

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA
SECONDA FACOLTA' DI INGEGNERIA
CON SEDE A CESENA

CORSO DI LAUREA
IN INGEGNERIA MECCANICA
Classe: 10

Sede di Forlì

ELABORATO FINALE DI LAUREA

In DIAGNOSTICA STRUTTURALE L

**REVAMPING DI
MACCHINA DOSATORE GRAVIMETRICO**

CANDIDATO
Alberto Conti

RELATORE
Prof. Vincenzo Dal Re

CORRELATORE
Prof. Augusto Bianchini
Ing. Angelo Barilari

Anno Accademico 2011/2012

Sessione III^a

Dedicato a mio Padre

La scelta della Tesi:

In questa Tesi è racchiusa un pò tutta la mia formazione Tecnica andando a toccare le competenze da Perito Elettronico e le conoscenze dell'Ingegnere Meccanico sperando di avere ottenuto il giusto connubio di partenza per realizzare nel tempo un Professionista "Meccatronico".

*Grazie al Tirocinio formativo svloto presso L'Azienda "**Mias-Automazioni**" Cattolica (RN) di Angelo Barilari, sono riuscito a toccare con mano alcune problematiche dell' "Automazione";*

mi sono reso conto che c'è ancora tutto da imparare, ma ho anche maturato l'idea che sia questo il mio settore, quello che voglio fare da "grande".

Ecco perché quando mi è stata presentata questa problematica di "Revamping" ho subito capito che sarebbe stata la Tesi giusta per me, il giusto primo banco di prova dei miei studi ed il mio "biglietto di presentazione" per il mondo del Lavoro.

“ Revamping ”

è un termine inglese nato in ambito ferroviario per indicare interventi di ristrutturazione generale con interessamento di tutti gli impianti di un locomotore o carrozza passeggeri.

Si procede innanzitutto allo smontaggio e alla verifica dei componenti effettuando una manutenzione straordinaria degli stessi per portarli ad un livello prestazionale il più possibile simile al prodotto nuovo.

Nel linguaggio corrente, il termine Revamping assume spesso molteplici significati anche se sfumature di un unico concetto, pertanto è necessario definirlo nell'ambito in cui lo si deve considerare per evitare confusione.

Nel contesto in esame

con Revamping si intende la sostituzione di parti e/o integrazione del progetto originale, con soluzioni meccaniche ed elettriche alternative al fine di ridurre i costi di produzione, le dimensioni della macchina, di aumentare l'affidabilità del sistema di controllo con conseguenti risparmi sulle attività di installazione e di manutenzione.

INDICE

PRESENTAZIONE	1
CAPITOLO I: IL DOSATORE GRAVIMETRICO	2
1.1 TIPOLOGIE DI DOSAGGIO.....	3
1.2 DESCRIZIONE DELLA MACCHINA ALLO STATO ATTUALE.....	3
1.3 INTERVENTO E MODIFICHE.....	5
CAPITOLO II: DIMENSIONAMENTO TRAMOGGIA DI CARICO (Modifica 1-a)	9
2.1 LA TEORIA DI JENIKE.....	10
2.2 FORMAZIONE DI PONTI.....	11
2.2.1 <i>Flusso di massa e flusso a imbuto</i>	11
2.2.2 <i>Le proprietà dei ponti</i>	11
2.2.3 <i>Forza di rottura del ponte</i>	12
2.2.4 <i>Forza applicata sul ponte</i>	12
2.2.5 <i>Come evitare la formazione di ponti</i>	12
2.3 PROGETTAZIONE DEL FLUSSO DI MASSA.....	13
2.3.1 <i>Angolo d'attrito a parete φ_w</i>	13
2.3.2 <i>Angolo d'attrito interno δ</i>	15
2.4 FLOW FUNCTION "FF", flow factor "ff" E LA FORMULA DI JENIKE.....	18
2.5 DIMENSIONAMENTO DELLO SCARICO TRAMOGGIA.....	22
2.6 CONCLUSIONI SU DIMENSIONAMENTO TRAMOGGIA.....	24
CAPITOLO III: INTERFACCIA PLC-AZIONAMENTO PNEUMATICO ON/OFF (Modifica 1-b)	26
3.1 IL PLC.....	27
3.1.1 <i>Vantaggi dell'uso del PLC</i>	27
3.1.2 <i>Funzionamento sequenziale</i>	28
3.1.3 <i>Tempi di esecuzione</i>	28
3.1.4 <i>Tempo di Ciclo (o di scansione)</i>	29
3.1.5 <i>Tempo di reazione</i>	29
3.1.6 <i>Controllo del Processo Gravimetrico con PLC</i>	30
3.1.7 <i>Caratteristiche del PLC in esame</i>	30
3.2 AZIONAMENTO PNEUMATICO ON/OFF.....	32

3.2.1 <i>Analisi delle prestazioni di un dispositivo pneumatico EPSITEC...</i>	35
3.3 PROBLEMATICHE DI INCEPPAMENTO.....	37
3.4 CALCOLO PORTATE RICHIESTE PER LE TRAMOGGE DI CARICO.....	38
3.4.1 <i>Calcolo portata massica effettiva durante la chiusura.....</i>	39
3.4.2 <i>Risultati finali.....</i>	40
CAPITOLO IV: INTERFACCIA CELLA DI CARICO-PLC (<i>Modifica 2</i>).....	41
4.1 SCHEMA A BLOCCHI.....	42
4.2 CELLA DI CARICO: PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO.....	42
4.3 TRASMETTITORE ANALOGICO DI PESO.....	46
4.4 ADC CONVERTITORE ANALOGICO DIGITALE.....	48
4.4.1 <i>Quantizzazione.....</i>	48
4.4.2 <i>Campionamento.....</i>	50
4.4.3 <i>Effetto Aliasing.....</i>	51
CAPITOLO V: MIGLIORAMENTO DEL CONTROLLO SUL TRAINO	
(Modifica 3)	52
5.1 CONSIDERAZIONI SUL CONTROLLO GRAVIMETRICO.....	53
5.2 SULL'ENCODER: CARATTERISTICHE GENERALI.....	55
5.2.1 <i>Encoder incrementali.....</i>	56
5.2.2 <i>Parametri degli encoder incrementali.....</i>	58
5.2.3 <i>Confronto nell'utilizzo dell'Encoder Incrementale/Assoluto.....</i>	59
CONCLUSIONI: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL SISTEMA.....	60

PRESENTAZIONE:

In questa Tesi di Laurea si è effettuato uno studio di Revamping di una Macchina **Dosatore Gravimetrico** per la miscelazione di percentuali controllate di quattro componenti in granuli, con successiva estrusione per l'ottenimento di Film plastico.

Date le Problematiche emerse nel Prodotto, il Lavoro svilupperà alcune ipotesi di Soluzione sia nella parte Meccanica della Macchina che in quella della sua Automazione.

Il Sistema attuale, a controllo PLC con interfacce Digitali e Analogiche, è dotato di quattro motori elettrici On/Off in c.a. , che movimentano ciascuno una propria coclea per il caricamento di una Tramoggia di pesatura ove è convogliato tutto il Materiale (o Batch) con peso programmato, somma delle 4 Dosi, misurato da una Cella di carico dedicata.

L'attuale interfaccia della Cella di carico con il PLC è realizzata da un Modulo Amplificatore del segnale in tensione che comporta alcuni inconvenienti, quali una discreta attività manuale di messa a punto-Taratura in fase di installazione Macchina ed ancora una successiva non trascurabile dipendenza dalla Temperatura ambiente del segnale analogico in Input al PLC. Al fine di **ridurre i Costi di Produzione, le dimensioni della Macchina, di aumentare l'affidabilità del Sistema di Controllo con conseguenti risparmi sulle attività di Installazione e di Manutenzione**, si intende effettuare TRE tipi d'intervento:

- 1) la sostituzione dei Motori elettrici e relative coclee, con serrande a controllo On/Off per l'apertura/chiusura delle tramogge di carico al raggiungimento della dose preimpostata,
- 2) la semplificazione della interfaccia Cella di carico - PLC consistente nella eliminazione dell'attuale Modulo Amplificatore utilizzando Celle di carico preamplificate,
- 3) effettuare un diverso e migliore controllo dello spessore del Film plastico in uscita alla Macchina tramite regolazione della velocità del traino **agganciata** a quella della vite dell'Estrusore,

il tutto mantenendo le prestazioni del Sistema in termini di Produzione Oraria e di precisione sulla composizione delle Dosi.

CAPITOLO I

IL DOSATORE GRAVIMETRICO

1.1 TIPOLOGIE DI DOSAGGIO:

Differenza tra *dosaggio volumetrico* e *dosaggio gravimetrico*:

- La modalità di ***dosaggio volumetrica*** è consigliata per quelle applicazioni dove la precisione richiesta non è elevata e per dosare più prodotti, purché di caratteristiche (peso specifico, scorrevolezza ecc.) simili tra loro. E' la modalità di dosaggio più semplice.
- La modalità di ***dosaggio gravimetrica*** è consigliata per quelle applicazioni dove la precisione richiesta è elevata (anche <1%) e per questo si necessita di un controllo in feedback riguardo al peso.

Il dosaggio può avvenire secondo due modalità:

- Nel dosaggio a ***perdita di peso***, il sistema di pesatura serve a controllare la quantità di prodotto in uscita verificando in tempo reale la variazione di peso del dosatore e della sua tramoggia di carico man mano che il prodotto fluisce.
- Nel dosaggio a ***incremento di peso***, uno o più dosatori alimentano i componenti in una bilancia (*Tramoggia di pesatura*) e la quantità dosata viene determinata dal sistema di pesatura stesso.

Un'ulteriore distinzione da sottolineare è tra il *dosaggio in continuo* e il *dosaggio in batch*:

- Nel ***dosaggio in continuo***, il dosatore serve ad alimentare in genere un macchinario sottostante funzionante anch'esso in continuo, ad esempio un estrusore (settore plastica, alimentare), una linea di produzione industriale per la pasta, ecc.
- Nel ***dosaggio a batch***, il dosatore alimenta il prodotto per un periodo limitato di tempo (da qualche secondo a qualche minuto) e poi si arresta in attesa del carico/batch successivo.

1.2 DESCRIZIONE DELLA MACCHINA ALLO STATO ATTUALE:

La Macchina presenta quattro "tramogge di carico" riempite rispettivamente con i quattro prodotti in granuli :

- "*Componente Base*" (che può essere vergine e quindi prodotto dal petrolio e /o rigenerato miscelato a volte con del vergine),
- il "*Master*" che dà il colore al prodotto,
- "*Additivi*" vari che servono per proprietà antisdrucchio e/o aumentare le caratteristiche elettriche antistatiche (tipo i film plastici per i pavimenti

degli ospedali).

Per non ridurre la produzione oraria della linea, i materiali di quantità relativa considerevole, sono introdotti nella *tramoggia di pesatura* mediante serranda comandata On/Off da cilindri pneumatici, mentre quei prodotti che necessitano una maggiore precisione di dosaggio, come per il Master e/o gli Additivi specifici, fluiscono attraverso propri condotti trascinati da *coclee di dosatura* comandate da *motori in c.a.*, ottenendo una precisione dell'ordine del 0,1% del Peso impostato.

Quando per ogni singolo prodotto è raggiunta la dose preimpostata, rilevata dalla cella di carico su cui è montata la *tramoggia di pesatura*, il Controllo PLC comanda lo Stop del *motore in c.a.* arrestando dunque la coclea interrompendo l'operazione di dosaggio.

I quattro componenti in granuli vengono quindi singolarmente introdotti e pesati nella *tramoggia di pesatura* per incremento di peso, fino a raggiungere il Batch impostato da Programma sul Pannello operatore.

Il Batch così composto viene scaricato nel *mixer* dove tramite un *aspo*, si realizza una miscela omogenea.

Il trasferimento del materiale dal *mixer* alla vite di plastificazione (Estrusore) è monitorato dal PLC, tramite una cella di carico, che rileva in tempo reale (*Polling*) le variazioni del **flusso di massa** per controllare la velocità del traino (modalità **following** - ad inseguimento) al fine di realizzare l'uniformità dello spessore del Film plastico in uscita.

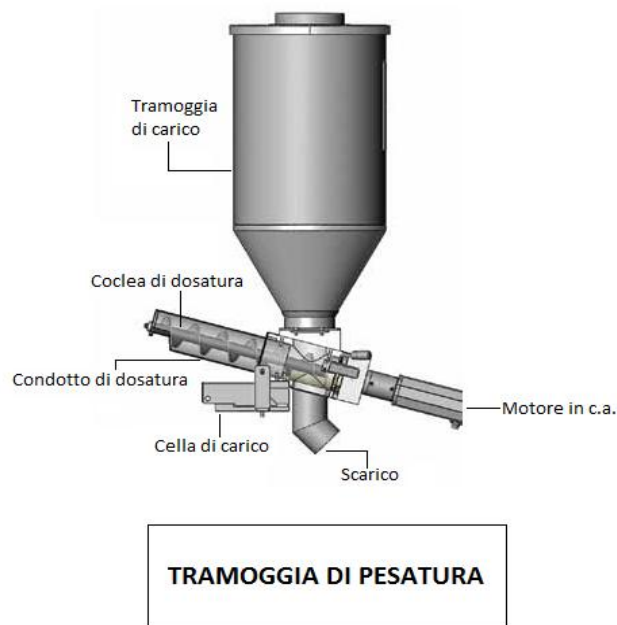


Figura 1: tramoggia di carico con coclee

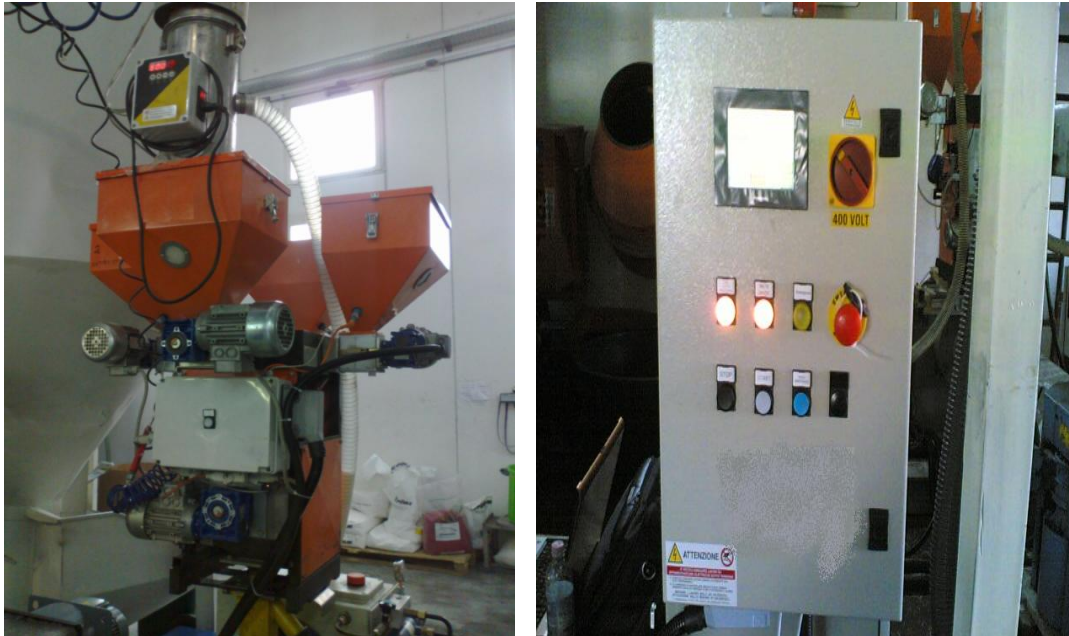


Figura 2: si può notare una configurazione tipo, con dosatori singoli motorizzati e gestiti da un'unica unità di controllo con interfaccia *touch-screen*

1.3 INTERVENTO E MODIFICHE

In questa sezione, viene descritto il Processo di Alimentazione dell'Estrusore riportando sotto la dicitura "**Modifica**", gli interventi eseguiti sul sistema in esame.

Modifica 1:

a) *Le nuove tramogge di carico che si vogliono studiare, risulteranno una soluzione meno ingombrante rispetto a quella attualmente in uso in quanto verranno meno le quattro coclee e i rispettivi motori elettrici che le movimentano. Il dimensionamento dei fori di scarico, deve garantire la medesima caratteristica di portata per non rallentare la Produzione oraria (o.d.g. 200 Kg/h).*

Il peso complessivo massimo che compone il Batch è di 3 Kg formato dal Prodotto base per il 90%, mentre il restante 10% è la somma dei tre rimanenti prodotti (additivi). Occorre pertanto dimensionare la tramoggia di carico con una portata maggiore per il Prodotto base, mentre le restanti tramogge dei tre additivi saranno dimensionate con bocche di scarico più piccole per mantenere la precisione di dosaggio tenendo conto che la portata minima è nell'ordine del 1% dei 3 Kg del Batch.

Ciascuno dei quattro prodotti in granuli, che compongono il Batch con le

percentuali prefissate a Programma, viene dosato in successione nella medesima *Tramoggia di pesatura*, sotto controllo PLC della cella di carico installata sul fondo della tramoggia medesima.

Quando la dose corrente è raggiunta, la cella di carico fornisce il consenso al PLC il quale, tramite azionamento pneumatico, comanda la chiusura della relativa serranda on/off e la apertura sincronizzata di quella per il dosaggio del successivo componente ; il Software di controllo (PLC) gestisce tutte e quattro le pesate al fine di completare il Batch nella Tramoggia di Pesatura.

