

Il trasporto dei SOLIDI

1. Generalità e classificazione degli apparecchi

Nell'industria chimica i materiali solidi, siano essi materie prime, o prodotti intermedi, o prodotti finiti, nel ciclo di lavorazione devono essere trasferiti da un luogo all'altro dello stesso reparto o da un reparto all'altro. Riveste quindi grande importanza il trasporto dei solidi.

La scelta di un dato tipo di convogliatore dipende da diversi fattori, di cui i principali sono:

- le caratteristiche del prodotto come, ad esempio, forma, dimensioni e peso specifico;
- la qualità di materiale da trasportare e la frequenza con cui avviene trasporto;
- le caratteristiche specifiche in cui il trasporto deve avvenire, cioè trasporto o da un deposito, a breve o a lunga distanza, orizzontale o verticale.

Tutti questi fattori spiegano la molteplicità dei tipi di trasportatori, che devono risultare adatti alle diverse condizioni di impiego per contribuire al buon esercizio della lavorazione.

Nell'industria chimica è raro che si debbano trasportare pezzi molto grossi; in genere i materiali da trasportare sono in grani, in piccoli pezzi o in polvere.

Il trasporto dei materiali può essere effettuato in maniera discontinua o continua; con apparecchi funzionanti prevalentemente in orizzontale o in verticale.

Nei paragrafi che seguono descriveremo solamente gli apparecchi continui che, nell'ambito dell'industria chimica, sono molto più usati di quelli discontinui: sia per la regolarità che per la sicurezza del trasporto che essi comportano.

Esamineremo poi il trasporto mediante fluidi, che è un caso particolare di trasporto di solidi, ma di grande impiego in alcune industrie per le caratteristiche specifiche dei materiali da trasportare.

2. I nastri trasportatori

I nastri trasportatori sono gli apparecchi più diffusi per il trasporto prevalentemente orizzontale; sono costituiti da un nastro senza fine che scorre su una serie di rulli che fanno sia da supporto, sia da guida al materiale trasportato. Il nastro è solitamente costituito da cotone o canapa, ma anche di fibre sintetiche e, a volte, di piastrine metalliche e listelli di legno collegati tra loro.

Nella parte inferiore il nastro si presenta sempre piano mentre nella parte superiore può essere pure piano o può presentarsi a sezione concava.

La disposizione piana viene realizzata da rulli orizzontali, mentre quella concava, quando occorre, per mezzo di rulli-guida, opportunamente inclinati.

L'alimentazione d'un nastro viene fatta per mezzo di apposite tramogge ad uno degli estremi della parte superiore del nastro, solitamente dalla parte della puleggia motrice, mentre lo scarico può avvenire o all'altro estremo del nastro o in un punto qualunque di esso.

Il sistema di trasporto ad unico nastro si usa per superare distanze che vanno da 100 ÷ 150 m fino a 300 m; mentre distanze superiori vengono superate per mezzo di nastri disposti in serie. Generalmente i nastri si sviluppano orizzontalmente, ma per superare determinati dislivelli s'installano inclinati; in tal caso la tangente dell'angolo di inclinazione deve essere inferiore al coefficiente di attrito tra il materiale ed il nastro, altrimenti il materiale scivola lungo il supporto.

La velocità del nastro varia tra 0.25 e 3 m/s. Essa è in relazione sia alla larghezza del nastro, sia al tipo di materiale trasportato; la larghezza varia da 0.3 a 1.2 m.

La potenzialità di trasporto o portata del trasportatore può raggiungere le 1000 t/h ed è variabile con la quantità e la pezzatura del materiale trasportato.

La potenza assorbita da un nastro viene determinata in base alla portata oraria voluta. Vediamo come è possibile eseguire il calcolo sia della portata, sia della potenza assorbita.

