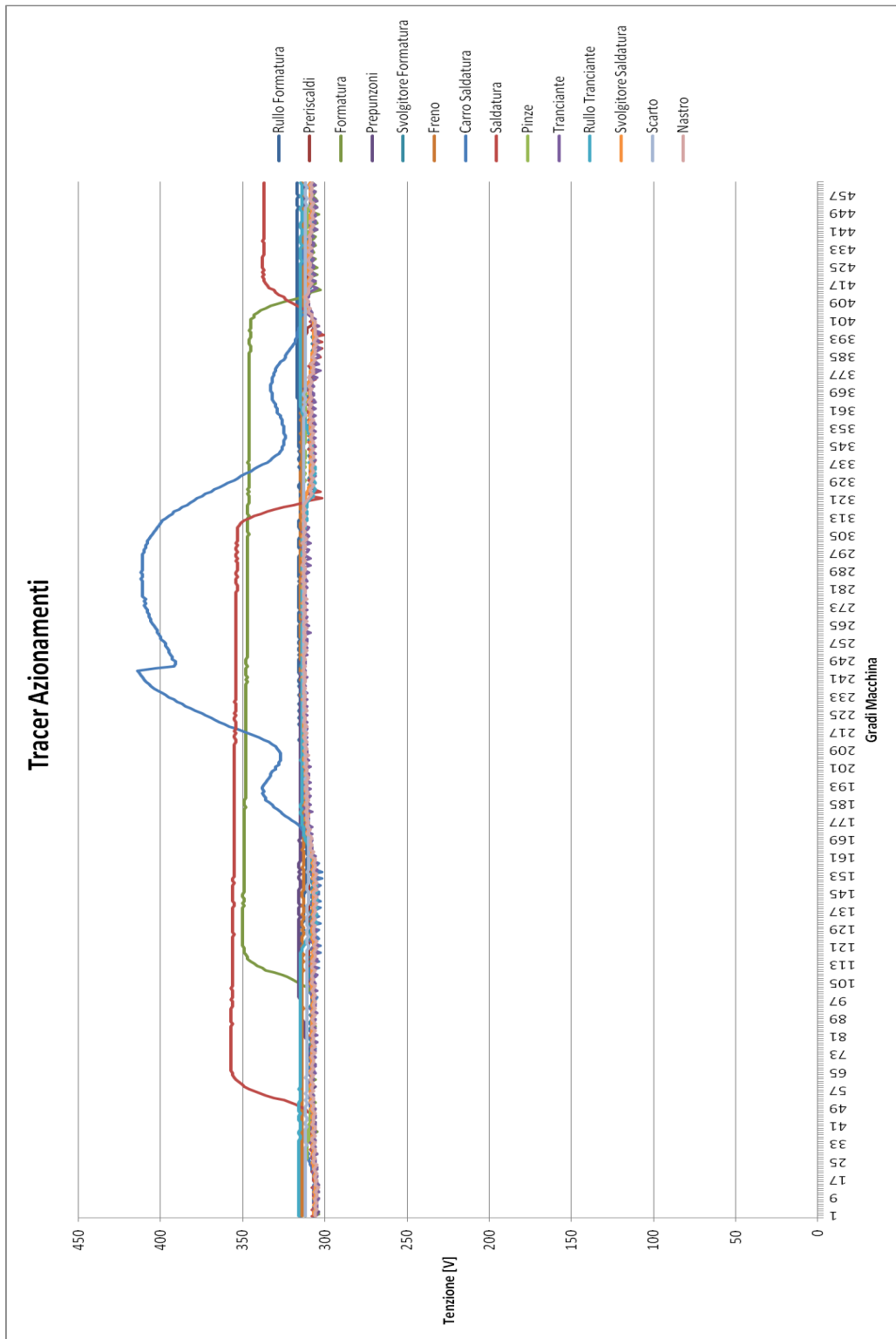


Figura 17 - Tracer Azionamenti Blister

Quindi con il dispositivo di recupero dell'energia di frenatura andremmo solo a recuperare l'energia di questo azionamento; inoltre, valutando l'entità del plus di potenza dissipata, si è preso atto del fatto che questa è una quantità talmente piccola che provvedere all'installazione di tale dispositivo non produrrebbe benefici tangibili da un punto di vista economico.

Ciò giustifica anche il fatto che in fase di rilevazione e confronto degli assorbimenti non si sono rilevate grosse differenze, anzi gli andamenti sono risultati pressoché simili.

5.4 Conclusioni

Anche se la prova non ha dato i risultati immaginati, siamo entrati in possesso di una serie di informazioni e di accortezze utili da poter redigere una linea guida per l'applicazione di questa tecnologia:

- 1) scegliere una macchina alternata piuttosto che una macchina continua: in una macchina alternata è possibile trovare più azionamenti con dinamica "avanti/indietro" piuttosto che su una continua dove la maggior parte degli azionamenti presenta solo movimenti/rotazione in avanti, quindi senza frenature utili per il recupero
- 2) valutare la presenza di resistenze esterne montate nel vano elettrico: queste resistenze vengono inserite quando la potenza da dissipare è tale che la sola resistenza interna all'azionamento risulta essere insufficiente a compiere tale operazione; la presenza di queste resistenze è tipica in quelle

macchine ove sono montati uno o più robot (vedi astuciatrici robotizzati o robot).

- 3) Eseguire un tracer degli azionamenti della macchina, così da poter individuare quali sono gli azionamenti che frenando vanno a dissipare; in base ai dati ottenuti, valutare se l'entità della potenza dissipata in calore può essere tale da poter giustificare l'installazione del dispositivo di recupero.
- 4) Misurare mediante wattmetro l'entità dell'assorbimento prima e dopo l'installazione del dispositivo, in modo tale da poter avere una serie di dati con cui effettuare un confronto.

La Tecnologia del Vuoto

6.1 Introduzione

Il vuoto si rende utile nel funzionamento della blisteratrice principalmente per la funzione "pick&place" del blister: eseguita la tranciatura si rende necessario prendere il blister e depositarlo sul nastro di uscita; questa mansione è affidata ad un sistema cicloide recante due bracci su ognuno dei quali troviamo una coppia di ventose: grazie al sistema di generazione del vuoto riusciamo, tramite le ventose, ad afferrare il blister e a depositarlo sul nastro di uscita.

In questo capitolo prenderemo in considerazione quelle che sono le tecnologie utilizzate per la creazione del vuoto nel settore industriale, esaminandone pregi e difetti sia da un punto di vista delle prestazioni sia da quello dell'efficienza energetica.

6.2 Cos'è il vuoto

Si parla di *vuoto*, *pressione negativa* o *depressione* quando la pressione all'interno di uno spazio chiuso è più bassa della pressione atmosferica, dovuta al peso dell'aria sovrastante.

A livello del mare, la pressione atmosferica è pari a 1013 mbar (equivalenti a 101.3 kPa); dato che 1 Pa (Pascal) equivale a 1 N/m^2 , ciò significa che una colonna d'aria avente una sezione di 1 m^2 esercita sulla superficie terrestre una forza pari a 100000 N.

Riducendo quindi la pressione all'interno di uno spazio chiuso, la pressione atmosferica diventa una potenziale fonte di energia.

La depressione viene indicata in relazione alla pressione atmosferica; il valore del vuoto indicato viene preceduto da un segno meno per indicare il fatto che la pressione ambiente viene presa come punto di riferimento ed indicata con il valore 0 mbar.

In Tabella 1 è possibile vedere il confronto fra il livello di vuoto creato e la pressione, in funzione di varie unità di misura di quest'ultima.

<u>Pressione Residua Assoluta</u> <u>[mbar]</u>	<u>Vuoto Relativo</u>	<u>bar</u>	<u>kPa</u>	<u>Torr</u>
900	10%	-0,101	-10,1	-76
800	20%	-0,203	-20,3	-152
700	30%	-0,304	-30,4	-228
600	40%	-0,405	-40,5	-304
500	50%	-0,507	-50,7	-380
400	60%	-0,608	-60,8	-456
300	70%	-0,709	-70,9	-532
200	80%	-0,811	-81,1	-608
100	90%	-0,912	-91,2	-684

Tabella 1 - Legame fra Livello del Vuoto e Pressione

6.3 Legame tra Energia e Livello di Vuoto

Il fabbisogno di energia per creare il vuoto aumenta asintoticamente con l'aumentare del grado di vuoto. Risulta quindi di fondamentale importanza, per ottimizzare il bilancio energetico (ed anche quello economico) cercare di lavorare con il più basso livello di vuoto possibile.

Il diagramma di seguito riportato mostra il fabbisogno di energia in funzione del grado di vuoto (Fig.18); come si può vedere, la richiesta di energia aumenta drasticamente al di sopra dei -90 kPa: per questo è consigliabile mantenersi al di sotto di questo valore.

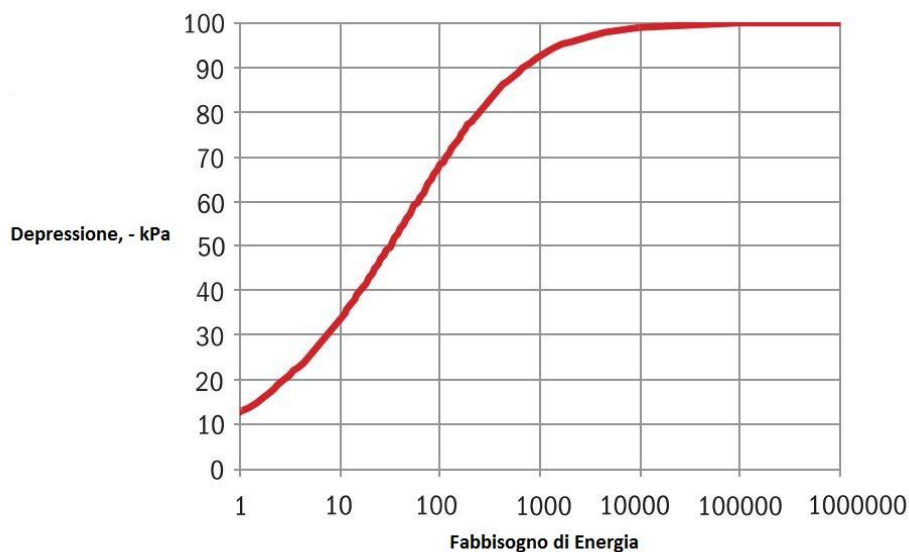


Figura 18 - Legame fra Fabbisogno Energetico e Livello del Vuoto

Va sottolineato che la forza di sollevamento è proporzionale alla superficie di contatto ed al grado di vuoto; se il grado di vuoto passa dal 60% al 90%, la forza di sollevamento aumenta al massimo di 1,5 volte mentre l'energia richiesta aumenta di 10 volte. Per limitare il consumo di energia è bene limitare il grado di vuoto ed aumentare la superficie della ventosa.

6.4 Legame tra Pressione ed Altitudine

Come accennato prima, riducendo la pressione all'interno di uno spazio chiuso (ventosa), per effetto della differenza di pressione fra interno (dove ho il vuoto) ed esterno (dove ho la pressione atmosferica), si viene a creare una forza (forza di presa) in grado di sollevare l'oggetto che vogliamo movimentare.

La pressione atmosferica varia in funzione della quota altimetrica alla quale ci si trova; in Tabella 2 è riportata la suddetta correlazione.

Pressione Atm (mbar)	Altitudine (m)
790.6	2000
894.6	1000
919.9	778
933.3	655
946.6	545
959.9	467
973.3	275
986.6	200
999.9	111
1013	0

Tabella 2 - Legame fra Altitudine e Pressione Atm

La conseguenza sui sistemi di presa del vuoto è che anche la forza di presa va diminuendo con la quota altimetrica; se un sistema viene progettato per sollevare 100 Kg a livello del mare, questo potrà sollevarne solo 90 Kg se portato ad una quota di 1000 metri.

6.5 La Componentistica Principale dei Sistemi per il Vuoto

6.5.1 Ventosa

La ventosa è l'elemento di collegamento tra il pezzo e il sistema di movimentazione; viene impiegata per afferrare e movimentare un pezzo in un impianto o in un robot: in questo caso, consente di afferrare il blister e depositarlo sul nastro trasportatore di uscita della macchina.

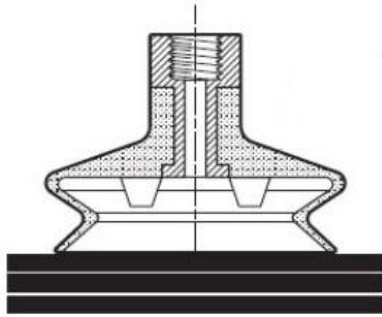
Come già detto prima, la ventosa come componente a se stante non aspira il pezzo fissandolo: è per effetto della differenza di pressione che si crea tra interno (dove ho il vuoto) ed esterno (dove ho la pressione atmosferica) che consente alla pressione atmosferica di andare a schiacciare la ventosa contro il pezzo da movimentare, rendendo così possibile la movimentazione; questa differenza di pressione si ottiene collegando la ventosa ad un generatore di vuoto.

Il generatore di vuoto aspira l'aria tra la ventosa ed il pezzo: questa operazione viene anche detta *evacuazione* ed il tempo in cui viene compiuta è detto *tempo di evacuazione*.

Non appena la ventosa va a toccare la superficie del pezzo rendendo così l'ambiente interno ad essa "ermetico" nei confronti della pressione atmosferica esterna, si procede con la creazione del vuoto utile per creare la depressione necessaria al sollevamento.

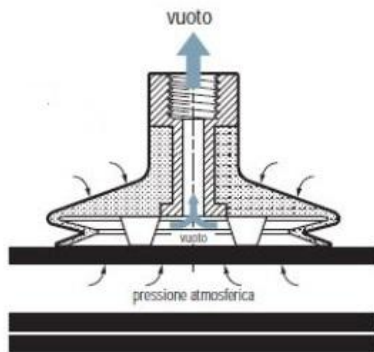
Le fasi che contraddistinguono il processo sono (Fig.19) :

- 1) Avvicinamento
- 2) Presca
- 3) Rilascio



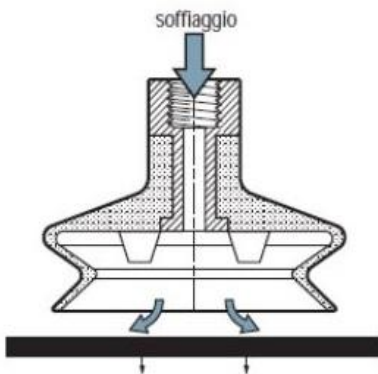
Avvicinamento

La ventosa viene avvicinata al pezzo da movimentare.



Preso

Una volta a contatto, viene generato il vuoto necessario all'afferraggio del pezzo.



Rilascio

Una volta portato il pezzo in posizione di scarico, viene scaricato il circuito così da permettere il deposito del pezzo.

Figura 19 - Fasi di Lavoro Ventosa

Per quanto riguarda la forza di presa di una ventosa, questa si ottiene moltiplicando la differenza di pressione (differenza fra la pressione atmosferica esterna e la pressione interna alla ventosa) con l'effettiva superficie di aspirazione della ventosa; in formule:

$$F = \Delta P * A$$

Risulta quindi che, creando una depressione maggiore o utilizzando una ventosa più grande possiamo incrementare la forza di presa; come abbiamo già osservato precedentemente, aumentare il grado

di vuoto risulta costoso in termini di energia spesa per compiere tale operazione: è quindi opportuno, ove l'applicazione abbia bisogno di una forza di presa importante senza un grado di vuoto eccessivo, andare a migliorare la ventosa.

6.5.2 Produttori di Vuoto

Il vuoto può essere generato pneumaticamente oppure elettricamente.

I generatori di vuoto pneumatici effettuano tempi di ciclo brevi e possono essere, grazie alla struttura compatta e leggera, integrati direttamente nel sistema.

I generatori di vuoto elettrici vengono impiegati nelle applicazioni in cui non è disponibile l'aria compressa oppure in cui sono richiesti alti rendimenti di aspirazione.

I principali dispositivi per la produzione del vuoto sono:

- ✓ **Eiettori** (pneumatici)
- ✓ **Pompe per Vuoto** (elettrici)

E' possibile affermare, senza commettere un grosso errore, che un elevata capacità di aspirazione associata ad un elevato livello di depressione (vuoto) è sempre sinonimo di consumi energetici alti e quindi di notevoli spese.

Eiettori

Sono dispositivi per la creazione del vuoto funzionanti secondo il principio di Venturi; a seconda del numero delle coppie di ugelli si distingue tra eiettori monostadio ed eiettori multistadio.

Nella configurazione monostadio (Fig.20) l'aria compressa viene immessa attraverso l'attacco (A). Questa scorre attraverso l'ugello Venturi (B). L'aria viene così accelerata e compressa. Dopo il passaggio per l'ugello, l'aria accelerata si espande creando così una depressione (il vuoto). In questo modo l'aria viene aspirata attraverso il collegamento per il vuoto (D). L'aria aspirata e l'aria compressa fuoriescono attraverso il silenziatore (C).

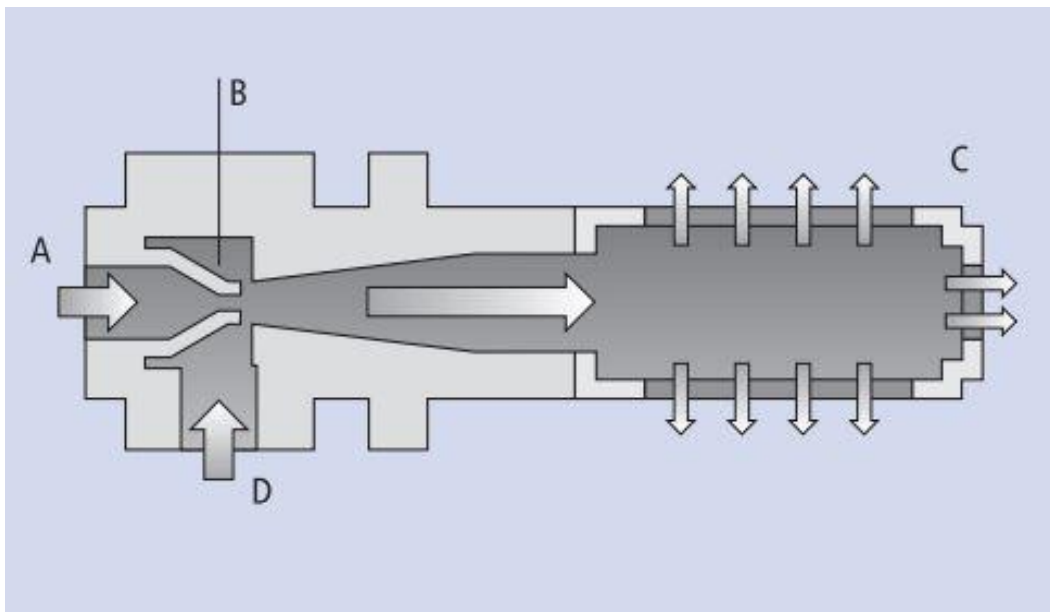


Figura 20 - Sezione Eiettore Monostadio

Nella configurazione multistadio (Fig.21), ci sono eiettori in cui il vuoto viene generato mediante diversi ugelli Venturi azionati uno dopo l'altro. L'aria compressa viene introdotta nell'eiettore attraverso l'attacco (A). Questo scorre attraverso diversi ugelli Venturi azionati uno dopo l'altro (B). In questo modo si crea una depressione (cioè il vuoto) e l'aria viene aspirata attraverso il collegamento per il vuoto (D). L'aria aspirata e l'aria compressa fuoriescono attraverso il silenziatore (C).

