

# Capitolo 8

## Materiali e imballaggi plastici

### 8.1 Generalità e dati economico-statistici

Le materie plastiche sono sostanze organiche completamente o parzialmente sintetiche. I loro componenti principali sono composti ad alto peso molecolare (polimeri), le cui molecole sono costituite da un grande numero di unità fondamentali (monomeri), unite da legami chimici diversi ma per lo più di natura covalente. Strutturalmente esse comprendono catene lineari, anche molto aggrovigliate tra loro, o reticoli tridimensionali; sono composte prevalentemente da atomi di carbonio e di idrogeno e, in alcuni casi, di ossigeno, azoto, cloro, silicio o zolfo. Solide allo stato finito, possono essere modellate allo stato fluido almeno una volta. Nel loro insieme costituiscono una famiglia molto numerosa, di centinaia e centinaia di sostanze diverse, sebbene il settore del packaging ne impieghi un numero assai limitato.

Originano dalla distillazione frazionata del greggio, che consente la produzione diretta dei monomeri necessari (etilene, propilene, stirene ecc.) o di loro precursori. Dopo la polimeriz-

**Tabella 8.1** Polimeri impiegati nella fabbricazione di imballaggi\*

<b>Imballaggi</b>	<b>Materie plastiche</b>
Bicchieri, vaschette	PVC, PP, HDPE, PS
Vassoi	PS, PE
Bottiglie semirigide	LDPE, HDPE
Bottiglie rigide	HDPE, PP, PVC, PET
Bottiglie trasparenti	PVC, PET
Taniche	HDPE, LDPE
Fusti	HDPE
Cassette monouso	PP, PS
Casse e cassette	PP, HDPE
Film estensibili	LDPE, PVC
Film per avvolgimento	PVC, LDPE, HDPE, PP
Film per accoppiati	PP, PET, PA, LDPE, HDPE
Rivestimenti (coating)	LDPE, PP, PVDC
Sacchetti	LDPE, PP, HDPE
Sacchi	PVC, LDPE, HDPE

\* Per l'interpretazione delle sigle utilizzate per identificare i polimeri si veda il par. 8.5

**Tabella 8.2** Dati italiani relativi alle materie plastiche nel settore imballaggio\*

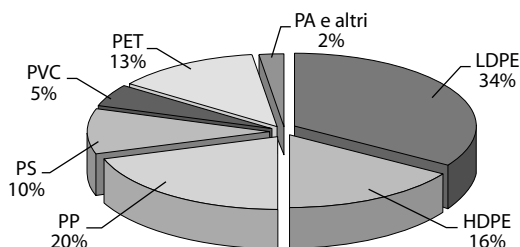
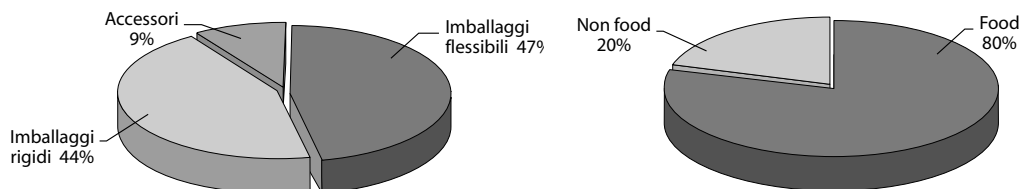
	2004	2005	2006	2007
Fatturato (10 <sup>6</sup> euro)	9.492	9.682	9.972	10.500
Produzione (10 <sup>3</sup> t)	3.328	3.347	3.398	3.481
Esportazione (10 <sup>3</sup> t)	1.040	1.021	1.105	1.147
Importazione (10 <sup>3</sup> t)	317	334	357	390
Consumo (10 <sup>3</sup> t)	2.605	2.660	2.651	2.724
Addetti	32.000	32.000	32.000	32.000
Aziende	2.400	2.400	2.400	2.400

\* Su dati dell'Istituto Italiano Imballaggio, 2008

zazione segue normalmente il *compounding*, durante il quale al polimero vengono uniti, in una fase di estrusione, additivi, pigmenti e/o cariche per ottenere i pellet, che saranno impiegati per la produzione dei manufatti finali.

Le materie plastiche di sintesi hanno una storia relativamente recente (la produzione industriale delle principali resine risale al decennio 1930-1940); tuttavia in circa mezzo secolo si sono conquistate, come nessun altro materiale, un grande numero di applicazioni diverse (tabella 8.1), sia per il loro basso costo di produzione sia, soprattutto, per la loro versatilità, grazie alla quale le loro prestazioni possono essere molto diversificate attraverso le tecnologie di produzione e di lavorazione.

Il mercato italiano delle materie plastiche per l'imballaggio è particolarmente ricco e in forte espansione da molti anni (tabella 8.2), nonostante il loro uso abbia determinato nume-

**Figura 8.1** Ripartizione percentuale delle materie plastiche vergini utilizzate nel packaging.**Figura 8.2** Ripartizione percentuale della produzione italiana di materie plastiche per imballaggio e distribuzione delle materie plastiche tra i settori food e non food. (Su dati dell'Istituto Italiano Imballaggio, 2008)

rose riserve in merito all'impatto ambientale. La produzione riguarda poco meno di dieci resine diverse (figura 8.1), che vengono però trasformate in un grande numero di manufatti molto differenti, descritti nelle parti dedicate ai contenitori. Il settore del food packaging assorbe oltre la metà delle materie plastiche impiegate nell'imballaggio, che sono prevalentemente utilizzate per la realizzazione di imballaggi flessibili (figura 8.2).

## 8.2 Struttura e proprietà delle materie plastiche

Poiché esistono moltissime materie plastiche diverse, e nuovi polimeri plastici sono sintetizzati continuamente, per indicarle e descriverle si impiegano comunemente vari criteri di classificazione, ai quali è utile fare riferimento. La tabella 8.3 riporta i principali criteri adottati per classificare le materie plastiche, ai quali si farà riferimento nella trattazione che segue.

### 8.2.1 Natura delle materie prime

Gomma lacca, ambra, guttaperca ed ebanite sono alcuni esempi di polimeri di origine naturale che hanno trovato nel tempo utilissimi impieghi, spesso anche a contatto con gli alimenti. Notevole diffusione hanno avuto (e in parte hanno tuttora) anche materie plastiche ottenute modificando per via chimica alcuni polimeri naturali a dare polimeri parzialmente sintetici, quali galalite (da caseina e formaldeide), parkesite (da nitrato di cellulosa), celluloidi (da nitrato di cellulosa e canfora) e molte altre cellulose modificate (acetato, nitrato, propionato e butirrato di cellulosa). Le materie plastiche che interessano oggi il settore del food packaging sono, tuttavia, quasi esclusivamente di natura totalmente sintetica e di origine petrolchimica, sebbene un crescente interesse si stia concentrando verso i bio-polimeri (polimeri di origine animale, vegetale o microbica, che possono trovare utili applicazioni da soli o in combinazione con quelli sintetici), ai quali è specificamente dedicato il capitolo 9.

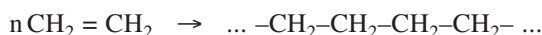
### 8.2.2 Meccanismo di polimerizzazione

Quando il monomero possiede un'insaturazione, il tipico meccanismo di polimerizzazione è quello di *addizione* sul doppio legame. Per effetto di un catalizzatore o delle condizioni di temperatura e pressione, il doppio legame si apre consentendo di legare altri monomeri in una successione che porta rapidamente a pesi molecolari molto elevati e a strutture che pos-

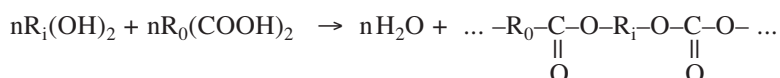
**Tabella 8.3** Alcuni criteri di classificazione delle materie plastiche

<b>Criterio di classificazione</b>	<b>Caratteristiche</b>
Natura delle materie prime	Naturali, sintetiche e parzialmente sintetiche
Meccanismo di polimerizzazione	Addizione, condensazione
Tatticità	Polimeri isotattici, atattici, sindiotattici
Peso molecolare	Polimeri mono e polidispersi
Comportamento al calore	Termoplastiche e termoindurenti
Temperatura di transizione vetrosa	Polimeri gommosi e vetrosi
Morfologia	Polimeri amorfi, cristallini, semicristallini
Organizzazione strutturale	Omo e copolimeri, miscele e leghe

sono essere lineari o ramificate. Questo è il meccanismo di polimerizzazione delle più comuni materie plastiche impiegate a contatto con gli alimenti (le poliolefine); la polimerizzazione dell'etilene a dare polietilene avviene secondo lo schema seguente:



I polimeri di *condensazione* sono invece quelli ottenuti quando due specie chimiche – liberando una molecola a basso peso molecolare (tipicamente una molecola d'acqua) – reagiscono tra di loro a formare il monomero. Le poliammidi e i poliesteri sono i più classici esempi di polimeri ottenuti per condensazione: nel primo caso un di-acido reagisce con una di-ammina formando acqua e un'ammide dotata di due gruppi funzionali (acido e amminico) capaci di proseguire la polimerizzazione; nel secondo caso un di-acido reagisce con un di-alcol per produrre l'unità monomerica fondamentale, con lo schema di reazione seguente:

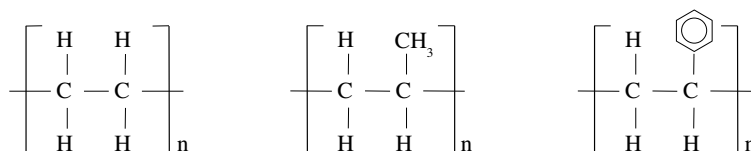


### 8.2.3 Tatticità

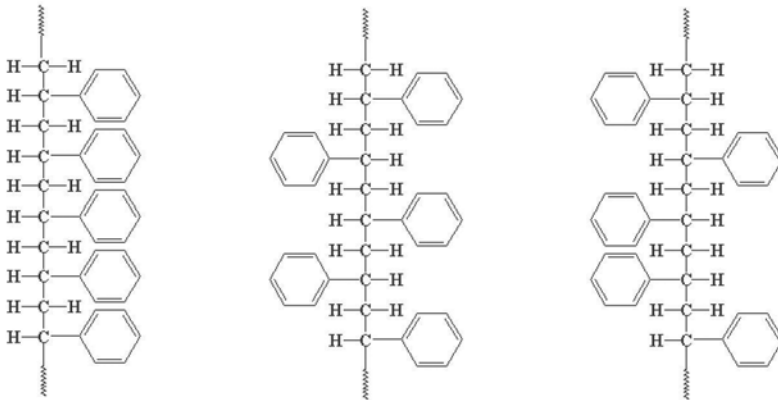
La tatticità è la configurazione stereochimica relativa tra atomi di carbonio asimmetrici (detti anche *stereogenici*), che si trovano adiacenti lungo la catena di un polimero. È asimmetrico il carbonio con il doppio legame del propilene o dello stirene, mentre è simmetrico (non dà luogo a tatticità) quello dell'etilene (figura 8.3).

Per i polimeri ottenuti mediante addizione è generalmente possibile un controllo della configurazione stereochimica, e quindi della disposizione spaziale dei residui adiacenti al doppio legame. Se la configurazione è di tipo casuale si parla di *polimeri atattici*; se i sostituenti si dispongono su un unico lato delle catene macromolecolari che si vanno formando, i polimeri si definiscono *isotattici*; se infine la disposizione è regolarmente alternata sopra e sotto il piano della catena, si parla di *polimeri sindiotattici*, come mostra la figura 8.4 per il polistirene.

La distinzione è particolarmente significativa per il polipropilene (PP) e per il polistirene (PS), in quanto le loro proprietà funzionali possono risultare molto differenti nelle tre forme. Fino alla fine degli anni Cinquanta si riusciva a produrre PP solo nella forma atattica, cui corrisponde, a temperatura ambiente, un liquido viscoso che non ha alcuna utilità, mentre la forma isotattica – che si può oggi produrre grazie ai catalizzatori stereospecifici sviluppati da Giulio Natta (premio Nobel per la chimica nel 1963, assieme al chimico tedesco Karl Ziegler) – è un materiale altamente cristallino, che trova numerose applicazioni. Per il polistirene, invece, la forma sindiotattica permette di raggiungere temperature di distorsione molto più alte della comune forma atattica, consentendo nuove applicazioni.



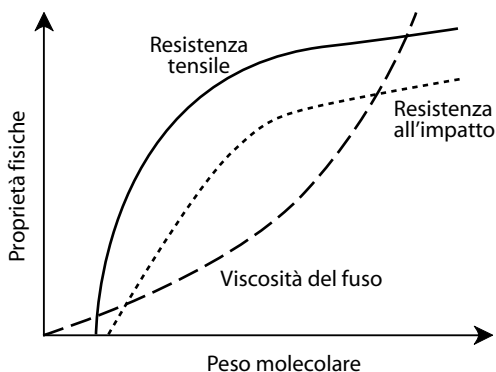
**Figura 8.3** Monomeri del polietilene, del polipropilene e del polistirene.



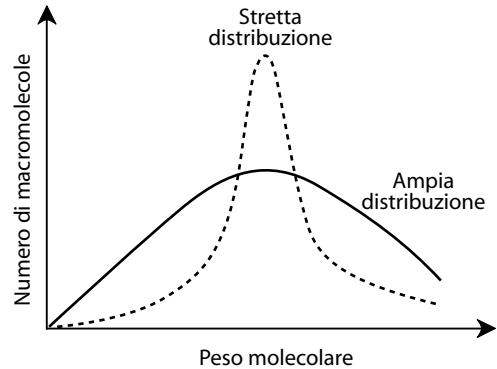
**Figura 8.4** Configurazioni isotattiche, sindiotattiche e atattiche per il polistirene.