La sezione S di materiale, espressa in m^2 , che si crea sul nastro, considerata normalmente alla direzione di trasporto, risulta legata alla larghezza l del nastro espressa in m , dalle seguenti relazioni empiriche:

$$S = 0.037 \cdot l^2 \text{ (caso di nastri piani)}$$

$$S = 0.07 \cdot l^2 \text{ (caso di nastri concavi)}$$

La portata Q_V del trasportatore in m^3/h viene così espressa:

$$Q_V = 3600 \cdot S \cdot v \cdot f$$

I significati delle grandezze che figurano nella (1) sono:

- S** è la suddetta "sezione" in m^2
- V** velocità del nastro in m/s
- F** coefficiente di riempimento variabile da 0.7 a 0.9 adimensionale.

Se si vuole esprimere la portata in peso per tempo (portata ponderale), cioè in t/h, come solitamente si fa nel trasporto dei solidi, si ha:

$$Q_P = Q_V \cdot \gamma$$

Ove γ è il peso specifico del materiale in t/m^3 .

Per il calcolo della potenza assorbita, in CV, si può utilizzare la seguente formula semiempirica, fornita dalle case costruttrici:

$$N = \frac{Q_P}{300} (K \cdot L + H)$$

In cui:

- Q_P** è la portata in t/h, prima determinata;
- L** è la lunghezza del nastro in m;
- H** è l'eventuale dislivello da superare, pure espresso in m;
- K** è un coefficiente che dipende dal peso specifico del materiale e dalla larghezza, adimensionale.

E' ovvio che per i nastri orizzontali H è uguale a zero.

I nastri trasportatori sono largamente usati sia nell'industria chimica, che in industrie affini, come, ad esempio, nelle ceramiche, nelle cementiere e nelle minerarie.

I principali *vantaggi* che queste apparecchiature presentano sono la poca manutenzione, la grande elasticità e sicurezza di funzionamento ed il consumo di potenza relativamente basso che comportano.

L'unico *svantaggio* è l'alto costo del nastro, che si consuma principalmente per il trasporto di materia di grossa pezzatura e a spigoli vivi. Per il trasporto di materiali a temperatura elevata si usano nastri a catena metallica. Così si fa per trasportare il coke che esce caldo dai forni di distillazione e per attraversare i forni a tunnel, durante la cottura, alle ceramiche.

3. I trasportatori a coclea

I **trasportatori a coclea** sono costituiti da un canale a pareti verticali o leggermente curve ed a fondo semicilindrico.

In corrispondenza all'asse della coclea è posto un albero su cui è fissata una lamiera foggata ad elicoide. In seguito alla rotazione dell'albero, e quindi dell'elicoide, il materiale viene spinto in avanti, verso lo scarico. A volta, al posto dell'elicoide l'albero porta delle palette inclinate, che realizzano il mescolamento oltre che il trasporto del materiale.

La lunghezza massima delle coclee è sui 30 m, ma si devono disporre dei supporti ogni 3 m, se la loro lunghezza supera i 6 m.

La rotazione dell'albero può avvenire con l'uso di un motoriduttore, oppure con puleggia.

Questi trasportatori non sono adatti a trasportare materiali che hanno tendenza ad agglomerarsi o di pezzatura molto grossa. Vengono invece inviati nell'industria non solo come trasportatori, ma anche come mescolatori, alimentatori ed estrattori di cristalli da cristallizzatori. Costruttivamente le coclee sono di acciaio di varia natura, a seconda dell'uso a cui sono destinate; presentano il vantaggio di facili installazione, manutenzione e multiformità degli usi e gli svantaggi di tendere a frantumare il materiale trasportato e di poter superare piccole distanze. Oggi le coclee vengono spesso fatte o di resine sintetiche del tipo rinforzato o di leghe metalliche rivestite con hypalon (pag. 53).

Come si è fatto per il trasportatore a nastro, vediamo come si procede per il calcolo della *portata* e della *potenza assorbita* da una coclea.

La portata Q_p espressa in t/h , è data dalla relazione:

$$Q_p = (4 \div 5) \cdot \gamma \cdot n \cdot d^2 \cdot s$$

Le grandezze del secondo membro della (34) significano:

- d è il diametro della coclea in m ;
- s è il "passo", cioè la distanza tra i vertici della vite, in m ;
- n è il numero di giri dell'albero in $giri/min$ (o rpm);
- γ il peso specifico del materiale in t/m^3 ;

La potenza assorbita in CV è data dalla formula semiempirica:

$$N = \frac{K \cdot Q_p \cdot L}{200}$$

dove:

- Q_p è la portata in t/h , prima determinata;
- L è la lunghezza della coclea in m ;
- K è un coefficiente che dipende dalla natura del materiale adimensionale.