Modifica 1:

*b) La scelta del tipo di azionamento pneumatico di chiusura della serranda On/Off deve essere tale da garantire un **tempo di chiusura massimo** in relazione al valore della portata corrente per ottenere una precisione del dosaggio **non minore** di quella attuale dello 0,1% .*

***Ipotesi di Lavoro:** Si ritiene ragionevole fissare in qualche ms (Tempo di Reazione del programma dedicato a tale controllo "Interrupt") il massimo Tempo di latenza del PLC per rilevare la misura dalla Cella di carico ed ulteriori 20 ms totali, omnicomprensivi dei ritardi meccanici, per la chiusura della Bocca di scarico. La garanzia del tempo massimo di Latenza del Sistema di controllo inferiore ai **25 ms**, per l'arresto del flusso di massa della Dose corrente, consente di realizzare le precisioni richieste tramite l'idoneo conseguente dimensionamento delle bocche di scarico.*

Modifica 2:

*Viene modificata l'interfaccia Cella di carico- PLC con la sostituzione della Cella precedentemente utilizzata, con uscita in tensione di 2mV/V, collegata ad un circuito trasmettitore analogico di peso (**amplificatore**), con una Cella di carico di tipo pre-amplificato con uscita 0-10 Vcc compatibile con la scheda A/D del PLC. Ciò consente di eliminare le impegnative operazioni di **taratura** del Circuito **amplificatore** in fase di **messa a punto della Macchina** e le **fluttuazioni** del segnale dalla Cella al PLC dovute alle derive termiche di quel tipo di interfaccia. Lo scarico del Batch nel Mixer, dalla Tramoggia di pesatura, è attualmente comandato per il tramite di una seconda Cella di carico sul Mixer (figura 3) una volta che il peso del materiale già presente al suo interno - costituente il residuo del Batch precedente- è sceso sotto un **certo livello**, impostabile secondo variabili dipendenti dal tipo di produzione e dalla velocità con cui si estrude.*

Nel Mixer, il materiale viene miscelato tramite "Aspo" per ottenere la maggiore uniformità; esistono Impianti dove la miscelazione avviene a monte in grosse cisterne, mentre nel caso in oggetto il materiale miscelato è proprio sopra la bocca dell'estrusore per ottenere un materiale estruso di migliore qualità .

Quindi dal mixer il materiale viene **introdotto direttamente** nella vite dell'estrusore (estrusore a bocca affogata).

L'impianto di dosaggio e miscelazione, risulta dunque montato direttamente sulla bocca di alimentazione dell'estrusore.

Nella *figura 3* sottostante è rappresentato l'attuale sistema con la sola variante di cui alla **Fase 1** consistente nell'adozione delle serrande on/off in sostituzione delle coclee.

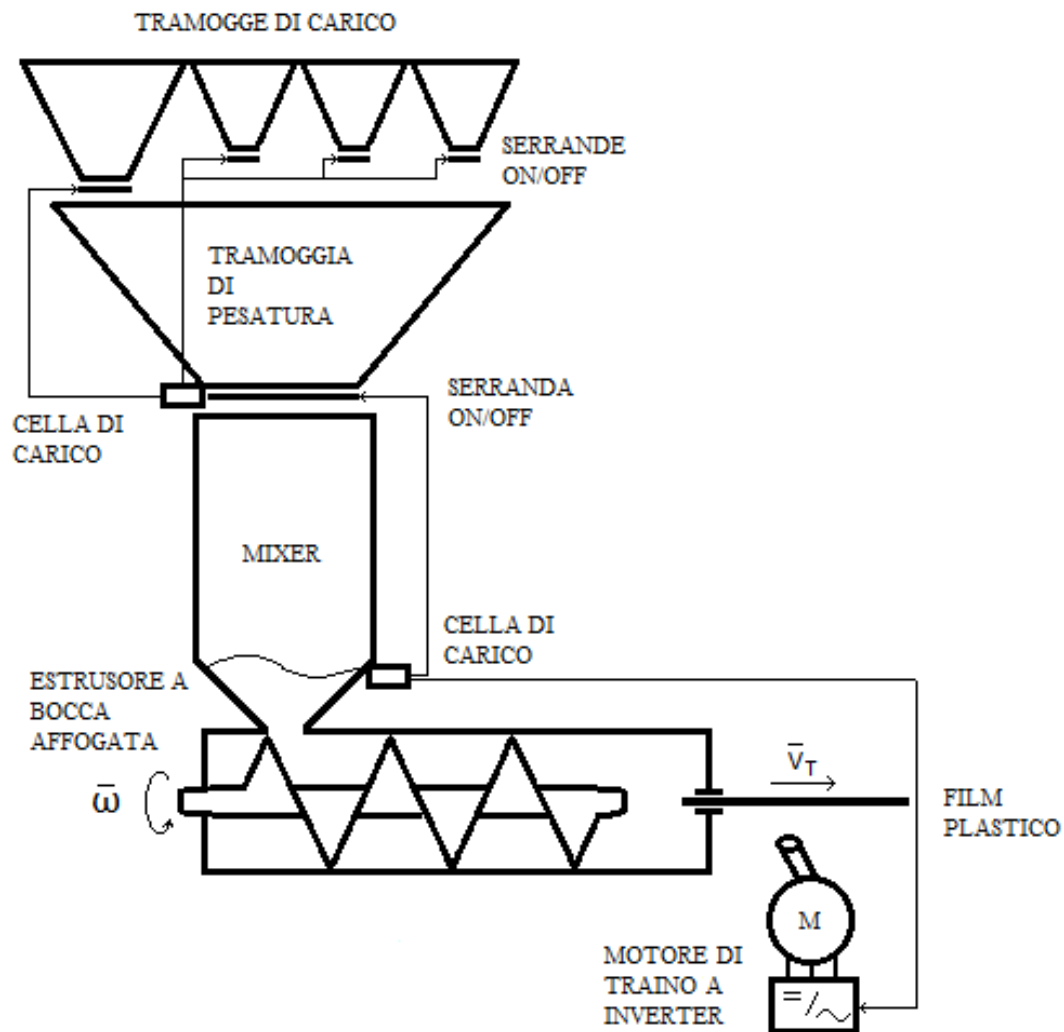


Figura 3: schema dell'impianto con le modifiche della **Fase 1**

Il controllo dello spessore del film plastico è effettuato per il tramite della cella di carico montata sul mixer, la quale viene letta ad intervalli di tempo costanti, fornendo l'informazione sulla variazione del peso del prodotto in ingresso dell'estrusore. In base alla suddetta variazione di Peso è effettuata la correzione della velocità del traino, tramite Azionamento Inverter.

In questo modo si controlla che il rapporto “grammo/metro” (spessore film) sia costante. E’ quindi realizzata una relazione, K_M fra la velocità del traino e la portata in massa Q_M rilevata dalla cella di carico del Mixer.

Tale controllo di tipo “indiretto”, è però influenzato da diversi elementi d’incertezza quali inerzie meccaniche e fattori di ritardo nel controllo (latenza PLC) come in seguito meglio descritti.

Modifica 3:

*Si vuole dunque “migliorare” il controllo dello spessore del film plastico in uscita tramite l’utilizzo di un Encoder incrementale montato sulla vite dell’estrusore per rilevare in **tempo reale** la velocità di rotazione.*

*L’encoder già presente sull’albero di traino, viene “agganciato” a quello dell’estrusore ottenendo un controllo in velocità mediante azionamento a Inverter, al fine di mantenere costante il **rapporto di trasmissione** traino/estrusore, in quanto si ritiene che le fluttuazioni in velocità dell’estrusore (asse non controllato ed azionato da un motore AC) siano le principali cause della non uniformità dello spessore del film plastico in uscita.*

Per l’inseguimento dei due Assi, viene utilizzata la prestazione di interpolazione lineare disponibile dalla scheda PLC dedicata (vedasi data sheet pag. 36).

*In dipendenza dai risultati di questa soluzione, non è esclusa l’implementazione del controllo dell’aggancio traino/estrusore direttamente dal SW PLC (Real Time Routine) che consente una maggiore flessibilità di messa a punto in considerazione delle diverse **inerzie** del sistema.*

*In base alle precedenti considerazioni, la velocità del traino V_T è condizionata dalla portata in massa in ingresso dall’estrusore Q_M (uscita dal Mixer) e **adeguatamente corretta/integrata** dalle fluttuazioni di velocità dell’estrusore ($\Delta\omega_E$) rilevate in tempo reale.*

La formula sotto indicata intende quindi proporre un algoritmo per realizzare la velocità di traino V_T , determinata essenzialmente dall’inseguimento dell’asse estrusore $K_V \omega_E$ ed “influenzata” dal flusso di massa Q_M :

$$V_T = K_V \omega_E |_{f(Q_M)}$$

La costante K_V e la dipendenza $V_T - Q_M$ saranno definite in fase di messa a punto del software.

CAPITOLO II

DIMENSIONAMENTO TRAMOGGIA DI CARICO

(Modifica 1-a)

2.1 LA TEORIA DI JENIKE

Per evitare problemi di deflusso del materiale, è necessaria una corretta progettazione della tramoggia basata sullo scarico per gravità. Storicamente le tramogge erano progettate in base a congetture e pertanto si risaliva alla soluzione per tentativi con conseguente spreco d'impegno e denaro.

Un approccio meno "fortunistico" viene fornito dalla "**Teoria di Jenike**", basata sulla quantificazione degli sforzi di taglio (*shear strength*) per la determinazione della scorrevolezza del materiale in granuli, per la progettazione di una tramoggia per il *flusso di massa* e per il dimensionamento dell'angolo di tramoggia e il diametro di apertura da applicare.

Per lo studio sopra descritto, si utilizzano i risultati ottenuti da apparecchiature denominate **celle di shear** le quali caratterizzano i materiali nel loro stato consolidato tipico ad esempio nei silos o nella meccanica di suoli (sforzi elevati pari a 10-100 kN/m²). Tuttavia molte applicazioni dell'industria di processo sono caratterizzate da sforzi di consolidamento molto più bassi (nell'ordine del kN/m²), si pensi ad esempio nell'industria farmaceutica al flusso per il riempimento di una capsula o di un blister.

Nella presente trattazione, viene dimensionata la tramoggia del Prodotto Base per una capienza di poco superiore al volume del Batch (dell'ordine di qualche Kg) presentandosi quindi un contesto ove le forze di consolidamento o di compattazione del materiale non vengono raggiunte. L'Analisi proposta utilizzerà le relazioni della *Teoria di Jenike* che fornisce i parametri per il dimensionamento della tramoggia. La sezione di scarico è stabilita dalle specifiche di Progetto, quali la portata oraria di massa e il mantenimento della precisione delle dosi richieste: con la *Teoria di Jenike* si verificherà che detta apertura di scarico consente un deflusso regolare di materiale.

Non disponendo delle *celle di shear*, per lo studio delle proprietà del prodotto in granuli, si è adottato un metodo alternativo la cui procedura, come di seguito descritta, si è svolta nel Laboratorio della **Facoltà d'Ingegneria di Bologna in Via Terracini 24**.

2.2 FORMAZIONE DI PONTI:

2.2.1 Flusso di massa e flusso a imbuto:

In una tramoggia si possono distinguere due principali tipi di flusso:

Il *flusso di massa* in cui tutto il materiale si mette in movimento appena il prodotto viene fatto defluire, caratterizzato da un flusso regolare e capacità di scarico ben controllabile, è preferibile al *flusso a imbuto* in cui si verificano accumuli di materiale lungo il fianco della tramoggia con alta probabilità d'interruzione del flusso causato dalla formazione di ponti.

Molti prodotti presentano un certo grado di coesione: le particelle aderiscono le une alle altre e non permettono al prodotto di fluire liberamente, pertanto in prossimità dello scarico tramoggia si creano ponti.

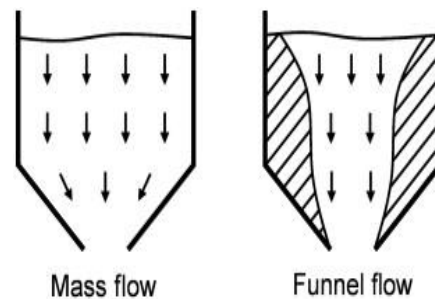


Figura 4: flusso di massa e a imbuto

2.2.2 Le proprietà dei ponti:

Se non si verificano problemi di deflusso del prodotto, allora non si formeranno ponti. Si prendano come esempio, dei granelli di sabbia abbastanza uniformi, più o meno della stessa grandezza e tondeggianti; inoltre si consideri che non sia presente umidità. E' dunque chiaro che la denominazione di un prodotto è insufficiente a determinarne le caratteristiche in quanto influenzabili dal *contesto* in cui vengono considerate, e che pertanto, assume un ruolo fondamentale.

Il flusso dentro una tramoggia è dovuto al crollo o collasso dei ponti.

La formazione di ponti rappresenta un problema qualora divenissero stabili.

In tale situazione si tengano presenti le due seguenti proprietà:

- la forza di rottura del ponte,
- la forza applicata sul ponte.

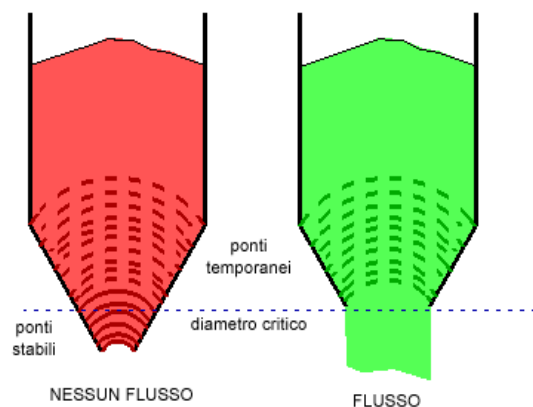


Figura 5: Ponti e diametro critico

2.2.3 Forza di rottura del ponte:

Sul prodotto all'interno della tramoggia, graverà la pressione di quello sovrastante. Questa pressione fa sì che in condizioni di staticità (tramoggia chiusa) il prodotto acquisti una certa coesione chiamata la *forza di rottura del ponte* f_c .

La *forza di rottura del ponte* di un prodotto dipende da:

- pressione esercitata;
- composizione;
- percentuale di umidità;
- distribuzione volumetrica delle particelle;
- temperatura;
- durata dello stoccaggio.

La *forza di rottura del ponte* f_c è misurata in funzione della pressione che ne determina la compattazione chiamata *forza applicata sul ponte* σ_1 ; tale rapporto è il *flow factor* ff (paragrafo 4).

Ne consegue che è importante eseguire le misurazioni nelle condizioni effettive.

2.2.4 Forza applicata sul ponte:

Per permettere al prodotto della tramoggia di fluire, occorre rompere nuovamente la coesione del prodotto.

La formazione di ponti stabili non si verificherà a patto che i ponti formati crollino. Il ponte cederà sotto il proprio peso qualora la *forza applicata* σ_1 sia superiore della *forza di rottura* f_c del prodotto ($ff > 1$), nelle condizioni di pressione presenti nella tramoggia.

2.2.5 Come evitare la formazione di ponti :

La formazione di ponti stabili dipende dunque dalla densità della rinfusa, dalla forma della tramoggia, dall'attrito di parete e ovviamente dalla coesione del prodotto. Se questi dati sono noti (misurati), è possibile calcolare il diametro critico dell'apertura secondo la *formula di Jenike*.

Per evitare la formazione di ponti, l'apertura dovrà essere maggiore del diametro critico. Tuttavia si riscontra che tale fenomeno risulta meno accentuato durante uno scarico per *flusso di massa* in quanto la distribuzione delle tensioni è tale che un arco stabile o flusso a imbuto difficilmente si verificano e quindi il flusso non si interrompe.

Occorre pertanto progettare la tramoggia in modo tale che sia garantito il *flusso*

di massa. Il pattern (modello) di flusso che si riscontra è determinato da:

- Geometria /angolo della tramoggia θ_p ;
- attrito fra prodotto e parete Φ_w ;
- attrito interno del prodotto (proprietà materiale) δ .

In generale, si può affermare che il flusso di massa è facilitato da una tramoggia più ripida e liscia.

Le pareti e gli angoli devono dunque presentare una finitura uniforme.

2.3 PROGETTAZIONE DEL FLUSSO DI MASSA:

La progettazione di una tramoggia a flusso di massa procede come segue:

1. Si misura l'attrito di parete che ha il prodotto sul materiale di costruzione proposto Φ_w .
2. Si misura l'attrito interno del prodotto δ .
3. Sulla base di questi dati si calcolano la forma e l'angolazione della tramoggia che permettono il flusso di massa.
4. Qualora al punto 3) non sia possibile trovare alcuna soluzione pratica, si cerca un rivestimento, un'imbottitura o altro materiale da costruzione con minor attrito di parete.
5. Se anche questo non è fattibile, una soluzione può essere rappresentata dalla messa in vibrazione o dall'aerazione.
6. Se anche questo metodi non funzionano, bisognerà fare a meno della tramoggia.

2.3.1 Angolo d'attrito a parete φ_w :

Apparecchio di prova *Jenike Shear Tester* di *Figura 6*.

Un campione di materiale in particelle è fatto scorrere ad una velocità costante pari a 0,04 mm/s circa, lungo una superficie che rappresenta la parete della tramoggia (*sample wall material*), e si misura la forza d'attrito sulla superficie di scorrimento.

La pressione di riferimento (*applied weight*) viene mantenuta bassa per simulare le basse pressioni che si manifestano durante lo svuotamento nei pressi dello scarico della tramoggia.

Il diametro della cella deve essere almeno 40 volte la dimensione massima delle particelle del materiale e l'altezza compattata del campione deve essere compresa tra 0,15 D e 0,20 D.

Nel caso di campioni di parete con irregolarità, quali corrugamenti, la dimensione della cella deve essere scelta di conseguenza.

