E S T R U S I O N E

E' la tecnologia tipica per la produzione di manufatti con una dimensione indefinita (foglie, lastre, tubi, profilati). E' utilizzata anche per la produzione di manufatti soffiati (bottiglie, film tubolare) e per il rivestimento di manufatti continui (cavi, tubi, profílati , lastre e foglie accoppiate).

L'estrusione può essere effettuata impiegando contemporaneamente materiali diversi (coestrusione).

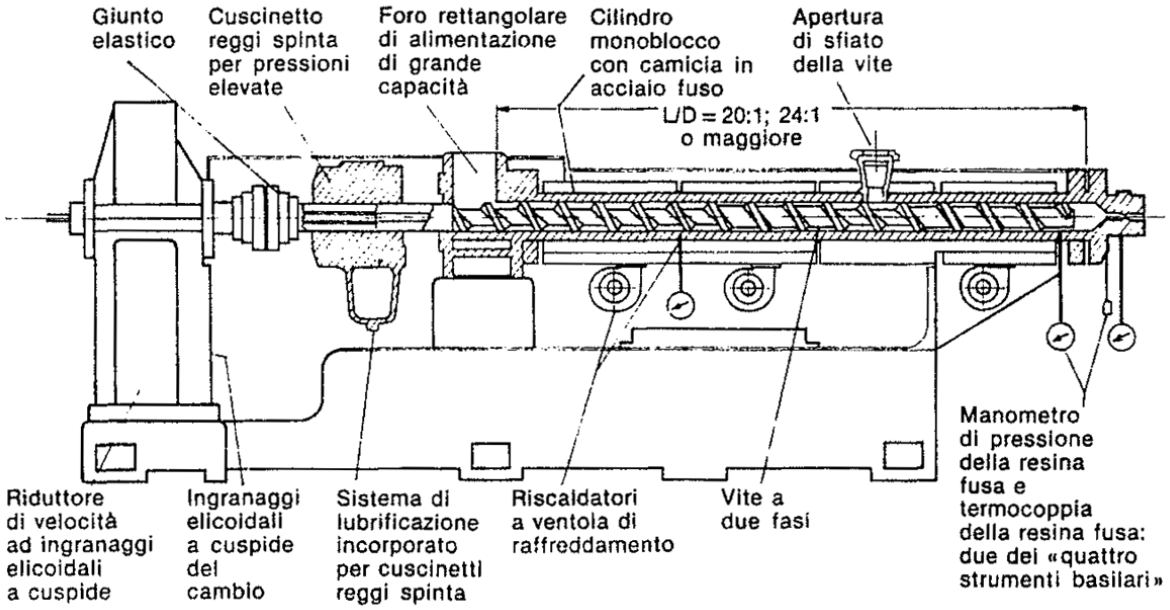
Essa comprende tre fasi :

a) Riscaldamento e plastifícazione del materiale.

b) Estrusione attraverso una filiera che riproduce la sezione del manufatto desiderato.

c) Calibratura, raffreddamento, taglio e raccolta del manufatto nelle dimensioni finite.

La macchina fondamentale per questa operazione è l'estrusore (fig. 1). Esso è costituito da un cilindro entro il quale ruota una coclea (vite). A un'estremità del cilindro, è montata una tramoggia per il carico del materiale; all'altro estremo è montata la filiera che riproduce la sezione del manufatto finale.



Il volume libero tra il nocciolo della vite e le pareti del cilindro all'entrata è maggiore che non all'uscita, cosicché il materiale di mano in mano che avanza viene compresso. Tale compressione è necessaria in parte per compensare la variazione tra il volume specifico ìniziale della massa solida e quello della massa plastificata e in parte per fornire l'energia necessaria a vincere la resistenza idraulica di avanzamento lungo il cilindro e le perdite di carico per l'estrusione attraverso la filiera.

In alcuni casi è prevista a un certo punto del cilindro, in corrispondenza di una zona in cui il materiale si trova già plastificato ma non compresso, un'apertura (degasaggio) attraverso la quale si possono eliminare i prodotti volatili (umidità, monomeri residui, basso fondenti). L'estrusore monovite con o senza degasaggio è il tipo più comune e costruttivamente il più semplice (fig. 2). Sono usati anche estrusori bivite e, meno frequentemente, a viti multiple, a pistone, a ingranaggi.