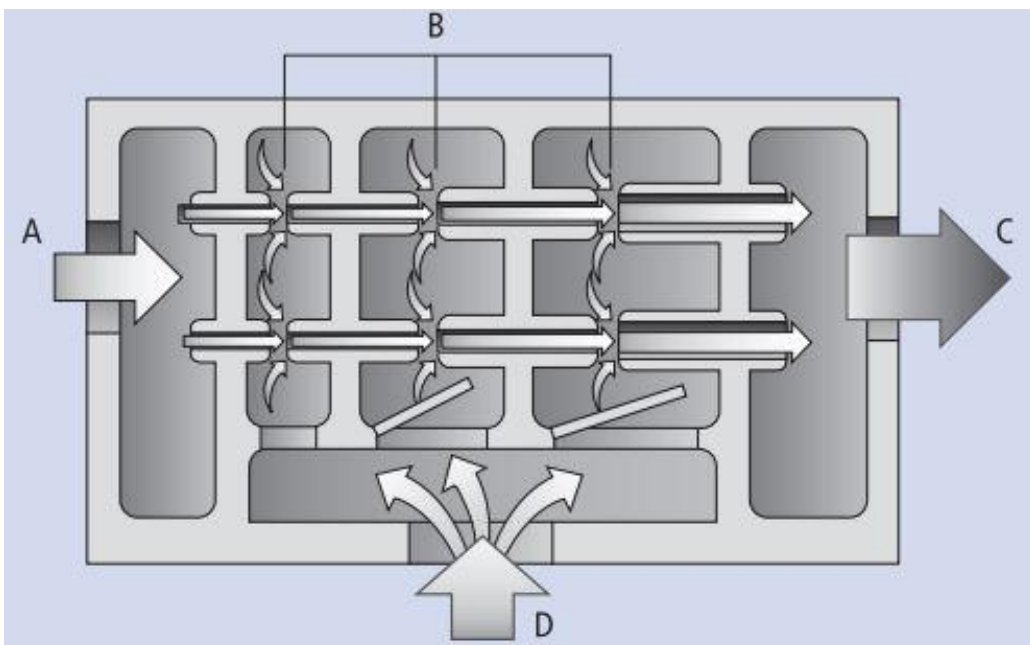


Figura 21 - Sezione Eiettore Multistadio

Vantaggi:

- Forma compatta e peso ridotto
- Rapida formazione del vuoto
- Nessun componente mobile, quindi poca manutenzione e nessuna usura
- Nessuna produzione di calore

Pompe per Vuoto

Le pompe per vuoto comprendono un rotore con lamelle applicate eccentricamente (A) (Fig.22). Mediante la forza centrifuga le lamelle vengono spinte verso l'esterno. In questo modo si creano delle camere di diverse grandezze (B) le quali vengono ermetizzate mediante le lamelle. Con il progressivo ingrandimento delle camere, che aumenta con la rotazione, l'aria si espande. La pressione dell'aria si abbassa e si crea una depressione (cioè il vuoto). Quindi attraverso questo processo, l'aria viene aspirata dal lato di aspirazione (C) e esce in forma compressa (aria di scarico) attraverso l'apertura (D).

Grazie alla buona compressione, le pompe generano un vuoto molto elevato e hanno, a seconda del tipo, una capacità di aspirazione relativamente alta.

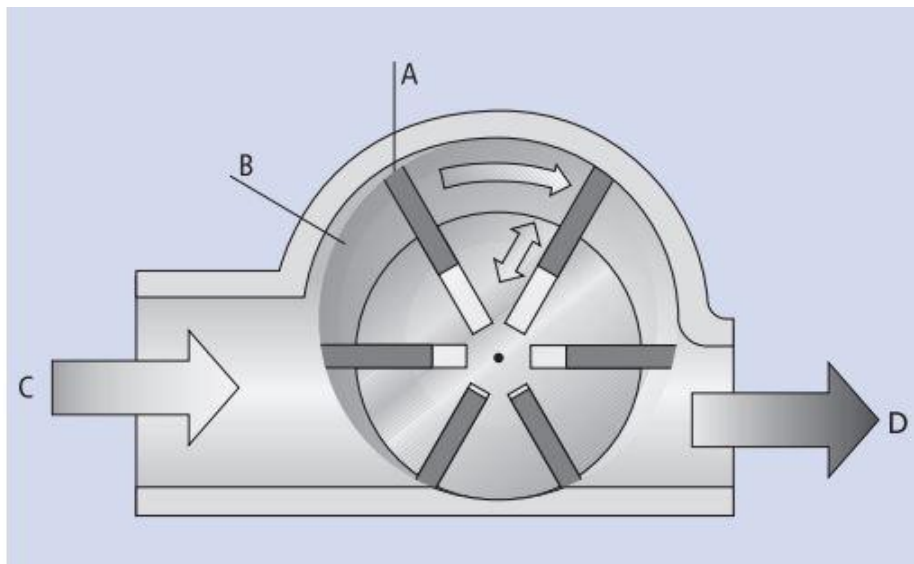


Figura 22 - Sezione Pompa Meccanica

Vantaggi:

- Alto livello di depressione con elevato volume di aspirazione
- Generazione del vuoto centralizzato

6.5.3 Vacuostati

Sono dispositivi di monitoraggio del sistema e sono disponibili in due versioni: meccanica ed elettronica.

Nella versione meccanica il vuoto presente viene misurato mediante una membrana e viene azionato un microinterruttore (versione elettromeccanica) oppure una valvola (versione pneumatica).

Nella versione elettronica il vuoto viene misurato mediante un sensore piezoresistente e viene emesso un segnale di commutazione (analogico o digitale).

6.6 Caratterizzazione Energetica dei Sistemi per il Vuoto

Alla base di un processo produttivo energeticamente efficiente e dalle più elevate performance vi è una soluzione di manipolazione ottimizzata; per perseguire tale obiettivo, è bene quindi procedere ad una scelta oculata di tutti i componenti facenti parte del circuito del vuoto, partendo dal generatore del vuoto (pompa o eiettore) fino ad arrivare alla ventosa.

Risulta così possibile andare a ridurre i costi produttivi e la produzione/emissione di anidride carbonica, impiegando solo la quantità di energia strettamente necessaria al funzionamento del processo.

Un chiaro esempio di tutto ciò può essere descritto tramite il processo di collocazione della pompa del vuoto all'interno del sistema: la pompa andrà a richiedere una minor quantità di aria compressa se collocata vicino al punto in cui effettivamente ho bisogno della creazione del vuoto, andando così a ridurre (come già detto prima) le emissioni di anidride carbonica e il consumo energetico; il grafico sottostante (Fig.23) mostra la relazione esistente tra l'impatto ambientale e la distanza della pompa dall'utenza.



Figura 23 - FootPrint Energetico fra Punto di Presa ed Energia Spesa

6.7 Tipologie di Circuito

Si possono avere due configurazioni circuitali per i sistemi del vuoto:

- circuito decentralizzato
- circuito centralizzato

Nel circuito del vuoto decentralizzato si ha l'eiettore montato direttamente sul punto in cui si rende necessario avere il vuoto; così facendo si elimina il rischio di perdite di carico e la necessità di componenti sovradimensionati.

Inoltre i tempi di risposta vengono ridotti sensibilmente a causa della mancanza di inutili volumi da svuotare; si ha anche che ogni punto di presa è indipendente dall'altro, rendendo così un eventuale perdita su una ventosa assolutamente ininfluente sul funzionamento delle altre.

I principali vantaggi possono così essere riassunti:

- ✓ Ridotto consumo energetico
- ✓ Elevata rapidità di ciclo
- ✓ Manipolazione sicura
- ✓ Flessibilità di progettazione
- ✓ Ricerca guasti semplificata
- ✓ Miglioramento delle performance

In Fig.24 è possibile vedere l'elevato footprint energetico del sistema ed una possibile configurazione circuitale.

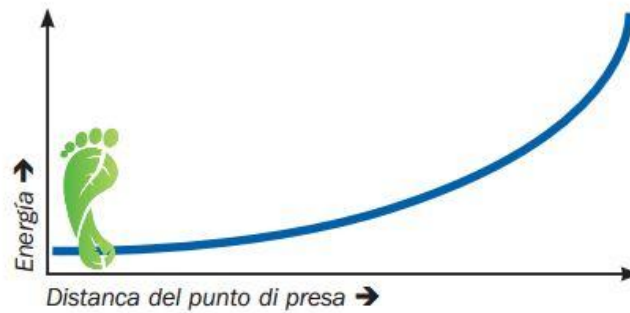


Figura 24 - FootPrint con Circuito Decentralizzato

Nel circuito del vuoto centralizzato si ha invece un'unica sorgente del vuoto che rifornisce più punti di aspirazione; la sorgente può essere sia di natura elettrica che pneumatica.

Con la pompa del vuoto collocata lontano rispetto alle ventose, si ha che le prestazioni del sistema si riducono a causa delle perdite nelle tubazioni e nei raccordi; sarà quindi richiesta più energia per compensare tali perdite e raggiungere le prestazioni desiderate.

I principali vantaggi di questa applicazione possono essere:

- ✓ Installazione semplificata
- ✓ Agevole montaggio di sensori e dispositivi di controllo
- ✓ Alleggerimento del sistema di presa

In Fig.25 è possibile vedere il footprint energetico sia per la configurazione con pompa pneumatica che con pompa elettrica assieme alle relative possibili configurazioni circuitali.



Figura 25 - FootPrint con Circuito Centralizzato

6.8 Valutazioni e Considerazioni Generali

Rispetto a quanto scritto precedentemente, abbiamo visto come decentralizzare la produzione del vuoto laddove sia possibile farlo possa costituire un enorme vantaggio in termini di efficienza energetica: tubazioni, curve raccordi, valvole e filtri riducono le prestazioni del sistema del vuoto, obbligando all'uso di pompe di taglia maggiore.

Un sistema decentralizzato, costituito da pompa e ventosa integrate, riduce il rischio di trafilamenti e perdite di carico ed, al contempo, la necessità di sovradimensionare la componentistica.

Tutto ciò si riflette sul tempo di presa, il quale diminuisce drasticamente dato che il volume da evacuare è ridotto al minimo.

Inoltre ogni ventosa risulta essere indipendente dalle altre ed un'eventuale caduta di vuoto in una di esse non va ad influenzare il sistema di presa generale.

Tutte le considerazioni e le possibili configurazioni che si sono prese in esame fino a qui risultano essere corrette da un punto di vista sia teorico che pratico; chiaramente bisogna contestualizzare il tutto all'interno del mondo delle macchine automatiche per il confezionamento, specialmente se si ha a che fare con prodotti farmaceutici o alimentari.

Uno dei punti cardine sul quale si ha una fitta contrattazione con il cliente è appunto rappresentato dalla scelta e dalla collocazione del sistema di creazione del vuoto.

Tipicamente una macchina blisteratrice viene abbinata a valle con un macchina astucciatrice, la quale non fa che prendere il blister ed inserirlo nella scatola che lei stessa forma assieme al bugiardino.

Solitamente le due macchine non vengono tenute nella medesima stanza, ma tra una l'altra vi è una parete che le separa: questo perché la blisteratrice lavora in un ambiente che viene detto *primario* (ovvero dove ho la presenza del prodotto medicinale ancora a contatto con l'aria e quindi il rischio di contaminazione risulta essere elevato) e l'astucciatrice in un ambiente che viene detto *secondario* (dove il prodotto medicinale è già blisterato e non corre più il rischio di contaminazioni).

Nell'ambiente primario si devono avere delle condizioni ambientali ben precise al fine di non alterare il prodotto medicinale; ed ecco il perché del "braccio di ferro" sulla scelta del generatore del vuoto.

Le pompe del vuoto di tipo elettrico sono dispositivi rumorosi, che richiedono manutenzione ma soprattutto dissipano molto calore in atmosfera, il quale presenta un duplice effetto negativo:

- maggiore è il calore che disperdo nell'ambiente, maggiore dovrà essere la potenza dell'impianto refrigerante per mantenere l'ambiente ad una precisa temperatura ottimale: tutto ciò implica quindi maggiori costi d'installazione dell'impianto e costi elettrici più elevati di funzionamento
- il calore disperso può andare ad alterare il farmaco, rendendo così il prodotto non più efficace e quindi non vendibile

Solitamente quindi si cerca di posizionare la pompa all'interno della macchina in una posizione tale per cui il calore generato non sia nelle immediate vicinanze del farmaco; sia per questa ragione sia per come è conformata la struttura della macchina, il circuito del vuoto assume la configurazione di circuito centralizzato, con tutte le ripercussioni negative viste precedentemente.

La situazione diventa ancora più gravosa qual'ora il cliente non voglia assolutamente la presenza della pompa all'interno dell'ambiente primario: ecco quindi che questa viene spostata nel cosiddetto "vano tecnico" situato in una intercapedine a controsoffitto; ma non solo: la pompa può anche essere allocata in una stanza adiacente, andando così a mettere qualche decina di metri fra essa e il punto dov'è necessario avere il vuoto.

Ecco quindi che nasce l'obbligo di avere montate pompe sovradimensionate rispetto all'applicazione che si vuole soddisfare: tutto ciò, per quanto esposto fino ad ora, ha una ripercussione totalmente negativa per quanto riguarda l'efficienza energetica.

Alternativamente a queste pompe, esistono quelle di tipo pneumatico basate sul principio Venturi: sono silenziose, non presentano costi di manutenzione, non dissipano calore e funzionano senza l'ausilio della corrente elettrica.

La nota negativa è rappresentata dal modo in cui funzionano, ovvero: durante un ciclo di funzionamento, mediante l'utilizzo dell'aria compressa, richiamano l'aria dall'ambiente in cui c'è bisogno del vuoto ed espellono quest'aria (insieme a quella compressa utilizzata) nell'ambiente esterno, ovvero quello primario.

Avere quindi l'immissione di aria, seppur filtrata, nell'ambiente primario può costituire una problematica in termini di sicurezza e preservazione del prodotto farmaceutico e non tutti i clienti sono disposti ad accettare tale situazione.

Ecco quindi che, nonostante vi sia un'alternativa tecnologia a minor consumo energetico per la creazione del vuoto, bisogna sempre fare i conti con quelle che sono le volontà e le imposizioni da parte di chi acquista la macchina.

Di seguito ci proponiamo di andare a validare la scelta della pompa elettrica montata in macchina e verificare se essa possa essere sostituita con una pompa sempre di tipo elettrico ma di taglia più piccola: una pompa di taglia più piccola presenta, oltre ad assorbimenti energetici minori, anche dimensioni più contenute che le permettono di poter essere collocata anche in spazi più stretti e vicini al punto di aspirazione, così da aumentarne l'efficienza.

6.9 Validazione del Sistema

La suddetta validazione della scelta tecnica operata si propone di andare a determinare il tempo di evacuazione necessario al fine di creare il vuoto e di confrontarlo con il tempo ciclo della macchina; operata la suddetta verifica, si procederà al ricalcolo utilizzando una pompa elettrica per il vuoto di taglia inferiore e si andrà quindi a verificare se con tale componente si è in grado di operare alla creazione del vuoto all'interno del tempo ciclo macchina.

❖ Calcolo del Peso del Blister

Per poter eseguire i successivi calcoli, è necessario conoscere la massa dell'oggetto da movimentare, in questo caso quella del blister con il farmaco all'interno:

$$m = 100 \text{ g}$$

❖ Calcolo della Forza di Presa Teorica di una Ventosa

Le ventose devono sopportare, oltre al peso del pezzo, anche le forze di accelerazione che agiscono sul pezzo stesso.

Gli eventi di carico ai quali si fa riferimento per il calcolo di tale forza sono tre:

- ✓ Ventosa orizzontale, direzione di forza verticale (Fig.26)

il pezzo viene sollevato e movimentato

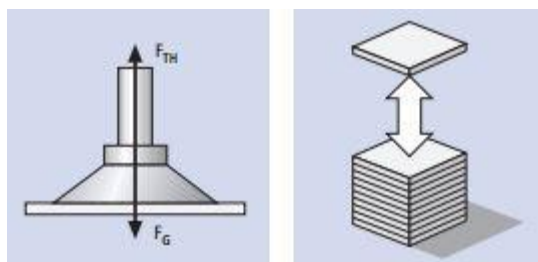


Figura 1 - Presa Verticale

- ✓ Ventosa orizzontale, direzione di forza orizzontale (Fig.28)
il pezzo viene sollevato e spostato orizzontalmente

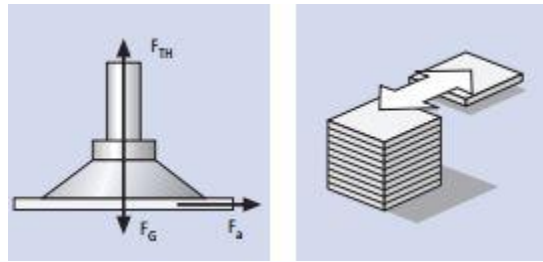


Figura 27 - Presa Orizzontale

- ✓ Ventosa verticale, direzione di forza verticale (Fig.28)
il pezzo viene sollevato e spostato con un moto rotatorio

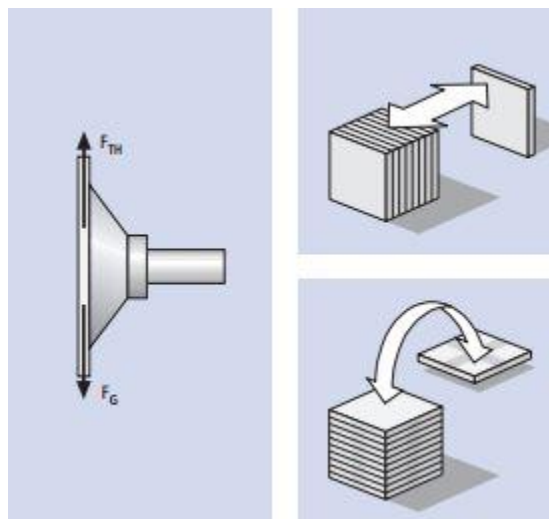


Figura 28 - Presa con Rotazione

L'evento di carico a cui facciamo riferimento è il terzo, in quanto rispecchia la nostra situazione: prelevamento del blister seguito da una rotazione per il deposito sul nastro di uscita.

