

La Termoformatura Di Materie Plastiche

Carlo Canella



A.A. 2010/2011

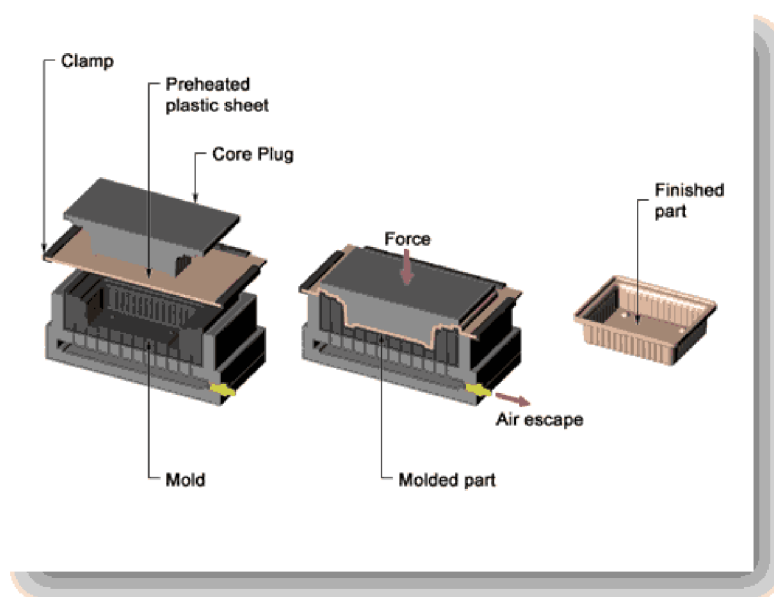
L'uomo ha imparato a dare forma alla materia da tempo immemore. Ha sviluppato tecniche diverse, sempre più complesse e innovative. Alcune sono state e sono tuttora strumenti per l'arte, altre hanno trovato maggiore applicazione nelle tecniche di produzione di oggetti o parti di apparecchi di varia utilità. Le materie plastiche sono state la rivoluzione del '900 in tutti i campi applicativi. La produzione di polimeri si è diversificata in famiglie sempre più complesse, ciascuna con specifiche caratteristiche chimico-fisiche e diverse applicazioni. Le tecnologie di trasformazione delle materie plastiche sono molte. Quelle che hanno avuto maggiori campi applicativi e maggiori quantità di pezzi prodotti, sono state sicuramente l'estrusione, la stampa a iniezione e la stampa per soffiaggio. La termoformatura è una tecnica di trasformazione delle materie plastiche tra le più antiche e longeve. Venivano realizzati con questa tecnica sonagli per bambini e anelli da dentizione in celluloidi già nel 1890. Ma la produzione industriale non crebbe se non dopo il 1930, con la realizzazione di lastre termoformabili di acetato di cellulosa e di acrilico. Le prime macchine da produzione in bobina furono realizzate in Europa dal 1930. La realtà economica moderna richiede prodotti con un ciclo di vita sempre più breve. Questi prodotti, inoltre, devono essere personalizzati sulle richieste e sui gusti dei clienti. Questo trend di abbandono delle produzioni di massa, e di diversificazione esasperata all'interno del singolo prodotto, in luogo di stabilizzarsi, sembra accelerare in modo inflativo ogni giorno di più. La termoformatura di componenti tecnici, grazie a macchine e stampi sempre più precisi ed una progettazione dei pezzi custom, sulle possibilità del processo, ha provato di essere più flessibile ed efficace a fronteggiare questa situazione; in altri termini sta prosperando. Ne è prova il suo tasso di crescita media annua, vicino alle due cifre, registrato in questi ultimi cinque anni negli Stati Uniti; a fronte invece della generale stagnazione del mercato dell'iniezione.

La termoformatura non si pone in antagonismo alle tecniche succitate, né raggiungerà mai gli stessi volumi di produzione, ma la varietà di applicazioni che permette è notevole e in certi casi insostituibile. Da un certo punto di vista è una tecnica che ha un suo fascino, perché permette di vedere il foglio di plastica che prende la forma dello stampo su cui si adagia, almeno in certi tipi di lavorazione (tipicamente nelle macchine per stampa da lastra o nelle piccole macchine prototipo). La forma dell'oggetto appare dalla planarità del foglio, obbligandolo a mantenerla per sempre.

Questa tesi si propone di visitare:

- *le varietà di applicazioni e i metodi produttivi*
- *le tecniche di stampa e i macchinari*
- *le attrezzature e le lavorazioni accessorie*
- *i materiali utilizzabili e utilizzati*

La termoformatura è una tecnologia che ha permesso la realizzazione di molteplici applicazioni e che difficilmente diverrà obsoleta per la duttilità che le è propria. Si conforma ai tempi mutevoli, così come il foglio di plastica segue docilmente le forme dello stampo con cui viene termoformato. Lo schema generale di tale processo può essere schematizzato come segue:



La termoformatura è una tecnologia molto semplice ed intuitiva, non si avvale della fusione, ma produce manufatti per mezzo della deformazione plastica di un semilavorato portato allo stato gommoso. Tecnica utilizzata sin dall'inizio del 1800, per formare artigianalmente, per sagomatura in stampi d'ulivo, piccoli oggetti in materia plastica naturale, si pressava una foglia ricavata da corna di bue o gusci di tartaruga, per ricavare pettini fermacapelli, coperchi di scatole portacipria, ecc. La termoformatura moderna parte da un semilavorato: una foglia in rotoli oppure una lastra piana. Ha delle analogie con il soffiaggio dei corpi cavi, dove viene deformato un semilavorato allo stato gommoso, una preforma iniettata oppure un tubo estruso. Analogamente all'estrusione-soffiaggio, il manufatto termoformato deve essere liberato dallo sfido con una lavorazione meccanica successiva (cesoiatura, contornatura con utensile rotante o taglio con laser). Il procedimento riesce a dare il meglio di sé nel caso di manufatti piuttosto grandi, moderatamente sagomati, a spessore costante, e con sottosquadra nelle possibilità della tecnologia. Lo stampo è uniface, modella il manufatto con una sola superficie, può essere sia positivo (stampo "maschio") sia negativo (stampo "femmina"); la sagomatura della lastra avviene principalmente per mezzo del vuoto, che agisce in modo da far aderire la lastra allo stampo freddo (da alcuni viene perciò detta vacuum-formatura), sino a che il manufatto non abbia raggiunto la temperatura di smodellamento. Vengono fatti con foglia (in genere, spessore meno di un mm) tutti i contenitori monouso. Due per tutti: i bicchierini del caffè delle macchinette aziendali, oppure i contenitori dello yogurt; entrambi prodotti con macchine molto veloci, dette linee di forma-trancia, con stampi in acciaio pluri-impronta riescono a produrre agevolmente oltre 25.000 pezzi ora. Una differenza, non da poco, è che la linea per i bicchierini del caffè è nelle mani di un imprenditore che lavora per conto terzi, produce bicchieri di varie misure o altri articoli affini "usa e getta", mentre le linee per i contenitori dello yogurt, oppure quelle per la produzione degli alveolari per le pillole farmaceutiche (blister), vengono considerate macchine di confezionamento e sistemate perciò all'inizio delle linee di riempimento del cliente finale, (talune addirittura in clean-room, -camera bianca- o in ambiente sterile). Sempre partendo da rotolo c'è da registrare una produzione d'imballi alveolari in foglia per conto

terzi, si tratta dei vassoi, interno cassetta, per il trasporto della frutta oppure interni scatola, spaziatori per dolci oppure, dopo floccatura, per l'imbollo di articoli vari di un certo pregio. Recentemente si è aggiunto un articolo tecnico in foglia di policarbonato o altro tecnopolimero trasparente, decorato, termoformato e fustellato; viene utilizzato dall'iniezione per la tecnica dell' "In mould decoration" (decorazione per mezzo di foglia trasparente sovrapressata) per componenti di cruscotti auto-veicolistici, e non solo, altrimenti impossibili a prodursi. Partendo da lastra singola (spessori fra i 2 e gli 8 mm) si ottengono gli articoli tecnici. A questo proposito c'è da registrare la produzione storica dei due componenti di base per il frigorifero: la controporta e la cella. Per questi articoli, nell'arco di oltre mezzo secolo, si sono evolute macchine specifiche in grado di produrre 70 celle oppure 120 controporte all'ora. Queste macchine specifiche, vere e proprie linee a più stazioni, non sono molto adatte a produrre l'articolo tecnico generico, molto diversificato e con tirature modeste; per questo settore si preferisce una macchina mono-stazione universale, con o senza caricatore automatico della lastra ed una stazione di riscaldamento in linea. L'isola di lavoro viene completata con una contornatrice a 5 o 6 assi per liberare lo sfrido. Il settore frigo ed auto-caravan richiede compositi con strato di schiuma poliuretana rigida, per cui, chi vuole servire questo settore, deve aggiungere alla cella di lavoro anche una schiumatrice per poliuretani. Le tipologie degli articoli riproducibili mediante termoformatura sono allestimenti per trattori agricoli, interno cabine e tettucci. Allestimenti interni per autocaravan e roulotte. Attrezzature e carrelli bio-medicali. Protesi per immobilizzare arti lesi. Fiancate per banconi frigo e postazioni di cassa per supermarket. Servizi sanitari e vasche da bagno. Parti di distributori automatici di bevande e di caffè. Allestimenti per motociclette. Passaruota e fascie esterne per autovetture. Allestimenti per barche in genere. Espositori per negozi. Insegne e pannelli luminosi di tutti i tipi. Pannelli per condizionatori. Carcasse e fianchetti per idropulitrici, allestimenti per de-cespugliatori e rasa erba, allestimenti per carrelli a forza e moto-pulitrici. Sempre più spesso: plance portastrumenti per fuoristrada ed autobus, per questi ultimi vengono fatti componenti anche per le cappelliere. Allestimenti in cabina per autocarri e veicoli industriali. Pannellaria per aerei

in tecnopolimero. Recentemente si sono visti pezzi molto estetici per gli interni delle autovetture di gamma elevata. C'è la diffusa convinzione che le macchine moderne dotate di cambio rapido stampi, programmazione computerizzata, controllo micrometrico dei movimenti, elementi radianti molto piccoli e pilotati singolarmente, controllo della temperatura della lastra con pirometri a raggi infrarossi, misuratori di spessore ad ultrasuoni integrati nello stampo, disponibilità di forza di chiusura sufficiente a fare il "pressure forming" (formatura a pressione, 100 ton ed oltre), stampi in alluminio poroso, l'utilizzo di "plug assist" dinamici, con il vuoto e la funzione di rilascio (sono spintoi per coadiuvare la formatura), l'assistenza del costruttore via ISDN per la diagnosi, la disponibilità di software di simulazione del processo di stiro, ecc., contribuiranno sempre di più ad estendere il campo applicativo, già grande, di questa tecnologia. È possibile inoltre confrontare i pro ed i contro della termoformatura rispetto allo stampaggio ad iniezione, suo principale concorrente:

	Termoformatura	Iniezione
Spessore del pezzo	Meno preciso, perché influenzato dallo stiro.	Controllabile con precisione.
Geometria del pezzo	Tecnologia adatta per pezzi non molto complessi.	I pezzi possono essere anche molto complessi ed intricati.
Accuratezza dimensionale	Tecnologia con quote precise solo su di una faccia del pezzo, nella faccia opposta le quote sono influenzate dallo spessore non costante del pezzo.	Tecnologia più precisa.
Tipi di materia prima	Non vi sono limiti, POM compreso. C'è da registrare un vantaggio poiché è possibile utilizzare lastre di due o più materiali diversi coestrusi, oppure lastre placcate con uno strato estetico più pregiato.	Quasi tutti i materiali sono iniettabili, ma il processo presuppone una fusione per cui non è possibile ottenere un manufatto con strati di materiale diverso, a meno di accettare i compromessi della coinjection.
Costo del polimero	Il semilavorato estruso costa mediamente 1,20 € al kg in più rispetto al granulo, per la sua trasformazione in lastra. C'è inoltre da conteggiare il costo della macinazione dello sfrido.	Quello del granulo.
Struttura del pezzo	La temperatura di processo e gli sforzi di stiro e formazione sono modesti, rispetto all'iniezione, per cui il manufatto, in genere, ha tensioni interne trascurabili.	Lo stampaggio ad iniezione crea microstrutture locali con caratteristiche molto diverse dal resto del pezzo, linee di giunzione dei flussi comprese.
Costo dello stampo	Dal 10 al 20 % del pari dimensione per l'iniezione.	Molto elevato.

