

ST0200378



ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

ISSN/1120-5571

Serie Innovazione

MASTER

L'IMPIEGO DEI MATERIALI POLIMERICI NELL'IMBALLAGGIO

MICHELA LANCHI

ENEA - Divisione Nuovi Materiali
Centro Ricerche Casaccia, Roma

RT/INN/2001/11

DISCLAIMER

Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.



ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

Serie Innovazione

L'IMPIEGO DEI MATERIALI POLIMERICI NELL'IMBALLAGGIO

MICHELA LANCHI

ENEA - Divisione Nuovi Materiali
Centro Ricerche Casaccia, Roma

RT/INN/2001/11

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Ente.

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily those of ENEA.

L'IMPIEGO DEI MATERIALI POLIMERICI NELL'IMBALLAGGIO

Riassunto

L'imballaggio è un prodotto adibito a contenere e a proteggere determinate merci, dalle materie prime ai prodotti finiti, a consentire la loro manipolazione e ad assicurare la loro presentazione. Il packaging è perciò chiamato a svolgere sia funzioni di tipo tecnico, sia funzioni di marketing attraverso il design, i colori, i materiali.

L'imballaggio, inoltre, è una realtà importante del mondo della produzione, delle strutture distributive e della vita quotidiana. Nell'ambito della produzione, l'industria italiana del packaging si colloca tra i settori più efficienti e competitivi, con un forte saldo attivo negli scambi con l'estero e con posizioni di leadership in alcune nicchie di mercato talora piuttosto significative.

Per quanto riguarda i campi di utilizzo, la destinazione degli imballaggi è principalmente verso il settore alimentare, che da solo copre una quota di circa il 42%, mentre, considerando anche il comparto delle bevande, tale quota sale al 65%.

Le materie plastiche vengono largamente impiegate in questo settore, grazie alle proprietà molto diversificate: leggerezza, inerzia e resistenza alla corrosione, facile formabilità, buona trasparenza, capacità di attenuazione delle vibrazioni meccaniche e sonore, elevata conservabilità nel tempo, elevate caratteristiche dielettriche, ecc.

I numerosi metodi di trasformazione attualmente in uso e le diverse tecniche di lavorazione dei materiali polimerici consentono di ottenere prodotti estremamente variegati, anche a partire dalla stessa materia prima.

Restringendo il campo di interesse al settore agroalimentare, fortemente sviluppato nel sud-Italia, si possono individuare numerose prospettive di crescita per i polimeri utilizzati nell'imballaggio:

- sviluppo di films polimerici a bassa permeabilità e ad alta selettività;
- sviluppo della tecnologia dell'atmosfera modificata;
- sviluppo di films polimerici attivi quali i films antimicrobici o i films trasferitori di odore e di colore.

Un'altra linea di ricerca estremamente promettente nel settore del packaging è lo sviluppo di imballaggi in plastica ecocompatibili mediante la produzione di materiali ad alte prestazioni specifiche (resistenza meccanica, resistenza all'umidità, resistenza al calore e alla luce) che riducano i volumi dei rifiuti e quindi agevolino le operazioni di smaltimento, e/o la realizzazione di confezioni alimentari in materiale il più possibile biodegradabile, attraverso il ricorso a blend di plastiche e polimeri bioderivati.

Parole chiave: *imballaggio, packaging alimentare, biobased packaging, films polimerici, shelf-life, trasformazione dei polimeri, ecocompatibilità dei polimeri, polimeri, riciclaggio della plastica.*

POTENTIAL OF POLYMERIC MATERIALS FOR PACKAGING

Abstract

Packaging preserves different kind of materials, from raw materials to products, and it plays an important role in the presentation of the products to the market, too.

That's why packaging should match not only technical requirements but it should be in charge of responding to marketing requirements by means of a proper design, effective colour choice and material etc., etc.

Nowadays packaging is becoming more and more important in different fields, from the manufacturing industry to the distribution, and it is an essential part of our everyday life, too.

In Italy we look at a rapid growth of the packaging market and the companies involved are very competitive and efficient, in particular in some market segments.

Concerning the application fields we can assert that packaging is mostly exploited in the food market which alone represents the 65% of the whole packaging market.

Nearly all types of packaging use plastics as part of their construction, because of their several properties: lightness, chemical inertness, corrosion resistance, molding attitude,

good transparency to light, sound and mechanical insulation, long time durability, good dielectric characteristics, etc.

At the time being, plastics advanced processing technologies provide us with wide spread of products, also from the same raw materials.

Focusing our attention to the horticultural market, growth in South of Italy in particular, examples of promising research fields to date are:

- *developing of good barrier performance films;*
- *developing of suitable modified atmosphere packaging;*
- *developing of active plastic films, such as antimicrobial films or antioxidants films.*

Moreover the large amount of plastic films used for packaging create a large waste problem. This can be reduced by:

- *optimising packaging design, avoiding the excessive use of plastics;*
- *improving strength, moisture and heat stability per unit weight in order to reduce plastic waste volume;*
- *developing blend of plastics and bio-based polymer in order to increase the biodegradability of packaging after use.*

Key words: packaging, food packaging, biobased packaging, polymeric film, product shelflife, polymeric processing technologies, polymeric biodegradability, plastic recycle..

Capitolo 1

IL PACKAGING

1.1 Definizione

Con il termine “packaging” si fa riferimento a “tutti i prodotti composti di materiali di qualsiasi natura, adibiti a contenere e proteggere determinate merci, dalle materie prime ai prodotti finiti, a consentire la loro manipolazione e la loro consegna dal produttore al consumatore o all'utilizzatore, e ad assicurare la loro presentazione. Anche tutti gli articoli a “perdere” usati allo stesso scopo devono essere considerati imballaggi” (direttiva comunitaria n. 94/62/CE).

1.2 Funzioni

Le principali funzioni svolte dal confezionamento si possono classificare in due gruppi, quelle tecniche e quelle di marketing, sintetizzabili nella formula lapidaria: “L'imballaggio deve proteggere ciò che vende e vendere ciò che protegge” [2].

Di seguito vengono schematizzate le principali funzioni del packaging.

- **Protezione.** La protezione viene offerta nei confronti di:
 - rischi di trasporto (protezione meccanica e climatica)
 - aggressioni chimico-fisiche provenienti dall'esterno (gas, vapore acqueo, luce)
 - dispersioni del prodotto (ermeticità, permeabilità)
 - aggressioni chimiche verso l'esterno e uso improprio (prodotti pericolosi, farmaci)
- **Prolungamento della durata del prodotto.** L'imballaggio può ricreare intorno al prodotto un ambiente adatto quando le condizioni esterne sono avverse (imballaggio in atmosfera modificata). Numerosi prodotti agroalimentari, infatti, lasciati nella loro atmosfera naturale vanno incontro ad una rapida degradazione delle caratteristiche organolettiche e dell'integrità biochimica, causata dall'umidità e dall'ossigeno contenuti nell'aria, dalla luce, dai batteri, dalla dispersione d'acqua, dalla dispersione di essenze naturali, e infine da tutti i fenomeni di migrazione.
- **Trasporto.** Il packaging rende il prodotto una unità adatta al trasporto: i prodotti vengono imballati per unità di peso e di volume, quindi raggruppati in unità sempre più grandi per facilitare la movimentazione meccanica. E' per questa ragione che l'imballaggio diventa un sistema: il conteggio, il dosaggio e la pesatura si effettuano simultaneamente all'operazione di imballaggio, e quasi sempre in modo meccanizzato.
- **Informazione.** L'imballaggio oggi si configura anche come strumento di comunicazione in quanto, dal momento in cui diventa un'unità di vendita e distribuzione, è destinato a

fornire dettagli su composizione, quantità, data di scadenza, origine del prodotto, condizioni di conservazione, ecc.

- **Meccanizzazione.** Il packaging deve possedere caratteristiche compatibili con la meccanizzazione perché l'operazione di imballaggio sia continua. Infatti le sollecitazioni esercitate dalle apparecchiature possono richiedere particolari caratteristiche tecniche e meccaniche dei materiali che non sarebbero necessarie per soddisfare i bisogni dell'utilizzatore.
- **Impiego.** Il packaging deve agevolare l'uso del prodotto fin dalla fase di apertura del prodotto stesso.
- **Smaltimento.** Una volta terminata la sua funzione attiva, il packaging deve essere elaborato in maniera tale da ridurre i suoi costi di produzione. Tre sono le possibili operazioni di smaltimento:
 - il riutilizzo
 - il riciclaggio del materiale di cui è costituito
 - l'incenerimento

In relazione alla funzione svolta gli imballaggi sono suddivisi, sempre secondo la citata direttiva, in tre grandi gruppi:

- **Imballaggi primari**, che costituiscono l'unità di vendita per l'utente finale.
- **Imballaggi multipli** o secondari, utilizzati per il raggruppamento di un certo numero di unità di vendita.
- **Imballaggi terziari**, finalizzati a facilitare la manipolazione ed il trasporto di un certo numero di unità di vendita o di imballaggi multipli.

1.3 Materiali costitutivi

I materiali largamente impiegati nel settore dell'imballaggio sono:

- **Metalli, acciaio e alluminio**, utilizzati prevalentemente per la fabbricazione di imballaggi primari. Il primo sotto forma di "banda stagnata" (90% della produzione) o di "latta", è impiegato per i prodotti alimentari, contenitori per pitture, vernici, smalti, oli, fusti, bombolette per aerosol e tappi-corona. L'alluminio è usato prevalentemente nei barattoli per bevande (lattine), nei tubetti flessibili e nei contenitori (vaschette) per la cottura e la congelazione dei cibi.
- **Plastica**, dagli usi più svariati ma essenzialmente per la produzione di bottiglie e di film. I polimeri più utilizzati, da soli o accoppiati, sono:
 - i polietileni (PE), di più largo impiego, di due tipi: a bassa densità (LDPE), per la produzione di film flessibili, e ad alta densità (HDPE), per manufatti rigidi (bottiglie e altri corpi cavi).
 - il polietilentereftalato (PET), utilizzato per le bottiglie contenenti bibite gassate.
 - il cloruro di polivinile (PVC), per la produzione di bottiglie per acqua minerale non gassata e di film estensibile.
 - il polistirene (PS), per la produzione di imballi protettivi e termoisolanti.
 - il polipropilene (PP), per la fabbricazione di imballaggi per prodotti alimentari
- **Vetro**, utilizzato quasi esclusivamente per la produzione di bottiglie e damigiane.
- **Carta**, cartone e cartoncino (CA), dagli impieghi più vari: astucci e scatole pieghevoli di cartoncino, fusti di cartone, sacchi di carta di grande capacità, cartone ondulato, rigido o flessibile, barattoli, ecc.

- **Legno**, utilizzato soprattutto per imballaggi terziari, in particolare per la produzione di pallets e di cassette di prodotti ortofrutticoli.
- **Poliaccoppiati**, ottenuti dall'accoppiamento di materiali diversi; possono essere di tipo rigido, costituiti da cartoncino abbinato con film plastici (utilizzato soprattutto per il confezionamento del latte pastorizzato) e/o con fogli di alluminio (impiegato per contenere latte sterilizzato, vino e succhi di frutta) o di tipo flessibile, composti generalmente da più polimeri (sacchetti o buste per il confezionamento di pasta, biscotti, caffè, ecc.).

Impiego dei materiali nel settore degli imballaggi

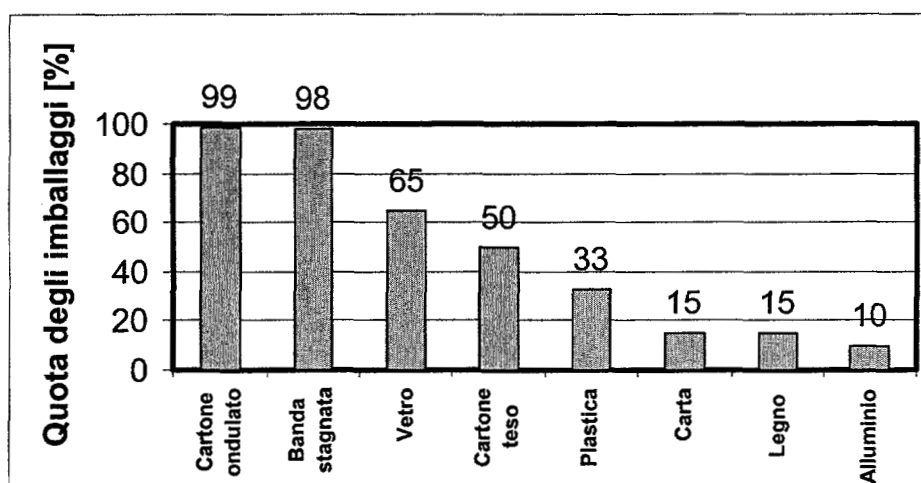


Figura 1.1: Fonte IFEC

1.4 Il mercato dei prodotti per l'imballaggio

L'importanza che il settore dell'imballaggio sta gradualmente assumendo nell'ambito dell'industria dei beni di consumo è enorme, considerando soprattutto l'impatto che tale settore ha sul commercio internazionale. L'evoluzione degli imballaggi, infatti, ha spinto l'internazionalizzazione della domanda dei beni, rendendo possibile ed economicamente conveniente portare il prodotto su mercati precedentemente non toccati. Fra le categorie di beni che, grazie all'effetto di spinta sopra indicato, hanno assunto un ruolo più rilevante nel commercio internazionale si possono menzionare:

- il latte a lunga conservazione;
- le pile e gli accumulatori;
- i prodotti alimentari freschi che, grazie a tecniche di confezionamento innovative, hanno moltiplicato la propria durata;
- le ceramiche per la casa;
- le bevande in generale;

D'altra parte è vero anche il meccanismo inverso: la *globalizzazione*, intesa come presenza delle imprese in più Paesi, ha incrementato in misura considerevole le esigenze di imballaggio. La diversificazione dei luoghi di produzione dei componenti, infatti, richiede la movimentazione di un maggior numero di semilavorati. L'imballaggio, dunque, rappresenta una voce non trascurabile nel fatturato dell'attività industriale: come illustra l'istogramma,

alcuni materiali vengono usati quasi esclusivamente per l'imballaggio. D'altro canto l'imballaggio può incidere in maniera considerevole sul prezzo di vendita del prodotto ed il rapporto tra il prezzo del bene di consumo ed il prezzo del packaging varia notevolmente, a seconda che si tratti di un articolo di lusso oppure di un genere di prima necessità.

