

INFORMAZIONI

&

TABELLE

per lo

STAMPAGGIO

ad

INIEZIONE

dei

MATERIALI TERMOPLASTICI

Abbiamo voluto raccogliere le informazioni di base inerenti lo stampaggio della materie plastiche per dare un supporto a chi si interessa di questo processo.

Flavio Fabbrigiotti

LO STAMPAGGIO AD INIEZIONE DELLE MATERIE TERMOPLASTICHE

concetti generici



Per trasformare il materiale termoplastico che viene prodotto in forma di GRANULI tramite la tecnologia dello stampaggio ad iniezione si utilizza una PRESSA AD INIEZIONE ed uno STAMPO



CICLO DI STAMPAGGIO AD INIEZIONE DEI MATERIALI TERMOPLASTICI

PRINCIPI DI BASE

Il granulo del materiale termoplastico viene portato alla fusione a temperature dell'ordine di 200-250 °C in modo da venir liquefatto.

Ogni tipo di materiale termoplastico (Polipropilene, Polietilene, Policarbonato, Metacrilato, Poliammide 6 - conosciuto come nylon, ABS, Poliestere, ecc.) ha la caratteristica di diventare un liquido visco-elastico se portato alla propria temperatura di fusione, senza perdere le proprie caratteristiche. A differenza dalle gomme e dai termoindurenti che modificano la propria struttura in modo irreversibile quando sono fusi, i termoplastici fondono tutte le volte che vengono riscaldati.

La "mescola" di materiale termoplastico fuso viene "iniettato" nelle cavità dello stampo dove viene raffreddato nella forma voluta.

CICLO DETTAGLIATO

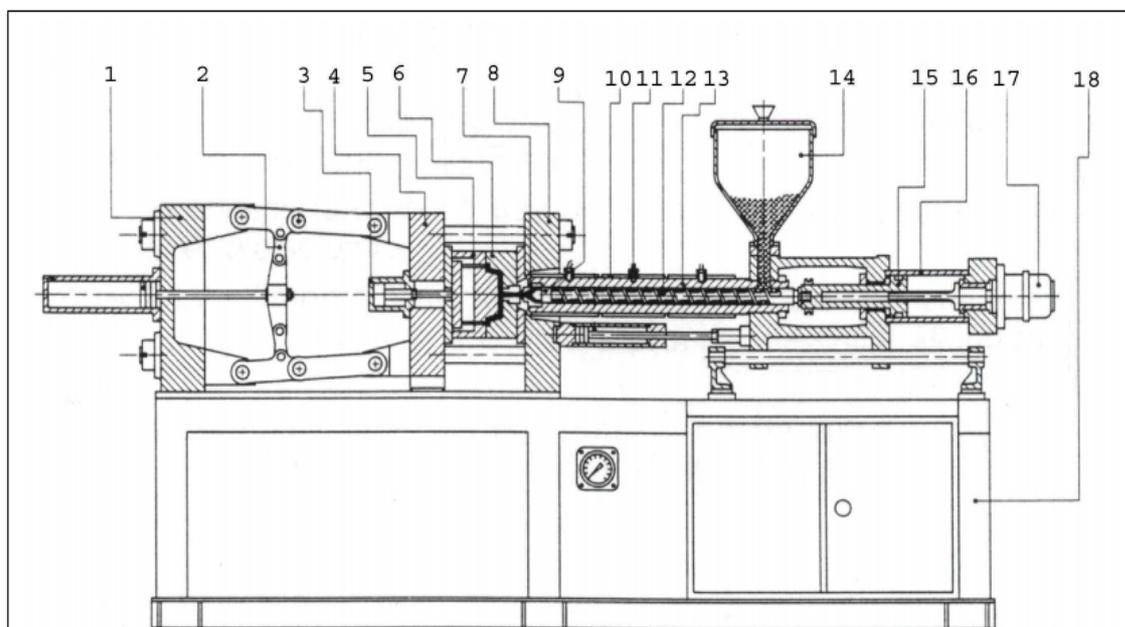


Figura 1.1: Sezione longitudinale di una pressa ad iniezione a vite punzonante del tipo a doppia ginocchiera.

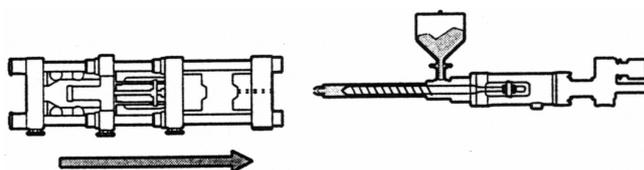
Legenda: 1) Testata stampo 2) Chiusura a doppia ginocchiera 3) Estrattore oleodinamico 4) Piastra mobile 5) Semistampo mobile 6) Semistampo fisso 7) Ugello di iniezione 8) Piastra fissa 9) Camera di plastificazione 10) Resistenze elettriche di riscaldamento 11) Termocoppia 12) Vite punzonante di plastificazione 13) Cilindro di plastificazione 14) Tramoggia 15) Pistone iniezione 16) Cilindro iniezione 17) Motore oleodinamico 18) Basamento.

Il materiale termoplastico viene posto all'interno della "tramoggia"(14) dove per gravità scende all'interno del "cilindro di plastificazione"(13). La "vite di plastificazione"(12) entra in rotazione in modo da trasportare i granuli sul proprio grande filetto, fino nella zona anteriore del cilindro di plastificazione, davanti alla vite stessa. Durante questa fase chiamata di "plastificazione" il materiale in granuli viene completamente fuso per l'azione di riscaldamento delle "resistenze elettriche di riscaldamento"(10) poste all'esterno del cilindro

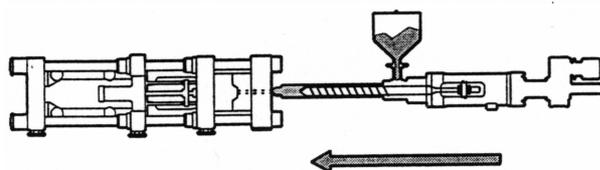
di plastificazione che viene percorso per tutto il suo interno dal materiale che si fonde uniformemente, grazie al particolare profilo della vite. Quando il "fuso" (o "mescola") raggiunge la punta della vite, passa attraverso una particolare valvola che è avvitata sulla punta della vite di plastificazione che viene denominato "puntale". Dopo aver superato il puntale, il fuso rimane nella parte anteriore del cilindro perché il foro anteriore di uscita del cilindro, detto "ugello di iniezione"(7) è chiuso. La vite di plastificazione deve arretrare per dare spazio alla mescola fusa nella zona del cilindro fra l'ugello e il puntale. Quando la quantità di mescola plastificata è sufficiente a riempire lo stampo, la vite si ferma. A questo punto si provvede a liberare lo stampo dal suo contenuto (la plastica fredda iniettata nel ciclo precedente) aprendolo tramite lo spostamento del "semistampo mobile"(5) ed espellendo dalle cavità i pezzi freddi tramite l'"estrattore"(3); si richiude lo stampo con le cavità vuote pronte a ricevere la mescola fusa che staziona nel cilindro di plastificazione nella quantità prestabilita. Lo stampo deve essere chiuso con una forza sufficiente a contenere l'impatto dell'iniezione del fuso (tipicamente decine o centinaia di tonnellate). Per procedere all'iniezione del fuso nello stampo, la vite di plastificazione si sposta in avanti senza ruotare. Per effetto di questo spostamento si chiude il puntale che impedisce al fuso di retrocedere verso i filetti della vite ed il fuso è obbligato ad attraversare l'ugello opportunamente aperto. Il fuso percorre i canali di alimentazione delle cavità dello stampo fino a riempire completamente le cavità dello stampo. Lo stampo è raffreddato con una circolazione forzata di acqua fredda che deve asportare il calore del fuso per riportare il materiale termoplastico alla temperatura ambiente. Durante la fase di raffreddamento il fuso diminuisce la propria temperatura: per questa variazione aumenta la sua densità, cioè diminuisce il proprio volume. Per evitare la formazione di vuoti all'interno dei pezzi stampati, si ricorre all'utilizzo della "pressione di mantenimento": la vite continua ad esercitare una pressione minore sul materiale iniettato per alimentare dell'ulteriore fuso a compensazione del "ritiro" del materiale plastico che si raffredda.

FASI DEL CICLO

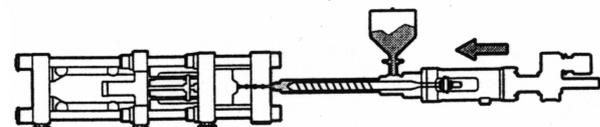
CHIUSURA DELLO STAMPO:



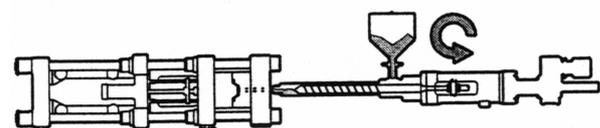
AVANTI LA SLITTA DELL'INIEZIONE:



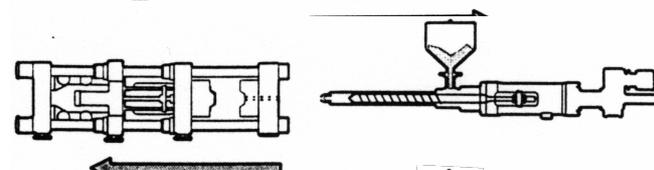
INIEZIONE:



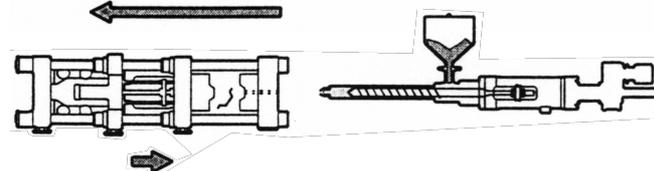
ROTAZIONE DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE:



APERTURA DELLO STAMPO:



ESTRAZIONE DEI PEZZI STAMPATI:



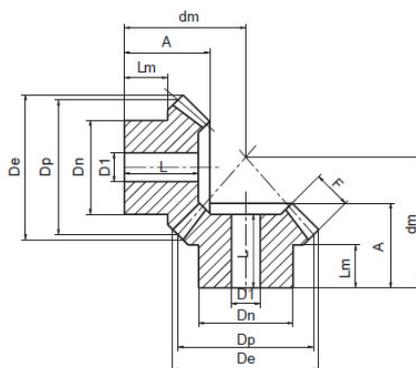
STAMPAGGIO TECNICO E STAMPAGGIO VELOCE

Il ciclo di stampaggio precedentemente descritto è uguale sia per lo stampaggio dei particolari tecnici che per lo stampaggio veloce.

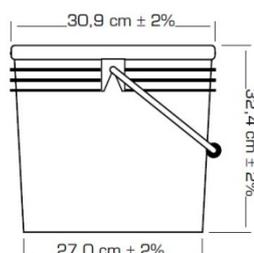
Si intende per particolare tecnico un oggetto di materiale termoplastico destinato ad avere una funzionalità meccanica o estetica che comporta una esigenza di tolleranza costruttiva senza restrizioni sul ciclo di stampaggio che può essere sufficientemente lungo da permettere alla pressa di controllare ogni fase con sufficiente precisione. Possono venir usati stampi abbastanza semplici ed economici che consentono ridotti impegni economici nella attrezzatura.

Le presse ad iniezione utilizzate per lo stampaggio tecnico devono avere una buona precisione che è relativamente semplice da ottenere dal momento che ogni fase del ciclo è sufficientemente lunga da permettere ai regolatori standard di velocità, pressione, posizione e temperatura di correggersi fino ad ottenere il valore corretto.

Ad esempio nello stampaggio del particolare tecnico "coppia conica" in poliammide 6 caricato vetro 30%



è previsto un ciclo di stampaggio di 37 secondi su una macchina da 200 tonnellate per una stampo a 6 impronte. Il tempo di iniezione è 4 secondi perchè la velocità di iniezione deve essere lenta per evitare fenomeni di jetting che potrebbero inglobare bolle d'aria all'interno del pezzo. Una pressa standard con un controllo idraulico con valvola proporzionale di velocità riesce a controllare con precisione l'andamento della bassa velocità dell'iniezione. Il tempo di mantenimento dei ritiri è 25 secondi, durante i quali la pressa deve mantenere la pressione di iniezione ai valori impostati. Considerando che il tempo di controllo di pressione di un impianto oleodinamico standard è dell'ordine di 0,3 sec, è evidente che lo stampaggio del particolare tecnico sarà ben controllato.



Ci sono particolari in cui è possibile diminuire il più possibile il tempo di ciclo senza diminuire le proprietà del pezzo finito. In certi casi con la riduzione del ciclo la qualità addirittura migliora. E' il caso dello stampaggio di particolari a pareti sottili in cui il materiale plastico se iniettato troppo lentamente raffredda

al punto da riempire con difficoltà lo stampo. Per esempio nello stampaggio dei secchi per vernici lo spessore è circa 1mm per un secchio da 20 litri: se l'iniezione è lenta il pezzo viene tensionato e il secchio diventa fragile. Questo secchio deve venir stampato su una pressa da 550 tonnellate che riempie il secchio in meno di 1 secondo, il tempo di ciclo totale nonostante le grandi dimensioni delle parti in movimento è di circa 10 secondi.



Scheda tecnica		
Materia prima	PP	
Peso gr	6	
Dimensioni e volume		
Altezza	Volume raso bocca	Volume utile
61	140 ml	88 ml
Dimensioni interne mm		
Lunghezza	Larghezza	Diametro
		68

Se prendiamo in considerazione lo stampaggio di un vasetto per confezioni alimentari in Polipropilene del peso di 6 gr abbiamo un ciclo di 3,6 secondi, per 8 impronte su una pressa da 270 tonnellate. Il tempo di riempimento di 0,38 sec.

Per rendere possibile questo ciclo di stampaggio la pressa deve avere alcune particolari caratteristiche:

- deve effettuare le regolazione in modo più veloce,
- deve avere la possibilità di sovrapporre alcune fasi,
- deve essere strutturalmente più robusta per sopportare maggior fatica,
- deve essere potenziata nel motore pompa
- deve essere potenziata nel motore della vite
- deve avere un profilo della vite ad alta plastificazione

INDICE DI CONSUMO

Le presse ad iniezione per lo stampaggio ad iniezione dei termoplastici sono state realizzate inizialmente con impianti oleodinamici. Questo sistema di movimentazione è stato potenziato ed affinato per poter raggiungere gli alti livelli produttivi dello stampaggio ad alta produttività. Con l'aumento della produttività si è visto aumentare il consumo elettrico per cui ci si è posto il problema della sostenibilità economica di questa scelta. Per realizzare un corretto confronto dal punto di vista del consumo elettrico, si deve prendere in esame il rapporto consumo elettrico per i prezzi prodotti:

$$\text{indice di consumo} = \frac{\text{energia consumata}}{1 \text{ kg materiale trasformato}} = \text{kwh/kg}$$

Misurando il consumo elettrico di una pressa ad alta produttività si è verificato che più si riduce il ciclo più migliora l'indice di consumo perché con l'aumento del consumo aumenta maggiormente la produttività dell'impianto. L'unico limite diventa la qualità perché diminuendo troppo il ciclo di stampaggio, pur raffreddando maggiormente lo stampo con acqua più fredda si arriva alla condizione limite per cui il materiale non riesce a raffreddarsi sufficientemente nello stampo e la sua conformazione risulta insufficiente.

ESEMPIO DI CALCOLO DELL'INDICE DI CONSUMO

Si considera lo stampaggio di una CUSTODIA DVD, in Polistirolo cristallo su una pressa idraulica prodotta dalla BMB modello KW250/1300, con stampo a 6 impronte:

peso stampata gr	tempo ciclo sec	consumo energetico kwh	materiale trasformato kg/h	INDICE DI CONSUMO kwh/kg	Costo di 1 kwh €	Costo 1 stampata c€
108	5,5	51,52	70,69	0,73	0,12	19.26
108	6	50,14	64,80	0,77	0,12	20.38
108	6,5	45,08	59,82	0,75	0,12	20.05
108	7	43,7	55,54	0,79	0,12	20.58

Come è evidente alla diminuzione del ciclo di stampaggio aumenta il consumo elettrico, ma aumenta maggiormente la produttività dell'impianto: AL DIMINUIRE DEL TEMPO DI CICLO DIMINUISCE L'INDICE DI CONSUMO.

PRESSE ELETTRICHE

Da qualche anno i costruttori di presse hanno iniziato a costruire macchine basate su azionamenti elettrici.

Anche nel caso delle macchine elettriche si deve ricorrere a potenziamenti per aumentare la produttività.

Non solo si tratta di potenziare elettricamente la macchina utilizzando motori più grandi ma si deve ricorrere a particolari dispositivi meccanici per garantire che l'usura non costringa a pesanti manutenzioni sugli organi di trasmissione dei movimenti in tempi relativamente brevi.

Anche il software di controllo deve implementare particolari correzioni per essere in grado di controllare con precisione non solo i movimenti e le posizioni ma anche le velocità e le pressioni.

Nonostante il costo di produzione di una pressa elettrica sia superiore e quella idraulica, vale la pena di verificare la differenza di consumo elettrico impiegato per la produzione e controllare in quanti anni si ammortizza la differenza del costo di acquisto con il risparmio energetico.

Nel caso dello stampaggio del pezzo esaminato precedentemente, i consumi diventano:

peso stampata gr	tempo ciclo sec	consumo energetico kwh	materiale trasformato kg/h	INDICE DI CONSUMO kwh/kg	Costo di 1 kwh €	Costo 1 stampata c€
108	5,5	22,90	70,69	0,32	0,12	8.38
108	6	22,28	64,80	0,34	0,12	9.10
108	6,5	20,04	59,82	0,33	0,12	8.55
108	7	19,42	55,54	0,35	0,12	9.19

Bisogna anche considerare che nel caso della pressa elettrica non esiste l'olio del circuito oleodinamico e quindi si risparmia l'onere del suo raffreddamento.

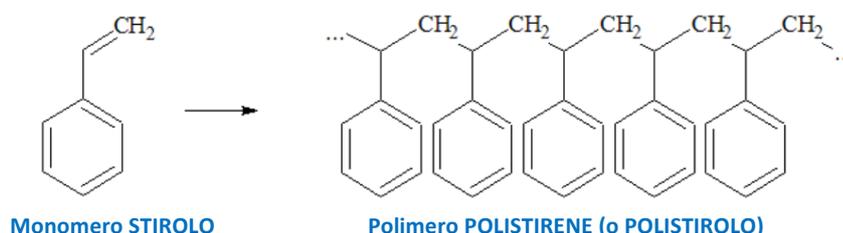
Conoscendo il calore necessario da smaltire dell'impianto oleodinamico e il C.O.P. della macchina frigorifera impiegata per il suo raffreddamento il consumo elettrico del frigorifero vale:

$$\text{consumo elettrico del frigorifero (kwh elettrici)} = \frac{\text{raffreddamento necessario (kwh termici)}}{COP}$$

Un ulteriore risparmio nell'uso della macchina elettrica consiste nei minor scarti dovuti alla maggior precisione della macchina elettrica sia nel normale funzionamento che nella fase di inizio produzione.

I MATERIALI PLASTICI

Le "materie plastiche" hanno la caratteristica di essere composte da macromolecole dette polimeri che sono composte da catene in particolari ordini strutturali di un gran numero di piccole molecole dette monomeri.



Il termine polimero è una parola composta che deriva dal greco 'poli' (molti) e 'meros' (unità o parte) ed è usata per designare una sostanza costituita da grosse molecole ottenute dall'unione in catena di molte piccole molecole di una o più specie.

I monomeri sono composti organici e derivano in maggior parte dal petrolio e metano ma anche dal carbone e da composti vegetali.

L'IUPAC (Internationa Union of Pure and Applied Chemistry, 1952) ha adottato una nomenclatura per le macromolecole che sono classificate come polimeri in funzione delle loro unità strutturali o monomeri. La transizione delle proprietà da non polimeriche a polimeriche è graduale in funzione dell'incremento del peso molecolare:

- **OLIGOMERI** (oligos=poco) hanno peso molecolare < 1500, hanno meno di 20 monomeri, non hanno proprietà polimeriche, catene inferiori a 50 Å, sono solubili, possono essere distillati e formare masse cristalline o amorfe,
- **BASSI POLIMERI** a BASSO PESO MOLECOLARE fra 1500 e 5000, da 20 a 100 monomeri, catene lunghe da 50 Å a 500 Å, non distillabili, se lineari fondono senza notevole aumento di volume, proprietà colloidali non significative,
- **MESOPOLIMERI** con peso molecolare fra 5000 e 10.000, da 100 a 200 monomeri, catene lunghe da 500 Å a 2500 Å, non distillabili, se lineari fondono con aumento di volume,
- **ALTI POLIMERI** ad ALTO PESO MOLECOLARE da 10.000 fino a milioni, più di 100 monomeri, catene lunghe più di 2500 Å (0,00025mm), non distillabili, se lineari fondono con notevole aumento di volume, le loro soluzioni diluite sono molto viscosi, generalmente formano film e fibre resistenti.

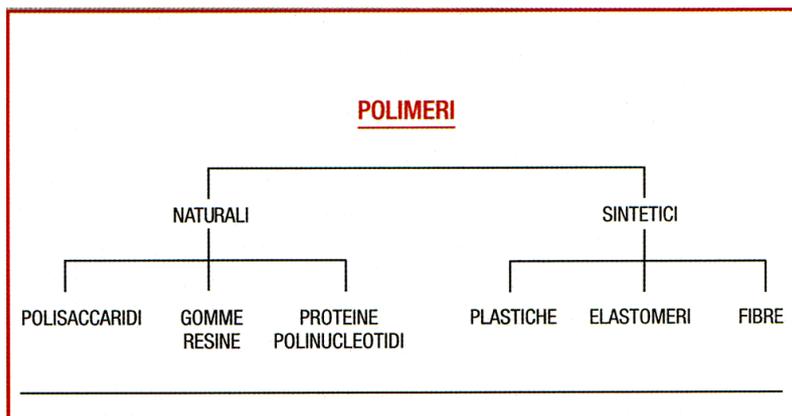
CLASSIFICAZIONE DI UN POLIMERO IN FUNZIONE DELLA STRUTTURA

- **OMOPOLIMERO**: catene costituite da un singolo monomero
- **COPOLIMERO**: catene costituite da due differenti unità monomeriche in sequenza generalmente irregolare
 - COPOLIMERI STATISTICI (la distribuzione dei 2 monomeri è casuale)
 - COPOLIMERI ALTERNANTI (sequenze dei 2 monomeri regolarmente alternate)
 - COPOLIMERI A BLOCCHI (formati da sequenze di blocchi dei 2 monomeri)
 - COPOLIMERI AD INNESTO (blocchi di un monomero sono innestati sullo scheletro dell'altro come ramificazione)
- **TERPOLIMERO**: catene costituite da tre differenti unità monomeriche in sequenza irregolare

ORIGINE DELLE MATERIE PLASTICHE

Dal punto di vista della loro produzione, le materie plastiche possono venir suddivise in:

- **origine naturale**
- **origine artificiale**
- **origine sintetica**



MATERIE PLASTICHE DI ORIGINE NATURALE

Le più antiche “materie plastiche” conosciute sono di **origine naturale**. I polimeri esistono in natura; basti pensare alla gomma naturale, ad alcune resine naturali come l'ambra, alla cellulosa, e alle sostanze proteiche.

