

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Sede di Forlì

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA MECCANICA**

Classe LM-33

TESI DI LAUREA

in Disegno Tecnico Industriale

Studio e ottimizzazione di una macchina per la
distribuzione di pasta alimentare

CANDIDATO
Salvatore Stamato

RELATORE
Prof. Ing. Luca Piancastelli

Anno Accademico 2013/2014
Sessione II

Indice

Premessa.....	1
1: Macchine e strumenti per la formatura di dolci e biscotti.....	5
2: Impianti per la produzione e la distribuzione di aria compressa.....	17
3: Componenti pneumatici.....	34
4: Prototipo per prove sperimentali	51
5: Il progetto della macchina	59
6: Normative sull'igiene e la sicurezza delle macchine alimentari	67
7: Materiali.....	78
Conclusioni.....	89
Bibliografia.....	93

Premessa

Nelle attuali realtà produttive artigiane il dosaggio, il riempimento e la formatura di prodotti dolciari avviene principalmente mediante l'uso del "sac à poche" oppure piccole siringhe manuali; tali strumenti pur essendo estremamente versatili, economici e flessibili nel tipo di utilizzo, a volte sono la causa di alcune malattie professionali. Lo svolgimento di una mansione lavorativa caratterizzata da alta ripetitività dei movimenti del polso e delle dita, dall'uso della forza e da posture disergonomiche può essere, in alcuni casi, la causa principale dell'insorgenza della "Sindrome del Tunnel Carpale". Da uno studio effettuato dal CONTARP (Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione) dell' INAIL relativo all'uso continuo del sac à poche, risulta un livello di rischio elevato per l'arto destro e medio per l'arto sinistro.

Esistono diverse tipologie di macchine automatiche per la realizzazione di lavorazioni simili a quelle eseguite con sac à poche. Tuttavia, oltre a tenere conto dell'aspetto economico, va considerato che tali macchine permettono di realizzare solo alcune tipologie di lavorazioni e prodotti e sono utilizzate per volumi di produzione elevati.

L'obiettivo principale della presente tesi è lo studio e l'ottimizzazione di una macchina ad azionamento pneumatico per la distribuzione ed il dosaggio di paste alimentari, destinata principalmente ai laboratori delle pasticcerie artigiane per la produzione di dolciumi e biscotti.

Di seguito sono riportati i principali vincoli e le caratteristiche necessarie a cui si è fatto riferimento nel corso del presente studio:

- flessibilità all'uso con impasti di diverse tipologie
- flessibilità per la realizzazione di forme differenti dei prodotti
- possibilità di gestire con semplicità il dosaggio di ogni prodotto
- possibilità di realizzare operazioni di riempimento con apposite bocchette
- rapidità e semplificazione relativamente alle fasi di montaggio, smontaggio, ricarica degli impasti, cicli di lavaggio e sanificazione

- leggerezza e manovrabilità, soprattutto per quanto riguarda l'erogatore
- gestione del flusso dell'impasto mediante una valvola posta in prossimità dell'erogatore
- compatibilità dei materiali utilizzati per il contatto con sostanze di tipo alimentare.

Lo studio si è articolato in due fasi:

Nella prima fase è stato realizzato un prototipo per eseguire i dimensionamenti dei principali componenti; successivamente, sulla base delle prove effettuate e dei risultati ottenuti, sono stati effettuati dei miglioramenti, in particolare sugli aspetti funzionali ed ergonomici.

Al fine di realizzare una macchina flessibile nelle varie tipologie di utilizzo e compatibile con diverse tipologie di impasti, sono stati adottati dei dispositivi pneumatici per la regolazione manuale delle forze agenti sugli impasti; sono stati osservati, inoltre, i principali requisiti di sicurezza e igiene relativi alle macchine alimentari richiesti dalle normative UNI ISO 14159/2008, UNI EN 1672-2 e la Direttiva Macchine 2006/42/CE ;

I principali strumenti software di cui si è fatto uso sono:

- Solidworks 2013, sistema largamente impiegato nel mondo del disegno tecnico e della progettazione meccanica
- Pneufuid 1.1, software per il disegno di schemi pneumatici con una completa libreria di simboli ed un database di articoli incorporato dal catalogo Pneumax

Nelle pagine successive si offrirà una breve descrizione di alcune tipologie di macchine per il dosaggio di paste alimentari in commercio; successivamente saranno illustrati i principi alla base dei moti dei fluidi comprimibili, il funzionamento e le varie tipologie di compressori, con particolare riferimento al compressore volumetrico alternativo.

Saranno illustrati, inoltre, i vari approcci progettuali, i materiali utilizzati, i componenti e le principali lavorazioni meccaniche effettuate per la realizzazione della macchina.

Nella sezione conclusiva verrà offerta una valutazione complessiva dei risultati ottenuti e delle prospettive di utilizzo futuro.

1: Macchine e strumenti per la formatura di dolci e biscotti

Sac à poche

Il sac à poche è uno strumento da pasticceria composto principalmente da una sacca in tela, lino impermeabile o silicone alimentare, e da beccucci conici, solitamente realizzati in acciaio inox o con materiali plastici; una estremità della sacca presenta un' ampia apertura per facilitare l'operazione di ricarica dell'impasto; l'altra estremità, invece, è realizzata in modo da garantire il fissaggio e l'intercambiabilità dei beccucci conici.

Nell'immagine seguente sono rappresentati un Sac à poche e diverse tipologie di beccucci; la scelta del beccuccio, ovviamente, dipende dal tipo di operazione che viene eseguita;



Figura 1

Le lavorazioni che si possono eseguire con questo attrezzo sono diverse; oltre ad essere utilizzato per la formatura di dolci e biscotti, infatti, viene usato anche per il riempimento, la farcitura e la decorazione;

Pur essendo un'attrezzatura estremamente versatile, flessibile ed economica il sac à poche può essere, in alcuni casi, la causa principale dell'insorgenza di alcune malattie professionali. Lo svolgimento di una mansione lavorativa caratterizzata da alta ripetitività dei movimenti del polso e delle dita, dall'uso della forza e da posture

disergonomiche è spesso, infatti, la causa principale dell'insorgenza della "Sindrome del Tunnel Carpale" (STC).

La STC è un complesso di sintomi derivanti dalla compressione del nervo mediano nel canale carpale, caratterizzato da dolore alla mano e al polso e con frequente presenza di parestesie notturne a carico delle prime quattro dita della mano.

Uno studio realizzato dal centro di Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione (CONTARP) dell' INAIL, mette in luce come un utilizzo continuo di un sac à poche, per la farcitura di bignè disposta su teglia, può generare un elevato rischio di sovraccarico biomeccanico dell'arto destro, e un livello medio di rischio per l'arto sinistro.

L'analisi è stata condotta su un ciclo di lavoro di 8 ore ed è stato valutato il livello di rischio in base ai valori dell'indice Check-list OCRA; quest'ultima considera i fattori di rischio per il sovraccarico biomeccanico degli arti superiori : frequenza di azione, applicazione di forza, assunzione di posture incongrue, carenza di periodi di recupero e altri fattori complementari e definisce un indice di rischio. Il confronto tra l'indice di rischio stimato per una determinata operazione e i valori dell'indice Check-list OCRA consente di definire il livello di rischio.

Nell'immagine seguente sono riportati i valori degli indici stimati e la descrizione del ciclo di lavoro analizzato;

Descrizione del compito

L'operatore, facendo uso di "sac à poche", dispone su apposita teglia, opportunamente distanziate, le gocce di impasto in lavorazione, che a seguito di cottura in forno, diverranno singoli bigné.

Uso di paletta al fine del riempimento del "sac à poche" con l'impasto.



Check-list OCRA	FASCIA	RISCHIO
≤ 7.5	VERDE	Accettabile
7.6 - 11.0	GIALLO	Molto lieve
11.1 - 14.0	ROSSO L.	Lieve
14.1 - 22.5	ROSSO M.	Medio
≥ 22.6	VIOLA	Elevato

Punteggi Check-list OCRA
riferiti ad 8 ore di adibizione al compito*

Arto DESTRO	Arto SINISTRO
31.9	20.6

Fattori di rischio	Arto destro	Arto sinistro
<i>Frequenza</i>	7	4.5
<i>Forza</i>	6	0
<i>Postura</i>	<i>Punteggio postura</i>	
Spalla	1	1
Gomito	0	0
Polso	0	0
Mano	8	8
<i>Stereotipia</i>	3	3
<i>Fattori complementari</i>	0	0

Fattori di rischio

- *Frequenza*: effettuazione di movimenti molto rapidi e costanti (azioni tecniche dinamiche), con l'arto dx, nella disposizione delle gocce di impasto sulla teglia ed anche a seguito del riempimento del "sac à poche", con uso di paletta. L'arto sx mantiene il "sac à poche" per circa tutto il tempo di ciclo (azione statica prevalente). Stereotipia elevata a carico di entrambi gli arti.
- *Forza*: di grado moderato per più della metà del tempo di ciclo, a carico dell'arto dx, nel premere il "sac à poche".
- *Posture*: entrambi le mani mantengono in pinch il "sac à poche" al fine di disporre le gocce di impasto, per tutto il ciclo; la dx mantiene anche la paletta per riempire il "sac à poche".
- *Fattori complementari*: assenti.

* I punteggi sono stati stimati ipotizzando 2 pause di 10 minuti ciascuna, oltre alla pausa mensa (Moltiplicatore per il recupero pari a 1.33).

Macchine colatrici e macchine ad estrusione

Esistono diverse tipologie di macchine per la produzione di dolci e biscotti; ovviamente ogni macchina può essere più o meno automatica e permette la realizzazione di un range più o meno ampio di prodotti e lavorazioni.

Per la formatura di biscotti spesso vengono usate delle macchine colatrici automatiche. Tali macchine simulano la fase di realizzazione di paste e biscotti prodotti manualmente mediante l'uso di sac à poche;

Nell'immagine successiva è riportato uno schema di funzionamento di queste macchine;

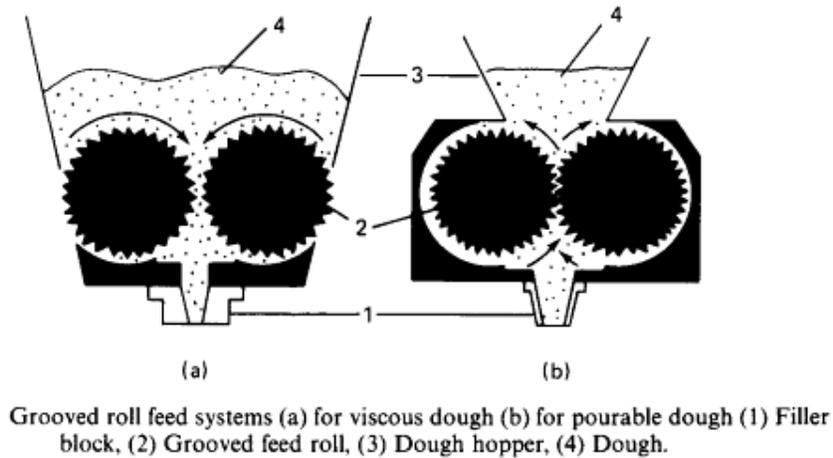


Figura 2

Nella parte sinistra è schematizzato il principio di funzionamento della colata, utilizzata per la realizzazione di paste meno viscosi; a destra invece, viene realizzata l'operazione di estrusione mediante ingranaggi rotanti.

Nell'immagine seguente si può osservare una macchina colatrice automatica realizzata dalla ABM, azienda specializzata nella produzione di macchine per biscotti.



Figura 3: Macchina colatrice Jolly della ABM

Il principio di funzionamento è relativamente semplice; una certa quantità di impasto informe viene immesso in una tramoggia posta nella parte superiore della macchina e viene movimentato da rulli di dosaggio. La colatura viene effettuata su teglie che vengono movimentate dalla macchina mediante nastri trasportatori; sostituendo i beccucci terminali e impostando i programmi memorizzati nel software della macchina è possibile realizzare forme differenti dei prodotti. I volumi di produzione possono superare i 200 Kg/h di prodotto per ogni macchina installata.

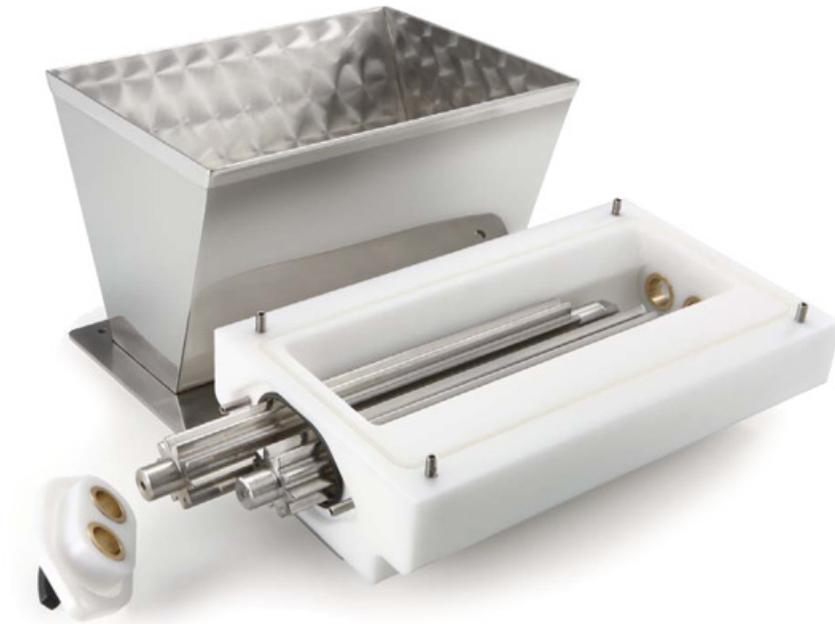


Figura 4

Come si può osservare nelle figure 4 e 5 il sistema di colatura è costituito essenzialmente da ingranaggi o rulli in acciaio inox, o di Nylon alimentare in alcune macchine, e da uno stampo sul quale sono alloggiati i beccucci; la struttura è realizzata in modo che tutti i componenti a contatto con gli impasti possano essere smontati e sanificati dopo ogni utilizzo;



Figura 5

Tali macchine, tuttavia, sono adeguate per elevati volumi di produzioni e permettono la realizzazione di prodotti fatti sia con paste più viscosi che con paste più fluide; nel paragrafo successivo saranno illustrate alcune tipologie di macchine ad iniezione utilizzate per la lavorazione di impasti caratterizzati da una bassa viscosità.

1.3 Macchine dosatrici elettriche ad iniezione

Queste tipologie di macchine sono caratterizzate solitamente da un sistema di pompaggio del prodotto realizzato mediante una pompa ad ingranaggi. L'impasto viene immesso in una tramoggia, elaborato dalla pompa e un interruttore posto sull'erogatore permette di avviare ed arrestare il flusso. Un sistema di controllo elettronico, attraverso un inverter e un motore elettrico, permette di gestire la velocità di rotazione della pompa.

Tali macchine sono utilizzate per il riempimento e la farcitura; sono realizzate per il dosaggio di creme, marmellate e prodotti poco viscosi; non sono idonee per impasti con elevate viscosità.

Nelle immagini riportate di seguito si possono osservare due macchine riempitrici – dosatrici elettriche realizzata dalla FAeM, una società specializzata nella produzione di macchine per pasticcerie;



Figura 6

Macchine volumetriche ad azionamento pneumatico

Tra le macchine ad azionamento pneumatico per il dosaggio di prodotti alimentari, in particolare per il settore della pasticceria e della gelateria, le più utilizzate sono sicuramente quelle volumetriche con una valvola rotante.



Figura 7

I componenti principali sono una tramoggia, una valvola rotante, un cilindro pneumatico e un sistema regolabile di controllo per imprimere la spinta agli impasti, e un sistema per la distribuzione;

Il principio di funzionamento è relativamente semplice e si può suddividere in due fasi:

- nella prima fase (Figura 9) la valvola rotante viene posizionata in modo da creare un condotto che collega la tramoggia al volume di controllo; in questo modo l'impasto viene richiamato nel volume di controllo dal cilindro pneumatico;
- nella fase successiva (Figura 10), la valvola rotante viene posizionata in modo da collegare il volume di controllo al sistema di distribuzione; in questo modo la spinta generata dal cilindro pneumatico (a doppio effetto, ovviamente) permette la spinta degli impasti nel sistema di distribuzione; regolando la

pressione di alimentazione del cilindro è possibile, inoltre, regolare la portata di prodotto in uscita.

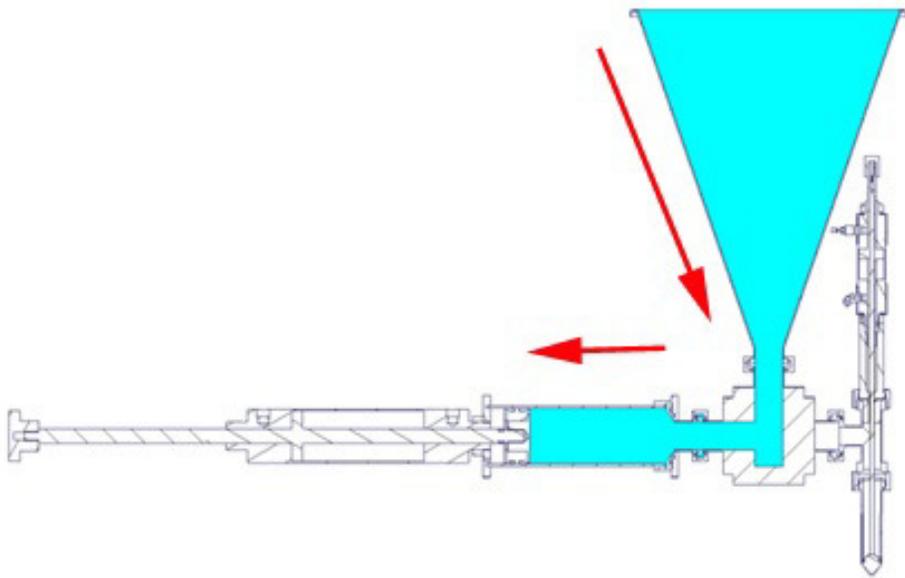


Figura 8

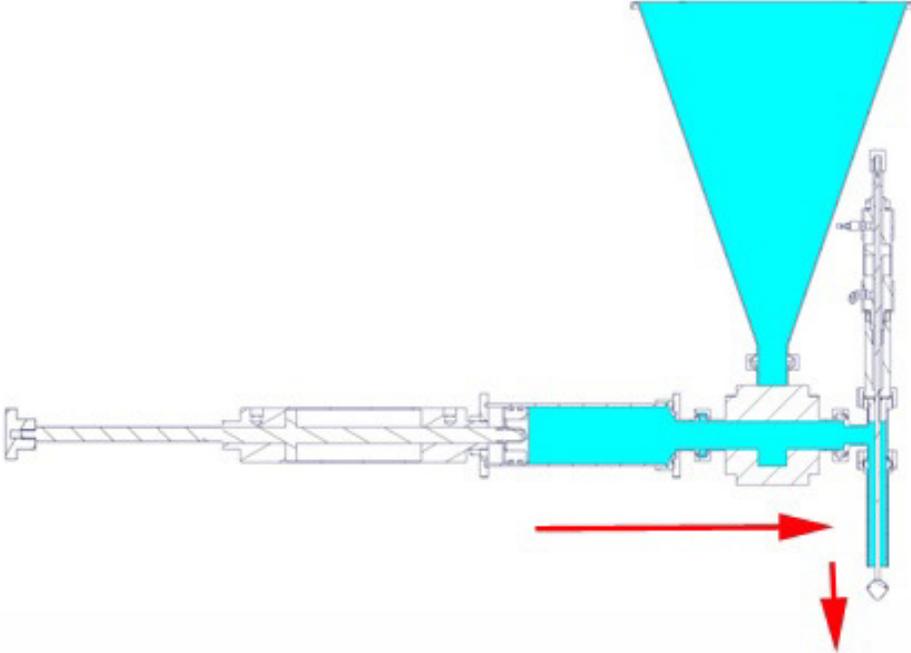


Figura 9

Si possono distinguere due diverse tipologie di funzionamento, a seconda del tipo di dosaggio.

- In un caso il volume di controllo è variabile e per ogni “iniezione” di impasto o prodotto il cilindro pneumatico principale esegue una corsa di avanzamento ed una per il ritorno; il volume di prodotto erogato, in questo modo, sarà circa uguale al volume di controllo
- Nell’altro caso, invece, il dosaggio viene effettuato mediante una valvola posta sul sistema di distribuzione del prodotto; la valvola, solitamente, è azionata da un ulteriore cilindro pneumatico a doppio effetto; si ha così una spinta costante dal cilindro pneumatico più grande, e un controllo dell’erogazione gestito dal cilindro pneumatico sul sistema di distribuzione del prodotto.

2 Impianti per la produzione e distribuzione dell'aria compressa

Introduzione

L'impiego di aria compressa in campo industriale si è diffuso sempre di più nel corso del tempo. Attualmente la maggior parte degli stabilimenti di produzione e trasformazione utilizza questo vettore di energia per il comando e la regolazione di utenze, come servocomando di utensili, come forza motrice e in alcuni casi risulta essere parte integrante di processi produttivi.

Un impianto ad aria compressa è costituito essenzialmente dall'insieme di componenti atti alla produzione e distribuzione dell'aria compressa alle utenze. Si possono distinguere una sala macchine in cui l'aria riceve energia da macchine operatrici, una sezione di trattamento ed accumulo, la rete di distribuzione alle utenze e le utenze stesse, dove l'energia potenziale di pressione contenuta dall'aria viene convertita in altre forme di energia, solitamente meccanica.

La portata e la pressione di esercizio sono i parametri principali che caratterizzano la scelta e il dimensionamento di un impianto per la produzione dell'aria compressa.

La portata dei compressori viene misurata in quantità d'aria resa in mandata nell'unità di tempo, riportata allo stato fisico dell'aspirazione (solitamente metri cubi o litri per ora, minuto o secondo); la pressione di esercizio, per le normali utenze pneumatiche negli stabilimenti, risulta essere spesso circa di 6-7 bar. Le portate, invece, sono molto variabili e dipendono dal numero di utenze e dal consumo unitario.

Nel caso della misura in "normal metro cubo" all'ora (Nm^3/h), si fa riferimento ad una portata di un metro cubo aspirato in un'ora alla pressione di 101325 Pa (760 mm Hg) in assenza di umidità e alla temperatura di 0°C.

Per trasformare la portata di aria libera (m³/h) in portata relativa allo stato di normale di riferimento (Nm³/h) si utilizza la seguente relazione:

$$Q_N = Q_A \frac{T_N P_A (P_A - \varphi P_V)}{T_A P_N P_N}$$

dove:

Q_N e Q_A : portate espresse rispettivamente in Nm³/h e riferita all'aspirazione (m³/h);

T_N e T_A : temperature assolute riferite rispettivamente allo stato tecnico di riferimento (273,15K) e alle condizioni di aspirazione

P_N e P_A : pressioni assolute riferite rispettivamente allo stato tecnico di riferimento (101325 Pa) e alle condizioni dell'aria in aspirazione

P_V : pressione assoluta parziale del vapore acqueo saturo alla temperatura di aspirazione ;

φ : umidità relativa riferita alle condizioni di aspirazione;

Lavoro specifico di compressione

Per ricavare l'espressione del lavoro si può partire dall'equazione generale del moto dei fluidi per un sistema aperto in forma termica e stazionaria, si ha:

$$c \, dc + g \, dz + dh = dq - dL$$

Le macchine utilizzate per scambiare lavoro con il fluido possono essere studiate facendo l'ipotesi che siano macchine adiabatiche (dq=0).