Si è rilevato [1] che la produzione di packaging in un determinato Paese risulta mediamente proporzionale al suo PIL; quanto più un Paese è sviluppato e ricco, tanto più produzione e consumi di questo Paese saranno orientati verso beni avanzati, non di prima necessità, ad alto valore aggiunto, tecnologicamente più complessi, per i quali le esigenze di imballaggio sono quantitativamente e qualitativamente elevate e crescenti. Ciò implica che mentre i margini di sviluppo "diretto" nei paesi avanzati non potranno certo essere troppo significativi, pur se positivi, il potenziale incremento nelle o per le economie in via di sviluppo è amplissimo.

Dati comparativi previsionali riferiti al 2000 sul consumo pro capite di materiali da imballaggio (kg/anno) in vari tipi di paesi.

MATERIALE	Tipo di paese	Industrializzato avanzato	Industrializzato meno avanzato	In via di sviluppo	Sottosviluppato	Consumo medio (insieme d mondo)	
	PNL /abitante \$	10.000	5.000	1.000	100		
	Popolazione (milioni)	500	740	2.800	2.164	1985	2000
METALLO		8	4	3	1	3	2,8
VETRO		45	10	5	2	7	7,8
CARTA-CARTONE							
TESO E ONDULATO		70	45	10	5	12,8	17,3
LEGNO		10	5	3	2	3,2	8,6
PLASTICA		30	20	6	3	3,2	8,6
TOTALE		163	84	27	13	-	-

Tabella 1.1: Fonte IFEC

Per quanto riguarda la distribuzione della produzione di imballaggio nel mondo, nel 1999 il mercato globale del packaging raggiungeva un valore di quasi 600.000 miliardi di lire e la fetta europea risultava pari ad un terzo circa (vedi figura seguente)..

Il valore della produzione di imballaggi nel mondo (%)

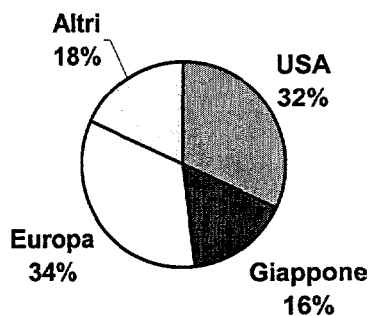


Figura 1.2: fonte [1]

1.4.1 Campi di utilizzo dell'imballaggio

E' possibile distinguere la rilevanza assunta dall'imballaggio nei molteplici campi di impiego osservando se i settori in cui si è soliti suddividere l'economia facciano uso di materiali per il packaging e di quali in particolare. In secondo luogo si può verificare, sempre con riguardo ai diversi settori, se le tre principali funzioni dell'imballaggio, spedizione, conservazione e presentazione, hanno rilievo basso, medio o elevato nel contesto complessivo, facendo ideale riferimento all'incidenza sul costo totale del prodotto.

L'analisi della tabella 1.2 dimostra che nella grande maggioranza dei casi si fa uso di almeno due materiali per imballo, anche se non mancano esempi di settori in cui vi sono diversi materiali impiegati. I prodotti farmaceutici, ad esempio, sono imballati facendo ricorso a ben sei tipi di materiali; in generale tutta l'industria chimica e delle fibre fa grande utilizzo di prodotti diversificati. Anche l'industria alimentare, come è del resto facilmente immaginabile, fa grande impiego di materiali. Abbastanza contenuto, d'altro canto, il ricorso ai prodotti per imballo nell'industria tessile e dell'abbigliamento e in quella del cuoio.

La tabella successiva (tab. 1.3) fa invece riferimento alla distinzione fra imballo per spedizione, per conservazione e per presentazione, considerando cioè l'importanza delle singole funzioni d'uso del packaging nei vari settori. Non è possibile in questo caso assumere dei valori assoluti di confronto: infatti il concetto stesso di "rilevanza" di costo varia da settore a settore. Pur con queste premesse, è possibile osservare che per l'industria lattiero casearia, ad esempio, l'imballo ha notevole importanza sia sotto il profilo della conservazione che della presentazione, ed è comunque piuttosto importante anche ai fini della spedizione del prodotto. Stesse considerazioni valgono per i prodotti farmaceutici e per le bevande. In generale è facile osservare dalla tabella sottostante che i settori dell'alimentare e della chimica farmaceutica sono quelli più interessati all'imballaggio.

Settori	Materiali dell'imballo							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Alimentari e bevande								
Carne (fresca)								
Carne (conservata)								
Pesce (fresco)								
Pesce (conservato)								
Frutta e ortaggi (freschi)								
Frutta e ortaggi (conservati)								
Frutta e ortaggi (apertizzati)								
Oli e grassi								
Industria lattiero-casearia								
Granaglie e pasta								
Prodotti freschi da forno								
Prodotti per animali								
Industria delle bevande								
Industria del tabacco								
Industrie tessili e abbigliamento								
Industria delle fibre								
Fabbricazione di maglierie								
Abbigliamento								
Industria del cuoio								
Articoli da viaggio								
Calzature								
Stampa ed editoria								
Stampa ed editoria								
Riproduzione supporti registrati								
Industria del coke e del petrolio								
Prodotti petroliferi, olii e lubrificanti								
Industria della chimica e delle fibre								
Pesticidi								
Pitture, vernici e smalti								
Prodotti farmaceutici e botanici								
Inchiostri								
Lavorazione minerali non metalliferi								
Ceramica (esclusa edilizia)								
Piastrelle								
Mattoni e tegole								
Cemento, calcestruzzo e gesso								
Industria dei metalli e delle loro leghe								
Utensileria e coltelleria								
Macchine per ufficio e sistemi informatici								
Macchine per ufficio e sistemi informatici								
Macchine e apparecchi elettrici								
Accumulatori e pile								
Apparecchi di illuminazione								
Altri apparecchi elettrici (elettrodom.)								
Apparecchi radiotelevisivi								
Meccanica di precisione								
Apparecchi medicali e chirurgici								
Strumenti di misurazione e controllo								
Strumenti ottici e fotografici								
Orologi, gioielleria, oreficeria								
Mezzi di trasporto								
Parti e accessori per autoveicoli								
Motocicli e bicicletta								
Altre industrie manifatturiere								
Strumenti musicali								
Articoli sportivi								
Giochi e giocattoli								
Spedizionieri								

A=acciaio B=alluminio C=plastica D=poliaccoppiati E=cartone F=cartoncino G=vetro H=legno

Tabella 1.2: Fonte[1]

Settori	Funzioni dell'imballo								
	spedizione			conservazione			presentazione		
	B	M	A	B	M	A	B	M	A
Alimentari e bevande									
Carne (fresca)									
Carne (conservata)									
Pesce (fresco)									
Pesce (conservato)									
Frutta e ortaggi (freschi)									
Frutta e ortaggi (conservati)									
Frutta e ortaggi (apertizzati)									
Oli e grassi									
Industria lattiero-casearia									
Granaglie e pasta									
Prodotti freschi da forno									
Prodotti per animali									
Industria delle bevande									
Industria del tabacco									
Industrie tessili e abbigliamento									
Industria delle fibre									
Fabbricazione di maglierie									
Abbigliamento									
Industria del cuoio									
Articoli da viaggio									
Calzature									
Stampa ed editoria									
Stampa ed editoria									
Riproduzione supporti registrati									
Industria del coke e del petrolio									
Prodotti petroliferi, oli e lubrificanti									
Industria della chimica e delle fibre									
Pesticidi									
Pitture, vernici e smalti									
Prodotti farmaceutici e botanici									
Inchiostri									
Gomma e materie plastiche									
Articoli in gomma									
Articoli in plastica									
Lavorazione minerali non metalliferi									
Vetro									
Ceramica (esclusa edilizia)									
Piastrelle									
Mattoni e tegole									
Cemento, calcestruzzo e gesso									
Industria dei metalli e delle loro leghe									
Ferro e acciaio									
Elementi da costruzione									
Cisterne, serbatoi, radiatori, caldaie									
Utensileria e coltelleria									
Macchine e impianti									
Macchine per ufficio e sistemi informatici									
Macchine per ufficio e sistemi informatici									
Macchine e apparecchi elettrici									
Accumulatori e pile									
Apparecchi di illuminazione									
Altri apparecchi elettrici (elettrodom.)									
Motori e trasformatori elettrici, fili e cavi									
Meccanica di precisione									
Apparecchi medicali e chirurgici									
Strumenti di misurazione e controllo									
Strumenti ottici e fotografici									
Orologi, gioielleria, oreficeria									
Apparecchi radiotelevisivi									
Tubi, valvole elettroniche e apparecchi trasmettenti									
Apparecchi riceventi									
Mezzi di trasporto									
Parti e accessori per autoveicoli									
Altre industrie manifatturiere									
Fabbricazione di mobili									
Strumenti musicali									
Articoli sportivi									
Giochi e giocattoli									
B= basso									

M= medio

A= alto

Tabella 1.3: Fonte[1]

1.5 La filiera dell'imballaggio in Italia

La filiera (insieme di comparti produttivi legati strettamente in senso verticale e a volte trasversale) dell'imballaggio si compone principalmente di un settore di macchine per il confezionamento e l'imballaggio e di un settore di produzione dei materiali utilizzati.

La produzione di macchine per il confezionamento-imballaggio rappresenta uno dei fiori all'occhiello dell'industria italiana, che compete a livello globale con realtà produttive quali la Germania e supera colossi quali il Giappone e gli Stati Uniti. Le ragioni di tale successo sono da ricercare nell'elevato livello qualitativo delle produzioni, oltre che nella grande capacità, tipica di imprese di piccole dimensioni, di dare risposte adeguate alle richieste più specifiche e di mantenere una forte specializzazione produttiva unitamente a un elevato contenuto tecnologico della produzione. La produzione del settore può essere idealmente suddivisa in tre grandi segmenti: le macchine per il condizionamento o confezionamento primario, le macchine per il confezionamento secondario e le macchine per l'imballaggio. Quanto ai settori utilizzatori, la distinzione rilevante è tra l'industria alimentare, da sola in grado di assorbire circa il 40% della produzione, e quella non alimentare, che assorbe il rimanente 60%, con un certo rilievo per i comparti del tabacco, chimico-farmaceutico, cosmetico, cartario, stampa ed editoria.

Settore macchine per il confezionamento e l'imballaggio

	<i>Francia</i>	<i>Germania</i>	<i>UK</i>	<i>Spagna</i>	<i>Italia</i>	<i>USA</i>	<i>Giappone</i>
N° imprese	110	330	250	115	200	700	400
N° addetti	3200	29000	n.d.	2500	13400	21000	18228
Fatturato *	456	3190	840	250	1827	3171	3791
Bilancia commerciale	-170	1835	-197	-79	1292	-148	99

Tabella 1.4: fonte International Trade Statistics Yearbook (1992) * Milioni di dollari USA

I comparti italiani di produzione dei materiali per l'imballaggio non ricoprono, in genere, ruoli di leadership a livello mondiale; su tale scala, infatti, sono generalmente forti le aziende statunitensi, inglesi, francesi e giapponesi. Ciononostante, l'Italia si distingue per l'alta specializzazione delle proprie produzioni, e quindi per la copertura di nicchie di mercato talora piuttosto significative.

Per quanto riguarda i campi di utilizzo dell'imballaggio è consuetudine distinguere tra il settore alimentare e quelli genericamente definibili "non food". Anche se non esistono statistiche ufficiali delle correlazioni fra macchinari e materiali da un lato, settori di utilizzo dall'altro, si può stimare un collegamento nella misura e nelle forme esposte nella figura 1.2.

Si nota che la destinazione delle produzioni di materiali è principalmente verso il settore alimentare, che da solo copre una quota di circa il 42%; ove però si considerasse anche il comparto delle bevande, che pesa per il 23% circa, tale quota salirebbe al 65%. Ai comparti non alimentari giunge il restante 35%. Volendo, pure con qualche approssimazione, scomporre tale ultimo dato si arriva alla seguente suddivisione:

- farmaceutico 11%,
- abbigliamento 7%,
- altri (tabacco, accessori casa, articoli sportivi, ecc.) 17%.

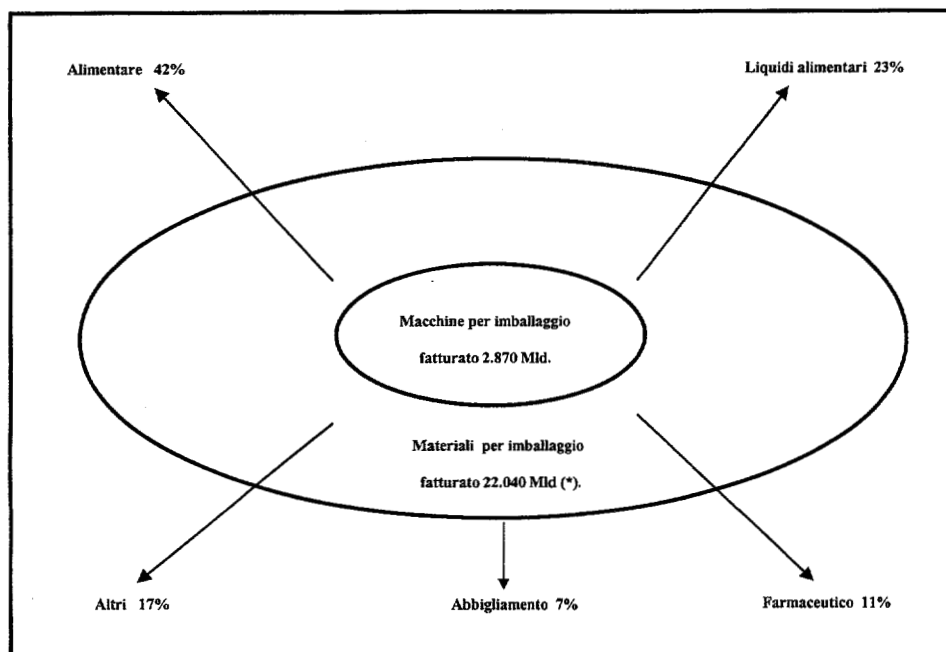


Figura 1.3: Fonte (1)

(*) dato aggiornato al 1999 (Istituto italiano Imballaggi): 32.300 Mld

L'area dell'imballaggio dei liquidi alimentari ha conosciuto lo sviluppo più consistente nel corso degli ultimi anni ed è stata soggetta ad una vera e propria rivoluzione, con l'ingresso massiccio sul mercato dei contenitori in plastica, di brick in poliaccoppiato e con la progressiva sostituzione, all'interno dello stesso comparto vetrario, delle bottiglie a rendere con quelle a perdere. In termini quantitativi (tonnellate di imballaggio) il vetro resta ancora il materiale principale nell'imballaggio dei liquidi, con una quota di circa 83%, seguito dalle plastiche (PET, PVC, PE) con circa l'8%, dal poliaccoppiato con il 6% e dalle lattine in alluminio e banda stagnata con circa il 3% (figura 1.4a). Diverso è però il quadro rispetto ai volumi imbottigliati (figura 1.4b).