I polimeri naturali sono molto più complessi dei sintetici

Altre materie plastiche naturali possono essere

di origine animale: corno (di bovini e di ovini), avorio (di elefante, di tricheco, di ippopotamo), tartaruga (di terra e di mare), gomma lacca (secrezione di insetto);

di origine vegetale: gomma arabica (o gomma d'acacia), coppale (da giacimenti), dammar (da alberi), colofonia (da distillazione della trementina), cera lacca (a base di colofonia) cera carnauba (o cera vegetale di foglie), guttaperga (ricavata da un albero della Malesia);

di origine minerale: bitume (da distillazione del petrolio), asfalto (o bitume allo stato nativo), ozocherite (cera minerale da giacimenti), ceresina (per raffinazione dell'ozocherite), cera montana (per estrazione da ligniti bituminose), paraffina (miscela di idrocarburi), ambra.

MATERIE PLASTICHE DI ORIGINE ARTIFICIALE

Nel 1845 il tedesco Schönbein ottenne il processo di nitratura della cellulosa da cui si ottiene la celluloida la cui produzione industriale venne avviata nel 1870 dai fratelli Hyatt negli Stati Uniti.

La nascita della moderna industria delle materie plastiche si può far risalire al 1862 con l'esposizione dell'inglese Alessandro Parkes alla Grande Esposizione di Londra di alcuni minuscoli oggetti fabbricati con la Parkesite, un composto basato sul nitrato di cellulosa, lavorato a pressione.

Le prime materie plastiche realizzate dalle industrie sono di origine artificiale: cioè sono fabbricate dall'uomo mediante opportune manipolazioni, ma partendo dalla sostanza macromolecolare già prodotta

dalla natura. Queste materie plastiche sono dette anche *materie plastiche semi-sintetiche*. Fra tali materie annoveriamo:

derivate dalla cellulosa: tra le più importanti la cellulose, l'acetato di cellulosa, l'acetato-butirato di cellulosa, il propionato di cellulosa, l'etilcellulosa, la cellulosa rigenerata /o cellophane);

derivate dalla caseina: solo la galalite;

derivate dal poli-isoprene: l'ebanite e le semi-ebaniti.

Fino al 1920 l'industria delle materie plastiche rimase una attività abbastanza marginale che assunse però negli anni successivi un incredibile ritmo di sviluppo, fino ai giorni attuali.

Origine delle materie plastiche		
Origine	derivazione	denominazione
Naturale	animale	corno
		avorio
		tartaruga
		gommalacca
	vegetale	gomma arabica
		coppale
		dammar
		colofonia
		ceralacca
		cera carnauba
		guttaperga
	minerale	bitume
		asfalto
		ceresina
		cera montana
paraffina		
ambra		
Artificiale	dalla cellulosa	celluloide
		acetato di cellulosa
		acetato butirrato di cellulosa
		propionato di cellulosa
		etilcellulosa
		cellophane
	dalla caseina	galalite
	dal poli-isoprene	ebanite
semi ebaniti		
Sintetica	da sintesi dal petrolio	ABS Acrilonitrile Butadiene Stirene
		EP Resine Epossidiche
		HDPE Polietilene Alta Densità
		LDPE Polietilene Bassa Densità
		LLDPE Polietilene Lineare Bassa Densità
		MF Resine melamminiche/formaldeide
		PA Poliammide
		PBT PoliButilenTereftalato
		PC PoliCarbonato
		PET PoliEtilenTereftalato
		PF Resine Fenoliche
		PMMA PoliMetioMetacrilato
		POM Poliacetati
		PP Polipropilene
		PS Polistirolo/Polistirene
		PSU Polisulfoni
		PTFE Politerafluoroetilene
		PUR Poliuretani
		PVA PoliVinilAcetati
PVC PoliVinilCloruri		
UF Resine Ureiche		
UP Resine Poliesteri		

I materiali che vengono utilizzati per i processi industriali sono dei COMPOSTI costituiti dalla RESINA BASE (polimero) e da altri additivi chimici e cariche

Le materie plastiche, dai punti di vista delle caratteristiche di trasformazione in prodotti finiti, si suddividono in 3 grandi categorie:

materie termoplastiche

materie termoindurenti

materie elastomeriche

materie plastiche			
tipo	temperatura	processo	caratteristiche
termoplastici	tutte le volte che aumenta la temperatura rammoliscono per poi indurirsi nel raffreddamento	le molecole diminuiscono i loro legami alle alte temperature	il processo è reversibile se non viene deteriorato il materiale
termoindurenti	quando la temperatura aumenta induriscono	avviene una trasformazione nella struttura del materiale	il processo è irreversibile
elastomeri	quando aumenta la temperatura avviene una reazione con altri elementi (tipicamente con lo zolfo)	avviene una trasformazione nella struttura del materiale che si chiama VULCANIZZAZIONE	il processo è irreversibile

RESINE TERMOINDURENTI		
resina di base	simbolo ISO	Denominazione
Alchidiche	-	resina alchidica
Alliliche	PDAP	resina allilica (polidiallilfalato)
Epossidiche	EP	resina epossidica
Fenoliche	PF	resina feonolo-formaldeide
Melaminiche	MF	resina melamina-formaldeide
	MPF	resina melamina-fenolo-formaldeide
Poliestere insature	UP	resina poliestere insatura
Poliuretani (a struttura reticolata)	PUR	resina poliuretana (rigida o flessibile)
Siliconi (a struttura reticolata)	SI	resina siliconica (rigida o flessibile)
Ureiche	UF	resina urea-formaldeide

RESINE TERMOPLASTICHE		
resina di base	simbolo ISO	Denominazione
Acriliche	PMMA	polimetilmetacrilato
Cellulosiche	CA	acetato di cellulosa
	CAB	acetobutirrato di cellulosa
	CP	propionato di cellulosa
Poliacetaliche	POM	poliacetale (poliossimetilene)
Poliammidi	PA 66	poliammide 66
	PA 6	poliammide 6
	PA 610	poliammide 6 10
	PA 11	poliammide 11
	PA 12	poliammide 12
Policarbonati	PC	policarbonato
Poliesteri termoplastici	PBT	polibutilentereftalato
	PET	polietilentereftalato
Polifenileni	PPO	polifenilenossido (modificato)
Poliiolefiniche	PE	polietilene
	PP	polipropilene
Poliuretani (a struttura lineare)	PUR	poliuretano termoplastico
Resine fluoro-carboniche	FEP	fluoro etilene-propilene
	ETCE	etilene-tetrafluoroetilene
	PCTFE	policloro-trifluoroetilene
Stireniche	PS	polistirene (polistiolo)
	SB	polistirene antiurto
	ABS	acrilonitrile-butadiene-stirene
	SAN	stirene-acrilonitrile
Viniliche	PVC	policloruro di vinile
	PVAC	poliacetato di vinile

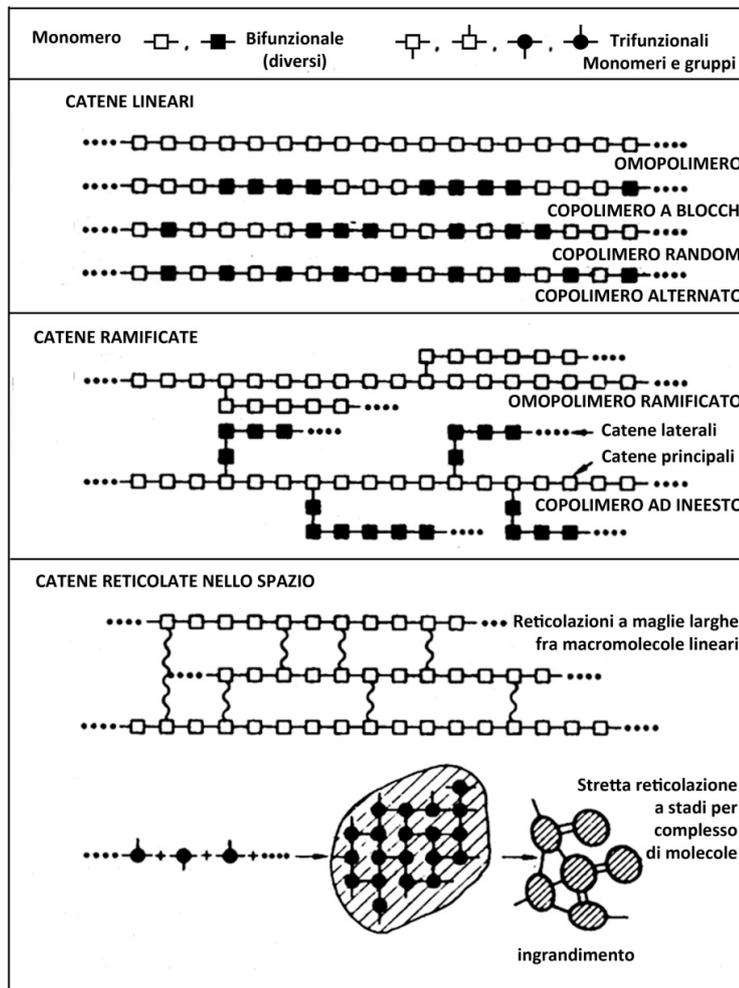
RESINE ELASTOMERICHE		
resina di base		Denominazione
lattice		isoprene (gomma naturale o caucciù)
butadiene		polibutadiene
stirene-butadiene		stirene (gomma stirolo) SBR
acrilonitrile-butadiene		gomma nitrilica
isobutilene isoprene		gomma butilica
clorobutadiene		Neoprene
stirolo		gomma stirolo
vinilpiridina-butadiene		copolimeri butadiene-vinilpiridina
solfoclorurazione del polietilene		elastomeri da polietilene
fluorurati		elastomeri da fluoro-olefine
acrilato di etile		elastomeri acrilici
acrilato di butile		elastomeri acrilici
fluoroacrilati		polimeri dei fluoroacrilati
cloruro di etilene e polisolfuro di sodio		gomme al polisolfuro
poliesteri lineari e diisocianati		gomme poliesteri
silicio		gomme siliconiche

Dal punto di vista della forma delle macromolecole le materie plastiche si possono suddividere in:

macromolecole lineari

macromolecole ramificate

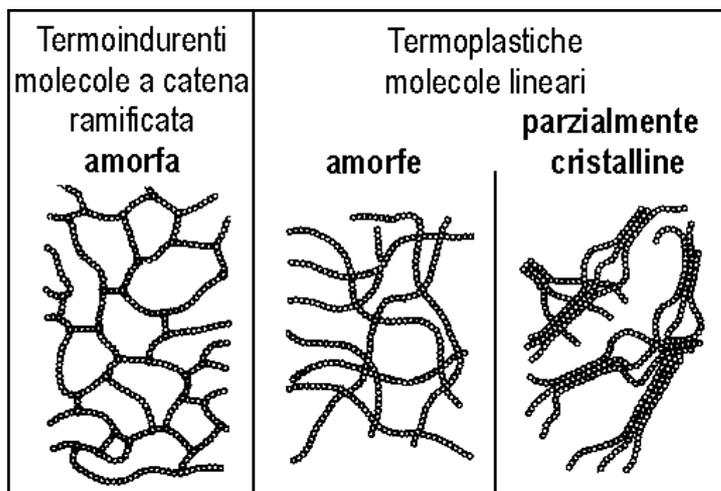
macromolecole reticolate



Una importante suddivisione delle materie plastiche è dovuta alla differente struttura:

struttura semicristallina

struttura amorfa



La fusione dei polimeri a **STRUTTURA AMORFA**, avviene gradualmente con l'aumentare della temperatura, passando dallo stato solido a quello fuso con valori di viscosità sempre decrescenti-

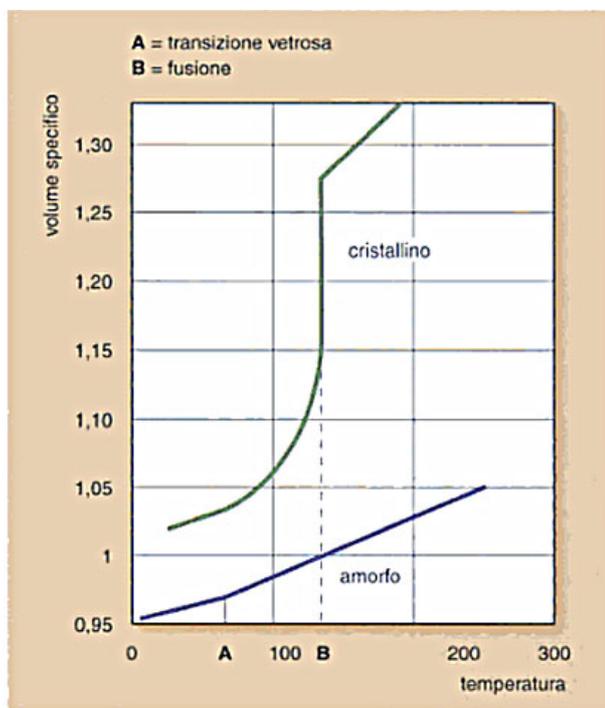
Il ritiro di stampaggio è limitato allo 0,3% - 0,9%.

Alcuni materiali sono trasparenti

I polimeri a **STRUTTURA SEMICRISTALLINA** hanno un preciso punto di fusione, superando il quale possono intervenire fenomeni di degradazione termica.

Il ritiro di stampaggio è molto più elevato.

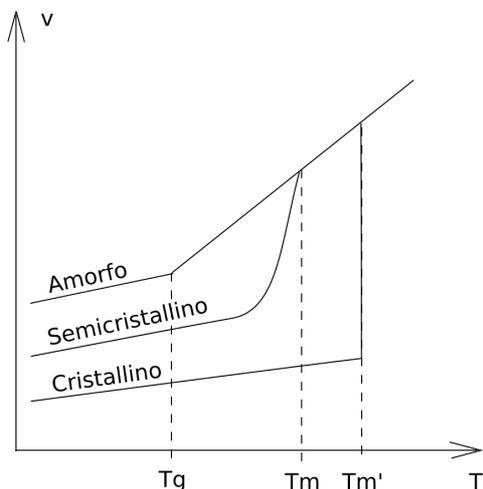
La struttura semicristallina rende questi materiali più resistenti agli agenti chimici e più rigidi e resistenti meccanicamente fino alla temperatura di fusione.



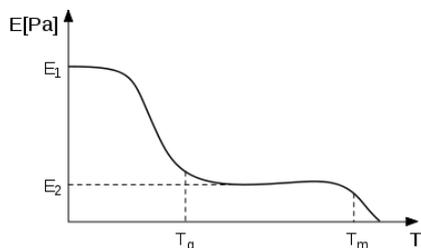
Confronto diagramma di stato per materiali cristallini e amorfi.

La **TEMPERATURA DI TRANSIZIONE VETROSA T_g** è quella temperatura al di sotto della quale un materiale AMORFO si comporta come SOLIDO VETROSO; al di sopra si comporta come AMORFO GOMMOSO ad alta viscosità. Non avviene un cambiamento di struttura o termodinamica ma solo di viscosità del materiale.

La **TEMPERATURA DI FUSIONE T_m** è quella temperatura a cui avviene un cambiamento di struttura del materiale, da CRISTALLINO a LIQUIDO



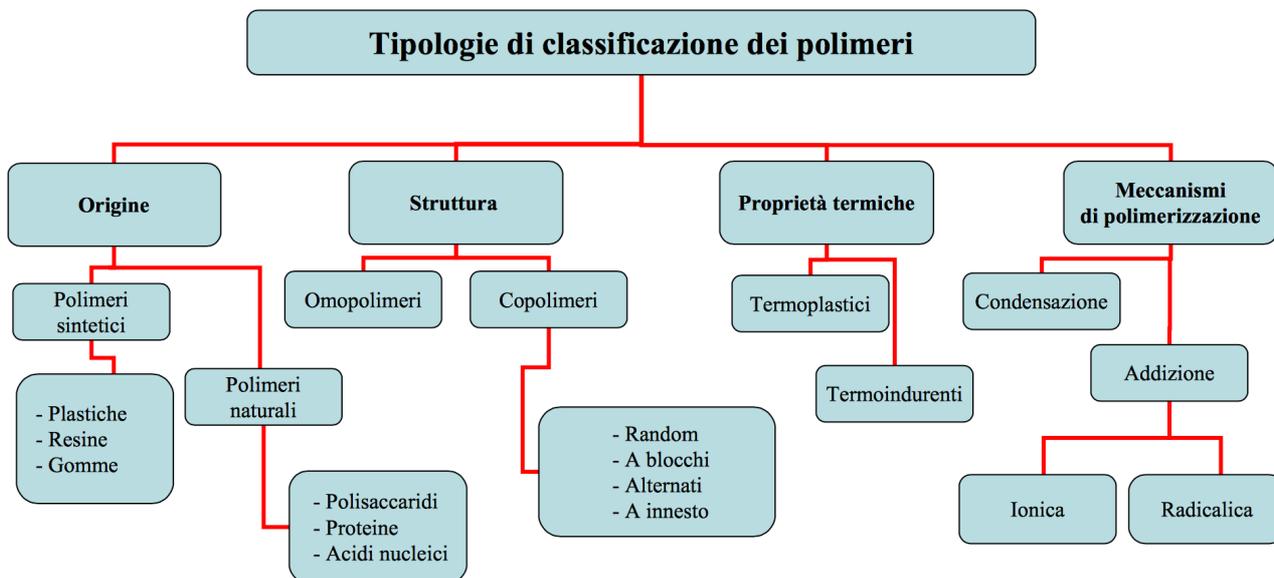
Variazione del volume specifico v con la temperatura per un materiale amorfo, semicristallino e cristallino.



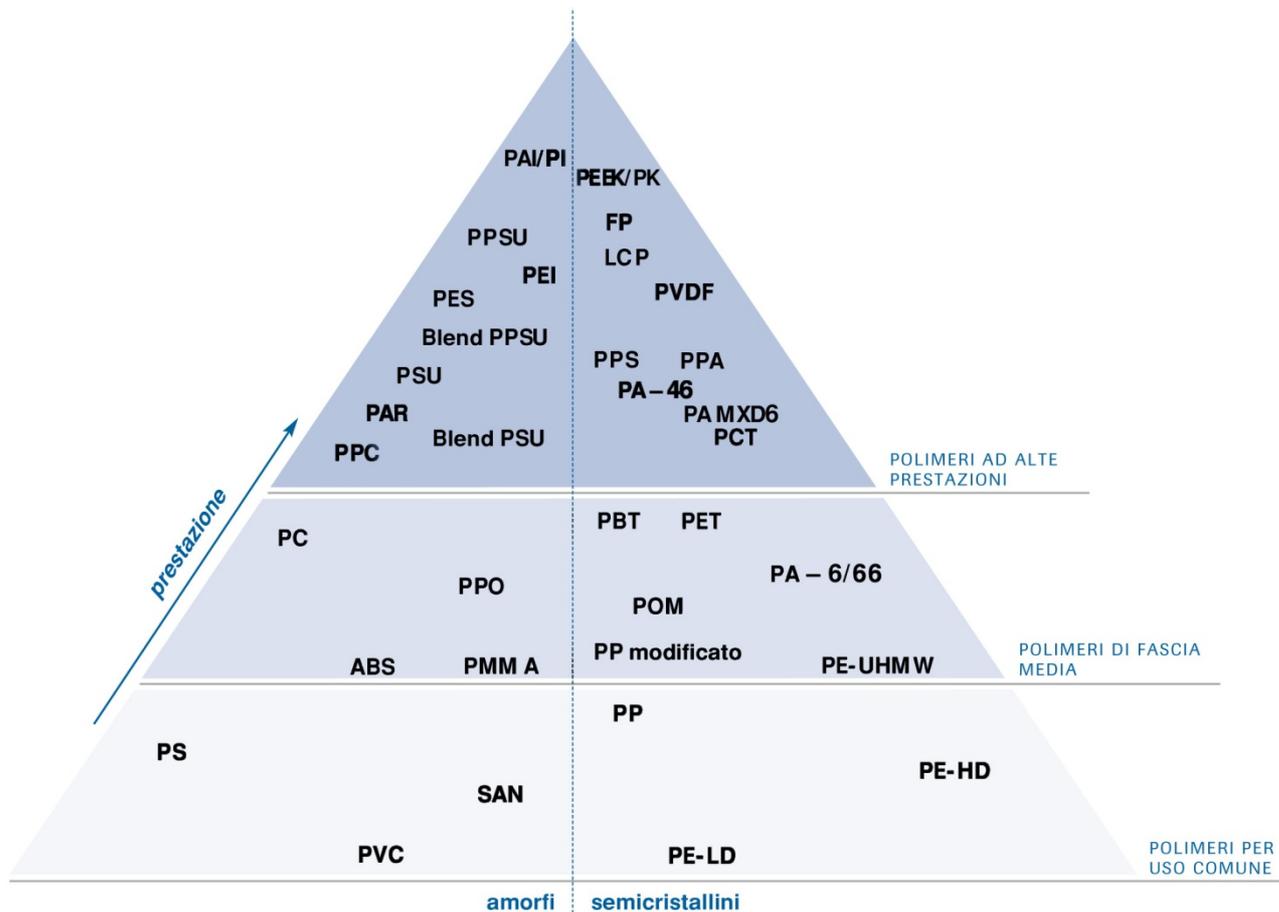
Andamento del modulo elastico E in funzione della temperatura T

Temperatura vetrosa di alcuni materiali		
materiale		T_g
HLPE		-125 °C
PP atattico		-20 °C
PP isotattico		0 °C
PVAc (acetato di polivinile)		28 °C
PLA (polilattato)		58 °C
PET		79 °C
PVC		81 °C
PVA (alcool polivinilico)		85 °C
PS		95 °C
PMMA atattico		105 °C
PC		150 °C

Possibili classificazioni delle materie plastiche:



LA PIRAMIDE DELLE MATERIE TERMOPLASTICHE



CARATTERISTICHE FISICHE DELLE MATERIE PLASTICHE

Riguardo al loro comportamento meccanico le materie plastiche possiedono un ampio intervallo di resistenza meccanica e rigidità. I loro **moduli elastici E** risultano generalmente bassi in paragone ai metalli, con l'eccezione dei materiali compositi rinforzati con fibre. Questo fatto viene considerato nella progettazione dei particolari di materiale plastico come pure le deformazioni che dipendono dalla temperatura, dalle sollecitazioni statiche o dinamiche e per il tempo che vengono applicate.

La **densità** delle materie plastiche é bassa (da 0,8 sino a 2,2). A parità di densità, le caratteristiche meccaniche delle materie plastiche sono per lo più migliori di quelle dei materiali comparabili. Questo vale anche per materiali espansi che hanno densità estremamente basse ed anche per le strutture "sandwich" realizzate con sovrapposizione di materie plastiche diverse.

Le materie plastiche sono materiali isolanti e di struttura per il settore elettrico ed elettronico, come specificato nelle norme standardizzate internazionali anche per esigenze estreme.

<i>RESISTENZA A TRAZIONE E MODULO DI ELASTICITÀ IN ORDINE CRESCENTE</i>	
Sostanze gommoelastiche:	a) gomma tenera,
	b) PVC plastificato,
	c) elastomeri poliuretanic;
Termoplasti non rinforzati parzialmente cristallini:	d) politetrafluoroetilene,
	e) polietilene,
	f) poliammide;
Termoplasti allo stato vetroso:	g) policarbonato
	h) polistirene
	i) PVC rigido
	j) vetro acrilico
	k) stratificati di idrato di cellulosa
	l) fibra vulcanizzata
	m) materiale stampato e stratificato
	n) stampato sec. DIN 7708
	o) laminati di carta, laminati di tessuto;
	p) materie plastiche. rinforzate con fibre di vetro mat, tessuti o roving in fibre di vetro con matrice in UP o EP
metalli:	q) alluminio
	r) acciaio

La resistenza alle condizioni ambientali delle materie plastiche fa sì che queste, nelle normali condizioni d'impiego, non richiedano protezione superficiale.

I termoindurenti strettamente reticolati sono insolubili nei solventi organici.