### 8.2.4 Peso molecolare

Il numero di unità monomeriche che costituisce una singola macromolecola polimerica è definito *grado di polimerizzazione*; quando tale numero è basso (10-20) il polimero non ha consistenza solida a temperatura ambiente e si presenta in genere liquido; a un grado di polimerizzazione di circa 1000 il polimero è già un solido concreto. Conoscendo la massa e il grado di polimerizzazione del monomero è, ovviamente, possibile stimare il peso molecolare del polimero, quello dei polimeri di interesse varia tra 50 000 e 200 000 Da. Tuttavia, ancorché possibile, è molto raro che tutte le macromolecole abbiano lo stesso grado di polimerizzazione (si parla in questo caso di *polimeri monodispersi*), mentre è piuttosto comune che le molecole polimeriche prodotte abbiano dimensioni, e quindi pesi molecolari, molto variabili. Tutte le caratteristiche finali dei polimeri risultano molto influenzate dalla *distribuzione dei pesi molecolari*, che rappresenta, pertanto, un importante indice di caratterizzazione dei *polimeri polidispersi*. Le frazioni ad alto e altissimo peso molecolare influenzano la viscosità del fuso, la resistenza meccanica e la fragilità allo stato solido (figura 8.5), mentre quelle a basso peso molecolare rendono conto della viscosità e dell'adesività dei polimeri.



**Figura 8.5** Relazione tra alcune proprietà fisiche e peso molecolare dei polimeri.



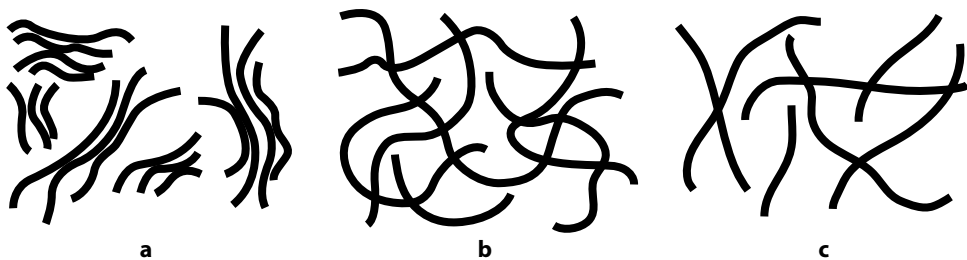
**Figura 8.6** Due possibili distribuzioni di pesi molecolari per lo stesso polimero.

Con tecniche cromatografiche è relativamente semplice valutare la distribuzione dei pesi molecolari di un polimero polidisperso (figura 8.6) e, di conseguenza, ricavare importanti parametri di caratterizzazione dei materiali che possono guidare nella scelta di quello più consono, in quanto lo stesso polimero può essere disponibile commercialmente con pesi molecolari diversi e, quindi, con proprietà fisiche differenti.

### 8.2.5 Comportamento al calore

Consente di distinguere i polimeri termoplastici da quelli termoindurenti. I primi sono caratterizzati da catene polimeriche per lo più lineari, anche ramificate, con strutture cristalline o amorfe (vedi oltre e le figure 8.7a e 8.7c), ma prive di insaturazioni; riscaldati a temperature superiori a quella ambiente, rammolliscono e infine fondono a una temperatura cui corrisponde la massima libertà di movimento per le loro macromolecole. Poiché questo comportamento è reversibile, i polimeri termoplastici possono essere facilmente modellati a caldo e forgiati in forme e dimensioni diverse, ma anche facilmente riciclati. Circa due terzi delle materie plastiche impiegate industrialmente e praticamente tutte quelle utilizzate per l'imballaggio hanno natura termoplastica.

I polimeri termoindurenti sono invece caratterizzati dalla presenza di catene insature e da una struttura reticolare (detta crosslinked, figura 8.7b) che assumono al momento della pro-



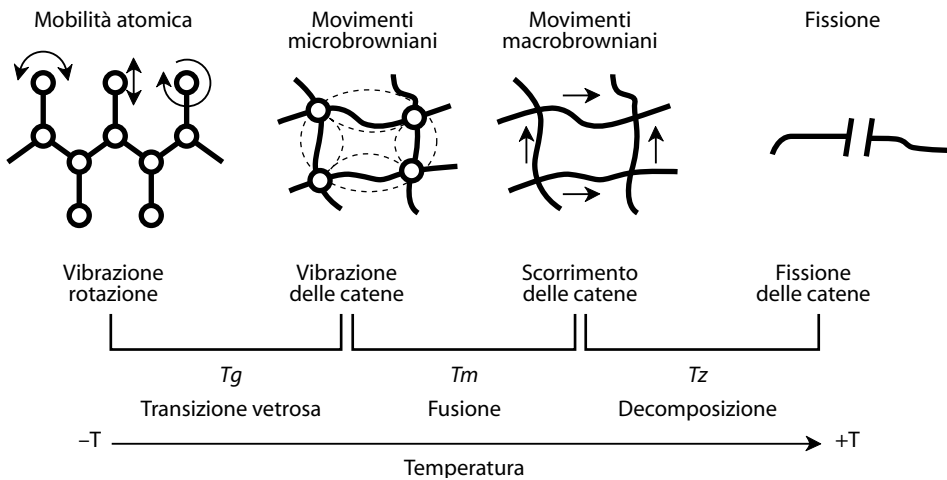
**Figura 8.7** **a:** Polimeri termoplastici cristallini: catene disposte a falde e a pacchetto a formare "cristalliti" e "sferuliti". **b:** Polimeri termoindurenti: struttura reticolare, molecole a catena ramificata, amorfe, con estesi legami crociati e numerose insaturazioni. **c:** Polimeri termoplastici amorfi: lunghe catene poco ramificate e disposte casualmente, anche in modo molto aggrovigliato.

duzione; un eventuale successivo riscaldamento avrebbe l'effetto di rompere i legami crociati che ne stabilizzano la struttura, provocandone un'alterazione irreversibile. I polimeri termoidurenti sono, in genere, molto più rigidi e robusti di quelli termoplastici; i loro impieghi nel settore del packaging sono rari e si limitano ad alcuni accessori di chiusura, ad alcuni adesivi e a lacche di protezione interna delle scatole metalliche (resine fenoliche ed epossidiche, vedi par. 6.4.7). I legami crociati (crosslinking, reticolazione) possono essere indotti da radiazioni UV o comunque da radiazioni elettromagnetiche a energia medio alta e, occasionalmente, anche su polimeri termoplastici per modificarne la struttura e migliorarne alcune proprietà.

### 8.2.6 Temperatura di transizione vetrosa

Numerose caratteristiche fisiche e chimico-fisiche dei polimeri dipendono dalla temperatura e in particolare da quella di transizione vetrosa,  $T_g$  (par. 3.2.6 e figura 8.8). Quando si trovano a temperature inferiori alla  $T_g$  i polimeri presentano un comportamento definito vetroso, al quale corrispondono, in genere, bassa permeabilità ed elevata fragilità; a temperature superiori alla  $T_g$  si trovano allo stato cosiddetto gommoso e possiedono maggiore velocità di diffusione e maggiore tenacità. La  $T_g$  è determinata dalla forza dei legami intermolecolari e dalla flessibilità e dalla lunghezza delle catene; in relazione alla temperatura ambiente, consente di definire le materie plastiche come gommosi o vetrosi e di spiegarne molti comportamenti.

Le materie plastiche che a temperatura ambiente si trovano al di sopra della  $T_g$  hanno comportamento gommoso, cui corrisponde generalmente una maggiore permeabilità ai gas e una più agevole lavorabilità; quelle che si trovano al di sotto della  $T_g$  esprimono coefficienti di diffusione e di permeabilità inferiori e migliori proprietà di resistenza meccanica. Tra le materie plastiche utilizzate nei materiali di food packaging si incontrano polimeri sia gommosi sia vetrosi (tabella 8.4), a volte combinati insieme in strutture composite (per esempio, polietilene/poliammide).



**Figura 8.8** Mobilità termica delle macromolecole polimeriche in funzione della temperatura.

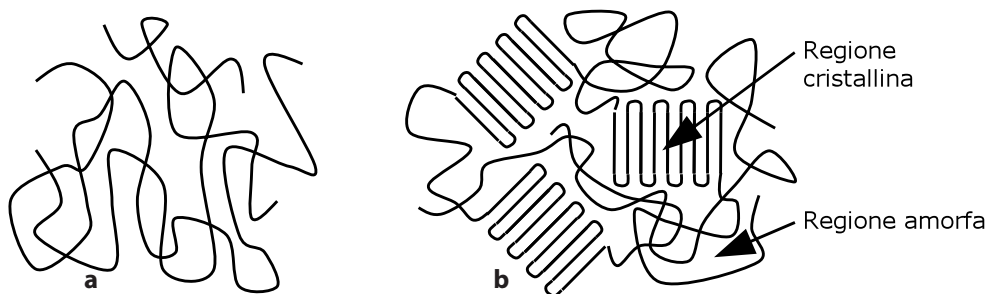
**Tabella 8.4** Temperature di fusione e di transizione vetrosa delle materie plastiche più comunemente utilizzate nel packaging (valori indicativi)

<b>Materiale</b>	<b>T fusione (°C)</b>	<b>T transizione vetrosa (°C)</b>
Poliacrilonitrile	317	104
Polietilentereftalato	265	69
Poliammide (Nylon 6.6)	260	50
Policarbonato	220	150
Polivinilcloruro	212	87
Polipropilene	176	-20
Polietilene ad alta densità	137	-125
Polimetilmetacrilato (Plexiglas)	100*	100
Polietilene a bassa densità	110	-25
Polistirene atattico	94*	94

\* Polimeri completamente amorfi (non hanno una vera temperatura di fusione)

### 8.2.7 Morfologia

La morfologia delle macromolecole polimeriche consente di distinguere i polimeri cristallini dai polimeri amorfi e semicristallini. Tecniche analitiche diverse, quali la diffrazione a raggi X e la calorimetria a scansione differenziale, consentono di riconoscere facilmente la morfologia dei polimeri. L'organizzazione nello spazio delle macromolecole polimeriche è, per lo più, di tipo amorfo: una disposizione disordinata di macromolecole aggrovigliate senza alcuna simmetria. La struttura amorfa è tipica dello stato fuso; tuttavia, controllando la velocità di raffreddamento (rallentandola) o intervenendo con appositi promotori, molti polimeri termoplastici solidificano in forma parzialmente cristallina per l'allineamento e/o l'impaccamento delle loro macromolecole (figure 8.7 e 8.9). Come mostra la tabella 8.5, lo stato cristallino influenza numerose proprietà fisiche delle materie plastiche; pertanto è essenziale poter controllare il grado di cristallinità in fase di produzione. Il polietilene ad alta densità (HDPE) può avere cristallinità variabile tra il 65 e il 90%; quello a bassa densità (LDPE) tra il 45 e il 70%. Le zone del polimero che si organizzano in forma cristallina sono definite *cristalliti*. In alcune materie plastiche i cristalliti inglobano regioni amorphe dando



**Figura 8.9** Morfologia amorfa (a) e morfologia semicristallina (b); le frecce indicano le regioni che danno luogo a sferuliti.



**Tabella 8.5** Proprietà dei polimeri allo stato amorfo e allo stato cristallino

<b>Polimeri amorfi</b>	<b>Polimeri cristallini</b>
Trasparenti	Opachi
Temperatura di fusione non identificabile	Temperatura di fusione specifica
Relativamente deboli e flessibili	Relativamente robusti e fragili
Alta o media permeabilità ai gas	Bassa o media permeabilità ai gas
Moderata resistenza chimica	Buona resistenza chimica
Poche possibilità di intervenire per modificarne le proprietà generali	Molte possibilità di intervenire per modificarne le proprietà generali

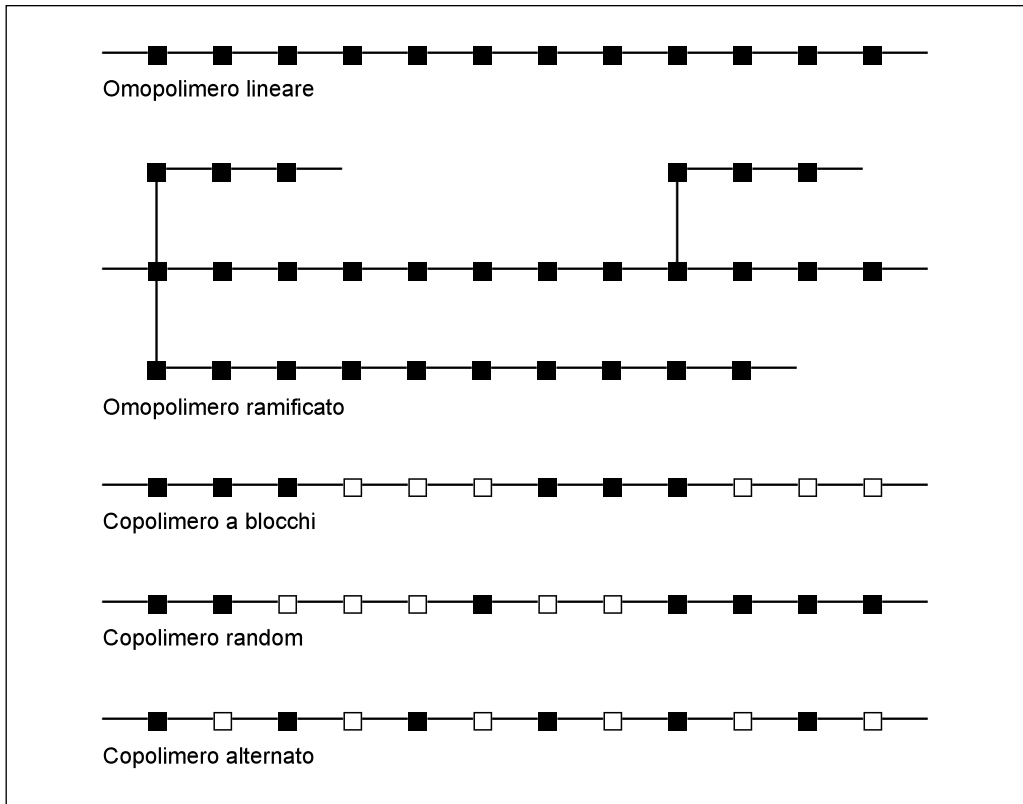
luogo a tipiche strutture definite *sferuliti*, le cui dimensioni (alcune centinaia di nanometri di diametro) sono tali da interferire con le radiazioni della luce visibile (diffrazione) producendo la tipica opacità lattiginosa, espressa con il parametro *haze* (vedi par. 3.4.1).

