

Gualtiero Princiotta
Polimeri Europa
Gualtiero.Princiotta@polimerieuropa.com

IMBALLAGGIO FLESSIBILE IN PE



L'enorme successo del PE è legato alla sua peculiare combinazione di **caratteristiche** che lo rendono il polimero più idoneo, a volte insostituibile, in numerose applicazioni.

I polietilene (PE) è un polimero termoplastico, chimicamente molto semplice, praticamente costituito da solo carbonio ed idrogeno. L'LDPE (low density polyethylene) ha una struttura ramificata ed una densità compresa fra 0,910 e 0,940 g/cm³. Esso è ottenuto a partire dall'etilene (CH₂=CH₂) in presenza di iniziatori radicalici, ad alte temperature e pressioni.

Se invece la "polimerizzazione" è condotta a bassa temperatura ed a bassa pressione, con l'impiego di catalizzatori, si ha una struttura lineare. In questo caso l'impiego di altre α -olefine, chiamate comonomeri (i.e. butene, esene, ottene), permette di regolare la densità. Così, via via aumentando il loro contenuto, si possono ottenere il PE alta densità (HDPE), il PE lineare bassa densità (LLDPE), ed il "very low density polyethylene" (VLDPE) (Fig. 1).

Le proprietà fisico-chimiche del PE dipendono da due principali parametri: la tipologia di legami chimici presenti (C-C e C-H) e la struttura delle macromolecole (la forma, le dimensioni, il tipo di comonomero, il grado di polidispersità). I legami chimici sono di tipo covalente e impartiscono a tutti i tipi di PE le caratteristiche di paraffina. La diversa struttura macromolecolare è invece responsabile delle differenti caratteristiche delle varie famiglie di PE.

Proprietà generali del PE

A ben guardare non è poi passato tantissimo tempo da quando il primo PE fu prodotto in piccola scala dall'ICI (1938-39), ed impiegato nello sviluppo dei radar per le sue eccezionali caratteristiche di isolante elettrico. Oggi il PE è prodotto industrialmente in larghiss-

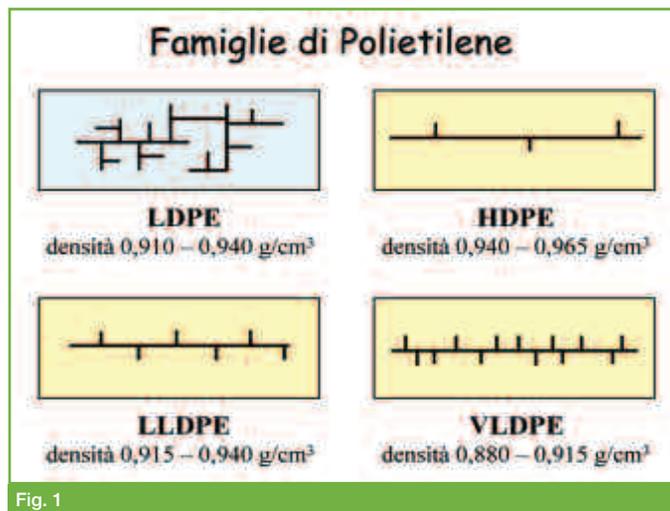


Fig. 1

Produzione europea dei principali polimeri termoplastici in milioni di t/a (2006)

PE	PP	PVC	PS	PET
12,2	8,3	6,0	3,3	2,2

sima scala, ed è la materia plastica più utilizzata al mondo (Tabella). Il PE è di buone caratteristiche meccaniche, è trasparente alla luce, è leggero, flessibile (o anche rigido), è termo-saldabile ed idoneo al contatto alimentare, è impermeabile alle molecole polari (i.e. acqua), è molto resistente agli acidi e alle basi, possiede una bassa conducibilità termica ed elettrica ed è dotato di buone caratteristiche organolettiche.

Questo materiale mantiene le sue proprietà per lungo tempo, si adatta a condizioni ambientali notevolmente differenti ed ha una grande versatilità; è, infatti, possibile plasmare alcune sue caratteristiche utilizzando tecniche di produzione diverse (bi-orientazione, espansione, metallizzazione, reticolazione, trattamento corona ecc.). Inoltre, si adatta facilmente ad essere lavorato in combinazione con altri substrati per completare le caratteristiche richieste dalle più disparate esigenze applicative.