Tempo di approntamento stampo per un pezzo medio da 800 * 400 * 300 mm.	Lo stampista del settore può consegnare lo stampo in meno di 6 settimane.	Al meglio 15 - 16 settimane.
Cambio dello stampo	Ormai da quasi 10 anni le termoformatrici per articolo tecnico consentono il cambio lavorazione in meno di 5 minuti, avviamento compreso.	Per cambi stampo e materiale non si riesce ad essere altrettanto veloci, a meno di avere macchine con il cambio rapido del plastificatore.
Scarti all'avvio della nuova produzione.	In genere da due a cinque stampate massime.	Se il cambio dello stampo è accompagnato dal cambio del materiale nel plastificatore e si produce un pezzo estetico, le puntature e le deturpazioni possono persistere per più ore.
Costo dell'impianto	Termoformatrice, di ultima generazione, con stazione di riscaldamento in linea, con una CNC leggera a 6 assi per la contornatura. L'isola di lavoro la si può allestire all'incirca con il costo di una macchina d'iniezione di pari dimensione.	L'isola di lavoro va completata con l'essiccatore del granulo, il termoregolatore dello stampo, il robot di scarico dei pezzi e l'allestimento del posto di lavoro.
Ingombro in pianta	L'isola di lavoro occupa circa il 50% in più di area rispetto ad una macchina ad iniezione.	L'isola di lavoro è più compatta.
Specificità	La termoformatura è l'ideale per pezzi di carrozzeria (o carcasse di copertura) con la dimensione maggiore all'interno della finestra 500 mm - 1800 mm ed oltre, con elevazioni di sagoma che possono raggiungere anche i 500 mm. Pezzi formati sostanzialmente da una estesa superficie in sagoma, con moderate zone in sottosquadra, a cui è associato uno spessore costante compreso fra 1,5 mm e 5 mm.	Tecnologia insostituibile per i pezzi del settore micro-tecnico come gli ingranaggi o pezzi anche medio-grandi, nervati ed intricati, con tirature elevate.
Consumo energetico	La termoformatrice consuma all'incirca metà dell'energia della pressa ad iniezione. C'è da aggiungere il modesto consumo della contornatrice.	Per plastificare e stampare, un'isola con una pressa ad iniezione, consuma mediamente 1 KWh per ogni kg di tecnopolimero trasformato.

La mia attività di stage si è svolta presso l'azienda INTERPROD S.p.A. sita in Montecchio Precalcino (VI). La suddetta azienda si occupa di termoformatura di materie plastiche, in particolare di polistirolo e ABS, nonché di polistirene in blend con polimetilmetacrilato. Interprod opera nel campo della termoformatura delle materie plastiche da oltre 10 anni, dispone di 4 macchine termoformatrici in grado di realizzare particolari fino a 2000 x 1300 mm e di un robot digitale per il taglio. Opera in un proprio stabilimento di circa 1800 mq coperti, impiegando 15 collaboratori. Le opzioni di taglio e foratura vengono effettuate con una macchina a controllo numerico digitale a 5 assi, la quale consente ottima precisione nelle misure ed accuratezza nelle

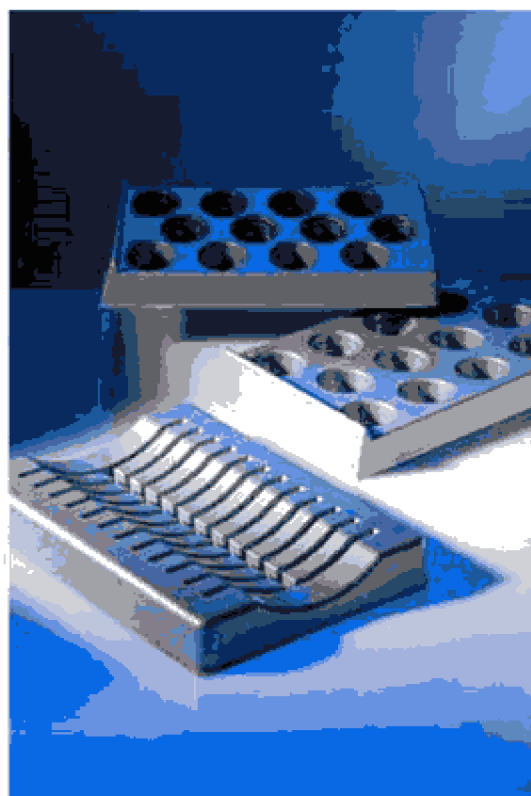
finiture, oltre che velocità di esecuzione. I prodotti possono essere completati con l'assemblaggio di rinforzi, inserti filettati, maniglie o accessori che consentono all'utilizzatore finale di avere in casa un prodotto finito senza la necessità di ulteriori lavorazioni. I particolari possono essere completati con l'iniezione di schiume poliuretatiche con densità sino a 400 gr/dm³ che garantiscono l'isolamento termico dove richiesto. I prodotti possono essere inoltre ultimati con una eventuale verniciatura di vario tipo, stampa serigrafica e altri tipi di personalizzazione.

CAMPI DI INTERESSE

La mia occupazione è stata quella di seguire il processo produttivo in tutte le sue fasi, dalle caratteristiche delle materie prime al raggiungimento del prodotto finito. Inoltre mi sono interessato al funzionamento dei macchinari necessari all'azienda, nonché delle norme di sicurezza che si pongono in atto in ambito industriale, in presenza quindi di possibili pericoli per l'incolumità degli addetti. Una delle mie mansioni è stata quella di registrare gli arrivi dei materiali provenienti dai fornitori e l'uscita dei materiali lavorati, attraverso il programma GALILEO.

Mi è stato chiesto un consulto da parte dell'azienda in merito ad un problema che si è posto durante una fase del processo produttivo, ed è stato quello di come incollare due oggetti in policarbonato tra di loro, in modo inoltre da formare un corpo unico. Altre volte l'azienda ha operato in tal modo, mediante l'uso di metiletilchetone per unire pezzi in ABS: granuli di ABS vengono infatti sciolti nel solvente, in modo da ottenere una soluzione più o meno collosa, che successivamente viene applicata sui due oggetti e lasciata riposare per circa

mezz'ora. Al termine del tempo di riposo il solvente (assieme ai granuli disciolti in esso) produce come effetto una continuità fisica tra i due pezzi trattati, che possono essere considerati come un corpo unico. Durante un tentativo su oggetti in policarbonato è emerso che il metiletilchetone è in grado di incollarli, ma con una sufficiente pressione orientata nella direzione della "sutura" i pezzi si staccano uno dall'altro, e quindi è stato necessario operare mediante la sostituzione del solvente.



MATERIALI IN USO



In questa sezione sono elencati tutti i materiali che sono usati dall'azienda, che includono l'ABS, PS, PMMA, PE, Poliuretano, Policarbonato, Metiletilchitone.

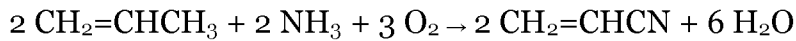
Inoltre è spiegata la funzione delle schede tecniche e delle schede di sicurezza relative ai suddetti composti.

L'acrilonitrile-butadiene-stirene o ABS, di formula chimica $(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$ è un comune polimero termoplastico utilizzato per creare materiali leggeri e rigidi come tubi, strumenti musicali (soprattutto il flauto dolce), teste di mazze da golf, parti o intere carrozzerie automobilistiche, come nella Citroën Méhari, e giocattoli come i famosi mattoncini della LEGO.

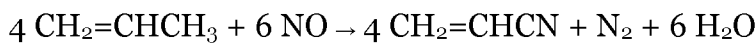
1. L'**acrilonitrile**:

è un composto chimico di formula $CH_2=CHCN$. Si presenta come un liquido incolore dall'odore pungente, spesso con colorazione giallina a causa della presenza di impurità. È un importante monomero utilizzato nella sintesi di materie plastiche. La sua struttura consiste in un gruppo vinilico CH_2CH- legato ad un nitrile $-CN$. L'acrilonitrile è utilizzato principalmente come monomero per la produzione di polimeri sintetici, specialmente il poliacrilonitrile per fibre acriliche. È anche un componente della gomma sintetica. La dimerizzazione dell'acrilonitrile produce adiponitrile, utilizzato nella sintesi di alcuni tipi di nylon. Piccole quantità sono utilizzate come fumigante. L'acrilonitrile e alcuni suoi derivati come il 2-cloro-acrilonitrile sono dei dienofili utilizzati nella reazione di Diels-Alder. Oggi quasi tutto l'acrilonitrile si produce industrialmente mediante due processi di ossidazione del propilene: uno con miscela di aria e ammoniacca detto ammonossidazione e l'altro con ossido di azoto.

- *Ammonossidazione.* Viene realizzata ad una temperatura di poco inferiore ai 500 °C e pressione max. 2 atm, in presenza di complessi del molibdeno che fungono da catalizzatori. L'equazione di reazione è la seguente:



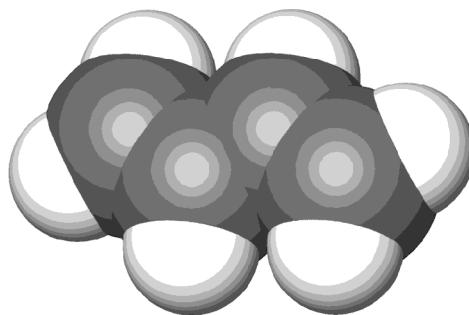
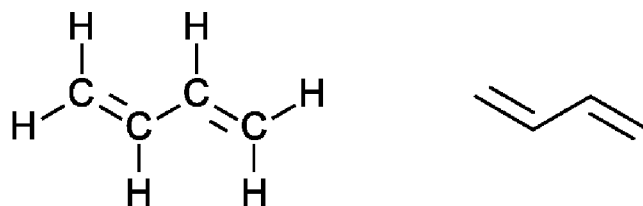
- *Ossidazione con ossido di azoto.* Viene condotta in un impianto simile a quello della ammonossidazione, operando ad una temperatura compresa tra 500-530 °C e utilizzando un catalizzatore costituito da argento finemente suddiviso e depositato su gel di silice o carborundum. La reazione è schematizzata nel seguente modo:



L'acrilonitrile è tossico ed altamente infiammabile, e subisce polimerizzazione radicalica esplosiva. Bruciando libera acido cianidrico e ossidi di azoto. L'acrilonitrile (che si forma ad esempio nella friggitura di patatine) è sospettato di essere cancerogeno (gruppo IARC 2B).

2. Il **butadiene**:

è un alchene composto da quattro atomi di carbonio ("buta" da butano) che presenta due doppi legami ("diene" da *di-* che indica due ed *-ene* che indica un doppio legame). Di seguito sono riportate le sue formule di struttura e una vista tridimensionale della molecola.