Trascurando, inoltre, i termini cinetici e gravitazionali (cdc e gdz) si ha:

$$dL = -dh$$

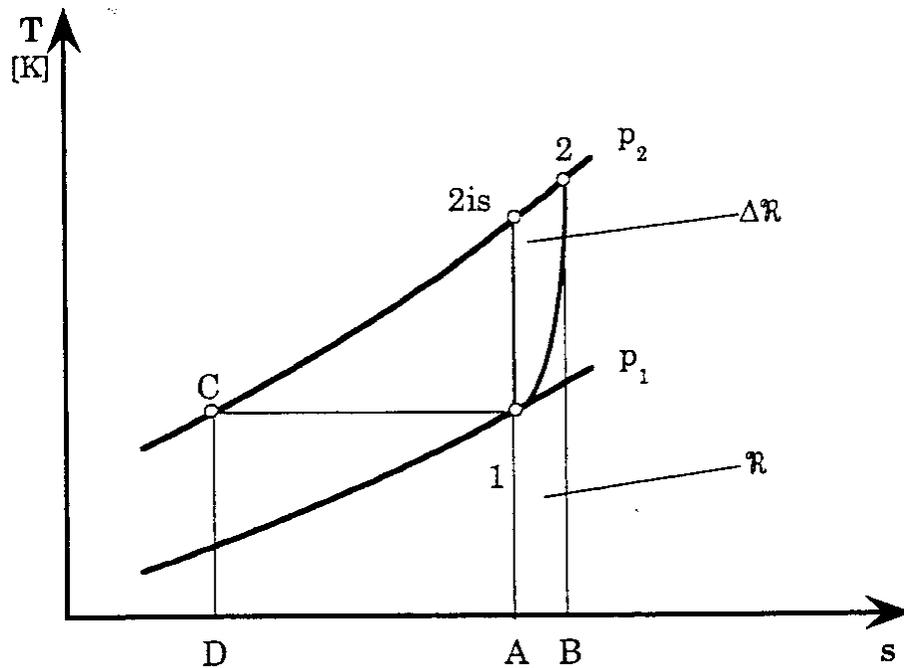


Figura 10

Nel caso di trasformazione isoentropica ($1 \rightarrow 2_{is}$) il lavoro specifico per portare il fluido dallo stato iniziale 1 allo stato finale 2, si può scrivere:

$$L_{is} = - \int_1^{2_{is}} dh = -c_p (T_{2is} - T_1) = -c_p T_1 \left(\frac{T_{2is}}{T_1} - 1 \right)$$

Nel caso della compressione, a causa delle considerazioni per cui un lavoro è positivo se “assorbito” dal sistema e negativo se “ceduto” dal sistema, il lavoro risulta essere negativo; per non avere un segno negativo, nelle relazioni seguenti sarà considerato il valore assoluto, per cui risulta essere positivo anche se è un lavoro di compressione;

Partendo dalle equazioni valide per una trasformazione di tipo adiabatica si può scrivere:

$$\begin{cases} pv^k = cost \\ pv = RT \end{cases}$$

Si ottiene quindi:

$$\frac{T_{2is}}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \beta^{\frac{k-1}{k}}$$

Da cui si può scrivere l'equazione del lavoro speso durante la trasformazione isoentropica:

$$L_{is} = c_p T_1 \left(\beta^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) = \frac{k}{k-1} RT_1 \left(\beta^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right);$$

Nel caso consideriamo una trasformazione di tipo politropica, non essendo più trascurabile il termine dq si ha:

$$L_{pol} = dh - dq = \int_1^2 (c_p - c) dT = \left(c_p - \frac{nc_v - c_p}{n-1} \right) (T_2 - T_1)$$

Considerando le seguenti equazioni, valide per una trasformazione di tipo politropica:

$$\begin{cases} pv^n = cost \\ pv = RT \end{cases}$$

Si ha:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = \beta^{\frac{n-1}{n}}$$

Si ottiene, quindi:

$$L_{pol} = \frac{n}{n-1} RT_1 \left(\beta^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right);$$

In un compressore reale misurando la temperatura all'uscita (stato fisico 2) risulta essere maggiore di quella che si avrebbe nel caso di trasformazione isoentropica (stato fisico 2_{is}); possiamo quindi scrivere l'espressione del lavoro per una trasformazione reale, considerando una trasformazione adiabatica ma non isoentropica:

$$L_r = \frac{k}{k-1} RT_1 \left(\beta^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right);$$

Si possono infine scrivere le equazioni dei rendimenti politropico ed isoentropico di compressione (rispettivamente: η_{Pol_C} e η_{is_c})

$$\eta_{Pol_C} = \frac{L_{pol}}{L_r} = \frac{n}{n-1} \frac{k-1}{k} ;$$

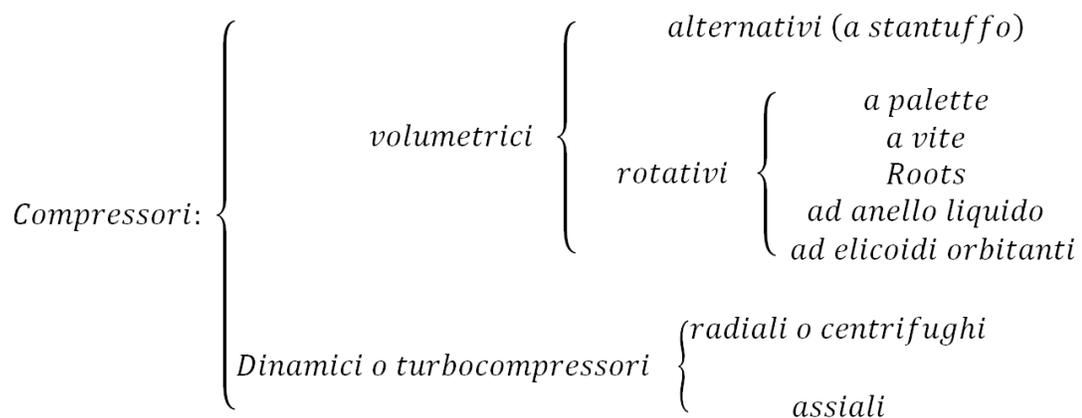
$$\eta_{is_c} = \frac{L_{is}}{L_r} = \frac{c_p(T_{2is} - T_1)}{c_p(T_2 - T_1)} = \frac{\beta^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\beta^{\frac{n-1}{n}} - 1} ;$$

Tipi di compressori:

I compressori d'aria possono essere suddivisi in due categorie: volumetrici e dinamici;

Nei compressori dinamici una girante fornisce al fluido l'energia cinetica che viene successivamente convertita in pressione. Nei compressori volumetrici, invece, l'aria viene aspirata in una camera di compressione mediante una luce di aspirazione che viene successivamente chiusa. Si ha quindi una compressione e quando la pressione ha raggiunto un valore prestabilito si apre una luce di scarico, collegata con la mandata, e l'aria contenuta nella camera di compressione può fuoriuscire.

Di seguito è riportato uno schema che rappresenta la suddivisione delle principali tipologie di compressori utilizzati in campo industriale:



La scelta del tipo di compressore da adottare dipende sicuramente da considerazioni di carattere tecnico ed economico. Come accennato in precedenza, i parametri più importanti da tenere in considerazione per quanto riguarda l'aspetto tecnico sono la pressione dell'impianto e le portate;

Nella tabella e nell'immagine seguinte sono riportati i campi di impiego tipici in relazione alla tipologia di alcune tipologie di compressori;

TIPI DI COMPRESSORI	PRESSIONI bar	PORTATE Nm³/min
Alternativi	<i>monostadio</i>	7÷10
	<i>multistadio</i>	>20
A palette	2÷10	<100
A vite	<i>Lubrificati -monostadio -bistadio</i>	3÷13 <20
	<i>A secco -monostadio -multistadio</i>	<4 4÷10
Roots	<i>monostadio</i>	<1
	<i>bistadio</i>	<2,5
A elicoidi	<10	<1
Dinamici	<i>radiali</i>	<22
	<i>assiali</i>	<5

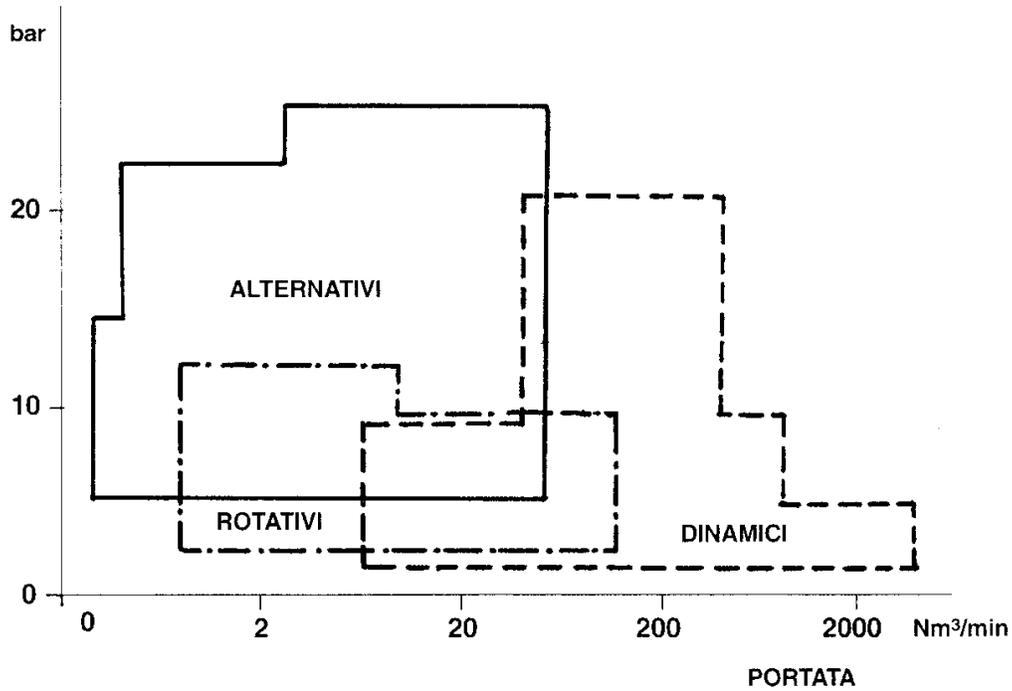


Figura 11

Per la valutazione degli aspetti economici i principali costi sono rappresentati dall'ammortamento degli impianti, dal consumo di energia per il trascinamento dei compressori stessi (solitamente energia elettrica), dalla manodopera di servizio e dalla manutenzione.

Nella figura successiva sono riportati gli andamenti dei consumi specifici in funzione della portata d'aria per diverse tipologie di compressori:

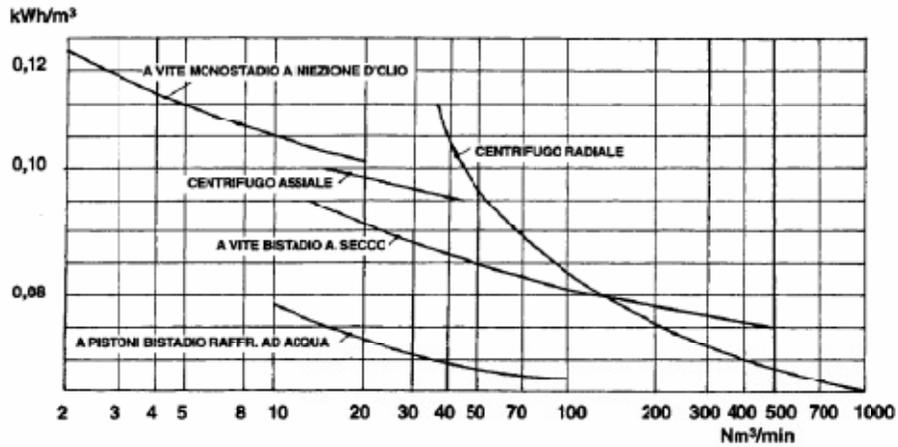


Figura 12

Compressori volumetrici alternativi:

Un compressore volumetrico alternativo, nel caso più semplice, è costituito da un cilindro, dotato di valvole per l'aspirazione e la mandata, nel quale scorre uno stantuffo, comandato da un sistema biella-manovella;

Nella figura 13 è riportato lo schema di un compressore a stantuffo monostadio, raffreddato ad aria; nella stessa figura è riportato anche l'andamento teorico della pressione sul diagramma indicatore nelle varie fasi del ciclo.

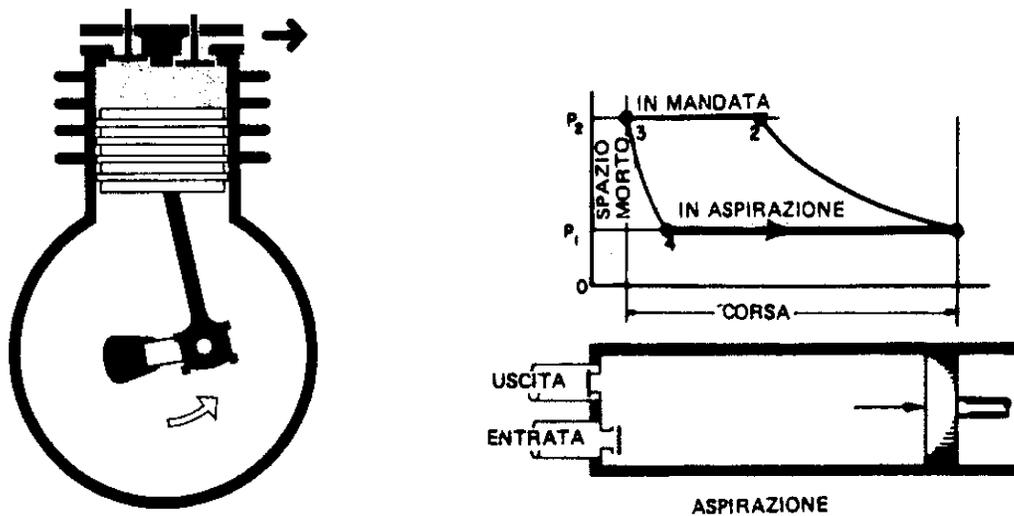


Figura 13

In alcuni casi, sia per raggiungere pressioni più alte che per contenere il rapporto di compressione del singolo stadio, vengono realizzati dei compressori pluristadio. Un rapporto di compressione β elevato, infatti, comporta un aumento eccessivo della temperatura del fluido, l'aumento delle forze in gioco, maggiore usura dei componenti e una diminuzione del rendimento del compressore. La suddivisione della compressione in più stadi garantisce così un compressore più economico da gestire, a fronte ovviamente di un maggiore costo iniziale d'impianto; nella figura successiva è riportato l'andamento reale della pressione di un compressore a 2 stadi inter-refrigerato su diagramma indicatore;

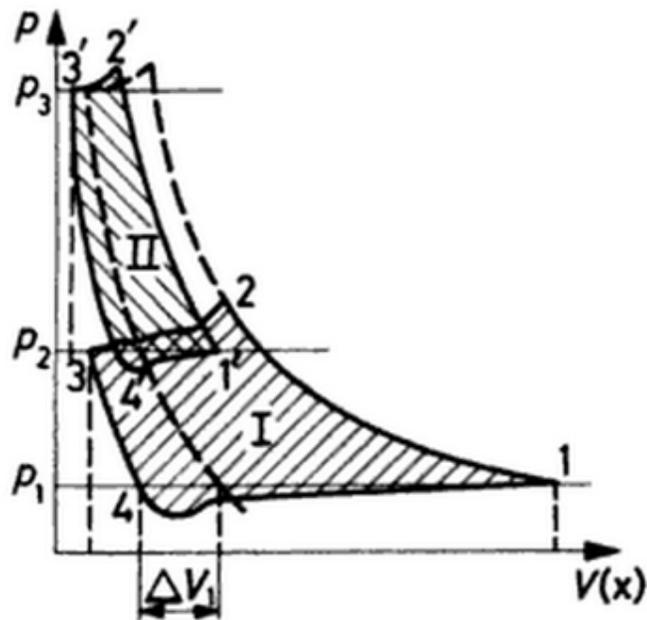


Figura 14

I compressori alternativi sono in genere impiegati per portate molto basse ($< 1 \text{ Nm}^3/\text{min}$ e comunque non oltre $20 \text{ Nm}^3/\text{min}$) e per pressioni di $7 \div 10$ bar. Quando la pressione è superiore vengono utilizzati compressori multistadio.

La potenza assorbita da un compressore volumetrico alternativo può essere scritta:

$$P = \frac{\rho_{\text{aria}} Q L_r}{\eta_m} ; (W)$$

dove:

ρ_{aria} : massa volumica dell'aria in aspirazione (kg/m^3)

Q : portata volumetrica di aria aspirata (m^3/s)

η_m : rendimento meccanico del compressore ($\eta_m \approx 0.88 \div 0.95$)

L_r : lavoro specifico reale di compressione (J/kg), ricavato nel paragrafo precedente);

Compressori rotativi a palette:

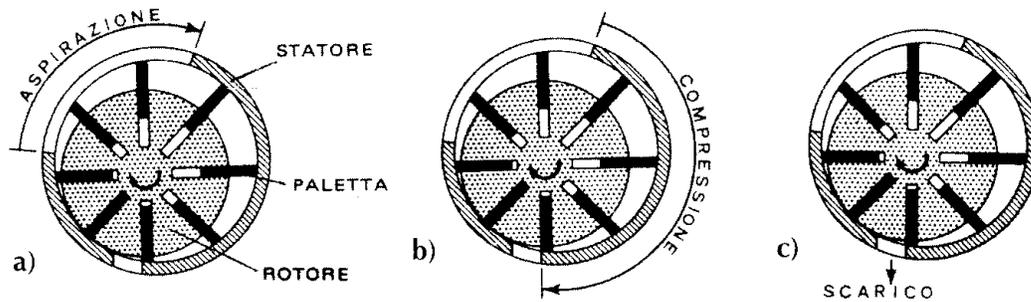


Figura 15

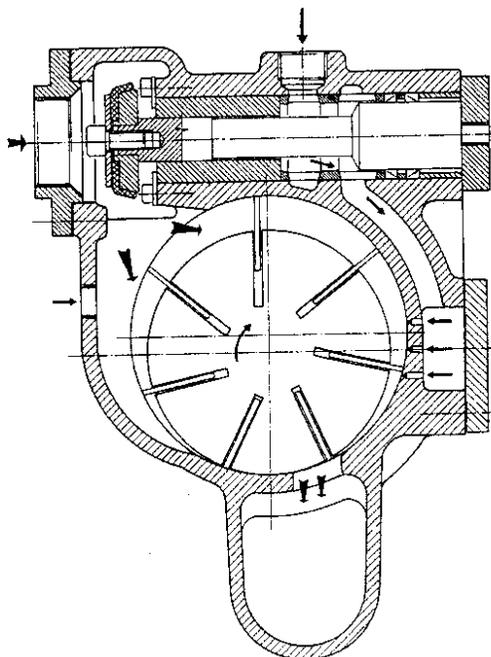


Figura 16

In questi compressori un rotore, montato eccentricamente rispetto all'asse del cilindro fisso, è munito di un certo numero di palette, scorrevoli entro guide ricavate nel rotore stesso, come schematizzato nelle immagini

Le palette, durante la rotazione, sono spinte sulle pareti del cilindro a causa della forza centrifuga e comprimono gradualmente la massa di aria intrappolata nelle rispettive celle, fino all'apertura della luce di mandata. Tali compressori sono adottati per pressioni di esercizio che vanno dai 2 ai 10 bar, e per portate di aria aspirata inferiori ai 100 Nm³/min. Nell'immagine seguente è riportato l'andamento del ciclo di lavoro ideale di un compressore a palette.

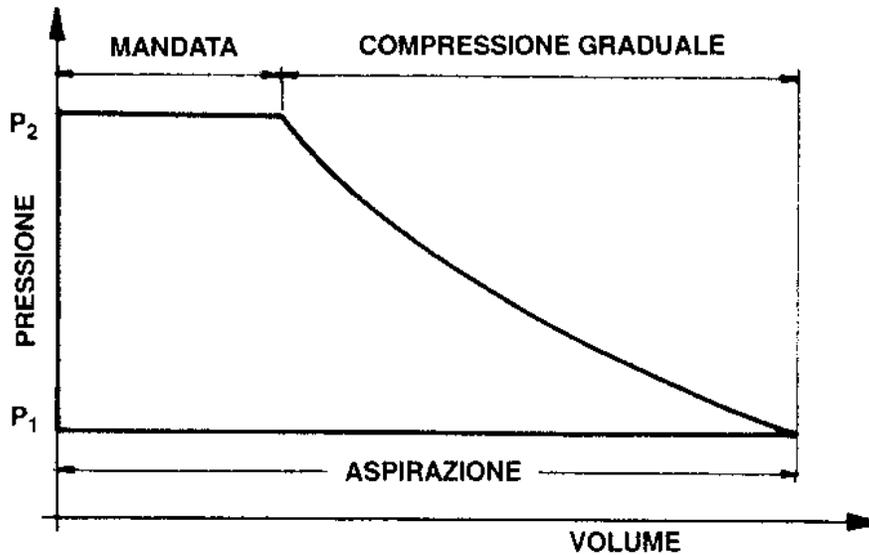


Figura 17

Compressori rotativi a viti elicoidali:

Sono costituiti da due rotori a vite, uno con lobi convessi e l'altro concavi, ad assi paralleli che ruotano in senso opposto dentro uno statore. Per evitare trafiletti d'aria e per assicurare la refrigerazione ai rotori è necessaria una lubrificazione notevole.

L'aria viene aspirata, attraverso la luce di immissione, nello spazio che si forma fra i lobi dei due rotori; al procedere della rotazione, lo spazio in cui essa è contenuta viene isolato dalla luce di immissione e ridotto di volume, dando inizio ad una compressione graduale; alla fine della compressione l'aria viene spinta verso la luce di uscita e quindi scaricata.

I compressori rotativi sono in grado di fornire buone portate con pressioni vicine ai 10 bar.

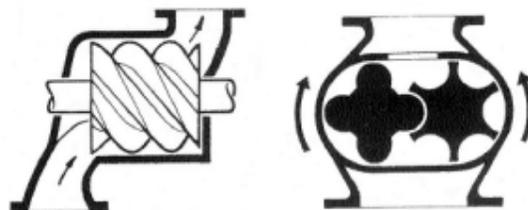


Figura 18

Compressore a lobi

Il compressore a lobi è costituito da uno statore in cui sono alloggiati due lobi controrotanti. L'aria è spinta dai lobi verso la mandata, dove subisce un repentino aumento di pressione; per questo motivo la compressione non è graduale e consiste in un riflusso di aria nel compressore, il rendimento è basso e si raggiunge una pressione massima circa di 3 bar, nel caso di compressori bistadio.

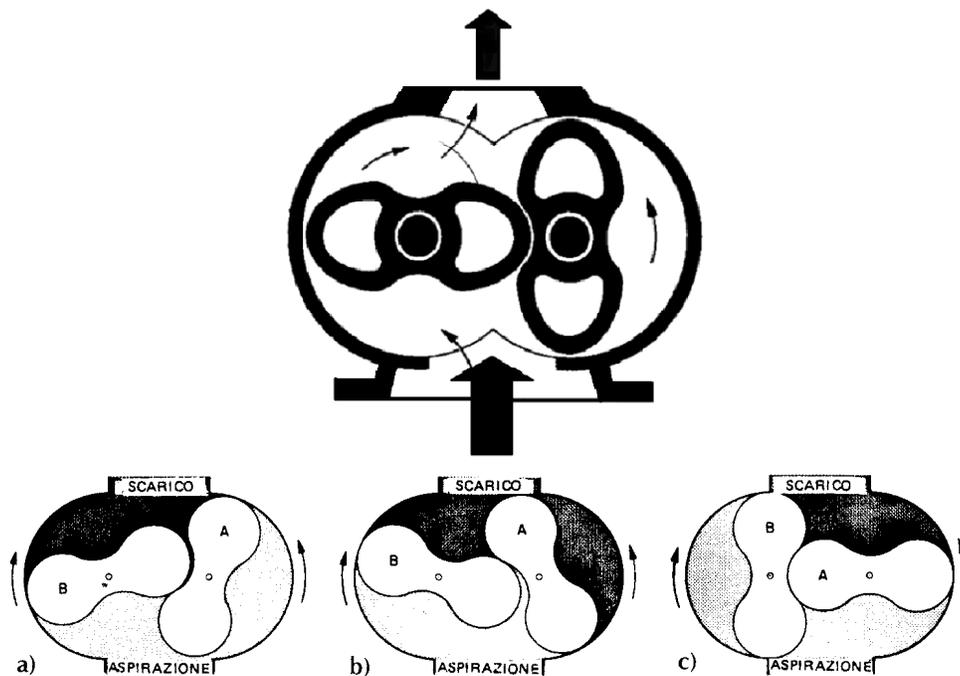


Figura 19

Nella figura successiva è riportato l'andamento teorico di un ciclo di lavoro eseguito da un compressore a lobi.