Il PE può essere lavorato in continuo a produttività elevate, senza problemi di igiene ambientale. È disponibile in grandi quantità ed è economico.

Molti sono i suoi punti di forza anche nel bilancio ecologico. Rispetto ad altri materiali non polimerici (i.e. vetro, metalli), infatti, permette notevoli risparmi energetici sia sul trasporto, per la sua leggerezza, che in fase di trasformazione, per la sua bassa temperatura di fusione. È infrangibile e riutilizzabile svariate volte.

È molto resistente chimicamente e biologicamente quindi non contribuisce all'innalzamento della domanda biologica di ossigeno (BOD) dei fiumi, dei laghi e dei mari, non dà quindi contributo alla loro eutrofizzazione. Nel caso sia disperso nell'ambiente, non rilascia sostanze inquinanti.

Essendo un polimero termoplastico abbastanza stabile, se non contaminato da altre sostanze non compatibili, è riciclabile diverse volte con processo termico e, in ultimo, se bruciato, ha un ottimo potere calorifico (ca. 2 volte rispetto al legno) rilasciando solo acqua e ossidi di carbonio (CO e CO₂).

L'imballaggio flessibile

Un imballaggio flessibile può essere definito come un involucro di forma non precisata che si adegua facilmente ad una forza esterna flettendosi.

L'imballaggio flessibile gioca ormai un ruolo chiave nelle moderne catene di distribuzione e di vendita dei beni di consumo, contribuendo così al benessere ed alla crescita economica e sociale.

Circa la metà di tutto il PE prodotto dall'industria chimica europea è trasformata in "film", il quale è essenzialmente destinato all'imballo flessibile.

Le proprietà del PE hanno, infatti, trovato in questo settore la loro piena legittimazione, permettendo spesso di ottenere il miglior compromesso fra le diverse caratteristiche volute.

Ciò, sia relativamente all'imballo primario, quello cioè che va a diretto contatto col bene da imballare, sia nell'imballo secondario (riferito cioè al confezionamento di uno o più imballi primari) e sia in quello terziario, detto anche imballaggio di trasporto (predisposto specificatamente per la movimentazione e lo stoccaggio del prodotto).

Molte sono oggi le funzioni richieste ad un efficace e moderno imballo il quale, oltre a *contenere* e *proteggere* il bene da imballare, deve anche permettere di:

- velocizzare le operazioni di confezionamento e ridurre gli scarti;
- facilitare la distribuzione, la movimentazione ed il magazzino;
- ritardare il più possibile il deterioramento (shelf-life);
- favorire l'esposizione e la scaffalatura;
- attrarre il consumatore attraverso un aspetto brillante, gradevole ed invitante;
- facilitare l'identificazione del prodotto ed informare il cliente sulle sue caratteristiche;
- contribuire in maniera determinante alla strategia commerciale, infondendo silenziosamente i messaggi che si intendono trasmettere al consumatore;
- facilitare le operazioni di apertura ed, eventualmente, di chiusura dell'imballo.

Volendo classificare l'imballo flessibile da un punto di vista del procedimento/principio di utilizzo, possiamo identificare diverse tipologie di confezionamento: il film termoretraibile, il film termoretraibile bi-orientato, il film estensibile (stretch-film), lo stretch-hood, l'imballo alimentare, le strutture composite (coestrusione, laminazione e coating), il sacco industriale, lo shopper.

Il film termoretraibile (shrink-film) ed il film termoretraibile bi-orientato

Lo shrink-film è una pellicola mono o multi-strato, sostanzialmente a base di LDPE, di spessore complessivo compreso fra 20-180 µm e di larghezza variabile. In pratica, il film viene avvolto sul prodotto da confezionare e poi viene fatto passare, per pochi secondi, in un forno. Il riscaldamento libera le forze bloccate durante l'estrusione, le macromolecole si ritirano tornando nella posizione di maggiore equilibrio a più bassa energia, ed il film si ritrae serrando il fardello.