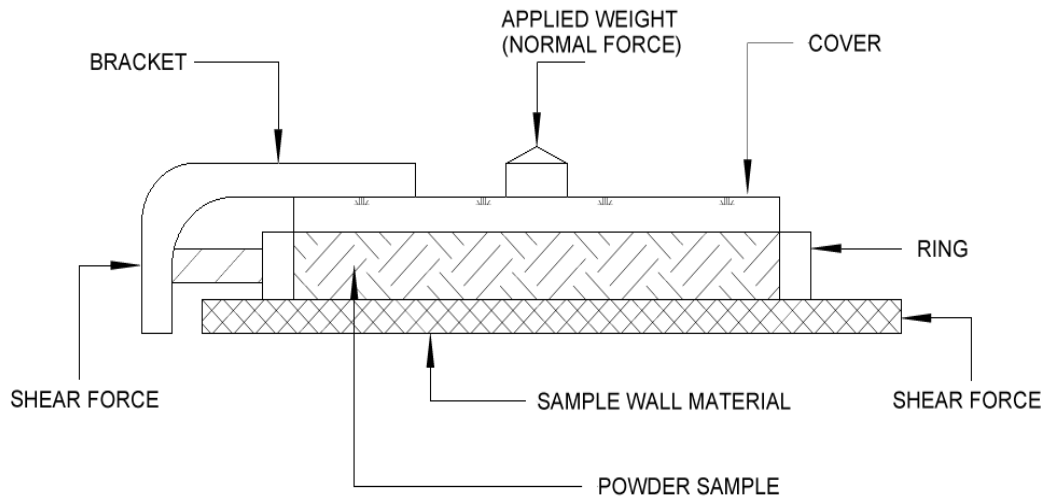


Figura 6: Jenike Shear Tester per angolo d'attrito a parete

Non potendo servirci del “*Jenike Shear Tester*”, si è ricorso ad una prova che consente di effettuare una misurazione equivalente svolta nel Laboratorio della Facoltà d'Ingegneria di Bologna.

L'attrezzatura in questione è composta di un piano di rilievo su cui è stata montata la piastra di supporto del materiale (acciaio inox) rispetto al quale si vuole calcolare l'angolo d'attrito del materiale in prova.

E' stato versato gradualmente il prodotto da testare sul piano di rilievo ancora in posizione orizzontale. Si è iniziato ad inclinare leggermente il piano di rilievo e si è proceduto con l'aumento del grado d'inclinazione fino al momento in cui la maggior parte del prodotto è scivolato sul piano.

Tramite un goniometro fissato sullo spigolo inferiore del piano di rilievo è stato determinato l'*angolo d'attrito a parete* in questione.

Il valore dell'angolo su cui basare il dimensionamento della tramoggia è la media di cinque prove effettuate, per una maggiore attendibilità:

Prove	angolo attrito parete Φ_w
prova 1	19°
prova 2	21°
prova 3	19°
prova 4	20°
prova 5	20°
MEDIA	20°



Figura 7: prova di laboratorio per la determinazione dell'angolo d'attrito a parete

2.3.2 Angolo d'attrito interno δ :

Come per l'angolo d'attrito a parete, per determinare l'attrito interno del prodotto si ricorre al *Jenike Shear Tester* di *Figura 8*.

Questa volta il materiale campione e' fatto scorrere su se stesso e si misurano le forze d'attrito che nascono. L'apparecchio di prova consiste in una cella di taglio cilindrica, come quella rappresentata in figura. Il diametro D della cella deve essere almeno 40 volte la dimensione massima delle particelle del materiale e l'altezza del campione deve essere compresa tra $0,3 D$ e $0,4 D$.

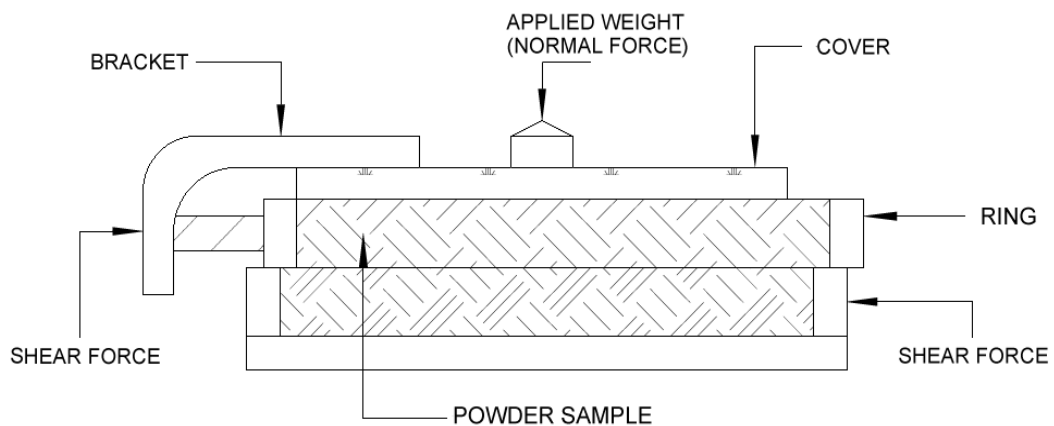


Figura 8: Jenike Shear Tester per angolo interno del prodotto

L'angolo di attrito interno (anche definito angolo di resistenza al taglio) è funzione dell'attrito, della coesione e della forma dei granuli.

Un metodo alternativo al Jenike Shear Tester per la determinazione di tale angolo, consiste nel definire in primo luogo il valore dell' "angolo d'apertura" . Un esempio pratico di questo significato fisico può essere compreso versando il materiale su una superficie orizzontale: il materiale si disporrà secondo una forma conica. L'angolo descritto dalla



Figura 9: calcolo dell'angolo d'apertura

generica retta che congiunge il vertice alla base con il piano orizzontale è l'angolo d'apertura del prodotto. A questo punto, viene aperto un foro sotto la base del cono di materiale per farlo defluire: verrà dunque a formarsi una sorta di cratere (*Figura 10*) il cui angolo d'inclinazione è l'angolo d'attrito interno cercato.

Anche per questa prova viene adottato come angolo di riferimento il valore medio dei cinque risultati:

Prove	angolo attrito interno δ
prova 1	32°
prova 2	31°
prova 3	32°
prova 4	32°
prova 5	33°
MEDIA	32°

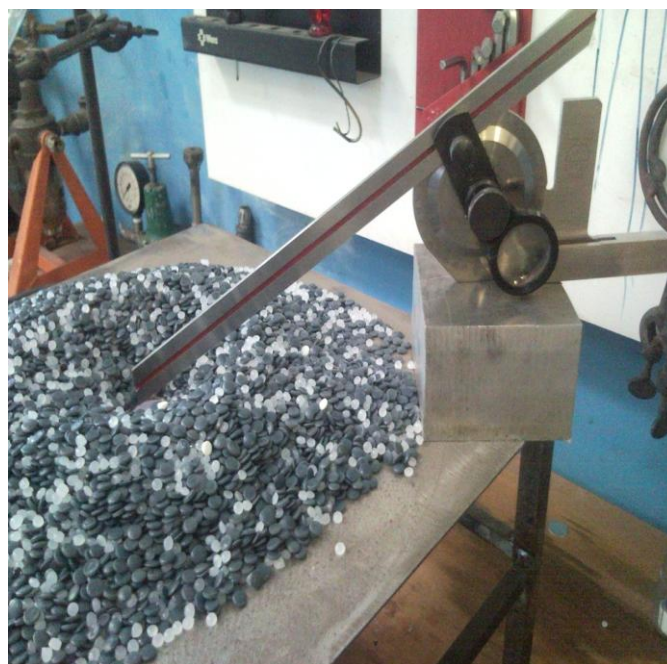


Figura 10: prova di laboratorio per la determinazione dell'angolo d'attrito interno

Ora si analizza come i parametri trovati conducano alla progettazione di una tramoggia che garantisca il “flusso di massa”.

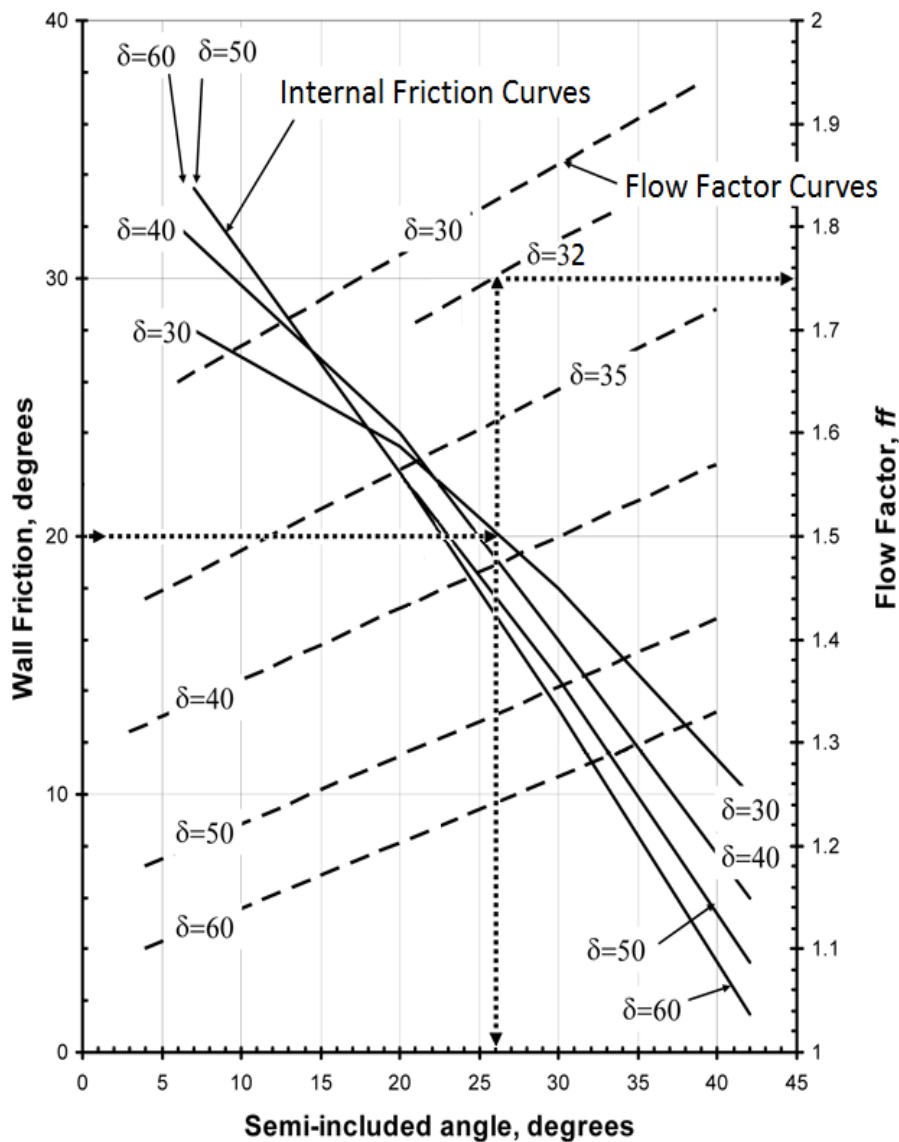


Figura 11: grafico tramoggia conica per determinare angolo a parete θ_p e flow factor (ff)

Nota l'angolo di attrito interno δ e quello a parete Φ_w , dal grafico proposto si ricava l'angolo ottimale delle pareti della tramoggia con sezione di scarico circolare che c'interessa dimensionare: tale grafico riporta in ordinata l'angolo di attrito tra il materiale in PVC e parete della tramoggia mentre in ascissa i corrispondenti angoli di apertura per una sezione rettangolare θ_p . Dall'angolo Φ_w , si traccia l'orizzontale che intersecherà la “Internal Friction Curves” per il caso specifico ($\delta=32^\circ$). Dal punto di intersezione si traccia la verticale verso l'ascissa e si ricava il valore corrispondente di θ_p ; procedendo invece verso la Flow Factor Curves

sempre per il caso specifico ($\delta=32^\circ$), si ricava il valore del “**flow factor**” (**ff**).

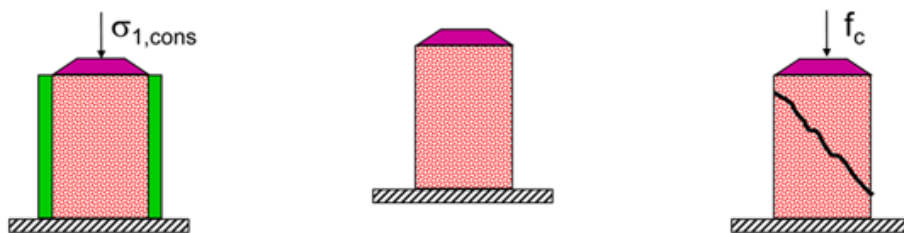
Ne deriva che la tramoggia conica risulterà avere un’inclinazione di 26° delle pareti dalla verticale.

Il secondo valore trovato è il flow factor pari a 1,75 la cui trattazione è svolta nel paragrafo successivo.

2.4 FLOW FUNCTION “FF” , flow factor “ff” E LA FORMULA DI JENIKE:

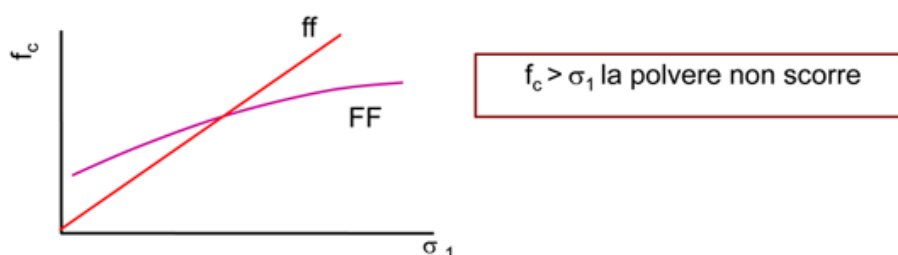
Il parametro *flow factor* consente di distinguere il diverso comportamento di scorrevolezza dei granuli quando vengono compattati. A tale valore si risale per mezzo di una *Shear Cell*, che misura l’intensità della forza di taglio necessaria a provocare lo scorrimento del materiale soggetto ad un carico normale e dipendente dallo stesso (*figura 8*).

Immaginando un esperimento ideale (non riferito ad una cella di shear) nel quale il nostro campione in granuli viene confinato lateralmente e sottoposto in direzione verticale ad uno sforzo di consolidamento σ_1 (*forza applicata sul ponte*). Dopo aver consolidato il campione rimuoviamo le pareti di confinamento e quindi sottoponiamolo ad uno sforzo che porti al suo cedimento. Tale valore dello sforzo di cedimento del materiale è la *forza di rottura del ponte* f_c .



Nel caso di sili e tramogge si dimostra che (Jenike) :

$$\sigma_1/f_c = ff(\alpha, \phi_w, \phi_i) = \text{cost.} \rightarrow ff \text{ (flow factor)}$$



ff (flow factor) è funzione delle proprietà della polvere e della geometria del silo!

Figura 12: determinazione del flow factor ff

Il possibile andamento di tali coppie di valori definisce il *flow factor* (*ff*), che è funzione del tipo di materiale in granuli impiegato e della geometria del sistema, mentre la cosiddetta *Flow Function* (*FF*) dipende solo dalle proprietà del prodotto.

Maggiore risulta essere il “flow factor *ff*” (retta meno inclinata), maggiore sarà la “scorrevolezza” del materiale all’interno della tramoggia. Infatti, finché la curva *ff* si trova al di sotto della curva *FF*, si generano archi stabili che impediscono al materiale di fluire e giungere dunque alla bocca di scarico. Diversamente, quando la curva *ff* si trova al di sopra della curva *FF* si verifica la condizione di flusso.

Dall’intersezione della curva *ff* con la curva *FF* si ricava il valore della tensione σ_1 caratteristica del materiale che ne determina la compattazione all’interno della tramoggia e la $f_{c_critical}$ ovvero la tensione minima che porta al cedimento degli archi che ostacolano il deflusso del materiale. Quest’ultimo valore compare direttamente nella **Formula di Jenike** per il dimensionamento della tramoggia che garantisce il flusso di massa:

$$D = \frac{f_{c_critical} \cdot H(\theta)}{\rho_{bulk} \cdot g}$$

Dove *D* rappresenta il diametro d’apertura dello scarico della tramoggia a sezione circolare, mentre ρ definisce la densità apparente del materiale in esame. Jenike fornisce il grafico per determinare il valore della costante *H*(θ) dipendente dalla geometria d’apertura e la pendenza della parete tramoggia dalla verticale (*Figura 13*).

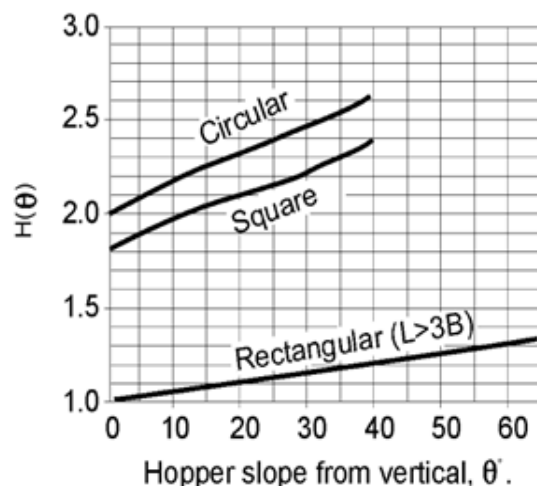


Figura 13: determinazione di *H*(θ)

Entrando dunque con il valore di 26°, si sale verticalmente fino ad incrociare la retta per una sezione di scarico di forma circolare riguardante il nostro caso, trovando un valore di *H*(θ) = 2,4.

Per determinare la densità di bulk del prodotto base si prosegue nel seguente modo:

1. E' stato rilevato il peso di un contenitore campione a disposizione da $600\text{ml} = 0,6\text{ dm}^3$, attraverso la bilancia trovando il "Peso_{tara}" = 75g.
2. E' stato riempito il contenitore campione del prodotto da testare, stando ben attenti a non compattare il materiale. Il materiale in prova in eccesso deve essere asportato tramite un piattino livellatore.
3. E' stato pesato il contenitore campione con il prodotto trovando il "Peso_{finale}" = 475g.
4. Utilizzando la seguente formula si ricava il valore della densità di bulk (o apparente) del prodotto:

$$\rho_{\text{bulk}} = (\text{Peso}_{\text{finale}} - \text{Peso}_{\text{tara}}) / \text{volume contenitore} = 667 \text{ Kg/m}^3$$

Rimane da determinare la *Flow Function FF* da cui risalire alla tensione $f_{c\text{-critical}}$.