### 8.2.8 Organizzazione strutturale

Quando i polimeri plastici sono costituiti da un solo tipo di monomero, cioè da un'unica unità fondamentale che si ripete lungo le catene macromolecolari, vengono indicati come *omopolimeri*. I *copolimeri*, invece, sono ottenuti polimerizzando congiuntamente due o più monomeri diversi (comonomeri). Molte poliolefine – i polimeri più comunemente impiegati nel food packaging – sono disponibili in forma di copolimeri; il polipropilene copolimero, per esempio, è prodotto con una miscela di propilene ed etilene. La presenza (controllabile in fase di produzione) del comonomero lungo le catene induce spesso ramificazioni sulle catene lineari principali, influenzando tutte le proprietà del polimero finale e, in particolare, la sua densità, in quanto ramificazioni laterali allargano la struttura diminuendo la concentrazione della materia; per questa ragione è opportuno distinguere tra *copolimeri a blocchi*, *random* e *alternati*, mettendo in evidenza la distribuzione dei comonomeri (figura 8.10).

### 8.2.9 Miscele polimeriche (blends) e leghe polimeriche (alloys)

Mentre nei copolimeri diverse unità fondamentali reagiscono contemporaneamente, nelle miscele e nelle leghe polimeriche sono i polimeri già prodotti (sia omo sia copolimeri) che vengono uniti in un'unica materia plastica. Si tratta in entrambi i casi di polimeri miscibili a livello molecolare, ma con profonde differenze. Nelle miscele polimeriche si hanno in genere minori forze intermolecolari, transizioni vetrose multiple e prestazioni che dipendono dalle proporzioni dei costituenti. Le leghe hanno maggiore compatibilità termodinamica e mostrano proprietà originali, quasi indipendenti da quelle dei costituenti. Le variazioni di proprietà meccaniche che originano dalla produzione di miscele e leghe possono essere anche dovute al fenomeno del cosiddetto *chain entanglement* (concatenazione) che, di fatto, può interessare anche singoli polimeri, in quanto caratteristica peculiare delle macromolecole polimeriche. Al crescere della lunghezza della catene polimeriche, cresce la probabilità e il grado di *entanglement*, cioè di interazione e concatenazione reciproca. Allo stato fuso, in fase di produzione dell'oggetto di plastica, la possibilità che le macromolecole scorrano intersecandosi favorisce l'acquisizione della forma finale, ma dopo il raffreddamento e la solidificazione sarà garanzia di tenacità del manufatto plastico.



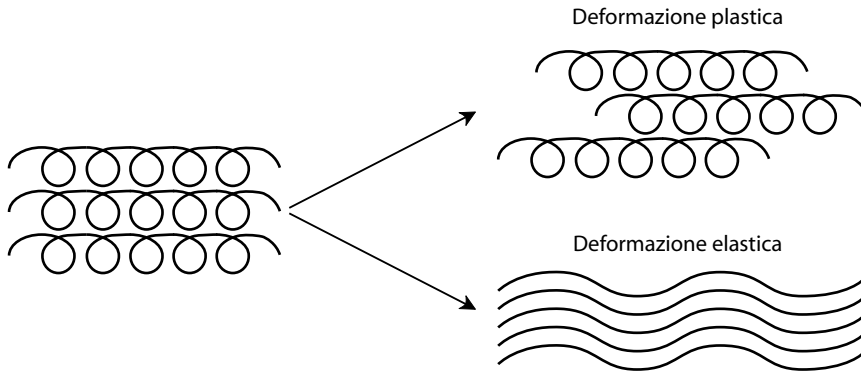
**Figura 8.10** Microstruttura di omopolimeri e copolimeri.

## 8.3 Modificazioni strutturali delle materie plastiche

La microstruttura dei polimeri plastici, che come si è detto dipende dalla natura delle unità fondamentali e dalle modalità di polimerizzazione, è modificabile anche dopo la produzione della materia plastica attraverso operazioni che consentono un notevole miglioramento delle prestazioni finali dell'oggetto di plastica. Delle modifiche strutturali conseguenti all'irraggiamento con radiazioni ionizzanti (raggi gamma o raggi beta accelerati) si è già accennato nel paragrafo 3.4.3, ma la modificazione strutturale più frequente e più importante è certamente quella conseguente all'orientazione delle macromolecole.

### 8.3.1 Orientazione

Se un oggetto di plastica viene sottoposto a una sollecitazione tensile si possono determinare conseguenze diverse sulla sua struttura e sulla sua morfologia, in relazione alla temperatura alla quale viene condotta la sollecitazione. Quando è condotta a una temperatura sufficientemente alta, la deformazione conseguente dell'oggetto è di tipo plastico: il materiale si assottiglia e si allunga poiché le macromolecole hanno la possibilità di scorrere le une sopra



**Figura 8.11** Stiro di un oggetto e deformazioni plastiche ed elastiche.

le altre; in questo caso non vi è alcuna modificazione strutturale e la sollecitazione produce solo uno *stiro* del materiale. Nel caso in cui la trazione sia condotta a una temperatura più bassa (comunque superiore alla temperatura di transizione vetrosa e a quella ambiente), la deformazione può risultare di tipo elastico: sotto l'effetto della sollecitazione le macromolecole si distendono e si allungano, diminuendo la distanza che esiste tra loro e aumentando le forze attrattive che le legano; il materiale si assottiglia in eguale misura, ma questo stiro comporta un'*orientazione* del polimero che ha importanti conseguenze sulle proprietà del materiale (figura 8.11).

In generale qualsiasi polimero (amorfo o cristallino) sottoposto a orientazione migliora le sue proprietà di resistenza meccanica, ma quelli semicristallini risultano significativamente meno permeabili e quelli molto cristallini diventano anche più trasparenti, poiché si disgregano le sferuliti presenti.

L'operazione di stiro e orientazione può essere condotta in una o in entrambe le direzioni ortogonali, dando luogo a materiali *orientati* e *bi-orientati*; quando ci si riferisce a pellicole plastiche la direzione di orientazione longitudinale è definita direzione macchina, perché parallela alla direzione di produzione, mentre quella ortogonale è detta direzione trasversale. La modificazione strutturale di orientazione può essere anche realizzata su qualsiasi oggetto finito; quindi non solo su film, ma anche su bottiglie, vaschette ecc.

### 8.3.2 Termoretraibilità

Se dopo lo stiro-orientazione l'oggetto viene bruscamente raffreddato, il materiale conserva memoria della sollecitazione ricevuta e a un successivo riscaldamento alla stessa temperatura alla quale è avvenuta l'orientazione restituirà quella tensione, contraendosi e recuperando le dimensioni originali. Tale tecnica conferisce *termoretraibilità* al materiale plastico e viene in genere applicata ai film per produrre etichette *sleeve* (a manica) oppure avvolgimenti per tenere insieme più confezioni o anche carichi pallettizzati.

Per alcuni polimeri semicristallini è possibile invece far seguire all'orientazione prima un riscaldamento e poi un lento raffreddamento, che favorisce, sotto stiro, una fine cristallizzazione tra le macromolecole distese dall'operazione, stabilizzando la deformazione subita dal polimero.

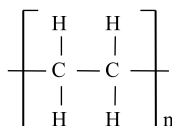
## 8.4 Principali polimeri impiegati nel packaging alimentare

Nei prossimi paragrafi sono descritti i principali polimeri impiegati per l'imballaggio alimentare, suddivisi in quattro categorie logiche e funzionali alle possibili applicazioni: polimeri più diffusi, polimeri con caratteristiche saldanti, polimeri a elevata barriera ai gas e polimeri meno comuni. Va sottolineato che queste informazioni sono fornite solo come quadro di riferimento generale e non per classificare puntualmente le diverse opzioni disponibili; è indispensabile, infatti, essere consapevoli che le proprietà dei materiali plastici possono variare in modo abbastanza considerevole in funzione della tecnica di produzione e di variazioni anche modeste di composizione.

### 8.4.1 Polimeri più diffusi

Sono qui descritti i polimeri a maggiore diffusione, rappresentati sia da quelli più economici sia da quelli con maggiore attitudine a realizzare materiali strutturali; alcune loro proprietà chimico-fisiche di interesse sono riportate nella tabella 8.6.

#### LDPE - Polietilene a bassa densità

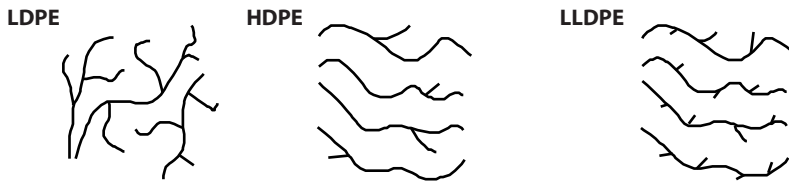


Polimero di addizione dell'etilene ottenuto per polimerizzazione ad alta temperatura ed elevata pressione (indicato anche come *polietilene ad alta pressione*); ha una struttura molto ra-

**Tabella 8.6** Principali caratteristiche dei polimeri più comuni (valori indicativi)

	<b>LDPE</b>	<b>HDPE</b>	<b>PP</b>	<b>PVC plast.</b>	<b>PS</b>	<b>PET</b>	<b>PA6</b>
Massa volumica (g cm <sup>-3</sup> )	0,91-0,94	0,94-0,96	0,88-0,91	1,2-1,4	1,05-1,2	1,34-1,39	1,12
Temperatura di fusione (°C)	110	137	176	150	-	265	210
Temperatura di transizione vetrosa (°C)	- 25	- 125	- 20	40-50	94	69	50
Resistenza alla rottura (MPa)	8-30	22-30	30-40	20-40	36-57	50-60	55-75
Allungamento alla rottura (%)	100-950	10	100	100	1	50	30-100
Permeabilità O <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> per 25 μm (cm <sup>3</sup> 24h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> bar <sup>-1</sup> )	7.000	2.800	2.300	6.000	3.800	45	20-40
Trasmissione del vapor d'acqua, WVTR (g m <sup>-2</sup> 24h <sup>-1</sup> ) per 25 μm, in C.T.*	15-25	5	4-10	70-450	100-155	15-20	150-300

\* Condizioni tropicali: 38 °C, 90% ΔUR



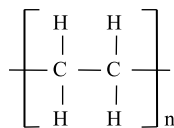
**Figura 8.12** Microstruttura dei polietilene a bassa densità (LDPE), ad alta densità (HDPE) e a bassa densità lineare (LLDPE).

mificata, con numerose e corte catene laterali e media cristallinità (40%). L'intervallo termico di utilizzo varia da  $-40$  a  $+80$  °C. Da flessibile a rigido, a seconda della densità. Permeabilità bassa all'acqua, altissima all'ossigeno. Eccellenti caratteristiche di isolamento elettrico. Resistente ad acidi e alcali, poco resistente a oli e alcoli. Non resistente ad agenti ossidanti, solventi organici a caldo, tensioattivi. Poco trasparente per la presenza di numerose sferuliti. Di basso costo, non presenta problemi di idoneità alimentare. Trasformabile con tutte le tecniche conosciute.

Spesso si indicano come polietilene a bassa densità resine diverse, anche ottenute per copolimerizzazione di altre  $\alpha$  olefine (1-butene, exene, octene) o di comonomeri non olefinici (acido acrilico, acido metacrilico, metil-, etil- e vinil acetato). Di una certa diffusione, in particolare, è il polietilene a bassa densità lineare (LLDPE) che, grazie alla presenza di comonomeri  $\alpha$  olefinici (fino al 10%), media le proprietà dei polietilene a bassa e ad alta densità. Per l'assenza delle numerose ramificazioni corte, l'LLDPE ha un'elevata cristallinità e superiori proprietà meccaniche (figura 8.12).

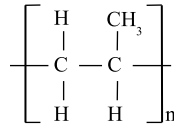
L'introduzione negli anni Ottanta dei catalizzatori metallocenici ha permesso un grande sviluppo applicativo di questi polimeri, modificando profondamente il quadro delle proprietà delle poliolefine e consentendo di predeterminarne la microstruttura e modularne le caratteristiche.

### HDPE - Polietilene ad alta densità



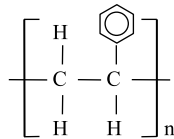
Polimero di addizione dell'etilene ottenuto per polimerizzazione a bassa temperatura e bassa pressione grazie all'utilizzo di specifici catalizzatori (detto *polietilene a bassa pressione*). Possiede una struttura lineare con poche ramificazioni e lunghe catene, quindi elevata cristallinità ( $>60\%$ ). L'intervallo termico di utilizzo varia da  $-25$  a  $+120$  °C. Da flessibile a rigido a seconda della densità. Ha permeabilità molto bassa all'acqua e piuttosto alta all'ossigeno. Presenta eccellenti caratteristiche di isolamento elettrico. Resistente ad acidi, alcali, oli, alcoli e allo stress cracking. Non resistente ad agenti ossidanti e solventi organici a caldo. Di basso costo, non presenta problemi di idoneità alimentare. Trasformabile con tutte le tecniche conosciute.