La formula per il calcolo della forza è:

$$F_{TH} = \left(\frac{m}{\mu}\right) * (g + a) * S$$

dove:

- m : massa del blister [Kg]
- μ : coeff. di attrito (0,1 - 0,6)
- g : accelerazione di gravità [m/s^2]
- a : accelerazione dell'impianto [m/s^2]
- S : coefficiente di sicurezza

Con i dati a nostra disposizione, la forza di presa teorica risulta essere pari a:

$$F_{TH} = \left(\frac{0,1}{0,5}\right) * (9,81 + 20) * 3 = 21,46 N$$

Questo valore rappresenta la minima forza che le ventose devono esercitare affinché il pezzo possa essere movimentato in maniera sicura.

Se dovessimo procedere alla scelta della ventosa, dovremmo andarci a calcolare la capacità di aspirazione F_s (tale valore è dato dal rapporto fra la forza di presa teorica ed il numero di ventose) della ventosa e con questo valore selezionare da catalogo la ventosa più opportuna.

Dato che però vogliamo validare la scelta del generatore del vuoto, prendiamo come buona la ventosa fin'ora utilizzata e da catalogo reperiamo le informazioni che ci servono ai fini del nostro scopo.

Per determinare il tempo di evacuazione è necessario conoscere i volumi da svuotare e di conseguenza l'architettura del sistema; il meccanismo di presa del blister è composto dal gruppo cicloide (Fig.29) il quale presenta due bracci paralleli su ognuno dei quali è presente una coppia di ventose.

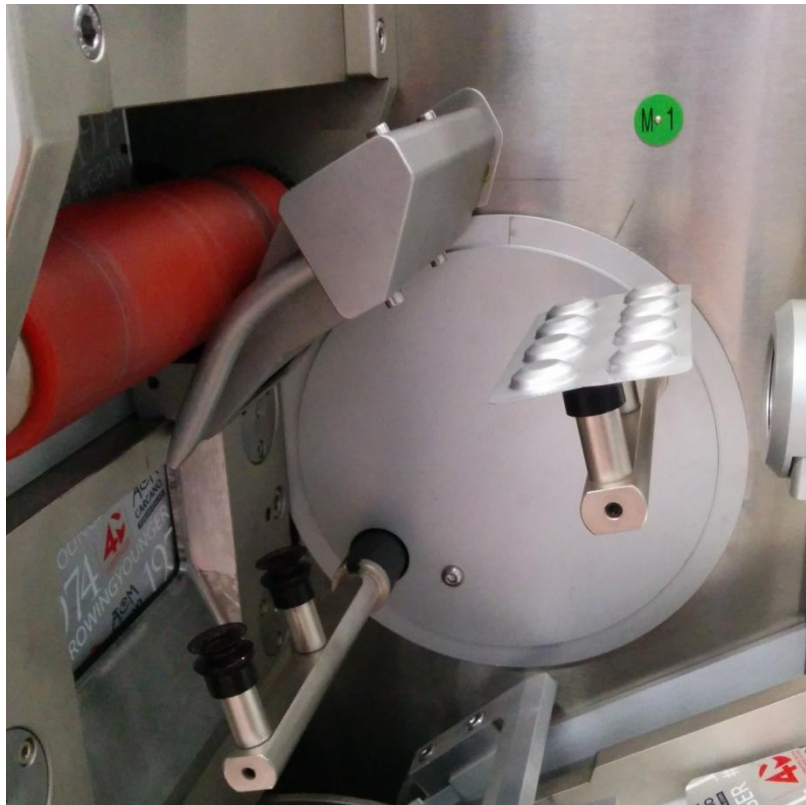


Figura 29 - Cicloide per Presa e Deposito Blister

L'apertura/chiusura alternata dei due bracci è effettuata mediante un selettore meccanico: questo è formato da una parte fissa e da una mobile; ruotando, la parte mobile apre e chiude progressivamente la luce di passaggio dal generatore di vuoto verso le ventose, dando la possibilità prima di aspirare il blister e poi di mollarlo sul nastro di uscita. A valle del selettore è presente anche un elettrovalvola la quale mantiene la posizione di apertura durante l'interno di ciclo ed assume quella di chiusura esclusivamente quando si vuole

interrompere il vuoto così da non consentire alle ventose di afferrare il blister: questa situazione si presenta quando si ha un prodotto non conforme il quale non deve essere preso ma lasciato cadere verso il basso nel cesto delle non conformità.

I volumi da svuotare sono così composti:

- ✓ Volume Ventose -> 0,00002396 m³
- ✓ Volume Elementi di Fissaggio -> 0,000000879 m³
- ✓ Volume Braccio Porta Ventose -> 0,000003077 m³
- ✓ Volume Tubi Sottili Cicloide -> 0,00000565 m³
- ✓ Volume Passaggi Cicloide -> 0,000088312 m³
- ✓ Volume Raccordi Cicloide -> 0,00000226 m³

Il volume totale da evacuare è quindi pari a: $V_G = 0,00010258 \text{ m}^3$

Il tempo di evacuazione (t) si calcola con la seguente formula:

$$t = \frac{V_G * \ln \frac{P_a}{P_e} * 1,3}{V}$$

dove:

- ✓ V -> capacità di aspirazione del generatore di vuoto [m³/h]
- ✓ P_a -> pressione iniziale assoluta [1.013 bar]
- ✓ P_e -> pressione finale assoluta [150 mbar]
- ✓ V_G -> volume da evacuare [m³]

Inserendo i dati nella formula e ripetendo il calcolo per varie taglie di pompe, otteniamo i seguenti riscontri:

	Volume Aria Aspirata (m³/h)	Potenza Assorbita (kW)	Tempo di Evacuazione (s)
Becker 4.16	16	0,55	0,057
Becker 4.10	10	0,37	0,092
Becker 4.8	7,6	0,35	0,121
Becker 4.4	4,1	0,18	0,224

Tali valori vanno confrontati con il "tempo ciclo" della macchina, ovvero: il tempo di evacuazione appena trovato deve essere minore del tempo a disposizione del braccio del cicloide per elaborare un blister.

Considerando una capacità produttiva pari a circa 320 blister/minuto, il tempo necessario ad ogni braccio per elaborare un blister è pari a circa 0,370 s.

Si vede quindi che la pompa Becker 4.16 (attualmente montata in macchina) risulta essere sovradimensionata rispetto alla reale esigenza dell'applicazione; ciò poteva già essere desunto inizialmente considerando che la macchina blisteratrice di taglia superiore (capace di elaborare una quantità di blister/minuto più che doppia) presenta montata la stessa pompa.

Facendo quindi una scelta conservativa, senza cioè spingersi troppo in basso come taglia della pompa, si può proporre di sostituire l'attuale pompa Becker 4.16 (1) con, ad esempio, la Becker 4.10 (2); in termini di costi (sia d'acquisto da parte dell'azienda che di utilizzo da parte del cliente) si hanno i seguenti benefici (Fig.30):

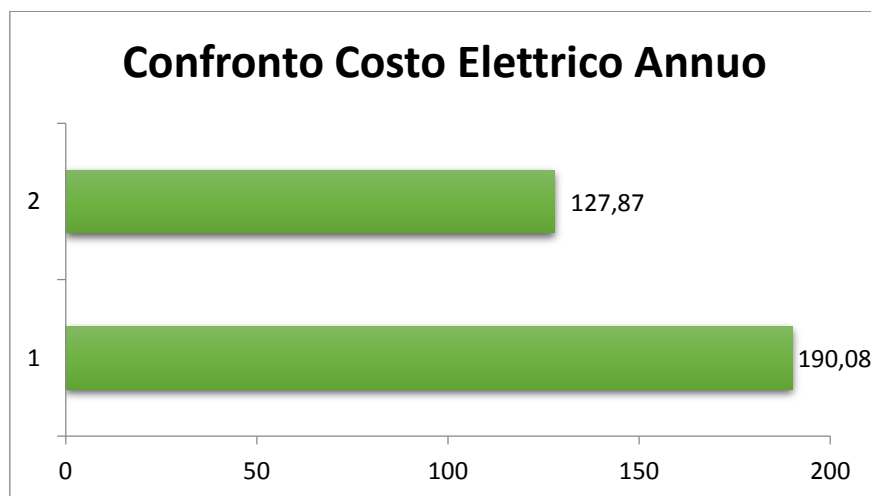
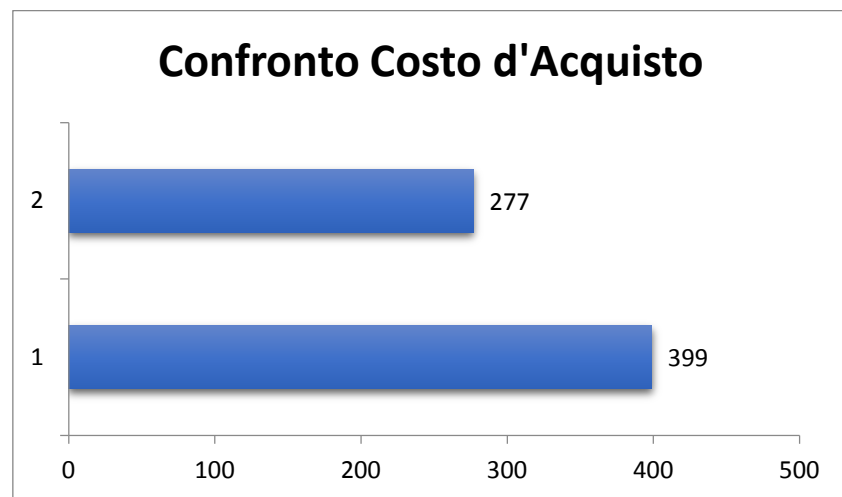


Figura 30 - Grafici Costi Funzionamento ed Acquisto

Come si può vedere dai grafici, si ha circa un 31% in meno per quanto concerne il costo di acquisto, mentre il costo elettrico di funzionamento annuo (calcolato per un utilizzo minimo della macchina di 8 ore al giorno) diminuisce circa del 33 %.

Osserviamo inoltre che, anche nel caso si abbia una non conformità del prodotto farmaceutico o del blister, utilizzando l'elettrovalvola per procedere allo scarto dovremmo poi andare a svuotare un volume maggiore dato dall'aggiunta del volume del tubo di collegamento fra elettrovalvola e cicloide.

Ripetendo quindi il calcolo con l'aggiunta di questo volume, il tempo di evacuazione non subisce sensibili modifiche rispetto al caso sopra illustrato e la scelta della pompa da sostituire non cambia.

6.10 Conclusioni

Procedendo al calcolo dei volumi da evacuare abbiamo visto come sia possibili impiegare una pompa di taglia più piccola con tutti i benefici che ne derivano (minor costo di acquisto, minor costo di esercizio, minor calore dissipato, minore rumorosità, ecc..) introducendo fin da subito una buona quota di risparmio.

Un ulteriore e possibile miglioramento può essere quello di eliminare la pompa elettrica a favore di una pneumatica e testarne il funzionamento, usando come termine di paragone il costo della portata extra di aria compressa necessaria al suo funzionamento raffrontato al costo elettrico di funzionamento della pompa elettrica; è inoltre da valutare anche il fatto che la pompa pneumatica non dissipa calore ed ha un livello di rumorosità nullo rispetto a quella elettrica, a tutto vantaggio dell'operatore a bordo macchina.

Gruppo Saldatura e Preriscaldi

7.1 Introduzione

L'ultimo comparto macchina che andiamo ad esaminare e che dal punto di vista energetico rappresenta un carico importante è rappresentato dalle stazioni di formatura e saldatura.

Entrambe le stazioni hanno una duplice fase di assorbimento, schematizzabile in:

- ✓ *fase di avvio iniziale*
- ✓ *fase di lavoro*

La *fase di avvio iniziale* si manifesta al momento dell'accensione della macchina, ovvero quando questa è fredda (classica situazione di partenza dell'impianto al primo turno di lavoro della giornata): entrambe le stazioni devono portarsi alla temperatura di lavoro prefissata, indispensabile per poter eseguire una corretta formatura del materiale plastico e saldatura del film in alluminio sul blister appena formato; per far ciò, ogni stazione presenta una serie di resistenze elettriche che, dissipando calore per effetto Joule, vanno a riscaldare le piastre nelle due suddette stazioni.

La *fase di lavoro* invece caratterizza la situazione di produzione del blister: le due stazioni forniscono calore per scaldare e saldare, perdendo così temperatura, la quale però deve rimanere entro un certo range (+/- 5 °C) per assicurare una corretta operazione; ecco

allora che entrambe le stazioni presentano un sensore di temperatura il quale è collegato ad un termoregolatore che, tramite una logica di controllo di tipo PID, provvede a fornire quantità differenti di corrente elettrica in modo tale da operare una regolazione continua delle due stazioni così da poter mantenere la temperatura nell'ambito del range ottimale.

Ecco quindi che, nell'ambito dell'efficienza energetica, diventa importante ottimizzare il funzionamento di queste due stazioni dato che la somma della potenza installata di entrambe rappresenta un terzo di quella totale della macchina.

Quello che ci proponiamo di fare è di studiare più attentamente il fenomeno termico alla base del loro funzionamento, andando prima a validare la scelta tecnica attuale e successivamente cercare di proporre dei possibili miglioramenti.

7.2 Richiami sulla Trasmissione del Calore

Data una superficie del volume di controllo, si avrà scambio termico ogni qualvolta vi sia una differenza di temperatura tra l'ambiente circostante e la superficie stessa.

Le modalità fisiche con cui avviene questo trasferimento di energia sono diverse; in letteratura si trovano in genere tre modalità di scambio termico:

- Conduzione
- Convezione
- Irraggiamento

I primi due meccanismi si basano sugli stessi principi e sono legati alla presenza di massa in movimento nel sistema: la differenza sta nel fatto che la conduzione è associata a moti atomici o molecolari mentre la convezione è legata a moti macroscopici di massa.

L'irraggiamento invece è legato a fenomeni di propagazione di onde elettromagnetiche; per questo motivo lo scambio termico radioattivo può avvenire anche nel vuoto.

Andiamo ad analizzare ora i singoli meccanismi.

7.2.1 Conduzione

La conduzione è legata a processi che avvengono a livello atomico o molecolare; per spiegare meglio il fenomeno possiamo considerare un gas macroscopicamente in quiete racchiuso in un recipiente in cui le due pareti orizzontali sono a temperatura diversa (T_1 , T_2 , $T_1 > T_2$) mentre le altre due pareti sono adiabatiche (Fig.31).

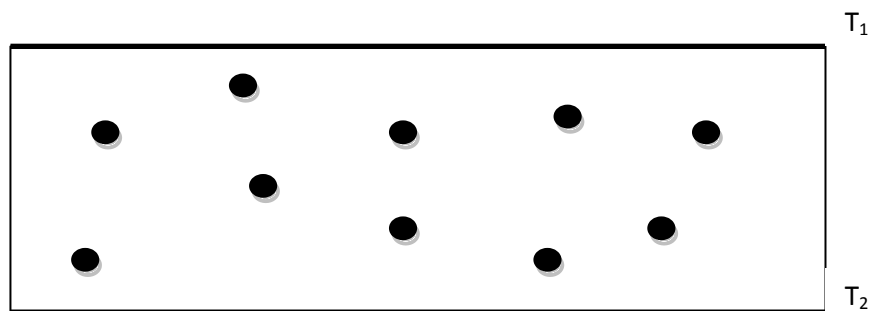


Figura 31 - Recipiente con Molecole Aria

Le molecole vicino alla parete calda hanno una temperatura (e quindi un'energia cinetica) maggiore.

Il loro moto avviene casualmente in tutte le direzioni: prima o poi andranno a collidere con le molecole a temperatura più bassa trasferendo a queste parte della loro energia; in tal modo vi è quindi un trasferimento di energia dalla parete più calda a quella più fredda.

Sperimentalmente si osserva che il flusso termico è proporzionale al gradiente di temperatura e non alla differenza di temperatura; questo meccanismo viene definito come una diffusione di energia.

Nei liquidi il meccanismo è analogo.

Nei solidi, invece, il meccanismo della conduzione dipende dal tipo di materiale; dall'esperienza è possibile ricavare una legge che descrive il fenomeno, detta Legge di Fourier.

La legge di Fourier in condizioni monodimensionali assume la forma:

$$q_x = -k A \frac{dT}{dx}$$

dove:

- q_x è la potenza termica trasmessa in direzione x ;
- k è il coefficiente di conducibilità termica [W/mK] ;
- A è l'area della superficie di scambio termico;

Il segno meno della formula indica che il calore viene trasferito in direzione opposta a quella del gradiente di temperatura.

La conducibilità termica è invece una proprietà termo fisica del materiale: più è basso il suo valore e più il materiale è isolante, più è alto e più è conduttore.

La monodimensionalità è invece un'ipotesi semplificativa di lavoro inerente alla geometria del problema: infatti se la geometria in cui avviene lo scambio termico presenta uno spessore molto più piccolo rispetto alle altre due dimensioni, si può ritenere che il calore fluisca in unica direzione.

7.2.2 Convezione

Si ha trasmissione di energia termica per convezione quando tale trasferimento di energia avviene tra un fluido (liquido o gas) ed un solido in moto relativo uno rispetto all'altro: pertanto al fenomeno della conduzione si sovrappone il trasporto di energia operato dalle particelle in moto.

In dipendenza dalla natura delle forze che causano il moto del fluido in esame si distinguono due tipi di convezione:

- convezione naturale
- convezione forzata

Nel caso di convezione naturale il moto delle particelle è determinato essenzialmente dalle forze di galleggiamento innescate dalle variazioni di densità in seno al fluido stesso conseguenti alle differenze di temperatura; viceversa nel caso di convezione forzata il moto delle particelle è dovuto a forze esterne al fluido, ovvero il moto del fluido è forzato dall'azione di meccanismi, quali pompe o elettroventilatori ed in tal caso le forze di galleggiamento risultano generalmente trascurabili a fronte di quelle inerziali.

Occorre ricordarsi che l'azione del vento deve essere assimilata alla convezione forzata.