Tale curva è determinata sperimentalmente tramite un "anular shear cells", una corona circolare nella quale avviene la tranciatura del prodotto granulare tramite la rotazione della piastra superiore che comprime il materiale caricato all'interno dell'anello. Le fluttuazioni di forza di compressione sono localmente misurate nella parte inferiore dell'anello base con fenomeno piezoelettrico.



Figura 14: anular shear cells

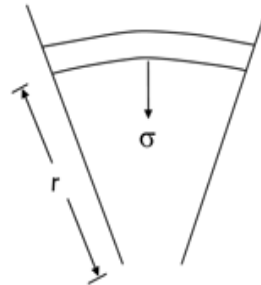
Quanto sopra illustrato, è il procedimento per determinare la sezione di scarico di silos o tramogge all'interno delle quali sono presenti tensioni tali da poter indurre il compattamento del prodotto in granuli.

Come precedentemente dichiarato, nel caso specifico, le tensioni in gioco σ sono inferiori a quelle di consolidamento del materiale non comportando dunque la formazione di ponti, come di seguito dimostrato:

Dalla formula di Jenike si ricava:

$$f_{C-critical} = \frac{\rho_{bulk} \cdot g \cdot D}{H(\theta)}$$

ovvero la tensione minima che porta al cedimento dei ponti. L'analisi si concentra dunque nel verificare che la **tensione** σ all'interno della tramoggia rimanga **SOPRA** il valore di $f_{C-critical}$ in condizioni di staticità; ciò significa che **NON** si presentano le condizioni per la formazione di archi stabili nella zona in prossimità dello scarico. L'andamento delle tensioni è descritto dal "postulato di Jenike" (Figura 15). In prima approssimazione, considerato altresì i ridotti valori dell'altezza della tramoggia in esame, è possibile utilizzare la formula di



Più di 40 anni fa, Andrew W. Jenike, ha postulato che l'intensità degli sforzi nella zona convergente di una tramoggia fosse proporzionale alla distanza dall'apice della tramoggia.

$$\sigma = \sigma (r, \theta)$$

$$\sigma \propto r f(\theta)$$

Figura 15: Postulato di Jenike

Stevino per il calcolo delle pressioni dei liquidi ottenendo un risultato, **leggermente minore** delle condizioni reali. (Formula di Janssen - riferimenti dalla Bibliografia: George G. Chase, The University of Akron – Hopper Design)

Si intende ora procedere alla soluzione della problematica ove, conoscendo la portata in massa \dot{m} (trattazione nel capitolo successivo), che garantisce la produzione oraria e le precisioni richieste nelle dosi, si risale alla dimensione di scarico della tramoggia D.

2.5 DIMENSIONAMENTO DELLO SCARICO TRAMOGGIA

Per il suddetto dimensionamento si utilizza la
 “MASS-FLOW JOHANSON EQUATION”:

$$\dot{m} = \rho_{bulk} \cdot A \cdot \sqrt{\frac{C \cdot g}{2 \cdot (1+m) \cdot \tan \theta}}$$

Dove:

θ = angolo apertura tramoggia 26°

ρ_{bulk} = densità apparente del prodotto base
 667 Kg/m³

\dot{m} = portata in massa del prodotto base 108 g/s

(il valore è riportato dalla trattazione del capitolo successivo; vedesi **cap.3 par.4**)

g = accelerazione gravità 9,807 m/s²

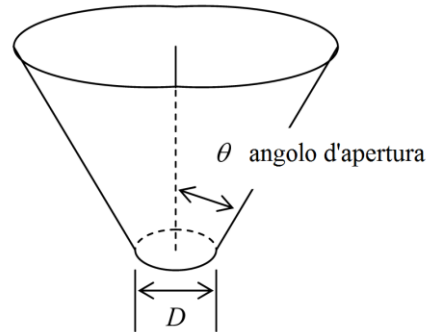


Figura 16: tramoggia conica

Per i rimanenti parametri si usa la seguente tabella:

Parametri	Tramoggia conica	Tramoggia simmetrica
C	D, diametro d'uscita	B
A	$\frac{\pi}{4} D^2$	B · L
m	1	0

andando a sostituire i valori per lo studio di una tramoggia conica risulta:

$$\dot{m} = \rho_{bulk} \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{4 \cdot \tan \theta}}$$

Si ricava ora l'incognita D:

$$D = \sqrt[5]{\left(\frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot \rho_{bulk}}\right)^2 \cdot \frac{4 \tan \theta}{g}} = 0,0243 \text{ m}$$

Dunque l'apertura a sezione circolare per lo scarico della tramoggia al fine di garantire la portata in massa desiderata (108 g/s), deve essere **D=24,3 mm**.

Come da specifica, la tramoggia in esame deve scaricare una quantità di materiale che si aggira nell'ordine del 90% dei 3 Kg che compongono il Batch, pertanto si ritiene ragionevole eseguire il dimensionamento della suddetta per 5Kg di materiale.

Si calcola ora il volume che la "tramoggia conica" deve avere per contenere 5Kg di materiale ricordando che i granuli in questione hanno una densità apparente $\rho_{bulk} = 667 \text{ Kg/ m}^3$:

$$V_{tramoggia} = \frac{5\text{Kg}}{667 \text{ Kg/ m}^3} = 7,5 \text{ l}$$

Ma il volume della tramoggia (volume tronco di cono) è anche uguale a:

$$V_{tramoggia} = \frac{\pi \cdot h}{3} \cdot (r_M^2 + r_m^2 + r_M \cdot r_m)$$

Dove:

r_m = raggio minore 12,15 mm

r_M = raggio maggiore $h \cdot \tan 26^\circ + r_m$

h = altezza tramoggia

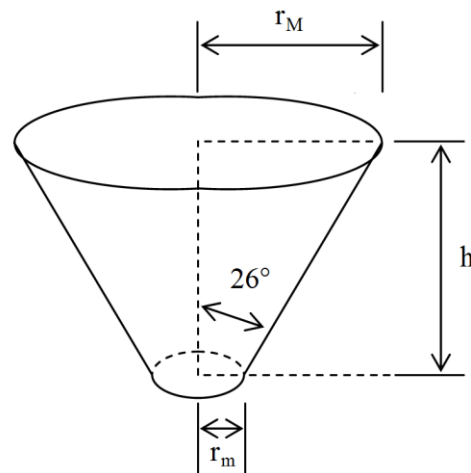


Figura 17: tramoggia conica

Ne deriva che l'unica incognita è l'altezza h :

Sviluppando l'equazione utilizzando "Microsoft Excel ® "

π		3,1416
Volume Tramoggia		0,0075 m ³
Raggio minore		0,01215 m
Raggio Maggiore		0,151749 m
Altezza Tramoggia		0,28624 m

si trova **$h = 28,624 \text{ cm}$**

Si verifica ora quanto precedentemente dichiarato, ovvero che per una tramoggia così dimensionata non sussiste il rischio che si formino ponti: si dimostra dunque che " $\sigma > f_{c-critical}$ ".

Riprendendo l'equazione di Jenike, si ricava $f_{c-critical}$ conoscendo D e ricordando che $H(\theta) = 2,4$:

$$f_{C-critical} = \frac{\rho_{bulk} \cdot g \cdot D}{H(\theta)} = 66,23 \text{ Pa}$$

La $f_{C-critical}$ è la tensione minima richiesta a rompere eventuali ponti sulla sezione di scarico e quindi a garantire un flusso regolare. Un valore così basso di pressione, è dovuto alla scarsa coesione del materiale in esame, a un basso angolo d'attrito a parete, ma soprattutto come già dichiarato, alla quantità di prodotto non sufficiente a creare uno stato tensionale tale da permetterne il consolidamento.

Pertanto è necessario verificare che la tensione σ all'interno della tramoggia sia superiore a 66,23 Pa.

Per fare ciò si utilizza, come precedentemente ipotizzato (Janssen), la formula per il calcolo della pressione dei liquidi (Stevino):

$$\sigma = \rho_{bulk} \cdot g \cdot h = 1870 \text{ Pa}$$

Si è dunque verificato che il dimensionamento descritto non comporta la formazione di archi.

2.6 CONCLUSIONI SU DIMENSIONAMENTO TRAMOGGIA:

La procedura illustrata per il dimensionamento della tramoggia di carico basata sulla teoria di Jenike, può essere riutilizzata qualora si voglia passare dalle problematiche dall'impianto Gravimetrico in esame (utilizzato al fine di estrudere film plastici) ad un impianto per il dosaggio di alimenti nel settore del confezionamento.

In particolar modo, per alcune tipologie di cibi in polvere, ha senso parlare di tensioni di compattazione in quanto la coesione dei granuli risulta molto alta e sensibilmente aumentata dall'eventuale presenza di umidità con conseguente formazione di archi nella zona di scarico tramoggia.

Per tale problematica occorrerà effettuare il dimensionamento del diametro critico della bocca di scarico, basato sulla formula di Jenike nella sua "forma originale".

Nella presente trattazione, la teoria di Jenike viene comunque utilizzata per avere un criterio di dimensionamento della tramoggia; il diametro D dell'apertura viene però definito in conseguenza di altre specifiche di Progetto quali :

- il **Volume di Produzione** oraria e quindi la Portata in massa \dot{m} da cui si ricava la dimensione della sezione di scarico tramite la *MASS-FLOW JOHANSON EQUATION*.
- la **precisione** delle Dosi, determinata dal tempo di Latenza del Sistema per l'effettiva chiusura della serranda, ipotizzato in 25 ms (vedasi lo specifico argomento successivo).

Pertanto tramite la formula di Jenike viene semplicemente dimostrato che per il materiale in esame, non sussiste il rischio di formazione archi in prossimità dell'uscita della tramoggia di carico; ciò, si ricorda, è soprattutto dovuto alla quantità di prodotto non sufficiente a creare uno stato tensionale tale da permetterne il consolidamento.

Sia per l'industria alimentare quanto per quella farmaceutica, il problema della caratterizzazione dei materiali in polveri per il dimensionamento di tramogge, è ancora in parte frutto di esperienze acquisite a causa della carenza di fondamenti teorici; pertanto risulta tutt'ora molto attiva la ricerca sperimentale in questi settori.

CAPITOLO III

INTERFACCIA PLC-AZIONAMENTO PNEUMATICO ON/OFF (*Modifica 1-b*)

3.1 IL PLC:

Il termine PLC è l'acronimo dell'inglese Programmable Logic Controller (**Controllore logico Programmabile**).

Il termine "**logico**" mette in evidenza solo una parte delle prestazioni che il PLC può fornire: infatti, oltre alle funzioni strettamente logiche (AND,OR,NOT, XOR etc.) sono in grado di eseguire conteggi, temporizzazioni, comparazioni, calcoli numerici, ed altre operazioni di elaborazione di dati in formato bit, byte, word.

I PLC più evoluti oramai possono essere paragonati a dei veri e propri Personal Computer, per cui si potrebbe anche chiamarli IPC (Personal Computer Industriali).

Una definizione più appropriata può dunque essere:

"Un PLC è un dispositivo elettronico digitale che si serve di una memoria programmabile al fine di memorizzare informazioni o istruzioni, atte a realizzare specifiche funzioni, finalizzate al controllo di macchine e processi quali ad esempio :

operazioni logico-aritmetiche complesse , temporizzazioni, conteggi di eventi , comparazioni, codifiche, decodifiche, comunicazioni remote, interfaccia Operatore.

In altre parole, un PLC può essere definito come uno **speciale elaboratore, di tipo industriale, concepito per risolvere problematiche di controllo ed automazione** e che si differenzia dal PC soprattutto per quanto riguarda il linguaggio di programmazione (non particolarmente complesso, per far sì che possa essere utilizzato da tecnici che non hanno conoscenze orientate all'elettronica ed all'informatica) e l'interfacciamento con i dispositivi esterni.

La necessità dell'industria di produrre a "**qualità costante**" e sempre più elevata, di rendere flessibile la capacità produttiva e migliorare la produttività per poter essere competitiva nelle attuali condizioni di mercato, spinge verso un'automazione che interessa tutti i livelli del Processo produttivo. Si va cioè verso la "**fabbrica automatica**" ed il PLC sta assumendo in quest'ultima il ruolo di componente fondamentale.

3.1.1 *Vantaggi dell'uso del PLC*

I più importanti vantaggi introdotti dall'utilizzo del PLC rispetto alla precedente logica cablata sono:

1. **Maggiore economicità** sia nella fase di realizzazione del sistema di comando sia nella fase di gestione dello stesso, in particolare riguardo

alle ormai inevitabili modifiche, personalizzazioni delle Prestazioni del Prodotto.

2. **Ampliamenti** al Sistema possono essere fatti semplicemente "aggiungendo" componenti (Schede specializzate) e limitandosi al loro collegamento fisico senza dover modificare quello delle altre apparecchiature.
3. **Modifiche** al ciclo di automazione possono essere apportate semplicemente intervenendo sul "*programma*" e lasciando inalterati i collegamenti fisici.
4. **Recupero e reimpiego** dello stesso PLC qualora non fosse più necessaria l'applicazione a cui era stato inizialmente destinato.

3.1.2 Funzionamento sequenziale

Caratteristica base di tutti i sistemi di elaborazione dati è il funzionamento sequenziale, che è da intendersi come "**fare una cosa alla volta , ovvero una dopo l'altra**", in modo molto veloce dipendente dalla frequenza del clock della CPU. Le singole istruzioni vengono eseguite una alla volta, tranne ovviamente i casi in cui si incontrano delle istruzioni (Jump, GoTo, Call ,...) che impongono una variazione a questa sequenza.

Il funzionamento sequenziale dei sistemi a PLC comporta l'elaborazione di un Programma che richiede un certo tempo più o meno lungo, a seconda del numero e del tipo di istruzioni che lo compongono.

Alla fine del Programma, l'elaborazione ricomincia dalla prima istruzione.

3.1.3 Tempi di esecuzione

Per tempo di esecuzione di un'istruzione si intende il tempo che intercorre tra l'istante in cui l'istruzione stessa viene letta dalla memoria, tramite l'indirizzo indicato dal contatore di programma (Program Counter) e l'istante in cui, dopo la decodifica e la relativa esecuzione, la CPU inizia la fase di lettura dell'istruzione successiva (Program Counter + 1) . Tali tempi sono molto diversi fra di loro : ad es. la lettura di un ingresso può essere eseguita anche in un solo microsecondo, mentre la lettura di un encoder incrementale o una Fusione matematica complessa, anche decine di μ s.

A seconda dei modelli, per una stessa marca di PLC, ed ancora di più per PLC di marche differenti , la stessa istruzione può richiedere tempi molto diversi.

3.1.4 Tempo di Ciclo (o di scansione)

Per TEMPO DI CICLO si intende il tempo massimo necessario per eseguire tutte le istruzioni secondo Programma.

3.1.5 Tempo di reazione

Dipende dal Tempo di Ciclo.

Gli ingressi del sistema vengono tutti acquisiti all'inizio di ogni ciclo PLC: per TEMPO DI REAZIONE del PLC si intende la somma del tempo di ritardo fra le **letture degli input** e la durata dell'intero Ciclo che termina con il **comando di tutti gli output** verso l'esterno (figura 18).

Il Tempo di reazione deve essere necessariamente minore del tempo di variazione del **segnale d'input più veloce** che il sistema vuole acquisire; solo così può essere garantito il corretto controllo del processo (Tempo Reale).

Per il funzionamento in Tempo Reale, si può utilizzare anche la tecnica ad Interrupt che **attiva Ciclicamente (Real Time Tick)** il programma PLC, la cui durata massima è quindi condizionata dalla velocità della variazione degli input da acquisire. Come ordine di grandezza, nei normali Processi di Automazione il *Real Time Tick* può variare dal ms a qualche decina di ms.

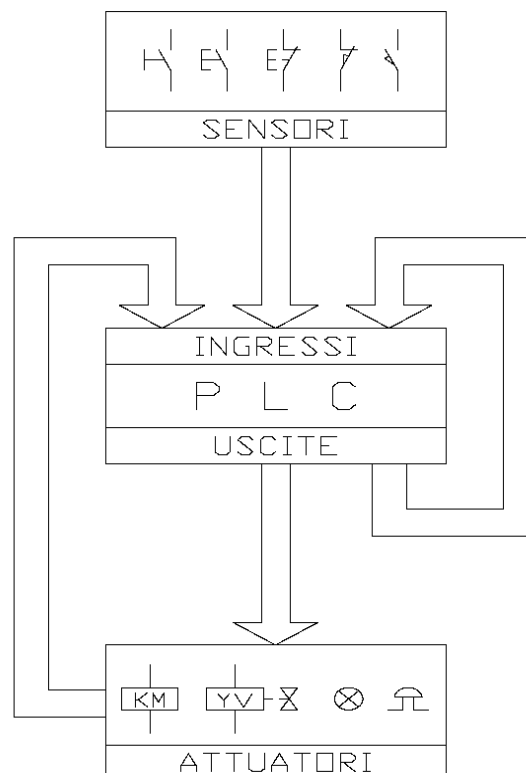


Figura 18: struttura del funzionamento PLC

3.1.6 Controllo del Processo Gravimetrico con PLC

Per poter controllare il Processo Gravimetrico, il PLC deve acquisirne lo stato del sistema in Tempo Reale ed in base alle istruzioni del programma, determinare se devono o meno essere apportate delle modifiche alle uscite. Nel caso in esame il tempo massimo di Ciclo è di circa 10 ms. (o Tempo di Reazione).

Per acquisire lo stato attuale del processo vengono collegati agli "ingressi" del PLC tutte le apparecchiature "sensori" del sistema (**input dei segnali analogici e digitali**) quali ad es: pulsanti, celle di carico, encoders, fincorsa, fotocellule, interruttori on/off in generale.

Per "**attuare**" sul mondo esterno quanto è stato determinato dall'elaborazione del Programma, alle uscite del PLC sono collegate tutte le apparecchiature atte a realizzare quanto necessario per il controllo del processo (**Attuatori: Comandi On/Off o Analogici**), che possono essere, a seconda di come viene realizzato l'automatismo, di tipo pneumatico, oleodinamico od elettromeccanico od anche misto, come ad es. : relè, telerruttori, elettrovalvole, lampade di segnalazione, suonerie, cilindri pneumatici od oleodinamici, valvole elettropneumatiche Motori, etc. (*figura 18*).