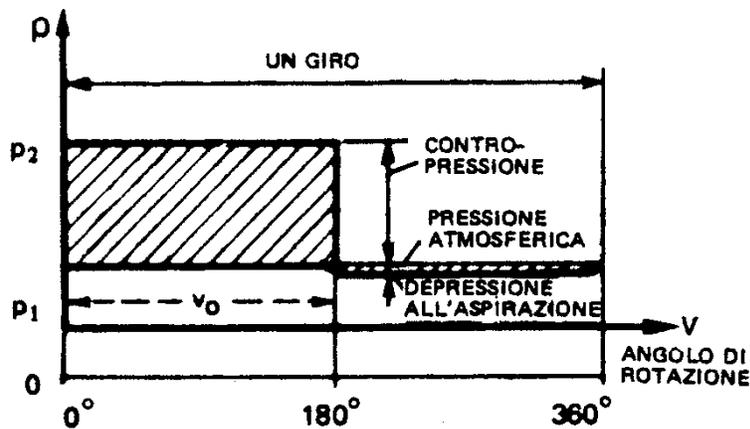


Figura 20

Normativa ISO 8573-1:2010

La normativa ISO 8573-1:2010 definisce le classi di purezza dell'aria compressa in funzione della quantità di acqua, olio e particelle solide presenti nell'aria.

Tale normativa riporta separatamente sotto forma di tabelle i livelli di purezza richiesti per ogni contaminante. Nella tabella seguente sono riportate in un'unica tabella le classi di purezza per tutti e tre i contaminanti:

CLASSE ISO8573-1:2010	Particolato solido			Acqua		Olio	
	Numero Massimo di particelle per m ³			Punto di rugiada in pressione	Liquido g/m ³	Olio totale (aerosol liquido e vapore) mg/m ³	
	0.1 - 0.5 micron	0.5 - 1 micron	1 - 5 micron				Concentrazione mg/m ³
0	In base alle specifiche dell'utilizzatore o del fornitore dell'apparecchiatura e più restrittivo rispetto alla classe 1						
1	≤ 20,000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70°C	-	0.01
2	≤ 400,000	≤ 6,000	≤ 100	-	≤ -40°C	-	0.1
3	-	≤ 90,000	≤ 1,000	-	≤ -20°C	-	1
4	-	-	≤ 10,000	-	≤ +3°C	-	5
5	-	-	≤ 100,000	-	≤ +7°C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10°C	-	-
7	-	-	-	b - 10	-	≤ 0.5	-
8	-	-	-	-	-	0.5 - 5	-
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

TABELLA 21

Nel caso la classe dell'aria richiesta per un determinato utilizzo risulta essere 1.2.1, ad esempio, il primo numero indica la classe 1 per i particolati solidi, il secondo numero indica la classe 2 per l'acqua e il terzo numero

indica la classe 1 per l'olio; in tal caso, quindi, si devono avere massimo 20.000 particelle di dimensione compresa tra 0.1 e 0.5 micron, massimo 400 particelle di dimensione compresa tra 0.5 e 1 micron e massimo 10 di dimensione compresa tra 1 e 5 micron; è richiesto inoltre un punto di rugiada in pressione di -40°C o migliore e ogni metro cubo di aria compressa può contenere al massimo 0,01 mg di olio.

Per conformarsi alle normative sull'igiene dell'industria alimentare, le aziende alimentari devono seguire le norme previste dallo standard HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point), eseguendo anche un'analisi dei rischi presenti nell'intero ciclo produttivo.

Nel caso del settore alimentare si può fare riferimento al codice di condotta per l'impiego di aria compressa per usi alimentari (Code of Practice for Food Grade Compressed Air).

Come mostra la seguente tabella, nel caso di aria a diretto contatto con gli ingredienti, prodotti alimentari, recipienti di conservazione o comunque aria che in condizioni normali non dovrebbe entrare a contatto con alimenti la classe di purezza minima consigliata risulta essere la 2.2.1. Anche nel caso di aria non a contatto diretto, ma che potrebbe inavvertitamente entrare in contatto con alimenti la classe di purezza risulta essere la 2.2.1. Nel caso invece di aria non a contatto la classe consigliata è la 2.4.1.

Qualità dell'aria raccomandata	Sporcio (Particolato allo stato solido) Numero massimo di particelle per m3			Umidità (Vapore acqueo)	Olio totale (Aerosol + Vapori)	ISO8573.1 : 2001 Equivalente
	0.1 - 0.5 micron	0.5 - 1 micron	1 - 5 micron			
A contatto	100,000	1000	10	-40°C PDP	<0.01 mg/m³	Classe 2.2.1
Aria non a contatto	100,000	1000	10	+3°C PDP	<0.01 mg/m³	Classe 2.4.1
Aria non a contatto ma ad alto rischio	100,000	1000	10	-40°C PDP	<0.01 mg/m³	Classe 2.2.1

Nell'immagine seguente è riportato lo schema di un impianto di servizio di aria compressa, con vari componenti in funzione della classe di aria richiesta dalle utenze.

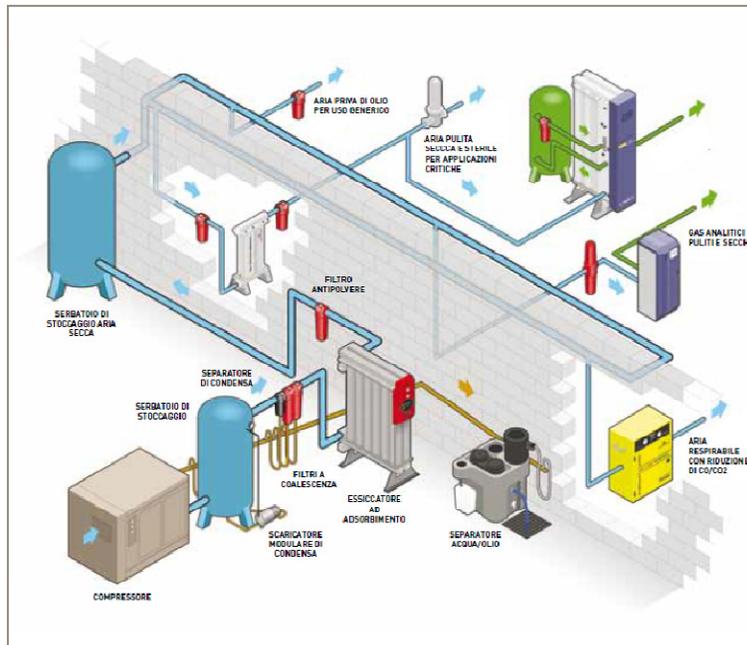


Figura 22

Essiccazione dell'aria compressa

L'aria atmosferica è una miscela di gas (ossigeno, azoto, argon ecc.) e di vapor d'acqua. Negli impianti per la produzione di aria compressa l'umidità, contenuta nell'aria, deve essere asportata perché dannosa sia agli organi di regolazione sia alle possibili utenze. Infatti l'acqua condensata può favorire eventuali processi corrosivi, trasportare eventuali impurità solide causando danni alle utenze e le goccioline d'acqua condensate possono danneggiare gli organi meccanici con cui vengono a contatto. Per ovviare a questi problemi si eseguono dei processi di essiccazione dell'aria compressa, cercando di asportare la maggior quantità possibile di acqua in sospensione. A questo fine si utilizzano generalmente degli essiccatori a refrigerazione, a deliquescenza e ad adsorbimento.

I primi si basano sul principio che la quantità di condensa di acqua separabile dalla miscela aria-vapore aumenta al diminuire della temperatura. Il raffreddamento dell'aria viene ottenuto mediante uno scambiatore refrigerante, la condensa derivante dal vapore acqueo sciolto nell'aria viene raccolta in appositi separatori.

Si può scrivere il seguente bilancio per calcolare la potenza frigorifera da fornire al refrigeratore per ottenere il titolo dell'aria in uscita pari ad x_2 , con la temperatura dell'aria in uscita pari a T_2 :

$$Q_{Fr} = Q_{cond} + Q_{aria} = \rho V r(x_1 - x_2) + \rho V c(T_1 - T_2) ;$$

dove:

Q_{Fr} : potenza frigorifera da asportare (W)

Q_{cond} : potenza termica da asportare per la condensazione del vapore di acqua (W)

Q_{aria} : potenza termica per raffreddare l'aria, trascurando l'umidità (W)

ρ : densità dell'aria (kg/m^3) nelle condizioni normali ($p=p_{atm}$, $T=0^\circ\text{C}$)

V : portata volumetrica di aria in condizioni normali (m^3/s)

x_1, x_2 : titolo dell'aria in ingresso e in uscita dal refrigeratore ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{aria secca}}$)

r : calore latente di vaporizzazione dell'acqua (kJ/kg)

c : calore specifico dell'aria a pressione costante ($\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$)

T_1, T_2 : temperature dell'aria in ingresso e in uscita ($^\circ\text{C}$)

La portata di condensa che si separa dalla miscela vale:

$$G_{cond} = \rho V(x_1 - x_2) ;$$

Gli essiccatoi a deliquescenza sono costituiti da serbatoi di materiale igroscopico che reagisce chimicamente con il vapore d'acqua contenuto nell'aria, formando una soluzione condensata che viene raccolta e scaricata. Con tali essiccatoi si raggiungono temperature di rugiada nel range $0-10^\circ\text{C}$, in funzione della temperatura dell'aria compressa dell'impianto.

Gli essiccatoi ad adsorbimento, invece, sono costituiti da materiale adsorbente che catalizza il processo di condensazione del vapore d'acqua trattenendo l'umidità e lasciando passare l'aria. Tali essiccatoi permettono di ottenere temperature di rugiada fino a $-30 \div -50^\circ\text{C}$.

3 Principali componenti pneumatici e simbologia

Introduzione

La tendenza dei sistemi di produzione a intensificare il livello di automazione, dall'artigianato alla grande industria, trova nei sistemi pneumatici un valido sostegno alla risoluzione veloce, economica e razionale dei problemi, sia semplici che complessi.

I dispositivi pneumatici, grazie alle caratteristiche di leggerezza, sicurezza, affidabilità e integrabilità con altre tecnologie, risultano essere un mezzo molto usato, valido ed efficiente. Va aggiunto, inoltre, che l'interfaccia con altre tecnologie, quali l'elettronica, consente alla automazione pneumatica di eseguire operazioni complesse senza molte difficoltà.

Di seguito saranno illustrati i principali componenti pneumatici, con particolare riferimento a quelli utilizzati durante lo studio e la progettazione della macchina realizzata.

Attuatori pneumatici

Gli elementi pneumatici di lavoro (attuatori) sono gli organi finali di un sistema che

compiono un lavoro meccanico svolgendo molteplici funzioni. Gli attuatori che compiono spostamenti o rotazioni con movimenti alternativi vengono chiamati cilindri.

I cilindri pneumatici, se dimensionati correttamente, sono apparecchi insensibili a sovraccarichi, sviluppano velocità elevate, possono effettuare rapide inversioni di direzione, non influenzano in alcuna maniera l'ambiente in cui lavorano, permettono di controllare facilmente la forza sviluppata e la velocità ed hanno requisiti di manutenzione decisamente semplici.

Sono costituiti principalmente da una camicia generalmente cilindrica all'interno della quale scorre un pistone, ancorato ad uno stelo con guarnizioni di tenuta. Sui due lati della camicia vengono ancorate meccanicamente le testate, una delle quali presenta un foro centrale per permettere la fuoriuscita dello stelo, nel caso di cilindri con stelo semplice.

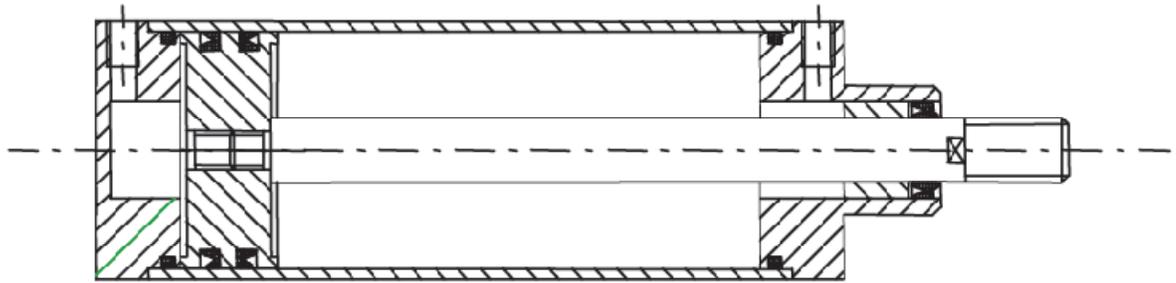


Figura 23

Nell'immagine ... è riportato in modo schematico la composizione di un cilindro pneumatico. Il movimento dello stelo nelle due direzioni viene attivato inviando aria compressa alternativamente nella camera anteriore o nella camera posteriore attraverso i fori filettati ricavati sulle testate; la differenza di pressione tra le due superfici dello stantuffo genera una certa forza sullo stelo.

I cilindri che eseguono un movimento rettilineo con il proprio stelo dalla posizione di stelo retratto alla posizione di stelo esteso, e viceversa, vengono definiti cilindri lineari.

La forza teorica sviluppata da un cilindro pneumatico è data da:

$$F = P \cdot A$$

Dove:

F: forza teorica sullo stelo (N)

P: pressione agente sullo stantuffo (Pa)

A: area dello stantuffo su cui agisce la pressione P;

Nella direzione di rientro (-), ovviamente, per il calcolo della forza bisogna considerare che la superficie su cui agisce la pressione è minore, infatti è uguale alla superficie circolare dello stantuffo meno quella dello stelo. La forza ricavata in questo modo è una forza teorica, in quanto non vengono considerati gli attriti e le accelerazione delle masse in movimento.

La forza reale del cilindro va calcolata tenendo anche conto che:

- ci sono perdite per l'attrito delle guarnizioni di tenuta durante il movimento.

- alla partenza il pistone deve vincere l'attrito statico di primo distacco, superato il quale comincia a muoversi.

Per questi motivi, la forza reale del cilindro è pari alla forza teorica ridotta del 10-15%, a seconda di vari fattori.

Il ciclo di lavoro di un cilindro è composto da 4 fasi: partenza, accelerazione, fase costante e ammortizzo; di seguito è riportato l'andamento delle pressioni P1 e P2 nel tempo, per un cilindro a doppio effetto collegato ad un distributore a 5 vie e 2 posizioni (5/2).

P1=pressione atmosferica P2=pressione di rete (Pr)

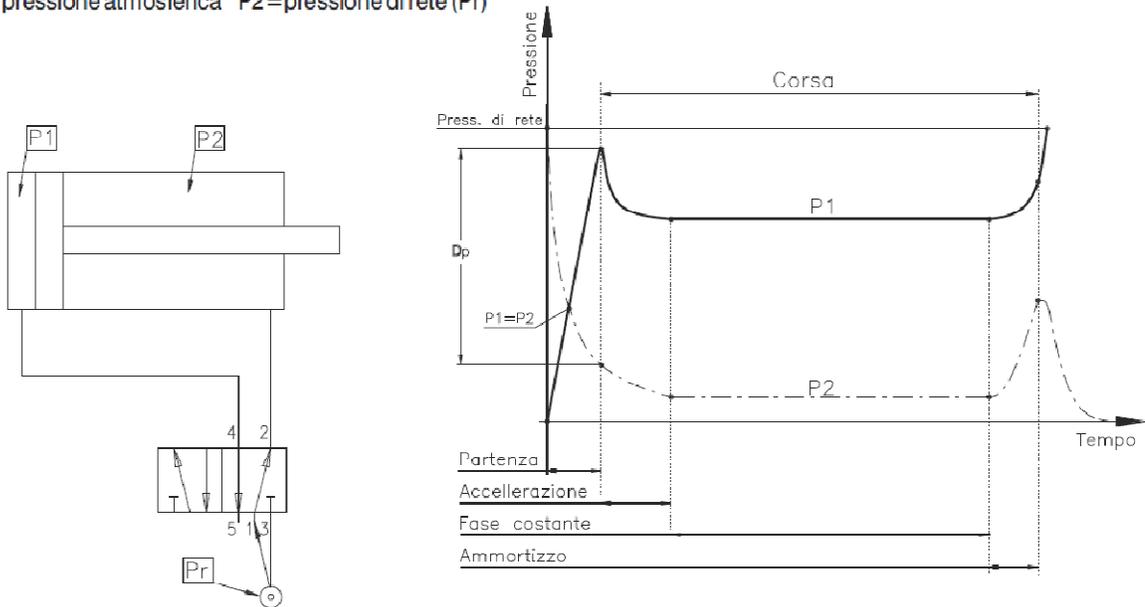


Figura 24

Dal punto di vista dell'applicazione e dell'utilizzo si distinguono due macrotipologie di cilindri:

- a semplice effetto
- a doppio effetto

Un cilindro a semplice effetto sviluppa la spinta in una sola direzione. Lo stelo si riposiziona nella condizione di riposo per mezzo dell'azione di una molla o per l'azione di una forza esterna. Si distinguono, inoltre, in cilindri a semplice effetto in spinta o in trazione. La molla è solitamente dimensionata solo per riposizionare l'equipaggio stelo-pistone, non per vincere ulteriori forze esterne.

Tali componenti sono limitati nella corsa proprio per la presenza della molla che non consente lunghezze illimitate e deve comunque essere alloggiata all'interno del cilindro stesso. Per questi motivi, tranne in casi particolari, sono solitamente di piccolo alesaggio e con corse brevi.

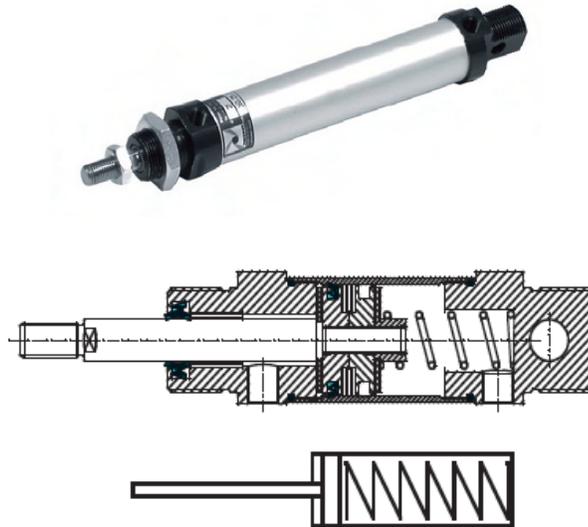
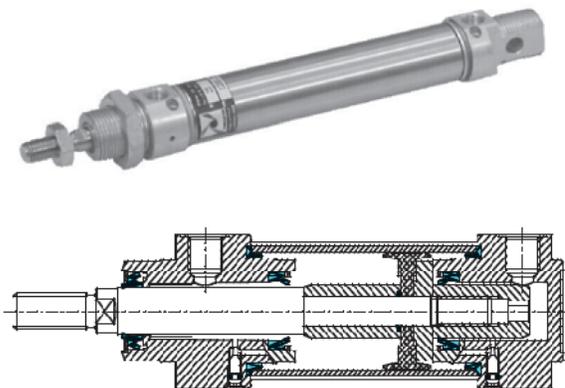


Figura 25

I cilindri a doppio effetto, invece, sviluppano una forza sia in spinta che in trazione, mettendo alternativamente in pressione le due camere a contatto con il pistone.

Le applicazioni sono di diverso tipo ed, in questo caso, il carico può essere vincolato allo stelo. Dimensionando l'apparecchio in maniera corretta è possibile movimentare il carico applicato controllandone facilmente la velocità. Esistono, inoltre, molte altre tipologie di attuatori pneumatici: cilindri a stelo passante, tandem, a più posizioni, ad aste gemellate, senza stelo ecc., per assolvere a funzioni specifiche;

tali dispositivi, pur essendo caratterizzati dallo stesso principio di funzionamento degli attuatori classici, presentano soluzioni costruttive differenti, a seconda dei casi.



Fine corsa

I cilindri pneumatici sono in grado di sviluppare velocità elevate e le forze d'urto al termine della corsa possono essere di notevole entità; il compito di fermare il carico viene affidato in alcuni casi a fine corsa esterni, spesso invece sono le testate stesse ad assolvere il compito di riscontro meccanico di fine corsa.

Il sistema più efficace è sostituito da un cuscino d'aria che frena negli ultimi centimetri la corsa del pistone. Nei cilindri di piccole dimensioni, oppure quando le velocità in gioco non sono elevate, si possono utilizzare rondelle elastiche montate ai lati del pistone.

Ammortizzamento regolabile a cuscino d'aria

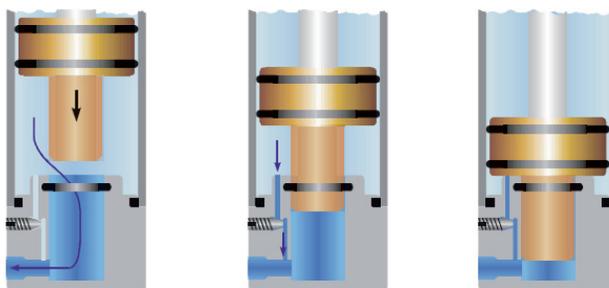


Figura 26

Il disegno rappresenta il pistone mentre percorre la corsa di rientro: si può notare che nella prima immagine a sinistra l'aria in scarico fluisce liberamente dalla camera posteriore del cilindro, verso l'uscita, tramite

l'attacco filettato della testata posteriore. Quando l'ogiva montata sul pistone si impegna con una guarnizione torica, posta sulla testata, viene impedito lo scarico libero dell'aria; si ha quindi una compressione dell'aria contenuta nella camera che viene costretta in direzione di una valvola regolatrice di flusso, prima di ritrovare la via naturale di scarico. Per questo motivo la pressione che si crea agisce sul pistone creando una forza che si contrappone al moto. La velocità diminuisce e l'impatto violento sulla testata del pistone viene notevolmente ridotto.

Si può ottenere la regolazione dell'ammortizzo agendo manualmente sulla valvola regolatrice di flusso.

In fase di inversione del moto la camera messa precedentemente in scarico viene pressurizzata; la guarnizione dell'ammortizzo non effettua tenuta nella direzione opposta, per cui l'aria compressa investe l'intera area del pistone ed è garantita una pronta partenza.

Tuttavia, per un corretto funzionamento del cilindro, bisogna verificare che la capacità di assorbimento sia in grado di decelerare il carico; a partire dalla massa in movimento e dalla velocità di traslazione dei componenti in moto si può ricavare l'energia cinetica, utilizzando la seguente formula:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 ;$$

Il valore calcolato va a questo punto confrontato con i dati tecnici forniti dai costruttori sui cataloghi, per la verifica della corretta condizione di funzionamento.