Nella convezione naturale lo scambio termico convettivo nel fluido ha inizio per cause naturali, ovvero quando l'equilibrio tra forze di galleggiamento e forze di gravità è turbato dalla disomogeneità della distribuzione della temperatura nel fluido; caso tipico di convezione

naturale è quello che si verifica, ad esempio, tra una parete e l'aria adiacente a causa della diversità di temperatura.

Esaminati gli aspetti termo fisici suddetti, la potenza termica scambiata per convezione tra una parete e l'aria adiacente può essere molto semplicemente valutata mediante la seguente equazione proposta nei calcoli tecnici:

$$q = h A (T_s - T_f)$$

dove:

- h è il coefficiente convettivo (o coeff. di convezione) [W/m² K]
- A è l'area della superficie di scambio termico;
- T_s è la temperatura della sup. di scambio termico;
- T_f è la temperatura del fluido, anche indicata con T_∞ ;

Va sottolineato inoltre come il coefficiente convettivo dipenda da:

- ✓ natura e stato fisico del fluido (compreso la relativa temperatura dipendente dal problema in esame)
- ✓ tipo di moto del fluido (laminare o turbolento)
- ✓ forma geometrica del solido a contatto col fluido (superficie piana, ellittica, cilindrica etc.)

7.2.3 Irraggiamento

Questo meccanismo di trasmissione termica è totalmente differente dagli altri due meccanismi sopra descritti.

L'energia del corpo radiante è trasportata da onde elettromagnetiche e, quindi, presenta le caratteristiche tipiche di ogni fenomeno ondulatorio: sarà quindi funzione non solo della temperatura, ma anche della lunghezza d'onda e della direzione di emissione.

Questa trasmissione di energia, avvenendo tramite onde elettromagnetiche, non ha bisogno della presenza di un mezzo di trasporto; essa può avvenire anche nel vuoto.

La massima potenza termica che una superficie può emettere in tutta la banda di frequenza è espressa tramite la legge di Stefan - Boltzmann:

$$q = A \sigma T_S^4$$

dove:

- A è l'area della superficie di scambio termico;
- σ è la costante di Stefan - Boltzmann, vale $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{k}^4$;
- T_S è la temperatura della superficie;

Bisogna però osservare che questa relazione vale per un corpo ideale, anche detto corpo nero; nelle superfici reali la situazione è decisamente più complessa.

Un modello che viene applicato in molti casi è quello del corpo grigio: in prima approssimazione si può definire grigia una superficie

che per ogni lunghezza d'onda emetta una frazione costante dell'energia che verrebbe emessa da un corpo nero la cui superficie si trova alla stessa temperatura di quella grigia; definiremo questa frazione *emissività della superficie* e la indicheremo con ε .

Vale quindi la seguente relazione per le superfici grigie:

$$q = A \varepsilon \sigma T_S^4$$

7.2.4 L'Equazione di Fourier

Se si desidera conoscere il campo di temperatura di un sistema, una via è quella di ricavare l'equazione dell'energia in termini differenziali e poi integrarla sull'intero sistema.

Nel caso di pura conduzione, l'equazione dell'energia espressa in termini differenziali prende il nome di equazione di Fourier o equazione generale della conduzione.

Andiamo quindi a ricavare la suddetta equazione in coordinate cartesiane, sotto le seguenti ipotesi:

- ✓ sistema isotropo
- ✓ sistema indeformabile

Andiamo quindi a considerare un volume di controllo infinitesimo posto all'interno del nostro sistema (Fig.32).

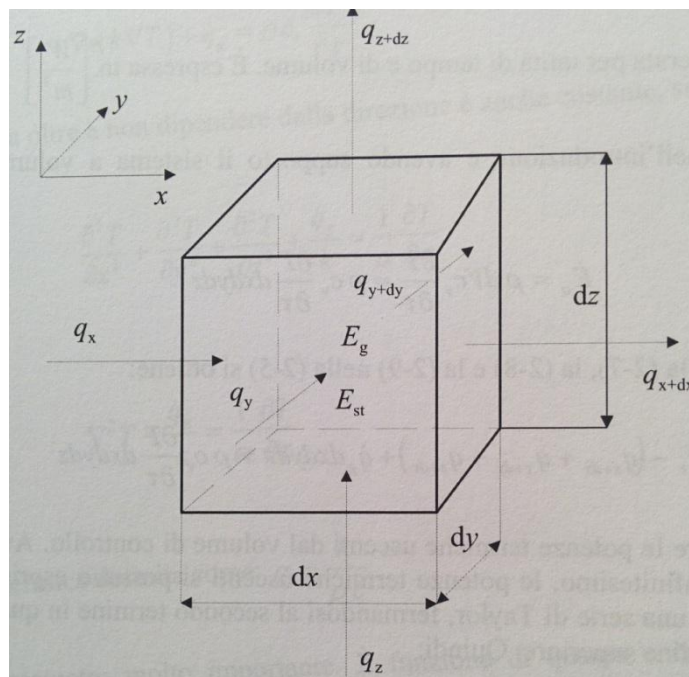


Figura 32 - Elemento Infinitesimo

Avremo scambi di calore attraverso le facce del volume di controllo, si potrà generare calore all'interno e anche variazione di energia del sistema; avendo poi considerato il sistema indeformabile, il lavoro è nullo.

Allora sotto queste ipotesi, si può scrivere che:

$$E_{in} + E_{out} + E_g = E_{st} \quad (2.1)$$

dove:

- E_{in} è la potenza termica entrante nel volumetto per conduzione
- E_{out} è la potenza termica uscente dal volumetto per conduzione
- E_g è la potenza termica generata all'interno del sistema
- E_{st} è la variazione nell'unità di tempo dell'energia del sistema

Facendo riferimento alla Fig. ,scriviamo:

$$E_{in} = q_x + q_y + q_z \quad (2.2)$$

$$E_{out} = -(q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz}) \quad (2.3)$$

Supponendo che la generazione interna di calore sia uniforme, si avrà che:

$$E_g = q_g dV = q_g dx dy dz \quad (2.4)$$

dove con q_g si è indicata l'energia generata interna per unità di tempo e di volume [W/m^3].

Dalle ipotesi fatte in precedenza e avendo inoltre supposto il sistema a volume costante, si può affermare che:

$$E_{st} = \rho dV c_v \frac{\partial T}{\partial \tau} = \rho c_v \frac{\partial T}{\partial \tau} dx dy dz \quad (2.5)$$

Ora, inserendo nella 2.1 le equazioni 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 si ottiene:

$$q_x + q_y + q_z - (q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz}) + q_g dx dy dz = \rho c_v \frac{\partial T}{\partial \tau} dx dy dz \quad (2.6)$$

Bisogna ora andare ad esprimere le potenze termiche uscenti dal volume di controllo; avendo considerato il sistema di controllo infinitesimo, le potenze termiche uscenti si possono esprimere in funzione di quelle entranti tramite una serie di Taylor, fermandosi al secondo termine in quanto gli altri termini sono infinitesimi di ordine superiore.

Si ha quindi che:

$$\begin{aligned} q_{x+dx} &= q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \\ q_{y+dy} &= q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy \\ q_{z+dz} &= q_z + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz \end{aligned} \quad (2.7)$$

Andando adesso a sostituire le 2.7 nella 2.6 si ricava:

$$-\frac{\partial q_x}{\partial x} dx - \frac{\partial q_y}{\partial y} dy - \frac{\partial q_z}{\partial z} dz + q_g dx dy dz = \rho c_v \frac{\partial T}{\partial \tau} dx dy dz \quad (2.8)$$

Ricordando la legge di Fourier possiamo scrivere:

$$q_x = -k dy dz \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$q_y = -k dx dz \frac{\partial T}{\partial y} \quad (2.9)$$

$$q_z = -k dx dy \frac{\partial T}{\partial z}$$

Sostituendo le 2.9 nella 2.8 e semplificando dx dy dz si ricava:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_g = \rho c_v \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2.10)$$

riscrivibile in forma vettoriale:

$$\nabla(k \nabla T) + q_g = \rho c_v \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2.11)$$

Se poi la conduttività termica, oltre a non dipendere dalla direzione, è anche costante, la 2.11 si può così semplificare:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_g}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2.12)$$

e la sua forma vettoriale è:

$$\nabla^2 T + \frac{q_g}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2.13)$$

dove con α si è espressa la *diffusività termica*: $\alpha = \frac{k}{\rho c}$

La diffusività termica è un parametro molto importante: essa infatti è funzione di quanta energia viene trasferita rispetto a quanta ne viene immagazzinata nel sistema; aumentando α , aumenta la velocità con la quale una variazione di temperatura sulla superficie del sistema si propaga al suo interno.

Facciamo un esempio: nel campo dell'edilizia, se consideriamo la stagione invernale, la scelta di α dipende dall'utilizzo della casa. Infatti, se consideriamo k costante, aumentano il termine ρc (che significa utilizzare tamponature più pesanti), diminuisce α ; in questo modo aumento il tempo del transitorio, cioè aumento il tempo che impiego per portare a regime la temperatura all'interno.

Così facendo però vado a rendere più lento il raffreddamento, andando così a favorire il sistema di controllo dell'impianto di riscaldamento; usando tamponature più leggere succede l'esatto contrario.

In definitiva, se l'abitazione viene usata saltuariamente (come avviene per le case delle vacanze) conviene utilizzare tamponature più leggere per ridurre il tempo necessario a portare in temperatura l'ambiente.

Detto ciò, nell'ipotesi di stazionarietà si ottiene:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_g = 0 \quad (2.14)$$

e se k è costante:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_g}{k} = 0 \quad (2.15)$$

in termini vettoriali:

$$\nabla^2 T + \frac{q_g}{k} = 0 \quad (2.16)$$

L'equazione 2.16 è nota anche come equazione di Poisson.

Se poi non c'è generazione di calore:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = 0 \quad (2.17)$$

e se k è costante:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (2.18)$$

ovvero in termini vettoriali:

$$\nabla^2 T = 0 \quad (2.19)$$

Abbiamo così ricavato l'equazione di Fourier in coordinate cartesiane; l'espressione 2.19 viene anche indicata in letteratura con il nome di equazione di Laplace.

Per quanto concerne l'applicazione pratica di queste formule, diamo visione di uno dei casi più comuni, ai quali nella pratica di tutti i giorni si fa riferimento per discretizzare svariate situazioni; vogliamo determinare la distribuzione di temperatura e la potenza termica che attraversa uno strato piano di spessore s , con altezza e profondità molto più grandi rispetto allo spessore, con le due facce opposte alle temperature T_1 e T_2 , con $T_1 > T_2$ (Fig.33).

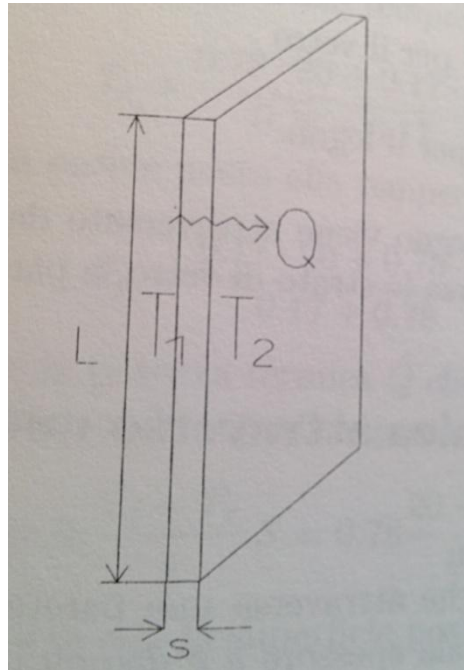


Figura 33 - Parete Piana

Per determinare la distribuzione di temperatura all'interno della parete, consideriamo l'equazione 2.13 in condizioni stazionarie $\left(\frac{\partial T}{\partial \tau} = 0\right)$ e senza generazione interna di calore ($q_g = 0$); si arriva ad ottenere la 2.19: $\nabla^2 T = 0$.

La temperatura T dipende solo dalla coordinata x in quanto le dimensioni della lastra nelle direzioni y e z sono talmente grandi rispetto a quella in x che si può andare a trascurare lo scambio termico nella pareti sottile dello strato; si ha quindi che:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = 0 \quad (2.20)$$

L'equazione 2.20 ha come primitiva: $T(x) = Ax + B$ (2.21)

Le condizioni al contorno sono date dalle temperature sulle due pareti (T_1 e T_2).

Andando a sostituire si ha che:

$$T(x) = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{s} x \quad (2.22)$$

Si può osservare che:

- la distribuzione di temperatura non dipende dalla conduttività termica del materiale di cui è composta la parete
- l'andamento della temperatura è lineare

La potenza termica che attraversa lo strato si può ottenere mediante le seguenti equazioni:

$$Q = \int q n dS \quad (2.23)$$

$$q = -k \Delta T \quad (2.24)$$

dove la 2.23 rappresenta la potenza termica che attraversa una superficie S per conduzione termica, mentre la 2.24 il vettore densità di flusso termico.

Si ottiene così che:

$$Q = k \frac{T_1 - T_2}{s} A \quad (2.25)$$

A differenza della temperatura, la potenza termica è direttamente influenzata dal coefficiente di conduzione.

7.2.5 L'analogia Elettrotermica

Il metodo dell'analogia è molto usato nella fisica; esso si basa sull'osservazione che molti fenomeni fisici, pur essendo completamente diversi, presentano equazioni formalmente uguali.

Se consideriamo l'equazione 2.25 riscritta nella seguente forma:

$$Q = \frac{k A}{s} \Delta T \quad (2.26)$$

si può scorgere una analogia con la legge di Ohm.

Infatti, se alla potenza sostituiamo l'intensità di corrente, alla temperatura i potenziali ed al termine kA/s la resistenza elettrica, si ottiene:

$$i = \frac{1}{R} \Delta V \quad (2.27)$$

che rappresenta effettivamente la legge di Ohm.

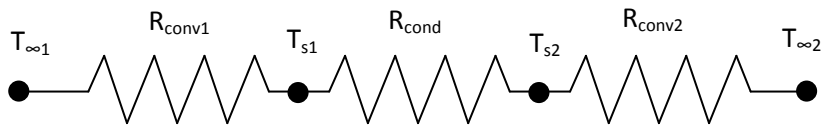
Si può quindi definire una *resistenza termica*:

$$R_t = \frac{s}{k A} \quad (2.28)$$

Ovviamente tale analogia può essere estesa anche allo scambio termico convettivo; la resistenza termica in questo caso vale:

$$R_t = \frac{1}{h A} \quad (2.29)$$

Applichiamo ora questi concetti al problema dello scambio termico in una parete piana con condizioni al contorno convettive; schematizzando il problema con le resistenze elettriche, si ha che:



La resistenza totale è data dalla somma delle resistenze singole:

$$R_{tot} = R_{conv1} + R_{cond} + R_{conv2} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{s}{k A} + \frac{1}{h_2 A} \quad (2.30)$$

In definitiva:

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}} \quad (2.31)$$

Si vede quindi come tramite l'analogia elettrica sia possibile risolvere problemi termici in modo più veloce ed agevole.

Va osservato come questo procedimento applicato alla singola parete, possa essere replicato in ugual modo al caso di pareti composte da più strati: basterà fare la somma delle resistenze termiche dei vari strati, in aggiunta a quelle rappresentanti gli scambi convettivi delle pareti esterne.

7.3 Gruppo Saldatura

7.3.1 Principio di Funzionamento

Per poter saldare efficacemente il film in alluminio al blister (blister che può essere anch'esso in alluminio oppure di materiale plastico) è necessario che la stazione saldante (Fig.34) sia in grado di esercitare una determinata pressione e temperatura sul materiale da saldare.



Figura 14 - Gruppo Saldatura

La pressione (intesa come forza applicata sulla superficie saldante) necessaria al processo viene impartita mediante un cilindro idraulico posto in testa alla struttura di stampa.

Per quanto concerne il calore invece, questo viene fornito mediante una piastra porta resistenze; tale piastra presenta una serie di fori all'interno dei quali sono inserite le resistenze a cartuccia necessarie a produrre la temperatura di stampa desiderata.

La piastra porta resistenze non è però l'elemento che va a contatto diretto con il materiale da saldare: tra essa ed il materiale viene interposta un'ulteriore piastra, denominata piastra zigrinata; il perché di questa scelta è presto detto: essendo la macchina blisteratrice in grado di operare il cosiddetto cambio formato (ovvero produrre blister di dimensioni diverse, con forme diverse degli alveoli anche in posizioni diverse), ogni formato che è in grado di produrre deve essere accompagnato dalla sua specifica piastra zigrinata, la cui funzione è anche quella di conferire al blister quella particolare zigrinatura presente sul lato posteriore.

E' perciò evidente che questa piastra debba avere la possibilità di poter essere sostituita in tempi rapidi, cosa che non sarebbe possibile se recasse al suo interno anche le resistenze di riscaldamento (andrebbero rifatti i cablaggi elettrici oppure bisognerebbe comprare tanti corpi scaldanti da inserire in ciascuna piastra: ciò porterebbe ad avere costi in più).

7.3.2 Validazione

La piastra porta resistenza è realizzata in acciaio ed ha una dimensione di 200x260 mm , per un'altezza pari a 12 mm (Fig.35).

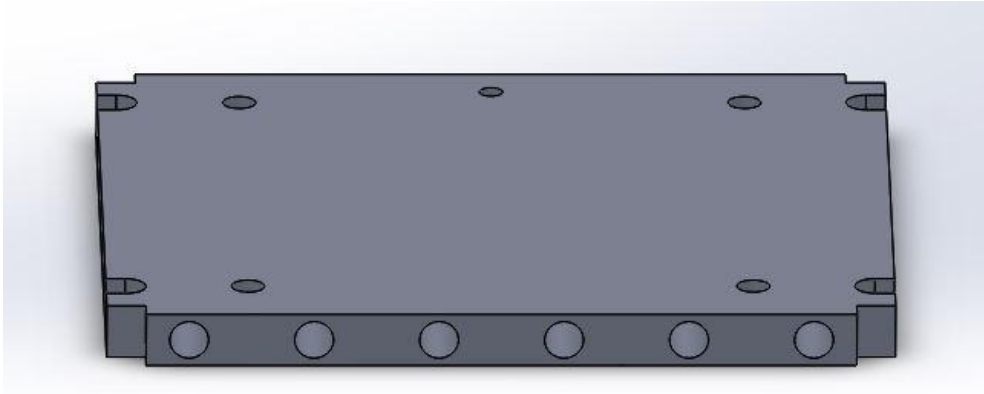


Figura 35 - Piastra Porta Resistenze

Presenta sei fori, di diametro 10 mm e di lunghezza pari alla profondità della piastra, all'interno dei quali vanno inserite le resistenze a cartuccia necessarie al suo riscaldamento; queste resistenze assorbono singolarmente una potenza di 600 W, il che fa in modo che la stazione di saldatura presenti una potenza installata pari a 3,6 kW.