3.1.7 Caratteristiche del PLC in esame



Figura 19: PLC PANASONIC FP sigma C28 : 16 Input – 12 Output

Di seguito è riportata la pagina del *data sheet* con le caratteristiche principali del processore di cui interessa soprattutto la velocità di calcolo per poter determinare con esattezza il *tempo di latenza del PLC* in modo tale da stabilire le precisioni in termini di portata e conseguentemente, le dimensioni dei fori delle tramogge di carico.

Tipo PLC	FPG-C24R2H FPGC24R2HTM	FPG-C28P2H FPGC28P2HTM	FPG-C32T2H FPGC32T2HTM
Numero di ingressi	16	16	16
Numero di uscite	8 a relè	12 a transistor PNP	16 a transistor NPN
Capacità uscita	2A	4x0,5A and 8x0,3A	4x0,3A and 12x0,1A
I/U digitali (max.)	376 (192 / 184)	380 (192 / 188)	384 (192 / 192)
I/U analogici (max.)	24 ingressi / 12 uscite		
Velocità di calcolo	0,32µs/passaggio (istruzione base)		
Memoria			
Tipo di memoria	Flash-ROM		
Capacità di programma	32000 passi		
Registro dati	32765 word (espandibile a 1024k word)		
Funzioni speciali			
Ingresso Potenziometro	2 punti, risoluzione: 10 bit (da 0 a 1000) (solo per CT32T2, C24R2, e C28P2)		
Ingresso termistore	2 punti, risoluzione: 10 bit (da 0 a 1000) (solo per CT32T2TM, C24R2TM, e C28P2TM)		
Contatore veloce	Monofase: 1 canale: 50kHz / 2 canali: 30kHz / 3 o 4 canali: 20kHz Bifase: 1 canale: 20kHz / 2 canali: 15kHz		
Uscita ad impulsi	-	1 canale: max. 100kHz (x 1) 2 canali: max. 60kHz (x 2)	
Interfacce seriali	Fino a 3 interfacce seriali		
Programma di interrupt	9 programmi (8 esterni (da X0 a X7), 1 interrupt periodico da 0,5 ms a 30 s)		
Campo tensione di esercizio	24V DC (±10%)		
Interpolazione lineare/circolare	-	Disponibile	

In base alla scheda tecnica del PLC, dalla moltiplicazione tra la **Velocità di calcolo** di 0,32 µs/passaggio e la **Capacità di Programma** di 32000 passi si ottiene un *tempo di reazione massimo* di 10 ms.

Per minimizzare i tempi di reazione del PLC sull'evento fisico da controllare

(lettura della dose corrente), ci si può servire del funzionamento ad *Interrupt*, il quale, con idoneo periodo (qualche ms), attiva ciclicamente un sottoprogramma per la lettura della Cella di Carico ed il controllo delle serrande on/off.

Con questa tecnica, per rispettare il *Tempo di Latenza del Sistema* ipotizzato in 25 ms, per realizzare le precisioni richieste, è possibile tollerare un maggior tempo di ritardo meccanico della chiusura della serranda on/off.

Non sempre il comando mediante attuatori elettrici risulta il più adatto a risolvere le esigenze dell'automazione, in particolare per quanto riguarda la semplicità e l'economicità d'uso spesso è conveniente ricorrere ad azionamenti di tipo pneumatico.

3.2 AZIONAMENTO PNEUMATICO ON/OFF

L'aria è un fluido comprimibile, perciò i sistemi pneumatici non vengono impiegati laddove sia richiesta potenza, ma piuttosto in automazioni che richiedono un'elevata velocità di lavoro.

Nell'azionamento Pneumatico, l'aria compressa viene prodotta mediante l'uso di un compressore azionato generalmente da un motore elettrico.

L'energia immagazzinata nell'aria viene poi trasformata in energia cinetica mediante cilindri pneumatici che a loro volta sono azionati da valvole.

L'aria compressa presenta alcuni vantaggi fra cui:

- la semplicità d'uso,
- la possibilità di scaricare, durante il suo uso, nell'ambiente esterno una certa quantità di aria,
- l'impianto ha rendimenti accettabili anche in caso di piccole perdite nelle sue tubazioni,
- l'impianto risulta pulito e quindi adatto per l'uso in alcuni tipi di impianti (ad es. alimentari),
- l'insensibilità alle variazioni di temperatura.

L'uso dell'aria compressa torna particolarmente utile qualora si vogliano spostare dei pezzi da lavorare oppure per lo spostamento di parti di macchine per la loro lavorazione, per il bloccaggio e la loro espulsione.

Per evitare i danni provocati dalle impurità e dalla condensa, e per ridurre gli attriti delle parti che compongono un impianto pneumatico, si interpone normalmente un gruppo FRL (Filtro, Riduttore di pressione, Lubrificatore).

Il gruppo provvede mediante il filtro, ad impedire che le impurità e la condensa arrivino all'impianto pneumatico, il riduttore regola la pressione che in genere

viene misurata mediante un manometro e infine il lubrificatore provvede a nebulizzare l'olio per la lubrificazione dei componenti dell'impianto.

La comprimibilità dell'aria impedisce tuttavia l'utilizzo di questi impianti come comando di forza, per il quale è necessario utilizzare come fluido, l'olio che risulta incompressibile; infatti i comandi oleodinamici consentono di realizzare automatismi con variazioni graduali dell'avanzamento ottenendo velocità e posizioni adatte per ogni tipo di lavorazione.

L'attuatore pneumatico è, in genere, un **cilindro** cavo chiuso da due testate in cui è contenuto un **pistone** che divide in due camere l'interno del cilindro. Al pistone è solidale uno **stelo** che fuoriesce attraverso una testata dal cilindro stesso.

Il pistone si muove spinto dalla pressione immessa alternativamente in una delle due camere:

mentre l'una viene alimentata dall'aria compressa, l'altra viene posta in comunicazione con l'esterno tramite lo scarico, perdendo così pressione. Con il pistone si muove anche lo stelo che trasforma la compressione dell'aria in forza meccanica.

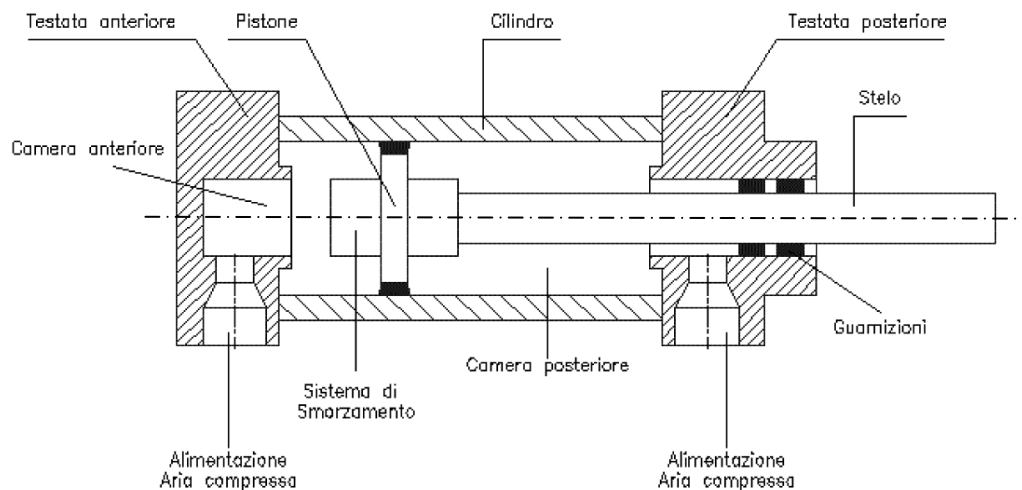


Figura 20: schema attuatore pneumatico

Questo tipo di cilindro è chiamato:

- **a doppio effetto** in quanto può compiere lavoro sia in uscita che nella fase di rientro. Ovviamente le due forze sono diverse perché, a parità di pressione, sono diverse le due superfici del pistone su cui agisce il fluido compresso: nella camera posteriore una parte della superficie del pistone è occupata dallo stelo.

- **a semplice effetto** se il rientro del pistone è dato da una molla posta nella camera posteriore. In questo caso la camera posteriore non presenta l'ingresso dell'alimentazione dell'aria e il cilindro effettua il lavoro solo nella fase di uscita. Per evitare che la corsa del pistone si arresti violentemente sulle testate, all'interno del cilindro è posto un sistema di smorzamento. Questo è costruito in maniera tale che, quando il cilindro si avvicina alle testate, la luce dello scarico si occlude gradualmente: l'aria che rimane nella camera rallenta la corsa del pistone e ne attutisce l'impatto.

Alcuni tipi di pistoni permettono la regolazione dello smorzamento tramite viti situate sulle testate.

Se il pistone è magnetizzato è possibile rilevarne la posizione con semplici sensori magnetici posti esternamente al cilindro.

In particolari usi (automazioni che prevedono la manipolazione dei pezzi con le pinze pneumatiche poste sulla testata dello stelo) il pistone viene costruito a sezione ottagonale per impedire la rotazione dello stelo.

Le **valvole distributrici** servono per invertire la direzione dell'alimentazione alle due camere del cilindro e possono essere comandate manualmente, pneumaticamente o elettricamente; in quest'ultimo caso si dicono **elettrovalvole**.

Il comando può essere **diretto** quando il solenoide della bobina agisce direttamente sulle posizioni della valvola, **indiretto** quando la bobina comanda una piccola valvola pneumatica che, a sua volta, agisce sulla valvola distributrice.

L'alimentazione delle bobine può essere sia in AC sia in DC; i tempi di reazione delle elettrovalvole variano da **10 a 30 ms** per quelle alimentate in AC (nostro caso), da 30 a 40 ms per quelle alimentate in DC.

Le valvole si possono classificare ulteriormente in **monostabili** o **bistabili**:

- Le valvole **monostabili** cambiano posizione in presenza del segnale di comando (bobina alimentata) e quando questo viene a mancare ritornano automaticamente nella posizione di riposo; esse presentano una sola bobina di comando e sono provviste di una molla di ritorno.
- Le valvole **bistabili** hanno due condizioni di equilibrio in mancanza di segnale di comando; per cambiare posizione viene utilizzato un impulso (della *durata di almeno 200-300 ms*) e quando questo viene a mancare rimangono nell'ultima posizione raggiunta. Presentano due bobine di comando.

3.2.1 Analisi delle prestazioni di un dispositivo pneumatico EPSITEC

Per conoscere l'effettiva tempistica di un azionamento pneumatico inerente al caso in esame (tempo d'intervento inferiore ai 25 ms), ci si è rivolti all'Ufficio Tecnico "Epsitec Automazione Pneumatica CKD" di Firenze.

A seguito di alcune specifiche elementari consistenti nel massimo tempo di risposta e di una massa ipotetica della serranda pari a 200g, si sono effettuate alcune prove con "cilindro per alta velocità" abbinato ad un'elettrovalvola.

Sono stati rilevati i tempi inerenti all'applicazione desiderata tenendo presente che tali risultati forniscono un risultato su banco di prova, sufficienti comunque ad indirizzare la possibile scelta dell'azionamento.

In tabella, sono riportati i valori ottenuti nelle prove di laboratorio **Epsitec**:

(Cilindro) EC-M-16-40- SQ71216	(Valvola) 4GA149-E2N	(Pressione) 6/Bar	Cilindro A vuoto	Tempo di risposta medio per corsa 30mm 16,5 ms
(Cilindro) EC-M-16-40- SQ71216	(Valvola) 4GA149-E2N	(Pressione) 6/Bar	Cilindro Massa di 240 gr	Tempo di risposta medio per corsa 30mm 23,0 ms





Figura 21: Prova di laboratorio con tempo di risposta dell’azionamento pneumatico rilevato da oscilloscopio (immagini fornite dalla “Epsitec”)

Si tenga presente che in questo lavoro viene affrontata la problematica inerente le tempistiche al fine di garantire le precisioni volute.

Occorrerà affrontare:

- il Progetto elettro-meccanico della serranda on/off montata sullo scarico della tramoggia su appositi binari guida con il minor attrito possibile,
- le relative problematiche collegate all’energia cinetica della massa in movimento prevedendo eventuali extra corsa,
- verificare gli effettivi tempi di risposta dell’azionamento pneumatico sopra individuato in prima ipotesi,
- l’individuazione ottimale dei profili meccanici per la soluzione dei problemi d’inceppamento.

Su quest’ultimo punto, viene presentata una soluzione presa in considerazione dall’azienda “**Mias-Automazioni**”.

3.3 PROBLEMATICHE DI INCEPPAMENTO

In alternativa al dosaggio tramite coclee, una soluzione attualmente utilizzata, prevede l'utilizzo di pistoni on/off di profilo conico a corsa verticale, interni alla "tramoggia di carico", la cui modalità di chiusura della bocca di scarico, affronta il problema dell'inceppamento del flusso di materiale in modo soddisfacente.

Eventuali malfunzionamenti o la non corretta chiusura del foro, rilevato da un **sensore reed** posizionato sul fine corsa del pistone, sono segnalati anche tramite **Leds** montati sul cilindro stesso, all'interno della tramoggia. L'inconveniente principale di codesta soluzione, sta nell'intervento complesso ed articolato per l'accesso ai pistoni in caso di malfunzionamento, in quanto è necessario svuotare l'intera tramoggia dal materiale in cui sono immersi.

Nel caso della soluzione con serranda on/off di tipo pneumatico, considerata nella presente trattazione, al fine di evitare il problema dell'incastro del materiale granuloso fra il bordo della serranda in chiusura e la bocca di scarico con conseguente probabile inceppamento del dispositivo, occorre trovare la soluzione ottimale dei rispettivi profili meccanici.

In prima analisi è stato pensato ad un profilo come quello rappresentato in *figura 22*: l'idea è quella di realizzare l'accoppiamento di chiusura serranda/corpo tramoggia, in una "zona rossa" dove il materiale ha scarsa probabilità di essere presente a causa della forma del profilo tramoggia, demandando nelle fasi di verifica prototipale, la soluzione delle suddette problematiche.

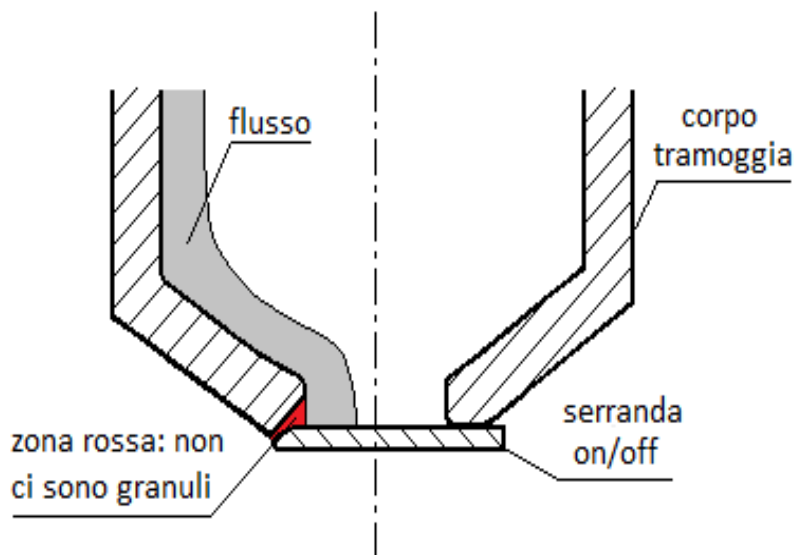


Figura 22: vista in sezione: proposta accoppiamento serranda-tramoggia

3.4 CALCOLO PORTATE RICHIESTE PER LE TRAMOGGE DI CARICO

Fissato in 25ms il tempo di latenza del sistema, fra il rilievo della Misura della Dose corrente e la effettiva chiusura della bocca, è possibile calcolare le portate delle 4 tramogge al fine di dimensionarne la sezione di scarico in modo da garantire le precisioni richieste.

Produzione oraria richiesta : 200 (Kg/h) / 3 (Kg/Batch) = 67 Batch/h

67 Batch/h / 60 m' = 1,12 Batch/min = 3,36 Kg/min = **0,056 Kg/s**

60 (s) / 1,12 (Batch) = **53,57 (s/Batch)** → Tempo massimo da rispettare per formare un Batch da 3 Kg , *compreso lo scarico nel mixer* per garantire una produzione oraria di 200 Kg/h. Nella tabella è riportato un solo additivo in quanto i valori trovati sono i medesimi per tutti e 3 gli additivi i quali sono della stessa tipologia del Prodotto Base (densità, dimensione del granulo ecc.)

PRODOTTI	Prodotto base	Additivo
Quantità minima	2700 g	30 g
Quantità Massima	2700 g	300 g
Precisione 0,1% su Quantità Massima	2,7 g	0,3 g
Portata in massa per avere precisione 0,1%	108 g/s	12 g/s
Diametro Tramoggia	24,28977361 mm	10,08617 mm
Batch con tempi più lunghi	2700 g	100 g
Tempo per il dosaggio di cisacun prodotto	25 s	8,333333 s
Tempo complessivo per completare il Batch	50 s	

Dove:

1. **“Quantità minima”** il Batch è composto dal 90% fisso del Prodotto Base mentre almeno uno dei tre additivi può arrivare nell’ordine dell’1% dei 3Kg del Batch quindi 30 g.
2. **“Quantità Massima”** il Prodotto Base è sempre il 90% del Batch mentre il restante 10% può essere raggiunto interamente anche dal singolo additivo

quindi 300 g.