Nei dieni, a seconda dei numeri che precedono il nome della molecola, si possono avere diverse strutture che differiscono tra loro per la posizione dei due doppi legami. Ad esempio nell'1,3-butadiene, abbiamo una molecola organica composta da 4 atomi di carbonio e un doppio legame tra il carbonio 1 e il carbonio 2 e un altro doppio legame tra il carbonio 3 e il carbonio 4: $\text{CH}_2=\text{CHCH}=\text{CH}_2$. L'1,2-butadiene rappresenta il composto isomero di struttura. La reattività rispetta quella relativa agli alcheni, in più, quale diene coniugato, può subire addizione elettrofila 1,2 e 1,4: si ottengono delle miscele nelle quali a bassa temperatura predomina l'addotto 1,2 (cineticamente favorito) mentre a temperature maggiore prevale l'addotto 1,4 (termodinamicamente più stabile). Industrialmente si ottiene principalmente in tre modi:

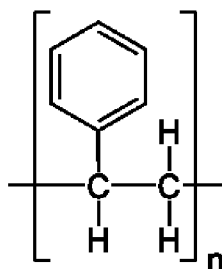
- isolandolo dalla frazione C_4 di steam cracking per la formazione di un complesso con acetato di cuproammonio;
- sintesi da n-butano: catalizzatore miscela $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CrO}_3$ in rapporto 4:1, pressione 0,2 atm, temperatura 650 °C;
- sintesi da etanolo, a temperatura 400-450 °C in presenza di ossidi metallici catalizzatori: $2 \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CHCH}=\text{CH}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$

Il butadiene viene utilizzato per preparare elastomeri quali il polibutadiene, il neoprene (importantissimo per quanto riguarda le protezioni riguardanti gli addetti, che possono venire in contatto con sostanze nocive) o copolimeri con lo stirene (l'SBS) o acrilonitrile. Piccole quantità sono utilizzate nella sintesi del nylon via adiponitrile. È usato anche per preparare industrialmente il ciclododecatriene, tramite trimerizzazione. Esposizioni acute al butadiene causano sintomi vegetativi quali disturbi visivi, vertigini, stanchezza generale, abbassamento della pressione sanguigna, mal di testa, nausea, diminuzione del battito cardiaco e svenimento. Diversi studi tossicologici indicano che una esposizione cronica al butadiene può causare malattie cardiovascolari e cancro. Recenti studi stanno valutando l'effetto sulla sfera riproduttiva. Nel campo dell'idraulica i tubi in ABS sono di colore nero, mentre quelli di PVC sono di colore bianco o arancione. L'ABS è un copolimero derivato dallo stirene polimerizzato insieme all'acrilonitrile in presenza di polibutadiene, e perciò può

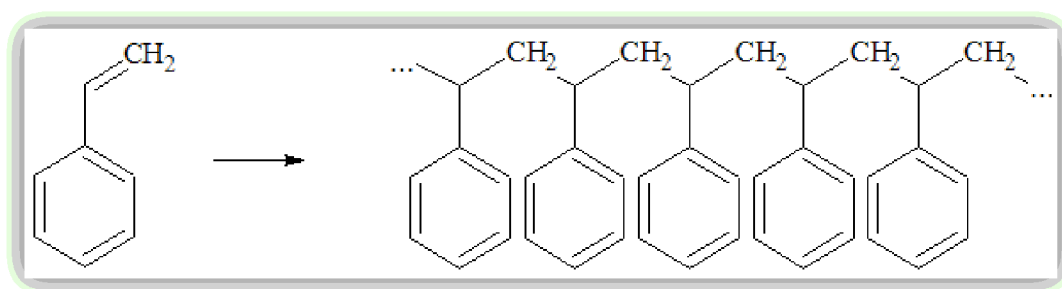
essere definito come termopolimero. Le proporzioni possono variare dal 15% al 35% di acrilonitrile, dal 5% al 30% di butadiene e dal 40% al 60% di stirene. I granuli di plastica in ABS della dimensione minore di 1 micrometro vengono utilizzati negli inchiostri per i tatuaggi poiché hanno la caratteristica di essere particolarmente vividi. L'ABS trova grande applicazione nella realizzazione di prodotti mediante l'utilizzo di macchine di prototipazione rapida che utilizzano tecniche produttive quali la FDM (Fluid Deposition Modelling).

POLISTIRENE

Il polistirene, o polistirolo, è il polimero dello stirene. È un polimero *termoplastico*, ovvero può essere fuso e rimodellato, dalla struttura lineare. A temperatura ambiente è una plastica rigida trasparente; oltre i 70 °C, al crescere della temperatura diviene sempre più plastico e scorrevole, inizia a decomporsi alla temperatura di 270 °C. Il polistirolo *espanso* si presenta in forma di schiuma bianca leggerissima, spesso modellata in sferette o *chips*, e viene usato per l'imbballaggio e l'isolamento. Chimicamente inerte verso molti agenti corrosivi, è solubile nei solventi organici clorurati (ad esempio diclorometano e cloroformio) trielina e in alcuni solventi aromatici (benzene, toluene) solvente nitro, acetone. Il monomero del polistirene è strutturato come segue:



La polimerizzazione dello stirene (spontanea benché lentissima anche a temperatura ambiente se lo stirene non contiene appositi composti “inibitori”) è una reazione di polimerizzazione per addizione che viene spesso iniziata da prodotti (detti “iniziatori”) capaci di produrre radicali, quali ad esempio i perossidi. Di seguito è riportata la reazione di polimerizzazione dello stirene:



La reazione è esotermica e la regolazione della temperatura deve essere tale da non permettere il surriscaldamento del reattore. Viene condotta in diverse modalità, in funzione del tipo di impianto e dei volumi di produzione coinvolti.

- *in massa*: il reattore contiene solo lo stirene e l'iniziatore, la temperatura viene mantenuta tra i 50 °C ed i 150 °C;
- *in sospensione*: lo stirene viene mantenuto sospeso in acqua per agitazione continua; l'aggiunta dell'iniziatore provoca la polimerizzazione delle gocce di stirene, che si trasformano in sferette di polimero;
- *in emulsione*: lo stirene viene mantenuto in emulsione in acqua attraverso opportuni prodotti tensioattivi.

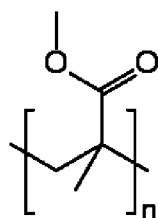
In funzione delle condizioni di reazione è possibile regolare la lunghezza delle catene polimeriche, che solitamente consistono di un numero di residui di stirene compreso tra 500 e 2000. La lunghezza della catena determina la viscosità del polimero. Il polistirene viene generalmente venduto in forma di sferette o piccoli *chips* trasparenti, adatti per essere fusi ed iniettati negli stampi o trasformati, per calandratura, in lastre per termoformatura o per

l'accoppiaggio. In forma non espansa il suo peso specifico è di 1000 kg/m^3 , è trasparente, duro, rigido, di discrete proprietà meccaniche e resistente a molti agenti chimici acquosi. È un ottimo isolante elettrico per condensatori, ed è praticamente anigroscopico. Una prerogativa che lo rende estremamente versatile è la facilità con cui può essere colorato, sia con tinte lucide che opache. L'aggiunta del colore può essere fatta al momento dello stampaggio (fondendo il polistirolo nello stampo del pezzo insieme al pigmento colorante) oppure prima dello stampaggio, inglobando il pigmento nella massa del polimero prima di ridurlo in *chips* per lo stampaggio. Con il polistirene viene realizzato un numero enorme di manufatti (contraddistinti dalla sigla PS) nei più disparati settori applicativi: domestico, industriale, alimentare. Il polistirolo si è sostituito negli anni ad altri materiali quali il vetro, l'alluminio, il legno per le sue proprietà meccaniche ed elettriche, la maggior parte dei piatti, bicchieri e posate di plastica sono di PS sia che siano colorati o no. Il polistirolo è inoltre utilizzato come materiale per la creazione di modelli al posto della cera nei processi di fonderia detti a microfusione (*lost foam*). Il vantaggio rispetto alla cera che deve essere sciolta e fatta uscire dallo stampo, è che il polistirolo a contatto con il metallo fuso sublima lasciando così la cavità vuota. È anche largamente utilizzato per i sistemi di isolamento a cappotto, in particolare viene utilizzato l'EPS 120 in pannelli di diverso spessore e di dimensioni da 100X50 centimetri.

A purple rectangular box containing the white text 'PMMA' in a bold, sans-serif font.

Il polimetilmetacrilato (in forma abbreviata PMMA) è una materia plastica formata da polimeri del metacrilato di metile, estere dell'acido metacrilico, noto anche con i nomi commerciali di Plexiglas, Perspex, Lucite, Vitroflex, Limacryl e

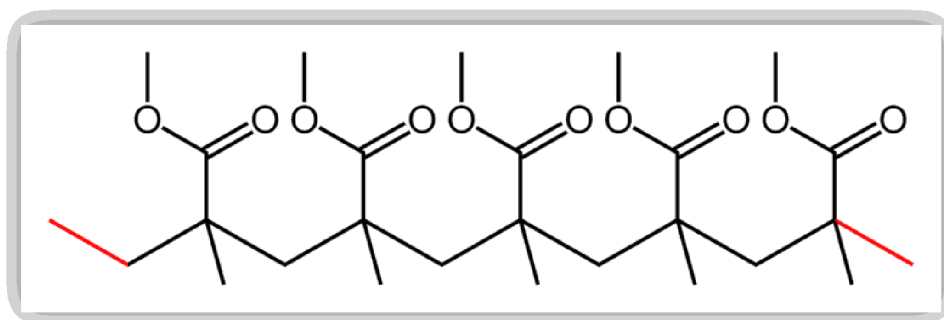
Resartglass. Nel linguaggio comune il termine metacrilato si riferisce generalmente a questo polimero. Questo materiale fu sviluppato nel 1928 in vari laboratori e immesso sul mercato nel 1933 dall'industria chimica tedesca Röhm. Di norma è molto trasparente, più del vetro al punto che possiede caratteristiche di comportamento assimilabili alla fibra ottica per qualità di trasparenza, e con la proprietà di essere più o meno in percentuali diverse, infrangibile a seconda della sua "mescola". Per queste caratteristiche è usato nella fabbricazione di vetri di sicurezza e articoli similari, nei presidi antinfortunistici, nell'oggettistica d'arredamento o architettonica in genere. Di seguito è riportata la formula di struttura del PMMA.



Il PMMA è spesso usato in alternativa al vetro; alcune delle differenze tra i due materiali sono le seguenti:

- la densità: quella del PMMA è 1,19 g/cm³, circa la metà di quella del vetro
- il PMMA è infrangibile
- il PMMA è più tenero e sensibile ai graffi e alle abrasioni; a questo generalmente si ovvia con un opportuno rivestimento
- il PMMA può essere modellato per riscaldamento a temperature relativamente basse (100 °C circa)
- il PMMA è più trasparente del vetro alla luce visibile
- A differenza del vetro, esistono alcune formulazioni del PMMA che non fermano la luce ultravioletta
- il PMMA è trasparente alla luce infrarossa fino a 2800 nm, mentre la luce di lunghezze d'onda maggiore viene sostanzialmente bloccata. Esistono specifiche formulazioni di PMMA atte a bloccare la luce visibile e a lasciar passare la luce infrarossa di un dato intervallo di frequenze (usate, ad esempio, nei telecomandi e nei sensori rivelatori di fonti di calore)

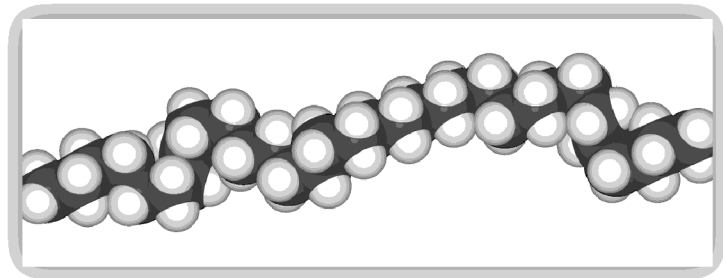
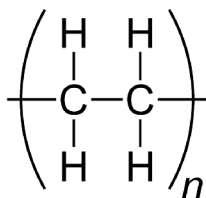
Pezzi di PMMA possono essere saldati a freddo usando adesivi a base di cianoacrilati oppure sciogliendone gli strati superficiali con un opportuno solvente (diclorometano o cloroformio). La giuntura che si crea è quasi invisibile. Gli spigoli vivi del PMMA possono inoltre essere facilmente lucidati e resi trasparenti. Il PMMA brucia in presenza di aria a temperature superiori a 460 °C; la sua combustione completa produce anidride carbonica e acqua. Analogo al PMMA, ma con un atomo di idrogeno al posto del gruppo metile (CH₃) che sporge dalla catena principale, è il polimetilacrilato, un polimero che si presenta come una gomma morbida. A titolo esemplificativo è riportata un'immagine della catena di PMMA.