La validazione della scelta riguarda due aspetti:

- ✓ numero di resistenze
- ✓ potenza della singola resistenza

Per quanto riguarda la scelta del numero di resistenze nel corpo da scaldare, il costruttore non fornisce particolari raccomandazioni se non quella di usare un numero di resistenze tale da uniformare la temperatura su tutto il corpo; per far ciò, il consiglio è quello di

eseguire delle prove pratiche al fine appunto di determinare il numero più congruo di corpi scaldanti.

Invece, per quanto riguarda la potenza del singolo corpo scaldante, il costruttore fa riferimento alla seguente formula:

$$kW = \frac{m * C_s * \Delta T}{864 * t_m}$$

dove:

- m -> massa dell'oggetto da scaldare [Kg]
- C_s -> calore specifico del materiale [kCal/Kg °C]
- ΔT -> d.d.t fra quella da raggiungere e quella iniziale [°C]
- t_m -> tempo per raggiungere la temperatura di lavoro [h]
- 864 -> rapporto di trasformazione tra kCal e kW

Al valore poi trovato, il costruttore raccomanda di aggiungere una percentuale specifica che varia a seconda se la massa da scaldare è piccola o grande e isolata o non isolata termicamente.

I dati a nostra disposizione risultano essere:

- massa della piastra: $m = 3 \text{ Kg}$
- calore specifico: $C_s = 0,122 \text{ kCal/Kg } ^\circ\text{C}$
- differenza di temperatura: $\Delta T = 170 \text{ } ^\circ\text{C}$
- tempo di raggiungimento: $t_m = 0,167 \text{ h}$

Svolgendo le sostituzioni, eseguendo il calcolo ed operando le opportune maggiorazioni, si ottiene che la potenza che ogni elemento riscaldante deve fornire è pari 0,605 kW che corrisponde esattamente al valore del resistore a cartuccia installato.

La cosa interessante che si può notare è che la formula per il calcolo della potenza è direttamente proporzionale alla massa (e quindi, per dato volume di materiale, alla densità) ed al calore specifico; può essere così interessante vedere cosa succede alla richiesta di potenza andando a cambiare il tipo di materiale da riscaldare e cioè modificando alcuni parametri della formula.

I materiali presi in considerazione sono:

- Alluminio
- Rame
- Magnesio
- Titanio

Le proprietà di nostro interesse sono le seguenti:

	Densità [Kg/dm ³]	Calore Specifico [kCal/Kg °C]	Coeff. di Dilatazione Termica Lineare [10 ⁻⁵ °C]
<u>Acciaio</u>	7,86	0,122	1,2
<u>Alluminio</u>	2,71	0,240	2,4
<u>Rame</u>	8,91	0,095	1,7
<u>Magnesio</u>	1,74	0,270	2,2
<u>Titanio</u>	4,53	0,130	0,86

Andando a rieseguire i calcoli otteniamo le seguenti potenze:

	Potenza [W]	Differenza %
<u>Acciaio</u>	605	-
<u>Alluminio</u>	410	- 32,2 %
<u>Rame</u>	534	- 11,7 %
<u>Magnesio</u>	296	- 51 %
<u>Titanio</u>	371	- 39 %

Come si può ben vedere, a parità di condizioni di utilizzo (temperatura di lavoro e tempo in cui raggiungerla) si riesce ad ottenere un miglioramento per quanto riguarda la potenza installata: ciò porta ad una diminuzione degli assorbimenti (e quindi dei costi) sia in fase di avvio iniziale sia in quella di lavoro.

Ma quale tra i materiali testati è il più congruo alle nostre esigenze?

Per poter rispondere a questa domanda dobbiamo esaminare più nel dettaglio quelle che sono le caratteristiche costruttive, di montaggio e di funzionamento delle resistenze a cartuccia.

Nel ricercare la migliore condizione di conduzione del calore dal riscaldatore a cartuccia al corpo da scaldare in cui è inserito, ci si raccomanda di eseguire i fori di alloggiamento delle cartucce in modo tale che l'accoppiamento abbia una minima interferenza così da garantire un totale contatto fra le superfici; in fase di inserimento, solitamente si utilizza polvere di grafite come lubrificante.

Non solo, il foro deve essere eseguito con una buona qualità della superficie cercando di evitare il più possibile di avere solchi o rigature: queste infatti fungono da "camere d'aria", inficiando così il processo di trasmissione del calore.

Tutte queste considerazioni ci riportano alla natura costruttiva del riscaldatore: esso infatti è rivestito esternamente da una capsula in acciaio; nella situazione attuale, avendo il riscaldatore in acciaio accoppiato ad una lastra in acciaio, problemi di trasmissione del calore (salvo errori di realizzazione del foro) non ce ne sono in quanto sia il riscaldatore che la piastra, essendo realizzati nello stesso materiale, presentano uguale coefficiente di dilatazione termica: ecco quindi che questa grandezza diventa il parametro discriminante per la scelta del materiale.

Dobbiamo quindi ricercare un materiale che abbia almeno un coefficiente di dilatazione termica pari se non inferiore a quello dell'acciaio; rispetto ai valori precedentemente tabellati, si può ben vedere come solo il titanio soddisfi la nostra esigenza.

In definitiva, andando a realizzare la piastra porta resistenze in titanio, si riesce ad ottenere un risparmio sulla potenza installata di circa il 40% : ciò ovviamente va poi a riflettersi sui costi di esercizio della macchina, dato che l'assorbimento di corrente nella fase di avvio e di lavoro sarà sensibilmente inferiore consentendo quindi di avere una bolletta elettrica più leggera.

7.3.3 Isolamento Termico

A completamento di questa prima parte, si propone anche l'inserimento di materiale coibentante al fine di ridurre le perdite di calore verso l'esterno da parte di quelle superfici che non sono coinvolte direttamente nel processo di stampa: in questo modo, riuscendo a trattenere quel calore che altrimenti andremmo a cedere a titolo gratuito all'ambiente, potremmo arrivare ad un ulteriore abbassamento della potenza installata migliorando quindi l'efficienza energetica del sistema.

Ricordiamo inoltre che cedere meno calore all'ambiente rappresenta un ulteriore plus per il cliente: infatti, minore è la quantità di calore che andiamo a disperdere, minore sarà anche la taglia (e quindi i consumi elettrici) dell'impianto di condizionamento installato nell'ambiente primario ove risiederà la macchina; ciò implica un ulteriore sgravio dal punto di vista dei costi tutto a favore del cliente.

Per quanto concerne il come realizzare l'isolamento, bisogna analizzare la morfologia del blocco riscaldante a cui va applicato: semplificando il problema, esso va visto come un parallelepipedo (con ovviamente 6 facce).

La faccia inferiore, adibita alla saldatura del film, ovviamente non va isolata; stesse discorso per quanto riguarda le facce anteriori e posteriori in quanto, anteriormente, bisogna dare la possibilità di sfilare la piastra a formato e posteriormente, essendovi la morsettiera per i collegamenti elettrici, non risulta possibile inserire l'isolante.

Rimangono quindi disponibili all'isolamento le due facce laterali (destra e sinistra) e la faccia superiore: un esempio di quella che può essere una possibile soluzione di guscio isolante è rappresentata in Fig.36.

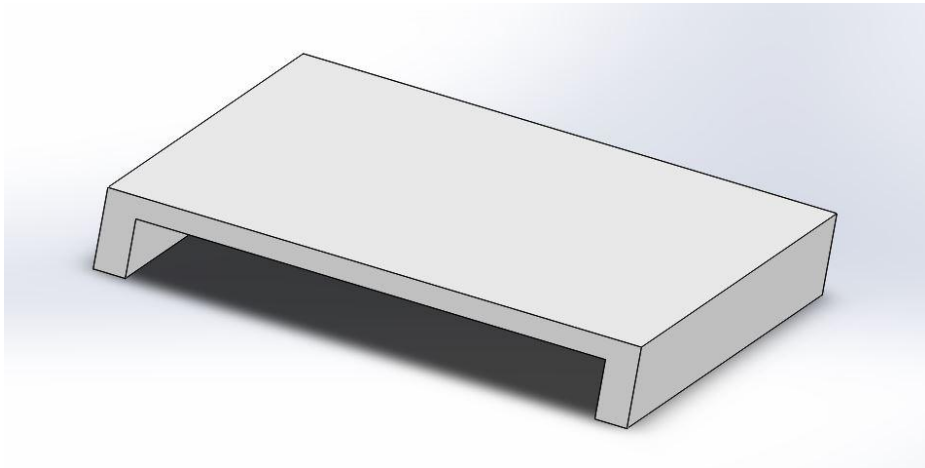


Figura 36 - Guscio Isolante a "c"

Da un punto di vista pratico, l'introduzione di questa soluzione fa nascere delle problematiche che non si sono verificate nella precedente sostituzione della piastra porta resistenze: infatti sostituire la piastra ha implicato il suo rimpiazzo con una analoga, della stesse forma, con gli stessi fori e le stesse modalità di fissaggio; inserire un guscio isolante conformato a "c" come quello di figura implica inevitabilmente il dovere andare a riprogettare l'intera struttura di saldatura, dato che bisogna inserire un oggetto in più.

Questa soluzione quindi può essere presa in considerazione per uno sviluppo futuro della macchina, ovvero quando si andrà a riprogettarla; nell'immediato invece, ciò che si può provare di

realizzare è il solo isolamento della parte superiore del blocco in quanto aggiungere materiale in altezza non crea problemi dal punto di vista dimensionale (a differenza invece del caso prima, dove le due bandelle laterali in materiale isolante obbligavano alla ridefinizione di altri componenti); inoltre, come vedremo nei calcoli e nelle considerazioni che seguono, si è supposto come modello quello della conduzione monodimensionale per via delle dimensioni della piastra: essendo infatti lo spessore notevolmente più piccolo rispetto alle altre due dimensioni (larghezza e profondità) si può ritenere che il calore si propaghi in un'unica direzione.

Procedendo con i calcoli, possiamo andare a schematizzare due situazioni:

- ✓ sistema senza lastra isolante
- ✓ sistema con lastra isolante

Nel sistema senza lastra isolante, possiamo così schematizzare la situazione (Fig.37):

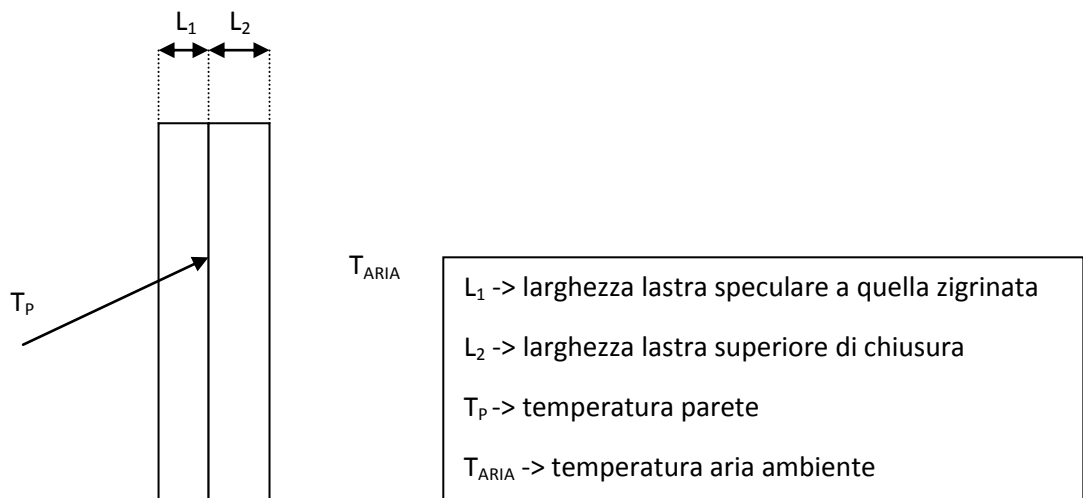
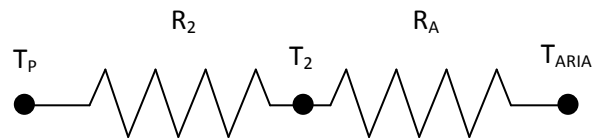


Figura 37 - Sistema Senza Lastra Isolante

Per semplicità di rappresentazione, è stato omesso di schematizzare a sinistra della lastra L_1 il gruppo piastra porta resistenze/piastra zigrinata; data la natura simmetrica del problema, la temperatura di parete T_p risulta essere uguale a quella sulla faccia saldante, ovvero $190\text{ }^\circ\text{C}$.

Per quanto riguarda la determinazione della potenza dissipata e delle altre temperatura d'interfaccia, sfruttiamo l'analogia elettrica vista precedentemente:



Il valore delle resistenze è dato dalle seguenti espressioni:

$$\bullet R_2 = \frac{L_2}{A_2 k_2} = \frac{0,02}{0,03434 \cdot 52} = 0,0112\text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$\bullet R_A = \frac{1}{A_2 h} = \frac{1}{0,03434 \cdot 50} = 0,58\text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$$

dove:

- L_2 -> spessore lastra
- A_2 -> area lastra
- k_2 -> coeff. di conducibilità termica
- h -> coeff. di conduttività termica

La resistenza totale (R_{TOT}) è data dalla somma delle singole resistenze:

$$R_{TOT} = R_2 + R_A = 0,591 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

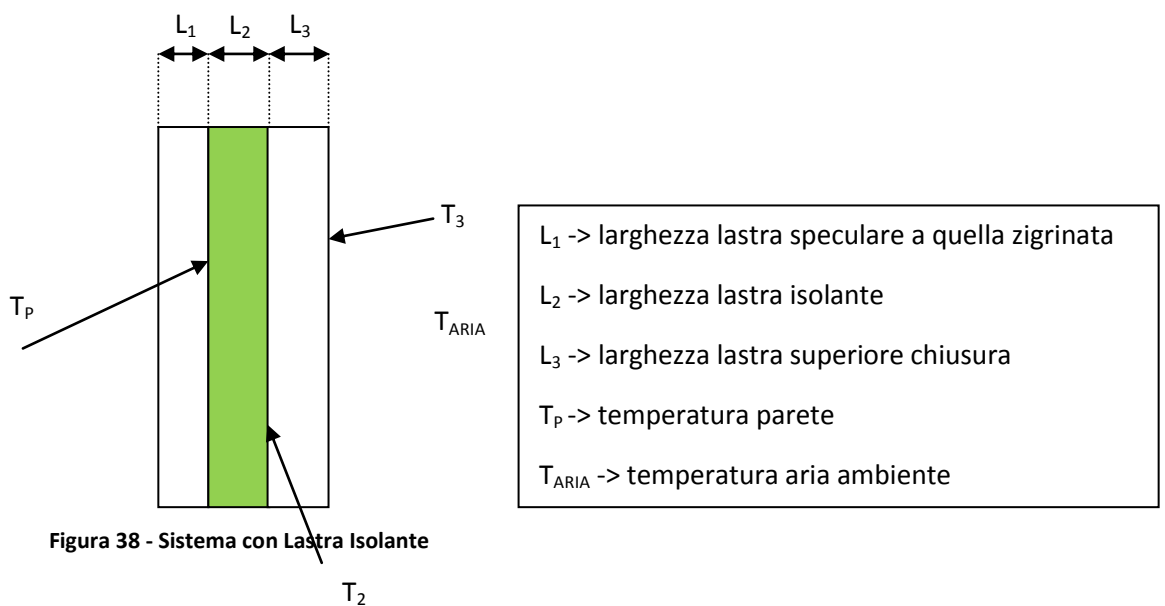
La quantità di calore che vado quindi a dissipare risulta essere:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{TOT}} = \frac{190 - 20}{0,591} = 288 \text{ W}$$

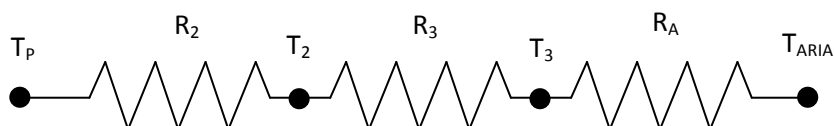
Nota Q , posso andare a ricavarmi le temperature di parete non note:

$$T_2 = T_p - Q * R_2 = 186,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nel sistema con lastra isolante, possiamo così schematizzare la situazione (Fig.) :



Introduciamo come fatto prima l'analogia elettrica per determinare la potenza dissipata:



Come spessore del materiale isolante, scegliamo inizialmente di utilizzare una cosiddetta "dimensione quadra" ovvero la dimensione base (o multiplo di essa) dello spessore delle altre piastre, così da avere un uniformità ed omogeneità nelle dimensioni.

Per quanto concerne la scelta dell'isolante, la necessità è stata quella di avere un materiale con:

- ✓ basso valore di conducibilità termica
- ✓ resistenza alle alte temperatura
- ✓ buone proprietà meccaniche, specialmente a compressione

La scelta è così ricaduta sul PEEK (poly-ether-ether-ketone), ovvero un polimero organico appartenente alla famiglia dei poli-aril-eter-chetoni (PAEK'S), polimeri termoplastici ad alta temperatura.

Attraverso il catalogo del produttore è stato possibile verificare come questo materiale risponda pienamente alle nostre necessità.

Procedendo con i calcoli, troviamo che il valore delle resistenze è dato dalle seguenti espressioni:

$$\bullet R_2 = \frac{L_2}{A_2 k_2} = \frac{0,012}{0,03434 * 0,25} = 1,397 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$\bullet R_3 = \frac{L_3}{A_3 k_3} = \frac{0,02}{0,03434 * 52} = 0,0112 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$\bullet R_A = \frac{1}{A_3 h} = \frac{1}{0,03434 * 50} = 0,58 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

La resistenza totale (R_{TOT}) è data dalla somma delle singole resistenze:

$$R_{TOT} = R_2 + R_3 + R_A = 1,98 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

La quantità di calore che vado quindi a dissipare risulta essere:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{TOT}} = \frac{190 - 20}{1,98} = 80,4 \text{ W}$$

Nota Q, posso andare a ricavarmi le temperature di parete non note:

$$T_2 = T_P - Q * R_2 = 68,24 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_3 = T_2 - Q * R_3 = 67,34 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dunque, producendo l'isolamento della parte superiore della struttura è possibile non solo avere una temperatura di parete esterna più bassa di oltre 100 °C, ma anche di avere un recupero della potenza dispersa pari a circa il 70% rispetto al caso senza isolamento; ciò si può tradurre in un valore più basso della potenza installata dei riscaldatori a cartuccia.

Va infine osservato che all'aumento dello spessore del materiale isolante non corrisponde un decremento proporzionale della potenza dispersa: ciò implica il dover valutare attentamente la convenienza economica di reperire una lastra isolante di spessore più grande in relazione al decremento della dispersione che è possibile ottenere.