Ripartizione per volume imbottigliato degli imballaggi consumati per liquidi alimentari

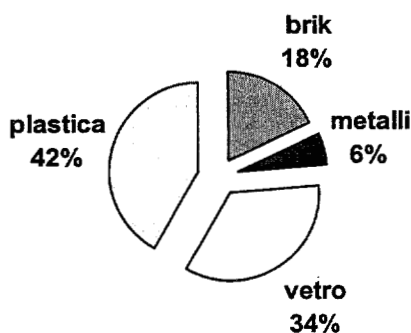


Figura 1.4a: fonte [9]

Ripartizione per peso utilizzato degli imballaggi consumati per liquidi alimentari

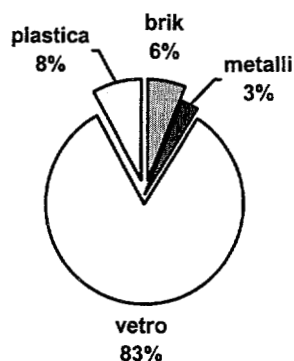


Figura 1.4b: fonte [9]

Il mercato degli imballaggi per liquidi alimentari è coperto attualmente per il 42% dai materiali plastici, per il 34% dal vetro, per il 18% dai brik in poliaccoppiato e per il restante da materiali diversi, in primo luogo metalli.

1.5.1 Produzione e consumo di imballaggi

La produzione italiana di imballaggi, come stimata da Istituto Italiano Imballaggi, nel 1999 era pari a circa 13,6 milioni di tonnellate, con un fatturato di circa 32000 Mld, con oltre 5500 aziende e circa 92000 addetti.

Il peso della filiera dell'imballaggio nell'industria italiana

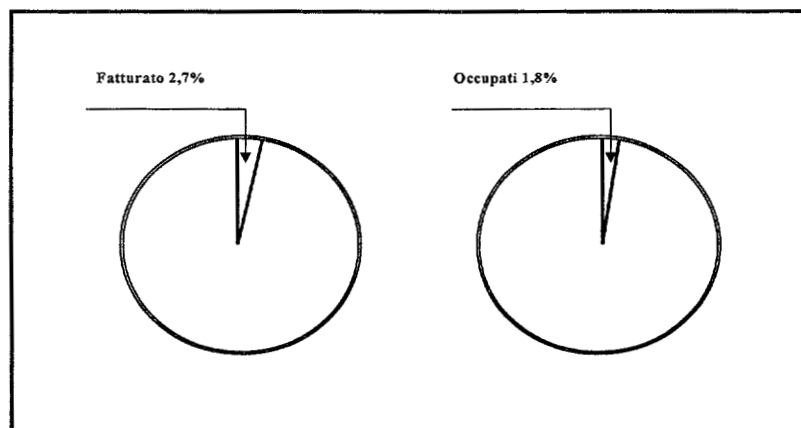


Figura 1.5: Fonte (2)

In termini quantitativi le voci principali sono costituite da:

- imballaggi in carta e cartone (circa il 29%);
- imballaggi in vetro (circa il 24%);
- imballaggi in materiali plastici (poco meno del 20%).

Nell'ultimo decennio si è registrata una continua crescita della produzione, sia in termini di fatturato che in termini di quantità immesse sul mercato, anche se la crescita in peso è stata significativamente contenuta. Infatti la strategia dell'imballaggio si sta orientando verso materiali e confezioni più razionali e alleggerite. Nella figura 1.6 è schematizzato l'andamento della produzione di imballaggi per materiale dal 1994 al 1996.

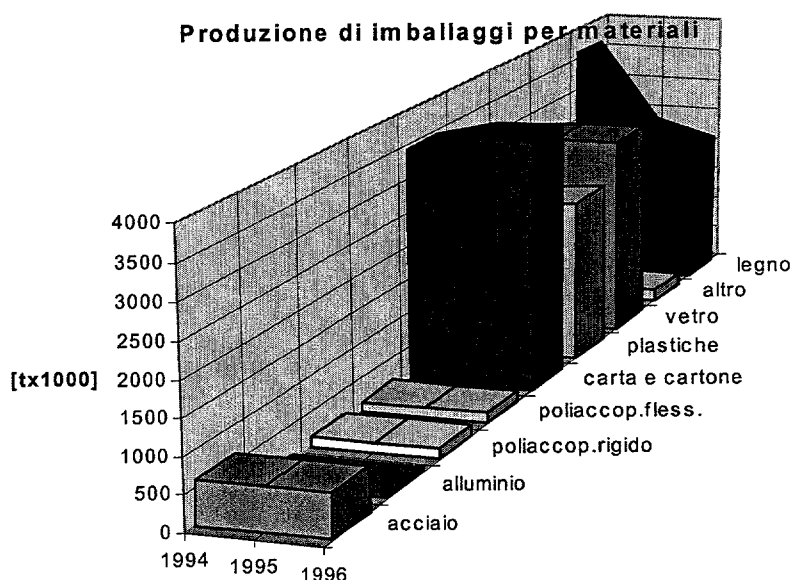
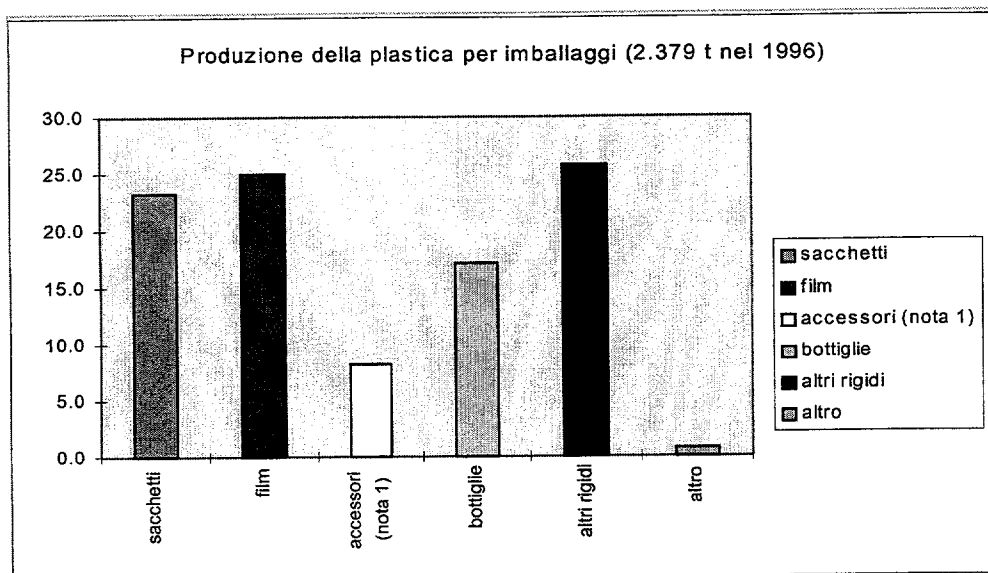


Figura 1.6: Fonte (2)

La ripartizione dell'impiego della plastica nei diversi generi di imballaggio è riportata nella figura seguente.



(nota 1) Tappi, chiusure, cappucci, corde, reggette, nastri adesivi, materiali per imbottitura e protezione.

Figura 1.7: Fonte (2)

L'utilizzo di imballaggi - calcolato come consumo apparente (produzione nazionale + importazione di imballaggi vuoti - esportazione di imballaggi vuoti) - è anch'esso in crescita e valutabile, nel 1999, in oltre 13 milioni di tonnellate di imballaggi vuoti utilizzati contro i 12 milioni del 1996.

Il consumo finale di imballaggi è determinato considerando il flusso di imballaggi importati ed esportati assieme alle merci consumate (utilizzo interno + importazione di imballaggi pieni - esportazione di imballaggi pieni).

Rispetto alla produzione di imballaggi, il consumo finale è stato stimato in circa il 77% per il 1993, in circa il 73% nel 1994 e in circa il 75% nel 1996 [18]. Ne risulta in altri termini un saldo import/export di circa 3 milioni di tonnellate di imballaggi vuoti e pieni. Particolarmente rilevante appare il saldo tra import/export di imballaggi pieni, pari a circa 2 milioni di tonnellate. Nelle tabelle seguenti sono riportati i dati relativi a utilizzo, import, export, e consumo finale di imballaggi dal 1993 al 1996.

Produzione e consumo di imballaggi in Italia (tx10³)

	<i>Produzione</i>		<i>Consumo finale</i>		<i>Consumo finale (%)</i>	
	<i>1993</i>	<i>1996</i>	<i>1993</i>	<i>1996</i>	<i>1993</i>	<i>1996</i>
Vetro	2.656	2.941	1.924	2.049	72%	70%
Metalli	680	804	435	477	64%	59%
Plastica	2.180	2.535	1.508	1.685	69%	66%
Legno	3.543	2.080	2.660	1.777	75%	85%
Carta	3.077	3.801	2.860	3.060	93%	81%
Altri	286	68	126	68	44%	100%
Totale	12.422	12.229	9.116	9.116	77%	75%

Tabella 1.5: Fonte [17]

Import ed export di imballaggi (1996) (tx10³)

<i>Materiale</i>		<i>Utilizzo interno</i>	<i>Import imballaggi pieni</i>	<i>Export imballaggi pieni</i>	<i>Consumo finale</i>
Vetro		2.702	81	734	2.049
Plastiche		1.806	158	362	1.602
Metalli	Acciaio	612	57	243	426
	Alluminio	53	7	9	51
	Totale	665	64	252	477
Carta e cartone		3.464	338	862	2.940
Compositi	Cart. Poliacc.	149	15	44	120
	Poliacc. Fless.	94	8	19	83
	totale	243	24	63	204
Legno		2.065	266	554	1.777
Altri		68	0		68
Totale		11.013	930	2.827	9.116

Tabella 1.6: Fonte [17]

I consumi di imballaggi - e quindi la generazione dei rifiuti di imballaggio - avviene in diverse fasi ed in diverse aree: nella produzione industriale e agricola, nella distribuzione, nel

consumo commerciale e nelle famiglie. Secondo Istituto Italiano Imballaggi, nella distribuzione per aree di impiego di imballaggi, i consumi domestici assorbono circa il 48% degli imballaggi, il commercio tradizionale circa il 14% e l'industria e la grande distribuzione circa il 37%.

Distribuzione per aree di impiego degli imballaggi

	<i>domestici</i>	<i>commercio</i>	<i>industria e gdo</i>
Vetro	89%	4%	8%
Plastica	65%	9%	26%
Carta	36%	24%	40%
Alluminio	86%	11%	3%
Acciaio	54%	5%	41%
Legno	5%	17%	79%
Altro	59%	9%	32%
Totale	48%	14%	32%

Tabella 1.7: Fonte [17]

Rifiuti di imballaggio [t x10³]

	<i>Rifiuti urbani</i>		<i>Rifiuti assimilabili</i>
	<i>domestici</i>	<i>commercio</i>	<i>industria e gdo</i>
Vetro	1.817	77	155
Plastica	1.090	152	443
Carta	1.106	728	1.226
Alluminio	44	5	2
Acciaio	231	22	173
Legno	88	294	1.395
Altro	40	6	22
Totale	4416	11.284	3.416
	5.701		3.416

Tabella 1.8: Fonte [17]

1.6 Le prospettive del sistema imballaggio nell'economia italiana

Sempre più le aziende produttrici di beni riconoscono all'imballaggio la caratteristica di fattore competitivo rilevante, a volte vincente, capace quindi di creare ricchezza sia in termini di profitto, continuità e crescita delle imprese, sia in termini di lavoro e livelli occupazionali. L'evoluzione delle tecnologie di processo e di prodotto è stata negli ultimi tempi fortissima e l'innovazione ha in alcuni casi autoalimentato il sistema dell'imballaggio, facendo emergere in continuazione nuovi segmenti di domanda. In tal senso è molto probabile che la progressiva concorrenza fra differenti materiali abbia svolto un ruolo positivo, spingendo da un lato le imprese produttrici a ingegnarsi per migliorare sempre le performance dei propri prodotti, dall'altro gli utilizzatori di tali materiali a valutare in continuazione le nuove opportunità fornite dal mercato. Un esempio del primo caso può riscontrarsi nei nuovi impieghi dell'alluminio e nel continuo progresso delle materie plastiche.

Anche il fronte del consumatore ha fornito una spinta non indifferente: pur essendo sempre più premiate le istanze favorevoli all'ambiente, è indubbio che la civiltà dei consumi continui a fare emergere gli imballaggi più competitivi, fungendo quindi da incentivo a nuovi prodotti, nuovi processi, nuove logiche dell'imballaggio.

Altro fattore da considerare è la logistica ed il costo della distribuzione: l'impegno delle aziende non è più concentrato unicamente sulla riduzione dei costi di fabbricazione, ma sta interessando in misura crescente tutti gli anelli della catena di distribuzione, allo scopo di evitare che questa si trasformi in un collo di bottiglia.

Per questo motivo la parziale arretratezza del sistema economico italiano sul fronte della distribuzione costituisce un terreno ideale per il pieno sfruttamento competitivo dei vantaggi connessi all'evoluzione dell'imballaggio.

La tabella di seguito riportata conferma quanto detto riguardo le carenze del sistema commerciale italiano nei confronti del resto d'Europa: 171 esercizi commerciali ogni 10.000 abitanti in Italia, contro gli 85 della Germania e gli 81 della Gran Bretagna.