Tra gli esempi delle sue applicazioni si annoverano i fanali posteriori delle automobili, le barriere di protezione negli stadi e le grandi finestre degli acquari. Viene usato anche nella produzione dei "laser disc" (videodischi) e occasionalmente nella produzione dei DVD; per questi ultimi (e per i CD) è tuttavia preferito il più costoso policarbonato, per via della sua migliore resistenza all'umidità. La vernice acrilica consiste essenzialmente di una sospensione di PMMA in acqua, stabilizzata con opportuni composti tensioattivi, dato che il PMMA è idrofobo. Il PMMA possiede un buon grado di biocompatibilità con i tessuti umani, viene per questo usato nella produzione di lenti intraoculari per la cura della cataratta. Anche le lenti a contatto rigide sono realizzate con questo polimero; alcuni tipi di lenti a contatto morbide sono invece realizzate con polimeri simili, dove però il monomero acrilico ospita sulla sua struttura uno o più gruppi ossidrilici, in modo da rendere il polimero maggiormente idrofilo, HEMA (idrossietilmetacrilato). In ortopedia il PMMA è usato come "cemento" per fissare impianti, per rimodellare parti di osso perdute

o "riparare" vertebre fratturate (Vertebroplastica). Viene commercializzato in forma di polvere da miscelare al momento dell'uso con metacrilato di metile (MMA) liquido per formare una pasta che indurisce gradualmente. Nei pazienti trattati in questo modo, l'odore del metacrilato di metile può essere percepibile nel loro respiro. Benché il PMMA sia biocompatibile, l'MMA è una sostanza irritante. Anche le otturazioni dentali sono realizzate con un "cemento" analogo. In chirurgia estetica, iniezioni di micro-sfere di PMMA sotto pelle vengono usate per ridurre rughe e cicatrici. Il PMMA è un materiale sensibile alla corrente che lo attraversa e perciò viene utilizzato anche nell'industria microelettronica nei processi di litografia elettronica. Utilizzato pure per l'elevata conducibilità della luce viene impiegato anche per la realizzazione di fibra ottica. In radiologia il perspex è usato per la creazione di fantocci usati per ricerca o per le prove di qualità. La migliore qualità di lastre in PMMA è certamente ottenuta per colata di uno "sciroppo" acrilico ottenuto prepolimerizzando in reattore agitato il monomero di MMA; La grande esotermia legata però alla polimerizzazione del prodotto rende possibile per la maggioranza dei produttori l'ottenimento di lastre di spessore non superiore ai 3cm. Oltre questo spessore pochi produttori al mondo possiedono impianti e tecnologie per polimerizzare il PMMA sotto forma di blocco fino a spessori anche superiori ai 400mm. Il destino primario di detti blocchi è artistico (come materia prima per sculture altrimenti non realizzabili con il cristallo), apparecchi medicali e lenti di grossa dimensione, finestrate per i sottomarini e pareti trasparenti per gli acquari oceanici.

Il politene (più comunemente noto come polietilene) è il più semplice dei polimeri sintetici ed è il più comune fra le materie plastiche. Viene spesso indicato con la sigla "PE", così come ad esempio si usa "PS" per il polistirene o "PVC" per il polivinilcloruro. Ha formula chimica $(-C_2H_4-)_n$ dove n può arrivare fino ad alcuni milioni. Le catene possono essere di lunghezza variabile e più o meno ramificate. Il polietilene è una resina termoplastica, si presenta come un solido trasparente (forma amorfa) o bianco (forma cristallina) con ottime proprietà isolanti e di stabilità chimica, è un materiale molto versatile ed una delle materie plastiche più economiche; gli usi più comuni sono come isolante per cavi elettrici, film per l'agricoltura, borse e buste di plastica, contenitori di vario tipo, tubazioni, strato interno di contenitori asettici per liquidi alimentari ("Tetra Brik Aseptic") e molti altri. Di seguito vengono riportati la formula di struttura e una vista tridimensionale del polimero.



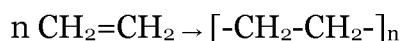
In base alla distribuzione dei pesi molecolari e al grado di ramificazione si ottengono tipi di polietilene con proprietà e usi differenti:

- Polietilene ad altissimo peso molecolare (UHMWPE): è un polietilene con peso molecolare medio compreso tra 3×10^6 e 6×10^6 u (secondo lo standard ASTM D4020). Ne risulta un materiale con catene ben impaccate nella struttura cristallina e molto resistente. Questo tipo di

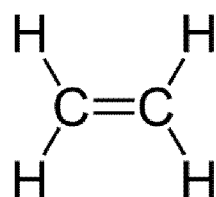
polietilene viene sintetizzato attraverso la polimerizzazione per coordinazione con metalloceni. Le particolari proprietà meccaniche lo rendono adatto, a differenza degli altri tipi più comuni di polietilene ad impieghi particolari, come ad esempio protesi e giubbotti antiproiettile.

- Polietilene ad alta densità (HDPE) o (PEAD): è un polietilene poco ramificato e ha quindi forze intermolecolari elevate e quindi maggior rigidità, viene generalmente sintetizzato attraverso polimerizzazione per coordinazione con un sistema catalitico di tipo Ziegler-Natta.
- Polietilene a bassa densità (LDPE): è molto più ramificato dell'HDPE, è quindi un materiale più duttile e meno rigido, viene generalmente sintetizzato attraverso polimerizzazione radicalica.
- Polietilene lineare a bassa densità (LLDPE): è sostanzialmente polietilene lineare, viene normalmente ottenuto per polimerizzazione di una miscela di etene e α -olefine (butene, esene, ottene) con catalisi di tipo Ziegler-Natta.
- Polietilene espanso.

Il polietilene si sintetizza a partire dall'etene (o etilene) secondo la reazione:



La molecola dell'etene è caratterizzata dal doppio legame fra gli atomi di carbonio che la rende particolarmente stabile:



Per questo motivo la reazione di polimerizzazione necessita di condizioni di reazione particolari. Per la produzione industriale ci sono diverse possibilità.

- *Polimerizzazione radicalica (o procedimento ad alta pressione)*: alte temperature (circa 80-300 °C), alte pressioni (circa 1.000-3.000 bar) e

presenza di iniziatori radicalici (quali ad esempio ossigeno o perossidi). Questo processo viene sfruttato per produrre polietilene a bassa e media densità.

- *Polimerizzazione per coordinazione (o procedimento ad bassa pressione)*: con l'uso di catalizzatori a base di metalli di transizione (ad esempio sistemi di catalisi Ziegler-Natta o catalizzatori di Philips). Questo processo si utilizza per produrre etilene ad alta densità.
- *Polimerizzazione con catalizzatori metallocenici*, di prima e di seconda generazione con processo in fase gas, e soluzione.

I catalizzatori di Ziegler-Natta sono un'ampia classe di catalizzatori capaci di orientare selettivamente la stereochimica delle reazioni di polimerizzazione degli 1-alceni (α -olefine), consentendo di ottenere polimeri isotattici o sindiotattici. La loro scoperta fruttò a Giulio Natta e Karl Ziegler il premio Nobel per la chimica nel 1963. I catalizzatori di Ziegler-Natta sono sistemi ottenuti dalla reazione di due componenti:

- un derivato, spesso un alogenuro, di un metallo di transizione compreso tra il IV e l'VIII gruppo del sistema periodico (ad esempio Ti, Zr, V, Nb, Cr, Mo, Co, Ni);
- un derivato alchilico, arilico o idrurico di un metallo non di transizione (ad esempio Li, Be, Mg, Al, Sn).

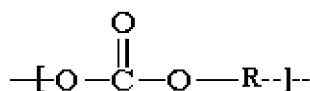
Dalla scelta dei due reattivi e dalle loro proporzioni dipende la reattività e la specificità del catalizzatore ottenuto; ad esempio il sistema formato da alogenuri di titanio e alluminio-alchili catalizza la formazione di polipropilene isotattico.

Tra i derivati dell'alluminio utilizzati per la preparazione dei catalizzatori di Ziegler-Natta si annoverano il metilalluminossano (MAO, di formula $[\text{CH}_3\text{AlO}]_n$) e il trietilalluminio, $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Al}$. Di seguito è riportata una tabella con le caratteristiche dei fogli di HDPE.

PROPRIETA	VALORE	ISO
Specific Density (23°C)	955 Kg/m ³	1183
Hardness Shore D	65	868
Vicat Softening Point	125 °C	306A
Izod Notched Impact Strenght (23°C)	80 J/m	180
Yield Tensile Strenght	27 Mpa	527
Ultimate Tensile Strenght	28 Mpa	527
Ultimate Tensile Elongation	> 500%	527
Flexural Modulus	1250 Mpa	178
Esc Resistance	40 h	ASTM D 1693

POLICARBONATO

Un policarbonato è un generico poliesteri dell'acido carbonico avente formula di struttura:



I policarbonati resistono agli acidi minerali, agli idrocarburi alifatici, alla benzina, ai grassi, agli oli, all'acqua sotto i 70 °C e agli alcoli tranne l'alcol

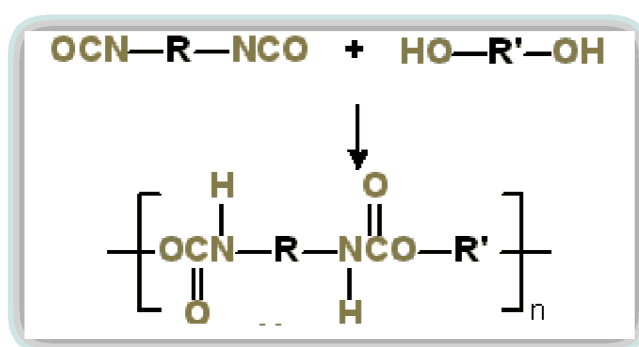
metilico. Al di sopra di tale temperatura l'acqua attacca il polimero favorendo una graduale decomposizione chimica. La biodegradabilità è scarsa e richiede tempi lunghi. A seconda della polimerizzazione i policarbonati di bisfenolo A hanno pesi molecolari medi che variano tra 20.000 e 200.000. I policarbonati con pesi tra 22.000 e 32.000 vengono processati per iniezione (viscosità intrinseca $[\eta]=0.45-0.58$ dL/g a 30 °C in diclorometano), mentre quelli con pesi superiori a 60.000 ($[\eta]=0.95$ dL/g) hanno un'alta viscosità del fuso e devono essere processati in soluzione. Le proprietà meccaniche, quali allungamento, carico a rottura, resistenza all'urto e alla flessione, mostrano un rapido aumento con il peso molecolare fino a raggiungere un plateau per valori del peso molecolare intorno ai 22.000, peso per il quale è ancora garantita una buona lavorabilità per estrusione e stampaggio. Di fondamentale importanza ai fini delle applicazioni del policarbonato è la sua elevata tenacità. Il policarbonato è sensibile all'intaglio, con conseguente riduzione della resistenza a fatica. In caso di usura può essere impiegato solo limitatamente. Il policarbonato di bisfenolo-A presenta un elevato indice di rifrazione (1.584) dovuto al suo carattere aromatico. La trasparenza e l'assenza di colore permettono una permeabilità alla luce dell'89% nello spettro del visibile. Gli UV vengono assorbiti e causano ingiallimento, si utilizzano perciò degli stabilizzatori come i benzotriazoli o delle protezioni applicate sulla superficie esposta agli agenti atmosferici. La trasparenza del policarbonato, unita alle proprietà meccaniche, fa di esso il sostituto naturale del vetro, a differenza del quale è curvabile a freddo. Il policarbonato presenta una struttura molecolare stericamente impedita, ciò limita la libertà di rotazione attorno ai legami assiali della catena polimerica con conseguente irrigidimento della stessa. Di conseguenza l'impaccamento delle macromolecole risulta difficile, e la cristallizzazione non avviene spontaneamente. Il polimero può cristallizzare attraverso prolungato riscaldamento ad elevata temperatura (180 °C per otto giorni) o per stiramento dei film a 186 °C. I policarbonati altamente cristallini fondono a circa 260 °C e sono meno solubili di quelli amorfi, hanno un'alta capacità di concentrare la luce e sono usati per produrre lenti. Di contro presentano il problema di avere una superficie tenera e graffiabile. La temperatura di transizione vetrosa è di 150 °C, alta se paragonata a quella di molti altri polimeri, il polistirene presenta