7.3.4 Costi e Conclusioni

Da un punto di vista economico, il beneficio dell'intervento risulta essere la somma delle due operazioni sopra descritte, ovvero:

- ✓ sostituzione della piastra con una di materiale differente
- ✓ coibentazione della parte superiore della struttura

In termini numerici, operando queste modifiche, si arriva ad ottenere la possibilità d'installare una potenza complessiva totale pari a 2 kW contro i 3,6 kW originari; questo si traduce in un abbassamento della potenza installata pari a circa il 45%, con notevole beneficio sui costi elettrici di funzionamento.

Ipotizzando un funzionamento della macchina minimo di 8 ore al giorno (un turno di lavoro) per 24 giorni lavorativi in un mese, l'energia risparmiata mensilmente sarebbe pari a circa 194 kWh e, per un costo del kWh pari 0,015€, in un anno di funzionamento il risparmio è potenzialmente quantificabile in circa 350 €.

Ovviamente questo valore dev'essere contestualizzando al costo dell'investimento, per poter quantificarne il tempo di rientro; attualmente, avendo realizzato una sola piastra in versione prototipale (quindi in pezzo unico) si può stimare un break even dell'investimento intorno ai 2,5 anni.

E' chiaro che realizzando una produzione rivolta a tutte le macchine che necessitano di questo componente, il costo per singola unità tenderà per forza ad abbassarsi, producendo così per il cliente un maggior vantaggio in termini di rientro dell'investimento.

7.4 Gruppo Preriscaldi - Formatura

7.4.1 Principio di funzionamento

Come già accennato precedentemente, la stazione di formatura ha il compito di formare la parte inferiore del blister ovvero quella dove viene inserito il prodotto medicinale; a seconda del materiale che si sta formando, il processo assume connotazioni differenti:

- ✓ lavorando alluminio, il gruppo preriscaldi ha esclusivamente la funzione di guida del film verso la stazione di formatura (nella quale i punzoni provvedono alla realizzazione dell'alveolo).
- ✓ lavorando materiale plastico, il gruppo preriscaldi ha sia la funzione di guida del film sia quella di preriscaldamento in quanto per formare l'alveolo mediante soffiatura è necessario avere il film "rammollito".

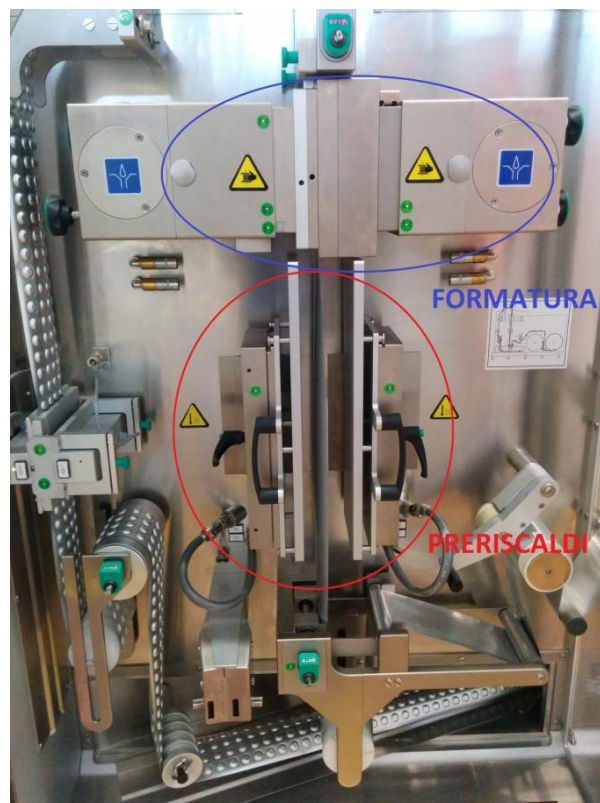


Figura 39 - Gruppo Preriscaldi e Formatura

In Fig.39 è possibile vedere la configurazione della stazione; il caso che prenderemo in esame è quello della lavorazione del materiale plastico in quanto, da un punto di vista del consumo energetico e del calore sviluppato, risulta essere quello più gravoso rispetto alla formatura dell'alluminio.

7.4.2 Struttura dei Preriscaldi

Dal punto di vista costruttivo, il calore viene generato da una resistenza elettrica "a foglio" di spessore estremamente sottile (1 mm) interposta tra due piastre; il calore viene generato dall'effetto Joule provocato dalla corrente nell'attraversamento della resistenza.

Le due piastre tra le quali è interposta la resistenza sono chiamate *piastra riscaldante* e *piastra di contrasto*; la piastra riscaldante è la superficie che viene posta a contatto diretto con il film di materiale plastico da riscaldare, mentre la piastra di contrasto serve a chiudere e compattare la struttura.

Sulla piastra di contrasto viene fissata mediante viti distanziali una terza piastra (di dimensioni più piccole) chiamata *piastra porta maniglie*; la piastra porta maniglie, come già intuibile dal nome, presenta fissate ad essa le maniglie necessaria alla presa durante le fasi di montaggio e smontaggio ed i due lardoni ai quali viene fissato il gruppo di movimentazione della piastra.

Ricordiamo che lo smontaggio della piastra si rende necessario nelle operazioni di cambio formato mentre la movimentazione viene esibita nella fase di processo in cui si prende il film e lo si riscalda, accompagnandolo verso la successiva stazione di formatura per poi lasciarlo ed iniziare un nuovo inseguimento partendo dal basso.

In Fig.40 e Fig.41 è possibile vedere una rappresentazione CAD semplificata della struttura dei preriscaldi in vista completa ed in vista parzialmente esplosa.

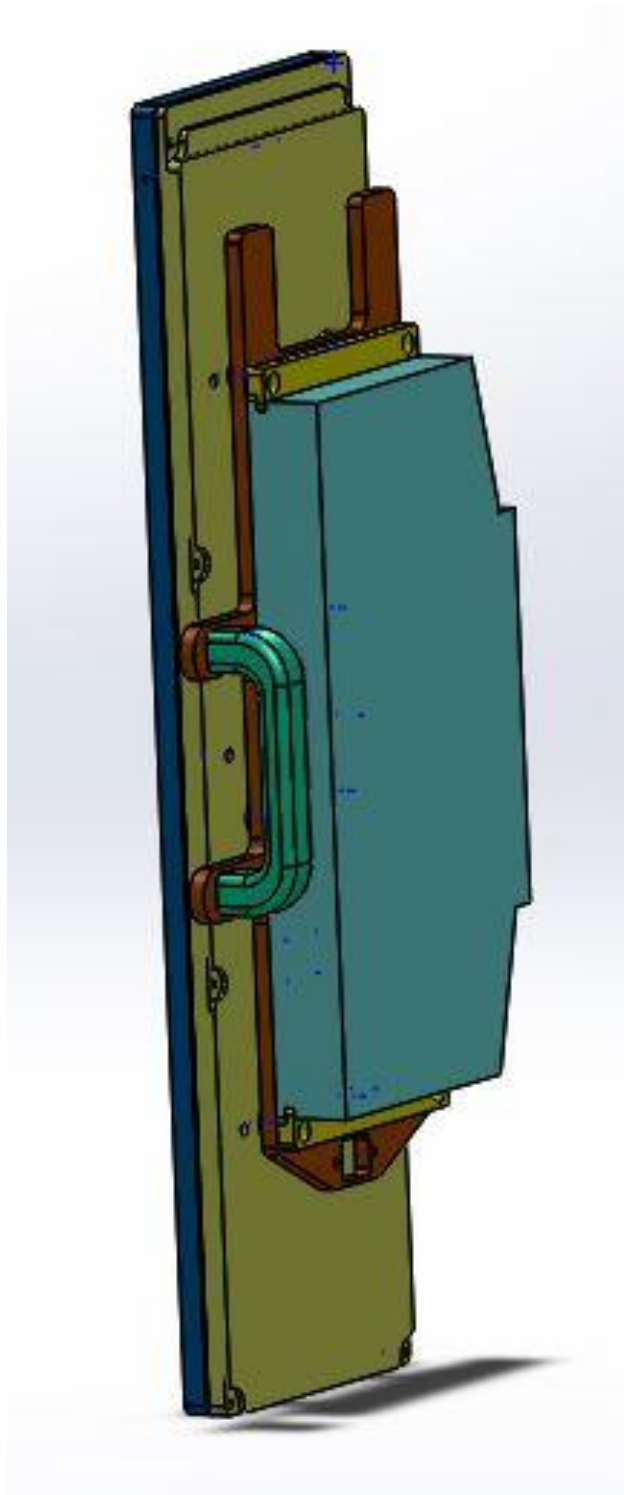


Figura 40 - Schema CAD Lastra Preriscaldi

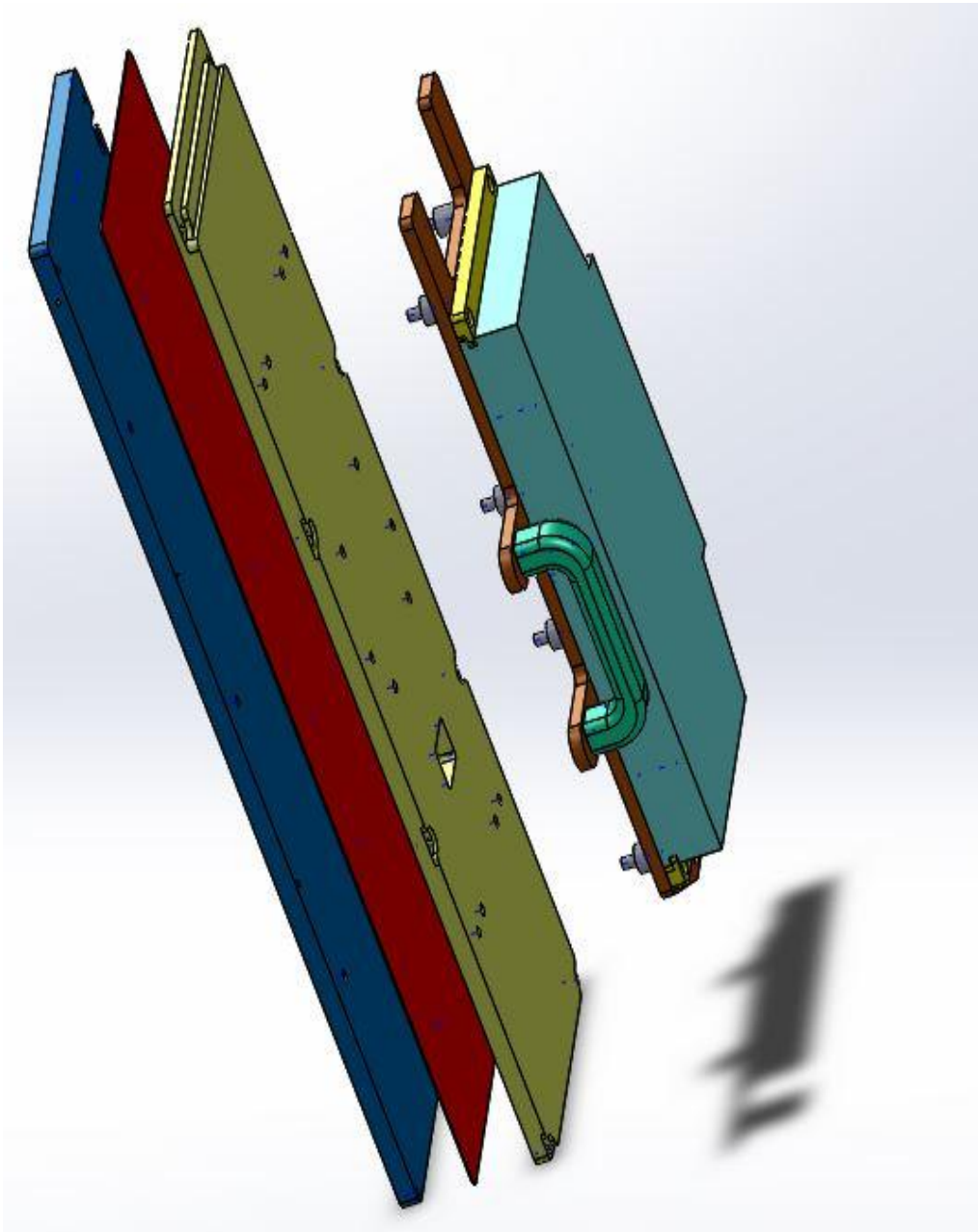


Figura 41 - Schema CAD Esploso Lastra Preriscaldi

Dalla Fig.41 è possibile distinguere bene la piastra riscaldante (in blu), la resistenza a foglio (in rosso) e la piastra di contrasto (in oro).

Dal punto di vista pratico di funzionamento, solo la superficie maggiore della lastra blu viene a contatto con il film di materiale plastico: tutte le altre superfici, comprese anche quelle della piastra di contrasto, sono calde e fonti di dispersione di calore: questo calore, oltre che ad essere disperso nell'ambiente (provocando l'innalzamento della temperatura a danno di un più elevato consumo energetico dell'impianto di condizionamento) è tutta energia che viene sprecata e che va compensata dalla sorgente di calore (ovvero dalla resistenza a foglio): riuscendo a trattenerla è quindi possibile andare a diminuire la potenza installata e conseguentemente anche i consumi.

7.4.3 Isolamento Termico

Sulla falsa riga di quanto visto per la stazione di saldatura, una proposta di coibentazione è rappresentata dall'inserimento di un guscio isolante.

Schematizzando il blocco dei preriscaldi (piastra riscaldante e piastra di contrasto) come un unico parallelepipedo, possiamo immaginare di applicare il guscio su cinque delle sei facce, lasciando ovviamente libera la faccia adibita al contatto con il film.

Dal lato pratico dall'applicazione, dobbiamo fare una valutazione degli ingombri: per cercare di rendere uniforme l'intera struttura, proponiamo inizialmente di utilizzare come spessore del guscio una misura quadra, prendendo come riferimento lo spessore delle lastre; così facendo si ottiene che (Fig.42):

- sulla superficie maggiore posteriore e sulle due superfici minori laterali , problemi d'ingombro non ce ne sono
- sulla superficie superiore, causa la vicinanza con altri parti macchina, non è possibile impiegare la misura quadra di spessore; viene così modellato lo spessore minimo inseribile
- sulla superficie inferiore, non avendo problemi d'ingombro, viene inserito lo spessore in misura quadra

Va anche osservato che, data la geometria del sistema (e cioè avendo uno spessore delle piastre tale da potere ritenere questa dimensione infinitamente più piccola rispetto alle altre due dimensioni) è possibile riferirsi al modello di conduzione del calore monodimensionale: risulta quindi maggiormente efficace andare ad

isolare la superficie maggiore posteriore rispetto che quelle laterali o superiore ed inferiore.

In definitiva, anche se gli ingombri della struttura non ci permettono d'inserire un guscio isolante di spessore uniforme su tutte le superfici (così da conferire anche un certo pregio estetico alla soluzione), grazie alla condizione sopra esposta ci basta isolare unicamente la superficie maggiore posteriore per ottenere una buona coibentazione.

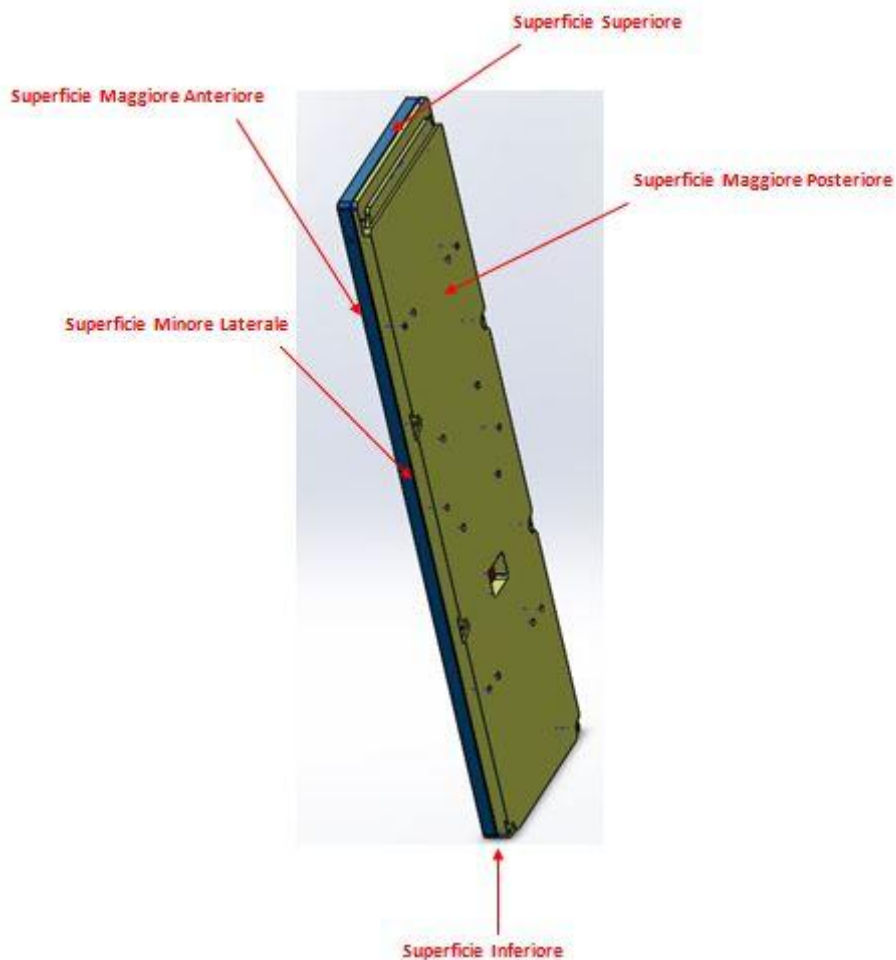


Figura 42 - Blocco Lastre Preriscladi

Una proposta di guscio isolante è rappresentata in Fig.43 .