Esercizi commerciali ogni 10.000 abitanti - Italia ed Europa

Italia	171	Belgio	141	Spagna	134
Francia	97	Germania	85	Gran Bretagna	81

Tabella 1.9: Fonte Eurostat

La grande distribuzione in Europa (1991, densità per 10.000 abitanti)

	<i>Supermercati</i>		<i>Ipermercati</i>	
	<i>numero</i>	<i>densità</i>	<i>numero</i>	<i>densità</i>
Francia	7.050	12,5	850	1,5
Germania	8.000	10,1	1.004	1,3
Gran Bretagna	1.950	3,4	733	1,3
Belgio	1.900	19,1	100	1,0
Spagna	2.500	6,4	116	0,3
Italia	3.300	5,7	103	0,2

Tabella 1.10: Fonte Eurostat

Nell'ottica di questa evoluzione l'imballaggio dovrà agevolare le operazioni di raggruppamento in unità di trasporto e movimentazione, suddivisione dei raggruppamenti in unità più piccole, immagazzinamento rapido presso il dettagliante e conteggio automatizzato. Sono numerosi gli esempi di tecniche innovative di imballaggio fortemente spinte dalla distribuzione e ora entrate nella vita quotidiana.

Le bottiglie PET per acqua minerale, ad esempio, inizialmente osteggiate dal consumatore da sempre abituato al vetro, sono state incisivamente sostenute dalla distribuzione, che ne ha tratto grandi vantaggi in termini di più facile movimentazione interna, minori rotture, compressione del costo da gestione dei resi.

Un altro settore in crescita è quello dei prodotti freschi, che ha tratto grandi opportunità di sviluppo dalla distribuzione moderna: l'applicazione della tecnologia dell'atmosfera modificata ha infatti consentito maggior durata del prodotto sugli scaffali e riduzione sostanziale degli scarti per deperimento del prodotto.

Il procedimento dell'atmosfera modificata ha richiesto, a sua volta, la messa a punto di nuovi materiali: i materiali "barriera" di tipo "multistrato" (rigidi o flessibili), in cui lo strato metallico, rispetto a quello plastico, svolgerà in futuro una funzione sempre meno importante

Con tutta probabilità i materiali multistrato, infatti, verranno a loro volta gradualmente sostituiti da materiali con proprietà di barriera intrinseche, direttamente estrudibili.

Anche sul fronte della "protezione aziendale" contro rischi di furto o danneggiamento, la spinta della distribuzione verso imballaggi efficaci è stata decisiva: si pensi ai segnalatori nelle confezioni di beni di valore, all'imbustamento di alcuni prodotti dell'abbigliamento, alla sigillatura con film dei libri.

Inoltre, per quanto riguarda la ricaduta ambientale dei rifiuti da imballaggio, la distribuzione tende sempre più a promuovere il rispetto delle normative ecologiche mediante l'introduzione di packaging meno pesanti e voluminosi, che riducano le problematiche di smaltimento, favorendo indirettamente anche le operazioni di movimentazione e distribuzione dei prodotti.

1.7 Le prospettive della plastica nell'imballaggio

Questi ultimi anni sono stati caratterizzati, in tutti i campi produttivi, dall'avanzata inarrestabile delle materie plastiche, che gradualmente hanno preso il posto dei materiali tradizionali, soprattutto vetro e metallo.

Il consumo di polimeri termoplastici nell'Europa occidentale è aumentato del 6% nel corso del 1999, raggiungendo 30 milioni di tonnellate. L'industria dell'imballaggio è la voce che maggiormente ha contribuito a trascinare i consumi, in modo particolare con le bottiglie di PET, le foglie estruse, i film poliolefinici e le confezioni termoformate [20].

I polimeri di largo consumo, cioè PE, PP, PS, PVC e PET, rappresentano il 93% del mercato, e si è raggiunta, nel 1999, una produzione di 28 milioni di tonnellate.

Per quanto riguarda il PE, la domanda di LDPE-LLDPE ha subito un incremento del 5,9%, passando da 1270 a 1345 Kton. Questa percentuale, però, risulta dalla media fra il +3,6% registrato dall'LDPE e dal +10% dell'LLDPE. I settori trainanti per il polietilene lineare, che ormai rappresenta oltre il 36% della domanda totale di PE a bassa densità, sono stati il film estensibile e l'accoppiamento/estrusione. Quanto al consumo di HDPE, nel 1999 è cresciuto del 3,7%, molto al di sotto dei livelli raggiunti nel periodo 1995-'98, quando l'incremento medio era del +8% annuo. L'incremento attuale è dovuto agli sbocchi dell'estrusione, soprattutto tubi e film [21].

Per quanto riguarda il PP (6,6 milioni di tonnellate) si è rilevato un aumento del 7,6% nella domanda, principalmente grazie agli impieghi nell'imballaggio: contenitori a parete sottile, e film biorientati.

Il PVC è rimasto quasi statico a causa delle pressioni degli ambientalisti e, in modo particolare, per l'uso degli ftalati negli imballaggi flessibili.

Il consumo di stirenici è cresciuto del 5%, avvicinandosi a 3 milioni di tonnellate e l'imballaggio ha contribuito in modo particolare con l'impiego delle foglie estruse per yogurt, sandwich, merendine e cibi pronti.

L'incremento di produzione più significativo spetta comunque al PET, che ha raggiunto 1,3 milioni di tonnellate.

Nel corso degli anni novanta i poliesteri termoplastici hanno registrato una crescita media annua del 16%.

Il 90% dei consumi riguarda le bottiglie, settore in cui continua il processo di conversione dal vetro e dal PVC al PET [20].

Nel campo dell'imballaggio, quindi, si rileva la diffusione crescente di:

- film in PP biorientato;
- film estensibili e detraibili (PE);

- bottiglie in PET;
- efficaci materiali barriera;

Secondo le previsioni [2], in futuro questa evoluzione si accentuerà ulteriormente e le materie plastiche cominceranno ad essere viste dai consumatori come materiali dotati di una propria peculiare identità, anziché come materiali impiegati in sostituzione di qualcos'altro.

Nuovi segmenti del settore alimentare, come quello dei cibi pronti, sono destinati a ricorrere quasi interamente all'imballaggio in plastica, essendo assolutamente indispensabile, per una ottimale conservazione, utilizzare materiali dotati di proprietà barriera.

Anche l'impiego di materie plastiche nell'ambito dell'industria farmaceutica e cosmetica è ormai consolidata e con un ritmo di crescita di poco inferiore al 6% annuo: circa il 59% delle confezioni è attualmente realizzato con materie plastiche, e si prevede un aumento consistente di questa percentuale nei prossimi anni. [19]

Capitolo 2

MATERIALI PER IL PACKAGING: I POLIMERI

2.1 Introduzione

Si ritiene che l'era del confezionamento globale, cioè la possibilità di conservare per tempi lunghi ed in modo economico qualsiasi sostanza, nasce con lo sviluppo delle materie plastiche e che si può indicare nell'anno 1869 l'inizio della moderna tecnica di confezionamento, cioè l'anno in cui venne prodotta industrialmente la prima materia plastica artificiale: la celluloido. Il vero avvio della produzione industriale si è avuta tra il 1930 e il 1940.

Le materie plastiche, derivate per via chimica dal petrolio, vengono largamente impiegate nel settore dell'imballaggio per la preparazione di manufatti sia rigidi che flessibili. Le diffusissime applicazioni le pongono come materie prime molto diversificate, caratterizzate da proprietà uniche:

- leggerezza;
- aspetto estetico pregevole con ampie possibilità di colorazione e, per alcune, elevata trasparenza ottica;
- buone caratteristiche di isolamento termico;
- elevate caratteristiche dielettriche;
- notevole inerzia chimica e buona resistenza alla corrosione;
- elevata conservabilità nel tempo;
- capacità di attenuazione delle vibrazioni meccaniche e sonore;
- facile formabilità che si adatta alla fabbricazione di una vasta gamma di oggetti, di grande serie e a bassi costi unitari;

A queste proprietà che possono essere considerate favorevoli per la maggior parte delle applicazioni, si contrappongono altre proprietà, per alcuni aspetti limitative:

- basso livello di resistenza meccanica e durezza;
- instabilità dimensionale, particolarmente a caldo, in condizioni di sforzo;
- possibilità di applicazione entro limiti di temperatura più o meno ristretti;
- combustibilità di grado più o meno spinto;
- resistenza limitata ai solventi organici;
- scarsa possibilità di biodegradabilità.

2.2 Resine termoplastiche e termoindurenti

Le materie plastiche sono costituite da macromolecole prodotte sinteticamente a partire da una molecola semplice attraverso un concatenamento rigoroso. Tale concatenamento può aver luogo nelle tre dimensioni dello spazio, come avviene per la famiglia dei polimeri termoindurenti; oppure limitarsi a una certa lunghezza, a formare una molecola bidimensionale più o meno organizzata con le molecole vicine, e più o meno stabile, come avviene per la famiglia dei polimeri termoplastici.

I polimeri termoplastici devono essere riscaldati e portati a uno stato fisico "plastico" per essere plasmati e successivamente raffreddati bruscamente per mantenere la nuova forma. Il processo è reversibile, per cui questi possono subire molte rifusioni prima di degradarsi.

I polimeri termoindurenti quando vengono riscaldati e formati a caldo perdono l'attitudine a essere rimodellati, assumendo la loro forma definitiva.

Le caratteristiche fisico-meccaniche (resistenza alla trazione e alla compressione, flessibilità o rigidità, resistenza all'urto o fragilità, resistenza all'abrasione, temperatura di rammollimento, ecc.), la lavorabilità e il comportamento funzionale sono determinati da vari fattori:

- la struttura chimica dei polimeri (linearità e regolarità delle loro catene molecolari, e conseguente cristallinità)
- il peso molecolare (lunghezza delle catene macromolecolari)
- l'ingombro sterico (che influisce sulla flessibilità, sulle proprietà ottiche e di barriera e sulla resistenza).

L'alto numero di monomeri disponibili permette oggi di ottenere numerose materie plastiche, grazie alla produzione di copolimeri e alla possibilità di modificare le caratteristiche dei prodotti con l'impiego di ausiliari o additivi. Materiali più flessibili si ottengono con l'aggiunta di plastificanti, mentre fibre di vetro, amianto, carta o cartone servono a irrigidire un manufatto. Altri materiali vengono aggiunti per opacizzare o per colorare il composto. Per aumentare la resistenza agli agenti atmosferici, alla luce e al calore, si aggiungono antiossidanti e assorbenti di raggi ultravioletti.

Alcuni polimeri sono stati modificati chimicamente allo scopo di renderli più facilmente degradabili per opera della luce solare o dei microrganismi del suolo.

2.3 La lavorazione delle materie plastiche

I metodi di lavorazione dipendono dal polimero, in particolare dal suo comportamento alla deformazione, dalla temperatura di rammollimento e dalla stabilità termica. I principali metodi di lavorazione sono:

- **Calandratura:** si usa per produrre fogli rigidi o plastificati e rivestimenti, e consiste nel far passare il materiale plastificato in una calandra, composta da una serie di cilindri riscaldati con vapore o acqua che sottopongono il materiale, allo stato plastico, a una serie di pressioni conferendogli uniformità di spessore e resistenza alla lacerazione e trazione. In seguito il foglio viene raffreddato e avvolto in bobine. Le resine che si prestano a questo tipo di lavorazione sono quelle termoplastiche.
- **Spalmatura:** è analoga alla calandratura, ma permette di ottenere produzioni più sofisticate. Essa consente cioè di ottenere una foglia di materiale plastico che riveste un supporto, di solito flessibile. La mescolanza di partenza (cloruro di polivinile, plastificante, carica, colorante, stabilizzante, lubrificante) è simile a quella della calandratura, con la differenza

che invece di presentarsi in forma di polvere il plastisol è allo stato fluido e viscoso. Il supporto flessibile viene srotolato con un sistema di traino e spalmato con il plastisol. Il supporto così spalmato entra poi in un cilindro riscaldato elettricamente oppure a vapore o ad aria calda in modo da raggiungere la temperatura di gelificazione. All'uscita dal cilindro il materiale viene raffreddato, goffrato se necessario, ispezionato e arrotolato in bobine. A volte (in caso di foglia vinilica priva di supporto) l'operazione di spalmatura viene effettuata su un supporto provvisorio che viene poi distaccato dal film plastico.

- Colata: utilizzata per produrre manufatti e pellicole questo processo di lavorazione prevede la colata del composto polimerico fluido in uno stampo cavo o su una superficie liscia dove indurisce. E' adatto sia per polimeri termoplastici che termoindurenti.
- Compressione: la polvere da stampaggio, costituita in prevalenza da resine termoindurenti, viene compressa direttamente sullo stampo precedentemente riscaldato finché non indurisce. Si produce così un manufatto finito indeformabile.
- Estrusione: procedimento principe di lavorazione delle resine termoplastiche, serve per produrre tubi, profilati, pellicole e lastre. Il materiale fuso viene forzato attraverso una filiera opportunamente sagomata che produce un manufatto continuo. Il sistema è caratterizzato da un costo di impianto abbastanza elevato, che deve essere ammortizzato su alte tirature.
- Formatura per estrusione-soffiaggio, iniezione-soffiaggio, immersione-soffiaggio: viene impiegata per la produzione di corpi cavi e tubolari.

Il procedimento dell'estrusione-soffiaggio combina le due tecniche dell'estrusione e della soffiatura. Si estrude un tubo di materia plastica (che viene chiamato "parison") dentro uno stampo a due semicavità; quindi usando un ugello e un ago si introduce aria dentro il tubo mentre questo è ancora plastico, in modo che venga stirato dal getto pneumatico e fatto aderire alle pareti dello stampo di cui assume la forma. Lo stampo è raffreddato con circolazione d'acqua per cui il manufatto soffiato si raffredda a sua volta. Questo è il principio di funzionamento ma in pratica esistono diverse macchine per soffiatura; alcune impiegano più stampi o più filiere per aumentare il ritmo della produzione.

Nel procedimento dell'iniezione-soffiaggio, il parison viene iniettato intorno ad un cannello di soffiaggio. Successivamente l'aria entra attraverso il cannello e tende il parison, che aderisce alle pareti dello stampo prendendo la forma del contenitore.

Nell'immersione-soffiaggio si immerge uno spinotto forato nella materia plastica, lo si estrae rivestito del materiale viscoso, lo si introduce nello stampo e per insufflazione d'aria si fa aderire il materiale alle pareti dello stampo dove indurrà.