3. **“Portata in Massa”** è la portata da garantire per rimanere entro la precisione dichiarata dello 0,1% considerando un tempo complessivo necessario alla chiusura della Serranda On/Off di **25 ms** - ipotesi di Lavoro considerate - composto dai **2 ms** (Tempo di Reazione dedicato a controllo “Interrupt”) il massimo Tempo di latenza del PLC per rilevare il segnale dalla Cella di carico ed ulteriori **23 ms** omnicomprensivi dei ritardi meccanici (da verificare e ottimizzare in sede prototipale) per la chiusura della Bocca di scarico tramite azionamento pneumatico.
Esempio per il Prodotto Base: $2,7\text{g} / 25\text{ ms} = 108\text{ g/s}$
4. **“Diametro Tramoggia”** sono i diametri delle 4 Tramogge (uno del Prodotto Base e 3 uguali per gli additivi) calcolati con foglio “Excel” tramite la *“Mass-flow Johanson equation”* note le Portate in Massa.
5. **“Batch con i tempi più lunghi”** ricordando che il dosaggio dei prodotti avviene in successione una volta terminato quello precedente, il Batch (3 kg) che richiede più tempo è composto dai 2700 g del Prodotto Base e dai 100 g di ciascuno dei 3 additivi.
6. **“Tempo complessivo per completare il Batch”** è il tempo necessario per completare la dose di ogni singolo Prodotto la cui somma 50 s composto dai 25 secondi del Prodotto base e dagli $8,3 \times 3 = 25$ secondi della somma dei 3 Additivi, dà il tempo stimato per completare un singolo Batch rimanendo dunque all’interno dei 53,57 s tempo limite.

3.4.1 Calcolo portata massica effettiva durante la chiusura

L’effettiva portata in massa del materiale, durante i 25 ms d’intervento del sistema per la chiusura della serranda on/off viene valutata come segue.

Nella tabella sopra riportata, si considera che fra l’istante t_0 d’inizio e l’istante $t=25$ ms di effettiva chiusura, fluisce sempre la stessa quantità di materiale quando in realtà la portata è via via decrescente. (vedasi successivo grafico $A(t)$)

La quantità di materiale Q_{eff} effettivamente in transito in 25 ms è valutata solo per il **materiale base** in quanto costituente il 90% del Batch e quindi soggetto ad una ΔQ più significativa rispetto a quella degli additivi

Si adoperano le seguenti ipotesi e semplificazioni che si ritiene non modifichino significativamente il risultato:

- Si considera una sezione di scarico quadrata di lato L corrispondente a un’area equivalente alla sezione circolare in studio di $\Phi=24,3\text{mm}$

$$A_{eq} = L^2 = \frac{\pi D^2}{4} = 464 \text{ mm}^2 \Rightarrow L = 21,54 \text{ mm}$$

- Legge oraria di chiusura serranda con $a_0 = \text{cost}$

$$s(t) = \frac{1}{2} a_0 t^2 \Rightarrow a_0 = \frac{2L}{t^2} = 68,93 \text{ m/s}^2$$

- Velocità di caduta del materiale $V_0 = \text{cost}$

$$V_0 = \frac{\dot{m}}{s \cdot \rho} = \frac{0,108 \text{ Kg/s}}{4,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot 667 \text{ Kg/m}^3} = 0,349 \text{ m/s}$$

Sezione di scarico ancora aperta dopo un tempo t:

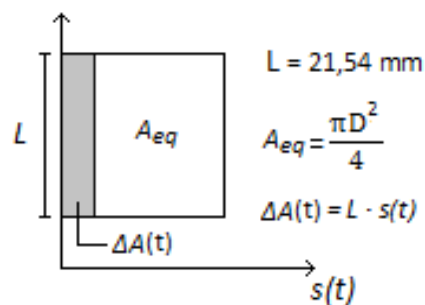
$$A(t) = A_{eq} - \Delta A(t)$$

Sezione di scarico chiusa dopo un tempo t:

$$\Delta A(t) = L \frac{1}{2} a_0 t^2$$

Calcolo della portata che fluisce nei 25ms di chiusura della serranda:

$$Q(t) = \rho V_0 A(t)$$

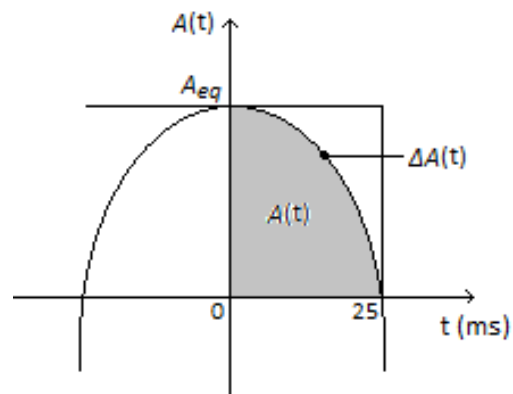


Per trovare dunque quanto materiale effettivamente transita in $t=25 \text{ ms}$, bisogna integrare $Q(t)$:

$$Q_{eff} = \int_0^t Q(t) dt =$$

$$\rho V_0 \left(\int_0^{25ms} dt - \int_0^{25ms} \frac{L}{2} a_0 t^2 dt \right)$$

$$Q_{eff} = 1,8 \text{ g/25 ms}$$



3.4.2 Risultati finali:

Per garantire una produzione oraria di 200 Kg/h, è necessario realizzare 1,12 Batch/min. Con le precisioni richieste per ogni dose di prodotto e i tempi d'interruzione del flusso di massa, ragionevolmente ipotizzati in 25 ms totali, risultano soddisfatti i tempi massimi di realizzazione di ciascuna dose risultando ogni Batch realizzato in 50s contro i 53,7s richiesti per garantire la produzione oraria. Inoltre si è dimostrato come nei 25ms di chiusura, la portata effettiva è il 33% in meno (valore approssimato) di quella considerata per il dimensionamento, il che si traduce in una maggiore precisione del sistema che passa dal 0,1% al 0,06%, con le conseguenti ulteriori migliorative considerazioni.

CAPITOLO IV

INTERFACCIA CELLA DI CARICO-PLC (*Modifica 2*)

4.1 SCHEMA A BLOCCHI:

Il sistema di acquisizione dati Analogici da parte del μ Processore comprende 4 blocchi come riportato in *figura 23*.

L'uscita in tensione della cella di carico attraverso l'elettronica d' interfaccia viene condizionata per permettere di sfruttare l'intera dinamica del convertitore ADC.

Successivamente attraverso la scheda di acquisizione, l'uscita condizionata viene trasferita al PLC.

Lo scopo di questa trattazione consiste nello studiare la funzione di ogni singolo blocco e analizzare i vantaggi introdotti nell'eliminare il *Trasmettitore analogico di peso* (blocco rosso nella *figura 23*) e sostituire alla *Cella di carico* attualmente in uso, una *Cella di carico pre-amplificata*, comprendente il blocco di *condizionamento* integrato.

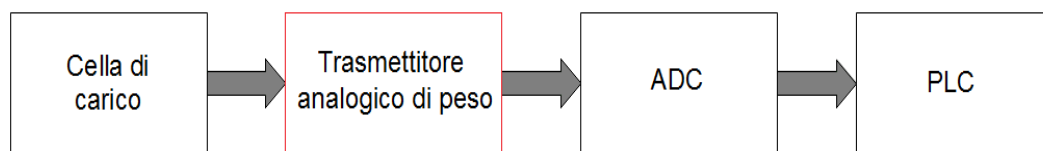


Figura 23: schema a blocchi interfaccia cella di carico - PLC

4.2 CELLA DI CARICO: PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

La necessità di tramutare la grandezza fisica pressione/forza in un'altra grandezza fisica, quella elettrica, è resa possibile dagli estensimetri, veri e propri trasduttori di forza.

Gli estensimetri sono dunque sensori in grado di apprezzare deformazioni elastiche dei corpi a cui essi sono in qualche modo applicati. La tecnica è quella di utilizzare materiali che subiscono una determinata variazione delle loro caratteristiche fisiche per effetto di una deformazione (elastica).

Questa variazione normalmente può essere di tipo resistivo o di tipo piezoelettrico.

Gli estensimetri sono proprio delle resistenze collegate in modo opportuno tra loro, in una configurazione atta ad enfatizzare la deformazione in determinate direzioni e sotto particolari tipi di sforzo, per esempio a taglio piuttosto che a compressione.

È possibile sfruttare la grande capacità di taluni materiali, come per esempio il **titanato di bario**, di esercitare una deformazione per effetto dell'applicazione di un campo elettrico; ovviamente in questo caso si utilizzerà il concetto opposto ossia quello di misurare il campo elettrico prodotto, sotto forma di d.d.p., per l'applicazione di una Forza/carico.

Questo fenomeno fisico è chiamato piezoelettricità, spesso marcato con l'acronimo PZT e si eleva come strumento potente per lo studio di **deformazioni elastiche** nei corpi ed in tutti quei casi a loro connessi.

Gli estensimetri costituiti da resistenze, sono detti elettrici e possono essere raggruppati nei trasduttori di tipo Passivo, poiché necessitano di energia elettrica per essere operativi. Il loro funzionamento (di seguito trattato) è semplice ed efficace, poiché si basa sulla variazione della resistenza di un filo conduttore quando è sottoposto ad un allungamento nel senso longitudinale.

La resistenza R infatti è proporzionale alla lunghezza e inversamente proporzionale alla sezione del conduttore (seconda Legge di Ohm); inoltre, per molti tipi di estensimetri a resistività ρ elevata, il variare di questa grandezza è preponderante. Tutto ciò si traduce in formula:

$$R = \rho \cdot L / S$$

dove:

L : è la distanza tra i due estremi di cui si conosce la differenza di potenziale

S : è l'area della sezione

ρ : è la resistività elettrica media, ovvero la caratteristica del materiale a opporre resistenza al passaggio di corrente .

Tuttavia le variazioni di R conseguenti alla deformazione elastica sono modeste ; per apprezzarle è necessario utilizzare un circuito che ne amplifichi il più possibile l'entità, o perlomeno ci dia il valore reale della differenza di resistenza del conduttore, il ΔR .

A tal fine è utilizzato il ponte di Wheatstone, costituito da quattro resistenze collegata in serie e ad anello tra loro come in *figura 24*.

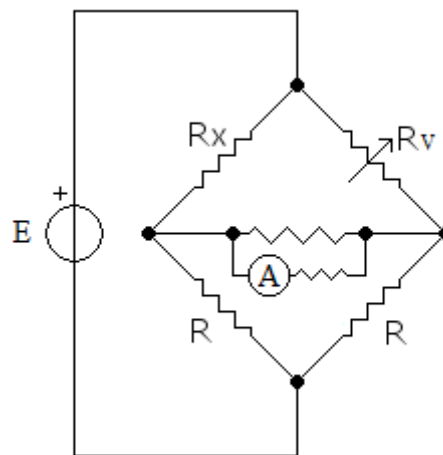


Figura 24: ponte di Wheatstone

Applicando la tensione E , il circuito viene percorso da corrente. Andando ad agire sulla resistenza variabile R_v , si rende nulla la corrente che attraversa l'amperometro A .

Si ricava il valore di R_x dalla maglia:

$$V_{Rv} = E \cdot (R + R_v)^{-1} \cdot R_v$$

$$V_{Rx} = E \cdot (R + R_x)^{-1} \cdot R_x$$

essendo

$$V_{Rv} = V_{Rx}$$

si ha

$$(R + R_v)^{-1} \cdot R_v = (R + R_x)^{-1} \cdot R_x$$

da cui

$$R_v \cdot (R + R_x) = (R + R_v) \cdot R_x$$

$$R_x = R_v$$

Se al posto della R_x si inserisce l'estensimetro, si può ricavare il valore della sua resistenza utilizzando questo circuito.

Tuttavia è conveniente inserirne più di uno, in modo da rendere la misura più sensibile ed accurata:

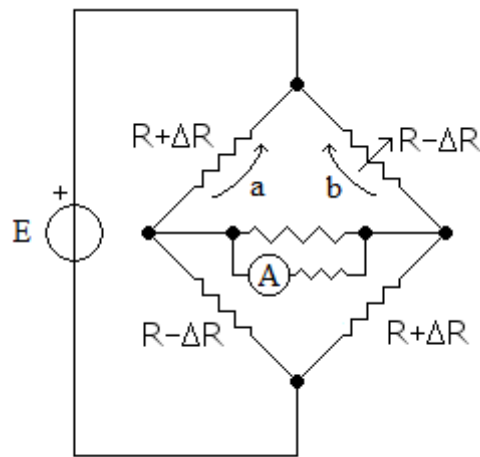


Figura 25: accoppiamento di quattro estensimetri a ponte di Wheatstone

Anche ora, quando l'ampmetro misura una corrente nulla, si può fare lo stesso ragionamento:

$$V_a = E \cdot (R + \Delta R) \cdot 2R^{-1}$$

$$V_b = E \cdot (R - \Delta R) \cdot 2R^{-1}$$

da cui

$$V = E \cdot k \cdot \Delta R \cdot R^{-1}$$

Questa operazione è effettuata da un operatore differenziale con guadagno **k**

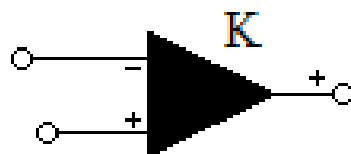


Figura 26: Amplificatore differenziale

Essendo noti i parametri **E**, **k** ed **R** misurando con un voltmetro la **V** si risale alla variazione della resistenza ΔR dell'estensimetro.

Ora, è necessario solamente conoscere la proprietà puntuale del materiale di cui è costituito il conduttore per sapere con precisione la deformazione e conoscendo la geometria dell'estensimetro si risale facilmente allo sforzo, ossia alla forza applicata.

Nell'impianto Gravimetrico in esame, sono installate due *celle di carico* da 5Kg e 50 Kg rispettivamente sotto la *Tramoggia di pesatura* e sotto al *Mixer* (si rimanda alla *figura 3*)



Figura 27: Cella di carico OFF-CENTER serie ALL della Laumas precedentemente utilizzata con uscita in tensione di 2mV/V

Il segnale così ottenuto necessita di un' ulteriore amplificazione da parte di un apposito *Trasmittitore Analogico di Peso* per essere utilizzato.

4.3 TRASMETTITORE ANALOGICO DI PESO

(Attuale Circuito di Interfaccia Cella / PLC)

Il Trasmittitore analogico di peso serie TPS (*figura 28*) nella configurazione a blocchi in analisi, è necessario per condizionare il segnale in tensione di tipo differenziale in uscita dalla Cella di carico (di 2 mV/V) per amplificarlo opportunamente alla scala 0 - 10 Vcc per renderlo compatibile con la scheda A/DC del PLC.

E' quindi necessario un *circuito di condizionamento* che amplifichi il segnale in modo da ottenere i valori di fondo scala desiderati.

Andando ad analizzare nel dettaglio il Trasmittitore di peso utilizzato, si deduce una certa **inaffidabilità circuitale** dovuta essenzialmente all'impiego di componenti discreti quali Resistenze/Potenzimetri soggetti a **Taratura iniziale** per lo Zero_Peso di riferimento nella fase di Installazione.

Da evidenziare anche la non trascurabile sensibilità in Temperatura di tali componenti resistivi che produce una inevitabile deriva Termica delle caratteristiche dell' Interfaccia utilizzata e conseguenti errori, almeno di Offset, nella Convesione A/D e quindi di Precisione nella acquisizione dell'Input Analogico.

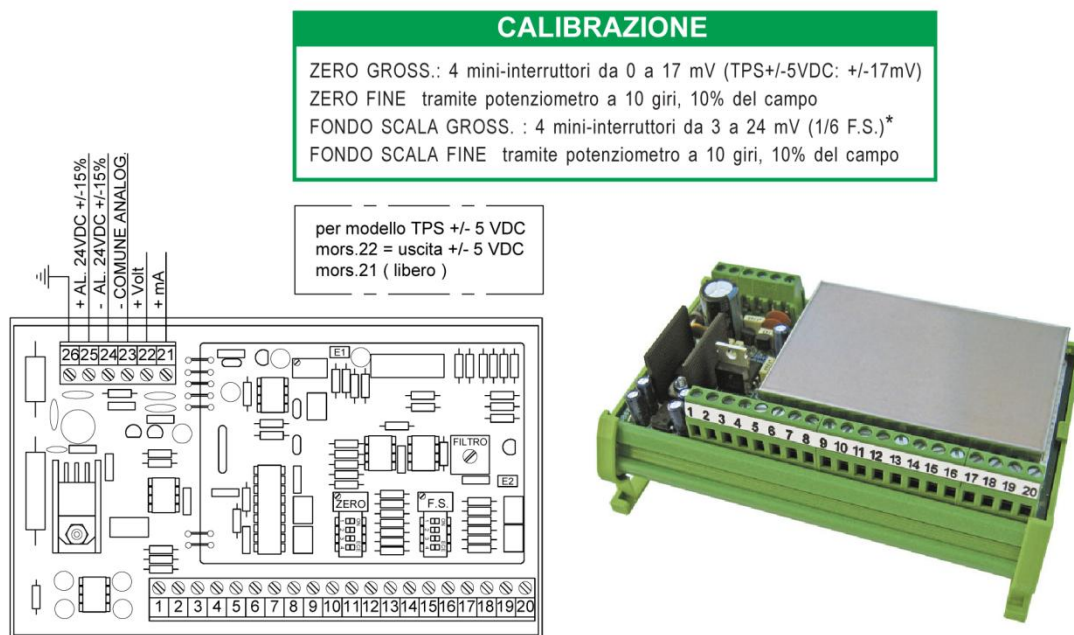
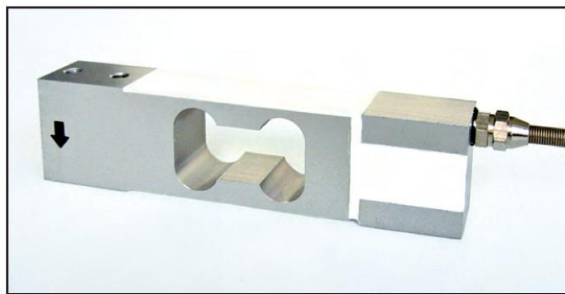


Figura 28: Trasmittitore analogico di peso TPS (Interfaccia Cella carico /PLC)

Per tale motivo si intende utilizzare una diversa Cella di carico contenente il Circuito di Condizionamento Integrato nel Trasduttore medesimo (Cella Pre-Amplificata in *figura 29*) con uscita in tensione fra 0 – 10 Vcc , compatibile con la medesima Scheda A/D del PLC. I vantaggi immediati consistono almeno nella fase Taratura dello **Zero** , più semplice e veloce durante la Installazione del Sistema effettuabile completamente via Software oltre alla migliore

Precisione nelle Letture di Peso in quanto non più presenti le derive Termiche dovute ai componenti Resistivi della precedente interfaccia.