Per cereali, ad esempio, si ha $K = 1 \div 1,5$; per carbone $K = 2,5$; per sabbia $K = 3 \div 4$

4. Gli elevatori a tazze

Gli **elevatori a tazze** sono costituiti da due pulegge, dalle quali la superiore riceve il movimento. Attorno alle pulegge si avvolge una catena o nastro continuo, portante delle tazze (o recipienti di varie forme) fissate al nastro stesso. L'insieme può essere racchiuso in una carcassa esterna, fornita di due aperture: una per il carico e l'altra per lo scarico del materiale.

Gli elevatori possono essere verticali o inclinati; questi ultimi consentono un più facile scarico del materiale, inoltre permettono di superare contemporaneamente distanze in senso orizzontale e in senso verticale.

Il tamburo ruota ad una velocità di 0,4-0,8 m/s e le tazze sono munite di un opportuno scivolo, mentre, quando lo scarico si realizza per forza centrifuga, la velocità raggiunge 2-3 m/s.

La portata di un elevatore a tazze, in **t/h**, viene espressa con la conseguente formula:

$$Q_p = 3.6 \cdot f \cdot \gamma \cdot z \cdot C \cdot v$$

Ove i significati delle grandezze del secondo membro sono:

- γ** peso specifico del materiale in **t/m³**;
- C** capacità di ogni tazza in **dm³**;
- z** numero di tazze per metro di cinghia;
- v** velocità dell'organo di trasporto in **m/s**;
- f** coefficiente di riempimento delle tazze, che vale 0,5-0,8 adimensionale;

Il fattore 3.6, pure presente nella formula, tiene conto della trasformazione dei secondi in ore e dei dm³ in m³.

La potenza assorbita in **CV** viene espressa con la relazione:

$$N = \frac{Q_p \cdot H}{270 \cdot \eta}$$

dove:

- Q_p** la portata in **t/h**;
- H** l'altezza di sollevamento in **m**;
- η** il rendimento meccanico totale, che vale 0,4-0,8.

Il maggiore svantaggio di questi apparecchi è costituito dall'alta potenza assorbita, ma si hanno diversi vantaggi; tra cui la continuità di esercizio, la possibilità di vincere notevoli dislivelli e la variabilità di materiali con cui si possono costruire le tazze. Infatti, oltre che i materiali metallici si usano delle tazze fatte di resine poliestere rinforzate con fibre di vetro, di amianto o con reti di acciaio.

5. Il trasporto pneumatico

A volte invece di effettuare un trasporto di solidi con mezzi meccanici, conviene adottare un trasporto a corrente fluida; cioè inviando un fluido sul materiale da trasportare.

Il mezzo di trasporto nell'ambito di questa tecnica è in generale l'aria. Solo quando il materiale è sensibile all'azione dell'ossigeno il trasporto si effettua con gas inerti e soprattutto con azoto. Il processo pneumatico nell'impiantistica chimica viene largamente impiegato per trasportare grano, polvere in carbone, cemento, farine e fibre tessili. Gli impianti di trasporto pneumatico si distinguono in impianti ad *aria compressa* e in impianti ad *aria aspirata*. Negli schemi riguardanti alcuni processi industriali, ne vedremo le applicazioni.

Con il primo metodo ("ad aria compressa") il compressore dell'aria viene posto alla bocca di alimentazione del condotto in cui si effettua il trasporto. Questo sistema si presta ad essere sfruttato soprattutto quando il materiale, prelevato in un solo posto dev'essere mandato in più direzioni. E' questo, ad esempio, il caso del caricamento dei silos.