Gli elastomeri rigonfiano in solventi chimicamente affini, i termoplastici sono solubili, d'altro canto risultano in parte materiali altamente resistenti alla corrosione, adatti per la costruzione di apparecchiature e tubazioni.

Alcuni materiali sono soggetti a tensocorrosione in presenza di determinate sostanze.

La resistenza delle materie plastiche alle intemperie è differenziata.

Molti materiali plastici sono fisiologicamente inerti ed ammessi nell'industria alimentare.

La conducibilità termica delle materie plastiche è molto ridotta (estremamente bassa per i materiali espansi), il coefficiente di dilatazione termica è più elevato di quello dei materiali. I materiali plastici compositi con elevate cariche raggiungono più bassi coefficienti di dilatazione termica.

Tutti i materiali organici sono combustibili. Alcune materie plastiche, per la loro struttura chimica, risultano difficilmente infiammabili. Con l'aggiunta di particolari sostanze ignifughe additivate durante la loro produzione o lavorazione è possibile ridurre notevolmente l'infiammabilità delle materie plastiche, in conformità alle norme di sicurezza vigenti nei vari settori.

Per la progettazione di prodotti di materiale plastico si hanno a disposizione materiali colorabili in modo stabile, a scelta, brillanti, trasparenti e tonalità opache in qualsiasi colore.

I semilavorati ed i manufatti presentano, ad eccezione di alcuni prodotti espansi ed altamente rinforzati, superfici compatte lucide od opache, anche goffrate, secondo le superfici degli stampi e filiere; tali superfici sono durature e non necessitano di alcun ulteriore lavoro di rifinitura.

Le tecnologie industriali della lavorazione delle masse da stampaggio permettono una produzione razionale di parti di precisione del peso < 1 g come pure quella di grandi manufatti sino ad un peso > 100 kg e parti (termoformate) sino a 16 m² di superficie, come pure corpi cavi sino a 20.000 litri di capacità. Vengono estrusi fino a 1,5 metri di diametro, film sino a 8 metri di larghezza, lastre sino a 3,5 m, la lunghezza viene limitata soltanto dalle possibilità di trasporto. Le materie plastiche offrono perciò un ampio spettro di possibilità per l'impiego nei loro settori fondamentali, meccanica fine, elettronica ed elettrotecnica, imballaggio, elettrodomestici ed articoli sportivi, automobilistica, aerospaziale ed edile.

Le materie termoplastiche

Vengono usate nello stampaggio ad iniezione.

Vengono usate nella estrusione.

Vengono usate nella termoformatura.

Vengono usate nel soffiaggio.

Vengono usate nello stampaggio rotazione

Vengono usate nella calandratura.

Vengono usate nella spalmatura.

Grazie alla reversibilità della fusione lo scarto di lavorazione può venir recuperato anche se potrebbe aver perso parte delle sue caratteristiche a causa delle sollecitazioni subite nella prima trasformazione.

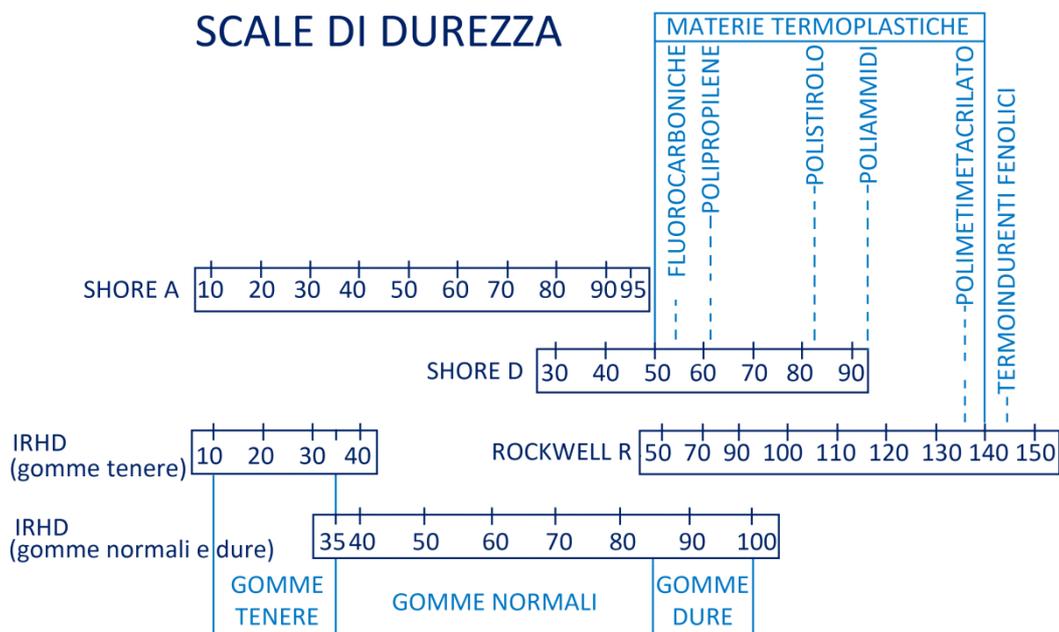
Ogni materiale termoplastico ha ben precise caratteristiche fisiche che dipendono dalla propria composizione

DUREZZA

Le materie termoplastiche se confrontate con la scala di MOHS sono al pari del talco e del gesso.

SCALA DI MOHS	
TENERI (si scalfiscono con l'unghia)	
1	Talco
2	Gesso
SEMI DURI (si rigano con una punta d'acciaio)	
3	Calcite
4	Fluorite
5	Apatite
DURI (non si rigano con la punta di acciaio)	
6	Ortoclasio
7	Quarzo
8	Topazio
9	Corindone
10	Diamante (Carborundum)

Per verificare la durezza delle materie termoplastiche si utilizzano durometri con scala SHORE D



CARATTERISTICHE FISICHE DELLE PRINCIPALI MATERIE PLASTICHE

materiale plastico	sigla mat.	Modulo di elasticità alla fless.	Carico di rottura alla traz.	Peso specifico massa volumica	Coef. di dilataz. termica	Calore specifico	Cond. termica	Coef. di attrito su acciaio secco
		E	Rm	p.sp	c	c.sp	k	
		N/mm ²	N/mm ²	kg/dm ³ (a 20°C)	mm/m/°C	kcal/kg	kcal/m °C	
Politertrafluoretilene	PTFE	700	20	2,18	0,014	0,31	0,343	0,1
PoliVinilCloruro rigido	PVC	2600	55	1,4	0,08		0,13	
PoliVinilCloruro C	PVC-C	3500	60	1,55	0,07			
Poliammide 66		2200	70	1,35	0,085	0,35	0,25	0,42
Polipropilene	PP	1100	35	0,93	0,15	0,48	0,134	0,35
AcriloButadieneStirene	ABS	2100	45	1,06	0,05		0,13	0,5
Polietilene alta densità	HDPE	780	22	0,93	0,2	0,53	0,459	0,3
Kynar	PVDF	2200	55	1,8	0,13		0,094	0,3
Poliammide 6	PA 6	1700	54	1,14	0,09		0,215	0,42
Poliammide 11	PA 11	1800	45	1,04	0,1		0,197	0,36
Poliestere	PET	3100	85	1,38	0,07		0,24	0,25
Policarbonato	PC	2300	65	1,2	0,065		0,18	0,5

TABELLA AD USO DELLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE DELLE MATERIE TERMOPLASTICHE

Famiglie	Materiale	Sigla	Densità a 23 °C	Temperat. di lavorazione °C	Temperat. stampo °C	Ritiro %	Densità alla temp. di lavoraz.	Calore specifico medio kJ/(kg K)
STIRENICHE	Polistirolo o Polistirene	PS	1,05	200-260	20-60	0,3-0,6	0,945	1,3
	Polistirene espanso	EPS						
	Polistirolo antiurto e medio	HI-PS	1,05	200-260	20-75	0,5-0,6		1,21
	Stirene-butadiene	SB					0,88	
	Acrilonitrile stirolo	SAN	1,08	190-270	50-80	0,5-0,7	0,88	1,3
	Acrilonitrile-butadiene-stirolo	ABS	1,06	260-280	60-80	0,4-0,7	0,88	1,4
	Acrilonitrile-stirolo-acrilato	ASA	1,07	230-260	40-90	0,4-0,6		1,3
POLIOLEFINE	Polietilene bassa densità	LDPE	0,957	180-240	50-70	1,5-5,0	0,759	2,0-2,1
	Polietilene alta densità	HDPE	0,92	200-260	30-70	1,5-3,0	0,71	2,3-2,5
	Polipropilene	PP	0,915	230-250	30-75	1,0-2,5	0,73	0,84-2,5
	Polipropilene + vetro 30%	PPGR	1,14	240-280	50-80	0,5-1,2	0,93	1,1-1,35
	Polisobutilene	IB		150-200				
	Polimetilpentene	PMP	0,83	280-310	70	1,5-3,0		
VINILICHE	Etilenvinil acetato	EVA						
	Polivinilcloruro flessibile	PVC	1,38	150-200	20-50	>0,5	1,02	0,85
	Polivinilcloruro rigido	PVC	1,38	160-270	30-50	0,5	1,12	0,83-0,92
	Polivinilidencloruro	PVDC						
	Polivinilidencloruro clorurato	CPVDC						
	Polivinilacetati	PVA						
	Polivinilidenfluoruro	PVDF	1,2	250-270	90-100	03-giu		
	Politetrafluoroetilene	PTFE	2,12-2,17	320-360	200-230	3,5-6,0		0,12
ACRILICI	Polimetilmetacrilato	PMMA	1,18	220-260	50-70	0,1-0,8	0,94	1,46
ACETALICHE	Poliossimetilene (acetale)	POM	1,42	200-220	>90	1,9-2,3	1,15	1,47-1,5
CELLULOSICHE	Acetato di cellulosa	CA	1,27-1,3	180-230	50-80	0,5	1,02	1,3-1,7
	Acetato-butirato di cellulosa	CAB	1,17-1,22	180-230	50-80	0,5	0,97	1,3-1,7
	Propionato di cellulosa	CP	1,19-1,23	180-230	50-80	0,5		1,7
POLIESTERI	Policarbonato	PC	1,2	280-320	80-100	0,8	0,97	
	Policarbonato + vetro 10%	PC-GR	1,27	300-330	100-120	0,15-0,55	1,03	
	Policarbonato + vetro 30%	PC-GR	1,43	300-330	100-120	0,15-0,55	1,19	
	Polietilentereftalato	PET	1,4	260-290	140	1,2-2,0	1,2	
	Polietilentereftalato + vetro 30%	PET-GR	1,63	260-290	140	1,2-2,0	1,43	
	Polibutilentereftalato	PBT	1,3	240-260	60-80	1,5-2,5		
	Polibutilentereftalato + vetro 30%	PBT-GR	1,53	250-270	60-80	0,3-1,2		
	Polibutilentereftalato + vetro 50%	PBT-GR	1,73	250-270	60-80	0,3-1,2		

Famiglie	Materiale	Sigla	Densità a 23 °C	Temperat. di lavorazione °C	Temperat. stampo °C	Ritiro %	Densità alla temp. di lavoraz.	Calore specifico medio kJ/(kg K)
POLIAMMIDI	Poliammide 6	PA6	1,14	230-250	70-120	0,5-2,2	0,91	1,8
	Poliammide 6 + vetro 30%	PA6-GR	1,37	270-290	70-120	0,3-1	1,13	1,26-1,7
	Poliammide 6 + vetro 50%	PA6-GR	1,59				1,35	
	Poliammide 66	PA66	1,15	280-300	70-120	0,5-2,5	0,91	
	Poliammide 66 + vetro 10%	PA66-GR	1,22	280-310	70-120	0,5-1,5	0,97	
	Poliammide 66 + vetro 20%	PA66-GR	1,29				1,05	
	Poliammide 11	PA11	1,03-1,05	210-250	40-80	0,5-1,5		
	Poliammide 12	PA12	1,01-1,04	210-250	40-80	0,5-1,5		
	Poliuretano termoplastico	PUR	1,2	195-230	20-40	0,9		
ETERI	Polieteresolfone	PSO	1,37	310-390	100-160	0,7		
	Polisulfone	PSU						
	Polifenilensolfuro (vetro40%)	PPS	1,64	370	>150	0,2		
	Polifenile ossido	PPO	1,06	250-300	80-100	0,5-0,7		1,45
	Polifenile ossido + vetro 30%	PPO-GR	1,29	280-300	80-100	<0,7		1,3
BIO DEGRADABILI	Acido prolattico (Natural Work)	PLA	1,24	165 → 205	25		1,12	
	Poliidrossialcanoato (Mirel)	PHA	1,39	175 → 165	60	1,2-1,4		
TERMO INDURENTI	Fenoliche per uso generale	PF	1,4	60-80	170-190	1,2		
	Melamminiche uso generale	MF	1,5	70-80	150-165	1,2-2		
	Melamine fenoliche	MPF	1,6	60-80	160-180	0,8-1,8		
	Poliesteri	UP	2,0-2,1	40-60	150-170	0,5-0,8		
	Epossidiche (vetro 30-80%)	EP	1,9	ca. 70	160-170	0,2		1,7-1,9
GOMMA (TERPOLIMERI)	Terpolimeri etilene-poliprolilene-diene	EPDM						
	Acilonitrile	EPS						
	Acilonitrile stirene estere acrilico	ASA						
	Metilmetacrilatobutadienestirene	MBS						
GOMME TERMO PLASTICHE	Termoplastici vulcanizzati	TPV						
	Poliisobutilene	PIB						
	Copolimeri butadiene stirene idrogenati	SEBS						
	Poliuretano	PU						
	Poliuretanic	TPU						
CARICHE	Vetro	GR	2,6					
	Talco		2,8					

DENSITA' DI UN MATERIALE

Densità a temperatura ambiente

Dato il volume V di un materiale e il suo peso P, la sua densità d è data da:

$$d = \frac{P}{V}$$

Densità alla temperatura di plastificazione

Attenzione che alla temperatura di plastificazione il volume V di un materiale aumenta in funzione della sua composizione molecolare mentre il suo peso P rimane uguale, la sua densità pertanto diminuisce.

CALCOLO DELLA DENSITA' DI MISCELE

Miscela in volume

Se si mescolano 2 materiali di cui si conoscono i VOLUMI iniziali V1 e V2 e si sa che il volume della miscela è V1 + V2, allora

$$\%v_1 = V_1 / (V_1 + V_2)$$

$$\%v_2 = V_2 / (V_1 + V_2)$$

Date le densità dei 2 materiali d1 e d2

La densità della miscela vale:

$$d = \%v_1 \cdot d_1 + \%v_2 \cdot d_2$$

Miscela in peso

Se si mescolano 2 materiali di cui si conoscono i PESI iniziali P1 e P2 e si sa che il volume della miscela è uguale alla somma dei volumi iniziali, allora

$$V_1 = P_1 / d_1$$

$$V_2 = P_2 / d_2$$

$$V_{\text{tot}} = V_1 + V_2 = P_1/d_1 + P_2/d_2$$

$$\%v_1 = (P_1/d_1) / (P_1/d_1 + P_2/d_2)$$

$$\%v_2 = (P_2/d_2) / (P_1/d_1 + P_2/d_2)$$

$$d = d_1 \%v_1 + d_2 \%v_2 = d_1 (P_1/d_1) / (P_1/d_1 + P_2/d_2) + d_2 (P_2/d_2) / (P_1/d_1 + P_2/d_2)$$

$$d = \frac{P_1 + P_2}{\frac{P_1}{d_1} + \frac{P_2}{d_2}}$$

$$d = \frac{d_1 \cdot d_2}{\%p_1 \cdot d_2 + \%p_2 \cdot d_1}$$

DENSITA' APPARENTE DELLE MATERIE TERMOPLASTICHE IN GRANULI

Le materie termoplastiche vengono fornite dai produttori in granuli di forma generalmente cilindrica e della dimensione di 3 - 4 mm.

Nella maggioranza dei casi, i granuli vengono forniti in sacchi da 25 kg. ma esistono diverse possibilità di fornitura in contenitori diversi come sacconi, octobin, oppure sfusi in contenitori o in autobotti.



Quando si considera la densità del materiale in granuli, bisogna considerare che il volume occupato dalla materia prima comprende una grande parte di spazio vuoto fra i singoli granuli che è occupato dall'aria. Questo spazio dipende dalla forma dalla dimensione del granulo.

NOTA sulla Densità del granulo:

Il materiale la cui densità apparente del granulo è maggiore del 50% della densità del materiale stesso viene facilmente convogliato da una vite di plastificazione a profilo normale.

Il materiale la cui densità apparente del granulo è minore del 50% della densità del materiale stesso viene convogliato dalla vite di plastificazione a profilo normale con qualche problema.

Il materiale la cui densità apparente del granulo è minore del 30% della densità del materiale stesso normalmente non viene convogliato dalla vite di plastificazione a profilo normale.

PRESENZA DI UMIDITA'

Prima di procedere alla trasformazione di lavorazione dei materiali termoplastici, si deve provvedere ad eliminare il possibile contenuto di acqua dalla materia prima perché la presenza di acqua nel processo di lavorazione produce fenomeni di degrado delle caratteristiche del pezzo prodotto.

I materiali termoplastici si dividono in

materiali igroscopici

materiali non igroscopici

materiali igroscopici	materiali non igroscopici
assorbono l'umidità all'interno del granulo	l'umidità non penetra dentro il granulo ma può depositarsi sul suo esterno
è necessario procedere alla DEUMIDIFICAZIONE	è sufficiente procedere alla ESSICAZIONE

PUNTO DI RUGIADA DELL'ARIA DI PROCESSO (DEW POINT)

Il punto di rugiada (dew point) è la temperatura alla quale la quantità di vapore acqueo presa in considerazione è massima, l'umidità relativa è il 100% e si verifica la condizione di saturazione.

Ciò significa che il vapore d'acqua inizia a condensare sulle superfici trasformandosi in liquido.

Determina in pratica il contenuto d'acqua nell'aria.

Più bassa è la temperatura di rugiada, più basso è il contenuto di umidità nell'aria

Punto di rugiada		
aria	contenuto (massimo) di acqua	
°C	g/metro cubo	ppm in volume
-70	0,00207	2,57
-60	0,00857	10,70
-55	0,01660	20,60
-50	0,03170	39,40
-48	0,03990	49,60
-26	0,05070	63,00
-40	0,10200	126,90
-38	0,12700	158,00
-34	0,19700	245,00
-30	0,30100	374,00
-20	0,81600	1015,00

Per esempio:

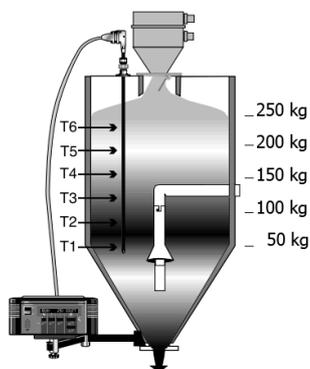
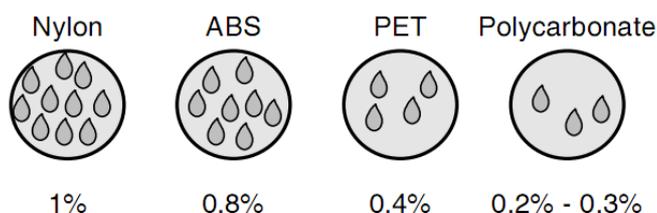
un ambiente in cui l'aria ha Dew Point (punto di rugiada) pari a -40 contiene 0,102 grammi di acqua per ogni metro cubo.

Per deumidificare il materiale, si insuffla aria deumidificata nei granuli portati ad una temperatura che facilita l'asportazione dell'umidità dai granuli ma che non rammolliscono troppo il granulo per evitare l'impaccamento. Si deve dimensionare l'unità deumidificatrice in funzione del tipo di materiale termoplastico, della quantità oraria necessaria di materiale termoplastico e della quantità iniziale di umidità del materiale e di quella finale che si vuole ottenere.

MATERIALE TERMOPLASTICO IN GRANULI

ASSORBIMENTO DELL'UMIDITA'

Presenza di acqua ammessa nello stampaggio ad iniezione



CALCOLO DELLA CAPACITA' NECESSARIA DEL DEUMIDIFICATORE

DATI:

Produzione oraria in kg.

Tempo di permanenza necessaria nel deumidificatore in ORE (dalla tabella della pagina successiva).

Densità di Massa del granulo

CALCOLO:

La capacità della tramoggia di deumidificazione deve essere superiore a:

$$Cap. tramoggia [lt] = \frac{Prod. oraria [kg/ora] \times tempo permanenza [ore]}{Densità apparente granulo [gr/cm^3]}$$

TABELLA DI IMPOSTAZIONE DELLA DEUMIDIFICAZIONE PER LO STAMPAGGIO AD INIEZIONE

MATERIALE TERMOPLASTICO	note	Igroscopico	Descrizione Chimica	Nomi Commerciali	densità apparente [kg/dm ³]	TEMPO DEUMIDIF. [ore]	TEMPER. LAVORO [°C]
ABS (grado da stampaggio)		si	AcryloButadienStyrene	Lustran, Novodur, Cycolac, Terluran, Ronfalin	0,60	2	85°
CA	(2)	si	Cellulose Acetate	Tenite	0,75	2	70°
CAB		si	Cellulose Acetate/Butirrate		0,65	2	70°
EVA	(2)	si	EthylenVinilAcetate		0,57	2	90°
EVOH		si	EthylenVinilAlcool		0,70	2	90°
IM	(4)	si	Ionomer	Surlyn	0,56	3	60°
LCP	(1) (3)	si	Liquid CrystalsPolymer	Vectra, Zenite	0,75	3	150°
PA 11-12 - Nylon	(3) (*)	si	PolyAmide, Nylon	Rilsan, Grilamid	0,60	3	70°
PA 6, 46, 66 - Nylon	(3) (*)	si	PolyAmide	Stanyl, Zytel, Gelon, Durethan, Ultramid		4	70°
PAI		si	PolyArylenImide	Ixef	0,85	6	180°
PAR	(1) (3)	si	PolyArylate		0,70	5	120°
PBT	(1) (3)	si	PolyButyilenTerephtalate	Pocan, Valox, Crastin, Duranex, Arnite	0,78	3	130°
PC	(3)	si	PolyCarbonate	Makrolon, Lexan, Panlite, Apec, Calibre	0,75	2	120°
PC/ABS		si	Abs/Polycarbonate	BayBlend, Cycology		3	100°
PC/PBT		si	PolyCarbonate/PBT	Xenoy		3	110°
PE,HDPE	(7)	NO	PolyEthylene Hight Density	Moplen Ro	0,55	1	85°
PE,LDPE	(7)	NO	PolyEthylene Low Density	Moplen EP, Stamylan	0,55	1	85°
PEEK	(1) (3)	si	PolyEtherEtherKetone		0,75	3	150°
PEI	(1) (3)	si	PolyEtherImide	Ultem		4	140°
PEN	(1) (3)	si	PolyEthyleNaphtalene			5	150°
PES		si	PolyetherSulfone	Radel		3	150°
PET stamp. iniezione	(1) (3)	si	PolyEthyleneTerephtalate	Rynite		3	130°
PI		si	PolyImide	VespeI		2	120°
PMMA Metacrilato		si	PolyMetilMethacrylate	Acrylic, Lucril, Lucite		3	80°
POM Acetalica (copolimero)		si	PolyOxiMethylene	Delrin, Hostaform	0,85	2	90°
POM Acetalica (omopolimero)		NO	PolyOxiMethylene	Delrin, Hostaform		1	90°
PP	(7)	NO	PolyPropylene	Moplen, Novolen		1	80°
PP talk 40%		si	PolyPropylene			2	90°
PPO	(3)	si	PolyPhenyleneOxide	Noryl		2	100°
PPS	(1) (3)	si	PolyPhenyleneSulfide	Ryton, Fortron, Supec		2	130°
PS	(7)	NO	PolyStyrene	Styron,		1	80°

MATERIALE TERMOPLASTICO	note	Igroscofico	Descrizione Chimica	Nomi Commerciali	densità apparente [kg/dm ³]	TEMPO DEUMIDIF. [ore]	TEMPER. LAVORO [°C]
PSU	(3)	si	PolySulfone	Udel		3	120°
PTT	(3)	si	PolyTrymethyleneTerephthalate	Corterra		4	130°
PUR	(5)	si	PolyUrethane	Pellethane		2	70°
PVC	(7)	NO	PolyVinylCloride			1	70°
SAN		si	StryreneAcryloNitrile	Lustran		2	80°
SB		si	StyreneButadyene	K-resin		1	80°
TPE	(5)	si	Thermoplastic Elastomer	Santoprene, Hytel		2	110°
TPE	(5)	si	Thermoplastic Elastomer	Hytel		2	80°
TPO (POE)	(5)	si	Olefinic elastomer			3	70°
TPU	(5)	si	Thermoplastic Urethans	Desmopan, Pellethane, Vistaflex, Tefablok		2	70°

NOTE

- (*) La durata della deumidificazione dipende fortemente dalla umidità iniziale
- (1) Materiale deumidificato da maneggiare con cura; utilizzare trasporto a circuito chiuso fino alla pressa
- (2) Componenti tossici volatili; si richiede un condensatore/filtro dei componenti volatili.
- (3) Lunghi tempi di permanenza alle temperature di deumidificazione, si possono verificare ossidazioni e/o degradi.
- (4) Attenzione alla temperatura massima di deumidificazione, rischio di raggiungere il punto di rammollimento del materiale
- (5) Materiali morbidi che possono creare ponti nella tramoggia.
- (6) Richiesti alti flussi d'aria.
- (7) La deumidificazione è consigliata solo per pezzi speciali in cui l'aspetto estetico è molto importante

PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: CLASSIFICAZIONE EUROMAP DELL'UNITA' DI INIEZIONE

Secondo la Raccomandazione Tecnica EUROMAP 01, il gruppo di iniezione viene identificato con un numero che rappresenta il volume massimo di materiale iniettato in cm³ dalla vite con diametro tale da avere una pressione massima di iniezione di 1000 bar.

PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: RAPPORTO L/D

$$\text{Rapporto fra lunghezza e diametro della vite} = \frac{L}{D}$$

(attenzione: generalmente si include il puntale nella lunghezza della vite)

PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: DIAMETRO DELLA VITE E PRESSIONE DI INIEZIONE

Sostituendo il gruppo cilindro e vite di plastificazione con un altro di diametro diverso (sulla stessa unità di iniezione) si ha un diverso valore massimo di pressione sul materiale.

La pressione massima $P_{1_{\max}}$ sulla vite V1 con diametro D1 cambiando la vite è espressa dalla formula:

Dati:

D1 = diametro della vite1 (in mm)

P1 = pressione massima sul materiale della vite1 (in bar)

D2 = diametro della vite2 (in mm)

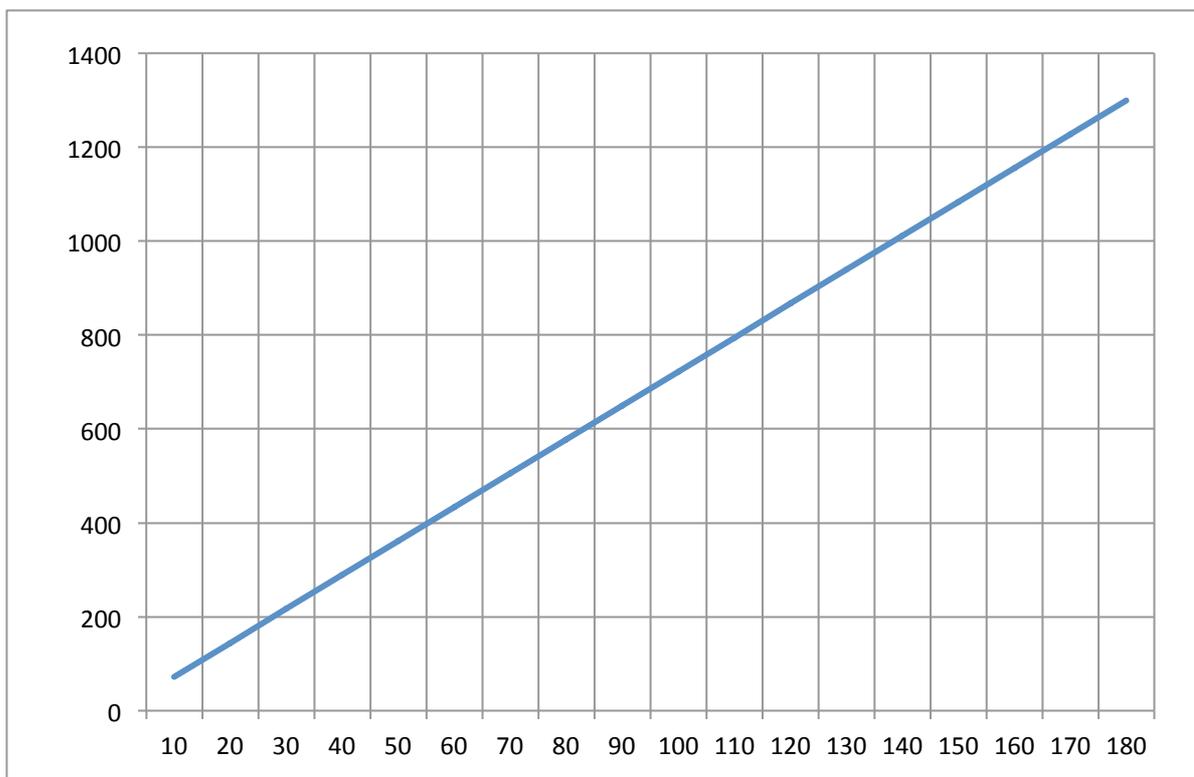
P2 = pressione massima sul materiale della vite2 (in bar):

$$P2 = P1 \times \frac{D1^2}{D2^2}$$

Per esempio se con la vite diam.50 mm la pressione massima è 1700 bar, con una vite da 55 mm la pressione sarà:

$$P_{2_{\max}} = 1700 \cdot (50 / 55)^2 = 1405 \text{ bar}$$

CALCOLO DELLA PRESSIONE SUL MATERIALE DI UNA VITE DI PLASTIFICAZIONE



Se il comando di pressione sulla pressa è in bar dell'impianto oleodinamico (per. es da 0 a 185 bar) si deve trovare sui manuali della macchina la pressione massima sul materiale *P.mat.max* e la pressione massima dell'impianto oleodinamico *P.ol.max* per il plastificatore preso in esame:

La corrispondenza fra *Pressione sul materiale* e *Pressione oleodinamica* è lineare

esempio:

caso in cui la massima pressione oleodinamica *P.ol. max* = 185 bar

e la massima pressione sul materiale per la vite impiegata *P.mat. max*= 1330 bar

per ricavare la pressione sul materiale ad una data pressione oleodinamica (corrispondenza lineare):

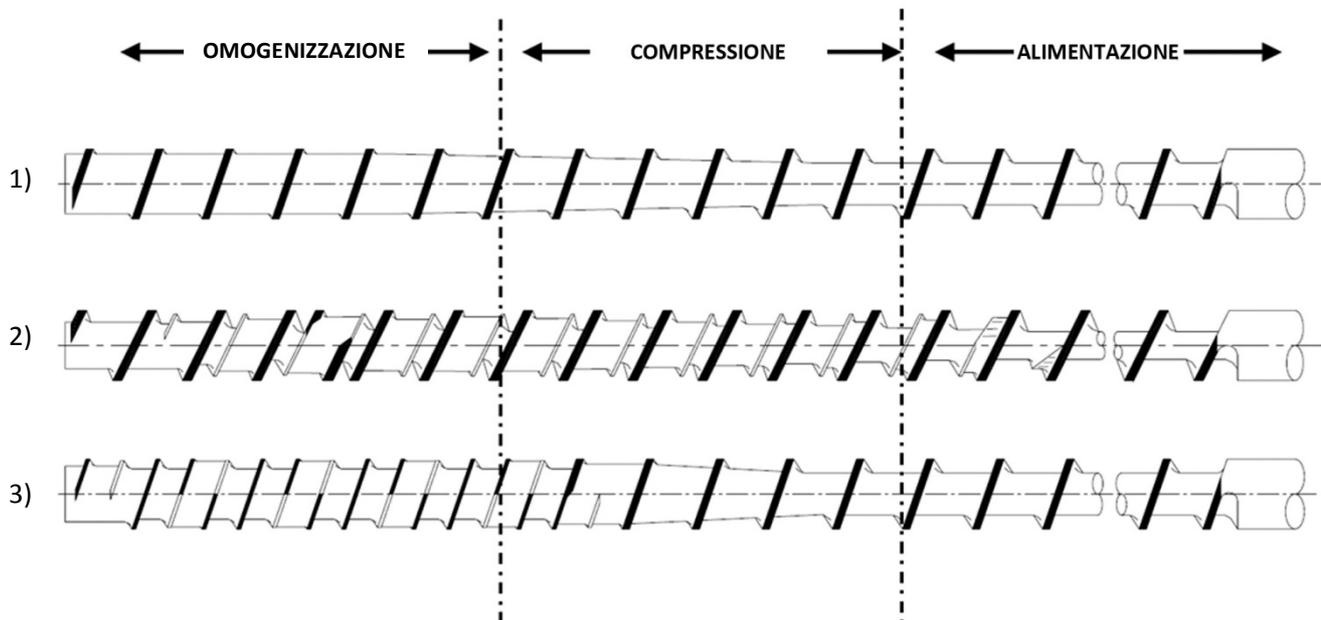
Ad esempio alla pressione oleodinamica di 40 bar corrisponde una pressione sul materiale di 287 bar.

$$P.mat = \frac{P.mat.max \times P.ol}{P.ol.max}$$

Per convertire i bar in PSI moltiplicare per 14,50377

287 bar → 4162 PSI

PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: PROFILO DELLA VITE



Il profilo della vite caratterizza il processo di plastificazione a cui è sottoposto il materiale termoplastico.

Sono rappresentate in figura:

- 1) profilo universale a 3 zone: alimentazione con solo trasporto senza compressione, compressione con aumento del diametro del nocciolo, omogenizzazione con solo trasporto senza miscele.
- 2) Effetto barriera su tutta la vite
- 3) Effetto barriera solo nella zona finale

Esistono ulteriori profili:

profili con compressione continua su tutta la vite

profili con presenza di mescolatori che possono avere protuberanze più o meno accentuate

profili "maillifer" che realizzano la compressione con la variazione del passo con nocciolo costante

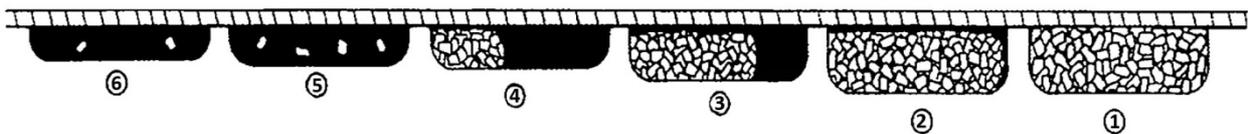
profili con varie combinazioni delle caratteristiche descritte.

PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: COMPRESIONE

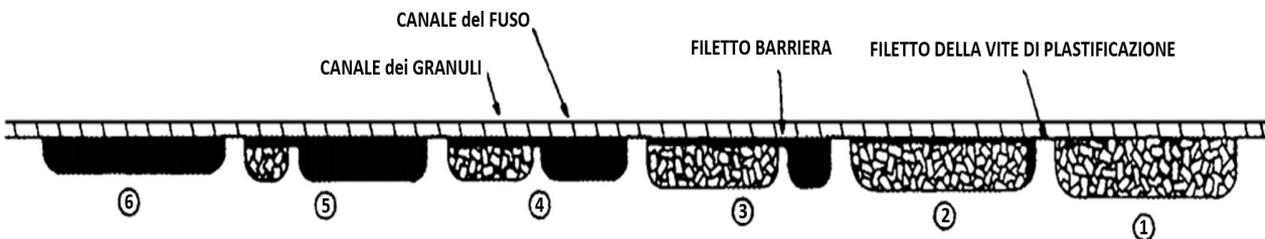
Nella vite di plastificazione il materiale plastico è contenuto nella gola fra i filetti.

Con la rotazione della vite il materiale plastico che inizialmente è in forma di granuli solidi è costretto ad avanzare verso la zona di compressione della vite. In questa zona aumenta il diametro del nocciolo e diminuisce il volume della gola. Nel frattempo il materiale plastico si fonde perché assorbe il calore delle resistenze di plastificazione e aumenta la sua densità apparente: deve pertanto essere portato in un volume più piccolo. Il granulo passa dallo stato solido [filetto 1] allo stato fuso [filetto 6]

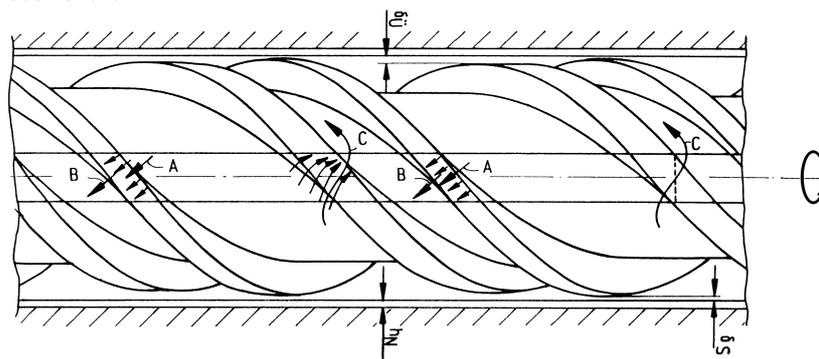
Viene rappresentata la compressione di una vite a profilo normale:



Nella vite a **BARRIERA**, la gola della vite è divisa da un filetto barriera che è più basso del filetto principale. Il



filetto barriera crea una seconda gola che cresce da zero ed aumenta lungo il percorso della vite fino ad azzerare la gola principale; il materiale plastico è così costretto a “trafilare” nella fessura del filetto barriera per passare dalla gola principale alla seconda gola. Ogni granulo è così obbligato a sciogliersi passando nella parte più vicina alle resistenze. Si tratta di una vite AD ALTA PLASTIFICAZIONE che però non è adatta ai materiali che non possono essere mescolati troppo fortemente perché non possono sopportare eccessivi frizionamenti senza deteriorarsi.



Il filetto A spinge il materiale nella direzione di avanzamento B, il filetto barriera C lascia passare il materiale nella seconda gola.

PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: RAPPORTO DI COMPRESSIONE

Rapporto fra la sezione di passaggio del materiale nella zona di alimentazione e la sezione di passaggio del materiale nella zona di dosaggio.

Dati:

D_{alim} = diametro del nocciolo della vite nella zona di alimentazione

D_{finale} = diametro del nocciolo della vite nella zona finale

$$rapporto\ di\ compressione = \frac{\left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 \times \pi \right] - \left[\left(\frac{D_{alim}}{2} \right)^2 \times \pi \right]}{\left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 \times \pi \right] - \left[\left(\frac{D_{finale}}{2} \right)^2 \times \pi \right]} = \frac{D^2 - D_{alim}^2}{D^2 - D_{finale}^2}$$

RAPPORTO DI COMPRESSIONE CONSIGLIATO PER VARI TIPI DI MATERIALE

Basso rapporto di compressione 1,2-1,9	Medio rapporto di compressione 2,0-2,8	Alto rapporto di compressione 3,0-4,5
PMMA	POM	Politetrafluoroetilene
ABS	cellulosa propionato	PA alto MI
SAN	PA a basso MI	PE alto MI
PVC rigido	PPO	PP alto MI
	PE basso-medio MI	
	PP basso-medio MI	
	PS	
	PVC plastificato	
	TPO	
	TPU	
	PET	
	PBT	
	PC	
	PC/ABS	
	PC/PBT	
	PC/PET	
	ASA	
	PEI	

PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: RAPPORTO DI UTILIZZO DELL'INIEZIONE BSR

BSR (Barrel-to-Shot Ratio) è il rapporto fra il peso dell'iniezione necessaria allo stampaggio e il peso della massima iniezione possibile per il plastificatore utilizzato.

$$BSR = \frac{Volume_{utilizzato} \cdot \delta_{materiale}}{Volume_{massimo} \cdot \delta_{materiale}} = \frac{Volume_{utilizzato}}{Volume_{massimo}}$$

Rapporti BSR consigliati: da 0,3 a 0,65

Nota:

per valori troppo bassi di BSR il materiale rimane troppo a lungo nel plastificatore con il problema della degradazione delle caratteristiche del materiale

per valori troppo alti di BSR il materiale rimane troppo poco nel plastificatore con il problema della possibile insufficiente plastificazione e possibilità di granuli infusi.

PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: TEMPO DI PERMANENZA IN VITE

Tempo effettivo trascorso da quando il materiale entra nella vite di plastificazione sotto forma di granulo a quando viene iniettato nello stampo, in condizioni di ciclo automatico di stampaggio.

Il tempo in secondi viene approssimato dalla seguente formula:

$$T_{permanenza} = \frac{Volume_{massimo\ iniettabile} \cdot 3}{Volume\ iniettato} \cdot Ciclo_{sec}$$

Si approssima il Volume del materiale contenuto nel plastificatore a 3 volte la massima stampata.

Questa approssimazione è generalmente sbagliata.

Esempio:

PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: VELOCITA' PERIFERICA DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE

Velocità del filetto della vite rispetto all'interno del cilindro di plastificazione

Dati:

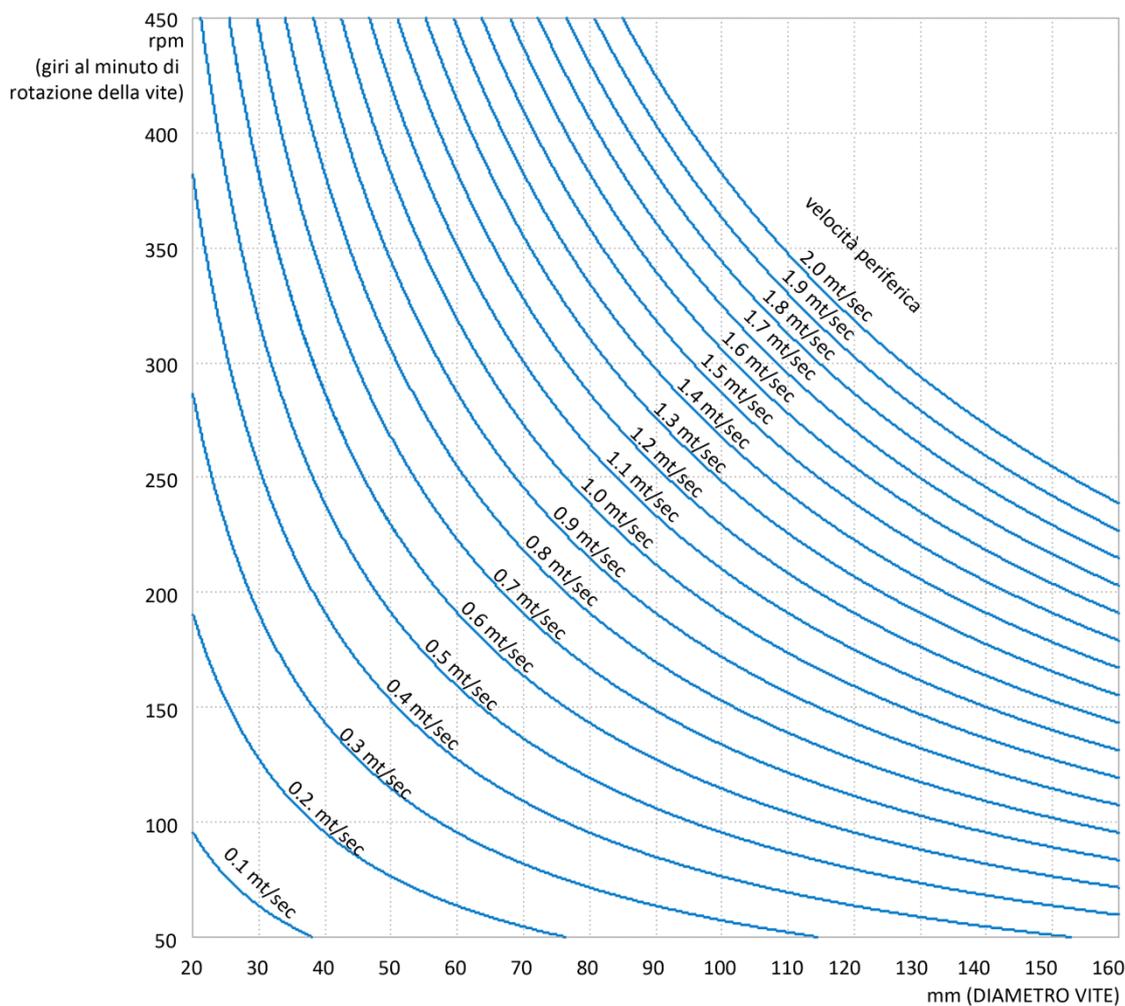
D = diametro esterno della vite di plastificazione (in mm)

rpm = velocità di rotazione della vite (giri a minuto)

$$velocità\ periferica = \pi \cdot D \cdot rpm / 60 = 0,0523 \times D \times rpm \text{ (mm /sec)}$$

Esempio: una vite Diam. 100mm che ruota a 100 giri al minuto ha una velocità periferica di 523 mm/sec

per velocità periferiche eccessive il materiale tende a degradare le sue caratteristiche.



PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: TRATTAMENTI SUPERFICIALI DELLA VITE

Anche il materiale impiegato per la costruzione della vite e del contenitore, oppure il loro trattamento superficiale è importante per ottenere una corretta plastificazione.

Alcuni materiali termoplastici come il PC tendono ad aggrapparsi al metallo per cui è consigliabile l'uso della cromatura o di altri procedimenti superficiale del metallo atti allo scopo della massima scorrevolezza.

Alcuni materiali termoplastici contengono cariche abrasive o corrosive per cui è necessario utilizzare metalli induriti tramite procedimenti quali:

- Nitrazione gassosa (90 ore)
 - trattamento comune per materiali non abrasivi
- Cilindri bimetallici
 - indurimento dell'interno del cilindro con polveri dure fatte penetrare nel metallo riscaldato in forni meccanizzati
- Trattamento di tempra
 - Ottimo su parti piccole, sulle viti di plastificazione può portare a curvature della vite in fase di pulizia manuale con riscaldamento fuori del cilindro.
- Riporti di stellite sui filetti
 - Deposito di materiale duro sul filetto che verrà poi rettificato
- Procedimento colmonoy
 - Deposito di materiale duro che viene riscaldato in forno prima della lavorazione della vite.
- Nitrazione ionica
 - Processo termochimico di arricchimento e diffusione che sfruttando le proprietà di un plasma in ambiente di vuoto a circa 570°C produce un indurimento superficiale dei materiali trattati, con durezza e profondità che variano a seconda del materiale, utilizzando il titanio si ottengono doti di resistenza e scorrevolezza, Questo trattamento è possibile per parti non eccessivamente grandi (puntali, ugelli, tappi, piccole viti)

PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: MOTIVI DEL CONSUMO DELLA VITE

ABRASIVO dovuto alle cariche del materiale termoplastico (fibra di vetro, talco, minerali, mica, carbonio)

ADESIVO dovuto al contatto metallo-metallo di alcuni acciai che tendono ad aderire

CORROSIVO dovuto all'attacco chimico di alcuni materiali termoplastici o cariche.

PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: CALCOLO DELLA POTENZA DI UN MOTORE

Dati:

la coppia c (in Nm) ad una velocità di rotazione v (in rpm) (giri al minuto)

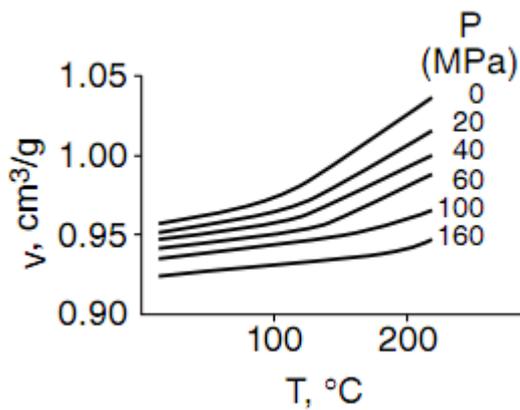
potenza p (in Kw):
$$p = \frac{c \times v}{9550}$$

spiegazione:

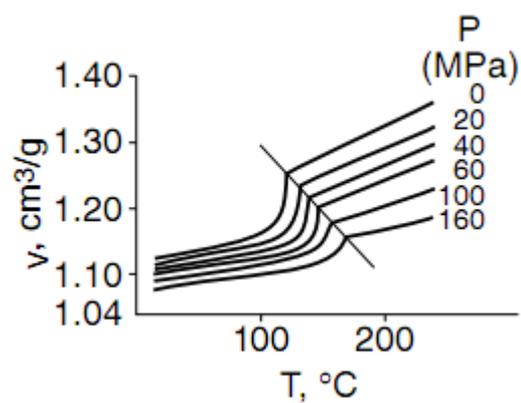
$$\text{Potenza (Kw)} = \frac{\text{coppia (Nm)} \times \omega \text{ (velocità angolare rad/sec)}}{1000} = c \times rpm \times \frac{2\pi}{60} \times \frac{1}{1000}$$

DENSITA' DEL MATERIALE ALLA TEMPERATURA DI PLASTIFICAZIONE

Quando il materiale termoplastico aumenta la sua temperatura nel cilindro di plastificazione, tende a diminuire la propria densità (si dilata) e il suo stato diventa simile a quello di un liquido **non** Newtoniano. Infatti un liquido Newtoniano come l'acqua, l'alcool ed altri solventi, oli idraulici e minerali, mantengono costante la loro viscosità al variare della velocità, inoltre sono incomprimibili; la miscela fusa termoplastica è invece un fluido visco-elastico, comprimibile e con una viscosità che tende a diminuire all'aumentare della velocità (e ovviamente con l'aumentare della temperatura).



materiali amorfi



materiali semicristallini

diagrammi PVT

Le capacità massima di iniezione date dai costruttori delle presse ad iniezione sono in VOLUME TEORICO (cm³), oppure in VOLUME REALE (cm³), oppure in GRAMMI DI POLISTIROLO.

Per conoscere la capacità di iniezione massima per un altro materiale termoplastico bisogna conoscere la sua densità alla temperatura di plastificazione.

Vedi tabella pagina successiva

Esempio di calcolo della capacità di PP:

$$CAPACITA' INIEZ. PP(polipropilene) = CAPACITA' INIEZ. PS(gr) \times \frac{\delta PP (0,73)}{\delta PS (0,945)}$$

Oppure:

$$CAPACITA' INIEZ. PP(polipropilene) = VOLUME INIEZ: REALE(dm³) \times \delta PP (0,73)$$

VALORI SPERIMENTALI DI DENSITA' DEL FUSO NEL CILINDRO DI PLASTIFICAZIONE

Famiglie	Materiale	Sigla	$\delta_{TEMP.PLASTIF.}$
STIRENICHE	Polistirolo o Polistirene	PS	0,945= δ_{PS}
	Stirene-butadiene	SB	0,88
	Acrilonitrile stirolo	SAN	0,88
	Acrilonitrile-butadiene-stirolo	ABS	0,88
POLIOLEFINE	Polietilene bassa densità	LDPE	0,759
	Polietilene alta densità	HDPE	0,71
	Polipropilene	PP	0,73
	Polipropilene + vetro 30%	PPGR	0,93
	Polivinilcloruro flessibile	PVC	1,02
	Polivinilcloruro rigido	PVC	1,12
ACRILICI	Polimetilmetacrilato	PMMA	0,94
ACETALICHE	Poliossimetilene (acetale)	POM	1,15
CELLULOSICHE	Acetato di cellulosa	CA	1,02
	Acetato-butirato di cellulosa	CAB	0,97
POLIESTERI	Policarbonato	PC	0,97
	Policarbonato + vetro 10%	PC-GR	1,03
	Policarbonato + vetro 30%	PC-GR	1,19
	Polietilentereftalato	PET	1,2
	Polietilentereftalato + vetro 30%	PET-GR	1,43
POLIAMMIDI	Poliammide 6	PA6	0,91
	Poliammide 6 + vetro 30%	PA6-GR	1,13
	Poliammide 6 + vetro 50%	PA6-GR	1,35
	Poliammide 66	PA66	0,91
	Poliammide 66 + vetro 10%	PA66-GR	0,97
	Poliammide 66 + vetro 20%	PA66-GR	1,05
BIO DEGRADABILI	Acido prolattico (Natural Work)	PLA	1,12

INFUSO: VISCOSITA' TIPICHE

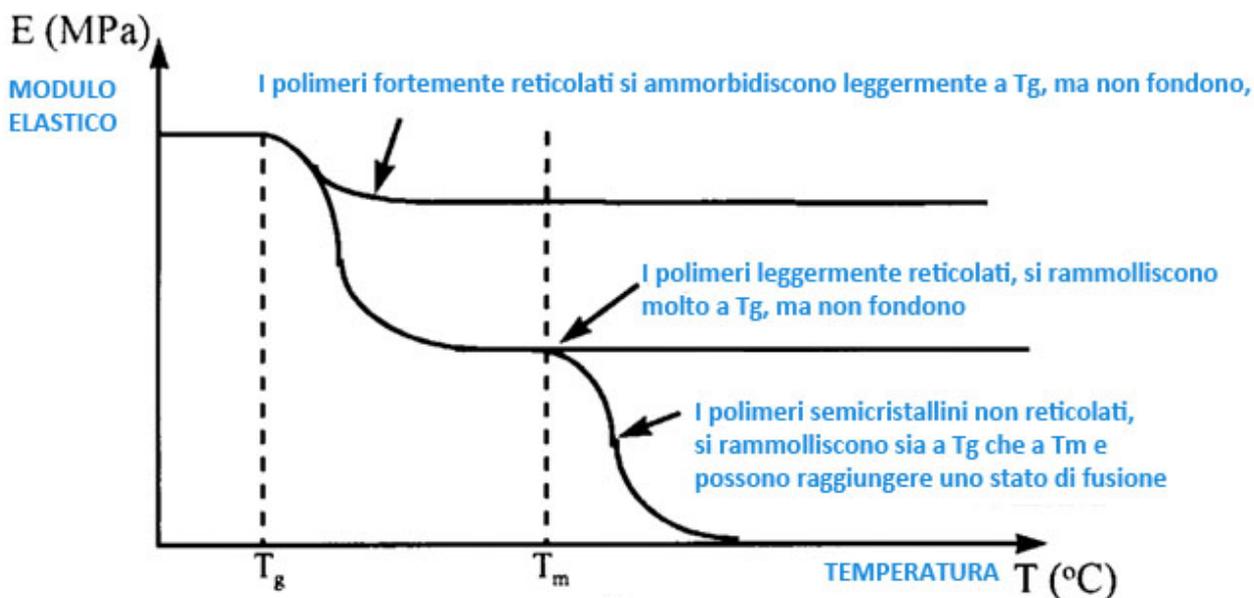
materiale	viscosità Pa . s
Aria	10^{-5}
Acqua	10^{-3}
Polimeri liquidi	10^{-2}
Olio di oliva	10^{-1}
Glicerina	1
Fuso termoplastico	10^2-10^6
Pece	10^9
Plastica (20°C)	10^{12}
Vetro	10^{21}

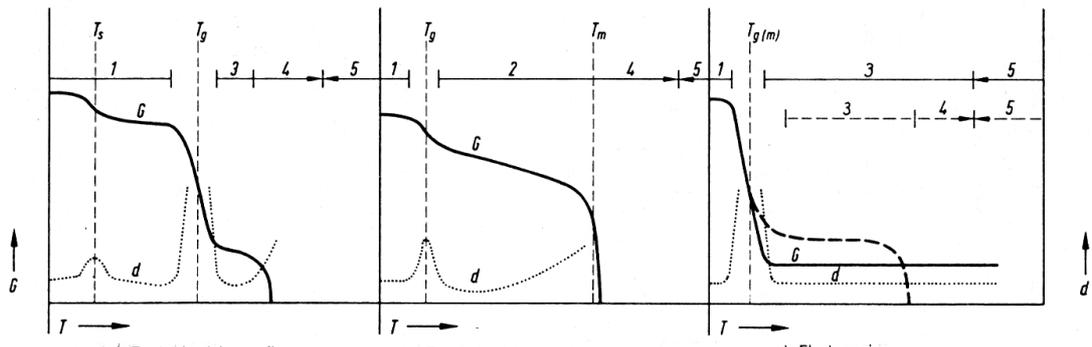
INFUSO: TEMPERATURA DI TRANSIZIONE VETROSA T_g

Temperatura a cui la parte **amorfa** di un polimero cambia da uno stato vetroso ad uno gommoso.

INFUSO: TEMPERATURA DI FUSIONE T_m

Temperatura a cui il polimero diventa fluido e può essere estruso o iniettato o termoformato / termo soffiato.





a) Termoplastici amorfi b) Termoplastici parzialmente cristallini c) Elastomeri
 T_s Temperatura di transizione secondaria in miscele e leghe
 — reticolato - - - termoplastico

T_g	60-260 °C	≤ 0 °C	< 0 °C
T_m	-	53-330 °C	
Intervallo temperatura di impiego	inferiore a	fra T_g e T_m	superiore a T_g o T_m
Le materie plastiche sono	rigido	semirigido	plastificato
Intervallo modulo-E	≥ 3000 MPa	$> 2000-200$ MPa	$< 100 - 25$ MPa
Resistenza alla trazione	$> 80-30$ MPa	70-15 MPa	< 20 MPa
Allungamento	per lo più 2-4%, PVC $> 100\%$ a rottura	sino al 20% di allungamento di stiro, 600% - allungamento alla rottura; fibre completamente stirate 1-3%	entropia-elastico 100 - 1000%
		$\sigma_{zB} \leq 10^3$ MPa	

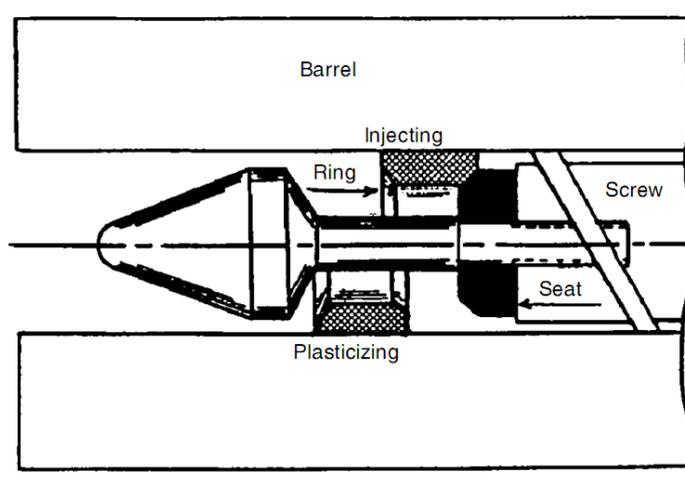
Caratteristiche dinamico-meccaniche misurate nella prova di torsione con carico oscillante secondo la norma DIN 53445. G componente elastica del modulo di taglio, d fattore di perdita meccanico, T_g temperatura di transizione vetrosa, T_m intervallo fusione dei cristalliti. Intervalli di stato termici: (1) simile al vetro, (2) parzialmente cristallino, (3) elastomerico, (4) pseudoplastico viscoso, scorrevole, in transizione a (5) decomponibile termochimicamente in breve tempo

EFFETTO DEI PARAMETRI DI STAMPAGGIO SULLE CARATTERISTICHE STRUTTURALI

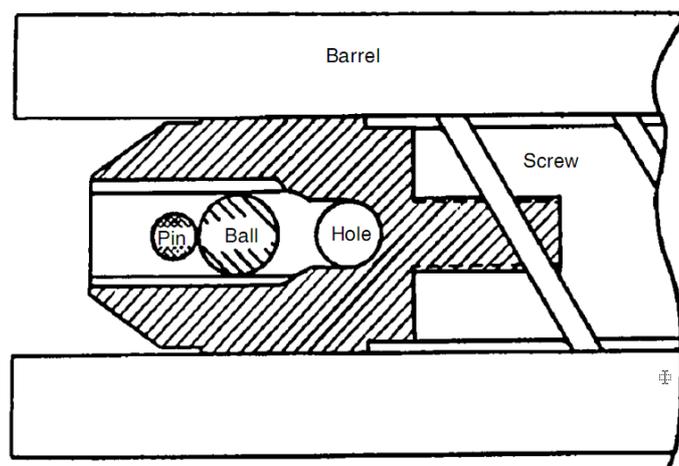
Si ricorda che la struttura cristallina di una materiale si forma durante la fase di raffreddamento dello stampo. Se la curva di raffreddamento dello stampo è sufficientemente lenta, si realizza la struttura cristallina. Se la curva di raffreddamento è estremamente veloce sarà prevalente la struttura amorfa.

PUNTALE DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE

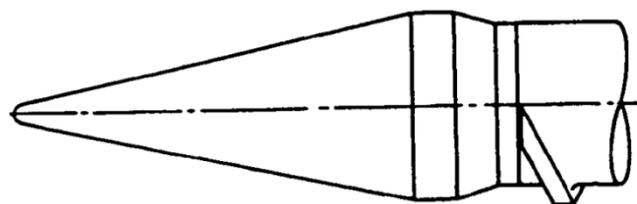
Ha il compito di evitare il reflusso del materiale termoplastico durante l'iniezione



il più diffuso: con fungo stellato e valvola libera ad anello.

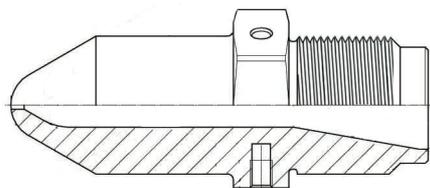


il puntale a sfera è consigliato per gli elastomeri



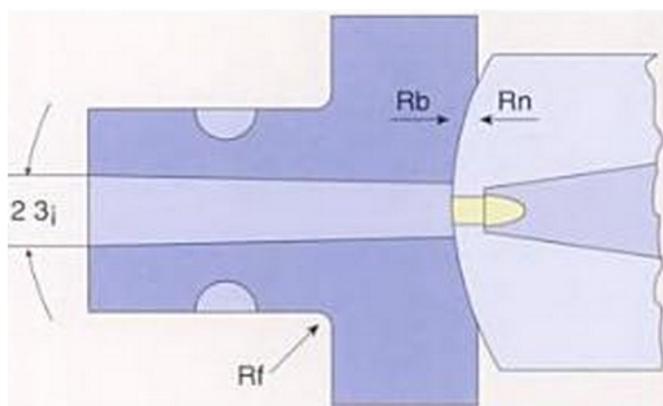
puntale senza valvola (per PVC rigido)

UGELLO



É la parte terminale del cilindro di plastificazione che si appoggia alla boccola di iniezione sul foro di ingresso dello stampo e permette il riempimento dello stampo.

É importante che il Raggio di curvatura della boccola R_b sia maggiore della curvatura dell'ugello R_n , in modo che l'accoppiamento dei fori sia ottimo.



UGELLI CORTI: da 50 a 100 mm

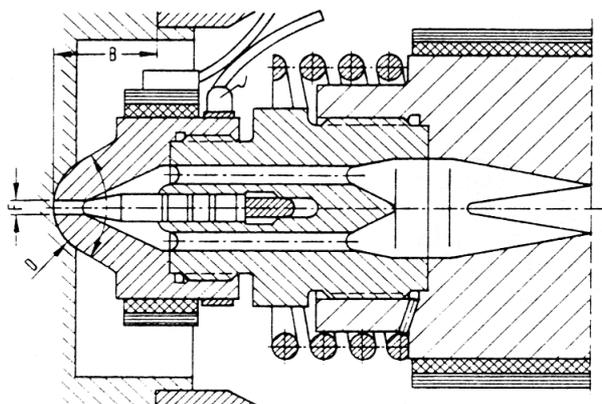
UGELLI LUNGHY: da 200 a 300 mm

Criticità da verificare: corretto allineamento con il foro di ingresso dello stampo

Criticità da verificare: il foro di uscita deve essere il 20% più piccolo del foro di ingresso dello stampo

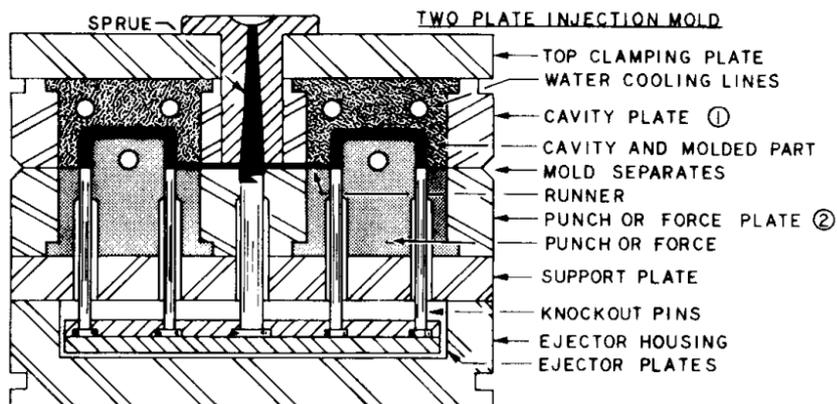
Criticità da verificare: nell'accoppiamento ugello-stampo per contatto, il raggio dell'ugello deve essere minore del raggio della zona di appoggio dello stampo.

L'ugello può essere libero o intercettato da una valvola meccanica che chiude la fuoriuscita del materiale termoplastico

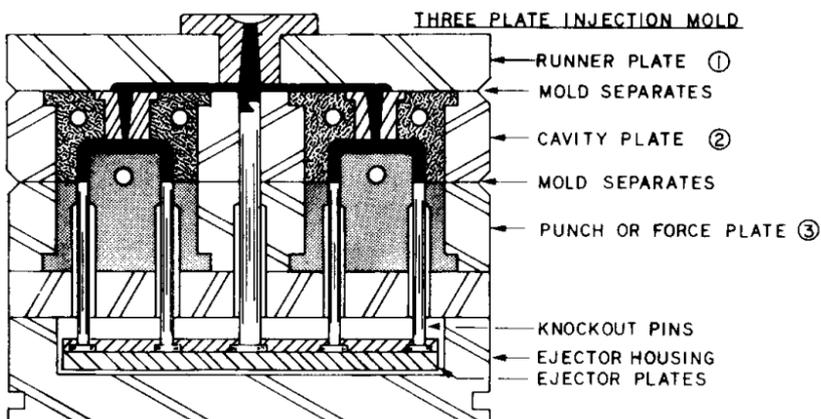


Ugello di chiusura ad ago con molla.
 B) Immersione dell'ugello, D) raggio dell'ugello, F) diametro foro ugello

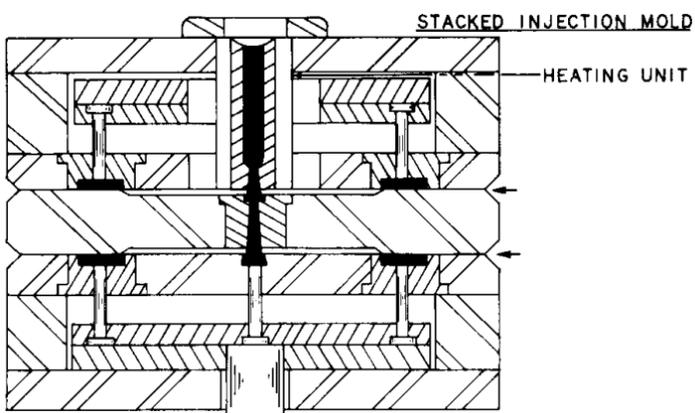
TIPOLOGIE DI STAMPI



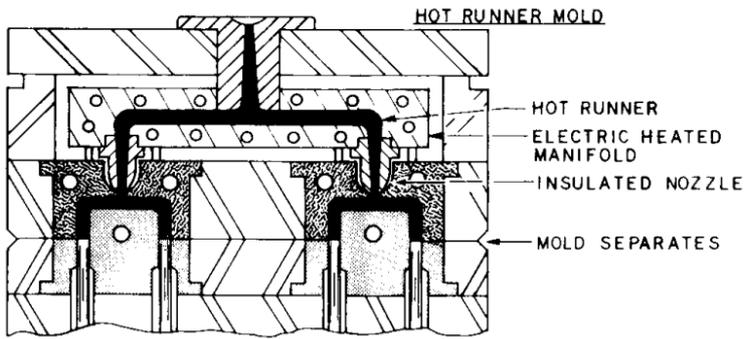
STAMPO A MATEROZZA



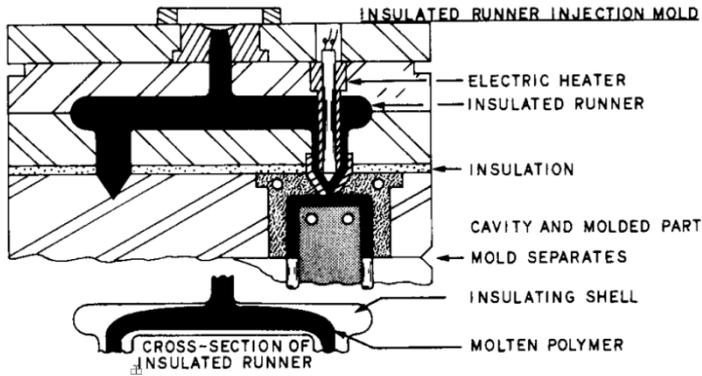
STAMPO A MATEROZZA CON TERZA PIASTRA



STAMPO A LIBRO (STACK MOULD)