- USCITA ANALOGICA 0-10 Vcc min. 2000 ohm
- GUADAGNO FISSO
- ESECUZIONE IN LEGA DI ALLUMINIO
- ERRORE COMBINATO $\leq \pm 0,2\%$ F.S.
- GRADO DI PROTEZIONE IP 65

Figura 29: Cella di carico Pre-amplificata OFF-CENTER serie AZ 0-10

Il segnale in uscita dalla Cella di carico, è opportunamente ampio da sfruttare la dinamica del convertitore ADC.

4.4 ADC CONVERTITORE ANALOGICO DIGITALE

Un Convertitore Analogico Digitale (ADC: Analog to Digital Converter) è un circuito che converte una tensione analogica, compresa in un certo intervallo, in un numero intero binario anche lui compreso in un intervallo. Ovviamente questa operazione implica un'approssimazione nel senso che tensioni vicine tra di loro possono essere trasformate nello stesso numero intero.

4.4.1 Quantizzazione

Il legame tra ingresso e uscita di un ADC può essere rappresentato con il grafico "a scala", come riportato nell'esempio in *figura 30*.

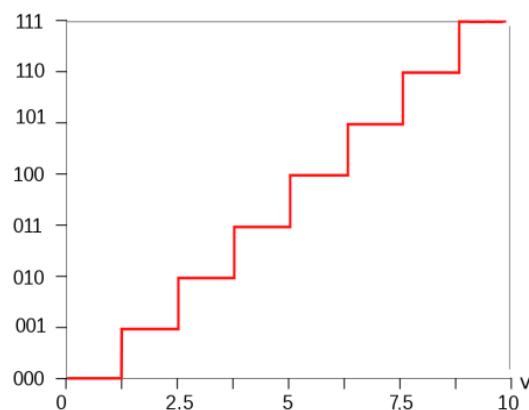


Figura 30: esempio di quantizzazione

La massima tensione che l'ingresso può assumere viene detta **tensione di fondo scala** (VFS). A volte, se è necessario, si specifica anche che VFS(min), cioè la minima tensione ammessa in ingresso.

Nell'esempio sopra riportato la tensione in ingresso è compresa tra 0 V e 10 V. Quindi VFS è pari a 10 V; VFS(min) è pari a 0 V.

Con il termine **risoluzione** si indica il numero di bit necessari per esprimere il massimo numero in uscita al convertitore, che di solito è una potenza di due.

Nell'esempio in figura l'uscita dell'ADC è un numero intero compreso tra 0 e 7 (000 → 111 in binario). Quindi la risoluzione è pari a 3 bit. Guardando il grafico si vede che la tensione di 3 V viene convertita nel numero 010; si noti che anche la tensione di 2,7 V viene convertita nello stesso numero 010, a causa delle approssimazioni introdotte. La tensione di 4,5 V viene invece convertita nel numero 011.

La “lunghezza” di un gradino (in genere tutti uguali tra loro) si indica con il termine **quanto** (Q). Esso indica la minima variazione della tensione in ingresso che causa una variazione nel codice binario in uscita.

Nel caso in esempio:

$$Q = \frac{(10-0)}{8} = 1,25V$$

A volte anche questo valore viene indicato con il termine risoluzione (bisogna dunque prestare attenzione al doppio significato che viene dato a questo termine)

In genere la risoluzione è molto più elevata dei 3 bit dell'esempio: nel nostro caso viene utilizzata l'unità d'espansione **FP0-A21A a 12 bit** compatibile con la serie PLC FP sigma (*figura 31*). Più è elevata la risoluzione, in genere, migliore è il convertitore perché migliore è l'approssimazione effettuata nella conversione (“gradini” più piccoli).



FP0-A21A
2 Inputs/1 Output

- Multimode A/D, D/A conversion
Voltage, current and temperature selectable
- 2 analogue inputs (FP0-A21):
-10 to + 10V, 0 to 5V, 0 to 20mA,
8 analogue inputs (FP0-A80):
-10 to + 10V, 0 to 5V, -100 to + 100mV, 0 to 20mA
- 1 analogue output (FP0-A21): -10 to + 10V, 0 to 20mA
4 analogue outputs (FP0-A04V): -10 to + 10V
4 analogue outputs (FP0-A04I): 4 to 20mA
- High resolution: 12-bit
- High conversion speed
FP0-A04V, FP0-A04I: 500µs
- PID instruction with auto tuning
- Screw terminal connection

Figura 31: unità d'espansione ADC FP0-A21A-analog I/O

L'operazione di approssimazione di una tensione ad un numero intero si chiama **quantizzazione**.

Per quantizzare un segnale è necessario che il segnale sia costante nel tempo.

Il tempo necessario per effettuare la quantizzazione è in genere relativamente elevato rispetto ai tempi di propagazione di una porta logica (da qualche ms a frazioni di µs o anche meno). In genere, a parità di tecnologia e/o di costo, un convertitore ad alta risoluzione è più lento di uno a bassa risoluzione.

4.4.2 Campionamento

Per digitalizzare un segnale variabile nel tempo è necessario, prima di effettuare la quantizzazione, individuare, istante dopo istante, alcuni valori di tensione da sottoporre successivamente a quantizzazione. Questa operazione si chiama **campionamento** e, praticamente sempre, viene effettuata ad intervalli di tempo costanti. L'intervallo T tra due istanti di campionamento si chiama **periodo di campionamento**; il suo inverso **frequenza di campionamento**.

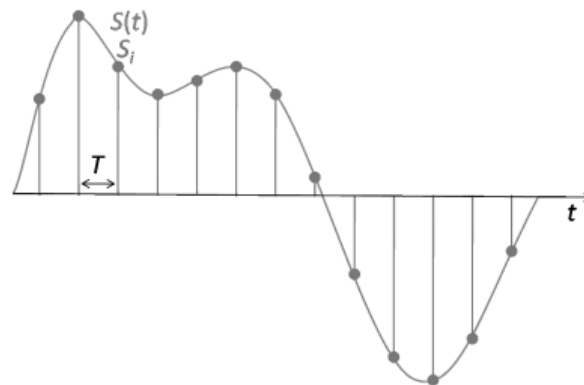


Figura 32: generico segnale variabile in t sottoposto a quantizzazione dei soli punti evidenziati

Più è elevata la frequenza di campionamento (cioè più vicini sono i punti che approssimano nel tempo il segnale) migliore sarà l'approssimazione. A differenza della quantizzazione (dove “più è elevata la risoluzione meglio è”) esiste un criterio preciso per fissare la frequenza di campionamento, dato dal **teorema del campionamento** (o di Nyquist o di Shannon o di Whittaker-Nyquist-Kotelnikov-Shannon). Nella versione per segnali sinusoidali esso afferma che per ricostruire *esattamente* un segnale analogico è necessario utilizzare una frequenza di campionamento almeno doppia della frequenza del segnale. Ogni valore più alto è inutile ma non dannoso, ogni valore più basso (anche di poco) introduce errori anche enormi (**aliasing**).

4.4.3 Effetto Aliasing

Un segnale sinusoidale reale, rappresentato con la linea rossa, viene campionato con una frequenza insufficiente (punti violetti), circa un solo campione ogni periodo anziché almeno due. La linea blu (che non esisteva prima del campionamento) passa esattamente per i punti campionati, creando un segnale assolutamente falso.

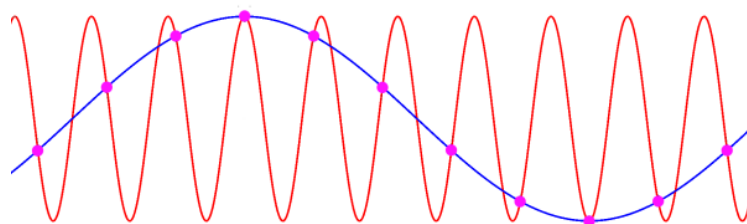


Figura 33: effetto aliasing

CAPITOLO V

MIGLIORAMENTO DEL CONTROLLO SUL

TRAINO (*Modifica 3*)

5.1 CONSIDERAZIONI SUL CONTROLLO GRAVIMETRICO:

Ipotesi di Lavoro: La pressione e la temperatura all'interno dell'estrusore condizionano la portata volumetrica del film plastico in uscita.

Il controllo della temperatura è realizzato con sistema automatico mediante una scheda PLC dedicata che garantisce una temperatura costante o comunque con fluttuazioni tali da non essere significative per le problematiche che si andranno a considerare.

Il controllo Gravimetrico si ritiene in *prima analisi*, influenzato prevalentemente da quattro fattori identificabili in ritardi temporali dovuti alle caratteristiche fisiche del materiale e alle latenze di controllo del PLC come sotto schematicamente riportato:

$\Delta\omega_E \xrightarrow{\Delta T_1} \Delta Q_M$	$\Delta T_1 =$ Ritardo di propagazione nel Materiale a risentire della variazione ω_E (estrusore \rightarrow mixer)
$\Delta Q_M \xrightarrow{\Delta T_2}$ CELLA DI CARICO	$\Delta T_2 =$ Ritardo del sensore (cella di carico)
SENSORE CELLA DI CARICO $\xrightarrow{\Delta T_3}$ MISURA DA PLC	$\Delta T_3 =$ Latenza Misura PLC di ΔQ_M (ciclo PLC)
RILIEVO $\Delta Q_M \xrightarrow{\Delta T_4}$ AZIONE SU v_T	$\Delta T_4 =$ Latenza Azione PLC sull'inverter (ciclo PLC)

Il controllo di tipo Gravimetrico risulta quindi "approssimato" in quanto affetto da diverse variabili ciascuna di entità non ben identificabile/misurabile.

Tale controllo di tipo *indiretto*, ove viene misurata la variazione del flusso di massa ΔQ_M **indotta** dalla variazione/fluttuazione della velocità dell'estrusore $\Delta\omega_E$, si ritiene possa essere migliorato/integrato tramite rilievo *diretto* della velocità estrusore (ancora azionato con motore AC). Come già riportato in premessa, si ritiene che le fluttuazioni in velocità dell'estrusore siano la principale cause della non uniformità del film plastico in uscita in quanto comporterebbe fluttuazioni del flusso di massa ΔQ_M .

Nel controllo tramite rilevamento *diretto* della velocità dell'estrusore, si vuole agganciare la ω_T alla ω_E . Nel caso di utilizzo della scheda ASSI PLC con

interpolazione lineare, il tempo di risposta è pressochè immediato (controllo HW_scheda PLC).

Occorreranno però le seguenti considerazioni:

- Il sistema *fisico*, ha un proprio ritardo naturale ΔT_{SYS} fra la variazione ω_E e quella corrispondente di massa sulla *Filiera*, dipendente essenzialmente dalla natura del materiale, dalla temperatura di lavoro, dalle caratteristiche meccaniche, della bocca estrusore e dal passo vite estrusore. Se la somma dei ritardi ipotizzati $\Delta T_{1,.., \Delta T_4}$ di cui la tabella precedente, risultassero **maggiori** di ΔT_{SYS} , l'attuale controllo *gravimetrico potrebbe non risultare stabile*.
- Al fine di un controllo ottimizzato dello spessore del film (controllo di ω_T), occorrerà che l'inseguimento del ω_E , affetto da un solo *tempo latenza PLC* (comparabile con ΔT_4), sia debitamente **ritardato/allineato** di un pari valore ΔT_{SYS} , individuabile sperimentalmente sulla macchina e da riportare in tabelle utilizzabili dal SW di controllo per ogni casistica di prodotto.

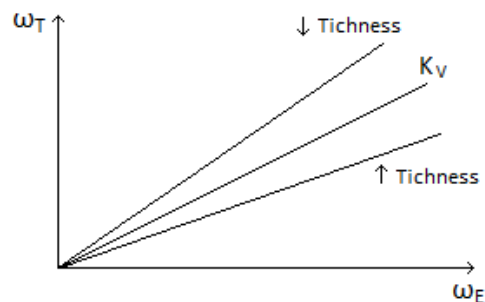


Figura 34: Interpolazione lineare

Come anticipato in premessa, lo spessore del film estruso è regolato dalla velocità del traino V_T , determinata dall'aggancio in velocità fra traino e vite estrusore ovvero: $V_T = K_V \omega_E |_{f(Q_M)}$

L'individuazione del valore ottimali della costante K_V e della dipendenza da Q_M sarà ottenuta nella fase di messa a punto del software, dipendenti dalle caratteristiche della macchina e del Prodotto, quali temperatura nell'estrusore, tipologia di materiali e spessore del film. Nello schema sotto riportato, sono indicati i collegamenti logici fra le grandezze che determinano il funzionamento

del sistema *Mixer/Estrusore/Traino* e che realizzano quanto sopra esposto. L'aggancio in velocità tra *Master/slave* (estusore/traino) può essere realizzato per il tramite della scheda Assi PLC dotata di interpolazione lineare oppure tramite rilievo diretto di ω_E da parte del SW PLC come indicato in premessa.

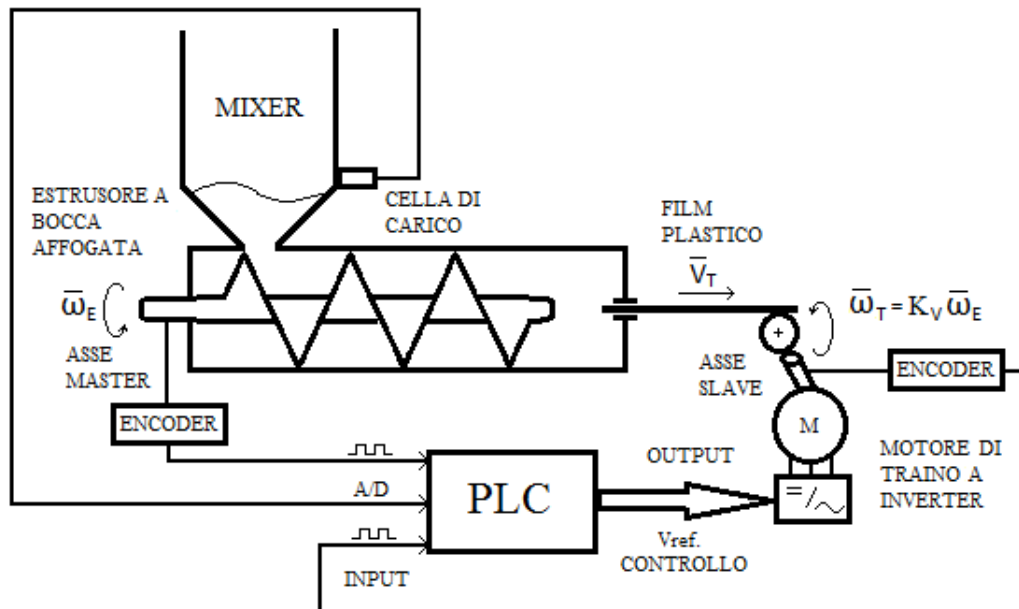


Figura 35: Installazione del Encoder incrementale su “Asse Master”

5.2 SULL'ENCODER: CARATTERISTICHE GENERALI

L'Encoder è un apparato elettromeccanico che converte la posizione angolare del suo asse rotante in un segnale elettrico digitale. Collegato ad opportuni circuiti elettronici e con appropriate connessioni meccaniche, l'encoder è in grado di misurare spostamenti angolari, movimenti rettilinei e circolari nonché velocità di rotazione e accelerazioni. Esistono varie tecniche per il rilevamento del movimento angolare: capacitiva, induttiva, potenziometrica e fotoelettrica. I trasduttori sugli encoder impiegano tutti il rilevamento fotoelettrico.

Gli encoder possono essere di due tipi:

- **Incrementali** quando i segnali d'uscita sono proporzionali in modo incrementale allo spostamento effettuato.
- **Assoluti** quando ad ogni posizione dell'albero corrisponde un valore ben definito permanentemente memorizzato.

5.2.1 Encoder incrementali:

Gli encoder incrementali, segnalano unicamente gli incrementi (variazioni) rilevabili rispetto a un'altra posizione assunta come riferimento.

All'interno è presente un disco di materiale plastico, sul quale sono stati ricavati dei fori o, più comunemente, alcune zone particolarmente trasparenti attraverso le quali è possibile il passaggio di un fascio luminoso.

Gli encoder incrementali più comuni sono composti da:

- *un disco*: generalmente di plastica e calettato sull'albero dell'organo da controllare, suddiviso in zone chiare (trasparenti) e scure (opache).
- *fotoemettitori*: danno il segnale di input attraverso un segnale luminoso che passa nelle zone trasparenti del disco.
- *fotorilevatore* che riceve il segnale luminoso e che a sua volta invierà un segnale di output (logico 1 se passa la luce, logico 0 se non passa).

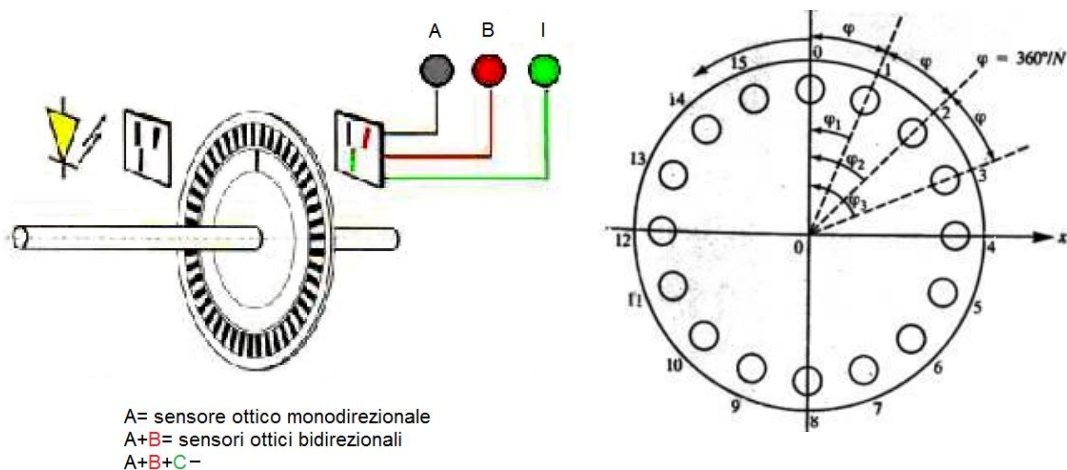


Figura 36: a sinistra fotoemettitore-disco-fotorilevatore, a destra spostamento angolare in funzione del numero di fori sull'encoder

Il disco viene calettato sull'albero dell'apparecchiatura (Carrello di Lavoro, Slitta porta utensili, etc..) di cui si vuole rilevare lo spostamento; di conseguenza ad ogni movimento dell'albero si ha una rotazione dell'encoder.