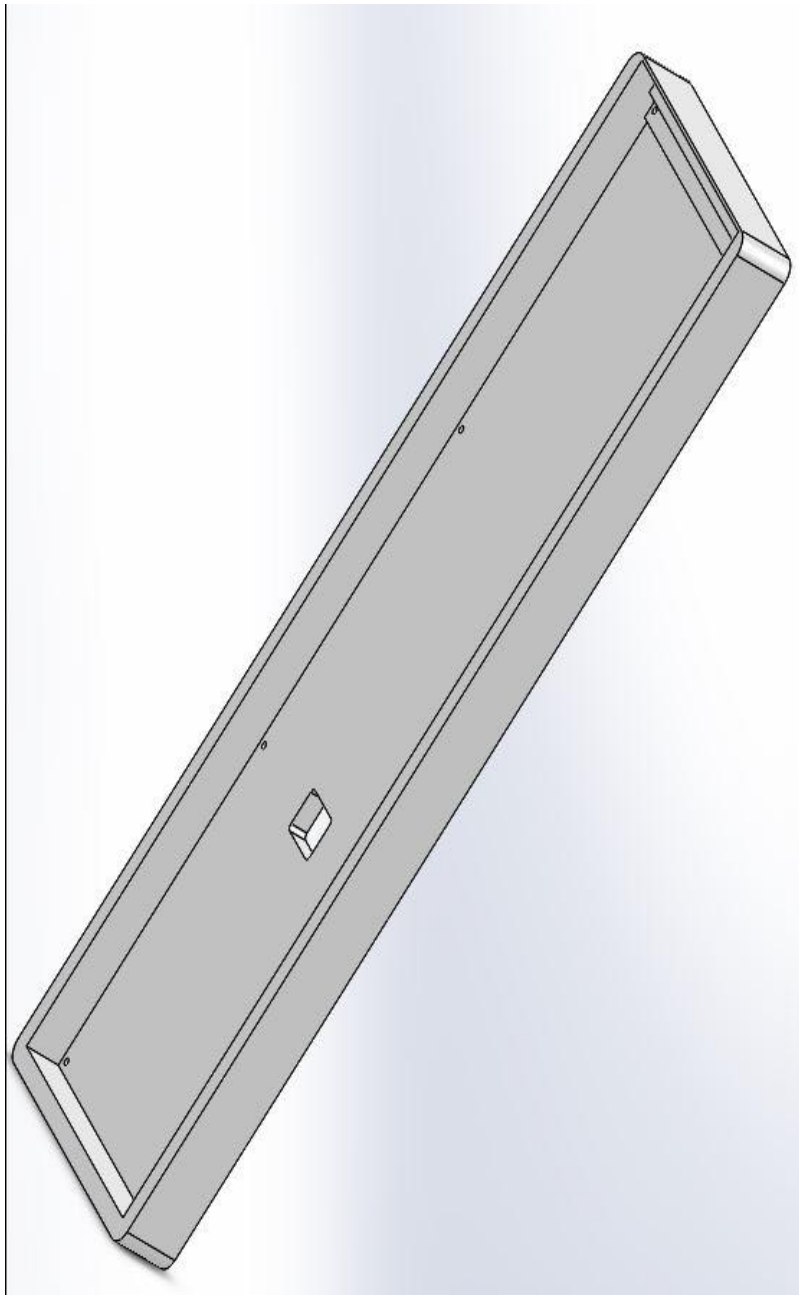


Figura 43 - Guscio Isolante Posteriore Preriscaldi

In Fig.44 è possibile vedere la configurazione di montaggio ed il relativo esploso.

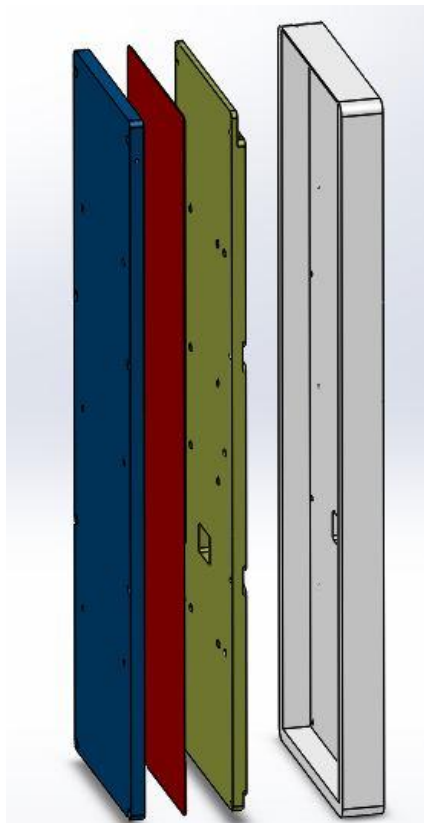
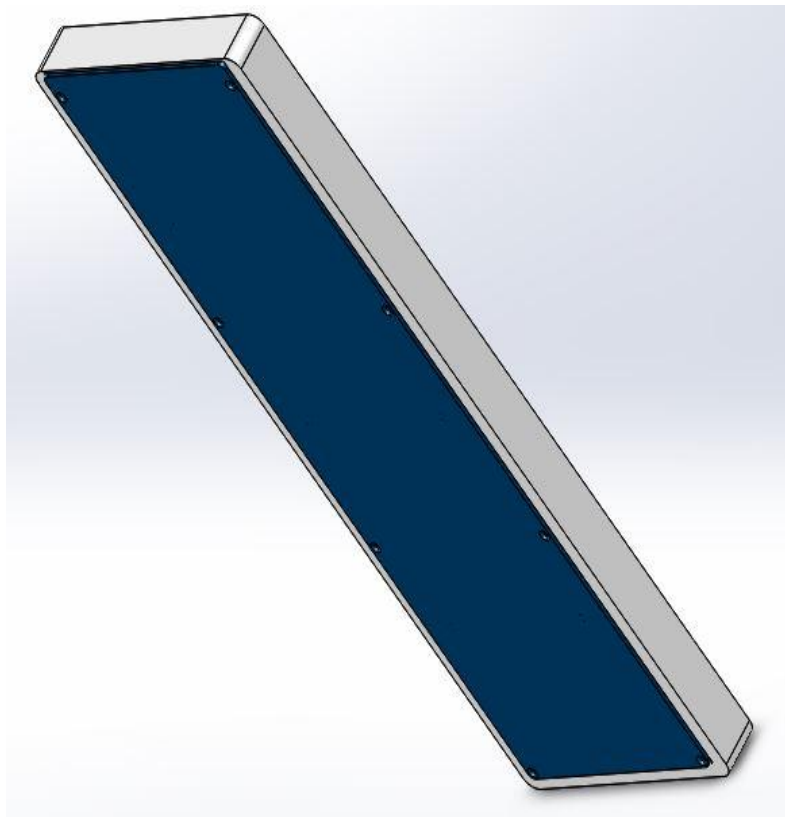


Figura 44 - Vista CAD Esplosa e Montata Guscio Isolante

Un'ulteriore soluzione che si è decisa di introdurre in abbinamento al guscio isolante è stata quella di creare una camera d'aria interna fra piastra e guscio, così da replicare la soluzione tecnica che si adotta nella costruzione delle finestre: l'aria infatti, grazie alla sua bassa conducibilità termica, permette di ottenere un elevato grado di isolamento termico (basta pensare che uno strato d'aria di un millimetro realizza lo stesso grado d'isolamento di un vetro di circa quaranta volte più spesso).

La presenza di questa camera d'aria può essere vista mediante una vista in sezione del gruppo assemblato (Fig.45), dove:

- *in rosso*: sorgente interna
- *in verde scuro*: piastra di contrasto
- *in verde chiaro*: intercapedine d'aria
- *in grigio chiaro*: guscio isolante

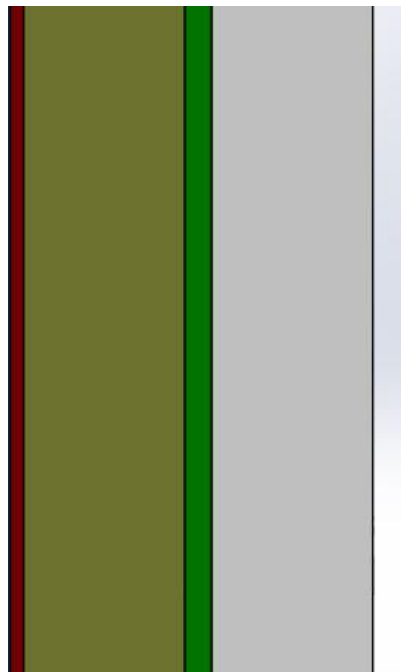


Figura 45 - Vista in Sezione Preriscaldi e Guscio Isolante

Procedendo con i calcoli, possiamo andare a schematizzare due situazioni:

- ✓ sistema senza guscio isolante
- ✓ sistema con guscio isolante

Nel sistema senza guscio isolante, la superficie esterna della lastra di contrasto è totalmente esposta all'aria; il sistema può essere così schematizzato (Fig.46):

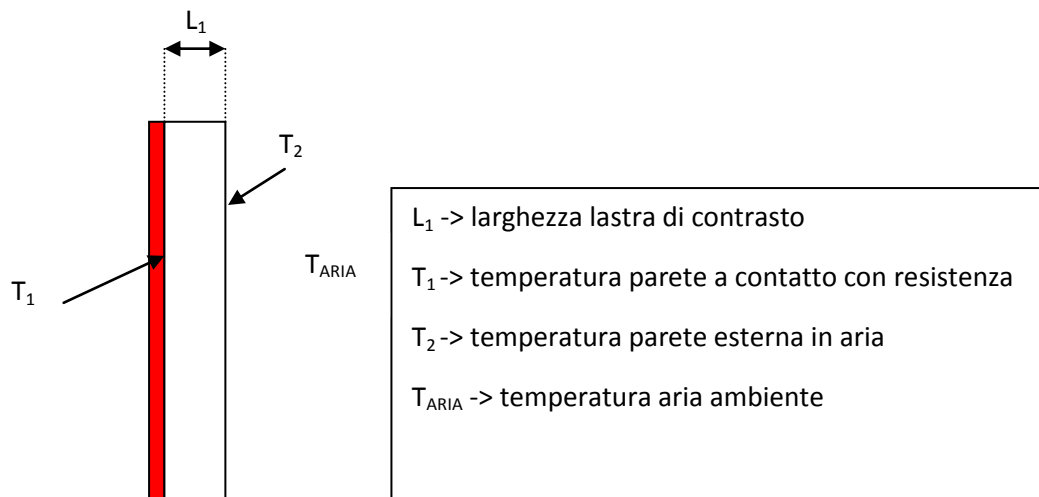
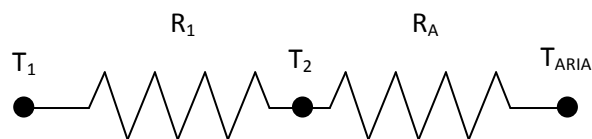


Figura 46 - Schema Preriscaldi Senza Guscio Isolante

Essendo simmetrica la costruzione, diamo solo visione di un lato del sistema.

Per quanto riguarda la determinazione della potenza dissipata e delle temperature incognite, sfruttiamo l'analogia elettrica:



Il valore delle resistenze è dato dalle seguenti espressioni:

$$\bullet R_1 = \frac{L_1}{A_1 k_1} = \frac{0,012}{0,11655 * 290} = 0,00035 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$\bullet R_A = \frac{1}{A_1 h} = \frac{1}{0,11655 * 50} = 0,17 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

dove:

- L_1 -> spessore lastra
- A_1 -> area lastra
- k_1 -> coeff. di conducibilità termica piastra alluminio
- h -> coeff. di conduttività termica aria

La resistenza totale (R_{TOT}) è data dalla somma delle singole resistenze:

$$R_{TOT} = R_1 + R_2 = 0,17035 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

La quantità di calore che vado quindi a dissipare risulta essere:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{TOT}} = \frac{150 - 20}{0,17035} = 763,2 \text{ W}$$

Nota Q, posso andare a ricavarmi le temperature di parete non note:

$$T_1 = T_2 + Q * R_1 = 150,26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Un'ulteriore verifica della correttezza del procedimento utilizzato è eseguibile mediante la risoluzione dell'equazione di Fourier con l'inserimento delle opportune condizioni al contorno; trovandoci nel caso di generazione interna di calore e conoscendo la temperatura all'interfaccia del sistema (150 °C), si ha che:

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{\dot{q}}{k} = 0$$

con la condizione al contorno: $T = T_p = 150 \text{ °C}$ per $x = \pm L$

dove L rappresenta lo spessore della piastra, con l'origine del sistema posta sulla mezzera.

Sotto queste condizioni, la distribuzione di temperatura del blocco preriscaldi risulta essere (Fig.47):

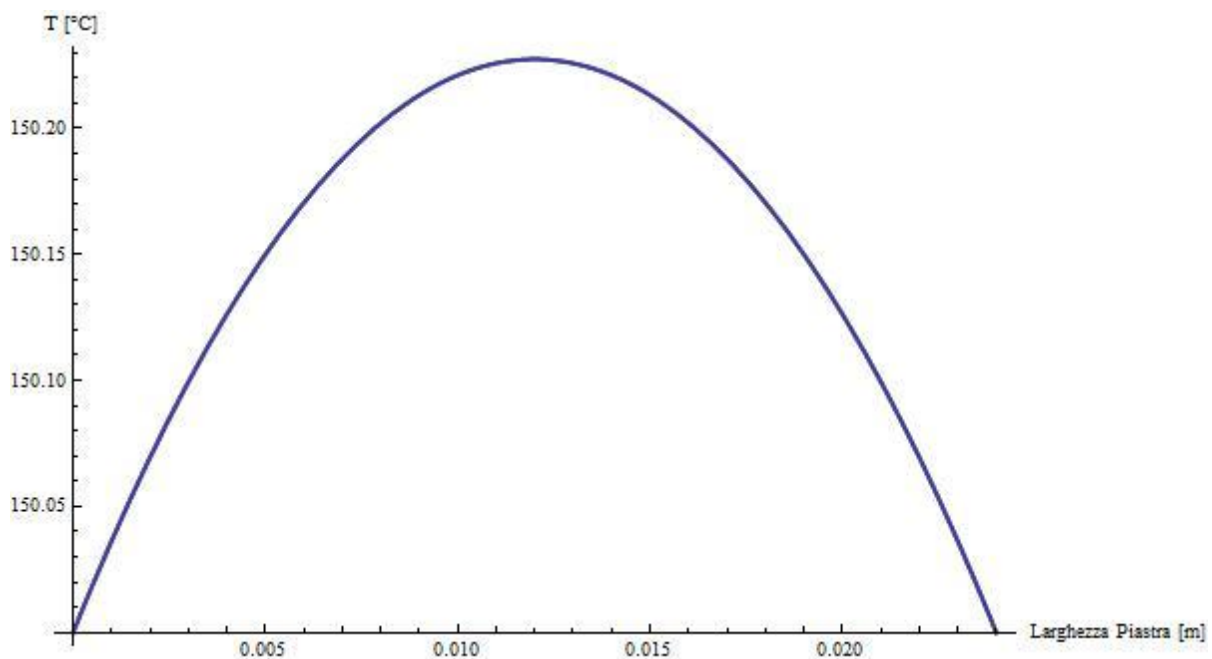
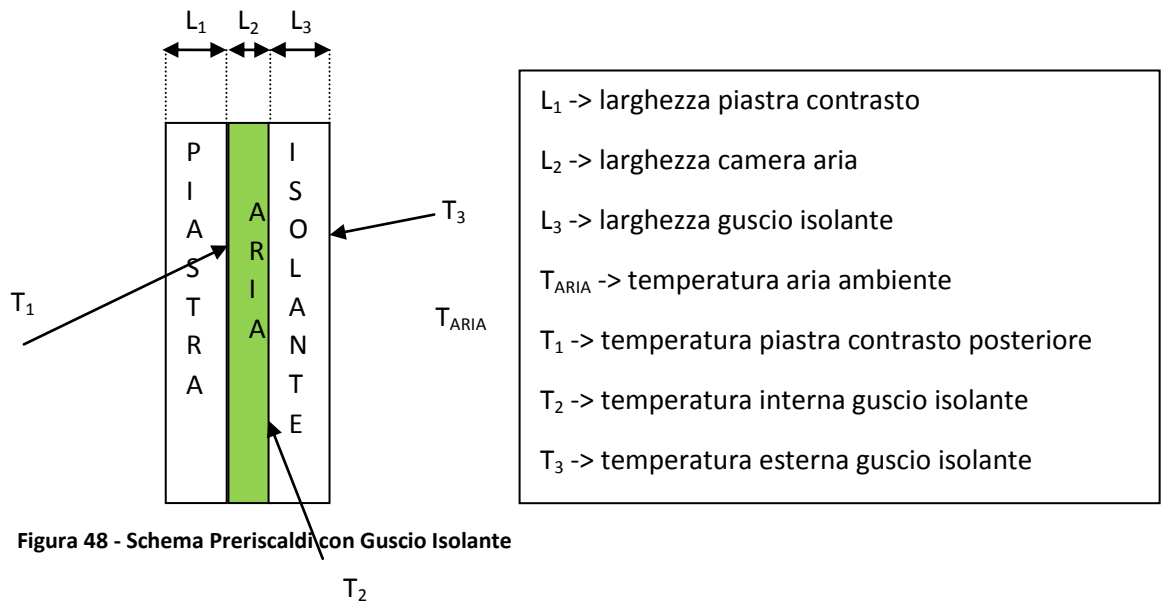


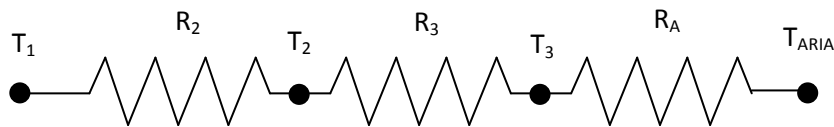
Figura 2 - Andamento Temperatura Blocco Piastre

Andando a calcolare la temperatura all'ascissa desiderata (ovvero quella corrispondente alla larghezza della piastra, in corrispondenza di T_1) si ricava $T = 150,23 \text{ °C}$.

Nel sistema con guscio isolante, possiamo così schematizzare la situazione (Fig.48) :



Per quanto riguarda la determinazione della potenza dissipata e delle temperature incognite, sfruttiamo l'analogia elettrica:



Per la scelta del materiale isolante valgono le stesse considerazioni viste precedentemente nel blocco saldatore, con l'eccezione che in questo caso non è strettamente necessario disporre di un materiale che abbia anche buone proprietà meccaniche come il PEEK: in questo modo possiamo incidere in maniera tangibile anche sui costi di realizzazione.

Si propone quindi l'utilizzo del Teflon, il quale presenta le proprietà d'isolamento termico (ovvero bassa conducibilità termica) e resistenza a temperature nell'intervallo dei 250 °C.