L'estrusione del polimero infatti, se fatta con tecnologia blown,

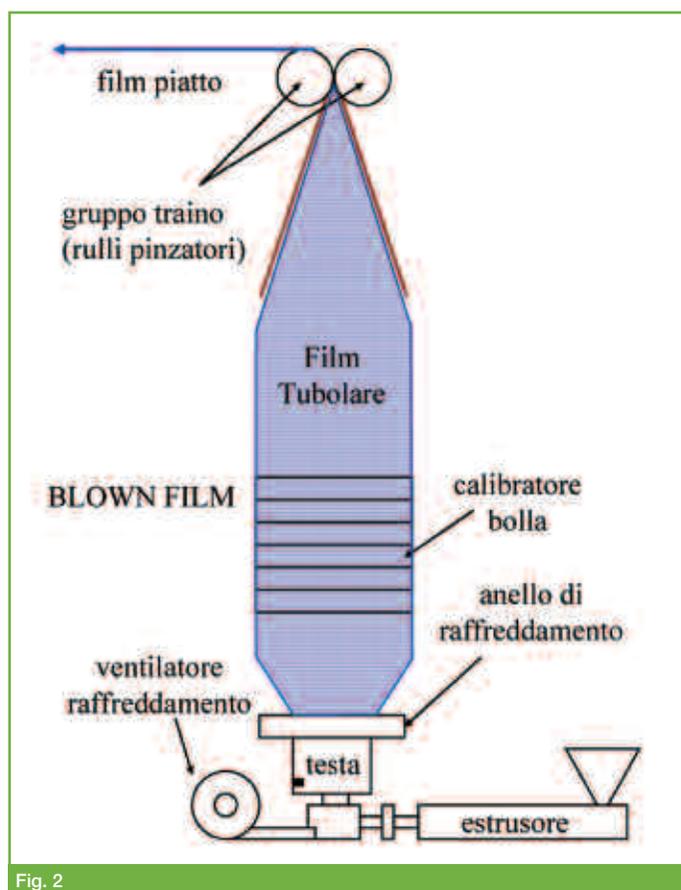


Fig. 2

orienta le macromolecole nelle due direzioni: nel senso della lunghezza "machine direction" (MD), e nel senso della larghezza "transverse direction" (TD). L'entità dell'orientamento molecolare in MD e in TD determina i valori di termo-retrazione. L'orientamento in MD è generalmente più intenso, essendo dovuto alla somma di due differenti cause: dalla forzatura del polimero attraverso la filiera (estrusione) ma, soprattutto, dallo stiramento del film fuso indotto dalla velocità del traino.

Ai fini applicativi però, è importante che il polimero abbia una buona termo-retrazione anche in direzione perpendicolare al senso di estrusione (TD). Nella tecnologia blown ciò viene ottenuto tramite il "gonfiaggio" che, causando lo stiramento del polimero fuso in direzione perpendicolare al senso di estrusione, determina l'entità della termo-retrazione in TD che si avrà nel corso della successiva messa in opera (Fig. 2).

È comunque la presenza delle ramificazioni lunghe "long chain branching" (LCB), nell'LDPE, a consentire al film di avere un'ottima termo-retrazione in TD. Tale proprietà non può essere ottenuta in misura ottimale solo con polietilene a struttura lineare e privi di ramificazioni lunghe (LLDPE; HDPE e VLDPE).

Nella pratica industriale LLDPE e HDPE sono comunque usati nel

film termoretraibile, aggiungendoli all'LDPE in mescola (fino al 30%) per incrementare le caratteristiche meccaniche (carico di snervamento, resistenza alla perforazione), la rigidità (consentendo una veloce messa in opera del film), e per dare una migliore saldabilità (LLDPE).

Il "film termoretraibile bi-orientato" è invece una pellicola costituita sostanzialmente da LLDPE di notevole pregio, principalmente utilizzata nel confezionamento di beni di consumo di piccole dimensioni ma di elevato valore commerciale (i.e. compact disk, profumi, cosmetici, cioccolatini).

Il film bi-orientato è ottenuto con tecnologia a doppia bolla. Tale sistema, oggetto di numerosi brevetti industriali, prevede l'estrusione di una bolla primaria, avente spessore di $\approx 600 \mu\text{m}$, che viene poi raffreddata rapidamente in acqua. Successivamente il film viene nuovamente riscaldato in forni a raggi infrarossi poi gonfiato, introducendo aria sotto pressione, e stirato longitudinalmente, ottenendo così un film tubolare secondario di spessore $\approx 15 \mu\text{m}$.

Il film così bi-orientato è quindi raffreddato velocemente al fine di bloccare le catene molecolari nella posizione di massimo allineamento. La scarsa orientabilità in TD, intrinseca dei polimeri a struttura lineare LLDPE, è superata dalla tecnologia di bi-orientazione che distribuisce le macromolecole anche in senso trasversale.