## PP - Polipropilene



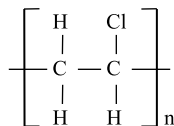
Polimero di addizione del propilene, con struttura ordinata e isotattica ed elevata cristallinità. Limite termico superiore di utilizzo a 110-130 °C. Ha la densità più bassa tra i polimeri più comuni (0,9 g cm<sup>-3</sup>). Piuttosto rigido e resistente. Permeabilità molto bassa all'acqua, alta all'ossigeno. Eccellenti caratteristiche di isolamento elettrico. Resistente ad acidi, alcali, oli, alcoli e allo stress cracking. Non resistente ad agenti ossidanti e solventi organici a caldo. Si presta efficacemente alla bi-orientazione, con notevole miglioramento delle caratteristiche meccaniche e ottiche. Trasformabile con tutte le tecniche conosciute. L'omopolimero isotattico è molto cristallino e poco trasparente; l'1,7% di etilene come comonomero dà luogo al copolimero random, assai utilizzato nel settore perché molto trasparente.

## PS - Polistirene



Polimero amorfo di addizione dello stirene, con struttura atattica. Limite termico superiore di utilizzo a 70-80 °C. Piuttosto rigido e molto fragile. Permeabilità molto bassa all'acqua, media all'ossigeno. Eccellenti caratteristiche di isolamento elettrico e termico. Trasparente e brillante. Resistente ad acidi, alcali, oli e alcoli inferiori. Non resistente ad agenti ossidanti, solventi organici, allo stress cracking e agli UV. Trasformabile con tutte le tecniche conosciute, molto adatto alla termoformatura e allo stampaggio a iniezione. Come omopolimero è conosciuto anche come PS cristallo (fragile e trasparente), ma si impiegano soprattutto formule contenenti altri comonomeri (butadiene) per aumentare la resistenza meccanica (HIPS, *high impact polystyrene*). Molto impiegato anche nella forma espansa (EPS, *expanded polystyrene*).

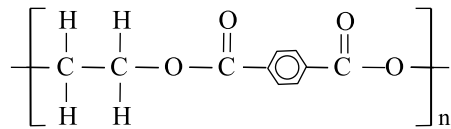
## PVC - Cloruro di polivinile



Polimero di addizione del cloruro di vinile, con struttura amorfa, atattica. Il limite termico superiore di utilizzo è variabile da 70 a 100 °C a seconda della formulazione; tende a decomporsi alle alte temperature. Ha permeabilità generalmente bassa all'acqua e all'ossigeno ed è trasparente. Molto versatile, con caratteristiche che variano enormemente in funzione del-

la formulazione (PVC rigido/PVC plastificato). È resistente ad acidi e alcali diluiti, solventi non polari, oli e grassi, benzina. Non è resistente a solventi polari, acidi concentrati, idrocarburi clorurati e aromatici. Presenta problemi di trasformazione per estrusione, ma ha un ottimo comportamento al soffiaggio e alla termoformatura. Il suo impiego ha sollevato, in passato, molte preoccupazioni per il residuo del pericoloso monomero (CVM, cloruro di vinile monomero), per la possibilità che in fase di termodistruzione potesse liberare diossine e per la presenza di additivi potenzialmente migrabili e pericolosi (specie plastificanti ftalati e termostabilizzanti contenenti metalli pesanti). Per la presenza di cloro, che costituisce più del 50% della sua massa, rappresenta tuttavia una delle migliori opportunità di fissare un sottoprodotto problematico di alcune importanti sintesi chimiche (il cloro appunto, dal processo Solvay di produzione della soda); è il meno “petrolifero” e il più “minerale” dei polimeri plastici.

### PET - Polietilentereftalato



Polimero di policondensazione di monomeri prodotti per esterificazione dell'acido tereftalico con glicole etilenico (il monomero si forma con liberazione di acqua), oppure per transesterificazione tra glicole etilenico e dimetil tereftalato (con liberazione di metanolo); la polimerizzazione del monomero avviene comunque sempre con liberazione di glicole etilenico, reimpiegato nella sintesi. Presenta struttura amorfa (APET) o cristallina (CPET) a seconda della velocità di cristallizzazione. Ha permeabilità bassa all'acqua e all'ossigeno; elevata durezza e rigidità. Il limite termico è funzione del grado di cristallizzazione: varia da 80 °C per l'amorfo a oltre 200 °C per il CPET. Non è praticamente termosaldabile. Resistente a idrocarburi anche aromatici, grassi, oli, acidi e alcali diluiti. Non resistente a idrocarburi alogenati, acetone, acidi e alcali concentrati. Trasformazione per stampaggio, estrusione, soffiaggio e termoformatura. L'aggiunta di un secondo comonomero glicole consente di abbassare la densità e ottenere un materiale (PETG) facilmente utilizzabile in termoformatura e meno fragile.

#### 8.4.2 Polimeri saldanti

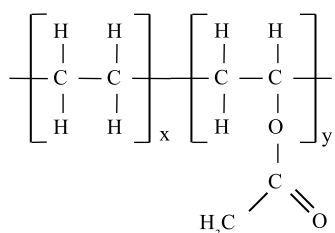
In molte situazioni di packaging, comprese quelle che in cui vengono utilizzati materiali cellulósici e/o accoppiati carta/alluminio, una funzione di importanza cruciale viene svolta dallo strato più interno di materia plastica con caratteristiche saldanti. A questa componente, infatti, si affida l'ermeticità della confezione, parte della sua inviolabilità e, molto spesso, anche la velocità di confezionamento sulle macchine automatiche. Lo strato saldante, inoltre, in quanto strato più interno delle strutture multistrato, è ovviamente anche quello a diretto contatto con gli alimenti e deve quindi garantire inerzia e sicurezza. Non sorprende, quindi, che particolare attenzione sia riservata alla selezione di questi polimeri, le cui principali proprietà sono riportate nella tabella 8.7.

**Tabella 8.7** Principali caratteristiche di alcuni polimeri saldanti (valori indicativi)

	<b>LDPE</b>	<b>EVA</b>	<b>Ionomeri</b>
Massa volumica (g cm <sup>-3</sup> )	0,91-0,94	0,92-0,94	0,94
T (°C) di fusione	110	105	80-95
Resistenza alla rottura (MPa)	8-30	15-30	35
Allungamento alla rottura (%)	100-950	300-750	250-450
Permeabilità O <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> per 25 μm (cm <sup>3</sup> 24h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> bar <sup>-1</sup> )	7.000	13.000	4.500
Trasmissione del vapor d'acqua, WVTR per 25 μm (g m <sup>-2</sup> 24h <sup>-1</sup> ) C.T.*	15-25	30-45	20-30

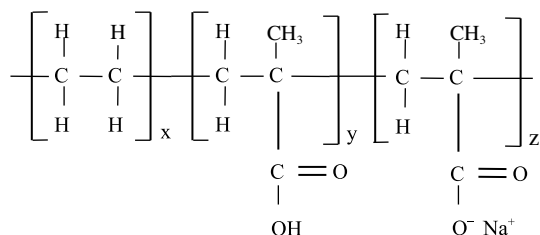
\* Condizioni tropicali: 38 °C, 90% ΔUR

### EVA - Etilenvinil acetato



Si tratta in effetti di una famiglia di copolimeri ottenuti attraverso polimerizzazione dell'etilene e del vinil acetato. Le diverse proporzioni dei due comonomeri influenzano tutte le prestazioni finali della materia plastica, che sono comunque abbastanza simili a quelle del LDPE. Per gli alti coefficienti di frizione e l'elevata adesività, i film di EVA trovano impiego quasi esclusivamente come strato saldante. Sono anche utilizzati come film estensibili (*stretching film*), per la loro grande elasticità anche in assenza di additivi plastificanti, e nei processi di coestrusione per la preparazione di materiali multistrato e come adesivi termofusibili (*hot melt*).

### Ionomeri



Il termine ionomeri si riferisce a una famiglia di copolimeri di polietilene modificato. Fondamentalmente vengono preparati unendo all'etilene, in fase di polimerizzazione, dall'1 al 15%



di un acido carbossilico insaturo (tipicamente acido metacrilico). La componente acida viene in seguito neutralizzata con sali organici (acetati, metilati) di cationi metallici (sodio, zinco, magnesio). La struttura che ne deriva è caratterizzata da legami ionici che conferiscono particolare tenacità alle saldature realizzate con questo materiale. Rispetto al polietilene, gli ionomeri hanno eccellente resistenza agli oli, ai grassi e allo stress cracking; sono più trasparenti e presentano valori maggiori di permeabilità al vapor d'acqua. Sono termoplastici, ma possiedono forza e tenacità paragonabili a quelle dei polimeri termoindurenti. Sono affini ai metalli (si accoppiano facilmente con fogli metallici) e sono caratterizzati da un'eccellente tenuta a caldo (hot tack): la saldatura è già tenace anche ad alta temperatura. Sono capaci di saldare in presenza di "sporco" (briciole, polveri, unto, schizzi di liquidi). Il nome commerciale più diffuso, con il quale vengono spesso indicati tutti gli ionomeri, è Surlyn.

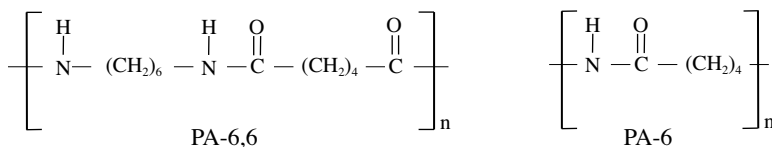
## Poliolefine

Sia i polietileni (LDPE, HDPE) sia il polipropilene (in forma non orientata e a volte come copolimero) sono frequentemente utilizzati come strati saldanti. In particolare HDPE e specialmente PP sono impiegati quando l'imballaggio è destinato a subire trattamenti termici elevati (pastorizzazione o sterilizzazione), in quanto hanno temperature di fusione e di ram-mollimento superiori a 100 °C.

### 8.4.3 Polimeri a elevata barriera ai gas

Sono le resine con i più bassi valori di permeabilità ai gas e in particolare all'ossigeno. Presentano notevoli differenze per quanto riguarda la sensibilità all'umidità, le proprietà meccaniche e il costo. In molte situazioni costituiscono lo strato cui è affidata la stabilità nel tempo dei prodotti più deperibili. Le loro principali proprietà sono riportate nella tabella 8.8.

## PA - Poliammidi



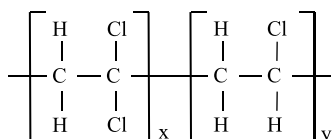
Famiglia di polimeri di policondensazione di aminoacidi o diammine con acidi bicarbossilici. Il numero che segue la sigla PA indica il numero di atomi di carbonio che costituiscono l'amminoacido monomero (nella figura, PA-6, originato dall'acido 6 aminocapronico, o più comunemente dal suo lattame, il caprolattame) oppure, nel caso di due cifre, la lunghezza della diammina e dell'acido bicarbossilico che hanno reagito a formare il monomero; per esempio PA-6,6 indica il prodotto di condensazione tra acido adipico ed esametilendiammina. Le poliammidi hanno struttura amorfa o parzialmente cristallina. La permeabilità è, in generale, molto alta al vapor d'acqua e molto bassa all'ossigeno; hanno elevata durezza, rigidità e resilienza. Il limite termico varia da 80 a 120 °C. Sono resistenti a idrocarburi (anche aromatici e clorurati), oli, solventi polari, alcali diluiti. Non resistono ad acidi e alcali concentrati e agli agenti ossidanti. Vengono trasformati per stampaggio ed estrusione; sono tra i polimeri più costosi.

**Tabella 8.8** Principali caratteristiche di alcuni polimeri a elevata barriera ai gas (valori indicativi)

	<b>PVDC per coestruzione</b>	<b>PVOH</b>	<b>EVOH 27% moli di etilene</b>	<b>MXD6 orientata</b>
Massa volumica (g cm <sup>-3</sup> )	1,59-1,71	1,19-1,31	1,14-1,19	1,06-1,30
Temperatura di fusione (°C)	–	180-240	140-180	243
Temperatura di transizione vetrosa (°C)	160-170	85	55-62	85
Resistenza alla rottura (MPa)	55-110	44-64	60-75	90-120
Allungamento alla rottura (%)	30-80	150-400	230-280	5
Permeabilità O <sub>2</sub> , PO <sub>2</sub> per 25 μm (cm <sup>3</sup> 24h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> bar <sup>-1</sup> )	2	0,15	0,6	3,3
Trasmissione del vapor d'acqua, WVTR (g m <sup>-2</sup> 24h <sup>-1</sup> ) per 25 μm in C.T.*	1,8	1.500-2.000	112	24

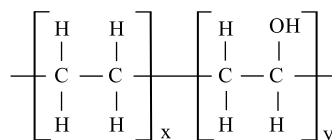
\* Condizioni tropicali: 38 °C, 90% ΔUR

### PVDC - Cloruro di polivinilidene



In forma pura dà luogo a materiali molto rigidi, poco utilizzabili per fini di confezionamento; se copolimerizzato con PVC (dal 5 al 20%) si presenta come una pellicola morbida e molto impermeabile sia all'ossigeno sia al vapor d'acqua, ben conosciuta e commercializzata da oltre 50 anni con il nome di Saran. Oltre alle eccellenti proprietà di barriera ai gas e al vapor d'acqua, ha buone caratteristiche termiche (sopporta la sterilizzazione) e ottime proprietà di resistenza ai grassi e a numerosi agenti chimici. I copolimeri PVC/PVDC sono resine semicristalline disponibili in forma solubile in acqua o in solventi organici; hanno pertanto una grande versatilità di impiego, anche come lacca impermeabilizzante, impiegata in passato anche sulle pellicole di cellulosa rigenerata (cellophane). Il suo monomero (CVDM), come quello del PVC, è soggetto a rigorosi limiti di migrazione specifica.