ad esempio una Tg di 100 °C. Un elevato valore di Tg è sintomo di stabilità dimensionale come pure di una notevole resistenza alla frattura sotto carico, determina inoltre il valore massimo limite della temperatura di uso del materiale per il mantenimento delle proprietà. Il modulo elastico resta costante anche fino a 130 °C. Esistono però anche dei problemi connessi con tale alta temperatura di transizione vetrosa, problemi legati soprattutto alla lavorabilità. L'estrusione del policarbonato prevede infatti temperature intorno ai 300 °C e ciò richiede macchine e stampi speciali, differenti da quelli utilizzabili per la maggior parte delle materie plastiche. I policarbonati vengono usati nei più svariati campi di applicazione: nell'ottica per le lenti degli occhiali, nell'elettronica per i computer e per i compact disc (ove un suo derivato è la carta a memoria ottica), nel settore dei trasporti per i caschi e per le coperture dei fanali. Nel campo medico il policarbonato ha trovato largo impiego: la possibilità di sterilizzare gli oggetti di tale materiale ne ha permesso l'utilizzo nelle apparecchiature per la dialisi artificiale e per la cardiocirurgia, per la prima infanzia e le cure domiciliari (biberon, aerosol, incubatrici). Nell'edilizia civile ed industriale i pannelli in policarbonato, grazie alla loro leggerezza, luminosità, resistenza e versatilità, vengono utilizzati per realizzare coperture e finestrate; e sono sfruttati per le loro caratteristiche anche nel campo del design. Molto utilizzato anche per l'estrusione di tubi.

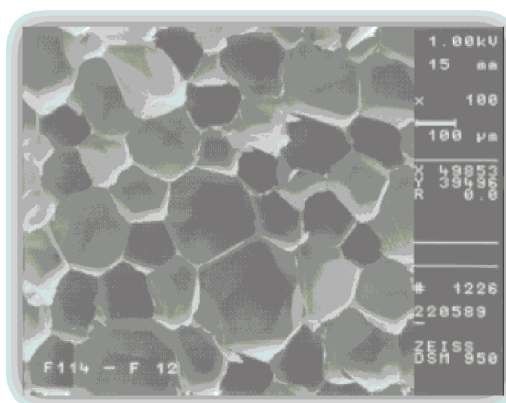
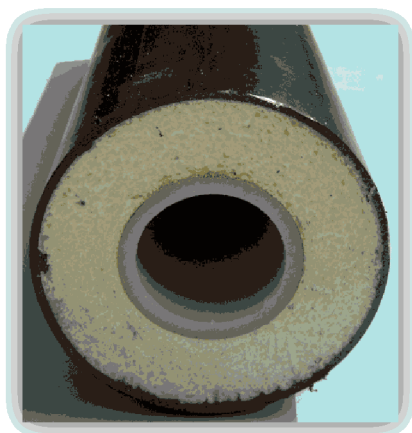
POLIURETANO

Con il termine poliuretano si indica una vasta famiglia di polimeri termoindurenti in cui la catena polimerica è costituita di legami uretanici -NH-(CO)-O-. I poliuretani sono fondamentalmente ottenuti per reazione di un di-

isocianato (aromatico o alifatico) e di un poliolo (tipicamente un glicole polietilenico o poliesteri), in più vengono aggiunti dei catalizzatori per migliorare il rendimento della reazione e altri additivi che conferiscono determinate caratteristiche al materiale da ottenere; in particolare: "surfattanti" per modificarne l'aspetto superficiale, ritardanti di fiamma, e/o agenti espandenti (nel caso in cui si vogliano produrre delle schiume). Si riporta di seguito la reazione di sintesi di un poliuretano a partire da un di-isocianato e da un diolo.

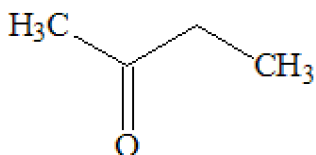


I poliuretani espansi morbidi sono schiume flessibili utilizzate soprattutto per produrre materassi e imbottiture. Con la tecnica di iniezione a bassa pressione o colatura su stampo è possibile ottenere imbottiture preformate già pronte per la posa in opera. Nelle immagini viene riportato un esempio di utilizzo della schiuma poliuretanic, e una vista della sua microstruttura al microscopio.



METILETILCHETONE

Il metiletilchetone (o MEK) è un chetone, composto da un gruppo carbonile a cui risultano legati un gruppo etilico e un gruppo metilico. A temperatura ambiente si presenta come un liquido incolore dall'odore di solvente. È un composto molto infiammabile e irritante. Viene utilizzato come standard interno in gascromatografia nella determinazione del benzene nelle benzine per autotrazione e viene aggiunto nell'alcool etilico come denaturante (in genere in soluzione con tiofene, denatonium benzoato, e colorante inorganico Reactive Red 24), in quanto la miscela etanolo-MEK non è separabile per distillazione. Viene utilizzato come solvente durante la lavorazione del legno. Il metiletilchetone è irritante per gli occhi. L'intossicazione da metiletilchetone può portare a conseguenze più o meno gravi, tra cui polineuropatia. Viene riportata la sua formula di struttura:



LE SCHEDE TECNICHE E LE SCHEDE DI SICUREZZA

Ogni volta che l'azienda effettua un acquisto di materie prime, quali lastre di materiale polimerico, ma anche collanti, solventi, essa riceve dal fornitore una scheda tecnica per ogni singolo prodotto acquistato. In tale scheda allegata al materiale sono riportati tutti i valori e le caratteristiche meccaniche del prodotto, come ad esempio modulo elastico, carico di snervamento, temperatura di rammollimento. Di seguito è riportato un esempio di scheda tecnica relativa ad un lotto di polistirene.

“Scheda tecnica: MP STIR”

	PROPRIETA'	VALORE	METODO DI PROVA
	Peso Specifico	1,05 g/cm ³	ISO 1183
TRAZIONE	Carico di Snervamento	18 N/mm ²	ISO R-527
	Modulo Elastico	1850 N/mm ²	ISO R-527
	Carico di Rottura	21 N/mm ²	ISO R-527
RESILIENZA	Izod con Intaglio a 23°C	100 J/m	ISO 180/4A
	Charpy con Intaglio a 23°C	8 KJ/m ²	ISO 179
TEMPERATURA DI RAMMOLL.	Vicat B50 (50N)	88 °C	ISO 306

È ottenuto con un processo di estrusione di uno o più strati di POLISTIRENE ANTIURTO, con proprietà meccaniche variabili secondo le esigenze del cliente. La grande gamma di materie prime utilizzate permette di soddisfare esigenze che vanno dalle proprietà del miglior POLISTIRENE ANTIURTO (ottima resistenza all'urto, ottima elasticità), alle proprietà del POLISTIRENE CRISTALLO (bassa resistenza all'urto ma ottima rigidità). È estruso in lastre e in bobine in una vasta gamma di colori, mono e bicolore, lucido, semilucido e opaco, liscio e, nella produzione di lastre, in diverse grane di goffatura. È fornito, su richiesta, con trattamento anti UV che rallenta l'invecchiamento e il viraggio dei colori nel tempo. È prodotto, su richiesta, in conformità ai requisiti della direttiva CEE "materie plastiche destinate a venire a contatto con alimenti" e suoi emendamenti, e accompagnato da relativa dichiarazione di idoneità. Viene allegata una tabella con le caratteristiche meccaniche delle lastre di polistirene MP STIR.

Si riporta inoltre una scheda tecnica relativa ad un lotto di ABS.

"Scheda tecnica: LAC500"








	PROPRIETA'	VALORE	METODO DI PROVA
	Peso Specifico	1,05 g/cm ³	ISO 1183
TRAZIONE	Carico di Snervamento	42 N/mm ²	ISO R-527
	Modulo Elastico	2250 N/mm ²	ISO R-527
	Carico di Rottura	n.p.	ISO R-527
RESILIENZA	Izod con Intaglio a 23°C	200 J/m	ISO 180/4A
	Charpy con Intaglio a 23°C	15 KJ/m ²	ISO 179
TEMPERATURA DI RAMMOLL.	Vicat B50 (50N)	100 °C	ISO 306

È ottenuto con un processo di estrusione di ABS (copolimero di ACRILONITRILE – BUTADIENE – STIRENE). È caratterizzato da una resistenza meccanica media, rigidità elevata e buone proprietà fisiche. È estruso in lastre in una vasta gamma di colori, lucido e in due diversi gradi di opacità, liscio e in diverse grane di goffratura. È fornito, su richiesta, con trattamento anti UV che rallenta l'invecchiamento e il viraggio dei colori nel tempo. È prodotto, su richiesta, in conformità ai requisiti della direttiva CEE “materie plastiche destinate a venire a contatto con alimenti” e suoi emendamenti, e accompagnato dalla relativa dichiarazione di idoneità. Viene allegata una tabella con le caratteristiche meccaniche delle lastre di ABS LAC500.

Le schede di sicurezza, invece, sono degli allegati ai prodotti i quali informano l'azienda acquirente dei rischi che si possono correre con un uso scorretto e/o non preparato del prodotto. Queste schede infatti contengono tutte le normative e le leggi che regolano l'uso di sostanze che possono anche essere nocive per inalazione, per contatto, irritante per gli occhi, le vie respiratorie e la pelle. La scheda di sicurezza è suddivisa in:

- Identificazione del prodotto e della società, con il nome commerciale del composto, la descrizione chimica, il fornitore e il numero telefonico di chiamata urgente.
- Composizione e informazioni sugli ingredienti, dove può essere indicata la percentuale in peso dei vari costituenti e l'entità della loro pericolosità (come ad esempio “Xn Nocivo”, “R20 Nocivo per inalazione”, “R42/43 può provocare sensibilizzazione per inalazione e contatto con la pelle”).
- Identificazione dei pericoli, dove sono indicate le possibili reazioni che possono incorrere comunemente (come ad esempio “il prodotto a contatto con l'acqua reagisce con sviluppo di calore e anidride carbonica”, oppure “il prodotto può provocare a lungo termine effetti negativi per l'ambiente acquatico, essendo difficilmente degradabile e/o bioaccumulabile).
- Misure di primo soccorso, ovvero come comportarsi in caso di contatto con la pelle, contatto con gli occhi, ingestione, inalazione ecc.

- Misure antincendio, cioè quali sono gli estintori raccomandati e quali quelli vietati, quali sono i rischi da combustione e i mezzi di protezione (ad esempio indossare stivali in PVC).
- Misure in caso di fuoriuscita accidentale, con precauzioni individuali, precauzioni ambientali (“contenere le perdite con terra o sabbia”), e metodi di pulizia (“se il prodotto è in forma liquida impedire che penetri nella rete fognaria”).
- Manipolazione e stoccaggio, dove vengono indicate le materie non compatibili con il prodotto (ad esempio sostanze contenenti gruppi H attivi, come le ammine e gli alcoli, perché potrebbe generarsi una reazione esotermica).
- Controllo dell’esposizione/protezione individuale, ovvero misure precauzionali da prendere nei locali dove il prodotto è stoccato e/o manipolato. Quali tipi di protezioni individuali è necessario avere in presenza del composto.
- Proprietà fisiche e chimiche, come l’aspetto e il colore, l’odore, il punto di infiammabilità, la densità relativa, idrosolubilità, viscosità dinamica, punto di auto ignizione.
- Stabilità e reattività.
- Informazioni tossicologiche.
- Informazioni ecologiche.
- Considerazioni sullo smaltimento.
- Informazioni sul trasporto.
- Informazioni sulla regolamentazione, ove sono riportate le sigle dei vari pericoli che si possono incontrare, secondo la normativa vigente.