Con riferimento alle modalità di funzionamento, gli estrusori si suddividono in due tipi:

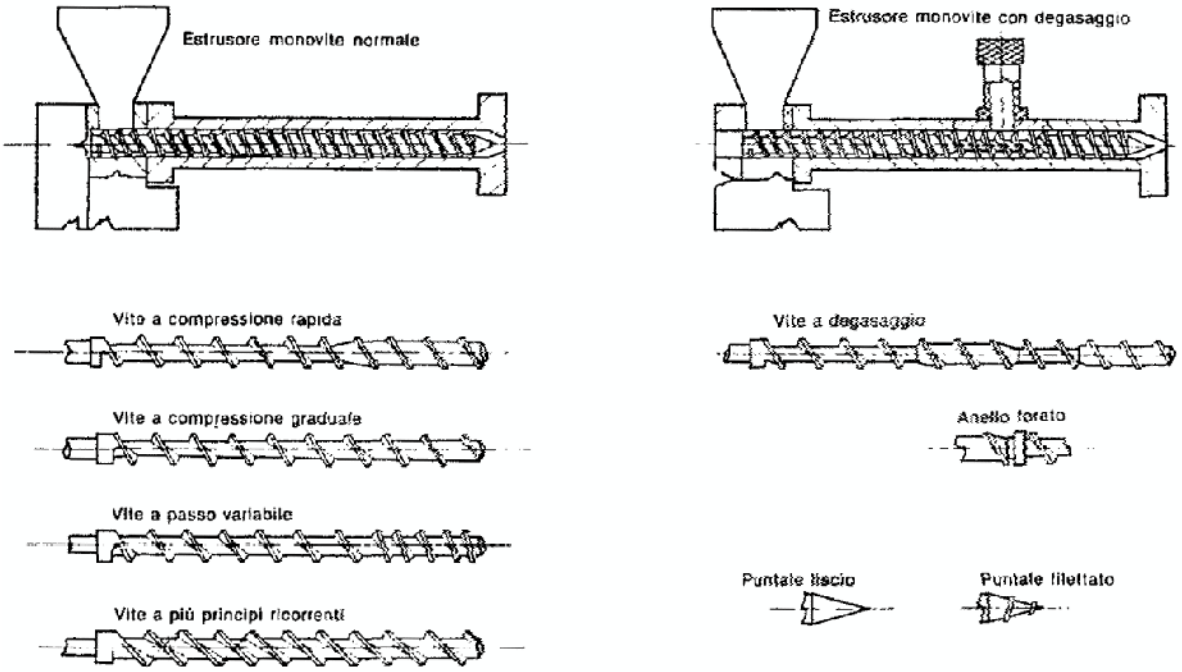
a a trascinamento (estrusori monovíte),

b volurnetrici (estrusori bivite o a viti multiple compenetranti, a pistone, ad ingranaggi).

Gli estrusori a vite vengono definiti dal diametro della vite (da 20 a 300 mm), dal rapporto lunghezza/diametro della vite (da 20 a 35), dal rapporto di compressione (da 2 a 3,5), dalla potenzialità (da 2 a 10000 kg/h),

a) Estrusori a trascinamento.

La portata dipende dalla viscosità del materiale allo stato plastico, dall'attrito tra il materiale



e le superfici del cilindro e della vite, dalla granulometria dei materiale di partenza, dal numero di giri della vite. In questo caso il lavoro di plastificazione è fornito per la maggior parte dalla degradazione dell'energia meccanica assorbita sull'asse di rotazione della vite, come lavoro richiesto per vincere gli attriti interni dei materiale e, solo in quota minore, è fornito per conduzione attraverso la superficie esterna del cilindro. Il

riscaldamento del cilindro è realizzato mediante resistenze elettriche esterne o circoNazione di fluidi termosta tati (acqua, olio) all'interno di canalizzazioni ricavate nello spessore del cilindro o anche con sistemi elettrici a induzione.

La portata volumetríca di un estrusore monovite per la zona di trasporto del materiale allo

stato solido (zona di alimentazione) è data da:

$$Qs=p^2 N D h (D - h) \text{ sen j cos j}$$

e per la zona di trasporto del materiale allo stato plastico (zone di miscelazione e di spinta o metering) da:

$$Q=AN-((BP/m) + (CP/m))$$

(il termine *CP/m,* che tiene conto della perdita di portata dovuta alla tolleranza radiale tra la cresta del filetto della vite e la parete interna del cilindro, non supera il 5% del valore totale e quindi, in prima approssimazione, viene trascurato: esso può diventare importante solo per viti molto usurate). L'energia totale richiesta da un estrusore monovite è data da:

$$W = W_m+W_e=QC_p\, DT+ Q\, DP+ W_d$$

Se si considera che le dispersioni vengono compensate dal riscaldamento elettrico, l'energia meccanica *Wm* comprenderà una quota $W_{m1}=Q\, g\, (DP/k_1)$, necessaria per portare il materiale alla pressione *P*, e una quota $W_{m2}=Q\, g\, (DH/k_2)$, necessaria per portare il materiale alla temperatura *T(DH* è l'incremento di entalpia del materiale tra le temperatura di entrata T_0 e di uscita *T* dall'estrusore, k_1 *e* k_2 sono coefficienti di conversione dell'unità di misura).