- Formatura per immersione: anch'essa utilizzata per la produzione di corpi cavi, prevede l'immersione della forma calda nella massa plastica vischiosa che aderisce alla forma stessa formando un velo che viene lasciato solidificare.
- Iniezione: è una lavorazione molto diffusa per mezzo della quale si ottengono da resine, sia termoindurenti che termoplastiche, manufatti di vario genere: il polimero, portato allo stato fluido per riscaldamento in un contenitore cilindrico, viene iniettato a pressione elevata in uno stampo ermeticamente chiuso, dentro il quale solidifica. Viene impiegato per la formatura di contenitori a medio piccole dimensioni. Il sistema è caratterizzato da un costo medio-alto degli impianti (presse-stampi), per cui è adottato per alte tirature.
- Termoformatura: vengono impiegate esclusivamente resine termoplastiche su fogli che, riscaldati e tesi su telai, vengono fatti aderire allo stampo negativo per aspirazione e/o insufflazione d'aria per ottenere vari prodotti, anche a pareti molto sottili (ad esempio bicchierini). Il costo delle attrezzature è relativamente basso.
- Stampaggio rotazionale: impiegato per la formatura di contenitori per liquidi, granuli, polveri, di medie e grandi dimensioni. Il materiale polimerico viene collocato dentro uno stampo cavo che viene fatto ruotare all'interno di un forno attorno a due assi

perpendicolari tra loro. Durante l'operazione lo stampo viene riscaldato e la forza centrifuga dovuta alla rotazione distribuisce il polimero in modo uniforme contro le pareti dello stampo, assumendo la forma dell'impronta; si raffredda lo stampo e si estrae il manufatto. Il costo elevato della macchina è compensato da quello basso degli stampi; ciò rende il sistema adatto alle medie e piccole tirature.

- **Soffiaggio con biorientazione:** è una tecnica impiegata soprattutto per la produzione di bottiglie in PET. La lavorazione prevede due fasi: nella prima si fabbrica una preforma, che presenta particolari caratteristiche di forma e di spessore in base al tipo di bottiglia da ottenere, e che presenta l'imboccatura già finita e pronta a ricevere il tipo di chiusura prevista. Nella seconda fase il corpo della preforma viene riscaldato e successivamente si provvede a stirare simultaneamente in senso assiale e radiale la preforma per ottenere la biorientazione: lo stiro radiale si ottiene per insufflazione d'aria, quello assiale in modo meccanico a opera di punzone. Il sistema è caratterizzato da un costo elevato della macchina e da un costo medio degli stampi ed è adatto a medie tirature. Il PET è il materiale che trae i maggiori vantaggi dallo stiramento biassiale: questo trattamento, infatti, permette di decuplicarne la resistenza all'urto e di quadruplicarne il modulo di elasticità. Per questi vantaggi indotti e per la spiccata impermeabilità ai gas del materiale, le bottiglie in PET biorientato hanno conquistato il mercato delle bibite gassate. Lo stiramento biassiale si può applicare anche al PVC, ma con miglioramenti assai modesti, soprattutto per quanto riguarda la rigidità.

A conclusione di questa breve panoramica sulle tecnologie di produzione delle materie plastiche, si riportano, nella tabella seguente, le percentuali di utilizzo di ciascuna tecnologia sopra menzionata.

Tecnologia	%
Estrusione	
Film	28,4
Foglia, lastra	7,4
Tubi	8,3
Profilati	3,1
Altri	2
Subtotale estrusione	49,2
Stampaggio ad iniezione	28,1
Soffiaggio	8,3
Calandratura e spalmatura	5,5
Altri(*)	8,9
Totale manufatti plastici	100

Tabella 2.1: Fonte Plastic Consult

(*) Espansi, poliestere insaturo, stampaggio rotazionale, colata, slush e dip moulding, sinterizzazione, stampaggio termoidurenti

2.4 I termoplastici utilizzati nel settore dell'imballaggio

Le principali famiglie di termoplastici utilizzate nel settore dell'imballaggio sono le seguenti: le poliolefine, i polimeri vinilici, i polistireni, i poliesteri saturi e le poliammidi.

POLIOLEFINE	Polietilene a bassa densità: LDPE
	Polietilene a bassa densità lineare: LLDPE
	Polietilene ad alta densità: HDPE
	Polipropilene: PP
	Polipropilene biorientato (film): OPP
RESINE POLIVINILICHE	Copolimero etilene-vinilacetato: EVA
	Cloruro di polivinile: PVC
	Polivinilidencloruro: PVDC
RESINE POLISTIRENICHE	Polivinilalcol: EVOH
	Polistirene: PS
	Polistirene espanso: PSE
POLIAMMIDI	Acrlonitrile-butadiene-stirene: A
	Poliammide 6.6: PA 6.6
	Poliammide 11: PA 11
	Poliammide 12: PA 12
POLIESTERI	Polietilentereftalato: PET
	Policarbonato: PC

Tabella 2.2: Fonte (2)

2.5 Le poliolefine

2.5.1 I polietileni

I polietileni rappresentano oltre il 50% delle materie plastiche impiegate nel settore dell'imballaggio. Questa posizione dominante è dovuta a:

- varietà dei tipi di polimeri;
- grande facilità di trasformazione;
- proprietà specifiche.

Questi materiali si dividono in due grandi famiglie: i polietileni a bassa densità LDPE e i polietileni ad alta densità HDPE. I primi si ottengono per polimerizzazione ad alta pressione, mentre gli HDPE per polimerizzazione a bassa pressione. La differenza tra le due categorie di materiali risiede nel modo in cui le catene molecolari si organizzano tra di loro.

2.5.1.1 LDPE

Nel polietilene a bassa densità si rileva una disposizione piuttosto casuale delle catene molecolari: la catena principale dei $-CH_2-$ ha numerose ramificazioni più o meno lunghe, che rendono la molecola piuttosto ingombrante e le impediscono di avvicinarsi ad altre catene. Questa caratteristica è alla base di alcune delle proprietà dell'LDPE quali:

- bassa densità;
- notevole elasticità;
- fase plastica molto ampia (dovuta alla mobilità progressiva che acquistano le catene molecolari a mano a mano che le ramificazioni si allentano sotto l'azione del calore). Questa caratteristica facilita l'estrusione.
- temperatura di decomposizione relativamente elevata, che permette di effettuare lavorazioni in fase liquida in assoluta sicurezza.

Per quanto riguarda la densità gli LDPE si muovono in un range compreso tra 0,915 e 0,930, (0,940-0,960 per gli HDPE): quanto più è bassa la densità tanto più facile risulta l'estrusione del film, per effetto della bassa temperatura di rammollimento e di fusione. Per gli stessi motivi anche la saldabilità risulta facilitata, l'allungamento è maggiore e la resistenza alla rottura minore. La trasparenza aumenta con la densità; il contrario avviene nei materiali ad alta densità.

La temperatura massima d'impiego, legata al punto di rammollimento, per i polietileni a bassissima densità (0,917) non supera gli 85°C. Gli svantaggi posti da una temperatura così bassa hanno portato allo sviluppo di un polimero intermedio di densità compresa tra 0,930 e 0,933, chiamato **MDPE**, in grado di resistere a temperature fino a 105°C. Gli imballaggi realizzati in film di MDPE sono quindi in grado di sopportare la permanenza in acqua bollente.

L'LDPE è diffuso soprattutto sotto forma di film: i film in LDPE hanno ormai innumerevoli applicazioni, e hanno letteralmente invaso il mercato.

Nel procedimento di **estrusione-soffiaggio** dell'LDPE (vedi figura) la materia prima in granuli viene portata alla fase liquida in un cilindro riscaldante, in cui il materiale fonde e viene fatto avanzare per mezzo di una vite senza fine. La pressione esercitata dalla vite obbliga poi la massa fusa ad uscire dalla macchina attraverso una filiera anulare. All'uscita della macchina, il film estruso in forma tubolare viene contemporaneamente gonfiato e raffreddato, allo scopo di espanderlo in direzione trasversale e accelerarne la transizione dalla fase plastica alla fase solida. Il film così ottenuto viene infine bobinato in forma tubolare oppure tagliato a formare due bobine di film piatto. Le dimensioni degli estrusori variano fortemente in funzione delle applicazioni cui sono destinati i film: si va dalle piccole macchine, che permettono di realizzare direttamente sacchetti di formato ridotto, a quelle più grandi (oltre 6 metri) impiegate per produrre film per uso agricolo o teloni di protezione. Il raffreddamento del film tubolare gonfiato in bolla all'uscita della filiera è una fase molto delicata e importante, perché in questa fase il film, che è allo stato plastico, è deformabile e viene sottoposto a stiramento. Questo presuppone un perfetto controllo del raffreddamento, effettuato mediante ventilatori d'aria fredda collocati attorno alla filiera. Lo spessore dei film ottenuti per estrusione-soffiaggio è generalmente compreso tra 15 e 300 micron; per spessori superiori si ricorre all'estrusione con filiere a testa piana.

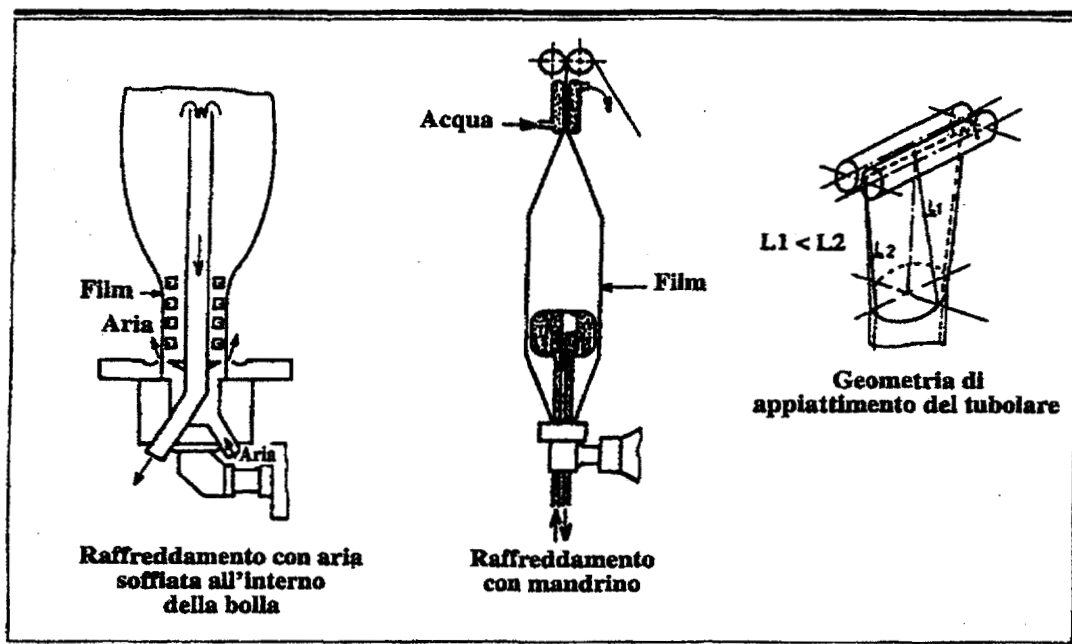


Figura 2.1: Fabbricazione di film in LDPE per estrusione tubolare. Fonte (2)

In origine l'LDPE non si poteva utilizzare nelle macchine tradizionali per confezionamento, concepite per il diffusissimo film di cellulosa (cellophane), e per questa ragione veniva utilizzato soprattutto sotto forma di sacchetti sagomati. Da qualche anno sono state create nuove macchine automatiche destinate espressamente all'LDPE; queste macchine, però non possono raggiungere la velocità delle macchine tradizionali, principalmente a causa della totale mancanza di rigidità del film, che si traduce in un modulo di elasticità molto basso e in uno spiccato allungamento.

Un'altra difficoltà è costituita dalla *saldatura* del film. L'LDPE è il film che permette con maggior facilità saldature efficaci, grazie al basso punto di rammollimento e all'ampio ambito plastico, ma proprio questa caratteristica non gli permette di sopportare il contatto delle barre saldanti senza fondere e incollarsi alle barre stesse. Per questo motivo, si utilizza di norma la tecnica di saldatura ad impulso, che fa passare un rapido impulso di corrente in un filo o una lama e dà tempo all'attrezzo di saldatura di raffreddarsi. Le tipologie di film in LDPE più largamente utilizzate sono le seguenti:

- film in LDPE retraibili ottenuti mediante estrusione-soffiaggio, mantenendo però delle tensioni interne mediante stiramento e gonfiaggio del film durante la fase di raffreddamento, che è più rapida. In questo modo le tensioni interne rimangono fissate nel materiale, analogamente a quanto avviene nella tempra dei metalli. Se il film viene nuovamente riscaldato le tensioni interne si rilassano, e danno al film dimensioni che possono essere inferiori anche del 40% alle dimensioni di partenza; i coefficienti di ritiro possono essere diversi in direzioni longitudinale e trasversale. Il ritiro del film viene sfruttato per realizzare confezionamenti mediante avvolgimento. Per questa applicazione, si utilizzano film biorientati caratterizzati da coefficienti di ritiro uguali nelle due direzioni (circa il 40%). In fase di raffreddamento, nel film compaiono forze di coesione elevate, comprese tra 5 e 20 kg/cm². Gli spessori più utilizzati per i film destinati a queste applicazioni sono compresi tra 80 e 150 micron. Esistono diversi tipi di film realizzati

espressamente per applicazioni particolari: film trattati anti UV (immagazzinaggio dei carichi pallettizzati all'aperto per periodi di tempo prolungati), film metallizzati, no-collant, micro o macro-perforati;

- film estensibili sono realizzati, come i film retraibili, in LDPE estruso, associato a particolari coadiuvanti (acetato di vinile, elastomeri) che migliorano l'estensibilità e la resistenza alla lacerazione. Questi film presentano quindi le stesse proprietà di ritiro dei film retraibili, ma nel loro caso la caratteristica che viene sfruttata è l'elasticità a freddo. Il film viene stirato a freddo attorno al carico di cui si vuole assicurare la coesione, e viene poi fissato mediante saldatura. La forza di coesione esercitata sul carico è tanto più elevata quanto più forte è lo stiramento. L'uso di film autoadesivi migliora la tenuta degli strati sovrapposti. La tensione del film si riduce nelle prime ore dopo l'applicazione per poi stabilizzarsi dopo circa 40 ore.