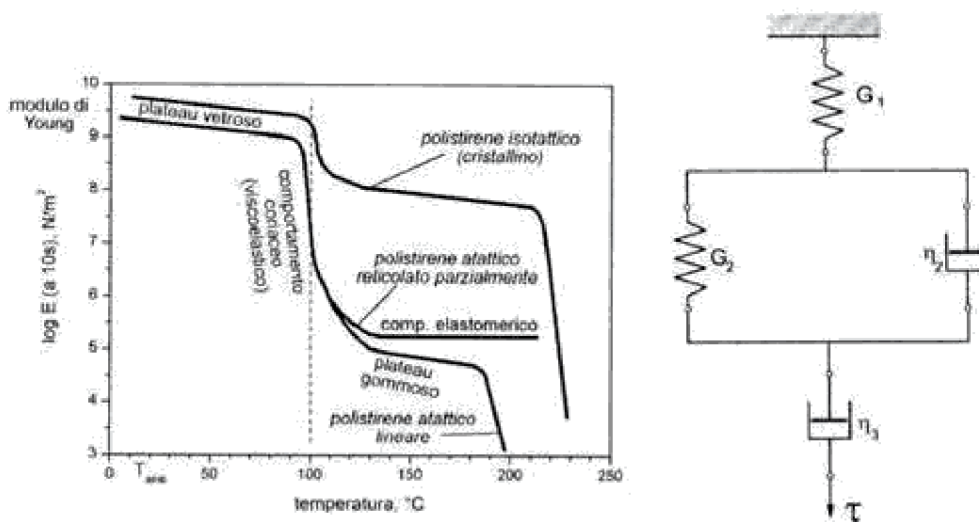
SIMBOLI ED INDICAZIONI DI PERICOLO DA UTILIZZARE PER L'ETICHETTATURA DEI PREPARATI E/O SOSTANZE PERICOLOSE		
SIMBOLO	IDENTIFICAZIONE DEL SIMBOLO	INDICAZIONE DI PERICOLO
	E	• Esplosivo
	O	• Comburente
	F F+	• Facilmente infiammabile • Estremamente infiammabile
	T T+	• Tossico • Molto tossico
	Xn	• Nocivo
	Xi	• Irritante
	C	• Corrosivo
	N	• Pericoloso per l'ambiente

IL PROCESSO PRODUTTIVO

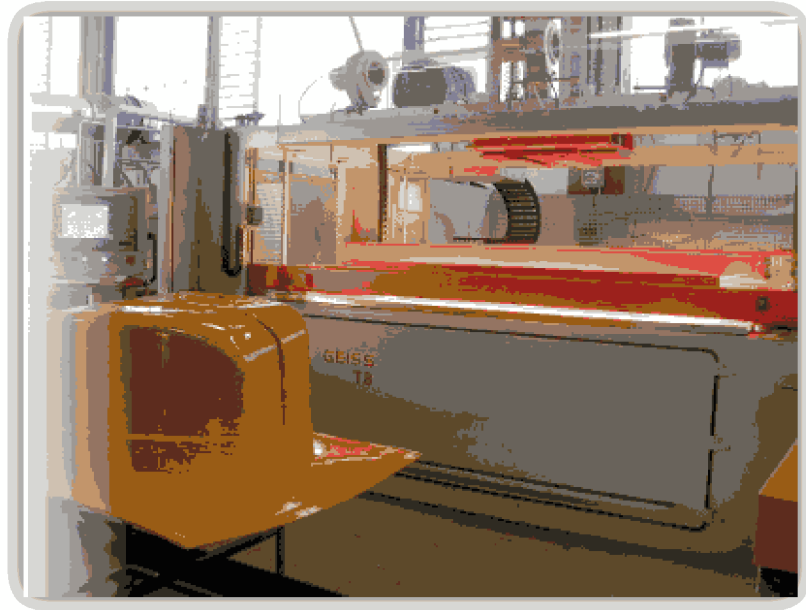
In questa sezione è spiegato il processo produttivo in tutte le sue fasi, con particolare attenzione alla tecnica della termoformatura, sulla quale si basa la produzione in serie dell'azienda.

Inoltre si include una spiegazione della funzione delle pompe per vuoto, parte integrante di una macchina termoformatrice, una valutazione dei vantaggi e dei limiti derivanti dall'uso della termoformatura, e una descrizione dei prodotti finiti.

In questa tecnologia delle lastre sottili o film di polimero termoplastico, vengono rammolliti (ma mantenuti sufficientemente rigidi da non cedere sotto il proprio peso) e appoggiati ai bordi superiori dello stampo, cavo. Attraverso dei fori praticati nella parte inferiore dello stampo si fa il vuoto e si scalda la lastra, in modo tale che la lastra viene risucchiata contro le pareti e il fondo dello stampo, per effetto della differenza di pressione che si genera tra la sua parte superiore e quella inferiore. Successivamente si raffredda. Per rammollire la lastra si usano i raggi infrarossi, infatti tale radiazione (termica) viene assorbita dalla parte superficiale del polimero, e poi deve essere trasmessa rapidamente alla parte interna, il che limita lo spessore massimo della lastra, in quanto i polimeri è cattivo conduttore del calore. I polimeri termoplastici presentano diversi comportamenti meccanici a seconda della temperatura alla quale si trovano. A temperature basse il comportamento è completamente elastico, infatti il polimero è allo stato vetroso. All'aumentare della temperatura si assiste ad un calo del modulo elastico che, in corrispondenza della temperatura di transizione vetrosa (T_g), crolla di ben 3 ordini di grandezza e il comportamento diviene così viscoelastico. A temperature ancora superiori si ha un comportamento prima gommoso e poi viscofluido. A questo punto il polimero diventa un fuso viscoso che scorre reversibilmente e può subire importanti operazioni di formatura. Il modello meccanico che descrive completamente questi fenomeni è quello a quattro elementi costituito dalla serie formata da una molla e un ammortizzatore, e un parallelo molla-ammortizzatore, riportato di seguito.



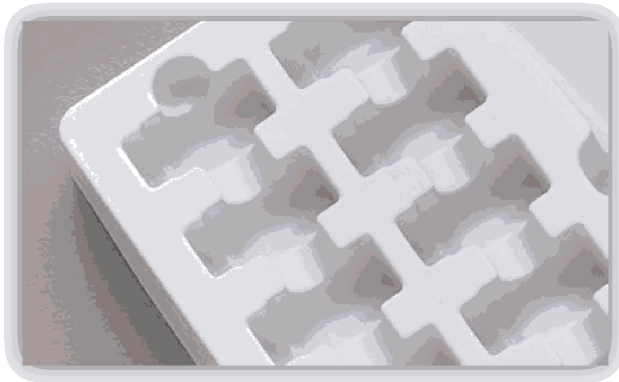
Poiché la lastra deve rammollire ma non deve deformarsi da sola, essa verrà portata allo stato gommoso. Se lo stampo è profondo è opportuno imporre la forma voluta alla lastra avvalendosi, oltre che del vuoto, di un punzone (con la forma esatta della cavità) che agisce superiormente alla lastra comprimendola entro lo stampo. Lo spazio sottile che resta tra punzone e stampo deve corrispondere esattamente allo spessore del manufatto. Quando oltre al vuoto si applica una sovrappressione con il pistone, questa deve precedere l'applicazione del vuoto. Con questa tecnica non si possono raggiungere grandi valori di stiro, per evitare l'assottigliamento del polimero e la sua rottura. Valori più elevati di stiro si possono ottenere con la formatura "positiva", in cui anziché una forma negativa (stampo concavo) viene usato uno stampo convesso, contro il quale il film è schiacciato dall'azione del vuoto. Il raffreddamento dell'oggetto è ottenuto mediante il mantenimento della temperatura ambiente sugli stampi. Per rimuovere il pezzo dallo stampo, quando è sufficientemente rigido, viene insufflata aria compressa attraverso gli stessi fori che servono a creare la depressione.



La differenza di pressione sulla faccia superiore e su quella inferiore della lastra, che costituisce la forza motrice del processo, genera degli sforzi biassiali che producono grandi deformazioni del materiale e determinano l'orientamento delle sue macromolecole. È importante che la deformazione massima raggiunta nella termoformatura non superi il valore critico che provoca la rottura. Tale valore è funzione della temperatura (se cresce la temperatura cresce anche il massimo allungamento possibile), e della velocità di deformazione (al crescere della quale il materiale diviene più rigido e meno deformabile) e viene determinato sperimentalmente.

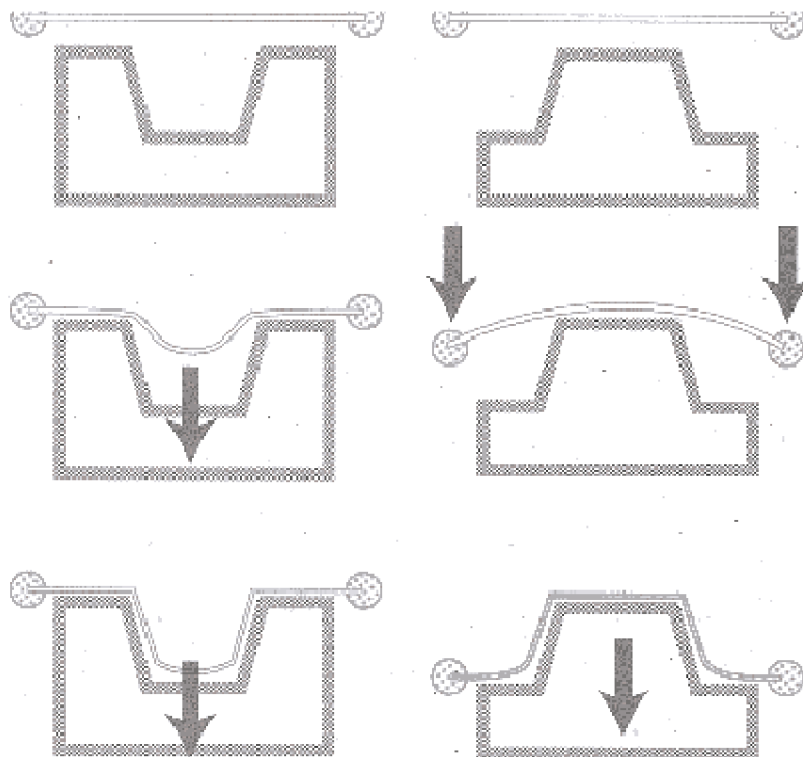


Si parla di termoformatura a stampo positivo quando si forza il semilavorato ad aderire a una forma convessa tramite la creazione del vuoto in opportuni punti dello stampo; questo metodo, pur essendo limitato come il precedente nella



profondità di stampaggio, consente di termoformare semilavorati a spessore maggiore in quanto, oltre al vuoto, viene applicata una pressione addizionale dovuta all'interferenza del piano della cornice prenilastra con lo

stampo. La termoformatura a stampo positivo - negativo è un compromesso dei due precedenti sistemi:

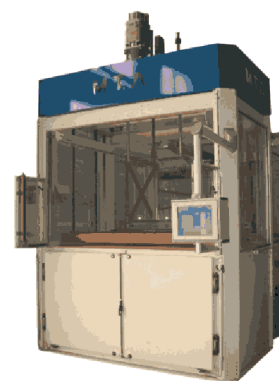


in essa si forza il semilavorato ad aderire a una forma positiva e negativa rispetto al piano della cornice prenilastra, sempre tramite la creazione del

vuoto in opportuni punti dello stampo; il vantaggio di questo metodo risiede essenzialmente nella maggiore profondità. Dalla termoformatura sottovuoto e da quella classica ne derivano altre che impiegano controstampi o punzoni atti ad agevolare la formatura del semilavorato; queste tecnologie possono essere avviate con preformature a soffiatura e concluse con l'azione di una pressione di mantenimento positiva. La termoformatura deve avvenire al di sopra della temperatura di transizione vetrosa, con il materiale ancora allo stato gommoso. Uno dei limiti della termoformatura è la bassa velocità di produzione per macchine a lastra, mentre è alta per le macchine a bobina.