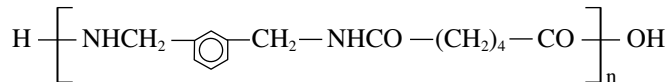
### EVOH - Etilenvinil alcol



Si ottiene per idrolisi dell'EVA. Anche in questo caso le prestazioni finali dipendono strettamente dalla proporzione dei due comonomeri; in particolare, all'aumentare della frazione vi-

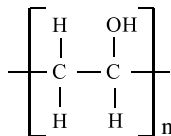
nilica aumenta la permeabilità al vapor d'acqua e diminuisce quella all'ossigeno; si verifica il contrario se prevale la frazione etilenica, normalmente compresa tra il 25 e il 48%. In ogni caso il copolimero è tipicamente idrofilo e, per questo, molto sensibile all'umidità: se utilizzato in ambienti umidi e non adeguatamente protetto, perde le sue caratteristiche di barriera all'ossigeno. È un polimero altamente cristallino, con buone prestazioni meccaniche e termiche; risulta inoltre trasformabile con molte tecniche differenti. Ha progressivamente sostituito il PVDC in molte applicazioni, in quanto ritenuto più sicuro.

### MXD6



È il prodotto di condensazione tra acido adipico e m-xililen diammina. Si tratta di una resina cristallina che si presta bene al processo di bi-orientazione. La prerogativa fondamentale di questa nuova e ancora costosa resina è la minore sensibilità al vapor d'acqua, che – al contrario di quanto avviene per tutte le altre poliammidi – influenza poco le sue caratteristiche di permeabilità. È inoltre molto resistente dal punto di vista meccanico, ha punto di fusione a 243 °C e si presenta come un materiale trasparente.

### PVA – Polivinilalcol

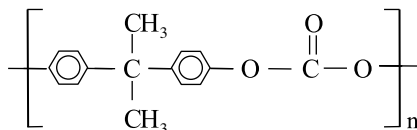


Noto anche come PVOH, e talvolta PVAL, è ottenuto per idrolisi, normalmente alcalina, del polivinilacetato. È completamente solubile in acqua e insolubile nei solventi organici. Ha struttura atattica, ma con elevata cristallinità. Finché anidro possiede una permeabilità ai gas molto bassa. È utilizzato sia come film sia, più spesso, come lacca barriera. Ha buona resistenza a oli, grassi e solventi; è inodore e non tossico; è flessibile, ma con buona resistenza meccanica. Il PVA ha un punto di fusione compreso tra 180 e 240 °C.

### 8.4.4 Polimeri meno comuni

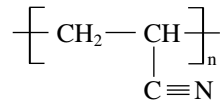
Altri polimeri plastici, brevemente descritti di seguito, trovano impiego a contatto con gli alimenti e le bevande, sebbene non abbiano molte applicazioni nel settore del food packaging.

### PC - Policarbonato da bisfenolo



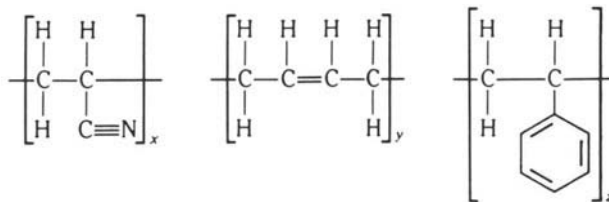
Si tratta di un poliestere termoplastico, amorfo, caratterizzato da ottima trasparenza ed elevata resistenza termica, che gli permette di tollerare senza problemi i 200 °C. Viene prodotto per condensazione tra acido carbonico e bisfenolo A. È impiegato soprattutto nei processi di stampaggio a iniezione e nella produzione di corpi cavi. Anche in funzione del suo peso molecolare, presenta elevata resistenza ad acidi minerali, idrocarburi, oli e grassi. Una delle applicazioni più fortunate è nella realizzazione di grandi contenitori, a rendere, per distributori di acqua.

### PAN - Poliacrilonitrile



È ottenuto dalla polimerizzazione dell'acrilonitrile in mezzo acquoso, a 40-55 °C, tramite catalizzatori. Trova impiego soprattutto nella produzione di fibre; è stato proposto, con scarsa fortuna, anche per produrre bottiglie per bevande gassate, in virtù della bassissima permeabilità ai gas. Il poliacrilonitrile si decompone prima di fondere, ma a temperature molto elevate (superiori a 300 °C). Anche a causa della pericolosità del suo monomero, le sue applicazioni sono sempre state poco numerose.

### ABS - Copolimero acrilonitrile/butadiene/stirene



Questo tert-polimero (prodotto con tre comonomeri diversi) è una resina termoplastica molto comune per produrre oggetti rigidi (come vassoi, tubi e accessori di chiusura). Le proporzioni possono variare dal 15 al 35% di acrilonitrile, dal 5 al 30% di butadiene e dal 40 al 60% di stirene. Ogni comonomero fornisce parte delle sue specifiche proprietà al copolimero finale, che risulta resiliente anche a bassa temperatura; il limite di utilizzo si ferma però a 60 °C; risulta infiammabile. È resistente ad acidi e alcali, ma non a tutti i solventi organici. È decisamente più costoso dello stirene e del polibutadiene.

## 8.5 Simboli e abbreviazioni dei polimeri e di alcune loro caratteristiche

Una norma internazionale del 1992 (ISO/DIS 1043-1) ha introdotto regole univoche e razionali per indicare con sigle le diverse materie plastiche. Sebbene tali regole di nomenclatura abbiano ancora scarsa diffusione, è opportuno segnalarne l'esistenza e raccomandarne l'utilizzo. I simboli principali riguardano gli omopolimeri e i polimeri naturali; sono inoltre indicati criteri per identificare i copolimeri e per definire alcune loro specifiche caratteristiche (densità, resistenza meccanica ecc.).

Le tabelle 8.9 e 8.10 riportano le principali sigle necessarie per definire le materie plastiche impiegate per la produzione di imballaggi alimentari.

Per indicare i copolimeri, nel caso di uso consolidato di alcune sigle, sono ammesse sigle senza la barra diagonale di separazione tra i comonomeri, come è indicato tra parentesi nella tabella 8.10. Le lettere che indicano specifiche caratteristiche del polimero devono seguire un trattino posto dopo la sigla. Anche in questo caso, tuttavia, va segnalato che la consuetudine è indicare le specifiche caratteristiche senza trattino di divisione e quasi sempre prima del simbolo (HIPS e non PS-HI, EPS e non PS-E, LDPE e non PE-LD, OPP e non PP-O). Nel caso di miscele o leghe le sigle di identificazione dei polimeri costituenti dovrebbero essere separati dal segno "+"; per esempio: PMMA+ABS per una miscela polimetilmetacrilato e acrilonitrile, butadiene, stirene. Un'ulteriore modalità di identificazione dei polimeri deriva dall'uso, sempre più diffuso, delle simbologie introdotte con gli International Universal Recycling Codes (codici universali internazionali di riciclaggio), finalizzati ad agevolare le operazioni di raccolta differenziata e di riciclo. Questa codifica (in figura 8.13 è riportata quella relativa alle materie plastiche) è stata istituita nel 1997 con la Direttiva 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio.

**Tabella 8.9** Abbreviazioni utilizzate per gli omopolimeri

<b>Simbolo</b>	<b>Polimero</b>	<b>Simbolo</b>	<b>Polimero</b>	<b>Simbolo</b>	<b>Polimero</b>
CA	Acetato di cellulosa	CAB	Butirrato di cellulosa	CN	Nitrato di cellulosa
EC	Etil cellulosa	PA	Poliammide	PAN	Poliacrilonitrile
PB	Polibutene-1	PBT	Polibutentereftalato	PC	Policarbonato
PE	Polietilene	PEI	Polieterimmide	PET	Polieteriltereftalato
PI	Poliimmide	PMMA	Polimetilmetacrilato	PMP	Polimetilpentene
PP	Polipropilene	PS	Polistirene	PTFE	Politetrafluoroetilene
PUR	Poliuretano	PVAC	Polivinilacetato	PVAL	Polivinilalcol
PVC	Polivinilcloruro	PVDC	Polivinilidenecloruro	PVP	Polivinipirrolidone
SI	Silicone	SP	Poliestere saturo	UP	Poliestere insaturo
UF	Ureaformaldeide				

**Tabella 8.10** Abbreviazioni utilizzate per i copolimeri e per alcune loro caratteristiche

<b>Simbolo</b>	<b>Copolimero</b>	<b>Simbolo</b>	<b>Significato</b>	<b>Simbolo</b>	<b>Significato</b>
A/B/S (ABS)	Acrilonitrile, butadiene, stirene	C	Clorurato	I	Impatto
E/EAK	Etilene, etilacrilato	D	Densità	L	Lineare o basso
E/P	Etilene, propilene	E	Espanso o espandibile	M	Medio o molecolare
E/VAC (EVA)	Etilene, vinilacetato	F	Flessibile, fluido	N	Normale
E/VAL (EVOH)	Etilene, vinilalcol	H	Alto	P	Plastificato
S/B	Stirene, butadiene	W	Peso	U	Ultra oppure non plastificato
S/A (SAN)	Stirene, acrilonitrile	X	"crosslinked"		



**Figura 8.13** Codifica delle materie plastiche per agevolare la raccolta differenziata e il riciclaggio.

## 8.6 Materiali di confezionamento e imballaggi di plastica

Una ragione del successo delle materie plastiche nella realizzazione di imballaggi e materiali destinati al contatto alimentare è, certamente, la grande flessibilità e rapidità dei processi usati per la loro produzione. I principali verranno descritti in questo paragrafo per l'importanza che hanno, o che possono avere, nello stabilire non solo il costo, ma soprattutto le proprietà finali del packaging e, di conseguenza, nell'influenzare le caratteristiche qualitative del prodotto alimentare confezionato. In tutti i casi, i processi si applicano sempre a formulazioni che contengono in varia misura, oltre alle resine plastiche, anche additivi funzionali e coadiuvanti tecnologici. Gli additivi, in particolare, meritano particolare menzione, in quanto sono molto numerosi e molto importanti per diversi aspetti.

### 8.6.1 Additivi delle materie plastiche

Per definizione, gli additivi sono sostanze aggiunte in piccole quantità alle resine polimeriche per conferire loro specifiche funzioni; hanno, in genere, basso o medio peso molecolare (soprattutto rispetto alla matrice nella quale sono dispersi) e sono legati ai polimeri da deboli forze di legame, interazioni secondarie e, quasi mai, da forti legami chimici. Le funzioni che si attribuiscono alle materie plastiche attraverso l'uso degli additivi, definiti per questo funzionali, sono di natura meccanica (plastificanti, agenti espandenti, rinforzanti, agenti che conferiscono gommosità), di superficie (antistatici, agenti scivolanti e antiscivolo, antiappannanti), termica (resistenza termica, inibizione della depolimerizzazione/decomposizione), di resistenza ai fattori ambientali (antiossidanti, anti UV) ed estetica (pigmenti, cariche). In genere sono aggiunti alle resine plastiche nella fase di produzione del manufatto finale sotto forma di *masterbatch*, cioè di pellet plastici contenenti alte concentrazioni di additivo, per favorirne la dissoluzione e facilitarne il dosaggio. In Italia la materia degli additivi delle materie plastiche destinate al contatto con gli alimenti, è rigorosamente disciplinata dal DM 4 maggio 2006, n. 227 (aggiornamento del DM 21 marzo 1973 e recepimento delle Direttive 2004/1/CE, 2004/13/CE e 2004/19/CE), che riporta un'unica lista comprendente sia gli additivi autorizzati a livello europeo, sia quelli normati a livello nazionale.

### 8.6.2 Film o pellicole

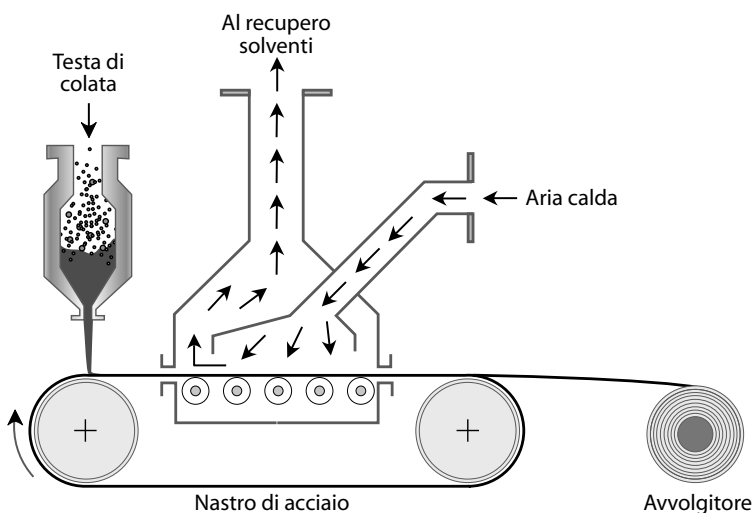
Utilizzati come materiali di avvolgimento, per produrre buste e sacchi e come elementi componenti di imballaggi multimateriale, i film plastici costituiscono una parte importantissima del food packaging moderno. Secondo una regola mai codificata, sono definiti *film* o *pellicole*, quei materiali piani e sottili aventi spessori fino a 250  $\mu\text{m}$  (circa 10 mil, millesimi di

pollice); oltre i 250  $\mu\text{m}$  e fino a uno spessore di 1 mm è preferibile usare il termine *foglie*, mentre sono per lo più definiti *lastre* i materiali con spessori superiori a 1 mm. Sono conosciuti diversi processi di produzione delle pellicole, ma l'estrusione e la calandratura sono di gran lunga i più utilizzati.