2.5.1.2 HDPE

I polietileni ad alta densità sono caratterizzati da una densità compresa tra 0,940 e 0,960. La loro architettura molecolare è diversa da quella degli altri LDPE: infatti in essi non sono presenti ramificazioni casuali, e le molecole sono perfettamente lineari. Di conseguenza l'HDPE è molto più rigido dell'LDPE, il suo allungamento è più contenuto e la differenza tra le caratteristiche misurate in direzione longitudinale e trasversale è maggiore. Inoltre questi materiali presentano una temperatura massima d'impiego nettamente superiore e possono sopportare la temperatura di sterilizzazione, ossia 120°C. Questa importante proprietà lo rende adatto a campi di applicazione preclusi all'LDPE in quanto basati proprio sulle tecniche di sterilizzazione.

L'HDPE possiede scarsa trasparenza: questa proprietà raggiunge infatti livelli ottimali in corrispondenza di densità comprese tra 0,925 e 0,928, per poi peggiorare rapidamente. Si è visto che la bassa densità facilita la saldatura: di conseguenza l'HDPE è difficile da saldare, perché il suo ambito termoplastico è più ristretto e le sue molecole sono poco mobili. Sebbene talvolta utilizzato sotto forma di film sottili per la sua buona resistenza meccanica, l'HDPE viene impiegato soprattutto sotto forma di *film spessi termoformabili* in numerose applicazioni industriali. E' anche largamente utilizzato per la realizzazione di corpi cavi stampati mediante **iniezione-soffiaggio**, impiegati per la fabbricazione di bottiglie e flaconi.

2.5.1.3 LLDPE

Nell'ultimo decennio si è affermato sul mercato il polietilene a bassa densità lineare. Anche in questo materiale le catene principali sono lineari, ma contrariamente a quelle dell'HDPE presentano alcune corte ramificazioni: questo permette alle catene di distanziarsi in misura sufficiente a garantire una bassa densità. L'LLDPE viene ottenuto mediante un nuovo processo di polimerizzazione in cui di norma interviene anche un altro monomero, il butene. Tutte le proprietà dell'LLDPE sono molto superiori a quelle dell'LDPE, in particolare la resistenza meccanica (superiore addirittura del 50%), l'allungamento, la resistenza termica e la resistenza alla perforazione. Alla luce delle sue ottime prestazioni, della possibilità che offre di ridurre gli spessori, e quindi i costi, per questo tipo di polietilene si prevede una fortissima espansione.

2.5.2 I copolimeri EVA

L'EVA (etilenvinilacetato) è ottenuta mediante copolimerizzazione dell'etilene con l'acetato di vinile e utilizzata principalmente sotto forma di film per la spiccata saldabilità ad alta velocità, resa possibile dai punti di rammollimento molto bassi. L'EVA viene impiegato soprattutto per la produzione di accoppiati e laminati, ma viene penalizzato in molte applicazioni dal rischio di emissione di odore acetico.

2.5.3 Il Surlyn

Sempre per la produzione di materiali multistrato, la società americana Du Pont de Nemours ha lanciato ormai da diversi anni una poliolefina speciale costituita da una catena polietilenica modificata mediante innesto di ioni sodio e zinco. Le caratteristiche precipue del Surlyn sono la spiccata saldabilità, l'eccellente tenuta stagna e l'ottima resistenza alla perforazione.

2.5.4 Il polipropilene

La polimerizzazione del propilene permette di ottenere una ramificazione corta e sistematica sulla catena principale, e quindi un'architettura molecolare più organizzata e cristallina: il polipropilene può quindi essere considerato in certa misura una via di mezzo tra l'LDPE e l'HDPE. Le sue possibilità d'impiego risultano però limitate dalla scarsa resistenza al freddo e dalla tendenza ad un invecchiamento relativamente rapido.

L'attrattiva del polipropilene ed il suo impiego nel settore dell'imballaggio sono stati rilanciati dalla tecnologia dello *stiramento biassiale* che consente di ottenere un nuovo tipo di film, denominato film biorientato (OPP, Oriented Polypropylene) con proprietà fisiche molto diverse da quelle del film estruso, chiamato comunemente "cast film" (figura 2.2).

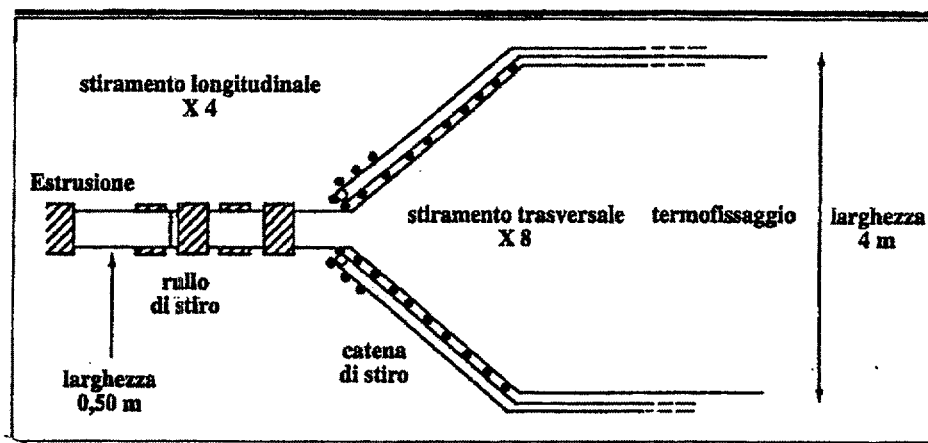


Figura 2.2: Fabbricazione del film in polipropilene biorientato (OPP). Fonte (1)

Quando si estrude un termoplastico con i processi tradizionali, le catene molecolari tendono ad orientarsi nel senso di scorrimento del materiale, e le proprietà fisiche, in particolare la resistenza alla rottura e l'allungamento, risultano molto diverse nelle due direzioni, longitudinale e trasversale. Lo scopo dello stiramento biassiale è di realizzare uno stiramento trasversale quasi contemporaneamente allo stiramento longitudinale, in modo da orientare le catene molecolari anche in senso trasversale e ottenere proprietà analoghe in entrambe le direzioni. Questa tecnologia è molto più complessa dell'estrusione semplice, e richiede strutture industriali molto più importanti.

I film in polipropilene biorientato (OPP) sono del tutto simili ai film di cellulosa per proprietà fisiche, comportamento e aspetto, e grazie a questa loro caratteristica hanno potuto penetrare nel vastissimo mercato del cellophane. L'OPP ha progressivamente raggiunto gli stessi livelli di *macchinabilità*, grazie alle doti di *rigidità* (espressa in modulo di elasticità) conferitogli dallo stiramento biassiale. Lo stiramento introduce nel film tensioni interne che tendono a rilassarsi sotto l'azione della temperatura, e a riportare il film alle dimensioni che aveva prima dello stiramento. Per evitare che diventi termoretraibile, il film OPP viene progressivamente termofissato, vale a dire riscaldato mentre è sottoposto a tensione, e portato a una temperatura superiore alla temperatura di stiro. In questo modo le tensioni interne si rilassano e, se non viene nuovamente raggiunta la temperatura di termofissaggio, il film rimane dimensionalmente stabile.

Lo stiramento biassiale rende il film *molto cristallino*: l'ambito termoplastico del polipropilene risulta quindi molto ristretto, e il materiale *non è più saldabile*. Come per il film di cellulosa, è necessario restituirgli la saldabilità, indispensabile per qualunque film per imballaggio. A questo scopo si possono utilizzare due procedimenti:

- la spalmatura di prodotti tipo cloroacetati o vinilidene;
- la coestrusione, che consiste nell'estrudere contemporaneamente sui due lati del film un sottile strato di un copolimero a base di propilene, sufficientemente amorfo da risultare saldabile.

Oltre ad essere del tutto simile al cellophane sotto il profilo del comportamento fisico e della rigidità, il film OPP possiede un'eccellente impermeabilità al vapore acqueo, una totale assenza di assorbimento di umidità ed una spiccata stabilità dimensionale. L'ineluttabile scalzamento del film di cellulosa ad opera dell'OPP in tutti i campi di applicazione è dovuto alle caratteristiche appena menzionate, alle condizioni economiche di produzione nettamente

a favore dell'OPP, ed alla sua densità inferiore (0,9 contro 1,5). L'OPP è prodotto in spessori che vanno da 15 a 40 micron; può sopportare le temperature impiegate nella sterilizzazione (120°C) e possiede stabilità termica fino a 160°C (temperatura di termofissaggio). Il film è *molto elettrostatico*: per facilitarne il passaggio nelle macchine, quindi, è necessario aggiungere agenti antistatici e scivolanti al momento della fabbricazione.

2.5.5 Stampa delle poliolefine

Essendo privi di polarità, e quindi di funzione chimica, i film poliolefinici non consentono l'ancoraggio di inchiostri, vernici o adesivi. Per questo motivo è necessario sottoporli ad un particolare trattamento, detto Corona, che promuovendo la formazione di ozono nell'ambiente circostante il materiale, determina l'ossidazione superficiale ovvero crea piccoli ponti ossigeno sui CH₂ inerti.

2.5.6 Proprietà dei film poliolefinici a confronto

Vista la grande varietà di tipi di polimeri e la differenza delle loro proprietà, è difficile operare una scelta che risponda appieno a tutte le esigenze dell'imballaggio da realizzare; l'unico modo per giungere ad un compromesso accettabile consiste quindi nel gerarchizzare le esigenze. Sono di seguito riportate, a titolo di esempio, alcune proprietà rilevanti delle poliolefine a confronto:

- *trasparenza*: la trasparenza dei film poliolefinici varia in forte misura con la densità. Nel caso dell'LDPE, la trasparenza cresce partendo da valori di densità molto bassi (0,916) fino a valori dell'ordine di 0,928, quindi diminuisce rapidamente, e gli HDPE sono solo traslucidi. Sotto questo profilo, il CPP presenta vantaggi innegabili essendo il film poliolefinico di gran lunga più trasparente. L'aggiunta di additivi quali gli agenti scivolanti nuoce alla trasparenza. Le poliolefine possono essere opacizzate con l'aggiunta di cariche prima dell'estrusione.
- *saldabilità*: la capacità dei film poliolefinici di saldarsi termicamente tra loro dipende dal grado di cristallinità e dalla densità: quanto più è bassa la densità, tanto più facile risulta la saldatura. Gli LDPE a bassissima densità (0,917) garantiscono i migliori risultati; gli HDPE presentano invece notevoli difficoltà di saldatura. La saldatura delle poliolefine si effettua normalmente a impulso o a caldo, a condizione che il film sia isolato dalla sorgente di calore mediante uno strato intermedio non fusibile.
- *inerzia chimica*: le poliolefine non possiedono alcuna funzione chimica e quindi non possono dar luogo a nessuna reazione, sia con gli acidi che con le basi.
- *impermeabilità all'acqua*: le poliolefine sono totalmente insolubili e impermeabili all'acqua e presentano anche ottima impermeabilità al vapor d'acqua, fattore che aumenta con la cristallinità del film. Per questo motivo il CPP è più impermeabile dell'HDPE, che a sua volta è più impermeabile dell'LDPE.
- *impermeabilità ai gas*: le poliolefine presentano delle proprietà di barriera relativamente mediocri rispetto ai gas: nessun film assicura una protezione adeguata nei confronti dei gas e degli aromi. Questi materiali, inoltre, non sono resistenti nemmeno agli oli ed ai grassi.

- *resistenza meccanica*: una delle proprietà specifiche delle poliolefine è l'elevatissima resistenza alla lacerazione e alla perforazione. Tale caratteristica è tanto più manifesta quanto più è amorfo il film, come nel caso dell' LDPE. Il grafico di rottura evidenzia, per l'LDPE, un livello relativamente basso di resistenza alla rottura, ma per contro proprietà di allungamento assai spiccate, dovute alle numerose catene laterali che creano articolazioni tra le catene principali. L'allungamento elastico è di gran lunga meno rilevante dell'allungamento permanente: il film è quindi molto deformabile sotto sforzo ma presenta una bassa rigidità. Gli HDPE, che non hanno la stessa architettura e le cui molecole non possiedono la stessa mobilità, presentano caratteristiche di allungamento contenute, una maggior resistenza alla trazione, un miglior modulo e quindi una rigidità più elevata.

2.6 Il cloruro di polivinile (PVC)

Il cloruro di polivinile viene ottenuto per polimerizzazione del cloruro di vinile mediante diversi procedimenti (in massa, in emulsione, in sospensione). Il PVC è difficilmente estrudibile perché, pur avendo un ambito termoplastico sufficientemente esteso, presenta una temperatura di decomposizione molto vicina al punto di fusione. La fase liquida è quindi molto instabile, e l'inizio della decomposizione provoca la liberazione di cloro o acido cloridrico.

L'estrusione comporta il passaggio del materiale alla fase liquida, e richiede quindi un controllo perfetto della temperatura ed una regolazione particolarmente precisa. Questa tecnica di trasformazione è stata in certa misura facilitata dai progressi realizzati nella stabilizzazione del polimero volta ad evitare l'inizio della decomposizione alla soglia della fase liquida.

Le applicazioni dei film sottili in PVC puro rimangono nondimeno relativamente limitate a causa dei seguenti problemi:

- i film sono difficilmente saldabili e danno in ogni caso saldature poco efficaci;
- il loro punto di rammollimento è piuttosto basso ;
- l'impermeabilità al vapor d'acqua non è eccezionale;
- la temperatura massima d'impiego è di 68°C.

Per ovviare alle difficoltà di estrusione si è creato un *altro tipo di PVC*, plastificando il polimero con esteri liquidi o in pasta che abbassino il punto di fusione e lo allontanino dalla temperatura di decomposizione. Dal momento che questi plastificanti vengono utilizzati in quantità rilevanti, è proibito utilizzare i film che li contengono per il confezionamento di prodotti alimentari. Questi film hanno invece trovato ampia diffusione in numerose applicazioni industriali nei settori dell'arredamento, dell'auto, etc.

I PVC utilizzati nel campo dell'imballaggio sono per la maggior parte costituiti da film di forte spessore (tra 80 e 600 micron), la cui fabbricazione non richiede il ricorso all'estrusione e si può effettuare mediante **calandratura**.

Nella tecnica della calandratura il polimero PVC viene trasformato in una pasta gelificata per mescolamento con particolari additivi (stabilizzanti, lubrificanti) e preriscaldamento. La pasta così ottenuta viene laminata tra vari cilindri perfettamente levigati, da cui esce sotto forma di film o foglia continua. Questo procedimento permette di evitare la transizione alla fase liquida, e quindi il rischio di decomposizione. In compenso la mancata fusione del materiale può dar luogo a disomogeneità e rischi di inclusioni o fusione incompleta.