Esempio. Calcolare la potenza meccanica richiesta da un estrusore che lavora 225 kg/h (69cc/s) di materiale con pressione di estrusione di 140 kg/cm^2, D*H* = 165 kcal/kg

$$W_{m2} = \frac{225 \times 165}{860} = 43\ kW \qquad W_{m1} = \frac{69 \times 140}{Ö300} = 0{,}69\ kW$$

Tabella 1. Energia specifica di estrusione e temperature per alcuni materiali più comuni.		
Materiale	Temperature °C	Energia specifica kWh/kg
ABS	190 - 220	0,10 - 0,25
Acetato cellulosa	140 - 240	0,20 - 0,30
Polietilene b.d.	150 - 170	
a 170° *C*		0,14

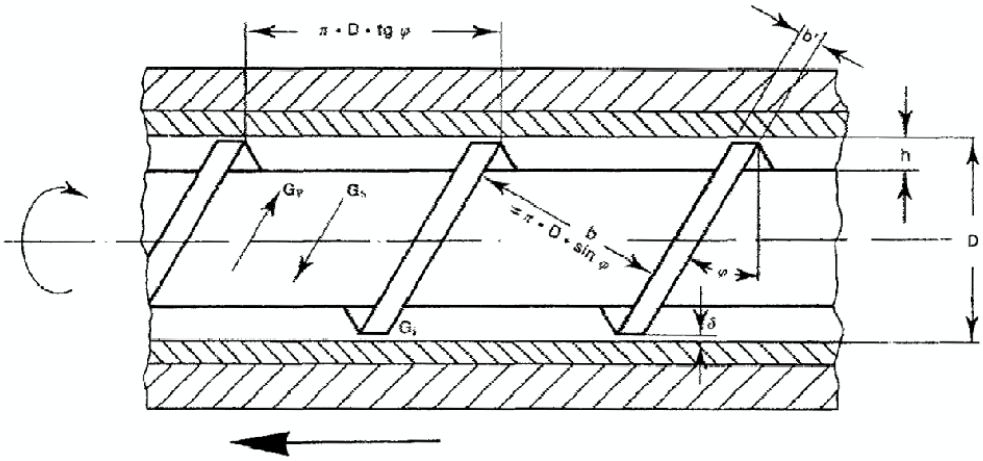
a 200° C		0,16
a 230° C		0,19
Polietilene a.d.	170 - 190	0,20 - 0,30
Polistirene cristallo	150 - 200	0,15 - 0,30
Polistirene antiurto	160 - 220	0,20 - 0,25
Poliammide	220 - 280	0,25 - 0,30
Polirnetilmetacrilato	180 - 230	0,20 - 0,30
Policarbonato	240 - 300	0,15 - 0,25
Polivinilcloruro	150 - 180	0,15 - 0,20

Tenendo conto di un rendimento meccanico del riduttore di 0,85, la potenza meccanica richiesta sull'asse dei motore sarà:

$$W_m = W_{m1} + W_{m2} = \frac{43 + 0{,}96}{0{,}85} = 52\ kW$$

b) *Estrusori volumetrici.* La portata Q_p, dipende solo dal volume in avanzamento e dal numero dei cicli (numero di giri della vite per gli estrusorí a vite). Essa è indipendente dalla viscosità del materiale, dagli attriti tra materiale e superfici della vite e del cilindro e dalla granulornetria del materiale di partenza. Per un estrusore bivite la portata è data da:

$$Qs = p\ N\ h\ l\ q\ (D - h)$$



Per il bilancio energetico valgono gli stessi concetti indicati per gli estrusori monovite. Nella tabella 1 sono indicati le condizioni operative e i valori indicativi del consumo specifico di energia per l'estrusione di alcuni materiali più correnti.

Simboli:

Qs = portata volumetrica del materiale solido

Q = portata volumetrica dei materiale plastificato

D = diametro della vite

h = profondità del filetto

j = angolo di inclinazione dell'elica (compreso generalmente tra 15° e 20°)

b = passo della vite normale all'elica

b' = spessore del filetto normale all'elica

e = spessore del filetto parallelamente all'asse della vite *(b' sen j)*

d = tolleranza radiale tra vite e cilindro

L = lunghezza del tratto di vite considerato

N = velocità della vite in giri/s

m = viscosità del materiale allo stato plastico

A = costante della vite = $\frac{p^2 D^2 h \sin j \cos j}{2}$

B = costante della vite = $\frac{p D h^3 \sin j^2}{12 L}$

C = costante della vite = $\frac{p^2 D^2 d^3 \tan j}{12 L e}$

l = passo della vite parallelamente all'asse della vite *(p D tan j)*

q = superficie dei filetto non coperta dall'interferenza

$\left(\frac{C}{p (D - h)} \right.$ *con C = tratto del filetto fuori dall'interferenza)*

W = energia totale assorbita

W_m = energia meccanica sull'asse del motore

W_e = energia elettrica assorbita dal riscaldamento del cilindro

W_d = energia dispersa dalla massa termica dell'estrusore

C_p = calore specifico del materiale

C_p *DT* = variazione dell'entalpia (DH) per portare il materiale alla temperature T

g = densità del materiale.