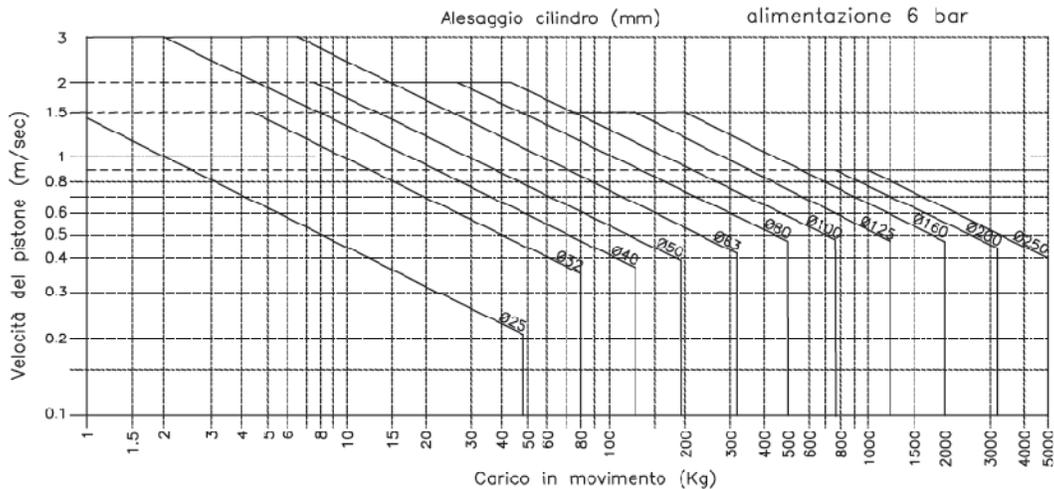


Figura 27

Nella figura precedente è riportato un diagramma per la verifica della capacità di ammortizzo dei cilindri pneumatici (realizzato dalla Pneumax), alla pressione di alimentazione di 6 bar, in funzione del diametro cilindro, della velocità del pistone e del carico in movimento. In questi diagrammi, tutti i punti riferiti a massa e velocità che si trovano all'interno dell'area compresa per il cilindro considerato, sono da considerarsi valori corretti che garantiscono un buon funzionamento dell'ammortizzo.

In fase di scelta del cilindro, inoltre, va tenuto in considerazione il carico di punta, soprattutto nel caso di cilindri snelli. Sui cataloghi dei costruttori sono forniti dei diagrammi per la verifica in funzione del diametro dello stelo, della forza e della lunghezza ammissibile di pressoflessione.

Segnalazione di fine corsa

Quando un cilindro pneumatico ha effettuato la propria corsa, soprattutto nei casi di sistemi caratterizzati da un certo grado di automazione, è necessario segnalare l'avvenuta operazione inviando un segnale per autorizzare una successiva fase di lavoro di una macchina.

Allo scopo esistono alcuni metodi di segnalazione che definiremo "reali" oppure "virtuali".

Segnalazione reale:

- Nello stantuffo interno al cilindro viene inserito un magnete permanente che emette verso l'esterno un flusso magnetico; un sensore, posto sulla testata, rileva il flusso non appena il pistone è in prossimità del sensore stesso ed invia un segnale elettrico di fine corsa. Il materiale della camicia, ovviamente, deve essere amagnetico.
- Lo stelo del cilindro aziona meccanicamente un contatto elettrico od una valvola pneumatica per generare il segnale di fine corsa.

Segnalazione virtuale:

Si assume come condizione lo stato nel quale si troverebbe la camera in scarico di un cilindro qualora avesse effettuato la corsa completa, quindi pressione relativa prossima allo zero. Questa condizione viene riconosciuta da una valvola che provvede ad inviare un segnale pneumatico per operazione avvenuta. Tale condizione, però, può manifestarsi anche quando il pistone non ha completato la corsa ed è fermo a causa di fattori esterni che ne bloccano l'avanzamento. In questo caso la valvola genera un segnale non corretto.

I dispositivi più comuni utilizzati per la segnalazione di fine corsa sono i sensori di fine corsa magnetici, i sensori ad ampolla reed ed i sensori ad effetto di Hall.

Per la rappresentazione di componenti e la realizzazione di schemi pneumatici si utilizzano dei simboli appositi. Nella figura seguente sono riportati i simboli per la rappresentazione di cilindri pneumatici;

Cilindri semplice effetto

ritorno con forza esterna	
ritorno con molla	

Cilindri con bloccastelo

con pistone magnetico con ammortizzamenti regolabili	
con pistone non magnetico con ammortizzamenti regolabili	

Cilindro doppio effetto

stelo semplice	
stelo doppio (passante)	
con ammortizzamenti non regolabili	
con ammortizzamenti regolabili	
con pistone magnetico	
con pistone magnetico con ammortizzamenti regolabili	

Cilindri senza stelo

con pistone magnetico con ammortizzamenti regolabili	
Cilindri a fune con pistone magnetico	
Cilindri a fune con pistone non magnetico	

Cilindri montati in tandem

in spinta stelo comune	
in spinta steli indipendenti	
steli contrapposti	
contrapposti stelo comune	

Cilindri telescopici

semplice effetto	
doppio effetto	

Cilindri vari

Cilindri rotanti	
Cilindri ad angolo di rotazione limitato	
Cilindri a soffiutto	

Cilindri non rotanti

doppio effetto stelo semplice	
doppio effetto asta doppia	
doppio effetto asta doppia stelo passante	
doppio effetto asta doppia passante	
Cilindri compatti guidati	

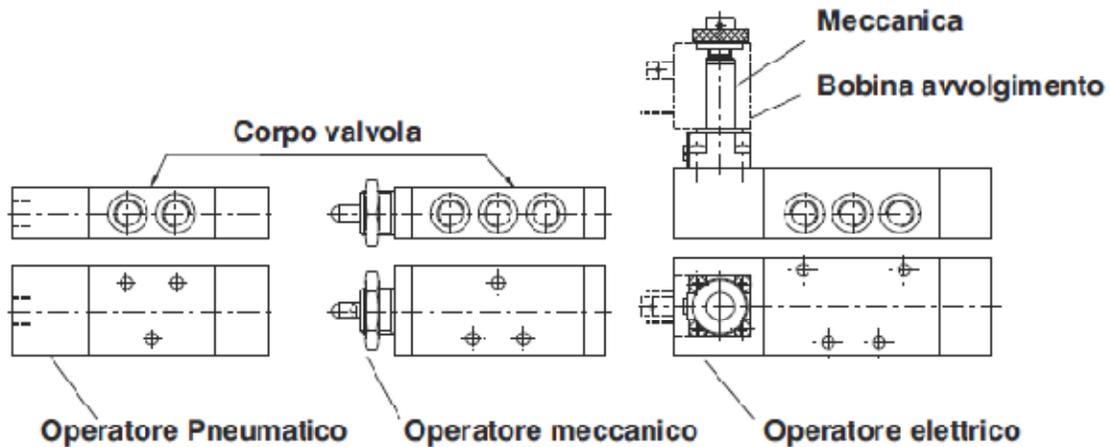
Moltiplicatori di pressione

aria / aria	
aria / olio	
accumulatore oleopneumatico	

Figura 28

Valvole

In pneumatica la valvola è quel dispositivo che intercetta e distribuisce l'aria compressa o ne regola il flusso.



Si possono raggruppare in tre famiglie:

- **valvole di intercettazione:** bloccano o cambiano il flusso dell'aria compressa in base alle necessità
- **valvole di regolazione:** variano il flusso dell'aria compressa in base alle necessità regolando pressione e/o portata
- **valvole di distribuzione:** deviano il flusso dell'aria compressa senza variare ne pressione e ne portata.

Le valvole di distribuzione sono composte da due parti: quella operativa di distribuzione dell'aria (il corpo valvola), e quella di comando (l'operatore) che aziona la prima e fa da tramite tra l'utilizzatore ed il dispositivo pneumatico comandato (un cilindro ad esempio).

Tali valvole si differenziano, principalmente, per numero di vie, numero di posizioni e tipi di azionamento. Il numero di vie rappresenta il numero di attacchi presenti sul corpo valvola, escludendo quelli dedicati ai comandi. Il numero di posizioni, invece, è quello che la valvola può assumere quando azionata dai comandi, compresa la posizione di riposo. Nei cataloghi vengono definite con 2 numeri ad indicare rispettivamente il numero di vie e il numero di posizioni: in questo modo, ad esempio, una valvola con 5 vie e 2 posizioni, viene catalogata come valvola 5/2.

Le valvole, inoltre, in base alla tipologia di realizzazione si distinguono in valvole ad otturatore e valvole a spola:

Le valvole ad otturatore, come si può osservare nella figura sono caratterizzate da una tenuta frontale senza organi in strisciamento. Il sistema di tenuta è costituito da un disco provvisto di guarnizione che si stacca assialmente da una sede valvola, mettendo in comunicazione le vie della valvola.

Le forze di azionamento sono deboli quando la valvola non è alimentata, ma aumentano all' aumentare della pressione.

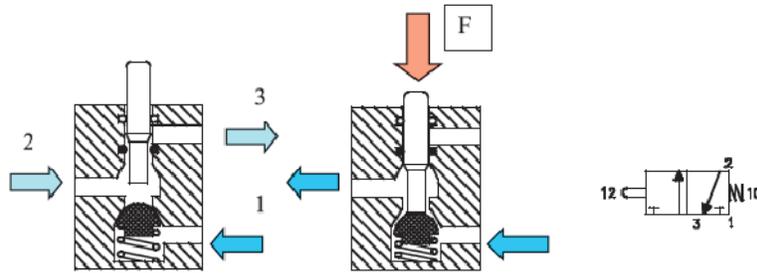


Figura 29

Le valvole a spola, invece, utilizzano un albero, opportunamente sagomato, che scorre all'interno di un corpo valvola, equipaggiato di guarnizioni che sono tenute in sede da appositi distanziali. Sul corpo valvola vengono ricavati gli attacchi filettati delle corrispondenti vie. Nella figura successiva è riportato lo schema di funzionamento di una valvola a spola, con 3 vie e 2 posizioni.

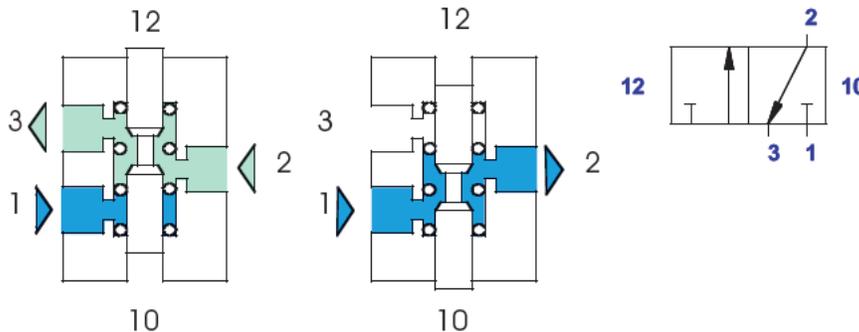


Figura 30

La figura a sinistra mostra la valvola a riposo con prevalenza del comando 10, quella a destra, invece, la mostra azionata con prevalenza del segnale 12. Si può inoltre notare che la pressione agisce sempre in maniera ortogonale alla spola ed in questo modo, le forze di azionamento necessarie per commutare la valvola sono sempre le stesse indipendentemente dalla

pressione di alimentazione. Per questo motivo sono chiamate a spola bilanciata.

Gli operatori sono la parte di comando della valvola e possono essere di azionamento (commutazione della valvola) o riposizionamento (rimessa in condizione di riposo della valvola).

In base alla tipologia del segnale di azionamento si possono suddividere in operatori meccanici/manuali, pneumatici ed elettropneumatici.

I primi sono costituiti da leve, rulli, pulsanti, pedali, ecc..., ed agiscono direttamente sul sistema interno di distribuzione dell'aria.

Gli operatori pneumatici, invece, sono utilizzati quando non è possibile comandare direttamente la valvola; sono costituiti da un pistone che fa traslare il sistema interno di distribuzione dell'aria e viene azionato da un impulso pneumatico a distanza.

Gli operatori elettropneumatici sono operatori che ricevono un segnale di tipo elettrico e lo trasformano in uno pneumatico di comando. Di seguito è riportato un disegno costruttivo di una elettrovalvola a comando diretto.

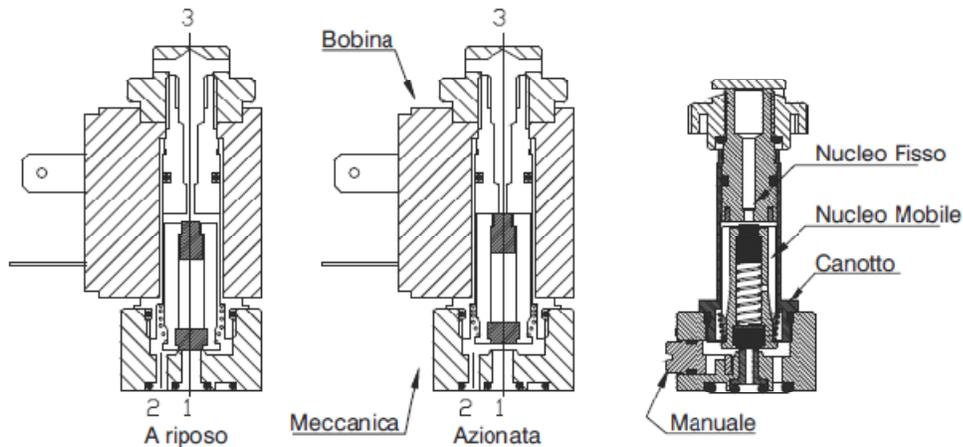


Figura 31

Tali elettrovalvole sono adatte per portate ridotte; per portate elevate sarebbe necessaria una sezione di passaggio maggiore e di conseguenza una bobina caratterizzata da una potenza di comando eccessiva; per tale motivo, nel caso di valvole grandi, si può utilizzare un sistema che permette di amplificare il flusso di aria utilizzando una valvola ad azionamento diretto come elemento di pilotaggio, ed una valvola azionata pneumaticamente come elemento amplificatore.

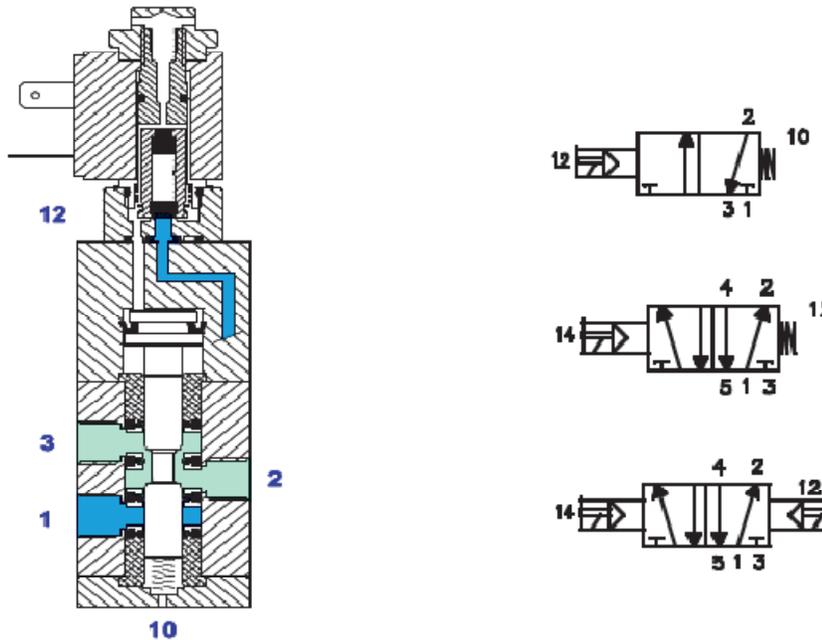


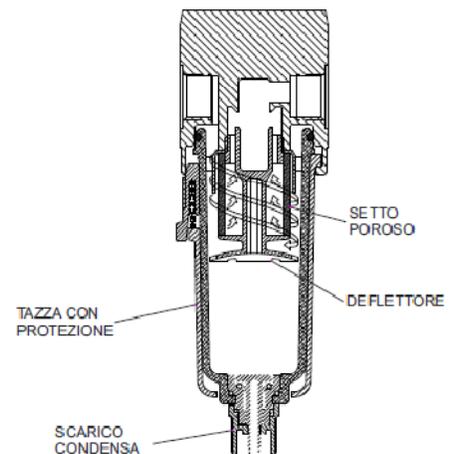
Figura 32

Gruppi FRL

Una volta distribuita, l'aria compressa, necessita di un successivo trattamento allo scopo di renderla idonea alle apparecchiature pneumatiche che andrà ad alimentare.

Un gruppo completo di trattamento aria è costituita da un filtro, un regolatore di pressione e in alcuni casi da un lubrificatore;

I filtri hanno la funzione di eliminare dall'aria compressa eventuali particelle solide e l'umidità condensata. Tali componenti sono generalmente costituiti da un corpo filtrante, una tazza, un dispositivo di scarico della condensa (automatico o manuale) e un sistema di collegamento alla rete di aria compressa, solitamente mediante fori filettati. L'aria viene fatta passare attraverso un elemento filtrante composto da materiale poroso che trattiene le rimanenti impurità. La dimensione delle particelle che il setto poroso riesce a trattenere, definisce la soglia di filtrazione del filtro: 5µm - 20µm - 50µm.

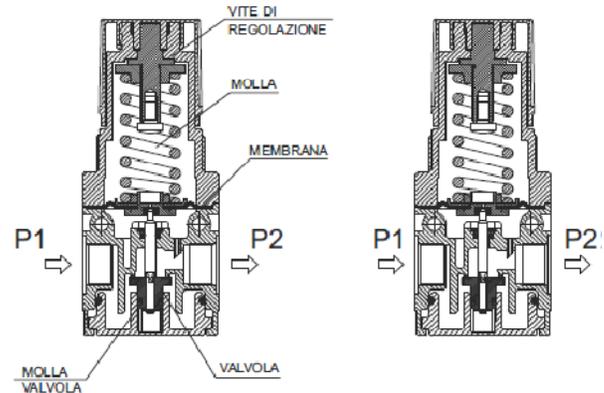


Un altro tipo di filtro, a doppia azione filtrante e chiamato filtro a coalescenza, è capace di togliere all'aria le particelle solide organiche ed inorganiche al 99,7% e di favorire l'agglomerazione delle particelle liquide fino a formare delle gocce che precipitano sul fondo del bicchiere.

Il regolatore di pressione è un dispositivo che consente di ridurre, regolare e stabilizzare la pressione dell'aria a disposizione in rete, adattandola alle esigenze degli apparecchi da alimentare.

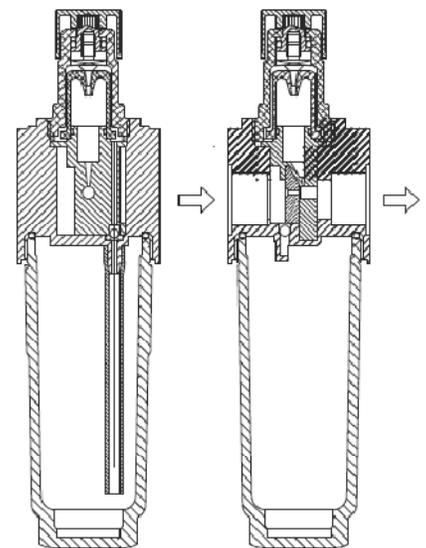
L'aria compressa, sia nei serbatoi che nelle reti di distribuzione è soggetta a continue oscillazioni di pressione, dovute agli assorbimenti incostanti dell'utenza e alle intermittenze di funzionamento dei compressori;

la regolazione della pressione mediante regolatori, oltre a ridurre la pressione di alimentazione in base alle esigenze degli utilizzatori, permette anche di livellare le oscillazioni.



In normali condizioni di impiego molti componenti pneumatici non richiedono lubrificazione supplementare. In casi specifici, compatibilmente con la normativa relativa al contenuto di olio nell'aria compressa e descritta nel capitolo precedente, risulta necessario l'impiego del lubrificatore. Questo dispositivo, durante l'utilizzo dell'aria, immette costantemente olio nebulizzato in circolo, che in parte va a depositarsi sulle superfici in strisciamento dei componenti pneumatici. Va montato possibilmente vicino ai componenti utilizzatori, evitando depositi di olio nei tubi/curve di collegamento.

Solitamente tali componenti sono modulari e possono formare un solo gruppo, chiamato gruppo di condizionamento FRL (Filtro-Regolatore-Lubrificatore).



4 Prototipo per prove sperimentali

Introduzione:

La realizzazione della macchina ha richiesto una prima fase per la valutazione dei principali requisiti e vincoli. Le prime considerazioni fatte riguardano sicuramente le varietà e le tipologie di impasti con cui la macchina deve interagire, il volume di ricarica degli impasti, il layout dei componenti, i materiali compatibili e il sistema di azionamento dei componenti.

Relativamente al discorso delle tipologie degli impasti, va considerato che tale macchina è “pensata” come sistema sostitutivo del sac à poche; questo strumento viene normalmente utilizzato in diverse tipologie di applicazioni e con una grande varietà di impasti, caratterizzati da viscosità anche molto diverse. Per questo motivo è stato scelto di effettuare un dimensionamento dei componenti sulla base di dati sperimentali, analizzando in modo particolare gli impasti più “critici”, caratterizzati da maggiore viscosità.

A tale scopo, nella prima fase di studio, è stato realizzato un prototipo di partenza; successivamente, in base ai test ed ai dimensionamenti effettuati, sono stati analizzati i punti critici e si è cercato di ottimizzarli, mantenendo invariate gran parte delle caratteristiche tecniche e geometriche.

Componenti e Lay-out:

Il prototipo realizzato è costituito essenzialmente da un cilindro pneumatico a doppio effetto (1) per generare la spinta sull'impasto, un cilindro in acciaio inox (2), uno stantuffo, un tubo flessibile in PVC con rinforzo interno (3), un dosatore (4), un pannello di controllo (5), una valvola pneumatica ad azionamento manuale (6), due regolatori di pressione con rispettivi manometri (7) ed altri componenti pneumatici. Nella figura seguente è riportato un disegno di assieme del prototipo, realizzato con il programma Solidworks.