2.7 Il polistirene

Il polistirene, che ha un costo contenuto ed è quindi diffuso in numerosi campi di applicazione, viene ottenuto per polimerizzazione dello stirene. Nella sua catena molecolare vi è una forte presenza di nuclei benzenici che discostano le catene principali e rendono il materiale molto mobile sotto l'azione della temperatura. Il polistirene ha quindi un intervallo plastico assai ampio, e presenta una temperatura di decomposizione molto più elevata della temperatura di fusione: per queste sue caratteristiche è facilmente estrudibile e presenta buona lavorabilità.

Nel settore dell'imballaggio il polistirene è molto diffuso, soprattutto sotto forma di film di forte spessore; viene utilizzato per fabbricare mediante termoformatura recipienti del tipo dei vasetti di yogurt, che rappresentano l'applicazione più comune.

La grande facilità di estrusione e di lavorazione ha indotti molti utilizzatori a provvedere essi stessi all'estrusione, iniezione e termoformatura della materia prima.

Il polistirene possiede però alcuni grossi inconvenienti:

- la fragilità che limita le applicazioni ed in pratica preclude l'uso di film sottili ed obbliga ad utilizzare film di spessore compreso tra 400 e 800 micron anche per la termoformatura. In compenso, il polistirene permette di ottenere manufatti anche molto profondi mediante termoformatura, e possiede bassa densità: solo 1,05.
- permeabilità al vapor d'acqua e ancora più ai gas;
- permeabilità ad oli e grassi; questi inconvenienti ne limitano il contatto con i prodotti alimentari
- resistenza termica (intorno ai 60°C) sensibilmente inferiore a quella del PVC.

Per ovviare al problema della fragilità sono stati messi a punto vari tipi di copolimeri:

- polistireni modificati antiurto;
- ABS;

I primi (copolimeri di stirene con butadiene) presentano bassa fragilità ma sono più difficili da lavorare. Gli ABS (copolimeri acrilonitrile-butadiene-stirene), invece, migliorano l'insieme delle proprietà del polistirene (resistenza all'urto e stabilità termica), ma nel settore dell'imballaggio vengono utilizzati unicamente per realizzare mediante stampaggio a iniezione divisori e contenitori di ogni tipo.

2.7.1 La termoformatura

La termoformatura è una tecnica che permette di realizzare contenitori aperti, ad esempio vasi, alveoli o vaschette, eventualmente della forma del prodotto da imballare, mediante deformazione termica di una foglia o di un film termoplastico. I film più utilizzati per la termoformatura nel settore dell'imballaggio sono:

- il polistirene;
- il PVC;
- l'HDPE;
- l'acetato di cellulosa;
- le poliammidi.

Nella tecnica di termoformatura la foglia o il film in materiale plastico vengono riscaldati fino al limite della fase plastica (inizio del rammollimento), quindi, sfruttandone la malleabilità, forzati contro le pareti di uno stampo riproducendone la forma da realizzare. Dopo il raffreddamento il pezzo ottenuto viene estratto dallo stampo e rifilato. La perfetta

aderenza del film allo stato plastico alle pareti dello stampo viene assicurata mediante aspirazione, aiutata nella maggior parte dei casi dall'azione di un punzone o dall'insufflamento di aria compressa. Gli stampi possono essere positivi o negativi, ossia cavi o in rilievo.

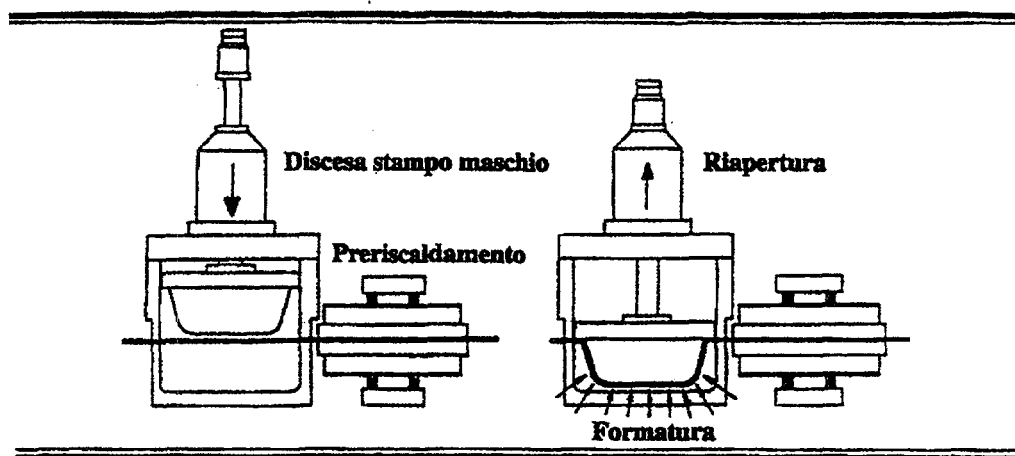


Figura 2.3: Processo di termoformatura. Fonte (1)

E' bene sottolineare che tutto il materiale che costituisce il recipiente termoformato proviene dalla sola superficie aperta dello stampo: ciò significa che lo stiramento in profondità del materiale, e quindi anche la riduzione dello spessore, sono ripartiti irregolarmente tra il fondo e le pareti. La scelta dello spessore iniziale del film riveste dunque grande importanza, e va effettuata in funzione della rigidità, della capacità che si vuole ottenere e dalla natura del materiale. In genere si utilizzano film di elevato spessore (tra 100 e 800 micron). Lo stiramento del film nel corso della termoformatura ha dei limiti che sono definiti dal rapporto tra la dimensione più grande della superficie e la profondità. Il film più adatto alla termoformatura è il polistirene. La particolare idoneità di questo materiale deriva dall'ampio intervallo termoplastico, dalla facilità di lavorazione alla temperatura di termoformatura e dalla possibilità di realizzare senza problemi sagome anche molto profonde. Per queste sue caratteristiche il polistirene viene largamente impiegato per realizzare vasetti per yogurt e prodotti lattieri di ogni genere. Questo materiale, però, non possiede caratteristiche di protezione sufficienti a garantire la conservazione dei prodotti alimentari più delicati. Per questi si è costretti ad utilizzare il PVC puro, che presenta minor facilità di termoformatura, ma in compenso offre una perfetta impermeabilità al vapor d'acqua, ai gas e alle sostanze grasse, ed è ideale per il confezionamento di burri e margarine. Il PVC è molto utilizzato per la termoformatura dei fogli alveolari impiegati dall'industria farmaceutica per il confezionamento di perle, cachet, pillole, compresse. Va segnalato che gli scarti di polistirene sono immediatamente riciclabili, mentre quelli di PVC non lo sono.

Anche i film in poliammide, quando sono realizzati a partire da poliammide 6.6, sono notevolmente termoformabili, anche in spessori ridotti. Tale proprietà viene sfruttata per realizzare accoppiati con LDPE, utilizzati per conferire un certo volume agli imballaggi flessili, ad esempio le confezioni di prodotti spessi a fette.

2.8 Il poliestere (PET)

I film in poliestere saturo sono dei polietilentereftalati ottenuti per policondensazione dell'acido tereftalico con il glicole. Contrariamente alla polimerizzazione, la policondensazione è una vera e propria reazione chimica di esterificazione.

Il settore dell'imballaggio ricorre sempre più spesso ai film in poliestere, creati in origine, a costo di forti investimenti, per soddisfare applicazioni industriali sofisticate che necessitavano di film ad altissime prestazioni e di ottima qualità: il settore dell'imballaggio, quindi, ha beneficiato delle ricadute tecnologiche delle applicazioni industriali. Il PET esiste in forma amorfa (A-PET) e in forma cristallina (C-PET). Un manufatto in A-PET è trasparente, ma se viene riscaldato intorno ai 70°C rammollisce perdendo forma e caratteristiche meccaniche. Un prodotto ad alto contenuto cristallino si presenta opaco, ma con ottime proprietà di resistenza meccanica e termica fino a circa 230°C. Il C-PET è trasparente alle microonde, resistente alla surgelazione (-40°C) e al riscaldamento in forno convenzionale (+200°C), inodore e insapore, igienico, dotato di proprietà barriera all'acqua, all'ossigeno, all'anidride carbonica. Vi è poi il PET biorientato, che grazie alle caratteristiche della biorientazione presenta una maggiore rigidità, un'elevata resistenza alla caduta e maggiore stabilità dimensionale sotto carico (è quindi adatto all'imbottigliamento di bevande gassose).

La diffusione dei film in poliestere nel settore dell'imballaggio è dovuta alla loro considerevole resistenza meccanica e alla possibilità di realizzare spessori molto ridotti (12 micron). I film ottenuti con la tecnologia dello stiramento biassiale presentano le seguenti caratteristiche:

- alta cristallinità;
- modulo di elasticità elevato;
- alta rigidità;
- ottima trasparenza;
- resistenza alle alte temperature: possono infatti sopportare temperature fino a 200°C senza che si verifichino modifiche delle proprietà e delle dimensioni. Questa caratteristica aprirà certamente le porte a nuove applicazioni per i materiali accoppiati nel settore dell'imballaggio.

Come tutti i film biorientati, i film in poliestere non sono saldabili, e pertanto non vengono impiegati tal quali nel settore dell'imballaggio, ma con la progressiva scomparsa del film di cellulosa sono diventati il supporto preferito degli accoppiati.

2.9 I film in poliammide

Le poliammidi, ottenute per policondensazione di un diacido organico e di una diammina, sono state messe a punto per l'industria tessile e sono note anche con il nome di Nylon. Il settore dell'imballaggio ha saputo trarre vantaggio dalle proprietà specifiche di questi materiali dapprima sotto forma di film estrusi, e in un secondo tempo anche sotto forma di film biorientati. Le proprietà essenziali che hanno portato le poliammidi ad essere impiegate nell'imballaggio sono:

- resistenza al calore (che, come per il poliestere è di circa 200°C e permette la sterilizzazione);
- ottima resistenza alla perforazione;
- facilità di termoformatura anche in film sottili.

I film sottili biorientati vengono impiegati per applicazioni simili a quelle dei film in poliestere, e costituiscono ottimi supporti per gli accoppiati. La poliammide, però, è uno dei rari polimeri non inerti nei confronti dell'acqua, e ha tendenza ad assorbire una certa percentuale d'acqua in ambienti umidi. Le figure di seguito riportate evidenziano la classificazione dei vari film in funzione delle proprietà barriera, della qualità delle saldature, della sensibilità ai grassi e della temperatura massima d'impiego.

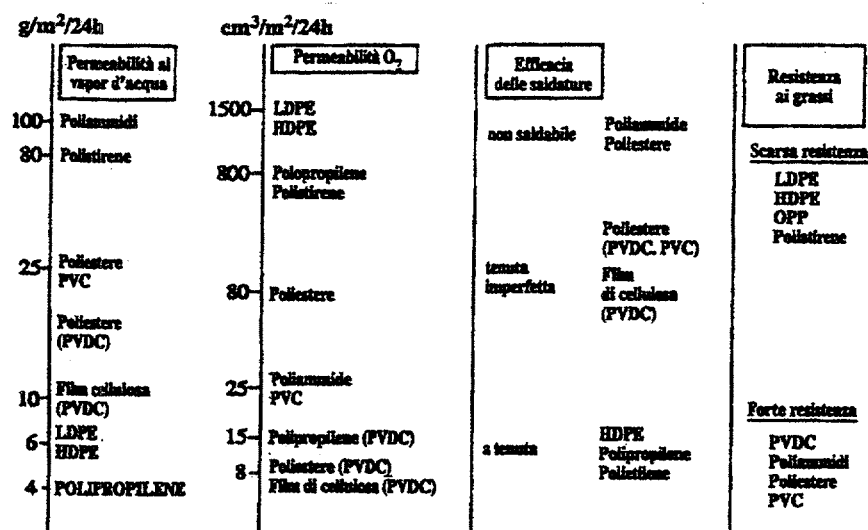


Tabella 2.3: Comportamento dei vari film in rapporto alle esigenze dei prodotti. Fonte (1)

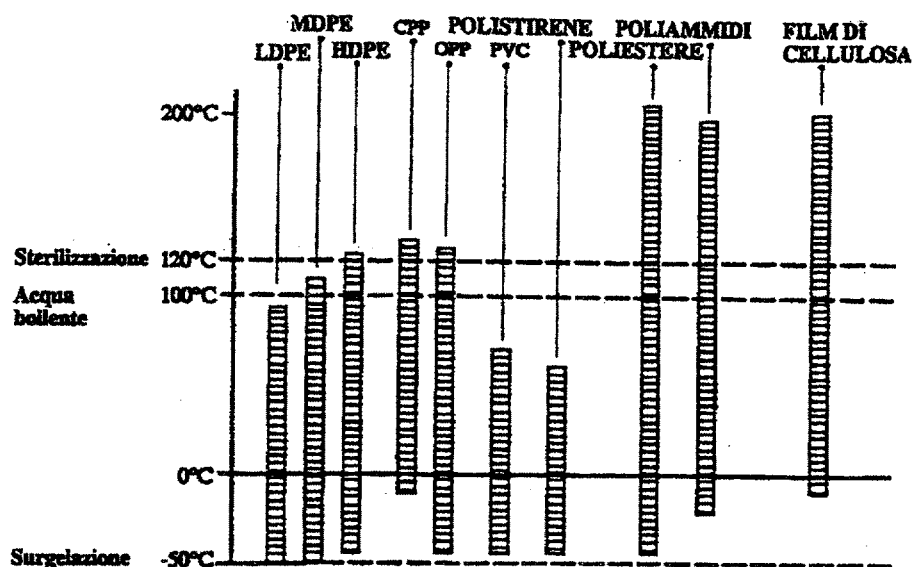


Tabella 2.4: Temperatura massima d'impiego delle principali materie plastiche. Fonte (1)

2.10 Gli accoppiati

L'accoppiamento' consiste nell'unione stretta, mediante varie tecniche, di più falde, costituite ciascuna da una lamina di materiale diverso, a formare un unico laminato che somma le proprietà di ciascun componente. I contenitori poliaccoppiati si distinguono in contenitori rigidi e sacchetti flessibili, che abbinano generalmente diverse tipologie di materie plastiche, utilizzati soprattutto nel settore alimentare per il confezionamento di pasta, biscotti, caffè, surgelati, ecc.

Le possibilità offerte dall'industria dell'accoppiamento nella scelta delle materie prime sono molteplici, e in continua evoluzione, grazie alla ricerca di nuovi materiali.