Stretch film

Lo "stretch film" è un film estensibile auto-collante, costituito da una sottile pellicola multistrato formata da polimeri diversi (sostanzialmente LLDPE) di spessore complessivo compreso fra 10-30 μm e larghezza variabile. Sfruttando la sua proprietà elastica, il film viene stirato a freddo ed avvolto sul fardello a spire. Non appena cessa la forza di stiro, il ritorno elastico del film determina una forza di serraggio sull'imballo.

Questa tecnica d'imballaggio, molto flessibile e di largo impiego, deve il suo sviluppo alla comparsa sul mercato dell'LLDPE. Tale polimero infatti, a causa della sua conformazione molecolare di tipo "lineare" possiede i requisiti di resistenza meccanica e, soprattutto, di stirabilità ed elasticità, necessari in questa applicazione.

I requisiti più significativi richiesti al film di polietilene in questa applicazione sono:

- il livello di massima stirabilità;
- proprietà meccaniche: puntura, impatto e lacerazione in TD;
- il ritorno elastico (forza di serraggio) e la sua costanza nel tempo;
- il giusto valore di appiccicosità (cling effect).

Il livello di massima stirabilità senza rotture, così come buona parte delle restanti proprietà meccaniche, dipende dalle caratteristiche strutturali del PE (peso molecolare, tipo di comonomero ecc.).

Per quanto riguarda l'effetto autocollante, esso si regola aggiungendo un "cling agent" come ad es. un very low density polyethylene (VLDPE, $d < 0,915 \text{ g/cm}^3$).

Dal punto di vista del processo di produzione lo stretch-film viene suddiviso in film soffiato (blown film) ed in film a testa piana (cast film). La stragrande maggioranza del film di LLDPE utilizzato nello stretch è comunque trasformato su linee da cast. Ciò è essenzialmente dovuto al fatto che le linee da cast, pur fortemente penalizzate in termini di investimento iniziale, permettono produttività superiori con costi di produzione unitari inferiori, insieme ad una buona qualità del film, specialmente in termini di omogeneità e di trasparenza.

Stretch-hood

Lo "stretch-hood" è un modo di imballare alternativo al film termoretraibile e allo stretch-film; l'idea di base in questo caso è sfruttare la deformazione elastica dei polimeri.

Nella messa in opera, il film polimerico - ottenuto tramite tecnologia blown con dimensioni di poco inferiori al fardello - viene infatti prima allargato, e poi "calzato" sul prodotto da confezionare.

Questa tecnica è molto adatta ad imballare confezioni di dimensioni ben definite, abbastanza voluminose e pesanti, come ad esempio i pallets (Fig. 3).

Gli spessori sono elevati ca. $170 \mu\text{m}$, ed i film sono additivati con pacchetti di anti-UV per resistere all'invecchiamento durante lo stoccaggio.

Le proprietà chiave di questa applicazione sono quindi:

- elasticità;
- proprietà meccaniche: resistenza alla puntura ed alla lacerazione;
- giusta scivolosità.

Per ottenere tali caratteristiche possono essere usati VLDPE e LLDPE, coestrusi e/o in blend in combinazione con co-polimeri etilene-vinilacetato "EVA" (9-19% vinil-acetato).

Rispetto al film termoretraibile ed allo stretch tradizionale, lo



Fig. 3

stretch-hood presenta una superiore semplicità di messa in opera, con bassi costi energetici e di gestione. I fardelli inoltre hanno una elevata stabilità, e proteggono dalla polvere e dall'umidità in maniera efficace il prodotto confezionato.

L'imballo alimentare

Finora abbiamo visto esempi di imballi costituiti praticamente solo da PE, anche se, per ottimizzare costi e prestazioni, esso è frequentemente usato in miscela e/o coestruso in diverse combinazioni. Ci sono però altri tipi di imballi flessibili dove le caratteristiche del solo PE non bastano per soddisfare tutte le necessità. Uno di questi è, sicuramente, l'imballo alimentare.

In questo caso, infatti, la natura paraffinica del PE fa sì che esso sia permeabile all' O_2 , e per questo l'alimento imballato si deteriorerebbe velocemente. Per superare tali limitazioni, il PE viene accoppiato con altri substrati polimerici (PA, EVOH, PET) e non (i.e. alluminio).