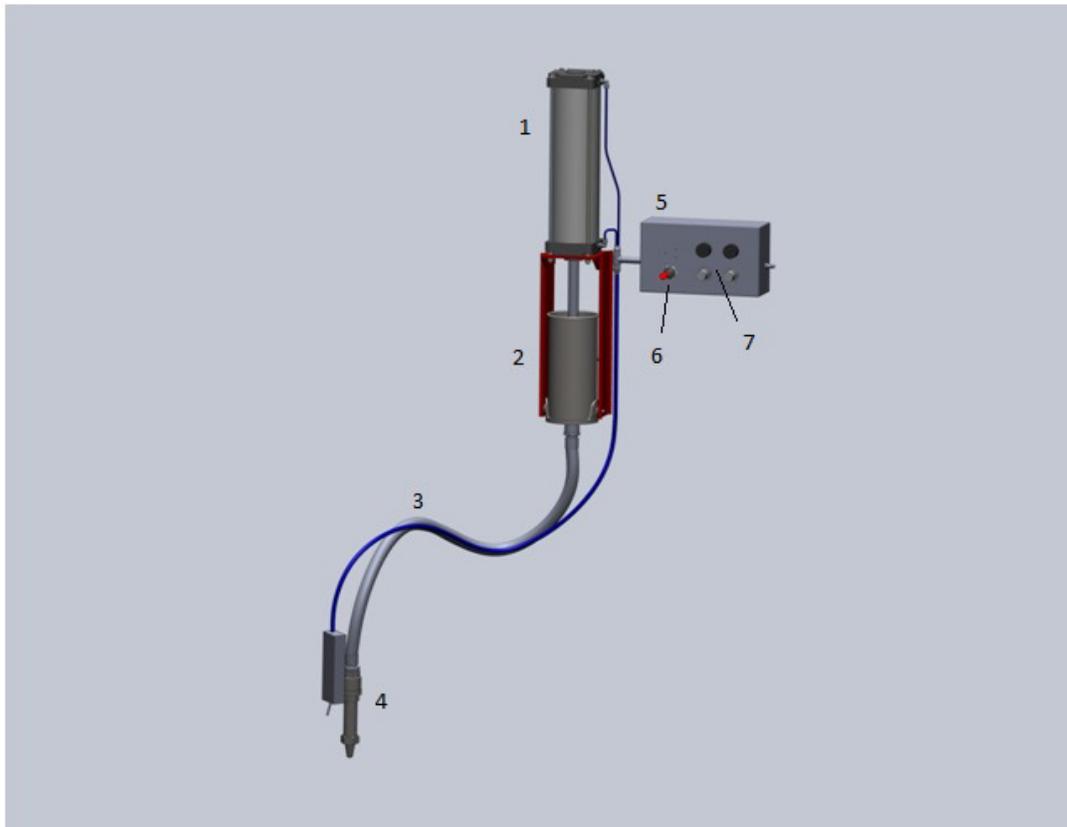


Figura 34

Il principio di funzionamento è relativamente semplice; il cilindro a doppio effetto grande (1) ha il compito di generare la spinta necessaria al prodotto per garantirne l'erogazione; il prodotto da erogare viene immesso all'interno del cilindro in acciaio inox, e la spinta viene garantita da uno stantuffo, collegato mediante un pezzo di fissaggio allo stelo del cilindro grande, su cui è alloggiata una tenuta a "V" in silicone per uso alimentare. Quando il cilindro viene svuotato completamente, lo stantuffo si può disimpegnare dal cilindro stesso, mediante l'azionamento di una valvola, e si può effettuare la ricarica dell'impasto. Il moto del cilindro a doppio effetto viene gestito azionando una valvola manuale a 5 vie e 3 posizioni; un regolatore di pressione, posto a monte di tale valvola, consente una facile gestione della forza che il cilindro esercita sull'impasto, garantendo la portata desiderata all'erogatore.

L'erogatore è costituito da una valvola a sfera in acciaio inossidabile, azionata da un cilindro a doppio effetto, un box contenente il cilindro stesso, un manico per l'afferraggio e un sistema di fissaggio rapido per i

beccucci conici. Tali beccucci sono di misure standard e si differenziano tra loro per il foro di erogazione, che è diverso in funzione del tipo di forma da realizzare durante l'utilizzo. Un interruttore, posto sull'erogatore, comanda l'apertura e la chiusura della valvola a sfera attraverso un cilindro pneumatico ed una elettrovalvola pneumatica a 5 vie e 2 posizioni.

Poiché il controllo dell'erogazione deve essere pronto, in quanto la macchina può essere utilizzata spesso per il dosaggio di piccoli quantitativi, è stato necessario integrare la valvola di apertura e chiusura direttamente nell'erogatore. Ponendo una valvola di chiusura e apertura a monte del tubo flessibile, si assisterebbe ad una fuoriuscita indesiderata di prodotto dopo la chiusura della valvola stessa; questo effetto è dovuto alla espansione del prodotto, che è in pressione nel tubo flessibile durante la fase di erogazione.

Il punto critico della macchina, quindi, risulta essere proprio l'erogatore; se da un lato deve essere fatto in modo che garantisca l'afferraggio da parte dell'operatore, il fissaggio dei beccucci conici, un sistema di fissaggio rapido al tubo flessibile e il comando e la gestione del flusso del prodotto, dall'altro lato va tenuto in considerazione che non deve essere pesante perché è tenuto tra le mani dell'operatore e deve garantire una agevole movimentazione durante il suo utilizzo.

All'interno del pannello di controllo sono alloggiati 2 filtri per l'aria compressa, la valvola pneumatica manuale a 3 posizioni per la gestione del cilindro grande, la valvola a 2 posizioni per la gestione del cilindro di comando della valvola a sfera, e 2 regolatori di pressione con rispettivi manometri, per la regolazione della pressione di alimentazioni dei rispettivi cilindri, in funzione del tipo di utilizzo della macchina.

Di seguito è riportato lo schema dell'impianto pneumatico realizzato con il software Pneufliud:

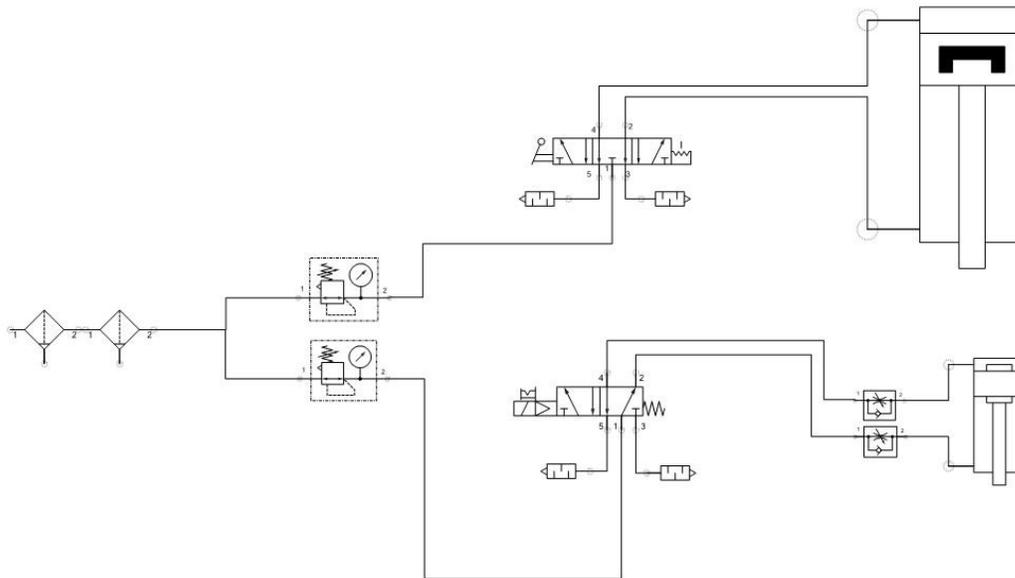


Figura 35

La valvola per la gestione del cilindro grande, come si può osservare nello schema sopra, è comandata manualmente da una leva ed assume 3 posizioni stabili. Nella fase di lavoro viene posizionata verso il basso e il cilindro genera la spinta sull'impasto; nella posizione centrale si annulla la pressione nelle camere del cilindro e lo stelo rimane fermo; per poter effettuare la ricarica dell'impasto nel cilindro in acciaio inox, invece, la leva viene posizionata verso l'alto e lo stantuffo si disimpegna dal cilindro stesso.

Per la gestione del cilindro pneumatico che aziona la valvola a sfera, invece, è stata utilizzata una elettrovalvola instabile a 5 vie e 2 posizioni. Tale componente viene spostata nella posizione instabile quando riceve un segnale elettrico dall'interruttore posto sul dosatore. Appena l'interruttore viene rilasciato l'elettrovalvola si sposta nella posizione di riposo e la valvola a sfera viene chiusa dal cilindro pneumatico, mediante un cinematismo biella-manovella. Questa configurazione garantisce un ottimo controllo sul flusso degli impasti e garantisce una rapida chiusura della valvola a sfera al rilascio dell'interruttore.

Si può osservare, inoltre, che sono stati inseriti 2 regolatori di flusso manuali sul cilindro, a monte dell'alimentazione di aria compressa, per la gestione della valvola a sfera; tali componenti, associati al regolatore di

pressione a monte, garantiscono il controllo ottimale della velocità di traslazione dello stelo del cilindro stesso, permettendo una comoda regolazione dall'operatore della forza e dei tempi di apertura e chiusura della valvola;

Nella figura seguente è riportato il disegno del sistema biella-manovella di apertura della valvola a sfera; si vede, inoltre, il corpo valvola, i regolatori di flusso sul cilindro pneumatico, il manico di afferraggio, l'interruttore e il sistema per il fissaggio della bocchetta conica. Per una rappresentazione d'insieme più comprensiva è stata modificata la trasparenza del box, rendendo visibile la parte interna.

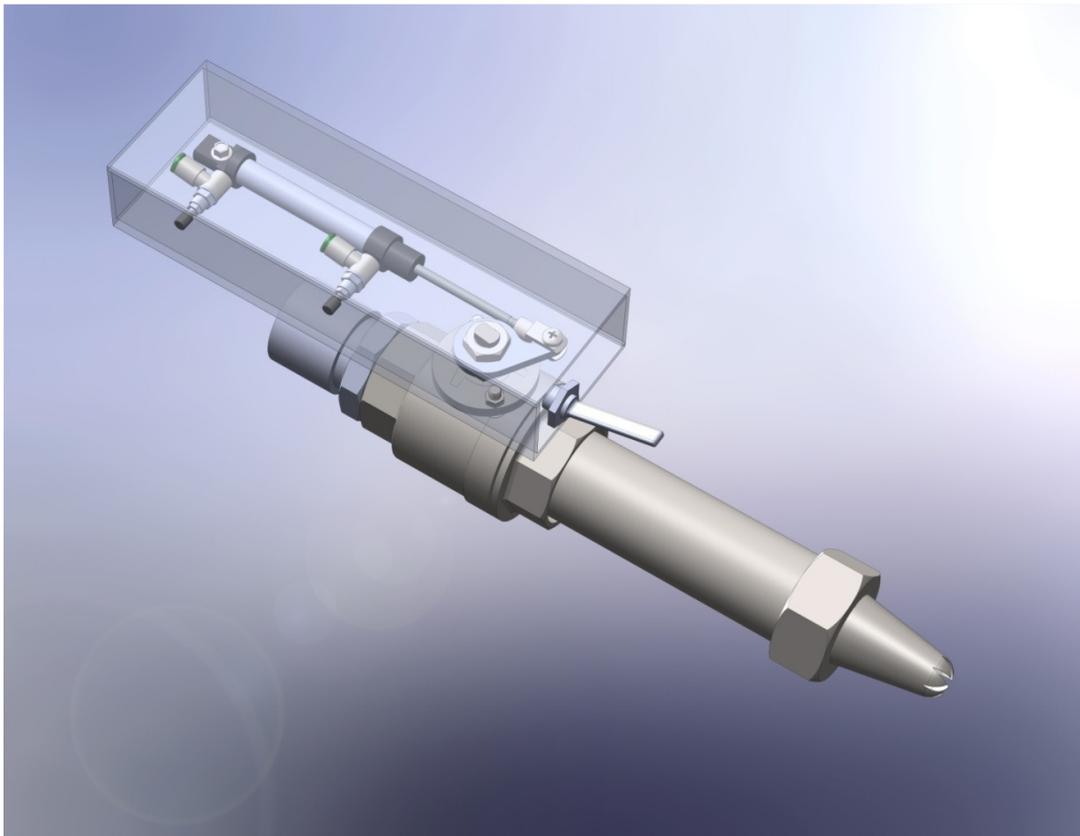


Figura 36

La valvola a sfera è una valvola commerciale in acciaio inossidabile (AISI 316); anche il manico per l'afferraggio e gli altri componenti sono stati realizzati in acciaio inossidabile, a partire da componenti commerciali.

Come anticipato precedentemente, tali componenti sono stati realizzati solo allo scopo di realizzare un prototipo di prova ed effettuare un dimensionamento di massima dei principali componenti. Per questo motivo alcuni fattori importanti, quali peso complessivo del dosatore, ergonomia e semplicità nelle operazioni di smontaggio e sanificazione sono stati tralasciati. Tali fattori, ovviamente, sono stati considerati nel progetto definitivo della macchina, e saranno indicati nel prossimo capitolo.

Dimensionamento e risultati

Per il dimensionamento dei componenti si è fatto riferimento innanzitutto al volume di impasto utile per ogni ricarica; è stato scelto un volume pari a circa 5 litri, in base a considerazioni sui costi dei componenti, sulle forze in gioco e sulla comodità d'uso; aumentando la capacità di ogni ricarica, ovviamente, diminuiscono i tempi spesi per le operazioni di ricarica stessa durante l'utilizzo. D'altro canto, però, un volume di ricarica eccessivo comporta la necessità di componenti più grandi e costosi, scomodi anche per le fasi di lavaggio e sanificazione.

Si è scelto, quindi, di utilizzare un cilindro in acciaio inox con diametro interno pari a 140 mm e altezza pari a 330 mm, per un volume complessivo di 5,08 litri.

Gli altri parametri considerati, fondamentali per un corretto dimensionamento della macchina, sono l'alesaggio del cilindro pneumatico, il diametro interno e la lunghezza complessiva del tubo flessibile. Per quanto riguarda il tubo flessibile, come rappresentato nella figura seguente, è stato scelto un tubo in PVC per uso alimentare di 25 mm (diametro interno), con rinforzo interno, idoneo per pressioni di esercizio fino a 8 bar. Tale scelta risponde all'esigenza di avere un tubo per la distribuzione degli impasti molto flessibile e con diametri non troppo ridotti, per non aumentare molto le forze in gioco. Sono state eseguite ulteriori prove con tubi della stessa tipologia, ma con diametri interni di 19 e 30 mm, ma è stata riscontrata una eccessiva perdita di carico per gli impasti più viscosi nel primo caso, ed una ridotta flessibilità del tubo nel secondo. La lunghezza

del tubo è stata fissata ad un valore di 130 cm in modo da garantire un buon compromesso tra la flessibilità del tubo e le perdite di carico;

Per quanto riguarda il cilindro pneumatico che imprime la spinta sugli impasti, è stato utilizzato in primo approccio un cilindro con alesaggio 100 mm e corsa 350 mm. Per tale cilindro la forza teorica, in fase di uscita dello stelo e con una pressione di 7 bar, vale:

$$F_t = p \cdot A = p \cdot \left(\frac{D^2}{4} \cdot \pi \right) = (7 \cdot 10^5) \cdot \left(\frac{0.1^2}{4} \pi \right) N \approx 5498 N$$

Tale cilindro è risultato sufficiente per garantire la spinta e la portata di creme e impasti meno viscosi, ma non compatibile con impasti caratterizzati da una maggiore viscosità (ad esempio la pasta di mandorle).

E' stato quindi effettuato un ulteriore test con un cilindro di alesaggio pari a 125 mm; in questo modo la forza teorica sviluppata, a parità di pressione, vale:

$$F_t = p \cdot A = p \cdot \left(\frac{D^2}{4} \cdot \pi \right) = (7 \cdot 10^5) \cdot \left(\frac{0.125^2}{4} \pi \right) N \approx 8590 N$$

Con questa configurazione è stata garantita la portata di impasto minima, in fase di erogazione, anche per impasti più viscosi.

Le prove sono state effettuate con 3 tipologie di prodotti: la pasta di mandorle, la crema e la pasticceria da tè. Di seguito sono riportate le pressioni di esercizio (relative al cilindro pneumatico che genera la spinta degli impasti) e le portate erogate in funzione delle tipologie di impasti presi in considerazione. Come accennato precedentemente, sono stati scelti tali prodotti per il dimensionamento perché sono caratterizzati da maggiore viscosità;

	Pressione di esercizio	Portata erogata
Pasta di mandorle	6.1 bar	16 ml/s
Crema	4.2 bar	20 ml/s
Pasticceria da tè	3.8 bar	20 ml/s

5 Il progetto della macchina

Introduzione

I risultati e i dimensionamenti effettuati durante le fasi di progetto e di prove del prototipo, descritto al capitolo precedente, sono il punto di partenza del progetto della macchina definitiva, oggetto del presente studio. In base ai risultati ottenuti sono state fatte delle considerazioni relative a vari fattori, quali ergonomia, funzionalità, lay-out generale della macchina e dei componenti, semplicità nelle operazioni di montaggio, smontaggio, lavaggio e sanificazione, peso dell'erogatore ecc..

Sono stati effettuati, quindi, dei miglioramenti in tale senso ed è stata realizzata una macchina compatibile con i requisiti imposti nella fase iniziale dello studio. Le modifiche apportate sono diverse, tuttavia i parametri geometrici principali (alesaggio e corsa del cilindro pneumatico che genera la spinta sugli impasti, diametro del cilindro che contiene gli impasti, diametro e tipologia del tubo flessibile) sono rimasti invariati per garantire il funzionamento della macchina stessa, come nelle condizioni di prova.

Per quanto riguarda il layout, è stata completamente modificata la struttura, il pannello di controllo è stato integrato nella macchina stessa ed è stato realizzato un box in acciaio inossidabile che contiene l'attuatore pneumatico grande e altri componenti pneumatici.

Si sono presentate notevoli difficoltà per la realizzazione dell'erogatore, dovute soprattutto all'esigenza di far assolvere molteplici funzioni ad un unico componente. Tuttavia, dopo più riprogettazioni, si è giunti ad una soluzione ottimale che garantisce la compatibilità con gli obiettivi iniziali e un buon compromesso tra le funzionalità e il peso complessivo, pari ad 1 kg.

La struttura e i componenti

Analizzando i punti critici del prototipo, sono state stabilite le prime modifiche necessarie per rispettare gli obiettivi preposti. In primo luogo è stato scelto di modificare la modalità di ricarica dell'impasto, per facilitare le operazioni di ricarica stessa. Nel prototipo iniziale il cilindro e il tampone che lo collega al tubo flessibile sono saldati in un unico componente, come illustrato nel capitolo precedente. Per le operazioni di ricarica, con tale

sistema, è necessario disimpegnare lo stantuffo di spinta dal cilindro. La modifica effettuata consiste in un sistema scomponibile cilindro-tampone, con accoppiamento mediante un sistema di due tiranti filettati, come mostrato nella figura 1 ;

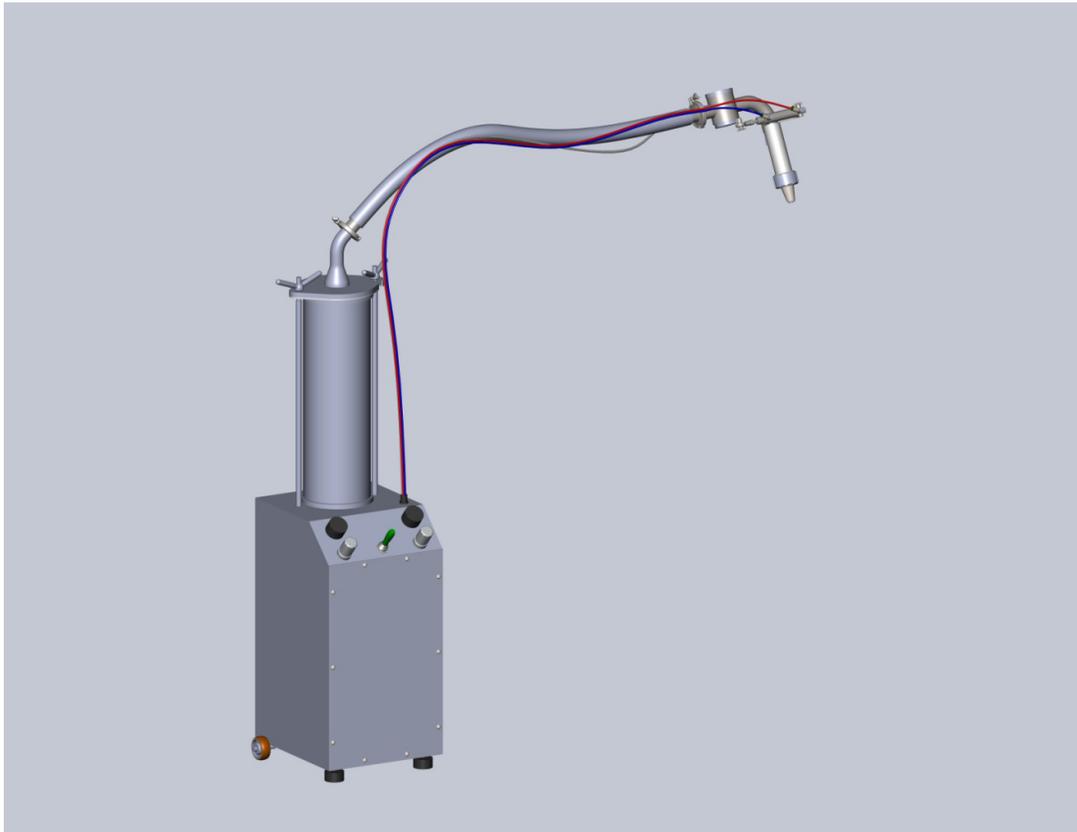


Figura 37

Tale configurazione permette la ricarica dell'impasto in modo semplice e veloce. Il tampone, inoltre, è stato disegnato in modo da garantire la rotazione intorno ad un solo tirante allo scopo di facilitare ulteriormente le operazioni di ricarica. Come si può osservare nella Figura 2, per effettuare la ricarica basta allentare il serraggio delle maniglie e il tampone può ruotare intorno al tirante sinistro, senza la necessità di smontaggio completo del tampone stesso.

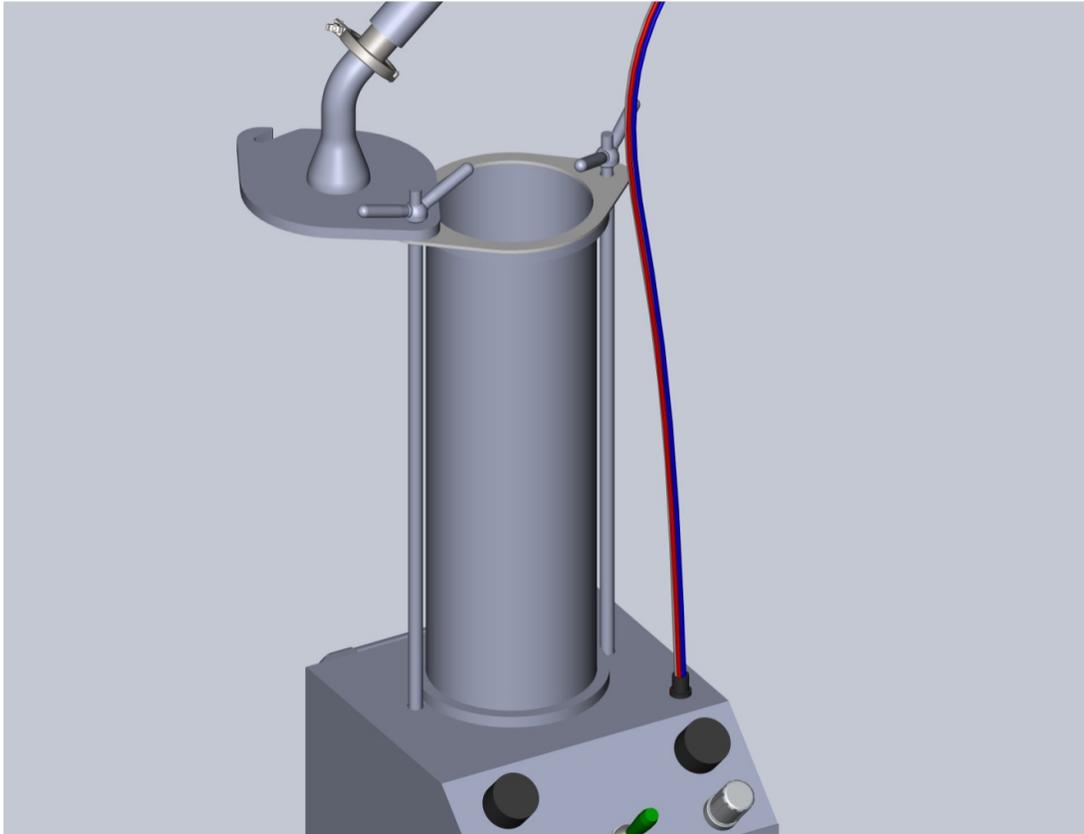


Figura 38

Per quanto riguarda la struttura della macchina, il box è stato realizzato in acciaio inossidabile a partire da fogli di lamiera. I disegni delle lamiere sono stati fatti usando il software Solidworks; successivamente tali disegni sono stati convertiti in file DWG e sono stati consegnati ad una officina meccanica che ha provveduto ad eseguire il taglio mediante una macchina a taglio Laser.