La pressione dell'aria che s'impiega varia da qualche millimetro di colonna d'acqua ad oltre 7 atm in relazione all'entità del trasporto da fare. Con gli impianti ad aria compressa si possono raggiungere distanze fino a 2000 m ed altezze fino a 100 m:

Con il secondo metodo ("ad aria aspirata") gli aspiratori o "generatori di vuoto" vengono installati alla bocca di scarico del condotto aspiratore. Si applica questo metodo quando il materiale prelevato da più posti va convogliato in un solo punto; come, ad esempio, negli impianti di aspirazioni delle polveri.

Con il sistema ad aria aspirata si possono superare distanze orizzontali di 300 m ed altezze di circa 30 m.

Sia negli impianti ad aria compressa che negli impianti ad aria aspirata la velocità che deve avere l'aria di trasporto varia in funzione del materiale che va spostato. Nella pratica industriale può convenire o può risultare necessario che la velocità sia mantenuta al di sotto d'un certo limite, per impedire sia l'alterarsi delle particelle solide che vengono trasportate, sia l'eccessiva corrosione del condotto. Tuttavia la velocità di trasporto non deve mai essere troppo bassa, per evitare funzionamenti irregolari o lenti del dispositivo dovuti all'alternarsi di deposizioni e di risospensioni dei solidi convoglianti.

* * *

Facciamo ora un cenno al modo di calcolare la minima velocità che occorre imprimere all'aria per realizzare un conveniente trasporto; velocità che andrà regolata nell'ambito delle opportune apparecchiature (spesso "ventilatori elicoidali") usate in questa tecnologia.

Quando l'aria investe un corpo (in pratica trattasi, ovviamente, d'un corpuscolo) a velocità v , assoggetta il corpo ad una spinta data da:

$$F = K \cdot \gamma \cdot \frac{S \cdot v^2}{2g}$$

dove: S è la sezione del corpo normalmente alla direzione dell'aria; K è un parametro il cui valore dipende dalla forma e dalle dimensioni del corpo, che varia da 1 a 3 e che, in particolare, assume valore 1 per i corpi piccoli e tondeggianti; v è la velocità dell'aria, in m/s, relativa al granello; γ è il peso specifico dell'aria in kg/m^3 ; S è la sezione del corpo in m^2 ; g è l'accelerazione di gravità in m/s^2 ed F è la spinta in kg.

Considerando il trasporto in senso verticale, se P è il peso del corpo in kg, perché la traslazione avvenga dovrà essere: $F > P$ e quindi per la si avrà:

$$\frac{K \cdot \gamma \cdot S \cdot v^2}{2g} > P$$

Perciò il valore della velocità si deduce da questa relazione:

$$v > \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot P}{K \cdot S \cdot \gamma}}$$

La () ci dà precisamente il valore che deve assumere la velocità dell'aria perché questa risulti in grado di compiere una certa operazione di trasporto. I consumi d'aria sono poi, di volta in volta, i seguenti:

4 m^3 di aria/kg materiale, per aria a bassa pressione;

2÷4 m^3 di aria/ kg materiale, per aria a media pressione;

0.03÷0.5 m^3 di aria/ kg materiale, per aria a forte pressione.

Nella fase finale del trasporto il materiale viene depositato nei luoghi di raccolta. Per provocare tale deposizione, in generale si fa diminuire fortemente la velocità dell'aria. Però, quando il polverino è troppo minuto, per ottenere la deposizione occorre far uso di dispositivi particolari, quali i filtri a sacco e i cicloni che avremo occasione di descrivere in seguito.

5. Esercizi

5.1 Esempio di calcolo di nastro trasportatore

Si deve effettuare un trasporto orizzontale con un nastro trasportatore di tipo concavo, le cui caratteristiche sono:

- Portata oraria: $Q = 210 \text{ t/h}$;
- Potenza assorbita: $N = 16,8 \text{ CV}$;
- Larghezza: $l = 0,4 \text{ m}$;
- Numero di giri della puleggia motrice: $n = 45 \text{ giri/min}$;
- Peso specifico del materiale: $\gamma = 5 \text{ t/m}^3$;
- Coefficiente di riempimento: $f = 0,9$;
- "coefficiente K " = 1,2 .