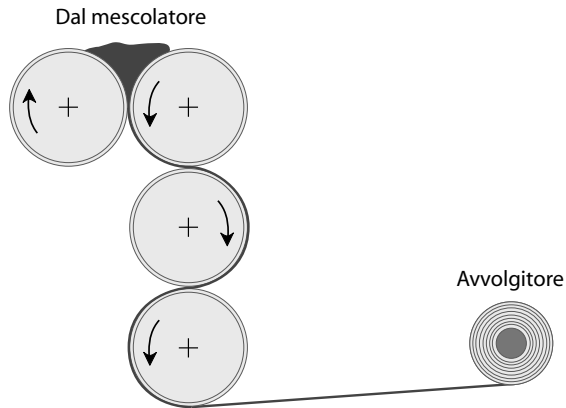
*Conversione chimica.* Una reazione chimica consente di trasformare una soluzione (o una sospensione) in forma solida; dal punto di vista fisico è un processo sol-gel, associato molto spesso all'eliminazione di un solvente. L'esempio più significativo è rappresentato dalla produzione delle pellicole di cellulosa rigenerata (Cellophane), attraverso la quale la viscosa di cellulosa è convertita nel film di Cellophane per trafilatura in un bagno di acido solforico diluito (vedi par. 7.7).

*Colata da soluzione, solvent casting.* È un processo impiegato per quei polimeri termolabili che non possono subire una trasformazione per formatura termica. Una soluzione, in idoneo solvente, del polimero in questione viene colata in strato sottile su un nastro che scorre in un forno; l'evaporazione del solvente e il distacco dal nastro mediante un coltello all'uscita dal forno consentono di raccogliere il film prodotto (figura 8.14). Questo processo è stato impiegato, per esempio, per il polivinilalcol (PVA o PVOH o PVAL) e per il nitrato di cellulosa; è una tecnica con la quale è possibile ottenere un materiale quasi perfettamente isotropico (cioè con uguali caratteristiche meccaniche in entrambe le direzioni ortogonali), in quanto prodotto senza tensioni o orientazioni delle macromolecole. È anche il metodo impiegato normalmente in laboratorio per produrre piccole superfici di film plastico.

*Formatura per calandratura.* Tra una o più coppie di cilindri riscaldati – aventi assi paralleli e distanza regolabile – che ruotano lentamente in direzioni contrapposte (calandra), viene riversato il polimero solido insieme agli ingredienti e agli additivi della formula definitiva (figura 8.15). Il calore generato per attrito e l'azione meccanica di compressione tra le superfici della calandra determinano la fusione e l'omogeneizzazione dei materiali e consentono di produrre film o foglie di spessore medio alto. Il PVC è un classico esempio di polimero trasformabile per calandratura.

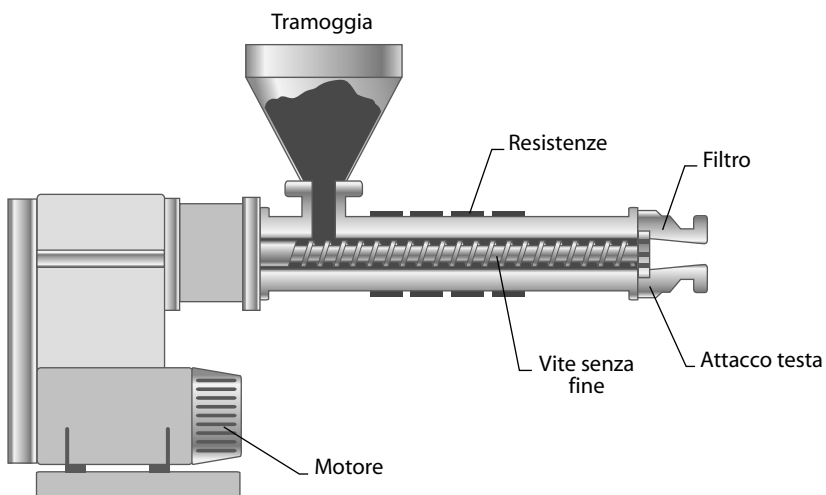


**Figura 8.14** Schema di impianto per la produzione di film per colata da soluzione.



**Figura 8.15** Schema di impianto per la produzione di film per calandratura.

*Formatura per estrusione.* È la tecnica più utilizzata per produrre pellicole e foglie. L'estrusore, l'attrezzatura fondamentale per realizzare tale tecnica, consiste in un cilindro di acciaio cavo riscaldato elettricamente, nel quale ruota una vite senza fine; in realtà sono molto usati per i polimeri plastici anche estrusori a doppia vite, nei quali due viti ruotano nello stesso senso o in senso contrapposto. Il profilo della vite e le temperature delle differenti zone dell'estrusore sono diverse a seconda del polimero da trattare. Il diametro interno degli estrusori utilizzati per la produzione commerciale di film è variabile (generalmente da 9 a 15 cm) e la lunghezza è correlata al diametro; i rapporti lunghezza/diametro sono critici per i diversi utilizzi. Il polimero, in forma di pellet o di polvere, e gli altri ingredienti (additivi, pigmenti, coadiuvanti) vengono introdotti nell'estrusore attraverso una tramoggia di carico;

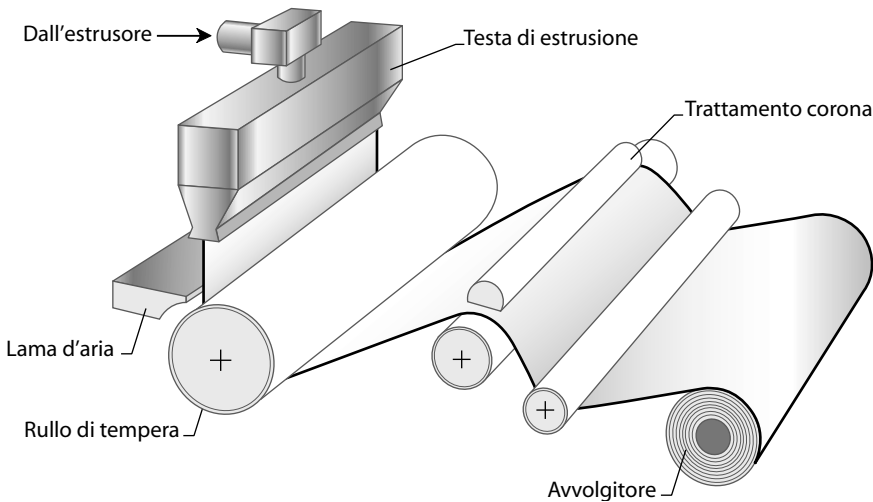


**Figura 8.16** Schema di estrusore per materie plastiche.

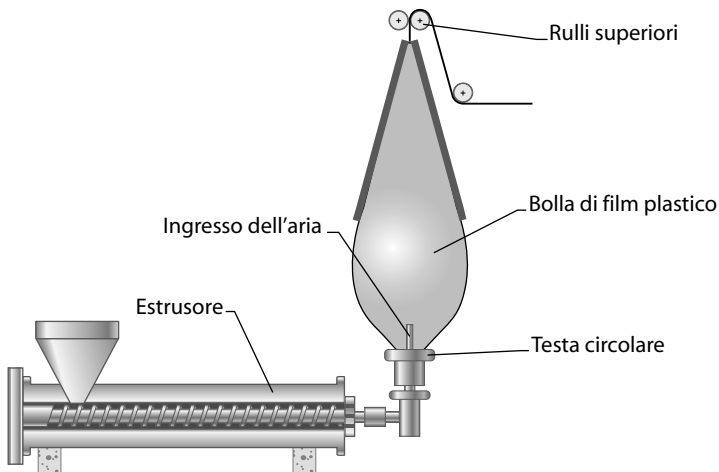


l'azione congiunta del calore e delle sollecitazioni meccaniche fonde e amalgama le materie prime e il movimento della vite determina l'espulsione dalla testa (trafila) dell'estrusore della pellicola a una temperatura molto prossima a quella di fusione (figura 8.16).

La trafilatura può essere una fenditura rettilinea, e in tal caso si parla di testa piana e di film piani (*flat film*), oppure circolare, per produrre film tubolari attraverso una testa a canale circolare (figure 8.17 e 8.18). Naturalmente la trafilatura è anche il punto in cui si determina lo spessore finale del materiale, che viene generalmente misurato in continuo durante la produzione. I dispositivi utilizzati a tale scopo emettono una radiazione elettromagnetica (infrarossa, UV) o ionizzante (raggi X, raggi  $\beta$ ), il cui assorbimento è proporzionale allo spessore.



**Figura 8.17** Schema di estrusione a testa piana per *cast film*.



**Figura 8.18** Schema di estrusione a testa circolare per *blown film*.

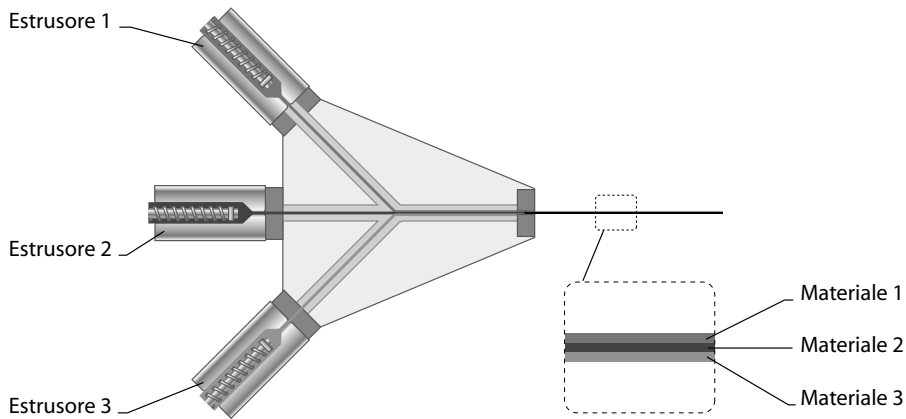
**Tabella 8.11** Caratteristiche di film piani e di film a bolla

<b>Caratteristica</b>	<b>Film piani</b>	<b>Film a bolla</b>
Trasparenza	+	-
Cristallinità	-	+
Rigidità	-	+
Resistenza alla rottura	-	+
Barriera a gas e vapori	-	+
Velocità di produzione	+	-
Uniformità di spessore	+	-
Planarità	+	-

- *Cast film*. Il film che esce dalla trafila deve essere rapidamente raffreddato e avvolto in bobina. Se prodotto da una testa piana, il materiale viene colato su un cilindro rotante refrigerato (*chilling roll*) o, più raramente, viene immerso in acqua refrigerata (in realtà una soluzione di agenti distaccanti) e avvolto in bobina. Questa tecnica di produzione imparte minime tensioni al materiale, che si presenta quasi isotropo; i film così prodotti sono detti cast film o pellicole colate.
- *Blown film* (film a bolla). All'uscita dalla trafila circolare il tubolare potrebbe essere schiacciato e raffreddato dando luogo a un cast film tubolare; molto più frequentemente, tuttavia, viene gonfiato per immissione di aria compressa; l'aria introdotta (perforando il tubo che va formandosi in continuo o attraverso la stessa trafila) è trattenuta a formare una bolla grazie al sistema di raccolta, che prevede una serie di coppie di cilindri progressivamente più vicine fino a schiacciare le due facce del tubolare impedendo la fuoriuscita dell'aria. Il raffreddamento è ottenuto investendo il film dall'alto con una corrente di aria fresca o di acqua; il controllo della temperatura è un aspetto molto critico qualora si intenda indurre un'orientazione (vedi par. 8.3). Nei film prodotti mediante trafila circolare l'orientazione in direzione trasversale è ottenuta molto facilmente mediante espansione della bolla; tipicamente il rapporto tra apertura della trafila e diametro del tubolare è compreso tra 1,5 e 4. L'orientazione in senso longitudinale è invece ottenuta con una velocità di raccolta del film che è tra 1,5 e 4 volte maggiore di quella di produzione.

Le prestazioni finali delle due tecniche di formatura sono differenti e legate fondamentalmente alla velocità di raffreddamento e alle tensioni esercitate sul materiale; la tabella 8.11 riporta le caratteristiche qualitative essenziali dei due tipi di film. HDPE, LDPE e LLDPE sono i polimeri più comunemente prodotti in bolla e orientati, ma non sono gli unici.