Dopo aver effettuato il taglio, sono state eseguite le operazioni di piegatura dei bordi, e della parte superiore; lo spessore è pari a 4 mm nel caso della lamiera inferiore, ed 1,5 mm per le restanti.

Di seguito sono riportate le immagini dei disegni delle lamiere utilizzati per il taglio:

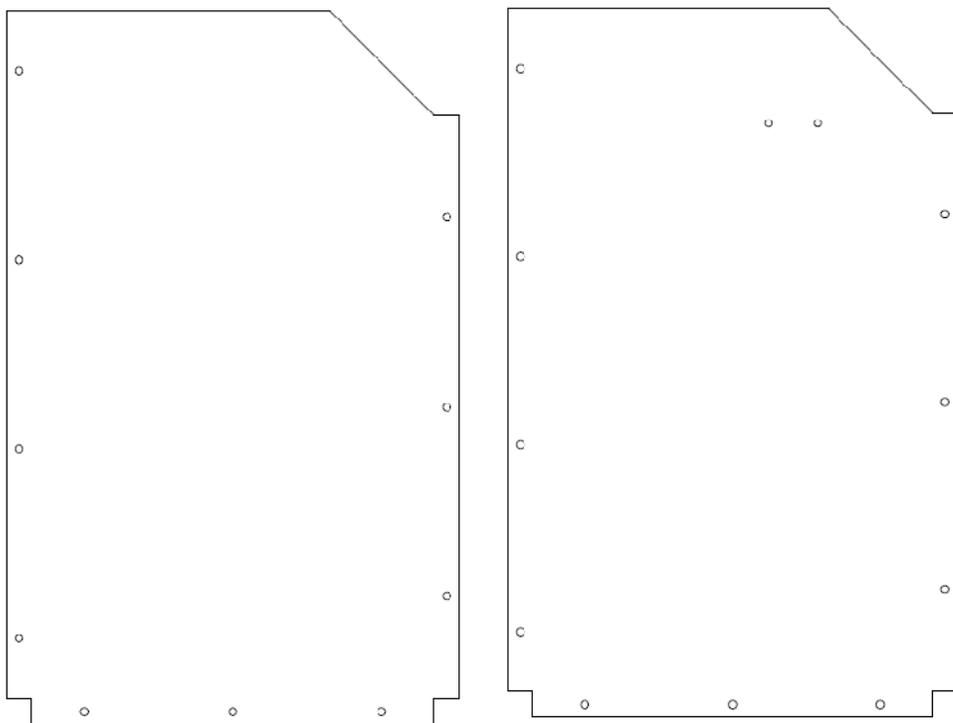


Figura 39: disegni delle lamiere sinistra e destra

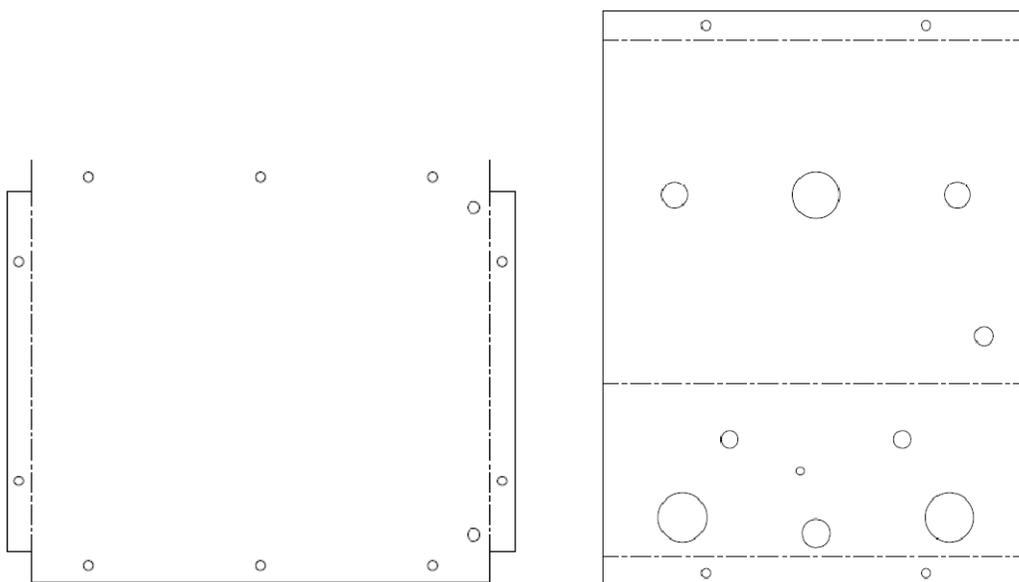


Figura 40: Disegni delle lamiere inferiore e superiore

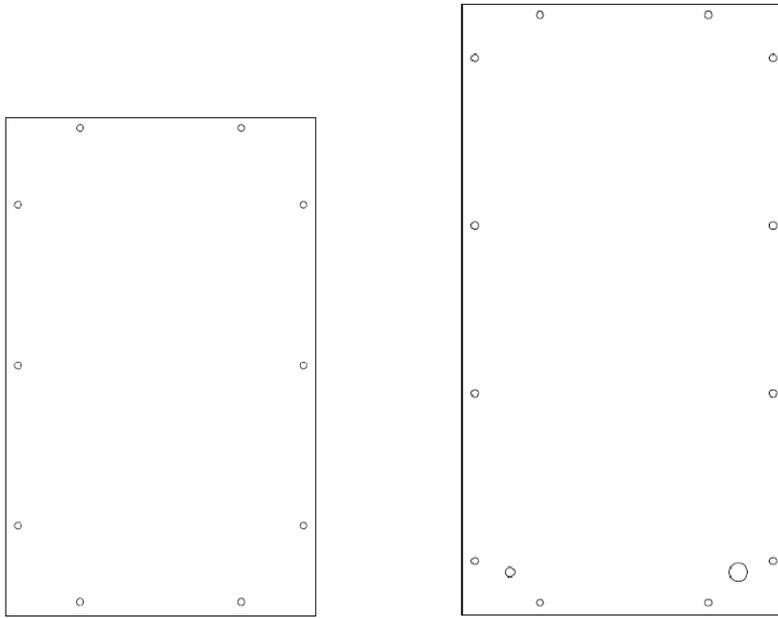


Figura 41: disegni delle lamiere anteriore e posteriore

Nella Figura 6, inoltre, è riportata una vista esplosa del box.

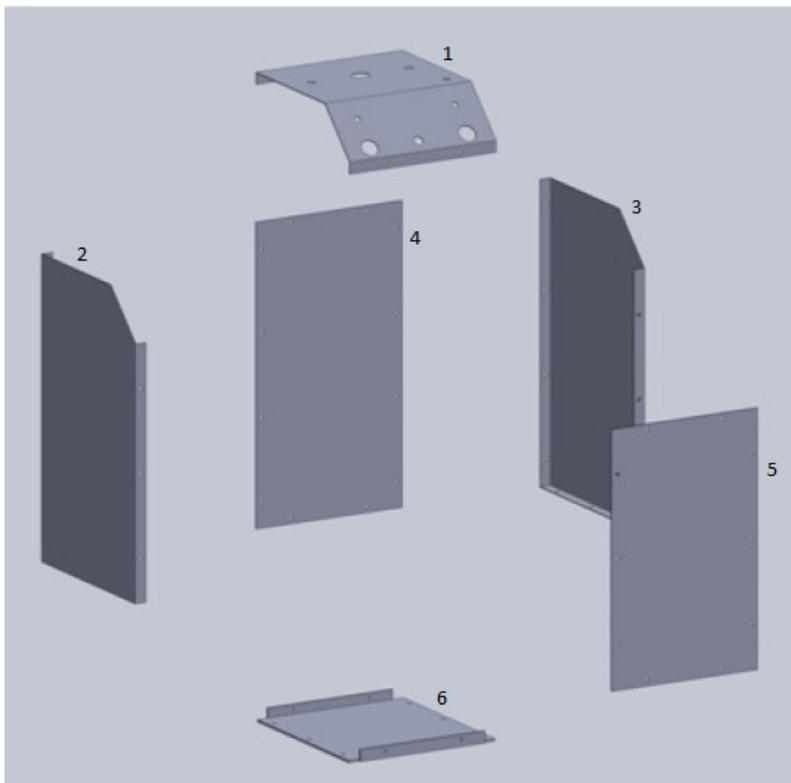


Figura 42: Vista esplosa lamiere (1: superiore, 2: sinistra, 3: destra, 4: posteriore, 5: anteriore, 6: inferiore)

Le parti 1-2 e 2-3 della Figura 6 sono accoppiate mediante saldature; tutti gli altri accoppiamenti, invece, sono realizzati mediante bulloni.

Il dosatore

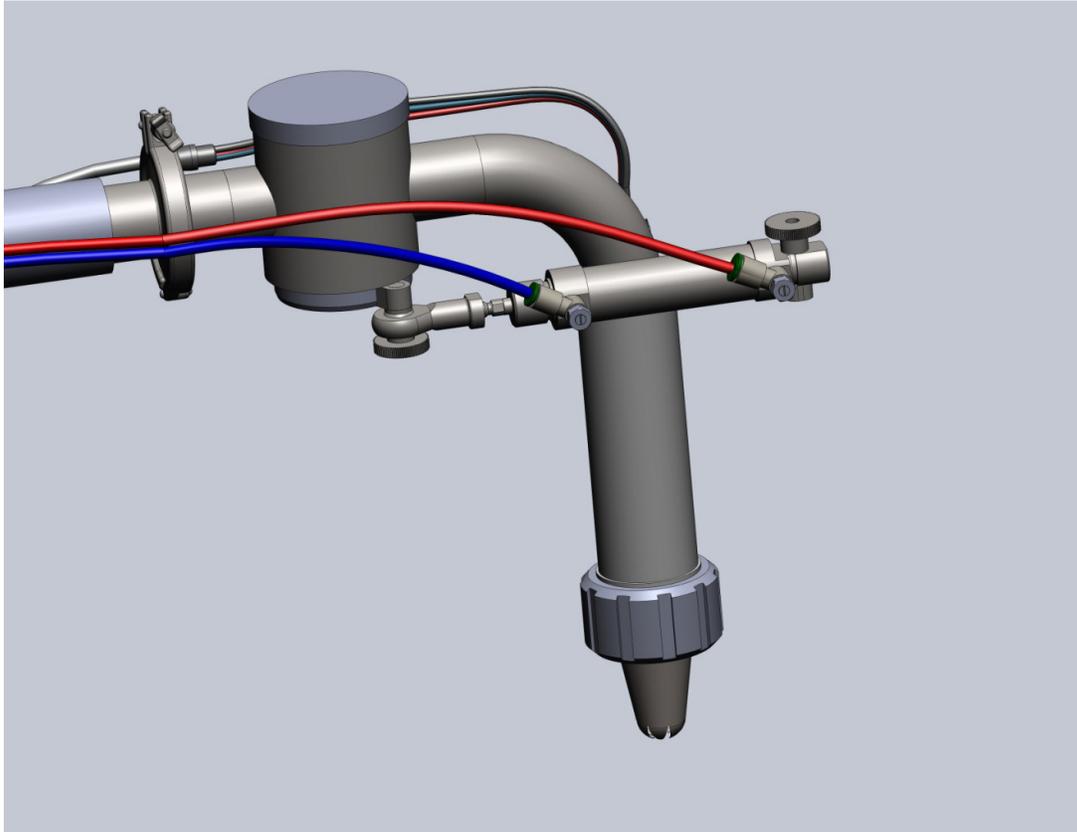


Figura 43

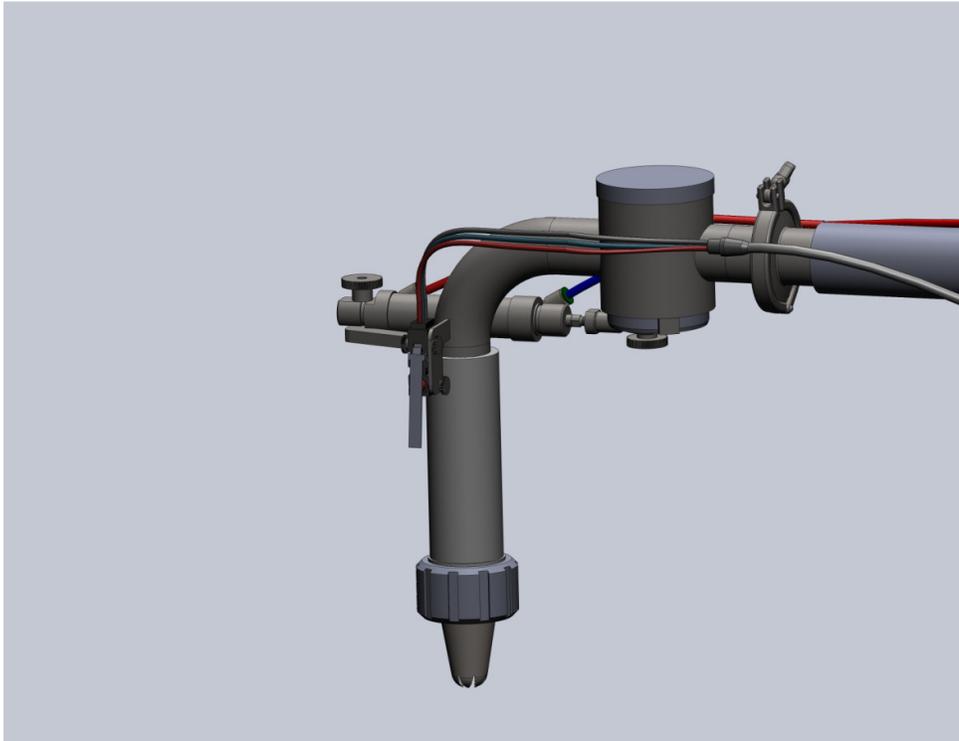


Figura 44

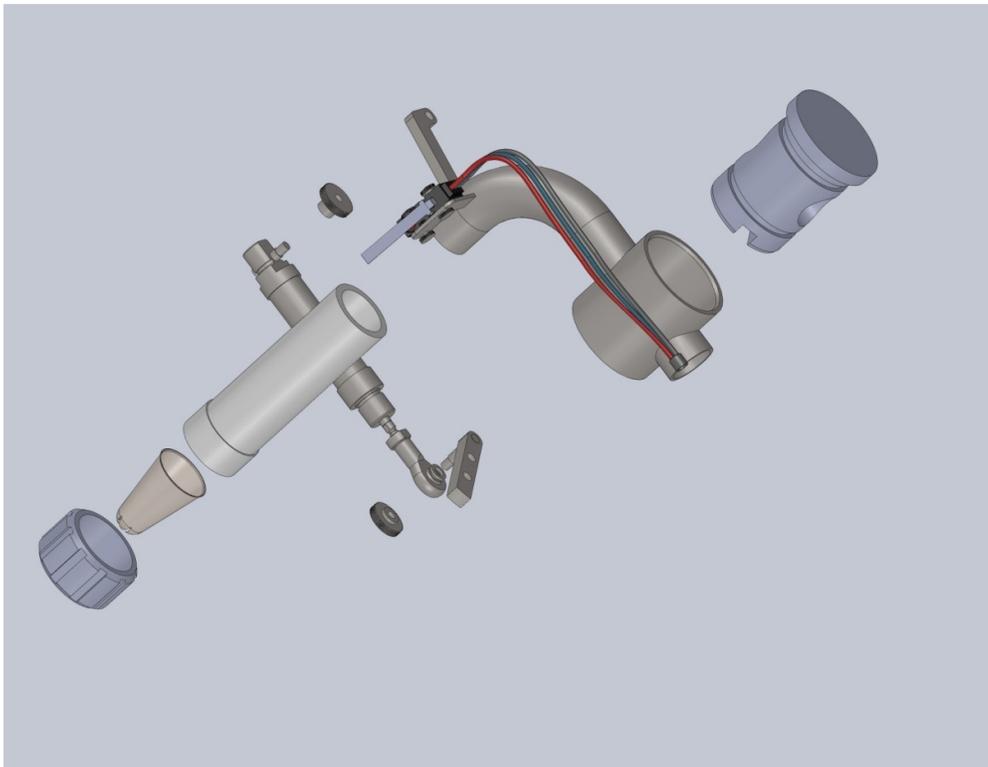


Figura 45

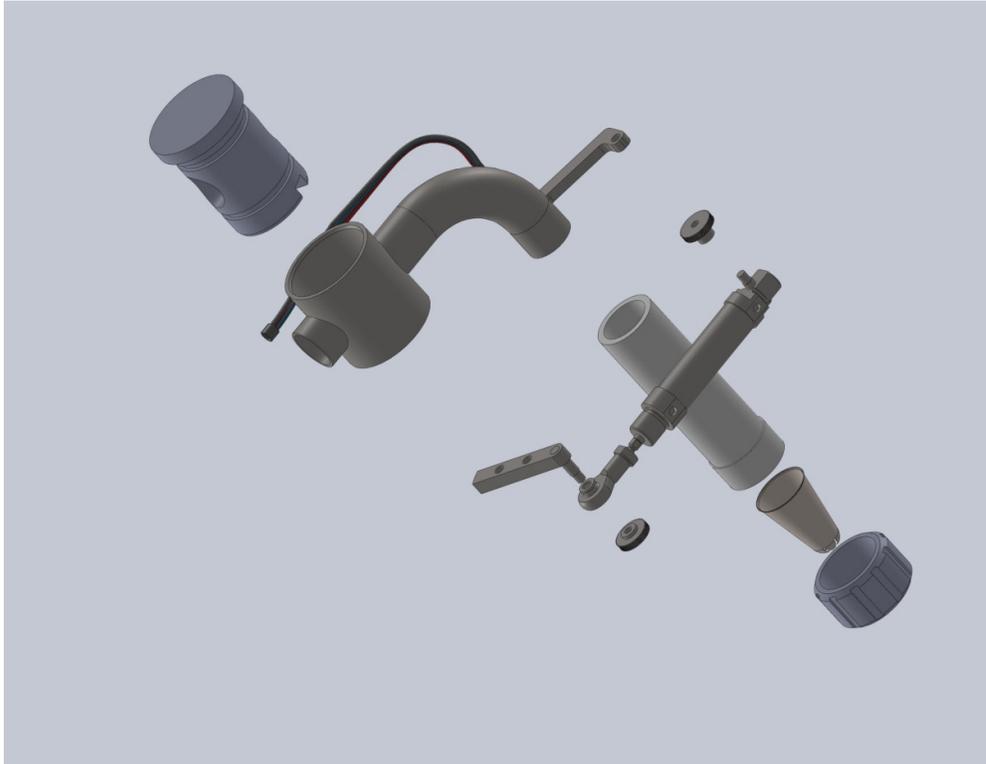


Figura 46

Test e risultati

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti con la macchina definitiva

	Pressione di esercizio	Portata erogata
Pasta di mandorle	5.9 bar	18 ml/s
Crema	4.0 bar	20 ml/s
Pasticceria da tè	3.8 bar	20 ml/s

6 Normative sull'igiene e la sicurezza delle macchine alimentari

Introduzione

Il settore alimentare è sottoposto a stringenti normative al fine di ottenere prodotti sicuri, che non mettano a rischio la salute del consumatore. In fase di preparazione e lavorazione degli alimenti, due sono i requisiti che vengono maggiormente richiesti: Igiene e sicurezza. Non è ammissibile pensare di immettere sul mercato un prodotto contaminato da microorganismi patogeni per l'essere umano.

Contaminazioni alimentari

Le cause della contaminazione di un alimento possono derivare principalmente da tre diversi fattori:

-Biologico: la contaminazione avviene ad opera di microorganismi patogeni come virus e batteri, alcuni dei quali si riproducono all'interno dell'organismo umano producendo sostanze tossiche come le tossine.

-Chimico: la contaminazione è dovuta alla presenza di sostanze ed elementi tossici di derivazione ambientale, agli agenti chimici utilizzati in fase di pulizia o da sostanze lubrificanti.

-Fisico: presenza negli alimenti di corpi estranei. Il più delle volte si tratta di frammenti di vetro, plastica, metalli provenienti dalla macchina stessa o da imballaggi non corretti.

Il rischio di contaminazione viene eliminato o ridotto ad un livello accettabile prestando particolare attenzione alle condizioni igieniche degli ambienti di lavoro, degli operatori, delle macchine, e degli accessori utilizzati.

Per prevenire pericoli di contaminazione alimentare, tutti coloro che sono interessati alla produzione primaria di un alimento, alla sua preparazione, trasformazione, fabbricazione, confezionamento, deposito, trasporto,

distribuzione, manipolazione, vendita o fornitura, compresa la somministrazione al consumatore hanno l'obbligo di applicare il protocollo HACCP.

Si tratta di un metodo di analisi che serve ad identificare i rischi per la salute del consumatore e ad individuare le più efficaci procedure di prevenzione. Si basa su 7 principi fondamentali:

Principio 1 (Individuazione e analisi dei pericoli):

Viene condotta un'analisi per l'individuazione e la valutazione delle potenziali rischi associati alla produzione alimentare in tutte le fasi , crescita , trasformazione , produzione e distribuzione , fino al punto di consumo .

Principio 2 (Individuazione dei CCP (punti critici di controllo)):

Si determinano i punti critici di controllo (CCP). Un CCP è un punto, una fase, o una procedura in cui la probabilità che si verifichi un rischio è elevata.

Per identificare le fasi che possono essere controllate viene utilizzato l'«albero delle decisioni»

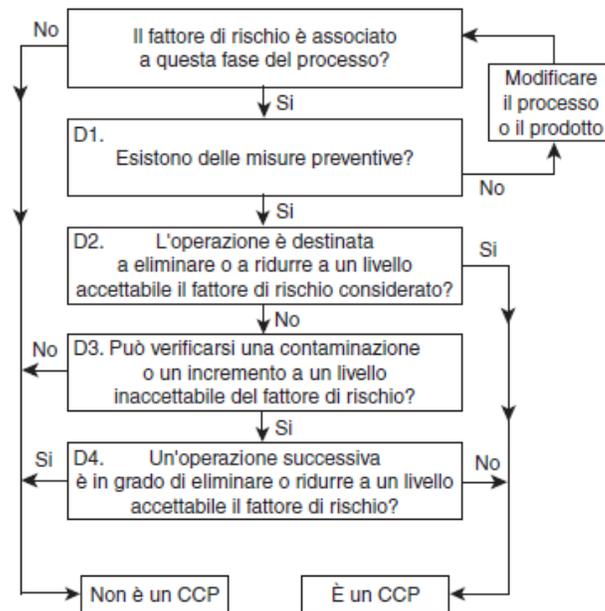


Figura 10.2 Albero delle decisioni per la sequenza delle operazioni di processo.

Figura 47

Principio 3 (Definizione dei limiti critici):

Si fissano i limiti dei parametri critici da tenere sotto controllo.

Principio 4 (Definizione delle procedure di monitoraggio):

Si attuano una serie di osservazione e misure per tenere sotto controllo e entro i limiti critici i CCP. Vengono inoltre registrati i dati rilevati.

Principio 5 (Definizione e pianificazione delle azioni correttive):

Vengono definire le azioni correttive da intraprendere in caso di non conformità di un parametro di controllo.

Principio 6 (Definizione delle procedure di verifica):

Si verifica che gli obiettivi igienici del sistema siano conseguiti.

Principio 7 (Definizione delle procedure di registrazione):

Si predispongono documenti e registrazioni al fine di dimostrare l'effettiva applicazione delle misure precedentemente esposte.