MACCHINE TERMOFORMATRICI

L'estrema razionalizzazione delle macchine termoformatrici elettromeccaniche ha consentito anche la realizzazione di versioni pneumatiche, che derivando dalle prime coniugano quindi la robustezza con la loro semplicità, senza però averne la vasta gamma di regolazioni ed armonia dei movimenti o la notevole versatilità di applicazioni, ma vantando in compenso un costo più abbordabile. La gamma delle macchine termoformatrici è articolata nelle seguenti quattro serie:



- **TLS:** serie monostazione, suddivisa nelle due versioni elettromeccanica (TLSM) e pneumatica (TLSP). Rappresenta la macchina base, con il minimo di automazione e adatta per basse produttività.

- **TLA:** serie con carico e scarico automatico, suddivisa nelle due versioni elettromeccanica (TLAM) e pneumatica (TLAP). Rappresenta la prima evoluzione della base, con un primo stadio di automazione ed adatta per medie/basse produttività.
- **TLC:** serie con preriscaldamento suddivisa nelle due versioni elettromeccanica (TLCM) e pneumatica (TLCP). Rappresenta un'ulteriore evoluzione della TLA, con un grado più evoluto di automazione e adatta per medie produttività.
- **TLI:** serie in linea, realizzata solo nella versione elettromeccanica, rappresenta l'evoluzione più estrema delle termoformatrici da lastra, con un grado elevatissimo di automazione e adatta per alte produttività.

Le termoformatrici con preriscaldamento (serie TLC) sono adatte alla lavorazione in ciclo automatico di materiali termoplastici in lastra per medio-grandi



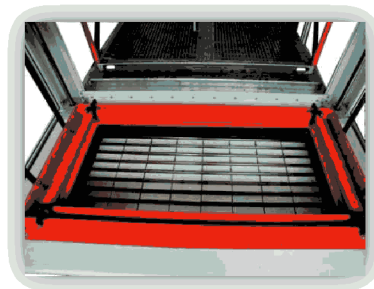
produzioni, con spessori da 1 mm fino a 15 mm e larghezza fino a 1500 mm. Sono macchine composte da una stazione di caricamento automatico delle lastre, una di preriscaldamento, una di riscaldamento e formatura e una di scarico della stampata. La traslazione delle lastre nelle varie

stazioni operative avviene mediante un sistema di trasporto a catena azionato da un motore brushless. Le maglie interne di queste catene sono munite di arpioncini d'ancoraggio che consentono di ridurre al minimo lo sfrido laterale. La presenza della stazione di pre-riscaldamento rende queste macchine adatte ad esigenze di media produttività in quanto questa stazione permette di accelerare la velocità di lavoro ed inoltre consente di poter riscaldare meglio il materiale plastico nel "cuore" e di ottenere quindi anche una migliore qualità del prodotto finale. Questa serie è realizzata in due versioni, una con azionamenti

elettromeccanici (TLCM) ed una con azionamenti pneumatici (TLCP). La gestione dell'intera macchina é affidata ad un potente PLC che controlla tutti gli automatismi e regola anche il sistema di riscaldamento e ad un pannello operatore evoluto dal quale è possibile comandare e diagnosticare l'intero macchinario, impostare, visualizzare e memorizzare tutti i dati macchina, nonché impostare i parametri per i nuovi stampi, anche mentre la macchina sta lavorando. Queste macchine sono dotate di un caricatore automatico lastre costituito da uno o due carrelli con base basculante per il posizionamento del pacco lastre, un sistema di precentraggio, un sistema di separazione doppio foglio e un pick-up per il sollevamento di ogni singola lastra ed il suo caricamento nel trasportatore a pinze. Il riscaldamento della lastra viene ottenuto per mezzo di uno o due pannelli di riscaldamento disposti a sandwich e dotati di resistenze elettriche, controllata e diagnosticate singolarmente. Ogni elemento di riscaldamento é montato all'interno di parabole riflettenti in materiale speciale, che aumenta l'irraggiamento e limita le dispersioni di calore. In caso di emergenza o in caso un'eccessiva flessione della lastra, rilevata da una fotocellula di sicurezza, i pannelli si allontanano dalla lastra. Le macchine possono essere dotate di un sistema di bloccaggio automatico dello stampo; le operazioni di cambio degli stampi e delle riduzioni avvengono dal basso. Il movimento del piano mobile é del tipo compatto, sia nella versione TLCP che in quella TLCM, che permette quindi l'eliminazione della fossa. Il ciclo della termoformatrice TLC si può sintetizzare nelle seguenti fasi:

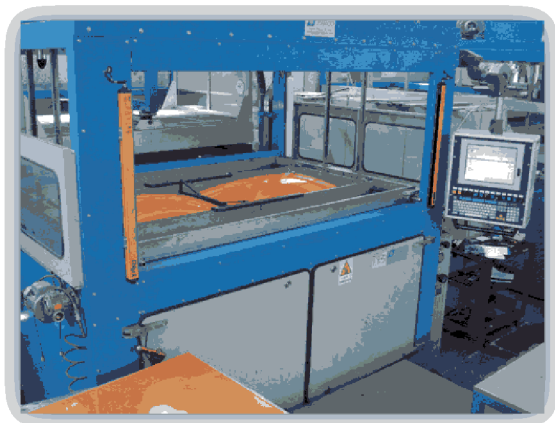


1. La lastra viene singolarizzata dal pacco e depositata sul sistema di trasporto mediante un sistema a ventose.
2. Il sistema di trasporto a catene porta la lastra nella stazione di preriscaldamento.
3. Nella stazione di preriscaldamento il materiale viene riscaldato da uno o due pannelli di riscaldamento fino alla temperatura impostata



tramite il pirometro o il temporizzatore: durante questa fase una fotocellula comanda l'immissione dell'aria di sostentamento necessaria per compensare la flessione della lastra.

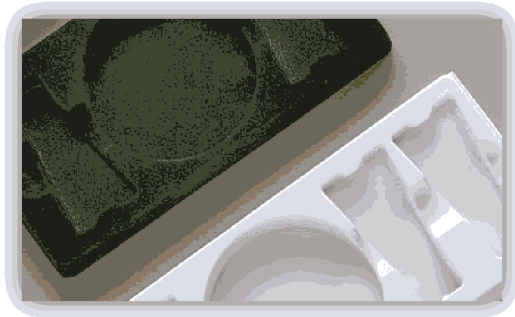
4. Il materiale viene poi trasportato nella stazione di riscaldamento e formatura.
5. Qui viene portato alla temperatura di plastificazione, impostata tramite il pirometro o il temporizzatore, da altri due pannelli di riscaldamento: anche durante questa fase una fotocellula comanda l'immissione dell'aria di sostentamento necessaria per compensare la flessione della lastra.
6. Viene attivato un potente soffio d'aria che gonfia la lastra e stira il materiale plastico, con la possibilità di regolare l'altezza del pallone.
7. Sale lo stampo e avviene la formatura con l'ausilio del vuoto e la possibilità di inserire il movimento del contro-stampo.
8. Il pezzo viene poi raffreddato da appositi ventilatori posti nella parte superiore del macchinario e regolabili sia in posizione che in inclinazione.
9. Le stampate che provengono dalla stazione di formatura vengono a questo punto espulse su uno scivolo.



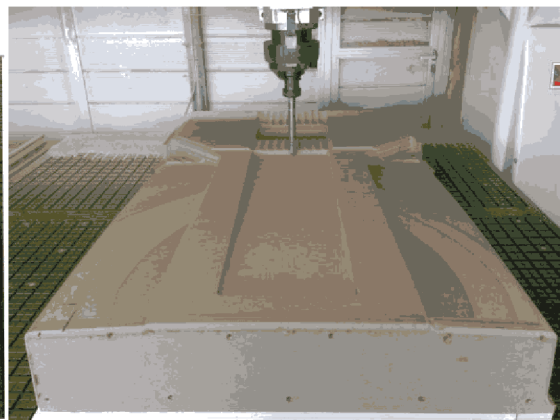
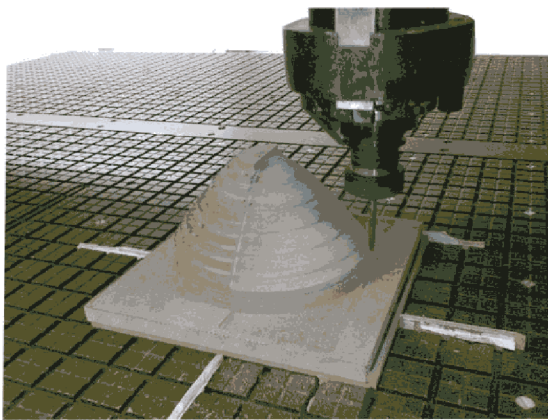
Da questa posizione in avanti, la macchina é completabile ed espandibile con attrezzature di taglio, tranciatura, finitura e impilamento del prodotto. È da far presente che l'operatore addetto alla produzione deve essere provvisto di guanti in kevlar, in quanto i bordi delle lastre possono essere taglienti. Si parla di

termoformatura sottovuoto quando si utilizza uno stampo negativo e si forza il semilavorato ad aderire a una forma concava tramite la creazione del vuoto all'interno della cavità stessa; questo procedimento di termoformatura sottovuoto si adatta alla produzione di contenitori partendo da film sottili. La termoformatura con presoffiatura migliora la termoformatura sottovuoto: il semilavorato viene prima stirato biassialmente in senso negativo rispetto alla

geometria voluta, tramite una pressione positiva che crea una sorta di bolla, e successivamente stampato convenzionalmente tramite pressione negativa (vuoto); questo perfezionamento consente di ottenere profondità di stampaggio maggiori.



Di seguito si può vedere una macchina in fase di lavorazione ad uno stampo in legno per successiva applicazione in una termoformatrice.



Per quanto riguarda l'applicazione alimentare, è necessario usare materiali i quali non immettano nel cibo sostanze pericolose per la salute. A tal proposito si introduce il concetto di "barriera".

Che cosa offre uno strato "barriera":

- tiene fuori l'ossigeno

- il prodotto conservato viene mantenuto invitante e fresco per un lungo periodo di tempo anche in condizioni non refrigerate
- ottima trasparenza
- uguale distribuzione dello spessore anche in condizioni estreme di formatura, che consente una più ampia finestra di lavorazione per la termoformatura
- utilizzabile nel microonde

POMPE PER VUOTO

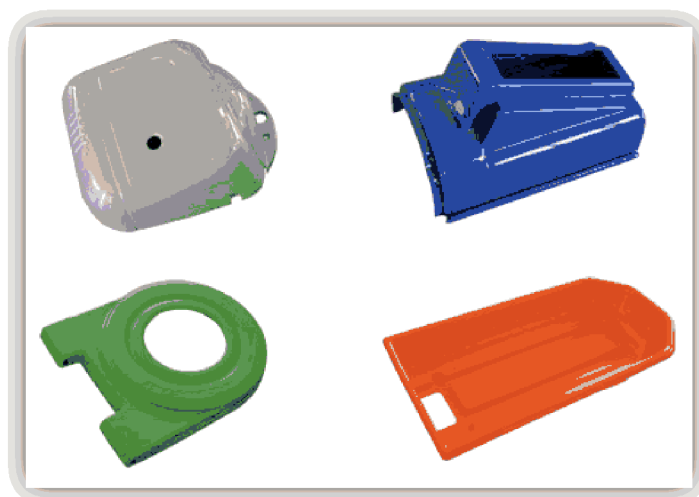
Le termoformatrici sottovuoto sfruttano delle pompe per vuoto che sono in esse integrate. Le pompe dispongono sul lato aspirazione di un filtro, mentre allo scarico dispongono di un sistema di separazione dei fumi d'olio per consentire il recupero e il ricircolo dell'olio nei circuiti di lubrificazione. Al raffreddamento intensivo ad aria provvede un ventilatore posto tra il corpo pompa e il motore. Tale ventilatore è inserito in un proprio alloggiamento protetto; un ulteriore ventilatore all'interno del radiatore olio provvede al raffreddamento dell'olio. L'alloggiamento del ventilatore e il radiatore proteggono da eventuali contatti entrambi i ventilatori. Una valvola antiritorno integrata impedisce rientri d'aria nel sistema già sottovuoto, inoltre impedisce la risalita dell'olio nella camera di pompaggio in fase di arresto, evitando un ingolfamento da olio con un conseguente sovraccarico al successivo avviamento. Una valvola zavorra gas impedisce la condensazione all'interno della pompa nell'aspirazione di piccole quantità di vapore. In caso di una maggiore aspirazione di vapore può essere prevista una valvola zavorra gas maggiorata. L'azionamento avviene mediante motore elettrico trifase flangiato, collegato in diretta a mezzo giunto. In conseguenza del notevole volume di separazione fumi d'olio mediante

disoleatori, l'aria proveniente dallo scarico può contenere alcune particelle residue percepibili per il loro odore, la cui inalazione può risultare dannosa. Si devono quindi prendere provvedimenti al fine di aerare correttamente il locale nel quale la macchina è in funzione.