*Coestrusione*. Impiegando il processo di coestrusione (figura 8.19), la produzione di film sia piani sia a bolla può condurre direttamente alla realizzazione di strutture composite (vedi anche il capitolo 10). Due o più estrusori diversi si riuniscono in un'unica trafila, che può essere piana o circolare. Esistono fondamentalmente due tecniche per produrre film coestrusi: in una i materiali si riuniscono nella testa di estrusione, nell'altra l'adesione avviene immediatamente dopo l'uscita dalla trafila. L'orientazione può essere solo successiva alle operazioni di coestrusione. Oggi, in spessori di 15-20  $\mu\text{m}$ , si riescono a estrarre anche 9 strati di materiali differenti e la tecnica consente di recuperare agevolmente il materiale di riciclo, intrappolandolo tra spessori di materia prima vergine che può esplicare un efficace effetto di barriera funzionale. Ovviamente, non tutte le materie plastiche possono essere coestrate,



**Figura 8.19** Schema di costruzione in bolla e a testa piana.

**Tabella 8.12** Alcune tipiche strutture composite realizzate per costruzione

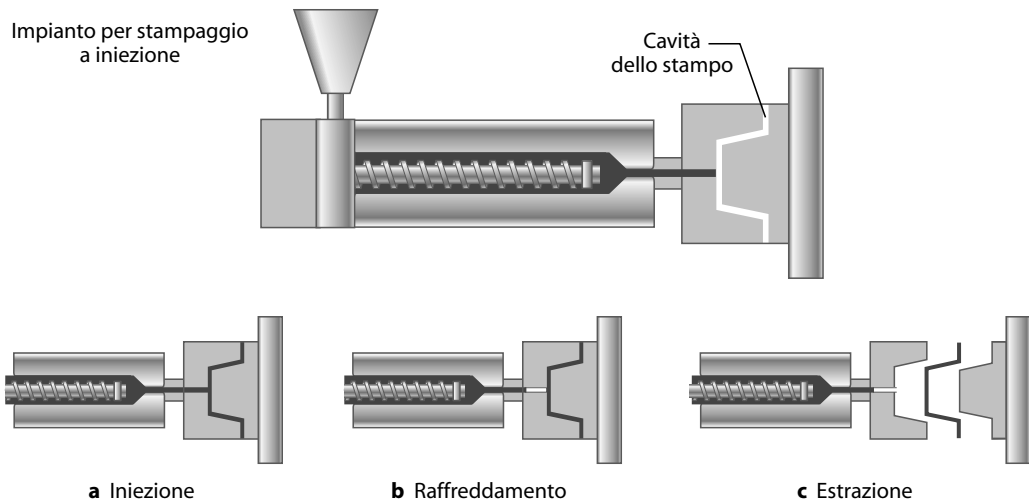
<b>Struttura</b>	<b>Impieghi</b>
HIPS/adesivo/PVDC/adesivo/HIPS	Film e foglie termoformabili
PP/adesivo/EVOH/adesivo/HDPE	Alimenti sterilizzabili
PP/riciclo/adesivo/EVOH/adesivo/riciclo/PP	Film per tutti i tipi di alimenti
PA/adesivo/LDPE	Film per tutti i tipi di alimenti
PET/adesivo/PP	Film per tutti i tipi di alimenti
EVA/PVDC+PVC/EVA	Carni e formaggi
PE/adesivo/EVOH/adesivo/HIPS	Film e foglie termoformabili
PP/adesivo/EVOH/adesivo/riciclo/adesivo/EVOH/adesivoPP	Film per tutti i tipi di alimenti

poiché per garantire l'adesione è indispensabile che vi sia affinità chimica tra i polimeri e che questi abbiano caratteristiche termiche non troppo diverse. La tabella 8.12 riporta, a titolo d'esempio, alcune strutture multistrato realizzate per costruzione e di comune impiego nel confezionamento alimentare.

### 8.6.3 Vaschette e corpi cavi stampati a iniezione

La tecnologia di stampaggio a iniezione si è sviluppata negli anni Cinquanta per la produzione di oggetti di materia plastica delle forme più varie e per gli utilizzi più disparati. Sfrutta le caratteristiche termoplastiche delle resine: in una pressa – sotto l'azione sia della pressione esercitata da un pistone (o da una vite), sia della temperatura – i granuli di materiale plastico sono portati allo stato fluido e iniettati attraverso uno stretto ugello all'interno di uno stampo refrigerato.

Appena il pezzo si è solidificato, lo stampo viene aperto per l'estrazione. Gli stampi sono molto costosi e il processo è discontinuo, ma consente una notevole libertà di forma, una precisione dei dettagli e un controllo accurato degli spessori in ogni punto del manufatto. I parametri di processo che possono influenzare le caratteristiche dell'imballaggio stampato sono



**Figura 8.20** Schema di produzione di vaschette mediante stampaggio a iniezione.

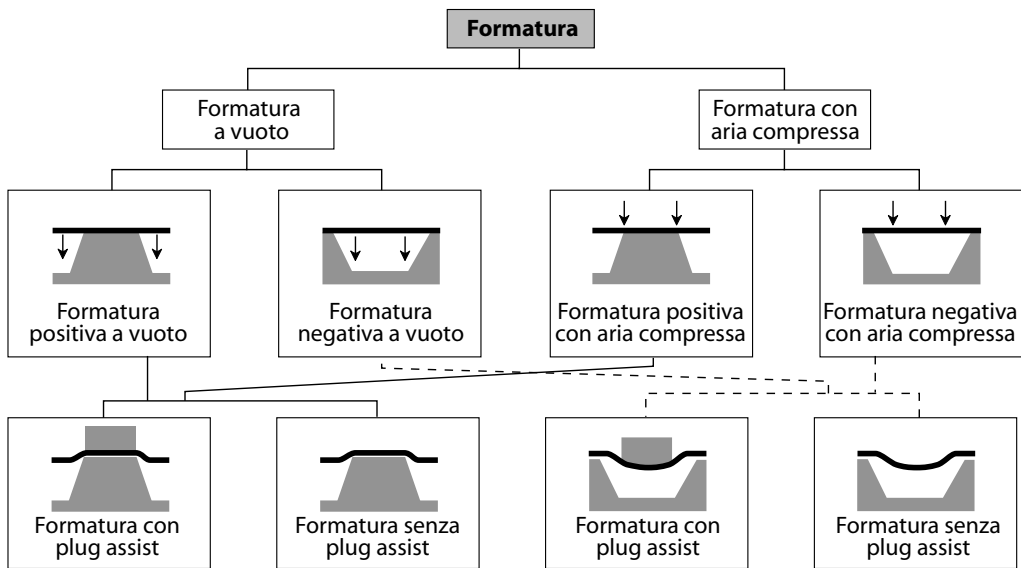
la temperatura (tipica per ogni materiale plastico), la velocità di iniezione (che deve essere molto elevata per evitare un avanzamento non continuo del fronte di materia fusa) e la pressione, che è legata alle esigenze di velocità di iniezione e raggiunge per le resine più viscosse valori di 200 MPa. Le materie plastiche che si prestano a questa tecnologia sono numerose; principalmente si impiegano: HDPE, PET, PP, PS, PVC e PA.

Attraverso lo stampaggio a iniezione si possono realizzare molti corpi cavi diversi, come vaschette, coppette e bicchieri, ma anche accessori di chiusura, come capsule e tappi a vite. Per tutti, la tecnica utilizzata è facilmente riconoscibile dalla traccia lasciata sull'oggetto dal punto di iniezione della plastica. Più raramente si riescono a realizzare con questa tecnica strutture multistrato attraverso la co-iniezione di materiali differenti. Lo stampaggio a iniezione è utilizzato frequentemente per produrre preforme destinate alla produzione di flaconi e bottiglie, attraverso il soffiaggio in un secondo stampo. La figura 8.20 riproduce schematicamente la produzione di una vaschetta per stampaggio a iniezione.

#### **8.6.4 Vaschette e corpi cavi termoformati**

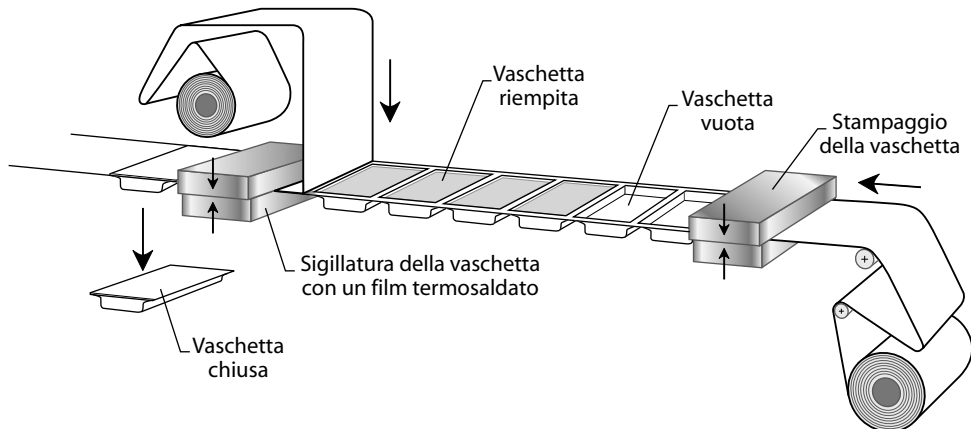
La tecnologia di termoformatura è più recente dello stampaggio a iniezione, essendosi sviluppata solo a partire dagli anni Sessanta. Anche la termoformatura mette a profitto le caratteristiche termoplastiche dei polimeri, ma la produzione avviene a partire da un film preesistente o da una foglia di materiale plastico (anche multistrato), che vengono riscaldati fino a renderli plastici e poi forzati in uno stampo per acquisire la forma definitiva.

Il film da termoformare viene in genere riscaldato per mezzo di resistenze elettriche o elementi a infrarossi; lo *sfondamento* può essere realizzato con tecniche molto diverse: sfruttando il vuoto, l'aria compressa, utensili meccanici o la combinazione di questi; la figura 8.21 presenta un quadro di tutte le possibili modalità di termoformatura. L'operazione di sfondamento è assai critica, poiché dalle tecniche di formatura impiegate dipende la distribuzione finale degli spessori nei diversi punti del contenitore e, di conseguenza, le prestazioni complessive di resistenza meccanica e impermeabilità.



**Figura 8.21** Opzioni disponibili per la realizzazione di un corpo cavo mediante termoformatura.

La termoformatura è caratterizzata da discreta versatilità, basso costo degli stampi e possibilità di produzione dell'imballaggio sulla linea di riempimento (TFFS, thermoform fill seal), che consente anche il condizionamento in asettico. Nella figura 8.22 è riprodotto un impianto di termoformatura in linea e confezionamento. Quasi tutti i materiali termoplastici, e persino alcuni materiali cellulosici (polpa di cellulosa), sono utilizzati in termoformatura, ma si impiegano soprattutto PS, PVC, PP, PE e PET; un potente impulso allo sviluppo della termoformatura, in particolare, è stato rappresentato dalla diffusione di vaschette di polistirolo espanso per il condizionamento di alimenti freschi, di origine sia vegetale sia animale.



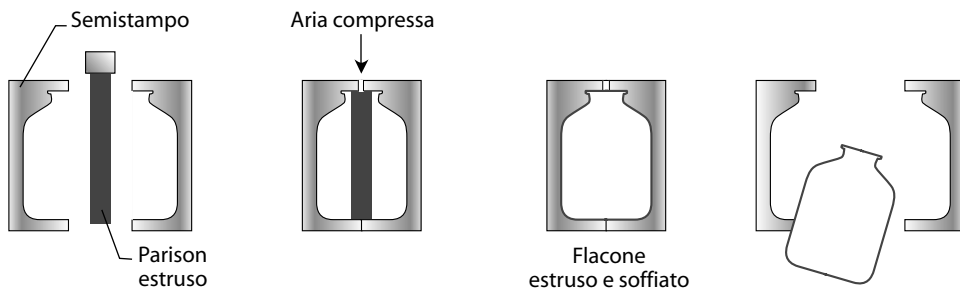
**Figura 8.22** Una linea di termoformatura e confezionamento.

### 8.6.5 Bottiglie e flaconi di plastica

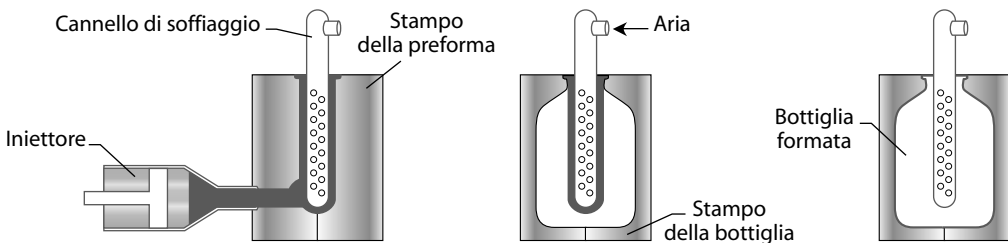
Le bottiglie e i flaconi di plastica, fino a dieci volte più leggeri di quelli di vetro, più economici e infrangibili, hanno conquistato in questi anni un mercato sempre più vasto. Teoricamente qualsiasi polimero termoplastico può essere trasformato in flaconi o bottiglie, ma in pratica si utilizzano LDPE, HDPE, PP, PVC e, soprattutto, PET nella forma bi-orientata. Si producono fondamentalmente con tre tecniche diverse, con risultati piuttosto differenti.

*Estrusione e soffiaggio.* Un tubo di materia plastica estruso (o coestruso, nel caso di strutture composite), detto parison, viene bloccato e portato a idonea temperatura in uno stampo, dove un soffio di aria compressa determina la forma finale espandendolo contro le pareti dello stampo (figura 8.23). Le pressioni in gioco non sono molto elevate e tipicamente inferiori a 1000 kPa. È una tecnica economica, particolarmente indicata per corpi cavi di grandi dimensioni; ha lo svantaggio di produrre scarti (le parti che restano all'esterno dello stampo, dette *matarozze*) e di non consentire la finitura ottimale, specie dell'imboccatura. HDPE, PP, e PVC – a volte resi impermeabili ai gas per coestrusione con EVOH o PA – sono i tipici polimeri utilizzati per questa tecnica di produzione, che richiede specifici valori di viscosità del fuso.