Normative macchine alimentari

L'igiene del prodotto finale passa inevitabilmente dall'igiene e dalla sicurezza dei macchinari con cui viene a contatto. Le caratteristiche di progettazione igienica delle macchine per uso alimentare devono quindi essere tali da assicurarne una completa pulizia. Nelle fessure e negli spazi morti, difficilmente accessibili in fase di pulizia, possono rimanere intrappolati residui di sporco che creerebbero un ottimo substrato per la crescita microbica.

A tale proposito sono state redatte normative che forniscono linee guida su come progettare, costruire e installare le apparecchiature per ottenere macchine idonee sotto il profilo igienico sanitario.

In merito al lavoro svolto, essendo l'oggetto di studio una macchina per uso alimentare, in fase di progettazione è stato necessario far riferimento ad alcune di queste normative.

-DIRETTIVA MACCHINE 2006/42/CE

Entrata in vigore in Europa il 29 dicembre 2006; recepita in Italia con il Dlgs del 22 gennaio 2010.

-UNI ISO 14159/2008: Sicurezza del macchinario- Requisiti per la progettazione del macchinario relativi all'igiene.

-UNI EN 1672-2: Macchine per l'industria alimentare - Concetti di base - Requisiti di igiene.

Di seguito sono elencati i principali requisiti imposti dalle suddette normative e tenuti in considerazione in fase di progettazione.

Scelta del materiale: i materiali a contatto con un prodotto alimentare devono rispettare alcuni requisiti specifici i quali vengono elencati sia nella UNI EN 1672.2 che nella UNI ISO 14159.

Devono essere:

- Resistenti alla corrosione;
- Non tossici;
- Non contaminato;
- Non assorbente;
- Resistente ai trattamenti termici.

Tra i metalli , gli acciai Inox sono i materiali che meglio rispondono a questi requisiti.

In alcune situazioni si ha la necessità di utilizzare materiali che siano, rispetto all'acciaio, più economici, più leggeri o che abbiano migliori resistenze chimiche

Per tali circostanze , la UNI ISO 14159 sottolinea la possibilità di utilizzare dei non metalli quali alcuni elastomeri o altri tipi di polimeri.

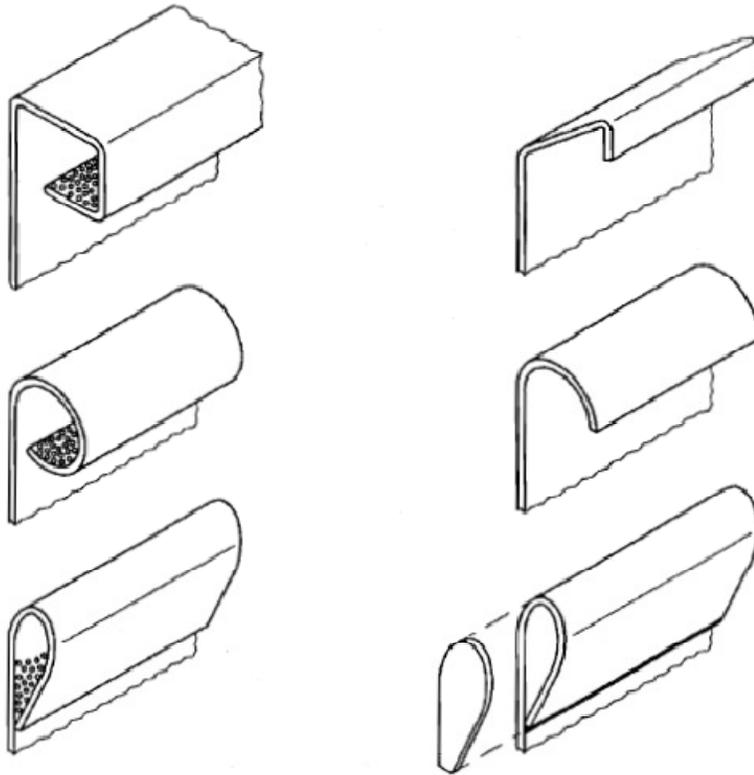
Superfici e geometria:

Tutte le superfici a contatto con i prodotti alimentari devono essere lisce e prive di rugosità o spazi in cui possono depositarsi residui di alimenti. Per poter essere pulite e disinfettate perfettamente, devono essere facilmente smontabili.

Le sporgenze, i bordi e gli angoli devono essere progettati in modo tale da rispettare i criteri riportati in figura:

HYGIENE RISK

ACCEPTABLE



Gli angoli interni devono essere raccordati con raggi tali da consentire una pulizia completa, vanno evitati angoli $<90^\circ$.

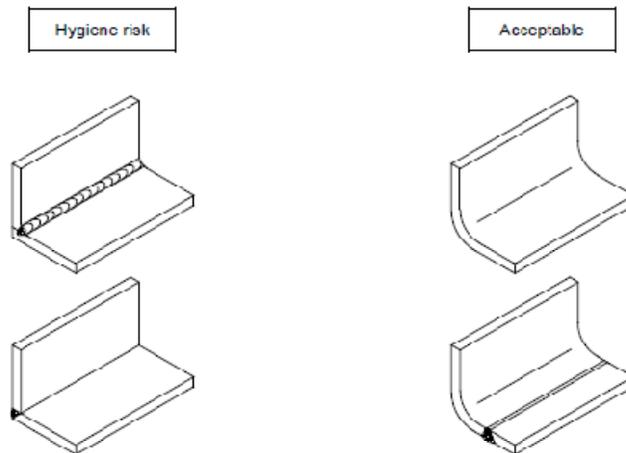


Figure B.6 — Internal angles and corners

Figura 48

Saldature:

E' possibile che residui alimentari possano restare intrappolati nelle giunzioni metallo-metallo. Per tale motivo le normative di cui sopra, riportano i criteri da rispettare anche nel caso di saldature. Vanno evitati gradini, causati da un cattivo allineamento delle connessioni tra apparecchiature o tubazioni.

Si riportano alcuni modelli di saldature da seguire per evitare di ottenere zone ad alto rischio di contaminazione:

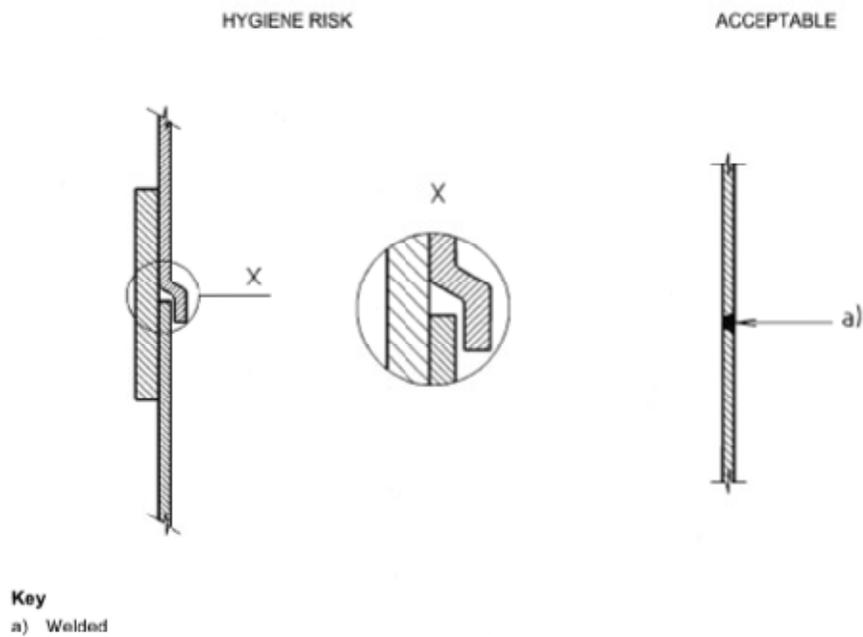


Figure A.3 — Joints

Figura 49

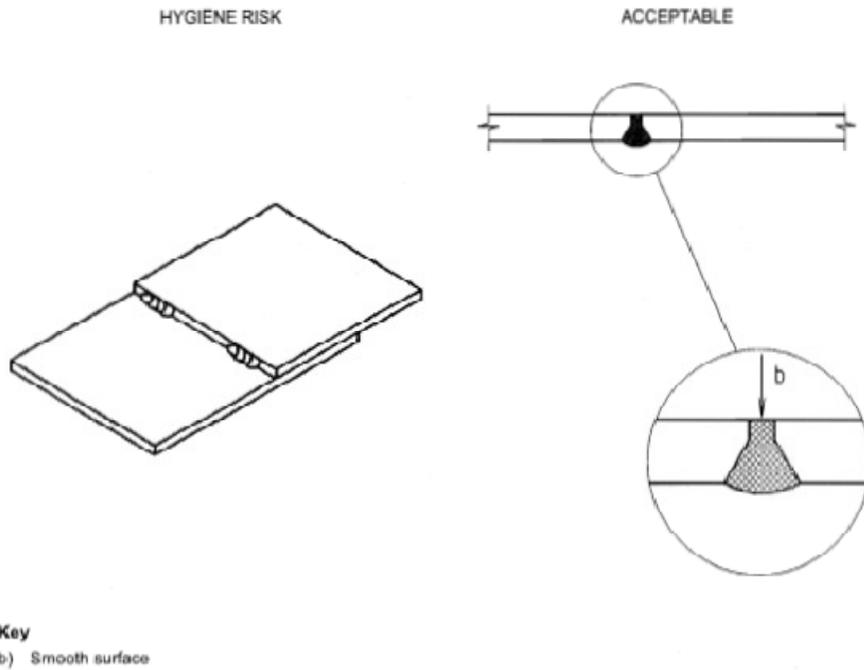
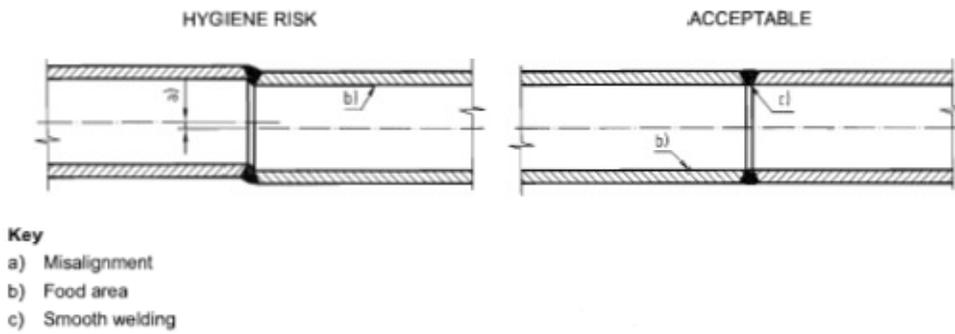


Figure A.4 — Welded joints

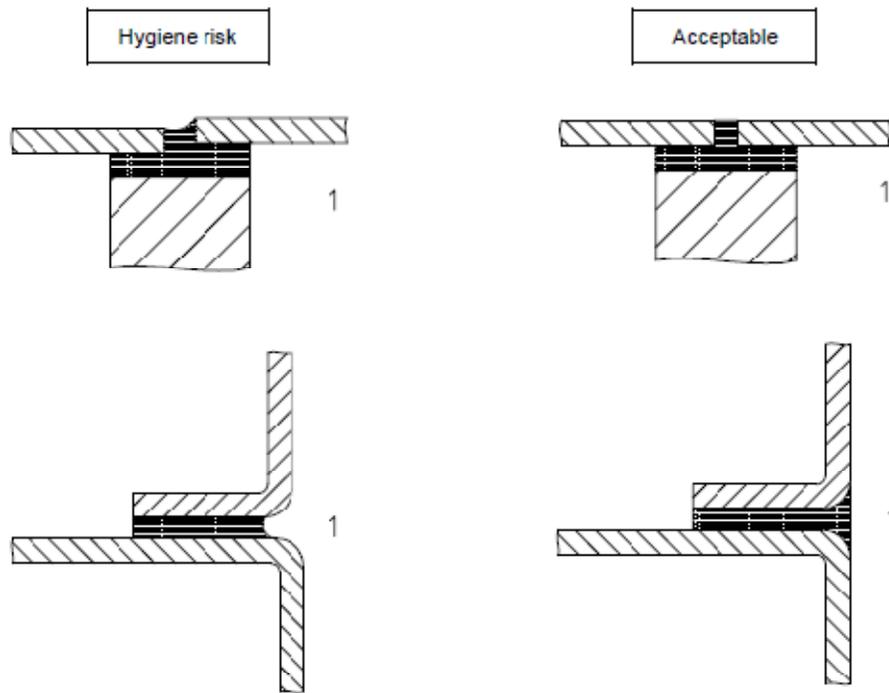
Figura 50



NOTE Values for maximum permissible misalignment may be found in specific standards.

Figure A.5 — Permanent joints - Welded pipes

Figura 51



b) Bonded joints

Figura 52

Sanificazione: Pulizia e Disinfezione

Secondo le suddette normative, il costruttore deve fornire indicazioni riguardo le modalità di pulizia e disinfezione, assumendosi la responsabilità della loro efficacia.

Nel manuale di istruzioni devono essere indicati i diversi tipi di detergenti da utilizzare per la pulizia a seconda del tipo di materiali.

L'acqua rimuove solo gli zuccheri mentre per dissolvere grassi e proteine è necessaria la soda; se poi rimangono residui di sali minerali, sono necessari gli acidi.

Il processo di sanificazione è costituito da 4 fasi:

1) PULIZIA O DETERSIONE: La deterzione sfrutta l'azione meccanica e l'uso di detergenti per rimuovere sporco visibile e altri residui dalle superfici degli impianti di processo.

2) RISCIAQUO;

3) DISINFEZIONE: La disinfezione consiste nell'utilizzo di sostanze microbicide per distruggere microrganismi non visibili a occhio nudo.

4) RISCIAQUO;

Per gli impianti di grosse dimensioni esiste un metodo di sanificazione che consente la pulizia dei vari componenti senza che questi vengano disassemblati. E' possibile effettuare la pulizia e la disinfezione automatica delle parti interne di apparecchiature, recipienti, serbatoi, tubazioni mediante pompaggio di idonee soluzioni detergenti e disinfettanti. Si tratta del Cleaning In Place (CIP). Un ciclo di produzione termina sempre con un CIP. Al termine della produzione, per evitare che il prodotto diventi secco e che abbia inizio la crescita microbiologica, è importante lavare immediatamente la macchina.

I parametri fondamentali che determinano il lavaggio sono quattro:

- Flusso:

Per rimuovere i residui di prodotto è necessario un flusso turbolento di acqua; questo si ottiene se la velocità dei fluidi che attraversano le valvole è di 1,5 / 3.0 m/sec.. Per soddisfare questa condizione il flusso deve essere uguale o superiore a 8000 l/h.

- Concentrazione dell'agente chimico:

I prodotti chimici sono utilizzati per rimuovere i residui di prodotto.

- Temperatura:

Una corretta temperatura del detergente è necessaria per dissolvere i residui.

- Tempo:

E' essenziale che il detergente rimanga a contatto con i residui di prodotto per un tempo sufficiente per poterli dissolvere.

Gli impianti CIP sono costituiti da serbatoi per i vari liquidi impiegati, pompe per il ricircolo dei fluidi e stazioni per il riscaldamento dei medesimi. Tutte le operazioni di lavaggio e risciacquo vengono gestite elettronicamente. E'

importante però che l'applicazione del sistema CIP alle macchine o all'impianto sia pensata fin dalla progettazione della macchina stessa affinché venga realizzata in modo da evitare la presenza di zone morte dove l'acqua utilizzata per il lavaggio possa ristagnare.

7 Materiali

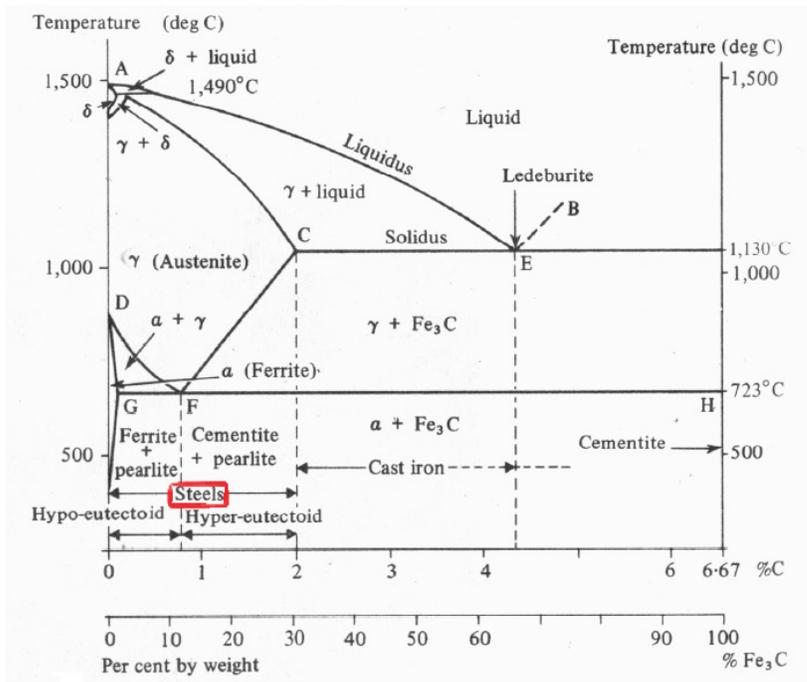
Introduzione

I materiali utilizzati per la realizzazione della macchina, in particolar modo quelli a contatto con il prodotto alimentare, sono quelli che meglio rispondono ai requisiti richiesti dalle normative UNI ISO 1459 , UNI EN 1672

Quasi nella sua totalità, la macchina è stata realizzata in acciaio inox. Per alcuni componenti invece sono stati utilizzati dei materiali polimerici : il polioossimetilene , noto anche con il nome commerciale di Delrin, e il politetrafluoroetilene noto come Teflon. Rispetto all'acciaio, i polimeri, hanno il vantaggio di essere più leggeri , più economici.

Gli acciai

Gli acciai sono delle leghe ferro-carbonio con percentuali di carbonio inferiore al 2%.



La definizione che viene fornita dalla UNI EN 10020 degli acciai è la seguente:

“Si chiama acciaio un materiale in cui il ferro è l’elemento predominante, in cui il tenore di carbonio è di regola minore del 2% e che contiene altri elementi. Un numero limitato di acciai al cromo può avere un tenore di carbonio maggiore del 2 % , ma tale valore del 2% è il tenore limite corrente che separa l’acciaio dalla ghisa”

Ancora nella UNI EN 10020 è fatta una classificazione degli acciai in base alla composizione chimica.

- Acciai non legati: “ E’ considerato come non legato un acciaio nel quale i tenori della composizione chimica rientrano nei limiti indicati nel prospetto della seguente tabella: ”

Prospetto 1 — Delimitazione tra acciai non legati ed acciai legati

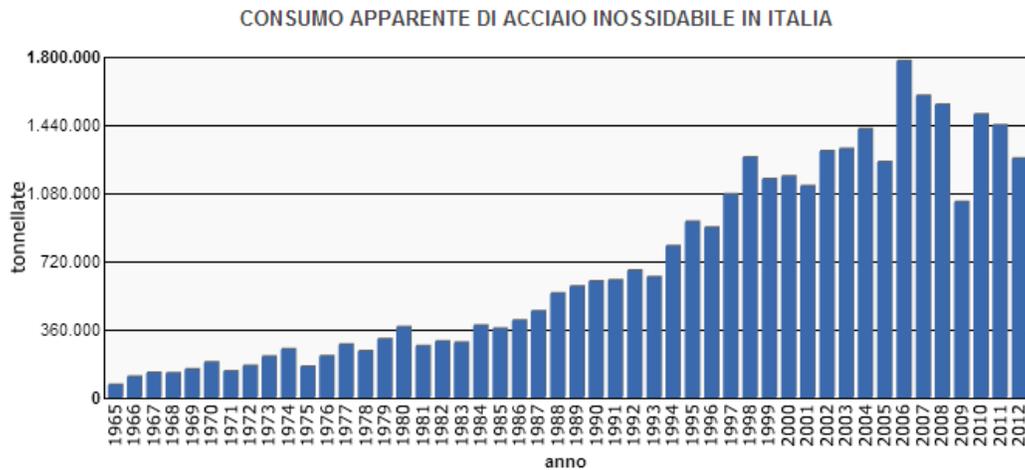
Elementi specificati	Tenori limite in % di massa
Al Alluminio	0,10
B Boro	0,000 8
Bi Bismuto	0,10
Co Cobalto	0,10
Cr Cromo ¹⁾	0,30
Cu Rame ¹⁾	0,40
La Lantanidi (presi individualmente)	0,05
Mn Manganese	1,65 ³⁾
Mo Molibdeno ¹⁾	0,08
Nb Niobio ²⁾	0,06
Ni Nichel ¹⁾	0,30
Pb Piombo	0,40
Se Selenio	0,10
Si Silicio	0,50
Te Tellurio	0,10
Ti Titanio ²⁾	0,05
V Vanadio ²⁾	0,10
W Tungsteno	0,10
Zr Zirconio ²⁾	0,05
Altri (eccettuati carbonio, fosforo, zolfo, azoto) presi individualmente	0,05

- Acciai legati: “ E’ considerato come acciaio legato qualsiasi acciaio per il quale almeno un limite indicato nella tabella precedente venga superato, anche solo per un elemento.”

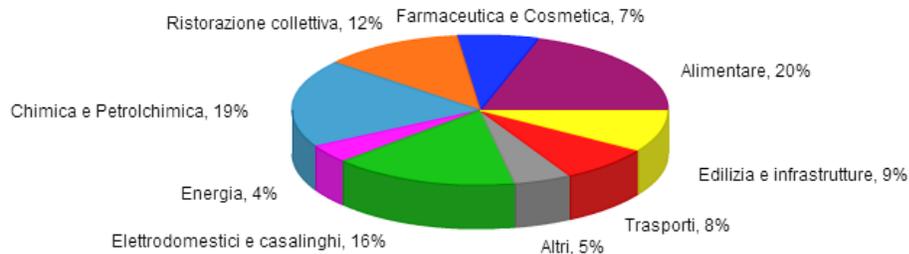
- Acciai inossidabili: " Sono acciai contenenti: - Almeno il 10.5 % di Cr
- Al massimo l' 1.2% di C "

Gli acciai inossidabili

Gli acciai inox, pur rappresentano solamente il 2% della produzione totale di acciaio, hanno vasti campi di applicazioni grazie alle loro proprietà chimico-fisiche come la resistenza a corrosione combinata alla resistenza meccanica, alla lavorabilità e all'aspetto estetico.



RIPARTIZIONE PERCENTUALE DEI CONSUMI DI ACCIAIO INOX IN ITALIA



La forte resistenza alla corrosione, anche in ambienti piuttosto aggressivi, è dovuta alla capacità che gli acciai inox hanno di auto proteggersi o più precisamente di auto passivarsi. La presenza di una considerevole percentuale di Cr fa sì che, ogni qual volta l'acciaio venga posto in ambienti ossidanti, si ossidi formando uno strato invisibile di Cr_2O_3 . Questa patina di ossido si posiziona sul materiale, proteggendo l'acciaio sottostante dagli attacchi corrosivi dell'ambiente esterno. Inoltre, se viene attaccato, la presenza di un ambiente ossidante circostante fa sì che un'altra percentuale di cromo possa ossidarsi riformando la pellicola. È quindi necessario consentire al materiale, sia in fase di lavorazione che di messa in opera, di poter scambiare con l'ambiente che lo circonda una sufficiente quantità di ossigeno, in modo da poter essere considerato nelle ottimali condizioni di passivazione.