I PRODOTTI

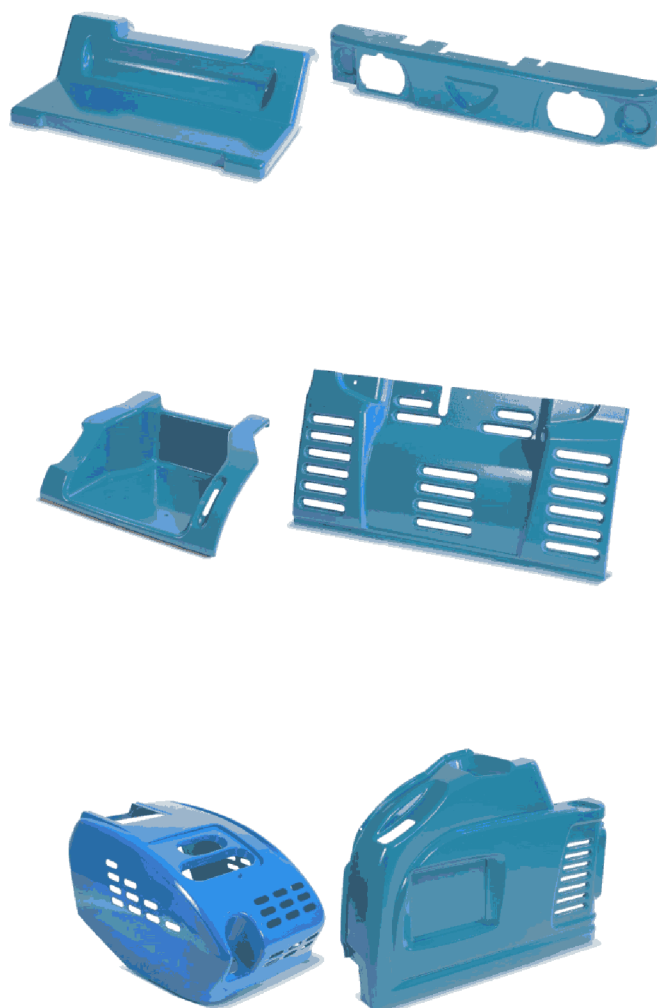
I prodotti dell'azienda coprono la più ampia gamma di utilizzi, dal settore industriale, dalle coperture o ripari per le macchine operatrici, al settore dei banchi frigo con elementi di chiusura e finitura, al settore automobilistico con appendici aerodinamiche anche personalizzate, fino ai settori elettromedicale e dentale con elementi di mobili, macchine e attrezzature. L'azienda acquista dai suoi fornitori le lastre di materiale plastico, che può essere ABS+PMMA, ABS+PMMA+PE, autoestinguento o no, PS, le quali vengono ottenute tramite estrusione dalle industrie produttrici. Inoltre l'azienda si preoccupa di fornire consulenza sull'attuabilità, o non, di oggetti anche complessi per i più svariati utilizzi; alcuni prodotti plastici possono essere infatti ottenuti tramite tecnica rotazionale, con conseguente necessità di prevedere la vita dell'oggetto anche sotto condizioni atmosferiche impegnative (come ad esempio permanenza sotto il sole, quindi ad alta temperatura, che può arrivare anche a far rammollire in parte il polimero).

I principali pregi della tecnologia utilizzata sono la forte sensibilità nei lotti di produzione e la convenienza



del costo di realizzazione degli impianti. Inoltre gli stampi che vengono immessi nelle termoformatrici sono intercambiabili, quindi se si presentasse la necessità di una linea di produzione diversa sarà sufficiente estrarre lo stampo di alluminio dalla macchina e inserire quello nuovo.

I termoformati hanno come destinatari principali aziende che si occupano di box doccia e altri articoli per il bagno, oppure aziende che trattano la conservazione degli alimenti nei luoghi di vendita, vale a dire banchi frigo e freezer, o ancora aziende nell'ambiente dentistico e medico con interesse nella costruzione dei macchinari e delle attrezzature indispensabili per l'esercizio di tali professioni (ad esempio sedie da dentista). A titolo esemplificativo si vuole mostrare come quasi un'intera carena per idropulitrice può essere ottenuta mediante termoformatura.



VANTAGGI E LIMITI

La termoformatura si propone talvolta come alternativa, più spesso come complemento ad altre tecnologie di trasformazione delle materie plastiche. Nel settore dell'imballaggio leggero è una tecnologia affermata e leader, per la possibilità di produrre contenitori a basso costo con spessori molto sottili e costi



contenuti di attrezzature. Nella produzione in grande serie di oggetti o parti deve competere con lo stampaggio a iniezione che presenta fattori tecnici e economici di sicuro vantaggio rispetto alla termoformatura, nonostante il costo elevato delle attrezzature. Tecnicamente

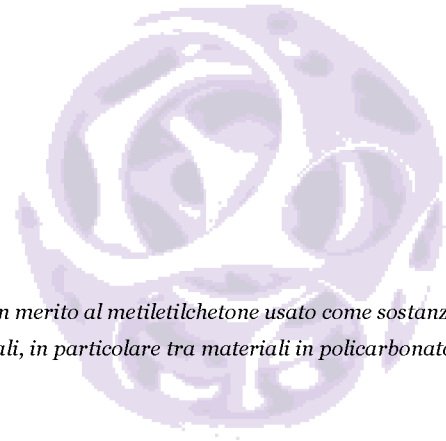
i limiti della termoformatura sono l'impossibilità di produrre corpi pieni e la mancanza di apporto di materiale. Questo comporta in una parte della lastra formata dei rilievi che corrispondono a delle cavità dalla parte opposta della lastra e la necessità di avere nelle forme degli angoli di sforno più o meno accentuati in rapporto all'altezza dello stiramento da effettuare in quel punto. Produrre parti complesse può risultare talvolta impossibile. Sul fronte dei costi il processo aggiuntivo di realizzazione del film o della lastra, nonché i costi commerciali della lavorazione, comportano un divario di costo per pezzo a parità di caratteristiche tra prodotto realizzato per termoformatura e prodotto stampato a iniezione. Il vantaggio di costo del manufatto termoformato, dovuto al minore costo delle attrezzature in rapporto di 1/10, è in rapporto inversamente proporzionale al numero dei pezzi da produrre con il medesimo stampo. Tirature limitate di pezzi, soprattutto di dimensioni medio-grandi, risultano convenienti da realizzare per termoformatura. Grandi tirature,



soprattutto se i pezzi sono piccoli, vanno a totale vantaggio dello stampaggio a iniezione. Il discorso cambia nella produzione di pezzi di grandi dimensioni (dell'ordine o superiori a 1 mq), per i quali l'incidenza del costo delle attrezzature, nonché delle dimensioni delle presse necessarie per realizzarli, fanno pendere nuovamente l'ago della bilancia verso la termoformatura.

PARTE TERZA

CONCLUSIONI

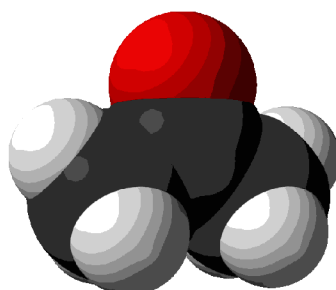
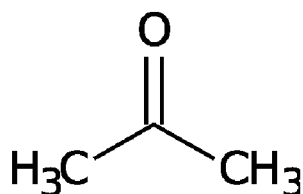


In questa sezione viene esposta la soluzione al problema dell'azienda in merito al metiletilchetone usato come sostanza collante tra materiali, in particolare tra materiali in policarbonato.

La soluzione al problema dell'incollaggio del policarbonato è offerta dall'uso dell'acetone al posto del metiletilchetone.

ACETONE

L'acetone (anche chiamato dimetilchetone, propanone e beta-chetopropano) è il chetone più semplice esistente. La sua formula chimica è $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$; l'atomo di carbonio cui è legato l'atomo di ossigeno ha ibridazione sp^2 ed è pertanto al centro di un triangolo grossomodo equilatero ai cui vertici stanno l'atomo di ossigeno e gli altri due atomi di carbonio. Viene riportata la sua formula di struttura e una vista tridimensionale:



L'acetone è un liquido incolore e infiammabile con un odore caratteristico (fruttato); è miscibile con acqua, etanolo ed etere, e trova principalmente impiego come solvente, peraltro è molto più volatile del metiletilchetone, e quindi più aggressivo sulle superfici plastiche. Il principale processo industriale per ottenere acetone è l'idrolisi dell'idroperossido di cumene. In presenza di catalizzatori, il cumene addiziona ossigeno e forma un idroperossido; dal riarrangiamento e successiva decomposizione di questo si originano acetone e fenolo. L'acetone viene anche utilizzato in cosmetica per rimuovere lo smalto e

le impurità dalle unghie. Basta versarne una minima parte su un pezzetto di cotone idrofilo e si può eliminare con molta facilità il colore. Come solvente fortemente polare ha anche una certa efficacia nel rimuovere i residui di adesivi cianoacrilici. Viene anche utilizzato in laboratorio come solvente organico e come coadiuvante all'asciugatura della vetreria di laboratorio, dopo averla lavata (soprattutto in laboratorio di chimica organica). Sicuramente però il maggiore impiego di questo solvente è nella produzione di polimeri. Diversi milioni di tonnellate l'anno vengono prodotti per indirizzarli verso la sintesi dei polimeri acrilici (plexiglas) e delle resine epossidiche. Dalla condensazione di acetone e fenolo si ottiene inoltre il bisfenolo A, intermedio essenziale per la produzione dei policarbonati (plastiche anti-urto, come per esempio quelle per caschi motociclistici). Dalla condensazione di due molecole di acetone in ambiente alcalino si origina il diacetone-alcole, buon solvente della gomma e di alcune vernici. La condensazione di tre molecole in ambiente disidratante e termico (200 °C), invece, porta alla formazione del solvente isoforone risultato assai efficace come additivo per vernici, pitture, adesivi e per disciogliere alcune plastiche, tra le quali il policarbonato.

Introduzione	pag.3
Campi di Interesse	pag.9
<i>Parte Prima, Materiali In Uso</i>	<i>pag.11</i>
ABS	pag.13
Polistirene	pag.16
Polimetilmetacrilato	pag.18
Polietilene	pag.22
Policarbonato	pag.25
Poliuretano	pag.27
Metiltilchetone	pag.29
Le schede tecniche e le schede di sicurezza	pag.30
<i>Parte Seconda, Il Processo Produttivo</i>	<i>pag.35</i>
La termoformatura	pag.37
Macchine Termoformatrici	pag.41
Pompe per Vuoto	pag.46
I Prodotti	pag.47
Vantaggi e Limiti	pag.49
<i>Parte Terza, Conclusioni</i>	<i>pag.51</i>
Acetone	pag.53