*Iniezione e soffiaggio.* Anche questo è un processo a due stadi. Per stampaggio a iniezione viene preparata una preforma (può essere anche di materiale composito), che ha già l'imboccatura di forma e dimensioni definitive; in una seconda fase (che può avere luogo anche in un'azienda diversa, come accade spesso per il condizionamento dell'acqua minerale) la preforma viene soffiata in un diverso stampo fino ad acquisire le dimensioni e la forma finale. Con questa tecnica produttiva si producono flaconi e bottiglie di PS, LDPE, LLDPE, HDPE, PP, PVC e PET. La tecnica di iniezione e soffiaggio permette un migliore controllo dei par-



**Figura 8.23** Fasi della produzione di un flacone di plastica per estrusione e soffiaggio.

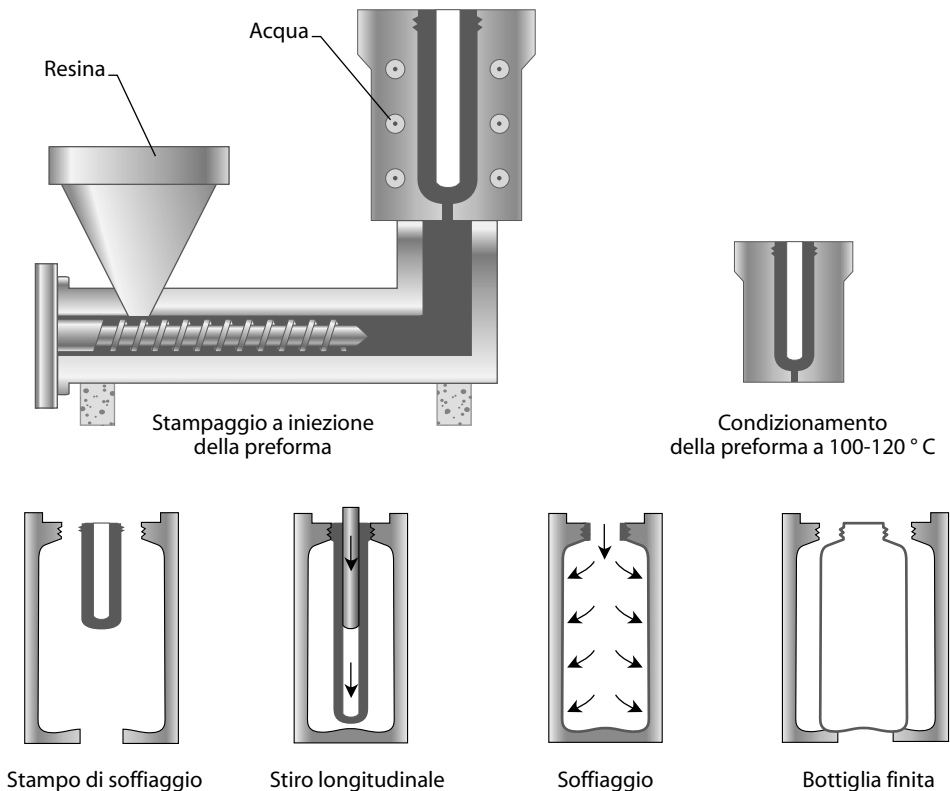


**Figura 8.24** Fasi della produzione di un flacone di plastica per iniezione e soffiaggio.

ticolari della bottiglia, specie all'imboccatura, e nessuna produzione di scarto (figura 8.24); è più costosa della precedente e più indicata per piccole dimensioni.

*Soffiaggio e stiro.* In qualsiasi modo venga realizzata la preforma (per estrusione o iniezione), in fase di soffiaggio è possibile, esercitando un'azione meccanica in senso longitudinale e controllando rigorosamente le temperature, impartire un'orientazione alle macromolecole del polimero plastico, migliorando tutte le caratteristiche dell'imballaggio finito (barriera ai gas, trasparenza, robustezza). Il procedimento può essere eseguito in due stadi o in un'unica macchina ed è la tecnica di elezione per le bottiglie di PET destinate a bevande gassate. L'orientazione in senso verticale è determinata dall'azione di un pistone spinto nella preforma, quella orizzontale dall'azione dell'aria compressa spinta a circa 4 MPa.

La bottiglia di PET bi-orientato, in particolare, è prodotta stirando e soffiando la preforma a una temperatura di 90-100 °C, poco al di sopra della temperatura di transizione vetro-sa, per evitare la cristallizzazione del polimero, che renderebbe meno trasparente il contenitore (figura 8.25). Per una bottiglia di 2 litri i rapporti di stiro sono generalmente di 2,3:1 in senso longitudinale e di 3,9:1 in senso trasversale; non tutto il corpo della bottiglia risulta orientato, ma solo le pareti, in quanto l'imboccatura e il fondo non subiscono alcuna significativa trasformazione strutturale.



**Figura 8.25** Fasi della produzione di una bottiglia di PET per iniezione, stiro e soffiaggio.

## 8.7 Materie plastiche espanso

Poiché in fase di lavorazione le materie plastiche – sia termoplastiche sia termoindurenti – si presentano come materiali plastico-viscosi, è relativamente semplice incorporare nella loro struttura gas finemente distribuiti per produrre materiali espansi, vere e proprie schiume solide. Per la loro grande leggerezza, a fronte di importanti proprietà meccaniche e di isolamento termico, i manufatti di plastica espansa (film, vaschette, corpi cavi ecc.) trovano interessanti e utili applicazioni nel campo del food packaging. I fattori che contribuiscono a limitare lo scambio termico sono fondamentalmente legati alla bassa frazione volumetrica di fase solida nell'espanso e alla bassa conducibilità termica dell'aria o del gas intrappolato nelle celle delle schiume. La densità dell'espanso è fino a 100 volte inferiore rispetto a quella del polimero da cui proviene; pertanto la frazione di solido presente nella schiuma risulta 100 volte inferiore. La conducibilità termica dell'aria intrappolata nell'espanso (aria secca:  $0,026 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ), inoltre, risulta fino a 20 volte inferiore rispetto a quella del polimero di provenienza (LDPE:  $0,48 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ). Per quanto riguarda le proprietà meccaniche, di norma il rapporto tra il modulo di compressione dell'espanso e quello del polimero non espanso è proporzionale al quadrato del corrispondente rapporto di densità:

$$Ee/Es = (\rho e/\rho s)^2$$

dove:

$Ee$  = modulo di compressione dell'espanso

$\rho e$  = densità dell'espanso

$Es$  = modulo di compressione del solido

$\rho s$  = densità del solido

Questo significa che, se la densità dell'espanso è 1/100 di quella del solido, il rapporto tra i moduli sarà 1/10000, e ciò può significativamente aumentare la capacità ammortizzante del materiale espanso. La rigidità dei manufatti espansi, invece, aumenta proporzionalmente alla terza potenza dello spessore della parete; pertanto, a parità di peso, i manufatti espansi risultano notevolmente più rigidi di quelli omogenei.

La tabella 8.13 presenta alcuni dati caratteristici degli espansi plastici più comuni. Polietilene e polipropilene sono convenientemente trasformati in espansi in forma di film o foglie, ma nel food packaging le applicazioni più comuni riguardano il polistirene (o polistirolo), le cui principali tecnologie di produzione sono descritte di seguito.

### Polistirene espanso sinterizzato (EPS)

Granuli di polistirene in acqua vengono addizionati in genere di pentano (dal 2% all'8%), ma sono utilizzabili anche altri agenti espandenti e in diversa concentrazione. La successiva

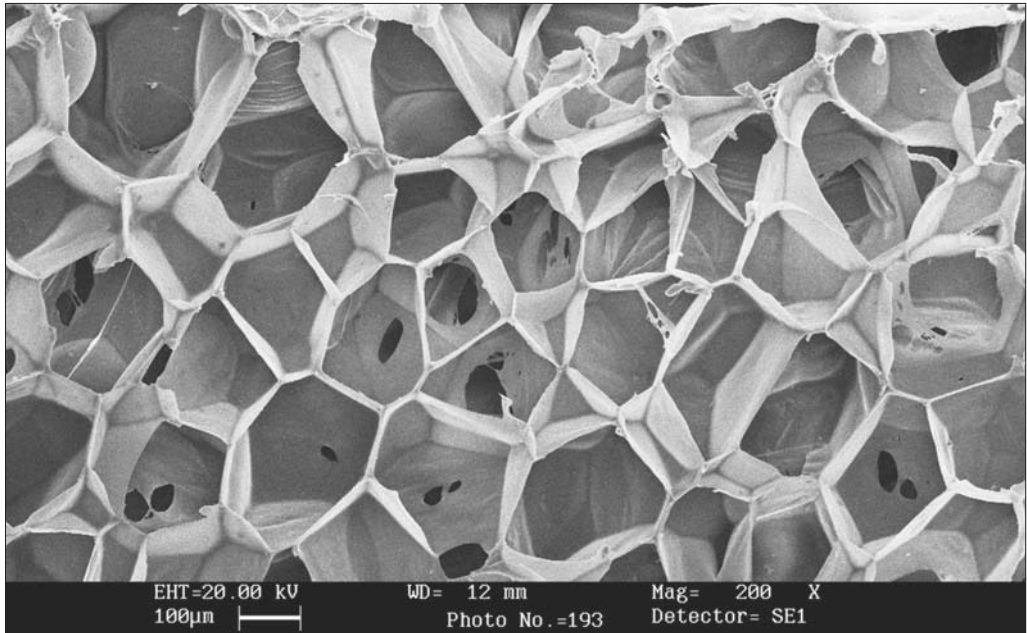
**Tabella 8.13** Alcuni valori indicativi delle proprietà di polimeri espansi

<b>Polimero espanso</b>	<b>Densità (<math>\text{g cm}^{-3}</math>)</b>	<b>Modulo di compressione (kPa)</b>	<b>Conducibilità termica (<math>\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}</math>)</b>
Polietilene	0,026-0,043	–	0,036-0,053
Polipropilene	0,010-0,096	974*	0,039
Polistirene	0,016-0,160	7.600**	0,030-0,037

\* Per densità di  $0,039 \text{ g cm}^{-3}$

\*\* Per densità di  $0,030 \text{ g cm}^{-3}$





**Figura 8.26** Immagine al microscopio elettronico di polistirene espanso a celle aperte. (Per gentile concessione di Sirap-Gema SpA)

compressione del sistema determina la diffusione del solvente basso bollente (pentano) all'interno del granulo, che risulta così saturato dall'idrocarburo dopo l'asciugatura effettuata al termine del processo. In una seconda fase, che può avere luogo parecchio tempo dopo, i granuli vengono introdotti in una camera chiusa nella quale è possibile immettere vapore d'acqua a circa 120-130 °C; tale trattamento determina il rammollimento della plastica e il suo successivo rigonfiamento dovuto all'ebollizione del pentano in essa presente. Si ottengono così le sferette di polistirolo, che saranno poi sinterizzate in lastre o blocchi o formate in stampi. La densità del materiale ottenuto è di 20-50 kg m<sup>-3</sup>.

### **Polistirene espanso estruso (XPS)**

Il polistirolo viene addizionato di gas all'interno dell'estrusore che termina con una trafilatura rettilinea; all'uscita della testa dell'estrusore il salto di pressione determina l'espansione del gas e la formazione continua della schiuma sotto forma di lastra, che sarà poi impiegata per realizzare, mediante termoformatura, vaschette, vassoi o qualsiasi altro oggetto. Una recente e assai interessante variante di questa tecnologia prevede l'aggiunta al polimero di un additivo tensioattivo e una fase di lavorazione meccanica per determinare la rottura delle pareti delle cellule della schiuma. Questa struttura, detta a celle aperte, risulta molto utile nella produzione di vaschette per i prodotti carni freschi. Per l'accessibilità del suo volume interno e per l'idrofilia indotta dall'additivo, favorisce infatti l'assorbimento di sangue ed essudati, rappresentando un'ottima alternativa ai *pads* assorbenti utilizzati per le stesse applicazioni (figura 8.26).

*Gli esercizi di autovalutazione di questo capitolo si trovano a pagina 516*

## Bibliografia

- Abdel-Bary EM (2003) *Handbook of Plastic Films*. Rapra Technology, Shawbury.
- Brown WE (1992) *Plastics in Food Packaging*. Marcel Dekker, New York.
- Direttiva 94/62/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 20 dicembre 1994, sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio. GU L 365 del 31.12.1994.
- Gibson LJ, Ashby MF (1988) *Cellular Solids: Structure & Properties*. Pergamon Press, Oxford.
- Hernandez RJ, Selke SEM, Culter J, Culter JD (2000) *Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations*. Hanser Gardner Publications, Cincinnati.
- Iascone B, Iascone P (2008) *Imballaggio in cifre. Consumativo generale 2007 dell'industria italiana dell'Imballaggio*. Istituto Italiano Imballaggio, Milano.
- ISO Standard (2001) ISO/DIS 1043-1 Plastics - Symbols and abbreviated terms - Part 1: Basic polymers and their special characteristics. International Organization for Standardization, Geneva.
- Jenkins W, Harrington JP (1991) *Packaging Foods with Plastics*. Technomic Publishing, Lancaster, PA.
- Lee DS, Yam KL, Piergiovanni L (2008) *Food Packaging Science and Technology*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 141-175.
- Modern Plastic Magazine (1994) *Modern Plastics Encyclopedia Handbook*, McGraw-Hill, Columbus, OH.
- Osborn KR, Jenkins WA (1992) *Plastic Films*. Technomic Publishing, Lancaster, PA.
- Paine FA, Paine HY (1992) *A Handbook of food packaging* (2<sup>nd</sup> ed). Blackie Academic & Professional, London.
- Piringer OG, Barner AL (2000) *Plastic Packaging Materials for Food*. Wiley-VCH Publisher, Weinheim.
- Sinn H, Kaminsky W (1980) Ziegler-Natta Catalysis. *Advances in Organometallic Chemistry*, 18: 99.
- Stepek J, Duchacek V, Curda D et al. (1987) *Polymers as materials for packaging*. Ellis Horwood, Chichester.
- Throne J, Ashby MF (1996) *Thermoplastic Foams*. Sherwood Publishers, Hinckley, OH.