Possono essere suddivisi in quattro famiglie in base alla loro costituzione strutturale:

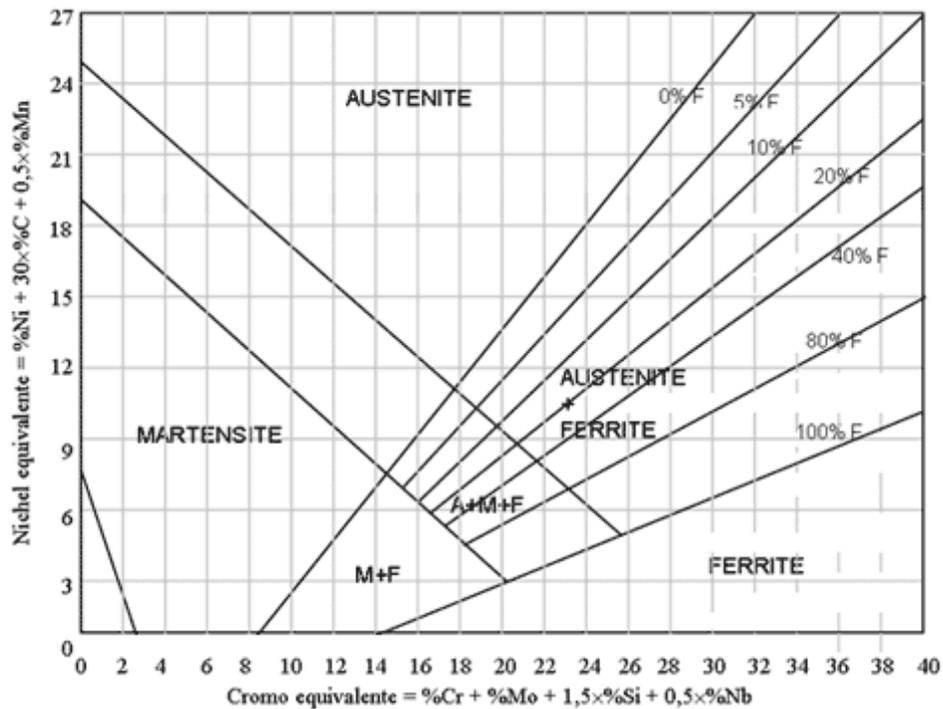
- acciai martensitici: C:0.08-1.2% , Cr: 11-19%;
- acciai ferritici: C:0.01-0.08% , Cr:10.5-30%;
- acciai austenitici: C:0.015-0.15% , Cr:16-28% , Ni:6-32%;
- acciai duplex; C:0.030-0.050% , Cr:22-28% , Ni:3.5-8% , Mo:0.1-4.5%.

Gli acciai inox generalmente contengono altri elementi di lega, in aggiunta a Fe, C e Cr, che con la loro presenza permettono di ottenere strutture e proprietà prefissate.

In particolare :

- Si, Mo, V, Al, oltre al Cr tendono a stabilizzare la fase ferritica, microstruttura a reticolo cubico a corpo centrato;
- C, N, Mn, Co, oltre al Ni favoriscono invece la fase austenitica, microstruttura a reticolo cubico a facce centrate.

In base alla composizione chimica, espressa in termini di Ni e Cr equivalenti, dal diagramma di Schaeffler, è possibile determinare la microstruttura dominante



La diversa struttura degli acciai svolge un ruolo importante sulle proprietà dell'acciaio stesso: infatti, gli inox austenitici presentano generalmente una maggiore resistenza alla corrosione: austenitici > ferritici > martensitici.

Per questo motivo la produzione di inox austenitici costituisce la parte preponderante (più del 60%) della quantità totale di inox prodotti nel mondo e sono quelli che vengono impiegati soprattutto nell'industria alimentare e farmaceutica.

I due acciai utilizzati per la realizzazione della macchina sono due acciai austenitici : l' AISI 304 e l' AISI 316.

Tabella 5.1 (da Cigada&Re, p.162) – Composizione e caratteristiche meccaniche dei principali acciai inox austenitici della serie AISI 300.

AISI	Acciai inox austenitici più comuni										Caratteristiche meccaniche			
	Composizione, % in peso										σ_R , MPa	σ_S , MPa	A, %	HRB
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Altri					
301	0.15	2.0	1.0	0.045	0.030	16-18	6-8	-	-	-	758	276	60	85
302	0.15	2.0	1.0	0.045	0.030	17-19	8-10	-	-	-	620	276	50	85
303	0.15	2.0	1.0	0.20	>0.15	17-19	8-10	0.60	-	-	620	241	50	76
304	0.08	2.0	1.0	0.045	0.030	18-20	8-10.5	-	-	-	586	241	55	80
304L	0.03	2.0	1.0	0.045	0.030	18-20	8-12	-	-	-	517	193	55	79
304N	0.08	2.0	1.0	0.045	0.030	18-20	8-10.5	-	N=0.10-0.16		620	331	50	85
305	0.12	2.0	1.0	0.045	0.030	17-19	10.5-13	-	-	-	586	262	50	80
308	0.08	2.0	1.0	0.045	0.030	19-21	10-12	-	-	-	586	241	50	80
309	0.20	2.0	1.0	0.045	0.030	22-24	12-15	-	-	-	620	310	45	85
310	0.25	2.0	1.5	0.045	0.030	24-26	19-22	-	-	-	655	310	45	85
314	0.25	2.0	1.5-3	0.045	0.030	23-26	19-22	-	-	-	690	345	40	85
316	0.08	2.0	1.0	0.045	0.030	16-18	10-14	2-3	-	-	620	276	50	76
316L	0.03	2.0	1.0	0.045	0.030	16-18	10-14	2-3	-	-	517	220	50	79
316N	0.08	2.0	1.0	0.045	0.030	16-18	10-14	2-3	N=0.10-0.16		620	331	48	85
317	0.08	2.0	1.0	0.045	0.030	18-20	11-15	3-4	N=0.10-0.16		620	276	45	85
321	0.08	2.0	1.0	0.045	0.030	17-19	9-12	-	Ti=5xC		620	241	45	80
330	0.08	2.0	0.75-1.5	0.040	0.030	17-20	34-37	-	-	-	586	310	40	80
347	0.08	2.0	1.0	0.045	0.030	17-19	9-13	-	Nb+Ta=10xC		655	276	45	85
348	0.08	2.0	1.0	0.045	0.030	17-19	9-13	-	Nb+Ta=10xC Ta=0.1; Co=0.2		655	276	45	85
384	0.08	2.0	1.0	0.045	0.030	15-17	-	-	-	-	517	241	55	70

Questi due acciai si prestano bene all'impiego nel settore alimentare perché presentano una giusta combinazione di proprietà chimico-fisiche tali da garantire l'igienicità del materiale richiesta:

- **ottima resistenza alla corrosione**, intesa come inerzia chimica nei confronti delle sostanze alimentari, così da evitare di cedere loro elementi tali da modificarne le caratteristiche organolettiche o addirittura alterarle sotto il profilo tossicologico e contemporaneamente resistere all'azione di additivi, di detergenti, di sanificanti che, per necessità dei cicli automatici di pulizia, sono sempre molto energici.

- **compattezza superficiale, priva di porosità**.

- **resistenza agli urti e alle sollecitazioni termiche:** resistono allo scorrimento viscoso, di conseguenza possono essere utilizzati a temperature elevate (600 °C), ma allo stesso tempo conservano bene la loro tenacità fino a temperature criogeniche.
- **-elevata rimovibilità batterica,** anche su superfici usate, vale a dire durante tutta la vita dell'impianto e del manufatto.

Presentano inoltre il vantaggio di essere facilmente saldabili sia per le ottime doti di tenacità che per la buona stabilità della struttura austenitica.

Contrariamente agli acciai al carbonio tradizionali, gli inox non manifestano mai il fenomeno della formazione di cricche a freddo dopo saldature.

Possono essere rafforzati per incrudimento, una deformazione plastica a freddo che:

- aumenta la tensione di snervamento e la durezza;
- diminuisce le proprietà di duttilità, come allungamento e strizione, e di tenacità come la resilienza.

Materiali polimerici

I materiali polimerici, detti anche materie plastiche o resine sintetiche, sono sostanze formate da molecole organiche molto grandi, macromolecole, derivanti dall'unione, mediante legami chimici, di piccole unità chiamate monomeri. Queste unità possono essere di una o più specie. In tal caso si parla rispettivamente di omopolimeri e copolimeri.

I polimeri possono essere classificati in vari modi, sulla base di diversi parametri:

- **struttura** : si distinguono in
 - *lineari*, se le unità monomeriche sono legate a formare lunghe catene, più o meno raggomitolate;
 - *ramificati*, quando da una catena principale si dipartono ramificazioni laterali;

- *reticolati*, quando alcune ramificazioni connettono chimicamente più catene.
- **comportamento al variare della temperatura:** si distinguono in
 - *termoplastici*, se rammolliscono al riscaldamento per riacquistare consistenza solida a bassa temperatura, secondo un ciclo che può essere ripetuto infinite volte;
 - *termoindurenti* se dapprima rammolliscono , ma poi si consolidano definitivamente senza poter riacquistare fluidità.
 - **meccanismi di polimerizzazione:** si parla al riguardo di *polimerizzazione per addizione* e per *policondensazione*.
 - **utilizzo e costi:** si distinguono in
 - *commodities*, polimeri la cui produzione industriale è molto ampia e hanno costi relativamente bassi;
 - *tecnopolimeri*, hanno proprietà meccaniche e termiche decisamente superiori ai commodities ma costi più elevati;
 - *polimeri speciali*, si differenziano per le loro elevatissime proprietà meccaniche che si conservano anche ad alte temperature e per i loro costi nettamente superiori.
 - **comportamento meccanico:** si distinguono in
 - in *fibre*, comportamento fragile (A);
 - *plastomeri* , comportamento plastico (B);
 - *elastomeri*, comportamento elastico (C).

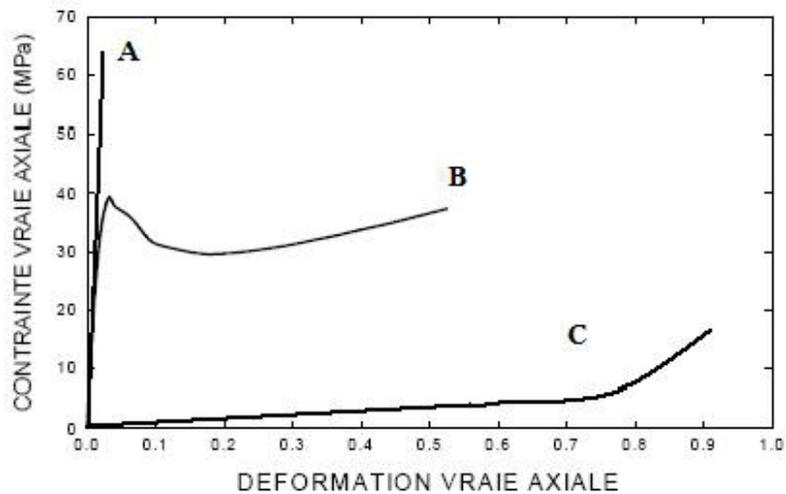


Figura 53

Rispetto ai metalli, che intendono spesso sostituire, hanno il vantaggio di una minore densità, di resistere meglio alla corrosione, di smorzare più efficacemente le vibrazioni meccaniche, di essere, talvolta, trasparenti, di avere proprietà autolubrificanti, di essere facilmente formabili, di costare poco.

Sono invece inferiori per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche a trazione e a flessione, il coefficiente di dilatazione termica, che è più elevato, la resistenza alle alte temperature, che è nettamente inferiore, la maggiore fragilità alle basse temperature, l'infiammabilità, la capacità di assorbire solventi o liquidi organici, la degradabilità per effetto della luce.

Il Teflon

Il teflon è un polimero del tetrafluoroetilene appartenente alla classe dei polimeri speciali.

E' eccezionalmente resistente agli agenti chimici ed è insolubile in tutti i solventi organici, ad eccezione di qualche solvente fluorurato. La sua resistenza agli urti è alta, ma la resistenza a trazione, usura e creep è bassa in confronto ad altri tecnopolimeri. Ha un basso coefficiente di trasmissione termica pertanto considerato isolante termico e una basso coefficiente di attrito. Essendo il legame tra l'atomo di fluoro e quello di carbonio veramente forte, il teflon ha una caratteristica di forte stabilità

che si mantiene anche ad alte temperature. Può essere infatti usato a partire da temperature criogeniche (-200°C) fino ad arrivare a temperature elevate (260 °C). Possiede poi la certificazione alimentare EC 10/2011 - FDA - NSF ANSI 61 - WRAS – KTW che lo rende idoneo per il contatto con gli alimenti.

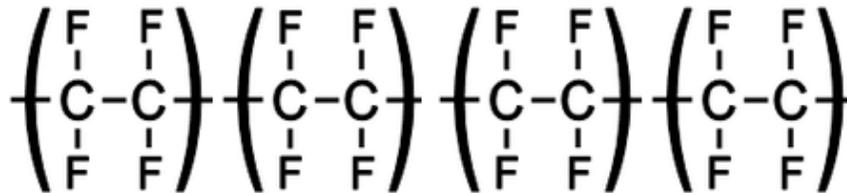


Figura 54

Le applicazioni tipiche del teflon riguardano soprattutto il settore meccanico per la produzione di guarnizioni soggette a sollecitazioni statiche e dinamiche, pistoni e altre parti di macchine, rivestimenti , incamicature ed ingranaggi. Viene impiegato inoltre nell'industria petrolchimica e chimica grazie all'elevata inerzia chimica, e nel settore elettrico per le ottime caratteristiche dielettriche.

Delrin

E' un polimero ottenuto dalla polimerizzazione della formaldeide. Fa parte della classe dei tecnopolimeri ed ha una largo e diffuso utilizzo sia per le ottime caratteristiche meccaniche che per i costi non troppo eccessivi .Ha elevata resistenza meccanica, rigidità e durezza,eccellente duttilità e tenacia. Essendo fisiologicamente inerte è idoneo al contatto con alimenti. Ha una buona resistenza ad una vasta gamma di sostanze chimiche, compresi molti solventi . Non resiste però agli acidi concentrati. Presenta inoltre buone proprietà termiche , per tempi brevi può lavorare fino a 150°C e per tempi lunghi fino a circa 110°C. Anche la resina acetlica possiede una certificazione alimentare EC 10/2011 - FDA - NSF ANSI 51 che la rende idonea al contatto con gli alimenti.

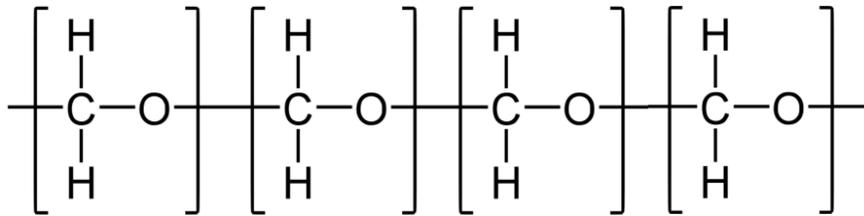


Figura 55

Nel settore meccanico il POM è oggi uno dei tecnopolimeri più usati per l'ottenimento di particolari meccanici come cuscinetti, cammes, ingranaggi con bassi moduli, ruote per scorrimenti, guide, pezzi di precisione stabili dimensionalmente. Viene utilizzato poi nel settore alimentare ,perché fisiologicamente inerte, nel settore chimico, perché resistente agli alcali e ai composti organici e in quello elettrico perché è un buon isolante.

Conclusioni

Lo studio effettuato si è concentrato principalmente sui seguenti punti:

- realizzazione di un erogatore leggero, con bocchette standard intercambiabili e facilmente smontabile per favorire il lavaggio e la sanificazione
- studio dei componenti pneumatici e realizzazione di un sistema pneumatico per una gestione semplificata e funzionale della macchina
- analisi e scelta di sistemi rapidi per le operazioni di montaggio e smontaggio dei componenti a contatto con gli impasti
- dimensionamento dei principali componenti strutturali della macchina

Partendo da alcuni vincoli iniziali e da alcune considerazioni fatte per garantire il funzionamento della macchina, è stato realizzato un prototipo iniziale. In base ai test effettuati, seppur mantenendo gran parte delle caratteristiche tecniche e geometriche pressoché invariate, sono stati analizzati i punti critici e si è cercato di ottimizzare il Lay-Out della macchina, l'ergonomia e la semplicità d'uso.

Si sono presentate notevoli difficoltà per la realizzazione dell'erogatore, dovute essenzialmente all'esigenza di far assolvere molteplici funzioni ad un unico componente;

Tuttavia, dopo varie riprogettazioni, si è giunti ad una soluzione ottimale che garantisce la compatibilità con i vincoli imposti e un buon compromesso tra le funzionalità e il peso complessivo;

Anche per la scelta del lay-out finale sono state analizzate più opzioni ed è stata scelta una soluzione volta a garantire un agevole uso della macchina, un piacevole aspetto estetico e la facilità negli spostamenti.

Analizzando i risultati finali si può affermare che i requisiti richiesti nella fase iniziale del progetto, e riportati nel seguente elenco, sono stati rispettati:

- flessibilità all'uso con impasti di diverse tipologie

- flessibilità per la realizzazione di forme differenti dei prodotti
- possibilità di gestire con semplicità il dosaggio di ogni prodotto
- possibilità di realizzare operazioni di riempimenti e farciture con apposite bocchette
- rapidità e semplificazione relativamente alle fasi di montaggio, smontaggio, ricarica degli impasti, cicli di lavaggio e sanificazione
- leggerezza e manovrabilità, soprattutto per quanto riguarda l'erogatore
- gestione del flusso dell'impasto mediante una valvola posta in prossimità dell'erogatore
- compatibilità dei materiali utilizzati per il contatto con sostanze di tipo alimentare.

In particolare:

- L'analisi e lo studio di soluzioni con sistemi di fissaggio e attacchi rapidi per le fasi di smontaggio e montaggio della macchina e nelle fasi di ricarica degli impasti ha consentito di facilitare notevolmente le operazioni di lavaggio e sanificazione, oltre a generare un beneficio sui tempi utili dell'operatore;
- La scelta dei sistemi di regolazione della pressione di aria compressa garantisce la compatibilità con diverse tipologie di impasti, e consente di regolare facilmente la portata in uscita dall'erogatore, in base alle esigenze dell'operatore. La regolazione della pressione e del flusso di aria compressa per l'azionamento della valvola di chiusura dell'erogatore, inoltre, consente una comoda gestione dei tempi e della velocità di apertura e chiusura della valvola stessa;
- La valvola di apertura e chiusura posta sull'erogatore, quindi in prossimità della bocchetta di erogazione, garantisce un controllo "pronto" del flusso in uscita;
- La scelta di realizzare i componenti dell'erogatore in resina acetilica (POM-c) e in acciaio inossidabile (EN 1.4401) di spessore ridotto ha permesso di ottenere un erogatore con buone finiture superficiali,

pesi contenuti, ottime caratteristiche meccaniche ed idoneo al contatto diretto con sostanze alimentari;

La macchina sembra essere molto flessibile nell'uso, e può essere una soluzione valida e vantaggiosa per i laboratori di pasticcerie artigiane; tuttavia, va tenuto in considerazione che è necessario un impianto di produzione e di trattamento dell'aria compressa per l'alimentazione della macchina stessa. Attualmente sono molti i laboratori di pasticcerie e gelaterie che dispongono di tale servizio, poiché molte macchine (ad esempio macchine spray, macchine di produzione semi automatiche..) necessitano di tale tipologia di alimentazione. Negli altri casi, ovviamente, andrebbe fatta una valutazione economica complessiva.

Tra gli sviluppi futuri va inserita sicuramente la possibilità di adottare un sistema elettronico per il controllo e la gestione dei componenti pneumatici, con interfaccia uomo-macchina di tipo digitale o mediante schermo LCD.

Inoltre potrebbe essere migliorata la forma e l'ergonomia del manico per un utilizzo più confortevole della macchina.

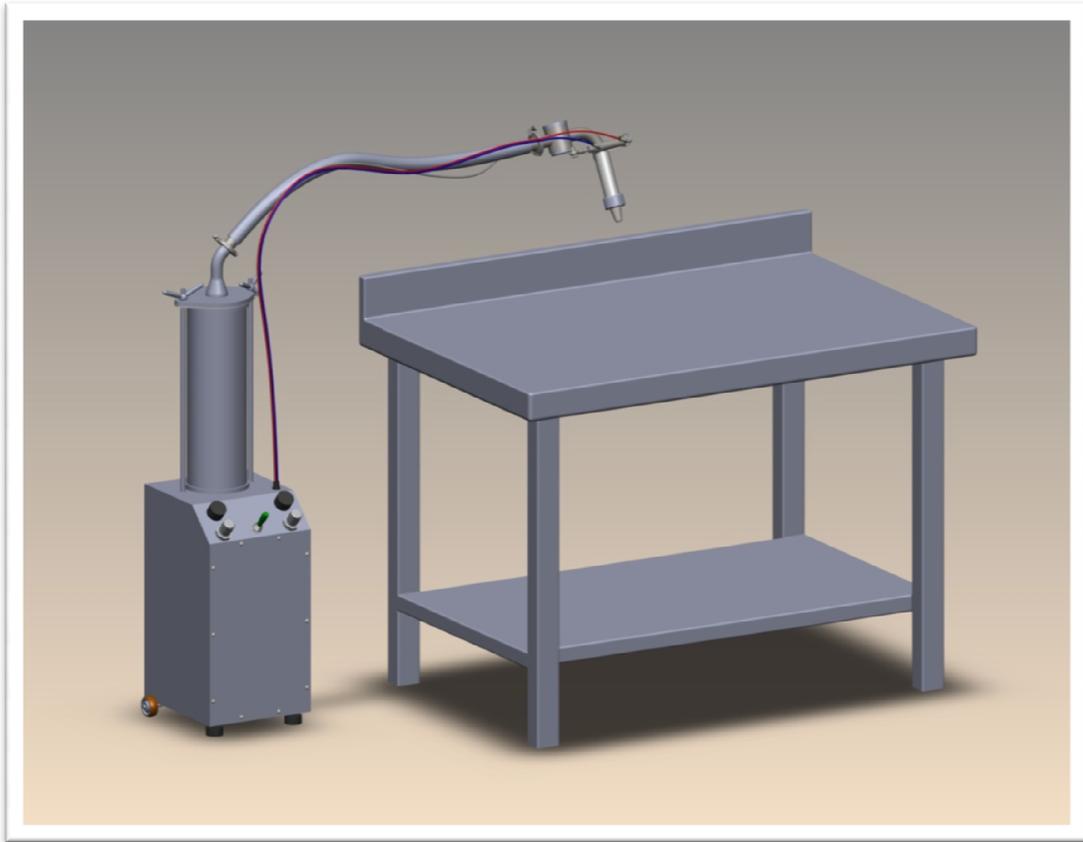


Figura 56

Bibliografia

Libri e pubblicazioni:

- Sistemi energetici e macchine a fluido / Giorgio Negri di Montenegro, Michele Bianchi, Antonio Peretto; Bologna : Pitagora, 2009
- Elementi di impianti industriali 2 / Armando Monte
Torino; Edizioni Libreria Cortina, 2009
- Impianti meccanici / Gentilini Marco
Bologna; Pitagora, 1999
- Impianti meccanici per l'industria / Arrigo Pareschi
Bologna : Progetto Leonardo, 2009
- manual dell'ingegnere meccanico 2a edizione / Pierangelo Andreini
Milano : Hoepli 2005
- - Riv. Chir. mano A. DE MAS; LA SINDROME DEL TUNNEL CARPALE:
ASPETTI MEDICO-LEGALI E STUDIO EPIDEMIOLOGICO ;
vol.45 (1) 2008,

Siti internet:

- www.inail.it
- <http://www.pneumaxspa.com/ITA/Default.aspx>
- <http://www.abmitaly.it/it/>
- http://www.mimac.com/uk/dosatrice_dosimax.html
- <http://busch-machinery.com/Piston-Filling-Machines.htm>
- <http://www.aaapackaging.bz/piston%20filling%20machine%20guide.htm>
- www.parker.com

Normative:

- Normative direttiva macchine 2006-42-CE,
- ISO 14159:2008,
- UNI 1672-2 2009
- *ISO 8573-1:2010*