Un esempio di una struttura ad 5 strati contenente PE ed un polimero polare (PA) ad effetto "barriera" all' O_2 è illustrato sotto

PE // legante // PA // legante // PE (ALIMENTO)

In una struttura del genere, lo strato di PE direttamente a contatto con l'alimento, è anche lo strato che viene termo-saldato per



chiudere ermeticamente la confezione, ed è quindi scelto in funzione di questa proprietà chiave. Fra i diversi tipi di PE, l'LLDPE con comonomero ad ottene ed a densità relativamente bassa, rappresenta sicuramente un'ottima scelta.

Il legante si rende necessario per non far separare la poliammide (PA) fortemente polare, dal polietilene che è una paraffina. Tali polimeri "compatibilizzanti" hanno, infatti, natura chimica mista: una parte di essi è formata con legami di tipo sostanzialmente covalente (apolari), affini al PE, ma le loro catene contengono anche gruppi funzionali polari (acidi carbossilici e loro sali, anidridi, esteri, ecc.), che sono invece compatibili con i polimeri polari.

Oltre alla coestrusione, sistemi d'accoppiamento molto impiegati sono anche il coating e la laminazione, indispensabili nel caso sia necessario accoppiare il PE a materiali non termoplastici.

La tecnica d'estrusione mediante coating permette di accoppiare ad alta velocità un sottile strato di polietilene fuso ad un altro substrato; ad esempio carta, alluminio, tessuto non tessuto, film polimerico o metallico. Il processo consiste nel "colare" sul substrato, ad alte temperature (ca. 270-350 °C), un sottile strato di polietilene. Per questo tipo di tecnologia vengono usati estrusori muniti di testa piana. Gli spessori vanno da 8 µm a 60 µm. L'alta temperatura è necessaria per dare una bassa viscosità al materiale fuso, e per rendere parzialmente ossidata la superficie del polimero, in modo da aumentare la tensione superficiale, e favorire l'adesione. Nell'accoppiamento mediante laminazione, invece di colare un polimero fuso su un altro substrato, gli strati da accoppiare vengono fatti aderire l'un l'altro con l'utilizzo di speciali colle. La laminazione è quindi una tecnica di unione di film precedentemente pre-

parati, nella quale uno dei substrati viene spalmato da un collante e fatto passare attraverso un forno di essiccamento. Il film è di seguito raffreddato e guidato verso un rullo di accoppiamento riscaldato dove avviene l'incollaggio. Il film di PE è preventivamente trattato a corona per ossidarne la superficie e favorire l'ancoraggio della colla. Il PE viene generalmente utilizzato nella tecnologia della laminazione come strato saldante, come parte della struttura a diretto contatto con gli alimenti e come barriera al vapor d'acqua.

Sacchi industriali

In termini di volumi utilizzati il sacco industriale è un importante settore d'impiego del PE. La tecnologia è quella del blown film, tipicamente multistrato. Non è un settore particolarmente sofisticato; i sacchi devono essere resistenti, non troppo scivolosi per evitare cadute durante l'impilamento, e devono essere sufficientemente rigidi per favorire il loro riempimento automatizzato. Le chiusure dei sacchi sono realizzate mediante termo-saldatura, oppure mediante una valvola il cui inserimento avviene mediante speciali macchine.

Gli spessori vanno da 70 µm a 140 µm ed i prodotti usati in questo settore sono l'LDPE con MFI=0,3 ed con densità $d=0,921$. All'LDPE viene di solito aggiunto ca. 20-50% di un LLDPE a densità più o meno alta; queste miscele servono per ottenere il miglior compromesso saldabilità rigidità e, nel caso di imballi più critici (i.e. chemicals), per migliorare la resistenza allo ESCR.

Sacchetti per il trasporto (shopper)

Un altro tipico settore di utilizzo del PE sono i sacchetti per il trasporto dei beni di consumo dalle catene di distribuzione (shoppers). Questa applicazione non richiede particolari caratteristiche ed ogni trasformatore utilizza polimeri diversi (LDPE, LLDPE, HDPE ecc..) e loro mescole, in funzione: del tipo di tecnologia posseduta, della propria esperienza, della disponibilità del materiale, del suo costo e delle esigenze dell'utilizzatore finale.