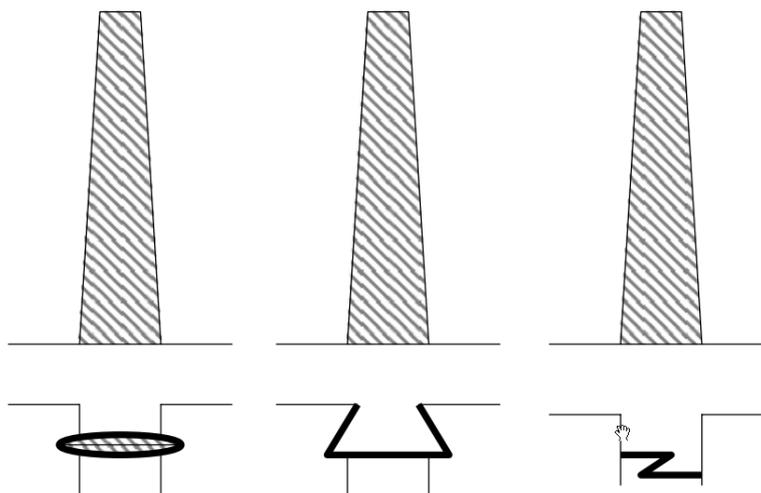


STAMPO A CANALE CALDO

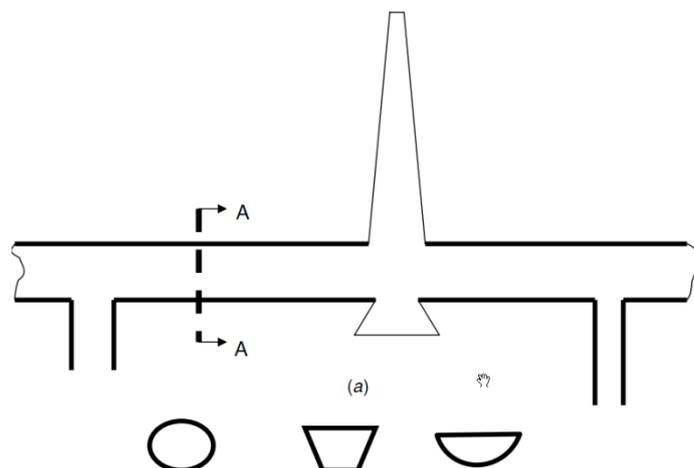


STAMPO A CANALE CALDO AD INIETTORI ISOLATI

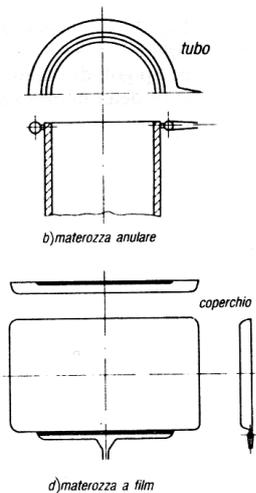
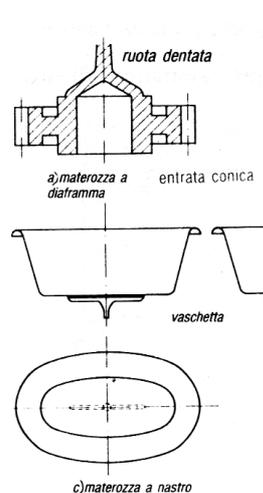
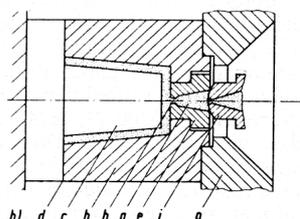
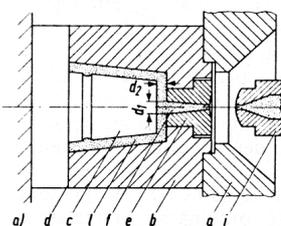
MATEROZZA



La materozza è conica con aggrappo sulla parte mobile dello stampo di vario tipo



La sezione delle ramificazioni della materozza possono essere tonde, trapezoidale o semi-tondo



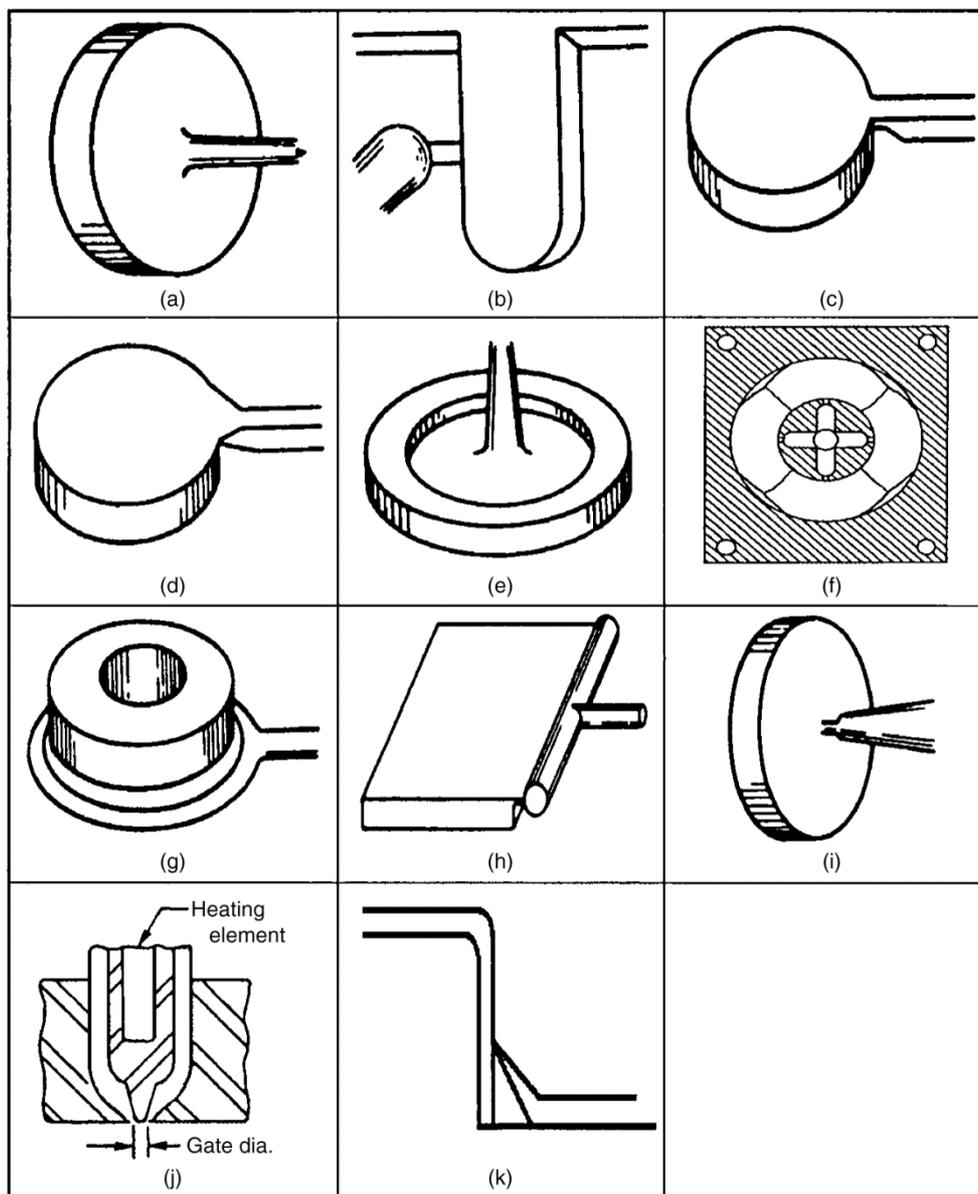
Materozza centrale per manufatti a forma di bicchiere.
 A) Materozza a cono, B) materozza capillare con precamera:
 a) piastra di fissaggio dello stampo, b) punzone, c) nucleo, d) superficie di separazione stampo, e) bussola di iniezione, f) materozza a cono, $d_1 > d_2$, g) precamera, h) materozza capillare, i) ugello di iniezione

Diversi tipi di materozza

FORO DI INGRESSO NELLO STAMPO CON MATEROZZA. RACCOMANDAZIONI

materiale	Diametro minimo	Diametro massimo
	mm	mm
ABS	5	10
Acetalica	3	10
Acrilico	8	10
Cellulosa	5	10
PA 6	1,5	10
PA 66	1,5	10
PC	5	10
PC-ABS	5	10
PET	5	10
PC-PET	5	10
PC-PBT	5	10
PE	1,5	10
PP	5	10
PPO	6	10
Polisulfone	6	10
PS	3	10
PVC	3	10
SAN	5	10

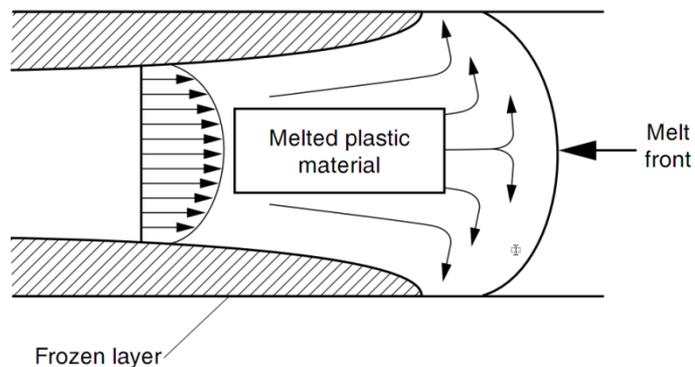
PUNTO DI INIEZIONE



Gates: (a) sprue,¹⁵⁹ (b) tab,¹⁵⁹ (c) edge,¹⁵⁹ (d) fan,¹⁵⁹ (e) disk,¹⁵⁹ (f) spoke,¹⁶¹ (g) ring,¹⁵⁹ (h) film,¹⁵⁹ (i) pin,¹⁵⁹ (j) hot probe,¹⁶² and (k) submarine.¹⁶³

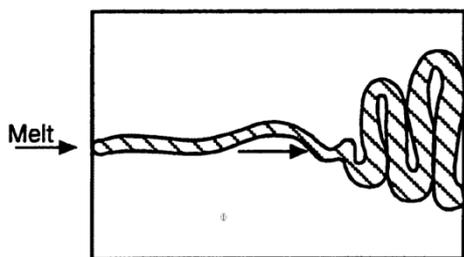
Punti di iniezione: (a) a materozza, (b) indiretta, (c) sul bordo, (d) a ventaglio, (e) a disco, (f) raggiato, (g) ad anello, (h) a lamina, (i) a spillo, (j) a ugello caldo e (k) sottomarina

RIEMPIMENTO DELLO STAMPO

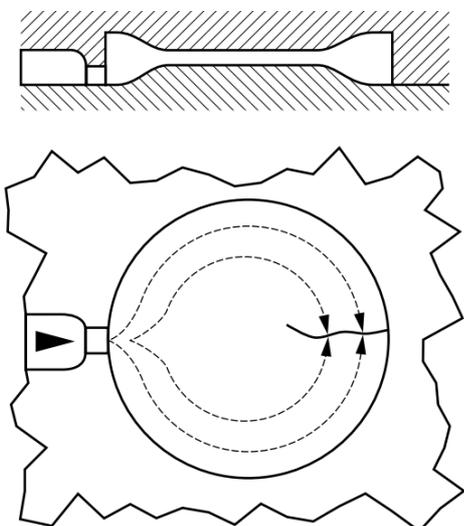


Quando il materiale fuso entra nello stampo si raffredda immediatamente a contatto con le pareti dello stampo e solo la parte più interna del flusso di riempimento si mantiene fuso e alimenta l'avanzamento dell'iniezione.

CRITICITA' (situazioni da evitare)

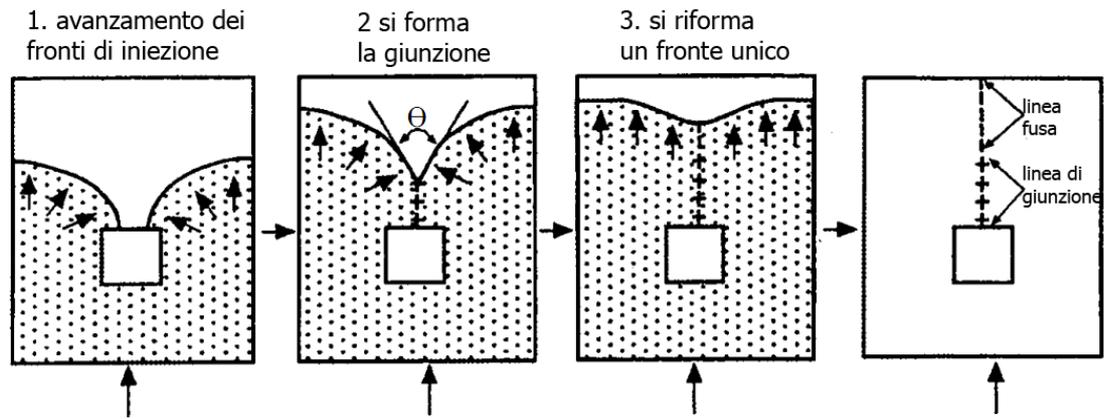


evitare l'iniezione a spruzzo (**jetting**)



le **linee di giunzione** si formano per divisione del fronte di avanzamento dell'iniezione

FORMAZIONE DELLA LINEA DI GIUNZIONE



TERMOSTATAZIONE DELLO STAMPO

RISCALDAMENTO INIZIALE

Per garantire la costanza di qualità nella lavorazione, si deve provvedere a mantenere lo stampo sempre alla stessa temperatura. Pertanto all'inizio del ciclo produttivo si rende necessario innalzare la temperatura dello stampo dalla temperatura ambiente iniziale a quella di lavoro.

Q = quantità di calore necessaria

Cal.sp. = calore specifico dell'acciaio = 0,111 cal/gr °C

ΔT = differenza di temperatura finale e iniziale

$$Q = \text{Cal.sp.} \cdot \Delta T$$

esempio:

il **peso** dello stampo è circa 10.000 kg

il **calore specifico** dell'acciaio è 0.111 cal/gr °C

per iniziale la produzione è necessario riscaldare lo stampo, la quantità di calore necessaria dipende dalla temperatura ambiente.

per es. se la temp.ambiente è 10 °c

$$Q = \text{cal sp.} \times \text{massa} \times \text{diff. temp} = 0.111 \times 10.000 \times 30 = 33\ 300 \text{ kcal di riscaldamento (37,7 kWh)}$$

con un termoregolatore da 10 000 kcal sono necessarie circa 3 ore

CALCOLO DEL PESO DELLO STAMPO (approssimato)

Da questo calcolo vanno tolti gli spazi vuoti interni allo stampo (che vengono considerati pieni).

$$P \text{ stampo} = V \text{ stampo} \cdot \text{densità}$$

Esempio:

dimensioni stampo: larghezza 800 mm, altezza 1000 mm, spessore 1500 mm

densità acciaio= 7,86 kgr/dm³

$$P \text{ stampo} = (8 \times 10 \times 15) \times 7,86 = 9.432 \text{ kg}$$

RAFFREDDAMENTO NELLO STAMPO

VELOCITA' DI RAFFREDDAMENTO

La velocità del trasferimento del calore dall'impronta allo stampo raffreddato è direttamente proporzionale all'area della superficie del pezzo S e dalla differenza di temperatura fra la cavità del pezzo T_c e quella del liquido raffreddante T_r

$$Velocità_{raffreddamento} = S \times (T_c - T_r)$$

Si ricorda che per i materiali semicristallini, se si vuole ottenere una buona cristallizzazione è necessario raffreddare il pezzo stampato con appropriata curva di raffreddamento nel tempo che permetta la creazione della struttura reticolata.

I materiali amorfi possono essere raffreddati molto velocemente.

FRIGORIE NECESSARIE PER IL RAFFREDDAMENTO DELLO STAMPO

Se lo stampo è dotato di camera calda e ugelli di iniezione riscaldati, si deve considerare che la quantità di calore che il controllo elettrico delle zone stampo fornisce allo stampo deve essere smaltito in fase di raffreddamento.

Il totale del calore da sottrarre allo stampo per il suo raffreddamento sarà dato dalla somma della componente dovuta alla riduzione di temperatura del pezzo stampato più quella dovuta alla cessione di calore dalle zone riscaldate.

La componente dovuta alle camere calde è dato all'assorbimento elettrico delle stesse in fase di lavoro.

La componente di **quantità di calore** da sottrarre allo stampo per diminuzione della temperatura del pezzo stampato durante 1 ciclo di stampaggio q_1 vale:

$$q_1 = P_1 \cdot Cp \cdot (t_1 - t_2)$$

P_1 = peso di una stampata

Cp = calore specifico del materiale plastico

t_1 = temperatura di plastificazione

t_2 = temperatura dei pezzi estratti dallo stampo

La **quantità di calore oraria (FRIGORIE)** da sottrarre allo stampo q_h :

$$q_h = P_h \cdot Cp \cdot (t_1 - t_2)$$

P_h = peso produzione di 1 ora [kgr/ora]

Cp = calore specifico del materiale plastico [kcal/(kg °C)]

t_1 = temperatura di plastificazione [°C]

t_2 = temperatura dei pezzi estratti dallo stampo [°C]

esempio:

produzione di 2 vasi in PP; ciclo 3,6 sec ; peso stampata 60 gr.

$$q_h = 0,060 \cdot 3600 / 3.6 \cdot 0,48 \cdot (200 - 60) = 4.032 \text{ kcal/h}$$

Nel dimensionamento della macchina frigorifera si deve sempre tener conto oltre alla componente di riscaldamento delle camere calde anche delle perdite nell'ambiente dirette dello stampo.

materiale plastico	sigla mat.	Calore specifico	Cond. termica	
		c.sp	k	
		kcal/kg	kcal/h m °C	W/m °K
Politertrafluoretilene	PTFE	0,31	0,343	0,40
PoliVinilCloruro rigido	PVC		0,13	0,15
PoliVinilCloruro C	PVC-C			
Poliammide 66		0,35	0,25	0,29
Polipropilene	PP	0,48	0,134	0,16
AcricoButadieneStirene	ABS		0,13	0,15
Polietilene alta densità	HDPE	0,53	0,459	0,53
Kynar	PVDF		0,094	0,11
Poliammide 6	PA 6		0,215	0,25
Poliammide 11	PA 11		0,197	0,23
Poliestere	PET		0,24	0,28
Policarbonato	PC		0,18	0,21
ferro		0,105	63	73
Acciaio Cr 20%		0,111	19	22
Bronzo Cu 75%, Sn 25%			22	26
rame		0,091	332	386
legno		0,6	0,17	0,2
acqua		1	0,54	0,6
ghiaccio		0,492		
olio minerale		0,45	0,129	0,15
aria secca (300K, 100kPa)			0,022	0,026

La conversione è $1W/m^{\circ}C = 0,860 \text{ kcal/hm}^{\circ}C$

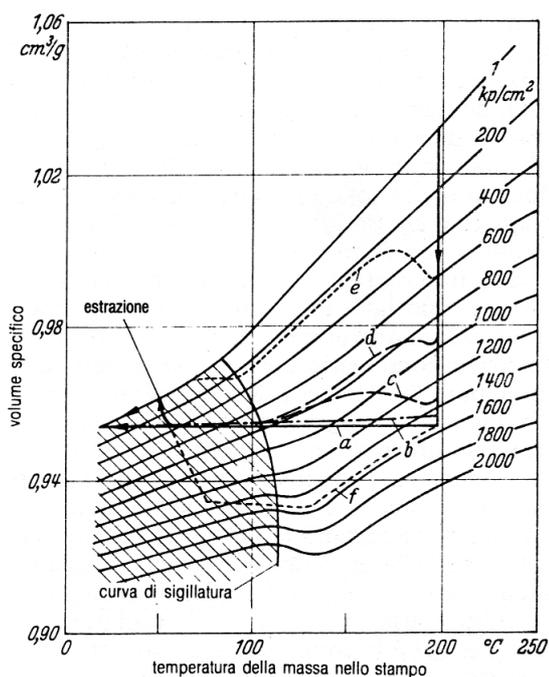


Fig. 2.28 - Riempimento dello stampo e raffreddamento, nel diagramma p-v-T per una m.p. amorfa:

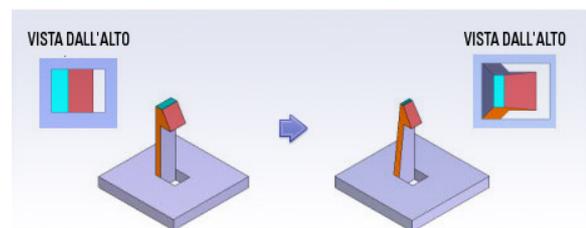
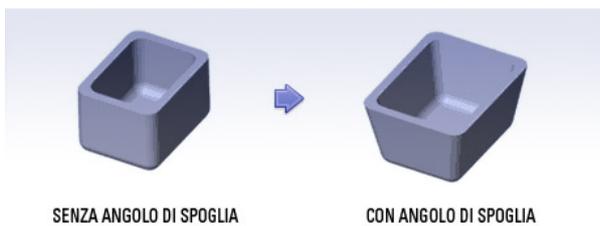
- a) andamento ideale isocore ($v_s = \text{costante}$);
- b) andamento per max. pressione d'iniezione;
- c, d) pressioni d'iniezione minori per equilibrare la post-pressione finale relativamente più alta, così che le curve v_s arrivino al punto di sigillatura nell'isocora;
- e) pressione d'iniezione e post-pressione troppo basse: sollevamento della parete, formazioni di soffiature;
- f) post-pressione troppo elevata: il pezzo stampato si incolla, tensione residua di formatura, pericolo di incrinature dovute a tensioni interne

PROGETTAZIONE DEL PEZZO

SPESSORE

Resina	Spessore delle pareti consigliato (mm)
ABS	1,143 - 3,556
Acetal	0,762 - 3,048
Acrilico	0,635 - 3,810
Polimero liquido cristallizzato	0,762 - 3,048
Plastici rinforzati a fibra lunga	1,905 - 25,40
Nylon	0,762 - 2,921
Policarbonato	1,016 - 3,180
Poliestere	0,635 - 3,175
Polietilene	0,762 - 5,080
Solfuro di polifenile	0,508 - 4,572
Polipropilene	0,635 - 3,810
Polistirene	0,889 - 3,810
Poliuretano	2,032 - 19,05

ANGOLO DI SPOGLIA (per favorire l'estrazione)



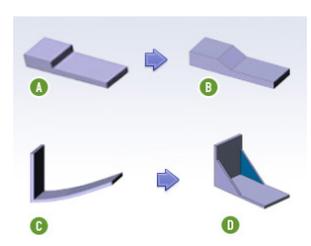
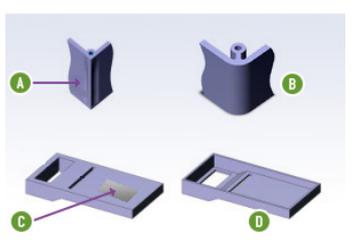
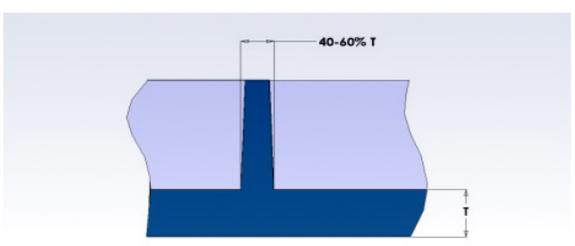
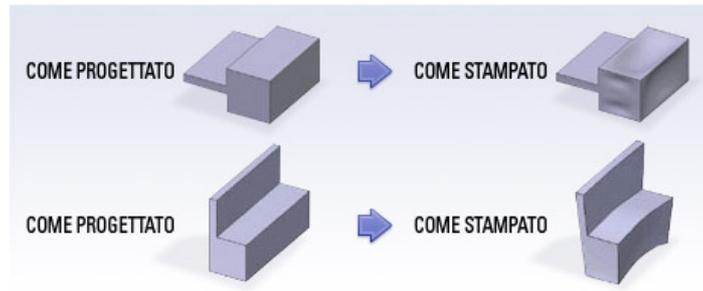
Le linee guida generali sull'angolo di spoglia sono:

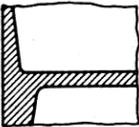
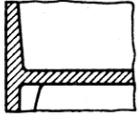
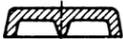
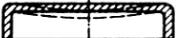
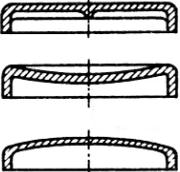
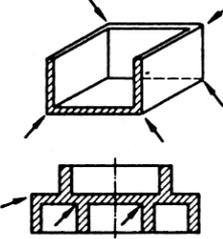
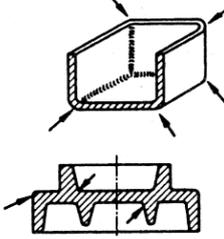
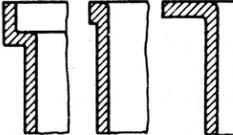
- almeno 0,5 gradi su tutte le pareti verticali
- 2 gradi per avere un margine di sicurezza nella maggior parte delle situazioni
- almeno 3 gradi per una chiusura (metallo che scivola su metallo)
- 3 gradi per le superfici con goffratura leggera (PM-T1)
- 5 o più gradi per la goffratura pesante (PM-T2)