In corrispondenza dei fori posti sulla superficie del disco, viene applicato un dispositivo fotoemettitore, mentre dall'altra parte del disco un dispositivo fotorilevatore. L'attraversamento del fascio luminoso nei fori comporta l'attivazione del fotorilevatore che genera in uscita un segnale elettrico ad onda quadra. Normalmente sono fornite almeno due uscite A e B sfasate di 90° elettrici le quali consentono di rilevare anche il verso del movimento.

La quantificazione dello spostamento (traslazione) avviene mediante il "conteggio" degli impulsi generati dal fotorilevatore alla propria uscita, noto che sia il "Passo Vite" ed il numero di Impulsi/giro. La rilevazione dello spostamento può essere così descritta (Riferimento alla *figura 36*) :

Quando l'encoder "si muove", il flusso luminoso attraversa il foro 0 ; in tal modo viene attivata l'uscita del fotorilevatore la quale si porta a livello alto, restandovi fino a quando il fascio luminoso viene interrotto ed il fotorilevatore, quindi, risulta diseccitato e la sua uscita diventa bassa. Questa rimane bassa fino a quando il foro 1 viene a trovarsi nella posizione occupata dal foro 0.

Quando questo avviene il fascio luminoso attraversa il foro 1 eccitando nuovamente il fotorilevatore la cui uscita ridiventa alta. Di conseguenza risulta noto lo spostamento angolare 1 ($=360^\circ/(\text{numero di fori dell'encoder})$) questo spostamento coincide con quello dell'encoder. Proseguendo nella rotazione il disco interrompe nuovamente il fascio luminoso diseccitando il fotorilevatore la cui uscita ritorna bassa. Il processo descritto si ripete in modo perfettamente uguale consentendo la rivelazione degli spostamenti angolari.

Il dispositivo digitale che rileva il numero di impulsi è un contatore il cui ingresso di conteggio risulta attivo sul fronte di salita. Di conseguenza si può concludere che il numero degli impulsi contati è direttamente proporzionale allo spostamento angolare dell'encoder, vale a dire allo spostamento angolare dell'organo a cui è calettato e quindi con una semplice relazione dipendente dal Passo Vite dell'albero si individua lo spostamento lineare ΔL , ovvero :

$$\Delta L = \text{Nr. Impulsi contati} \times (\text{Passo Vite} / \text{Nr. Impulsi giro})$$

La quantità (Passo Vite / Nr. Impulsi giro) viene identificata con "Risoluzione Encoder". La Risoluzione Encoder può essere ancora aumentata x 2 o x 4 a seconda del tipo di Contatore Hw della scheda di interfaccia del PLC, che utilizza tutte o in parte le transizioni 0 – 1 e 1 – 0 dei segnali A e B .

La sorgente di luce Led all'arseniuro di gallio utilizzata sugli encoder assicura una vita di 100.000 ore e sono dotati di un apposito circuito interno che compensa l'invecchiamento del led.

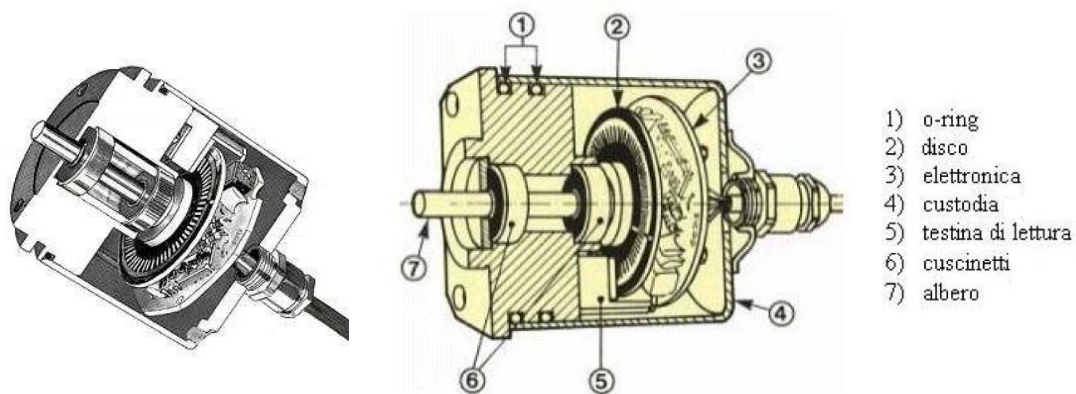


Figura 37: sezione di un encoder incrementale e componenti

L'encoder incrementale è adatto a rilevare rotazioni, velocità ed accelerazioni in base al conteggio degli impulsi inviati dal circuito in output. Non è capace di orientarsi dopo un black-out, di conseguenza ha bisogno di portarsi, in fase di avvio, allo zero macchina. Accoppiandolo con una memoria alimentata da batterie tampone, si riesce ad evitare la perdita di informazioni in caso di mancanza di alimentazione.

Per poter rilevare il verso di rotazione, l'encoder presenta una seconda identica pista, ma sfasata di metà passo oppure due gruppi di elementi fotosensibili sfasati fra loro. Effettuando un controllo dei fronti di salita degli impulsi in uscita A e B, un sistema logico riesce stabilire il verso di rotazione del disco.

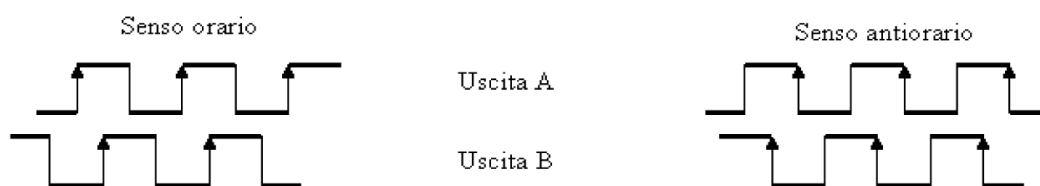


Figura 38: verso di rotazione dell'albero

5.2.2 Parametri degli encoder incrementali:

- **Risoluzione:**
 - la risoluzione Angolare è data dalla seguente relazione: $= 360^\circ/N$ dove N è il numero di fori praticati sul disco.
 - la risoluzione Lineare è data dalla seguente relazione: $= \text{Passo Vite} / N$ dove N è il numero di fori praticati sul disco.
 - La Risoluzione indica il minimo spostamento Angolare/Lineare rilevabile .

- *Linearità* : indica la uniformità fisica della suddivisione dei fori sui 360° del disco Encoder ;
- Range di funzionamento: tra 0 e 360°
- *Sensibilità*: valore dipendente alla risoluzione che come sappiamo rappresenta la minima variazione rilevabile dal trasduttore.
- *Tempo di risposta*: dipende sostanzialmente dal fotorilevatore.

5.2.3 Confronto nell'utilizzo dell'Encoder Incrementale/Assoluto

L'utilizzo dell'Encoder incrementale offre la possibilità di rilevare spostamenti limitati solo dalla capacità di conteggio della Scheda di interfaccia e del Software dedicato; tale Interfaccia è circuitalmente più elaborata .

L'Encoder Assoluto, ha intrinsecamente costi più alti, ma per contro, mantiene in memoria la "Posizione" dell'Asse, evitando di forzare la taratura o ripresa del riferimento di ZERO ogni qualvolta il Sistema viene Spento e Riattivato.

Nel nostro caso è d'obbligo l'utilizzo dell'Encoder incrementale in quanto il controllo non è sulla Posizione dell'Asse (Tappeto di Traino), ma sulla sua velocità e lo spostamento dello stesso è virtualmente illimitato.

Si sottolinea la flessibilità nell'utilizzo di tale tipo di trasduttore nel controllo delle movimentazioni, in quanto è possibile rilevare oltre la posizione corrente anche i valori della velocità e dell'accelerazione semplicemente dividendo rispettivamente lo spostamento per l'intervallo di tempo considerato (*Real Time Tick*) ottenendo il valore della velocità corrente, ed ancora la differenza dei precedenti due valori di velocità per lo stesso *Real Time Tick* ottenendo il valore dell'accelerazione corrente, e così via per le ulteriori necessità di rilevare variazioni di accelerazione.

CONCLUSIONI: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL SISTEMA

Gli interventi proposti nella presente trattazione sono sintetizzati nel seguente diagramma di flusso composto essenzialmente da un programma PLC **Main** la cui esecuzione avviene in modo *asincrono, a stati*, di durata dipendente dal numero d'istruzioni dell'intero programma (normale ciclo PLC) e da un programma dedicato al controllo veloce in tempo reale (Real Time Tick), che dialoga con il **Main** attraverso uno o più **handshake** dedicati alle specifiche attività.

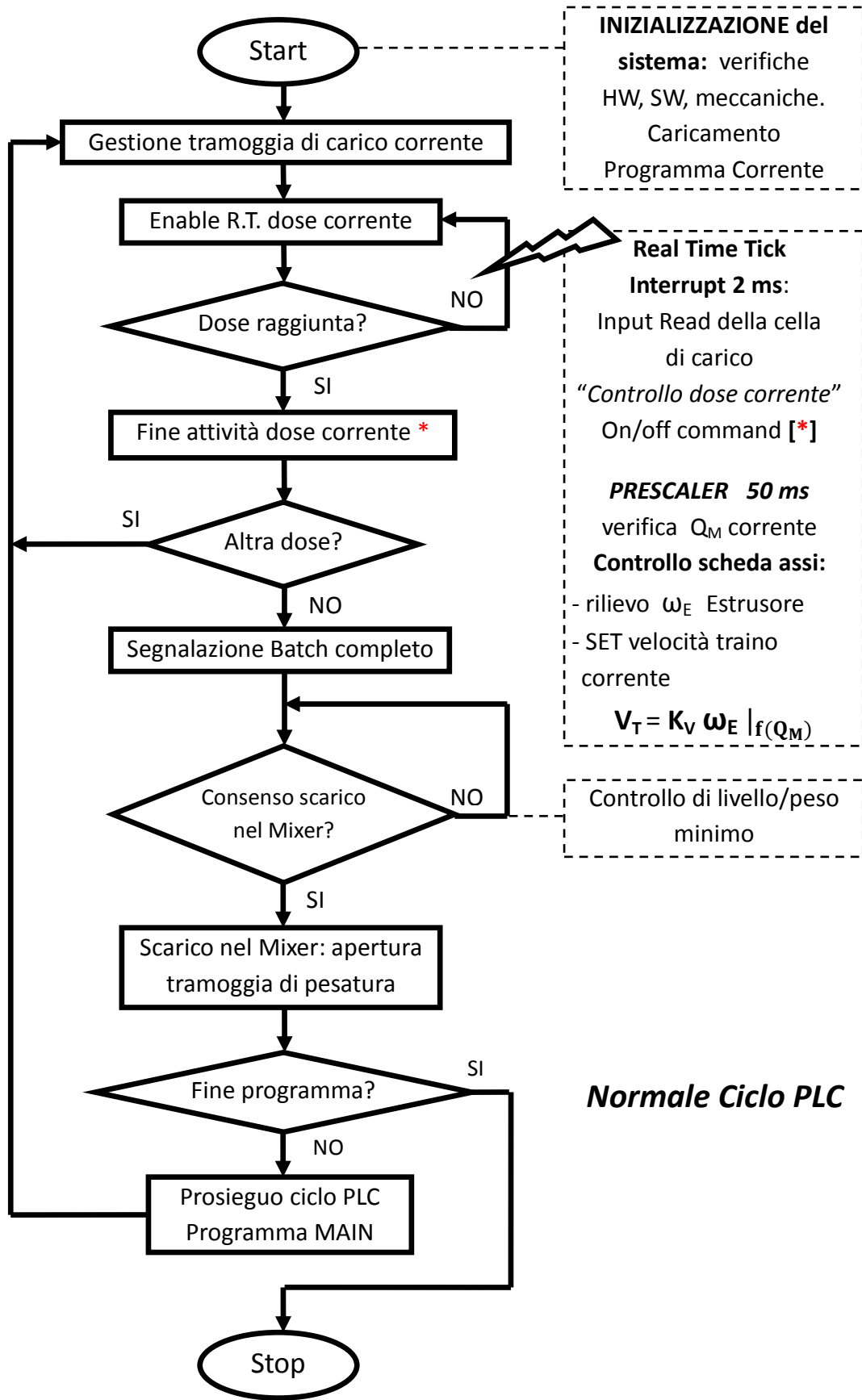
Gestione Dosatura dei Materiali

Il Flow chart sotto riportato, indica semplicisticamente dal punto di vista **logico**, i controlli che supervisionano il funzionamento del sistema di dosatura secondo le modifiche introdotte.

Viene riportata una possibile struttura logica del Programma di gestione della Dosatura nelle tramogge suddiviso in una Parte appartenente al Ciclo PLC (MAIN) ed in una Parte funzionante ad Interrupt (real Time Tick in ipotesi di 2 ms) che dialoga (handshake) con la Parte MAIN per la sincronizzazione delle singole Operazioni di dosatura.

Controllo ad INSEGUIMENTO Asse Estrusore (alternativa al Controllo tramite Scheda Assi con interpolazione lineare).

*Viene indicata una possibile Gestione ad Interrupt del Controllo dell'Asse di Traino **tramite lettura diretta dell'Encoder** dell'Estrusore (ω_E) con R.T. Tick ad esempio, da 50 ms per il calcolo delle eventuali variazioni ω_E e conseguente determinazione della Velocità V_T (o ω_T). Il fattore di proporzionalità K_v stabilisce, in prima ipotesi, il Rapporto di inseguimento ω_T / ω_E , e dovrà essere ottimizzato in fase di debug, considerando una possibile correlazione con il flusso di Massa (Variabile Q_M). Anche il valore del Timing di lettura Encoder, ipotizzato in 50 ms, dovrà essere ottimizzato in relazione alla Dinamica/Ritardo del Sistema Estrusore / Filiera (Vedasi fattore T_{SYS}). Non può essere escluso che il semplice Controllo di tipo **Proporzionale K_v** , non sia sufficiente a garantire prestazioni ottimali, potendo considerare eventualmente anche la **Tecnica Integrale e Derivativa**.*



BIBLIOGRAFIA:

A. Bianchini, M.S.A. Bradley, R.J. Farnish, C. Saccani - Mass flow discharge analysis through filling heads and accuracy optimization by controlled air injection

A. Bianchini, D. Barnabè, V. Casadei, C. Saccani, I. Della Ghezza, M. Atallah- Tracciabilità nella filiera grano duro: come monitorare il movimento dei lotti di cereale in un silo

A. Drescher, Powder Technol, 73 (1992)

American Society for Testing and Materials. (1996). Standard test method for apparent density, bulk factor and pourability of plastic materials. ASTM D 1895-96

American Society for Testing and Materials. (1999b). Standard test method for measuring the angle of repose of free-flowing mold powders

A.W. Jenike and T. Leser, in Proc. Fourth Int. Congress on Rheology, 1963, p. 125

A.W. Jenike, Powder Technol.,(1987)

A.W. Jenike, Storage and Flow of Solids, Utah Engineering

Behera, S., Das, S., Hatvani, Z., and Pahl, M. H. (2002), Flowability studies of bulk materials for design of hopper using a Jenike shear cell, Powder Hand. Proc., 14 (2), 96-101

Chan, L. C. Y. and Page, N. W. (1997), Particle fractal and load effects on internal friction in powders, Powder Technol., 90, 259-266.

Data sheet – Celle di carico - Laumas

Data sheet – PLC, Scheda ADC -Panasonic

E.J. Benink, Ph.D. Thesis, University of Twente, 1989

Eurocodice 1-Basi di calcolo ed azioni sulle strutture-Parte 4: Azioni su silos e serbatoi

Experiment Station, Bull., University of Utah, 1961

George G. Chase, The University of Akron – Hopper Design

G.G. Enstad, *Ph.D. Thesis*, Chr. Michelsen Institute, Bergen, Norway, 1981

Ing. Andrea Olimpi, Epsitec Automazione Pneumatica CKD Firenze - Prove di Laboratorio

M. Goldscheider, in G. Gudehus, F. Darve and I. Vardoulakis (eds.), *Comtitutive Relations for So& Balkema*, Rotterdam, 1984, p. 11.

Prof. Papini Renzo- ITIS "L. Da Vinci" – *Dispense di Sistemi Automatici*

P.i. Tudisco Giuseppe - ISIS "A. Malignani"- Appunti sugli Encoder

P.i. Tudisco Giuseppe - ISIS "A. Malignani"- Appunti sui circuiti pneumatici attuatori

P.i. Tudisco Giuseppe - I.TI. "A. Malignani " - Generalità sui PLC

Prof. Paolo Canu- Ing. di Chimica e dei Materiali di Padova- Appunti di lezione

Richard Holdich – "Loughborough University" - Fundamentals of Particle Technology - Powder flow and storage

Schwedes, J. (1996), Measurment of flow properties of bulk solids, *Powder Techninology*, 88, 285-290.

W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky and W.T. Vetterling, *Numerical Recipes*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986

Wouters, I. M. F. and Geldart, D. (1996), Characterizing semi-cohesive powders using angle of repose, *Part. Part. Syst. Charact.*, 13, 254-259