Procedendo con i calcoli, troviamo che il valore delle resistenze è dato dalle seguenti espressioni:

- $R_2 = \frac{L_2}{A_2 k_2} = \frac{0,002}{0,11655 * 0,031} = 0,5535 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$
- $R_3 = \frac{L_3}{A_3 k_3} = \frac{0,012}{0,11655 * 0,25} = 0,4118 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$
- $R_A = \frac{1}{A_3 h} = \frac{1}{0,11655 * 52} = 0,165 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$

La resistenza totale (R_{TOT}) è data dalla somma delle singole resistenze:

$$R_{TOT} = R_2 + R_3 + R_A = 1,1303 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

La quantità di calore che vado quindi a dissipare risulta essere:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{TOT}} = \frac{150 - 20}{1,1303} = 106,2 \text{ W}$$

Nota Q, posso andare a ricavarmi le temperature di parete non note:

$$T_2 = T_1 - Q * R_2 = 91,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_3 = T_2 - Q * R_3 = 47,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Confrontando i risultati ottenuti con quelli del caso senza guscio, si può apprezzare subito come la potenza dissipata (e quindi dispersa) dalla parete sia diminuita dell'86% : questo rappresenta sia un vantaggio per i consumi/assorbimenti della macchina sia per quanto riguarda il calore disperso nell'ambiente, di quantità inferiore e quindi a beneficio della taglia e della potenza dell'impianto di condizionamento; oltretutto, il calore che riusciamo a trattenere

grazie all'isolamento va a produrre una diminuzione della potenza installata nella stazione preriscaldi pari a circa il 27%.

7.4.4 Costi e Conclusioni

Come già accennato sopra, il risparmio ottenibile dall'introduzione dell'isolamento risulta essere significativo in termini di potenza installata e quindi di costi elettrici di funzionamento.

Da un punto di vista economico la realizzazione di ogni guscio è preventivabile in circa 150 € , che ovviamente raddoppia considerando la coppia di gusci.

In termini di rientro dell'investimento risulta difficile quantificare su carta una finestra temporale in cui riuscire ad arrivare al pareggio; per poter avere un'idea, bisognerebbe procedere alla realizzazione del guscio ed eseguire un monitoraggio di assorbimento per un ciclo di lavoro minimo di 10 minuti.

7.5 Sviluppi e Miglioramenti Futuri: la Tecnologia dell'Infrarosso

Una possibile strada per migliorare i consumi ed incrementare l'efficienza energetica può essere rappresentata dalla sostituzione dell'attuale tecnologia utilizzata nella stazione preriscaldi: infatti, se nella configurazione attuale il calore viene trasferito per conduzione e disperso per convezione, si potrebbe pensare di progettare un gruppo preriscaldi basato sul principio dell'irraggiamento con radiazione infrarossa (sulla falsa riga del processo utilizzato per la formatura delle bottiglie dell'acqua, dove la plastica viene termoformata mediante un tunnel a lampade all'infrarosso).

7.5.1 Cenni Teorici

Per radiazione infrarossa si intende l'emissione e la trasmissione di onde elettromagnetiche entro la gamma spettrale di lunghezza d'onda (per usi industriali) compresa fra 0,7 micron e 80 micron.

Si può affermare che quello che consideriamo comunemente come "il calore" di un corpo è il risultato dell'agitazione degli elettroni delle molecole del corpo: infatti un corpo aumenta la sua temperatura quando l'agitazione delle particelle interne aumenta e, per far sì che tale agitazione aumenti, è necessario un apporto di energia.

Tale energia può essere trasferita al corpo in modi diversi:

- ✓ per conduzione, ovvero quando l'energia termica viene trasmessa attraverso materiali solidi;
- ✓ per convezione, ovvero quando l'energia termica viene trasmessa attraverso un fluido;
- ✓ per irraggiamento, ovvero quando l'energia termica viene trasmessa attraverso onde elettromagnetiche;

Per quanto riguarda l'irraggiamento, si è trovato che le onde elettromagnetiche di lunghezza compresa tra 0,73 micron e 250 micron hanno effetti termici, ovvero si degradano in calore all'interno dei materiali che le assorbono.

Tali onde elettromagnetiche sono allocate tra la luce visibile e le onde Hertziane e sono perciò dette "raggi infrarossi" (Fig.49).

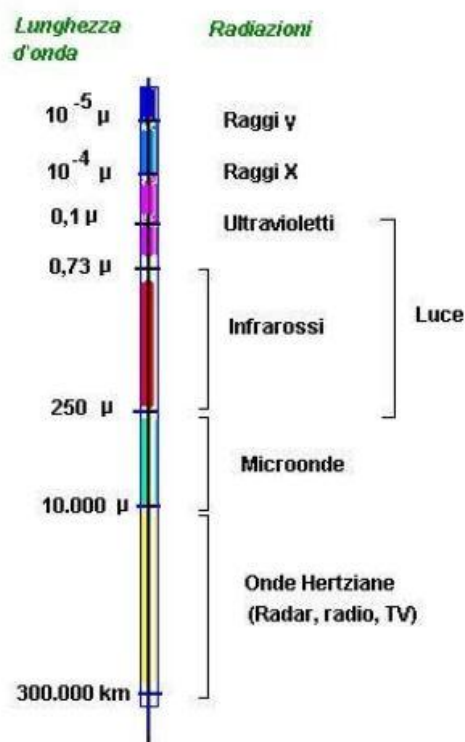


Figura 49 - Relazione Lunghezza d'Onda e Tipo di Radiazione

La radiazione emessa da un corpo radiante ha un effetto diverso sui vari corpi irradiati; infatti, tale energia si può suddividere in:

- energia assorbita E_{ASS}
- energia riflessa E_{RIF}
- energia passante E_{PAS}

verificando poi la relazione:

$$E_{IRR} = E_{ASS} + E_{RIF} + E_{PAS}$$

Il riscaldamento del materiale deriva dall'energia assorbita, quindi materiali riflettenti (ad esempio, i metalli lucidi) o trasparenti (ad esempio, il vetro) risultano difficili da riscaldare con i raggi infrarossi.

7.5.2 La Metodologia di Riscaldamento

Il riscaldamento con pannelli a raggi infrarossi produce calore per irraggiamento interagendo direttamente con le superfici di persone ed oggetti irraggiati, senza passare attraverso l'aria.

Il riscaldamento tradizionale come quello domestico (mediante termosifoni o pannelli radianti, cioè sistema di riscaldamento radiante-convettivo) usa l'aria come mezzo principale per il trasferimento del calore; le onde elettromagnetiche emesse dai pannelli a raggi infrarossi si trasformano in calore a contatto con i corpi ed evitano dispersione di energia termica mediante l'aria.

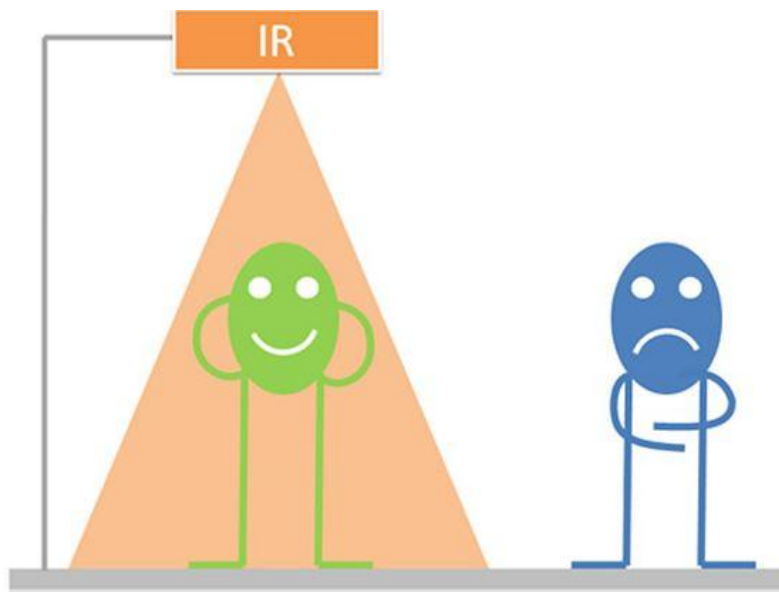


Figura 50 - Effetto Radiazione Infrarossa

Come si può vedere dalla Fig.50 , solo i corpi (e/o oggetti) posti nella traiettoria irradiante del pannello beneficiano della radiazione infrarossa.

Questi aspetti risultano centrali nell'ambito del risparmio energetico: infatti avere uno strumento che opportunamente orientato costituisce una fonte di riscaldamento solo per gli oggetti presenti sulla sua traiettoria, senza dover utilizzare un mezzo fluido (ovvero l'aria) come vettore di trasporto del calore, ci consente di concentrare la potenza unitamente al solo scopo di scaldare l'oggetto designato senza avere dissipazione di calore per convezione con l'ambiente che lo circonda.

Ma non solo: non avere calore dissipato per convezione significa non avere riscaldamento dell'aria ambiente e ciò porterebbe in dote l'adozione di un impianto di climatizzazione dalla taglia più ridotta con un importante beneficio per quello che concerne il suo costo di funzionamento.

7.5.3 Caratteristiche Tecniche e Funzionali Ricercate

Nel scegliere una tecnologia sostitutiva valida ed all'altezza dell'attuale, bisogna tenere conto di alcuni aspetti tecnico/funzionali, ovvero:

- ✓ inerzia termica
- ✓ luce emessa
- ✓ ore di funzionamento

L'inerzia termica rappresenta il tempo in cui il corpo riscaldante riesce a raggiungere la temperatura di funzionamento e specularmente il tempo in cui da caldo riesce a diventare freddo; questi tempi sono importanti in quanto, ad esempio, nel momento in cui da macchina in pausa devo passare a macchina in movimento (ovvero in produzione) i preriscaldi devono poter raggiungere in tempi rapidi (qualche secondo) la temperatura di esercizio.

Analogamente, quando da macchina in movimento ho bisogno di stoppare il processo, i preriscaldi devono poter "raffreddarsi" velocemente: infatti, per come è configurata la macchina, avere i preriscaldi caldi a macchina ferma implicherebbe l'eccessivo rammollimento del film plastico con conseguente produzione di materiale di scarto se non addirittura il dover tagliare manualmente il nastro per eliminare la parte che potenzialmente potrebbe creare problemi nelle stazioni successive; tutto questo ovviamente si riflette sul tempo di produzione, sui costi, ecc.

Analizzando varie curve caratteristiche di riscaldamento e raffreddamento di diverse tipologie di corpi riscaldanti all'infrarosso, si può superare il problema esposto sopra: in tempi rapidi (pochi secondi) si riescono ad ottenere temperatura di lampada elevata per rammollire il film e contestualmente un raffreddamento pressoché immediato di tali lampade non appena viene interrotta l'alimentazione elettrica.

Tutto ciò porta subito ad un'altra interessante considerazione: mediamente il tempo di riscaldamento dei preriscaldi con partenza da macchina fredda si aggira sui quattro/cinque minuti; in questo lasso di tempo, la stazione funziona con tutta la potenza installata a pieno regime.

Avere un corpo all'infrarosso che nel giro di pochi secondi riesce a raggiungere la temperatura di funzionamento, implica un abbattimento importante dei costi di assorbimento in fase di partenza macchina.

Per quanto concerne invece il numero di ore di funzionamento, questo parametro va ad influenzare il costo di manutenzione della stazione; da catalogo si può apprezzare l'inversa proporzionalità fra la temperatura di lampada desiderata e la vita utile di funzionamento: è opportuno e ragionevole scegliere lampade con almeno 10000 ore di funzionamento (questo numero di ore corrisponde a circa cinque anni di vita, avendo considerato un utilizzo minimo della macchina di 8 ore al giorno).

In ultima istanza si va a prendere in considerazione la luce emessa: in termini pratici e di funzionamento questa non ha nessuna influenza

diretta sul processo di formazione o sulla durata della lampada; la sua importanza è legata alle condizioni di sicurezza e benessere sul luogo di lavoro dell'addetto alla macchina.

Avere una sorgente luminosa troppo intensa e al di fuori dei limiti imposti dalla legge in materia di sicurezza del lavoro, impone l'adozione di una dotazione di sicurezza per l'operatore (occhiali o maschere).

E' anche ragionevole pensare che in fase di progettazione è possibile prevedere un carter di copertura delle lampade in modo tale da non avere il problema della luce emessa.

7.5.4 Linee Guida per il Dimensionamento di un Impianto

Per quanto concerne il dimensionamento di massima dell'impianto, bisogna provvedere principalmente all'ottenimento dell'uniformità dell'irraggiamento su tutta la superficie; bisogna poi anche considerare che la superficie da irraggiare non è ferma ma è in movimento.

Proprio il movimento ci aiuta a compiere tale operazione: infatti per ottenere l'uniformità sulla superficie basta avere l'uniformità in senso perpendicolare alla traslazione; il moto stesso poi provvede a dare lo stesso trattamento termico anche nell'altro senso.

L'impianto dunque assume una configurazione piuttosto semplice: basta infatti montare i pannelli radianti in numero sufficiente a garantire il tempo di irraggiamento necessario, tenendo conto della velocità di traslazione.

La distribuzione delle radiazioni del pannello radiante presenta il massimo in posizione ortogonale alla superficie da irradiare mentre va via via calando man mano che l'angolo fra la verticale e l'esterno va ad ampliarsi (Fig.51).

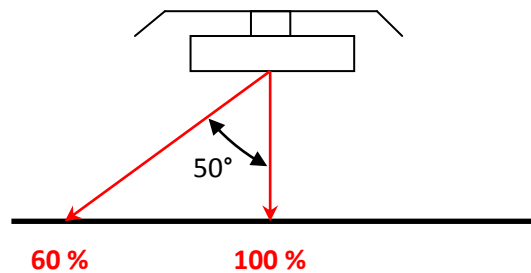


Figura 51 - Incidenza della Radiazione in Funzione dell'Angolo dalla Verticale

Per quanto riguarda la potenza degli irradiator, questa dev'essere scelta tenendo ben presente le temperature richieste sul materiale, dallo spessore e dal tipo di quest'ultimo e dal tempo di irraggiamento; la scelta risulta quindi abbastanza problematica se oltre ai fattori sopra citati si va a tenere conto anche di altre variabili ed imprevisti termici che si verificano in ogni impianto: il calcolo quindi non risulta molto agevole e la scelta va effettuata eseguendo prove pratiche in appositi circuiti di prova.

Tuttavia, grazie all'avvento dei regolatori elettronici di temperatura, questa procedura è diventata più agevole consentendo infatti di regolare il valore di temperatura fino ad ottenere l'effetto desiderato.

Conclusioni

Siamo partiti con l'obiettivo di definire una linea guida finalizzata al conseguimento dell'ottimizzazione energetica nel campo delle macchine automatiche, con una speciale attenzione nei confronti di una macchina blisteratrice la quale è stata il principale soggetto della nostra indagine.

La strada che abbiamo seguito ha previsto innanzitutto la necessità di conoscere le logiche di funzionamento della macchina e soprattutto la tipologia dei carichi energetici da essa consumati; è stata quindi svolta un'indagine energetica con lo scopo di identificare i principali processi facenti uso di fonti di energia e tra questi individuare quelli più gravosi sul bilancio energetico globale.

Una volta fatto ciò, sono state identificate due aree tematiche generali: quella relativa al comparto elettrico e quella afferente al comparto pneumatico.

Da un punto di vista dei consumi elettrici, sono state individuate le stazioni di saldatura e di preriscaldi come quelle a maggiore consumo, non solo nella fase di avvio della macchina ma anche in quella di funzionamento; anche i vari motori elettrici montati in macchina rappresentano una quota importante della potenza installata, ma come già osservato in precedenza, essendo essi tutti di alta efficienza, si possono ritenere esclusi dalla nostra indagine.

Per quanto riguarda la stazione di saldatura è stata dapprima validata la soluzione tecnica attuale (ovvero è stato calcolato il valore, in

termini di potenza, del riscaldatore a cartuccia installato nella piastra da riscaldare) e successivamente sono stati proposti due possibili step di miglioramento, entrambi rivolti alla riduzione degli assorbimenti; il primo riguardante la sostituzione del materiale utilizzato per la realizzazione della piastra in quanto, dato che la formula per il calcolo del riscaldatore va a legare assieme i tempi e le temperature di riscaldamento con le proprietà del materiale da riscaldare quali la massa e il calore specifico, andando a ricercare un materiale con valori più bassi di quelli dell'acciaio è possibile arrivare ad installare riscaldatori dalla potenza più bassa, con beneficio tangibile sui consumi.

Assieme a questo, un ulteriore miglioramento può essere rappresentato dalla coibentazione del gruppo riscaldatore con materiale isolante: infatti, minore è il calore che vado a disperdere, minore dovrà essere l'apporto che dovrò fornire per compensare le perdite; questo si va a tradurre in un ulteriore abbassamento della potenza.

In termini numerici, abbiamo calcolato come complessivamente si possa arrivare ad un abbassamento di circa il 45% della potenza installata.

Per quello che concerne invece il gruppo preriscaldi, è stata posta particolare attenzione alla coibentazione delle piastre; dall'analisi di questa soluzione si è calcolato un possibile diminuzione della potenza installata pari a circa il 30 %.

A conclusione della parte elettrica, si è anche sperimentata l'installazione di un sistema per il recupero dell'energia di frenatura

dei vari azionamenti: come spiegato nell'apposito capitolo dedicato, l'entità del recupero non è stata tale da giustificare l'installazione del sistema; a prescindere però da questo si è potuto delineare un percorso di scelta per determinare la tipologia di macchina che può essere più idonea all'applicazione di questa tecnica.

Dal lato pneumatico invece, lo studio eseguito ha coinvolto il gruppo pompa del vuoto e il relativo circuito: siamo andati a validare la soluzione attuale con l'obiettivo di tentare la sostituzione della pompa attuale con una di taglia più piccola; la sostituzione va a generare benefici sia da un punto di vista dei costi d'acquisto sia di quelli di funzionamento, con riduzioni dei consumi di oltre il 30%.

In generale possiamo concludere che un primo passo verso una maggiore efficienza energetica può essere rappresentato dall'ottimizzazione tecnica delle soluzioni già adottate, senza quindi andare a stravolgere la configurazione della struttura esistente e conseguentemente tenere i costi contenuti; in un secondo momento invece può essere utile, se non necessario, andare a rivedere l'intero progetto partendo con l'obiettivo di riuscire a raggiungere le prestazioni desiderate coniugate con la più alta efficienza energetica ottenibile.

Bibliografia

Marchesini Group - Cartella Stampa

Guglielmini G., Pisoni C., Introduzione alla Trasmissione del Calore

Catalogo Schmalz, Tecnologie Innovativa del Vuoto per l'Automazione

Catalogo PIAB, Vacuum Academy

Catalogo PIAB, Tecnologia del Vuoto - Guida alla Selezione

Catalogo Orione, Impianti Infrarosso - www.orionesrl.it

Catalogo CREI, riscaldatori elettrici - www.crei.it

Flyer Lenze BluGreen Solutions - www.lenze.com

Manuali Parker unità SLVDN

Manuali Parker unità PSU & PSI