PROPRIETA' DI RESA DEI VARI MATERIALI ALLO STAMPAGGIO

Resina	Alcuni nomi commerciali	Proprietà Meccaniche			Caratteristiche di Stampabilità							Costo
		Resistenza	Resistenza all'urto	Resistenza alle alte temperature	Stampato con accuratezza riguardo alla Distorsione ed alle Dimensioni	Riempie le Piccole Caratteristiche	Lascia Vuoti nelle sezioni spesse	Crea Depressioni nelle Sezioni Spesse	Bava	Alte temperature difficili su stampi ed espulsori		
POM	Delrin, Celcon	Medio	Medio	Medio-basso	Discreto	Discreto	Mediocre	Buono	Buono	Discreto	Medio	
PA 6/6	Zytel	Medio	Alto	Basso	Discreto	Eccellente	Buono	Discreto	Mediocre	Discreto	Medio	
PA 6/6 + vetro	Zytel	Alto	Medio	Alto	Mediocre	Buono	Eccellente	Buono	Discreto	Discreto	Medio	
PP	Maxxam, Profax	Basso	Alto	Basso	Discreto	Eccellente	Mediocre	Mediocre	Mediocre	Buono	Basso	
HDPE	Dow HDPE, Chevron HDPE	Basso	Alto	Basso	Discreto	Eccellente	Non noto	Mediocre	Mediocre	Buono	Basso	
PC	Lexan, Makrolon	Medio	Alto	Medio-Alto	Buono	Discreto	Da discreto a Buono	Discreto	Buono	Buono	Medio-Alto	
ABS	Lustran, Cyclocac	Medio-basso	Alto	Basso	Buono	Discreto	Buono	Discreto	Buono	Buono	Basso	
PC+ ABS	Cycloy, Bayblend	Medio	Alto	Medio	Da Buono a Eccellente	Discreto	Buono	Discreto	Buono	Buono	Medio	
PBT	Valox, Crastin	Medio	Alto	Basso	Discreto	Discreto	Non noto	Discreto	Discreto	Buono	Medio-Alto	
PBT +vetro PET - vetro	Valox, Crastin, Rynite	Alto	Medio	Medio	Mediocre	Discreto	Buono	Buono	Discreto	Discreto	Medio-Alto	
PS	Styron	Medio-basso	Basso	Basso	Buono	Buono	Non noto	Discreto	Discreto	Buono	Basso	
Elastomero termoplastico	Isoplast, Santoprene	Basso	Alto	Basso	Mediocre	Eccellente	Eccellente	Buono	Mediocre	Eccellente	Medio-basso	
Acrilico	Plexiglass, Acrylite	Medio	Basso	Basso	Buono	Discreto	Eccellente	Buono	Buono	Buono	Medio	

DETTAGLI COSTRUTTIVI



a) errato	b) corretto	note:
		<p>a) errato: piede pieno in tutta la lunghezza</p> <p>b) corretto: piede incavato</p>
		<p>a) errato: parete compatta</p> <p>b) corretto: parete incavata e nervata</p>
		<p>a) errato: superficie piatta si flette</p> <p>b) corretto: superficie nervata, ad arco accentuato verso l'interno o verso l'esterno</p>
		<p>a) errato: spigoli interni ed esterni affilati</p> <p>b) corretto: arrotondare gli spigoli interni ed esterni</p>
		<p>a) errato: bordo troppo spesso</p> <p>b) corretto: bordo spesso solo un poco di più della parete</p>

- Esempi di progettazione di pezzi stampati in materie plastiche

FRIGORIE NECESSARIE PER IL RAFFREDDAMENTO DELL'IMPIANTO OLEODINAMICO DELLA PRESSA

L'impianto oleodinamico ha lo scopo di realizzare tutti i movimenti e le rotazioni necessarie. Nel modello ideale con rendimento = 1 non c'è produzione di calore. Nella realtà in ogni conversione di energia: elettrica/rotazione, rotazione/pressione oleodinamica, spinta dell'olio/movimento il rendimento è inferiore a 1 a causa principalmente delle resistenze degli attriti che portano alla creazione di calore che deve essere dissipato dall'acqua che circola negli scambiatori di calore acqua/olio.

La quantità di calore da sottrarre all'impianto oleodinamico è proporzionale alla potenza del motore e dipende dal funzionamento dei componenti utilizzati nell'impianto oleodinamico. L'utilizzo di pompe a portata variabili o inverter su pompe fisse riducono la generazione di pressione nell'olio diminuendo il consumo elettrico ed anche proporzionalmente la dissipazione di calore.

Nello stampaggio tecnico (a bassa cadenza produttiva) l'impegno di raffreddamento dell'impianto oleodinamico è mediamente superiore a quello dello stampo.

VALORI DI RAFFREDDAMENTO DELL'IMPIANTO OLEODINAMICO

Potenza motore pompa	Frigorie medie necessarie	Portata media acqua a 20° in entrata				
		35°olio	40°olio	45°olio	50°olio	55°olio
15 KW	6500 kfrig./h	1,6 m ³ /h	1,3 m ³ /h	1,0 m³/h	0,8 m ³ /h	0,7 m ³ /h
22 KW	9500 kfrig./h	1,6 m ³ /h	1,3 m ³ /h	1,0 m³/h	0,8 m ³ /h	0,7 m ³ /h
30 KW	12500 kfrig./h	3,2 m ³ /h	2,5 m ³ /h	2,0 m³/h	1,6 m ³ /h	1,4 m ³ /h
37 KW	16000 kfrig./h	4,0 m ³ /h	3,1 m ³ /h	2,5 m³/h	2,0 m ³ /h	1,8 m ³ /h
45 KW	19500 kfrig./h	4,8 m ³ /h	3,8 m ³ /h	3,0 m³/h	2,4 m ³ /h	2,1 m ³ /h
55 KW	23500 kfrig./h	5,6 m ³ /h	4,4 m ³ /h	3,5 m³/h	2,8 m ³ /h	2,5 m ³ /h
75 KW	32000 kfrig./h	6,4 m ³ /h	5,0 m ³ /h	4,0 m³/h	3,2 m ³ /h	2,8 m ³ /h
100 KW	43000 kfrig./h	7,2 m ³ /h	5,6 m ³ /h	4,5 m³/h	3,6 m ³ /h	3,2 m ³ /h
110 KW	47500 kfrig./h	7,2 m ³ /h	5,6 m ³ /h	4,5 m³/h	3,6 m ³ /h	3,2 m ³ /h
130 KW	56000 kfrig./h	8,8 m ³ /h	6,9 m ³ /h	5,5 m³/h	4,4 m ³ /h	3,9 m ³ /h
150 KW	65000 kfrig./h	10,4 m ³ /h	8,1 m ³ /h	6,5 m³/h	5,2 m ³ /h	4,6 m ³ /h
165 KW	71000 kfrig./h	12,0 m ³ /h	9,4 m ³ /h	7,5 m³/h	6,0 m ³ /h	5,3 m ³ /h
180 KW	77000 kfrig./h	12,8 m ³ /h	10,0 m ³ /h	8,0 m³/h	6,4 m ³ /h	5,6 m ³ /h

fattori di correzione portata acqua per differenze temperatura fra acqua e olio				
15°	20°	25°	30°	35°
1,6	1,25	1	0,8	0,7

Riferirsi alla colonna **45°olio** della tabella precedente

Considerazioni:

1 m² di acqua che si alza di 1°C asporta 1000 K frig. (grandi frigorie);

la capacità di raffreddamento dipende dal tipo e dalle condizioni dello scambiatore di calore oltre che dalla differenza delle temperature;

1 kW termico corrisponde a 860 k frig.;

circa metà dell'assorbimento del motore pompa si trasforma in calore.

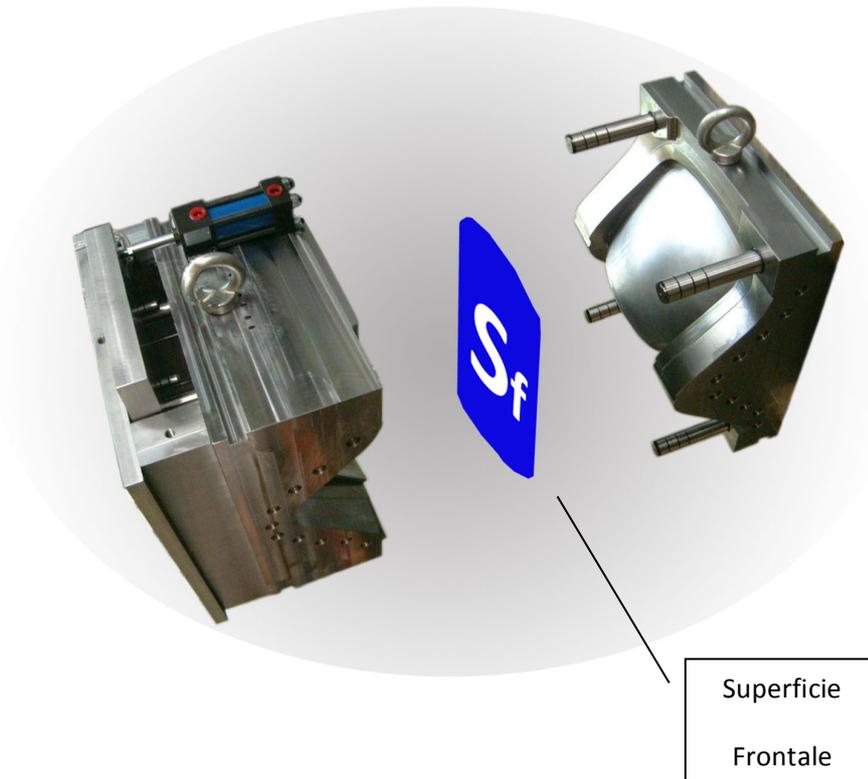
CALCOLO DEL TONNELLAGGIO NECESSARIO ALLO STAMPAGGIO

Durante l'iniezione viene sviluppata la massima forza dal materiale fuso che tende ad aprire lo stampo.

Questa forza è direttamente proporzionale alla superficie frontale ed alla pressione del materiale plastico.

Si intende per superficie frontale la proiezione di tutte le cavità delle impronte sulla sezione dello stampo all'altezza del piano divisorio fra parte fissa e parte mobile.

Per esempio in foto è riportato lo stampo di una sedia con la visualizzazione della superficie frontale S_f



T = tonnellaggio minimo di chiusura dello stampo

S_f = Superficie frontale dello stampo

P_m = pressione media del fuso nello stampo, sufficiente al buon stampaggio

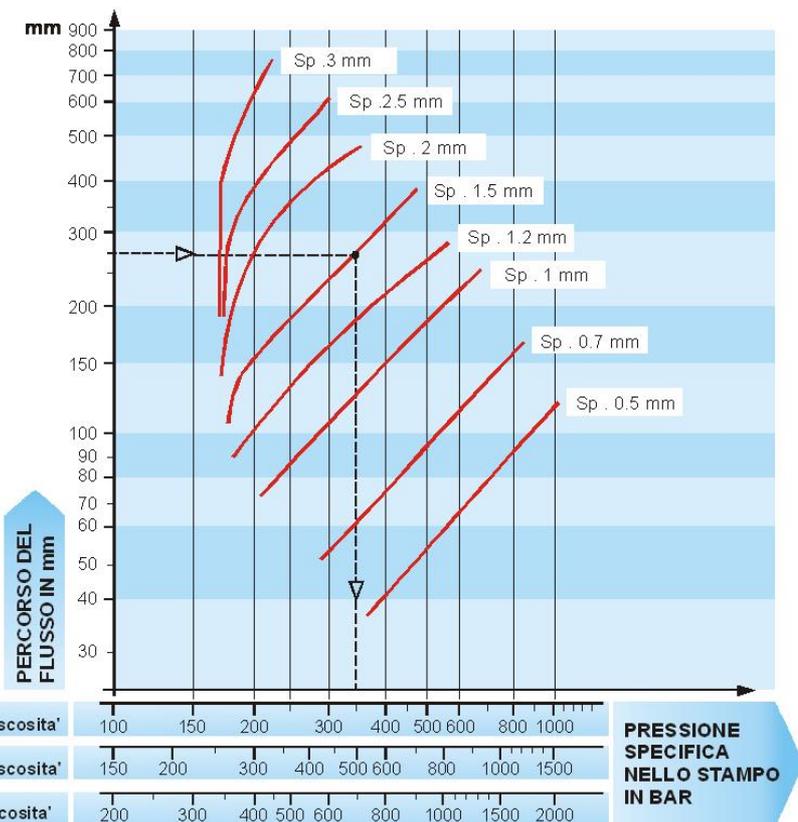
$$T = S_f \times P_m$$

TABELLA DELLA PRESSIONE MEDIA (Pm) DEL FUSO NELLO STAMPO NECESSARIA ALLO STAMPAGGIO,
IN FUNZIONE DEL MATERIALE, DELLO SPESSORE e DEL PERCORSO DA COMPIERE.

Diagramma per il calcolo approssimativo della pressione media nello stampo in funzione dello spessore del pezzo, del percorso del flusso e della viscosità del materiale allo stato fuso.

Esempio di calcolo:

per stampare un pezzo in PVC con lo spessore di 1.5 mm e percorso di flusso 260mm la pressione media richiesta nella cavità dello stampo è di circa 700 bar.



PE - PA - PP - PS	mat. a bassa viscosita'	100 150 200 300 400 500 600 800 1000
CA - ABS - POM - SB	mat. a media viscosita'	150 200 300 400 500 600 800 1000 1500
PVC - PPO - PMMA - PC	mat. ad alta viscosita'	200 300 400 500 600 800 1000 1500 2000

GRUPPI DI CHIUSURA DELLO STAMPO

Il sistema di chiusura ad alta pressione dello stampo può essere IDRAULICO oppure MECCANICO.

CHIUSURA MECCANICA AD 1 BIELLA



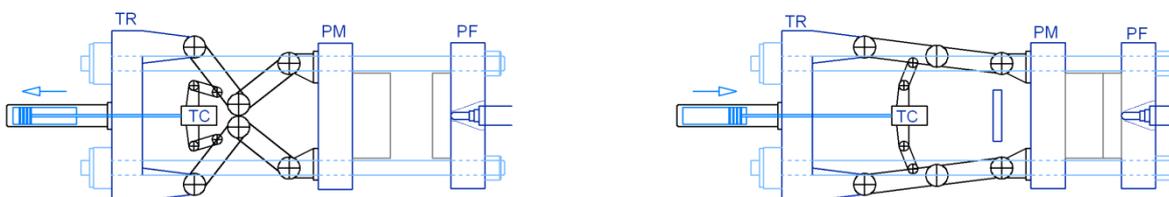
CHIUSURA MECCANICA A DOPPIA GINOCCHIERA A 4 PUNTI



CHIUSURA MECCANICA A DOPPIA GINOCCHIERA PARALLELA A 5 PUNTI



CHIUSURA MECCANICA A DOPPIA GINOCCHIERA CONVERGENTE A 5 PUNTI



CHIUSURA MECCANICA A DOPPIA GINOCCHIERA PARALLELA tipo KW (brevettata da BMB)



CHIUSURA IDRAULICA (con recupero dello scarico)



CHIUSURA IDRAULICA SULLE COLONNE



CHIUSURA HYDROBLOCK a 3 PIANI



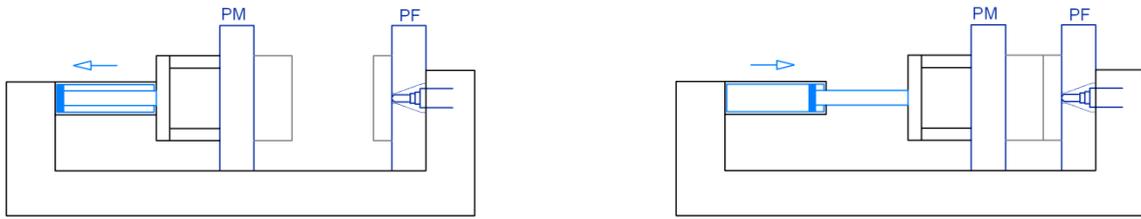
CHIUSURA HYDROBLOCK a 3 PIANI con blocco sulle colonne



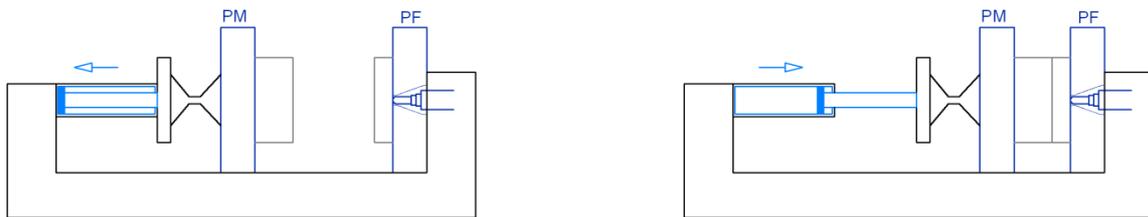
CHIUSURA HYDROBLOCK a 2 PIANI



CHIUSURA SENZA COLONNE (a collo di cigno)

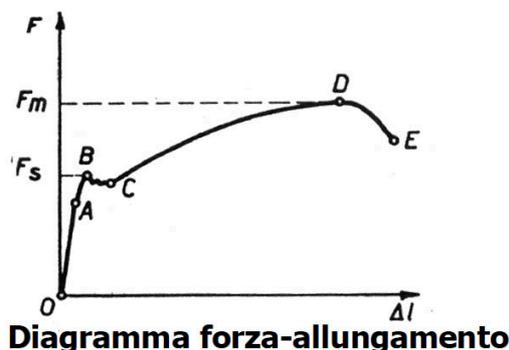


CHIUSURA SENZA COLONNE a deformazione



CONSIDERAZIONI SULLE DELLE COLONNE NELLA FASE DI CHIUSURA

Le colonne di buona fattura sono costruite in acciaio 38NCD4



La deformazione plastica delle colonne avviene all'interno della fascia di comportamento elastico lineare dell'acciaio.

La curva della trazione è tra le più significative per comprendere il comportamento del materiale. Presenta tratti differenti:

- OA Un primo tratto caratterizzato da comportamento elastico lineare
- AB Un tratto caratterizzato da comportamento elastico non lineare
- BC Una fase di snervamento
- CD Un tratto caratterizzato da deformazioni di tipo plastico e dal fenomeno dell'incrudimento,
- D Il carico massimo
- DE Il fenomeno della strizione
- E La rottura

F_s è la tensione di snervamento

F_m è la tensione di rottura

Nel caso delle colonne si deve lavorare nel tratto OA ben al di sotto della tensione di snervamento in modo che il comportamento dell'allungamento sia elastico e lineare.

Si definisce modulo elastico o di Young il valore E , ovvero la costante di proporzionalità tra la tensione e l'allungamento in campo elastico ed è indice della rigidità del materiale.

Il carico di snervamento identifica il valore di tensione in cui si manifesta una deformazione plastica dello 0,2% .

Le colonne sono in acciaio 38NCD4 le cui caratteristiche fisiche sono le seguenti:

Densità	ρ	7,8 kg/dm ³
Modulo di Young	E	210000 Mpa
Tensione di snervamento a trazione	F_s	850 Mpa
Tensione di rottura	F_m	1100 Mpa

Il modulo di Young ci permette di calcolare l'allungamento delle colonne in base alla tensione applicata come teoricamente descritto nel paragrafo successivo

A titolo di esempio sulla pressa BMB eKW16Pi il diametro delle colonne è 80mm, ipotizzando che la lunghezza su cui è applicata la tensione sia 2200 mm (questa lunghezza varia in funzione dello spessore dello stampo) l'allungamento di ogni colonna sottoposta alla tensione di circa 163 tons pari a $1600 \text{ KN} / 4 = 400 \text{ KN}$ per ciascuna colonna

$$E = \frac{\sigma}{\frac{\Delta l}{l}} = 210000 \text{ MPa}$$

l'allungamento vale:

$$\Delta l = \frac{\sigma}{E} l$$

Ove la tensione o sforzo vale:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

$$\Delta l = \frac{400000}{\frac{\pi \cdot 40^2}{210000}} \cdot 2200 = 0,83 \text{ mm}$$

Cioè ogni colonna sottoposta alla massima chiusura di 400KN si allunga di 0,83mm. Tale allungamento delle 4 colonne garantisce il buon funzionamento della ginocchiera. Si verifica anche che siamo ben al di sotto dell'allungamento di snervamento (circa 4,4 mm)

Sempre a titolo di esempio, vogliamo ora calcolare la tensione massima durante il normale utilizzo della pressa per ogni colonna:

Nel nostro caso di una pressa di 160 tons la condizione di massimo utilizzo:

$$F = 400.000 \text{ N}$$

$$S = \pi \cdot 40^2 = 5024 \text{ mm}^2 \text{ (valore nominale, in alternativa si può considerare il diametro minimo della colonna)}$$

$$\sigma = 79,6 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{79,6 \text{ MPa}}$$

Questo valore è ben al di sotto del limite dello snervamento 850 MPa e ben al di sotto della tensione di rottura di 1100 MPa

La tensione a cui si deve sottoporre una colonna per raggiungere la tensione di rottura vale:

$$F = \sigma \cdot S = 1100 \cdot \pi \cdot 40^2 = 5529 \text{ KN pari a circa 563 tons per ogni colonna.}$$

Circa 14 volte la forza massima di lavoro

CONSIDERAZIONI SULLE ROTTURE DELLE COLONNE DELLE GINOCCHIERE

La rottura di una colonna è un episodio rarissimo.

L'esperienza ha dimostrato che la causa più diffusa della rottura delle colonne consiste nella propagazione negli anni di lavoro della frattura delle fibre che si provoca nella lavorazione con utensile ad asportazione di truciolo del filetto del piano fisso. Infatti in questi casi il punto di inizio di rottura della colonna è il 2° oppure 3° filetto del piano fisso (che sono quelli che sopportano la massima tensione di allungamento in quanto i filetti successivi essendo dentro il dado sono solidali con esso e non si dilatano).

Vari produttori di presse hanno provato a modificare il dado assottigliandolo in parte e mettendolo in trazione con anelli, oppure hanno provato rondelle di accoppiamento conico con il piano fisso per compensare le flessioni della colonne, ma tali rimedi non sono stati risolutivi.

Per evitare questo inconveniente la BMB è stata la prima azienda che ha iniziato a produrre le colonne con filetti rullati con deformazione a freddo. Con tale lavorazione le fibre non vengono fratturate ma deformate plasticamente e non danno più origine a rotture. Conferma di tale comportamento si nota nella costruzione dei tiranti delle navi che per garantire la massima sicurezza nelle peggiori condizioni atmosferiche sono costruiti allo stesso modo. Inoltre è facile confrontare la resistenza alla fatica di un bullone rullato industrialmente da una analogo costruito al tornio. Ulteriore conferma deriva dal fatto che da quando la BMB ha utilizzato la rullatura del filetto le rotture delle colonne si sono quasi azzerate.

Le rare rotture che possono succedere nel caso di colonne con filetti rullati sono dovute a difetti della colata di fusione della fonderia. Punti disomogenei oppure inclusioni di aria invisibili all'esterno ma che indeboliscono la colonna. Questo motivo di rottura si evidenzia dalla zona di rottura che non è più il filetto.