Si calcolino:

- 1) la distanza orizzontale che il nastro può superare,
- 2) il diametro della puleggia che trasmette il moto al nastro.

Sostituendo i valori forniti dal testo del problema nella relazione (24), dove, in questo caso, $H=0$, si può ricavare la lunghezza L del nastro; in questo modo:

$$L = \frac{N \cdot 300}{Q_p \cdot K} = \frac{16,8 \cdot 300}{210 \cdot 1,25} = 20 \text{ m}$$

Ovviamente la lunghezza così trovata corrisponde alla distanza orizzontale che il nastro può superare; cioè alla prima grandezza richiesta dal problema.

Per rispondere alla seconda domanda, dobbiamo prima ricavare la sezione S che il materiale ha sul nastro. Allo scopo applichiamo la relazione: $S = 0,07 \cdot l^2$, poiché, come dice il testo del problema, si tratta di un nastro concavo. Perciò :

$$S = 0,07 \cdot 0,4 = 0,0112 \text{ m}^2$$

A questo punto, applicando la (54) opportunamente trasformata, possiamo ricavare la velocità del nastro:

$$v = Q_p / 3600 \cdot S \cdot \gamma \cdot f = 210 / 3600 \cdot 0,0112 \cdot 5 \cdot 0,9 = 1,1 \text{ m/s}$$

ricordiamo ora delle istituzioni dell'insegnamento di machine che la velocità tangenziale v è legata al numero di giri n ed al raggio da questa relazione :

$$v = \frac{2\pi \cdot r \cdot n}{60}$$

il raggio della puleggia perciò si ricaverà così, tenuto conto dei dati numerici che abbiamo a disposizione:

$$r = \frac{v \cdot 60}{2\pi \cdot n} = \frac{1,1 \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 45} = 0,22 \text{ m}$$

di conseguenza, il diametro della puleggia misurerà: 0,44 m.

5.2 Esempio di calcolo relativo al trasporto in serie di materiali solidi

Un elevatore a tazze, disposto in serie con una coclea, deve trasportare un materiale di peso specifico: $\gamma = 7.5 \text{ kg/dm}^3$.

I dati relativi all'elevatore sono:

- Altezza di sollevamento: $H = 18 \text{ m}$;
- Rendimento totale: $\eta = 70 \%$;
- Potenza assorbita: $N = 5 \text{ CV}$.

Mentre i dati relativi alla coclea risultano:

- lunghezza: $L = 4 \text{ m}$;
- Passo: $s = 15 \text{ cm}$
- Numero di giri: $n = 40 \text{ giri/min}$;
- Peso specifico del materiale: $\gamma = 5 \text{ t/m}^3$;
- "coefficiente K " = 1,2 .

Si calcolino:

- 1) che portata possiede l'elevatore;
- 2) quale diametro ha la coclea;
- 3) quanta potenza assorbe la coclea.

Sostituendo i dati forniti dal problema nella formula della potenza dell'elevatore si può determinare subito la sua portata:

$$Q_P = \frac{270 \cdot N \cdot \eta}{H} = \frac{270 \cdot 5 \cdot 0.7}{18} = 56 \text{ t/h}$$

Poiché l'elevatore e la coclea hanno, ovviamente, la stessa portata (sono disposti in serie) dalla formula

$$Q_P = (4 \div 5) \cdot \gamma \cdot n \cdot d^2 \cdot s$$

si può ricavare il diametro della coclea:

$$d = \sqrt{\frac{Q_P}{4.5 \cdot \gamma \cdot n \cdot \pi \cdot s}} = \sqrt{\frac{56}{4.5 \cdot 7.5 \cdot 40 \cdot \pi \cdot 0.15}} = 0.28 \text{ m}$$

Come si vede al coefficiente che compare nella formula della portata della coclea nella forma $(4 \div 5)$, si è attribuito qui il valore medio di 4.5.

Infine per ricavare la potenza assorbita dalla coclea applichiamo la:

$$N = \frac{K \cdot Q_P \cdot L}{200} = \frac{1.2 \cdot 56 \cdot 4}{200} = 1.3 \text{ CV}$$