Abbiamo anche notato in generale che quando avviene la rara rottura di una colonna su di una pressa le altre colonne subiscono una condizione tale per cui è più probabile una seconda rottura. Non sempre questa condizione avviene. Riteniamo che nella condizione di rottura e in quelle immediatamente successive le colonne rimanenti possono subire non solo trazioni ma anche deformazioni di taglio che compromettono alcune zone più delicate per possibili disomogeneità interna del materiale che non garantiscono più una corretta trazione.

E' altresì noto che su presse molto vecchie si preferisce ricorrere alla saldatura della colonna rotta, in tali casi (se la riparazione viene eseguita con alcuni accorgimenti, cioè con i corretti materiali e senza repentini raffrettamenti) si verifica che tale colonna riparata non si romperà più nella zona della saldatura.

Per quanto riguarda i controlli da eseguire sulla pressa, si tratta di effettuare un perfetto parallelismo dei piani che si può eseguire solo con un falso stampo perfettamente rettificato e una particolare apparecchiatura con 8 celle di carico che si applicano sulle 4 colonne.

Analogamente lo stampo deve essere perfettamente parallelo per non caricare eccessivamente alcune colonne.

Queste sono le normali e sagge precauzioni da prendere ma dai calcoli minuziosamente descritti si è dimostrato che il margine di sicurezza è tale da permettere ampi errori e squilibri.

Resta consigliabile, nel caso di rottura di una colonna, la sostituzione "contemporanea" di tutte le 4 colonne per evitare di utilizzare colonne "compromesse" la cui presenza può creare anomalie delle forze agenti anche su eventuali colonne nuove.

CALCOLO DELL'ALLUNGAMENTO DELLE COLONNE NELLA FASE DI CHIUSURA

La forza di chiusura dello stampo viene controbilanciata dalle colonne che si allungano elasticamente.

L'allungamento delle colonne è completamente reversibile perché la gamma di forze utilizzate non supera la forza di snervamento che produce allungamenti irreversibili.

L'allungamento è calcolabile con la legge di Hooke che definisce il modulo elastico:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

delta = pressione applicata:

$$\sigma = \frac{F_{applicata}}{S_{sezione}}$$

epselon = allungamento relativo:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Il modulo elastico per l'acciaio $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F}{S} \cdot \frac{l}{\Delta l}$$

la Forza vale

$$F = \frac{E \cdot S \cdot \Delta l}{l}$$

$$Forza[N] = \frac{ModuloElastico \left[\frac{N}{mm^2} \right] \cdot 4 \cdot SezioneColonna[mm^2] \cdot Allungamento[mm]}{LunghezzaColonna[mm]}$$

$$Tons = \frac{KN}{9,81}$$

$$Forza[tons] = \frac{ModuloElastico \left[\frac{N}{mm^2} \right] \cdot 4 \cdot SezioneColonna[mm^2] \cdot Allungamento[mm]}{9810 \cdot LunghezzaColonna[mm]}$$

$$Allungamento[mm] = \frac{9810 \cdot LunghezzaColonna[mm] \cdot Forza[tons]}{ModuloElastico \left[\frac{N}{mm^2} \right] \cdot 4 \cdot SezioneColonna[mm^2]}$$

$$ModuloElastico \left[\frac{N}{mm^2} \right] = 210\ 000$$

TABELLA DEI RIMEDI DI STAMPAGGIO (vecchia versione)

	Striature di colore	Stampata scarsa	Avvolamenti	Sbovature	Linee di saldatura o di giunzione deboli	Fragilità	Superficie scadente	Macchie di colata	Spruzzature	Brucciature di giunzione	Stratificazione	Deformazioni	Superficie ondulata	Scarsa stabilità dimensionale	Adesione alla matrice	Adesione alla carota	RIMEDI SUGGERITI
	2	2		4	3	6						4	4				Aumentare la pressione di iniezione
			1					8	8	5			1				Diminuire la pressione di iniezione
	8									3			3	5			Aumentare il tempo del ciclo
		3										3	3				Aumentare il tempo di post-iniezione
														2	4		Diminuire il tempo di post-iniezione
	9	7	7	6	7	7	7	7									Aumentare la dimensione della carota, dei canali o dell'entrata di iniezione
	10	9	8				6	7									Diminuire il tratto piano dell'entrata
							5	6	6								Allargare il foro dell'ugello
	1	1										1					Correggere l'alimnetazione
			2														Aumentare la pressione di chiusura
	3	4		3		5	3	3	4				2				Aumentare la temperatura del materiale
	2		4	4	2	4	4	2	2	2	5	1					Diminuire la temperatura del materiale
	4	5		1	4	5	2	4	2			6					Aumentare la temperatura dello stampo
		5	5							1	2	7			3		Diminuire la temperatura dello stampo
										7		8					Modificare i canali di raffreddamento
			6														Migliorare la tenuta dei semistampi
	6	6		5	7			7			6						Aumentare gli sfiati
					1	1	1		3								Pre-essiccare il materiale
			9		8			9	9								Cambiare la posizione dell'entrata di iniezione
					6										7		Lucidare la superficie dello stampo
		3		2													Aumentare la velocità di iniezione
	1		3	9	3	1	1	5	4								Diminuire la velocità di iniezione
															2		Migliorare la tenuta dell'ugello
	8						8								6		Controllare la resistenza dell'ugello
	5			3	2			1							8		Controllare eventuale contaminazione dei materiali
															1		Lucidare la bussola alimentazione stampo
	6			5				4									Diminuire i giri della vite
		10											5				Aumentare la contropressione
	7		7	6				5	6								Diminuire la contropressione

SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÁ DI MISURA: UNITÁ FONTAMENTALI

Grandezza fisica	Simbolo della grandezza fisica	Indicazione dimensionale	Nome dell'unità SI	Simbolo dell'unità SI
lunghezza	<i>l</i>	[M]	<i>metro</i>	m
massa	<i>M</i>	[L]	<i>chilogrammo</i>	kg
intervallo di tempo	<i>t</i>	[T]	<i>secondo</i>	s
Intensità di corrente	<i>I, i</i>		<i>ampere</i>	A
temperatura assoluta	<i>T</i>	[θ]	<i>kelvin</i>	K
quantità di sostanza	<i>n</i>		<i>mole</i>	mol
intensità luminosa	<i>I_v</i>		<i>candela</i>	cd

PREFISSI DEL SISTEMA INTERNAZIONALE

10 ⁿ	Prefisso	Simbolo	Nome	Equivalente decimale
MULTIPLI				
10 ⁺²⁴	yotta	Y	Quadrilione	1 000 000 000 000 000 000 000 000
10 ⁺²¹	zetta	Z	Triliardo	1 000 000 000 000 000 000 000
10 ⁺¹⁸	exa	E	Trilione	1 000 000 000 000 000 000
10 ⁺¹⁵	peta	P	Biliardo	1 000 000 000 000 000
10 ⁺¹²	tera	T	Bilione	1 000 000 000 000
10 ⁺⁹	giga	G	Miliardo	1 000 000 000
10 ⁺⁶	mega	M	Milione	1 000 000
10 ⁺³	kilo / chilo	k	Mille	1 000
10 ⁺²	etto	h	Cento	100
10	deca	da	Dieci	10
SOTTOMULTIPLI				
10 ⁻¹	deci	d	Decimo	0,1
10 ⁻²	centi	c	Centesimo	0,01
10 ⁻³	milli	m	Millesimo	0,001
10 ⁻⁶	micro	μ	Milionesimo	0,000 001
10 ⁻⁹	nano	n	Miliardesimo	0,000 000 001
10 ⁻¹²	pico	p	Bilionesimo	0,000 000 000 001
10 ⁻¹⁵	femto	f	Biliardesimo	0,000 000 000 000 001
10 ⁻¹⁸	atto	a	Trilionesimo	0,000 000 000 000 000 001
10 ⁻²¹	zepto	z	Triliardesimo	0,000 000 000 000 000 000 001
10 ⁻²⁴	yocto	y	Quadrilionesimo	0,000 000 000 000 000 000 000 001

SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÁ DI MISURA: ALCUNE UNITÁ DERIVATE

Grandezza fisica	Simbolo della grandezza fisica	Indicazione dimensionale	Nome dell'unità SI	Simbolo dell'unità SI
<i>angolo piano</i>	α, ϕ, θ	$[m \cdot m^{-1}]$	<i>radiante</i>	rad
<i>angolo solido</i>	Ω	$[m^2 \cdot m^{-2}]$	<i>steradiane</i>	sr
<i>carica elettrica</i>	q	$[A \cdot s]$	<i>secondo</i>	s
<i>frequenza</i>	f, ν	$[s^{-1}]$	<i>hertz</i>	Hz
<i>forza</i>	F	$[kg \cdot m \cdot s^{-2}]$	<i>newton</i>	N
<i>pressione</i>	p	$[N \cdot m^{-2}]$	<i>pascal</i>	Pa
<i>energia</i>	E	$[kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}]$	<i>joule</i>	J
<i>potenza</i>	P	$[kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}]$	<i>watt</i>	W
<i>temperatura</i>	T	$[K]$	<i>celsius</i>	°C
<i>pressione</i>	p	$[N \cdot m^{-2}]$	<i>pascal</i>	Pa
<i>potere diottrico</i>	D_0	$[m^{-1}]$	<i>diottria</i>	D

SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÁ DI MISURA: ALTRE GRANDEZZE FISICHE

Grandezza fisica	Simbolo della grandezza fisica	Indicazione dimensionale	Nome dell'unità SI	Simbolo dell'unità SI
<i>area</i>	A	$[m^2]$	<i>metro quadro</i>	m²
<i>volume</i>	V	$[m^3]$	<i>metro cubo</i>	m³
<i>velocità</i>	v	$[m \cdot s^{-1}]$	<i>metro al secondo</i>	m/s
<i>accelerazione</i>	a	$[m \cdot s^{-2}]$		m/s²
<i>velocità angolare</i>	ω	$[rad \cdot s^{-1}]$		
<i>accelerazione angolare</i>	α, w	$[rad \cdot s^{-2}]$		
<i>densità</i>	ρ, d	$[kg / m^3]$	<i>chilogrammo al meteyro cubo</i>	kg/m³
<i>molarità standard</i>	M	$[mol \cdot dm^{-3}]$		
<i>volume molare</i>	V_m	$[m^3 \cdot mol^{-1}]$		

SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÁ DI MISURA: UNITÁ ACCETTATE

Nome	Simbolo della grandezza fisica	Equivalenza in UNITÁ FONDAMENTALI S.I.
<i>minuto</i>	min	1 min = 60 s
<i>ora</i>	h	1 h = 60 min = 3 600 s
<i>giorno</i>	d	1 d = 24 h = 1440 min = 86 400 s
<i>litro</i>	l,L	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
<i>grado</i>	°	1° = (π/180) rad
<i>minuto primo</i>	'	1' = (1/60)° = (π/10 800) rad
<i>minuto secondo</i>	"	1" = (1/60)' = (π/648 000) rad
<i>ettaro</i>	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²
<i>tonnellata</i>	t	1 t = 10 ³ kg = 10 ⁶ g
<i>angstrom</i>	Å	1 Å = 0,1 nm = 10 ⁻¹⁰ m
<i>miglio nautico</i>	nm	1 miglio nautico = 1 852 m
<i>nodo</i>	kn	1 nodo = 1 miglio nautico all'ora = (1 852/3 600) m/s
<i>barn</i>	b	1 b = 100 fm ² = 10 ⁻²⁸ m ²
<i>bar</i>	bar	1 bar = 0,1 MPa = 100kPa = 1000hPa = 10 ⁵ Pa
<i>Millimetro di mercurio</i>	mmHg	1mmHg ≈ 133,322 Pa

Altri sistemi di unità di misura: IL SISTEMA c.g.s.

UNITÁ FONTAMENTALI

Grandezza Fisica	Simbolo della grandezza fisica	Simbolo dell'unità
<i>lunghezza</i>	cm	centimetro
<i>tempo</i>	s	secondo
<i>massa</i>	g	grammo

Altri sistemi di unità di misura: IL SISTEMA ANGLOSASSONE

UNITÁ FONTAMENTALI

Grandezza Fisica	Simbolo della grandezza fisica	Simbolo dell'unità
<i>lunghezza</i>	ft	piede
<i>tempo</i>	s	secondo
<i>forza</i>	lb _f	Libbra (forza)

UNITÁ MULTIPLE E SOTTOMULTIPLE

nome	Simbolo della grandezza fisica	Conversione interna
<i>grain</i>	gr	7000 gr = 1 lb
<i>dram</i>	drm	16 drm = 1 oz
<i>ounce</i>	oz	16 oz = 1 lb
<i>pound</i>	lb	1 lb = 16 oz = 256 drm = 7000 gr
<i>stone</i>	st	1 st = 14 lb
<i>quarter</i>	qr	1 gr = 28 lb
<i>cental</i>	ctl	1 ctl = 100 lb
<i>hundredweight</i>	cwt	1 cwt = 112 lb
<i>short ton</i>	s tn	1 s tn = 20 ctl = 2000 lb
<i>long ton</i>	tn	1 tn = 20 cwt = 2240 lb

Altri sistemi di unità di misura: IL SISTEMA TECNICO

UNITÁ FONTAMENTALI

Grandezza Fisica	Simbolo della grandezza fisica	Simbolo dell'unità
<i>lunghezza</i>	m	metro
<i>tempo</i>	s	secondo
<i>temperatura</i>	°C	grado centigrado
<i>forza</i>	kg _f	chilogrammo forza

CONVERSIONI

CONVERSIONI							
	dato	operazione	ottieni		dato	operazione	ottieni
LUNGHEZZA	cm	: 2,54	in	(pollice)	inch	x 2,54	cm
	cm	: 30,48	ft	(piede)(12pollici)	foot	x 30,48	cm
	m	x 3,28	ft	(piede)(12pollici)	foot	x 0,3048	m
	cm	: 91,44	yd	(iarda)(3piedi)	yard	x 91,44	cm
	km	x 0,6213	mile	(miglio terrestre)	mile	x 1,609344	km
	km	x 0,5399	NM	(miglio marino)(1°meridiano)	NM	x 1,852	km
VOLUME	lt	x 1000	cc	(cm cubo)	cc	: 1000	lt
	lt	x 1000	ml	(millilitro)	ml	: 1000	lt
	lt	x 100	cl	(centilitro)	cl	: 100	lt
	ml	x 0,2	tsp	(cucchiaino)	tsp	x 5	ml
	ml	: 15	tbs	(cucchiaino)(3cucchiaini)	tbs	x 15	ml
	ml	: 29,57	fl oz	(oncia fluida)(2cucchiaini)	fl oz	x 29,57	ml
	ml	: 237	cup	(tazza USA)(8once)	cup	x 237	ml
	lt	x 2,1133	pt	(pinta USA)(2tazze)	lt	x 0,473	ml
	lt	x 1,05668	qt	(quarto di gallone USA)	qt	x 0,94636	lt
	lt	x 0,26417	gal	(gallone USA)(8 pinte)	gal	x 3,78544	lt
	lt	x 0,21997	gal UK	(gallone UK)	gal UK	x 4,54609	lt
MASSA	gr	x 5	carat	(carato)	carat	x 0,2	gr
	gr	x 0,03527	oz	(oncia USA)	oz	x 28,34952	gr
	lb	x 16	oz	(oncia)	oz	: 16	lb
	kg	x 2,20462	lb	(libbra USA, con decimale)	lb	x 0,45359	gr
	kg	x 2,20462	lb	parte intera = lb + parte decimale x 16 = oz	lb oz	lb x 0,45359 + oz x 28,34952	kg
FORZA	kg (forza)	x 9,80665	N	(Newton)	N	x 0,10197	kg (forza)
	kg (forza)	x 0,00980665	kN	(kiloNewton)	kN	x 101,97162	kgr(forza)
	ton	x 9,80665	kN	(kiloNewton)	kN	x 0,10197	ton
PRESSIONE	bar	x 14,50377	PSI	(libbre su pollice quadro)	PSI	: 14,50377	bar
	bar	x 0,986923	atm	(atmosfera)	atm	x 1,013250	bar
TEMPERATURA	°C	x 9 / 5 + 32	°F	(Fahreheit)	°F	- 32 * 5 / 9	°C
POTENZA	kW	x 1,34	Hp	(cavallo)	Hp	x 0,746	kW
ENERGIA	kWh	x 860	kCAL	(kilocalorie)	kCAL	: 860	kWh
	kWh	x 3600	KJ	(kiloJOULE)	KJ	: 3600	kWh
	kWh	x 3,412	BTU	(British thermal unit)	BTU	x 0,293071	kWh

FORMULE di Fisica

Grandezze fisiche di un MOTORE

$$Potenza = Coppia \cdot Velocità\Angolare$$

INDICE

LO STAMPAGGIO AD INIEZIONE DELLE MATERIE TERMOPLASTICHE	3
concetti generici	3
CICLO DI STAMPAGGIO AD INIEZIONE DEI MATERIALI TERMOPLASTICI	4
PRINCIPI DI BASE	4
CICLO DETTAGLIATO	4
FASI DEL CICLO	5
STAMPAGGIO TECNICO E STAMPAGGIO VELOCE	6
INDICE DI CONSUMO	8
ESEMPIO DI CALCOLO DELL'INDICE DI CONSUMO	8
PRESSE ELETTRICHE	8
I MATERIALI PLASTICI	10
CLASSIFICAZIONE DI UN POLIMERO IN FUNZIONE DELLA STRUTTURA.....	10
ORIGINE DELLE MATERIE PLASTICHE	11
MATERIE PLASTICHE DI ORIGINE NATURALE	11
MATERIE PLASTICHE DI ORIGINE ARTIFICIALE.....	11
MATERIE PLASTICHE DI ORIGINE SINTETICA	13
materie termoplastiche.....	15
materie termoindurenti	15
materie elastomeriche	15
macromolecole lineari	17
macromolecole ramificate	17
macromolecole reticolate	17
struttura semicristallina	18
struttura amorfa.....	18
LA PIRAMIDE DELLE MATERIE TERMOPLASTICHE	21
CARATTERISTICHE FISICHE DELLE MATERIE PLASTICHE	22
RESISTENZA A TRAZIONE E MODULO DI ELASTICITÀ IN ORDINE CRESCENTE	22
DUREZZA	24
CARATTERISTICHE FISICHE DELLE PRINCIPALI MATERIE PLASTICHE	25
TABELLA AD USO DELLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE DELLE MATERIE TERMOPLASTICHE	26
DENSITA' DI UN MATERIALE.....	28
Densità a temperatura ambiente.....	28
Densità alla temperatura di plastificazione.....	28
CALCOLO DELLA DENSITA' DI MISCELE.....	28
Miscele in volume	28
Miscele in peso.....	28
DENSITA' APPARENTE DELLE MATERIE TERMOPLASTICHE IN GRANULI.....	29
PRESENZA DI UMIDITA'	29

materiali igroscopici	29
materiali non igroscopici	29
PUNTO DI RUGIADA DELL'ARIA DI PROCESSO (DEW POINT).....	30
ASSORBIMENTO DELL'UMIDITA'	31
CALCOLO DELLA CAPACITA' NECESSARIA DEL DEUMIDIFICATORE.....	31
TABELLA DI IMPOSTAZIONE DELLA DEUMIDIFICAZIONE PER LO STAMPAGGIO AD INIEZIONE.....	32
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: CLASSIFICAZIONE EUROMAP DELL'UNITA' DI INIEZIONE	34
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: RAPPORTO L/D	34
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: DIAMETRO DELLA VITE E PRESSIONE DI INIEZIONE.....	34
CALCOLO DELLA PRESSIONE SUL MATERIALE DI UNA VITE DI PLASTIFICAZIONE.....	35
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: PROFILO DELLA VITE	36
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: COMPRESSIONE.....	37
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: RAPPORTO DI COMPRESSIONE.....	38
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: RAPPORTO DI UTILIZZO DELL'INIEZIONE BSR.....	39
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: TEMPO DI PERMANENZA IN VITE	40
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: VELOCITA' PERIFERICA DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE.....	41
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: TRATTAMENTI SUPERFICIALI DELLA VITE	42
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: MOTIVI DEL CONSUMO DELLA VITE....	42
PARAMETRI DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE: CALCOLO DELLA POTENZA DI UN MOTORE.....	43
DENSITA' DEL MATERIALE ALLA TEMPERATURA DI PLASTIFICAZIONE.....	44
VALORI SPERIMENTALI DI DENSITA' DEL FUSO NEL CILINDRO DI PLASTIFICAZIONE... INFUSO: VISCOSITA' TIPICHE	46
EFFETTO DEI PARAMETRI DI STAMPAGGIO SULLE CARATTERISTICHE STRUTTURALI	47
PUNTALE DELLA VITE DI PLASTIFICAZIONE.....	48
UGELLO.....	49
TIPOLOGIE DI STAMPI	50
STAMPO A MATEROZZA	50
STAMPO A MATEROZZA CON TERZA PIASTRA	50

STAMPO A LIBRO (STACK MOULD).....	50
STAMPO A CANALE CALDO	51
STAMPO A CANALE CALDO AD INIETTORI ISOLATI.....	51
MATEROZZA	52
FORO DI INGRESSO NELLO STAMPO CON MATEROZZA. RACCOMANDAZIONI.....	53
PUNTO DI INIEZIONE.....	54
RIEMPIMENTO DELLO STAMPO.....	55
CRITICITA' (situazioni da evitare)	55
FORMAZIONE DELLA LINEA DI GIUNZIONE	56
TERMOSTATAZIONE DELLO STAMPO.....	57
RISCALDAMENTO INIZIALE	57
CALCOLO DEL PESO DELLO STAMPO (approssimato).....	57
RAFFREDDAMENTO NELLO STAMPO.....	58
VELOCITA' DI RAFFREDDAMENTO.....	58
FRIGORIE NECESSARIE PER IL RAFFREDDAMENTO DELLO STAMPO	58
SPESSORE	62
PROPRIETA' DI RESA DEI VARI MATERIALI ALLO STAMPAGGIO	63
DETTAGLI COSTRUTTIVI.....	64
FRIGORIE NECESSARIE PER IL RAFFREDDAMENTO DELL'IMPIANTO OLEODINAMICO DELLA PRESSA	66
VALORI DI RAFFREDDAMENTO DELL'IMPIANTO OLEODINAMICO	66
CALCOLO DEL TONNELLAGGIO NECESSARIO ALLO STAMPAGGIO	67
GRUPPI DI CHIUSURA DELLO STAMPO.....	69
CONSIDERAZIONI SULLE DELLE COLONNE NELLA FASE DI CHIUSURA.....	72
CONSIDERAZIONI SULLE ROTTURE DELLE COLONNE DELLE GINOCCHIERE.....	74
CALCOLO DELL'ALLUNGAMENTO DELLE COLONNE NELLA FASE DI CHIUSURA.....	75
TABELLA DEI RIMEDI DI STAMPAGGIO (vecchia versione)	76
TABELLA DEI RIMEDI DI STAMPAGGIO (nuova versione).....	77
SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÁ DI MISURA: UNITÁ FONTAMENTALI.....	78
PREFISSI DEL SISTEMA INTERNAZIONALE	78
SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÁ DI MISURA: ALCUNE UNITÁ DERIVATE.....	79
SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÁ DI MISURA: ALTRE GRANDEZZE FISICHE.....	79
SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÁ DI MISURA: UNITÀ ACCETTATE	80
Altri sistemi di unità di misura: IL SISTEMA c.g.s.	80
Altri sistemi di unità di misura: IL SISTEMA ANGLOSASSONE.....	81
Altri sistemi di unità di misura: IL SISTEMA TECNICO.....	81

CONVERSIONI.....	83
FORMULE di Fisica.....	84