Il primo poliaccoppiato era composto da carta e cera, che impermeabilizzava la carta e fungeva da termosaldante al momento della chiusura della busta. La carta è però permeabile all'umidità e quindi non adatta al confezionamento di prodotti alimentari per lunghi periodi. Si è quindi pensato negli anni Sessanta di abbinare alle componenti precedenti un foglio di alluminio, per le rilevanti proprietà barriera che questo materiale offre e per l'ottima valorizzazione degli elementi estetici conferiti al prodotto grazie alla sua brillantezza. Gli aspetti negativi di questo materiale sono dati dalla scarsa resistenza meccanica che lo rendono di facile fessurazione in seguito a sollecitazioni. Si cercarono allora fra gli anni Sessanta e Settanta, dei sostituti dell'alluminio tra le materie plastiche ma fu presto evidente che questi nuovi film non offrivano le stesse proprietà di barriera dell'alluminio. Oggi, infatti, per i prodotti che necessitano di una lunga 'shelf-life', ossia che devono mantenersi integri per un lungo periodo di tempo prima di essere consumati, è sempre presente nel laminato l'accoppiato di alluminio. Dagli anni Sessanta comunque la cera è stata sostituita da adesivi o mediante processi di estrusione diretta di polietilene, che hanno consentito ottima aderenza e resistenza anche a temperature molto elevate.

Oggi le materie prime principali utilizzate per l'imballaggio poliaccoppiato sono: carta, cellophane, alluminio, polietilene, polipropilene, poliestere, poliammide.

I requisiti fondamentali che devono soddisfare gli accoppiati sono i seguenti:

- protezione dei prodotti imballati e compatibilità con essi;
- ermeticità della confezione;
- possibilità di meccanizzare le operazioni di imballaggio.

Gli strati che costituiscono una accoppiato possono essere molteplici: vi è in genere

- un foglio esterno di supporto con funzioni di resistenza alle sollecitazioni meccaniche. Il film supporto deve anche essere in grado di sopportare senza fondere o deformarsi le temperature relativamente elevate create dal contatto con le barre saldanti. I materiali più adatti ad essere impiegati come supporto sono i film termoplastici a modulo di elasticità elevato che resistono a temperature anche superiori ai 150°C, cioè i film poliestere, i film in poliammide biorientati ed in una certa misura anche i film OPP. A maggior ragione come strato supporto si può usare un materiale non termoplastico, come la carta, l'alluminio, o il film di cellulosa. Questi strati esterni possono apportare all'accoppiato anche altre proprietà, ad esempio la macchinabilità o l'impermeabilità ai gas, totale nel caso in cui si utilizzi il foglio di alluminio, oppure ottenuta attraverso la metallizzazione sotto vuoto di supporti in poliestere o poliammide, o infine mediante spalmatura di polivinilidencloruro.
- un foglio interposto di alluminio con funzioni di barriera e resistenza chimica, soprattutto nel caso di shelf-life lunga e prodotti deperibili.
- un foglio interno termosaldante in grado di assicurare l'ermeticità della confezione. I materiali più adatti sotto questo profilo sono le poliolefine amorfe, e in particolare gli

MDPE per temperature massime di 105°C, o l' HDPE o il polipropilene 'cast' per le temperature di sterilizzazione. Il film poliolefinico di apporto, inoltre, deve garantire la massima impermeabilità al vapor d'acqua, caratteristica quasi sempre necessaria alla protezione del contenuto.

Naturalmente può accadere che vi sia incompatibilità tra le varie esigenze dell'applicazione: per questo motivo è importante gerarchizzare tutte le esigenze allo scopo di trovare il miglior compromesso possibile (vedi tavola seguente).

COMPOSIZIONE		PRINCIPALE PROPRIETA' IN RELAZIONE ALL'APPLICAZIONE
FC/spalm. PVDC/LDPE	da 30 a 80 micron	Impermeabile vap. H ₂ O e gas
PET/spalm. PVDC/LDPE	da 30 a 80 micron	Impermeabile vap. H ₂ O e gas
PET/metallizzato/LDPE	da 30 a 80 micron	Impermeabile vap. H ₂ O e gas
OPA/metallizzato/LDPE	da 30 a 80 micron	Impermeabile vap. H ₂ O e gas
PET/OPP	da 30 a 80 micron	Sterilizzabile a 120°C
PET/HDPE	da 40 a 80 micron	Sterilizzabile a 120°C
PET/MDPE	da 40 a 80 micron	Resiste all'acqua bollente
OPA/LDPE		Termoformabile
PA/LDPE/Surlyn		Termoformabile, ottima tenuta
PA/EVA		Termoformabile, ottima tenuta
PET/LDPE*		
Al/Kraft/LDPE		Impermeabile vap. H ₂ O e gas
Al/mussola/LDPE		Impermeabile vap. H ₂ O e gas
Al/Kraft/OPP		Impermeabile vap. H ₂ O e gas; sterilizzabile
FC/Al/LDPE**		
PET/Al/LDPE**		
OPP/LDPE*		

* Accoppiato comune non specifico
** Accoppiato polivalente

Si possono immaginare numerose altre combinazioni, a cui vanno aggiunte quelle ottenibili per coestruzione

Legenda:

FC	= film di cellulosa
spalm. PVDC	= spalmatura in polivinilidencloruro
PET	= poliestere (polietilene tereftalato)
PA	= poliammide
OPA	= poliammide orientata
OPP	= polipropilene "cast"
MDPE	= polipropilene biorientato
Al	= foglio di alluminio da 7 a 12 micron
LDPE	= polietilene a bassa densità
MDPE	= polietilene a media densità
HDPE	= polietilene ad alta densità
EVA	= copolimero etilene vinilacetato

Tabella 2.5: Le principali combinazioni di accoppiamento. Fonte (1)

2.10.1 Processi di realizzazione degli accoppiati

- La laminazione è la tecnica più utilizzata per la realizzazione di film accoppiati flessibili, e viene realizzata congiungendo mediante passaggio tra cilindri laminatori due film precedentemente accoppiati a secco. Il film supporto, cioè il più rigido, viene spalmato con un adesivo in soluzione; il solvente dell'adesivo viene quindi eliminato mediante riscaldamento e ventilazione in un tunnel prima della laminazione con l'altro film. Gli adesivi più utilizzati sono di tipo termoindurente, ad esempio i poliuretani, ottenuti dalla reazione di un diisocianato con un poliolo. Al momento della miscelazione dei due reagenti, si forma la molecola di poliuretano che reticola e si sviluppa nelle tre dimensioni. Il processo di reticolazione dura oltre 24 ore. Come solvente viene normalmente utilizzato l'acetato di etile, che evapora abbastanza facilmente. Per l'accoppiamento delle poliolefine è indispensabile sottoporre preventivamente i film a trattamento Corona, ossia esporli ad un campo di alta tensione. Il vantaggio della laminazione è la possibilità di scegliere un film di supporto che presenti le esatte caratteristiche volute.
- L'estrusione consiste nell'estrudere direttamente sul film di supporto una poliolefina amorfa, costituita quasi sempre da LDPE che si svolge sul controprezzo di un cilindro. L'estrusione viene effettuata a temperatura relativamente alta (intorno a 300°C) per assicurare l'ossidazione dell'LDPE, senza la quale non si potrebbe procedere all'accoppiamento. L'ossidazione avviene in proporzioni tali da rendere inutile l'uso di adesivi. L'inconveniente principale di questo procedimento è il rischio di emissione di odori causato proprio dall'ossidazione. Inoltre la superficie estrusa risulta molto poco scorrevole e va successivamente impolverata, e l'accoppiato presenta spiccata tendenza ad arricciarsi in seguito a shock termico.
- L'estrusione-laminazione, tecnica molto meno utilizzata rispetto alle due precedenti, consiste nell'estrudere direttamente uno strato di polietilene a bassa densità tra due film. L'LDPE in questo modo funge da legante e allo stesso tempo conferisce all'accoppiato impermeabilità al vapor d'acqua. Questa tecnica viene impiegata per la produzione di accoppiati a base di carta o di alluminio; il suo vantaggio è l'assenza di solventi.
- La coestrusione consiste nell'estrudere contemporaneamente sui due lati del film un sottile strato di polimero diverso, ma in genere della stessa famiglia, allo scopo di produrre direttamente un materiale composito. L'estrusione viene effettuata con una sola filiera che può avere anche un unico canale di uscita, quando per le loro caratteristiche reologiche i polimeri non possono mischiarsi. In questo modo si ottiene un film asimmetrico con una perfetta coesione tra gli strati (vedi figura 4.2). Le coestrusioni più comuni sono quelle realizzate tra vari tipi di poliolefine, ad esempio tra un LDPE e un HDPE, che permettono di sfruttare la rigidità dell'HDPE e la saldabilità dell'LDPE, oppure tra un LDPE e un EVA o un Surlyn, tra un poliammide e un LDPE, e così via.

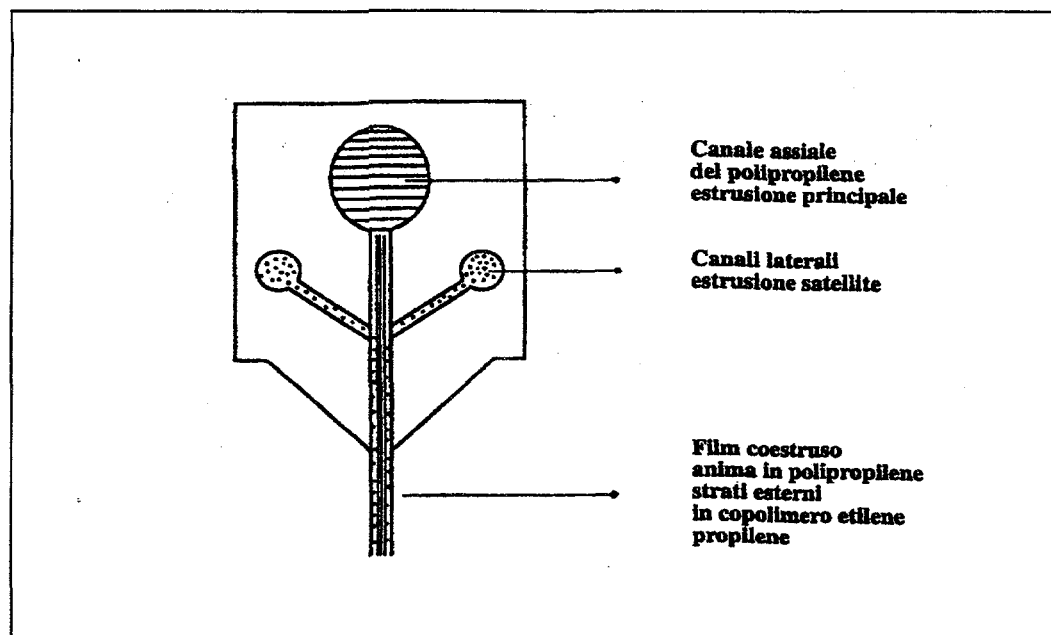


Figura 2.4: Principio di funzionamento di una filiera di coestrusione. Fonte (2)

2.10.2 I principali utilizzi dei poliaccoppiati

I contenitori poliaccoppiati si prestano a una vasta gamma di impieghi: l'esempio più conosciuto è dato dalla confezione destinata a contenere il latte, che ha ormai quasi totalmente soppiantato la bottiglia di vetro.

Nel caso in cui il latte sia venduto pastorizzato (breve durata di conservazione a $+5^{\circ}\text{C}$), si usa del cartoncino rivestito nelle due facce da polietilene, in quanto la breve vita sullo scaffale permette una sicura conservazione anche senza l'elevata barriera ai gas offerta dall'alluminio, che invece è presente nelle confezioni di latte sterilizzato.

I contenitori poliaccoppiati rigidi con uno strato di alluminio vengono inoltre impiegati per il confezionamento del vino e dei succhi di frutta, mentre le acque minerali possono essere confezionate senza il foglio di alluminio. Anche gli yogurt vengono confezionati in poliaccoppiato, soprattutto polistirene antiurto o polipropilene, perché non necessitano di elevata protezione all'ossigeno e hanno una vita di scaffale limitata. Anche alimenti solidi vengono confezionati con laminati poliaccoppiati: le paste alimentari, in buste composte da diversi polimeri plastici, e i biscotti, in sacchetti contenenti alluminio per preservare il giusto grado di umidità. Ulteriori esempi sono dati dal foglio triplice (poliestere-alluminio-poliestere) utilizzato per il confezionamento del caffè sottovuoto, che ha largamente sostituito il barattolo di acciaio, e dalle buste contenenti precotti e chiuse sottovuoto, che devono essere riscaldate in acqua bollente. Vengono confezionate in buste di poliaccoppiati anche salumi e formaggi, grazie alle proprietà barriera nei confronti dell'umidità e dei grassi di cui godono alcuni polimeri.

I campi di applicazione di questi materiali sono quindi notevoli. Le prospettive che si aprono nel settore dell'imballaggio poliaccoppiato sono enormi. Si pensi all'utilizzo di questi materiali nel confezionamento sottovuoto, in atmosfera modificata, nel confezionamento in asettico, con cui è stata annullata la divisione fra lavorazione e conservazione degli alimenti.

Oggigiorno i progressi tecnologici sono molto importanti in questo comparto industriale e mirano allo sviluppo di maggiori proprietà barriera tramite il rivestimento di supporti con ossido di silicio o con i suoi composti organici (vetrificazione) che presentano ottima resistenza all'ossigeno, al vapore acqueo, agli odori, ai prodotti chimici. Inoltre la vetrificazione permette di ottenere materiali trasparenti, così che il consumatore può vedere il prodotto imballato, e utilizzabili nel forno a microonde. Vengono inoltre ridotti i costi di produzione del materiale barriera rispetto alle normali tecniche di accoppiamento. Lo sviluppo di pellicole trasparenti con proprietà barriera ha permesso inoltre l'ottenimento di prodotti barriera monomateriale (in genere il polipropilene o il polietilene vetrificati), con indubbi vantaggi in termini di riciclaggio.

2.11 I film metallizzati

La metallizzazione dei film in materiale plastico si effettua facendo condensare dei vapori di alluminio sulla superficie del film. L'intera operazione viene eseguita in camere ermetiche in cui viene creato un vuoto molto spinto. All'interno della camera una bobina di film supporto si svolge contro un cilindro raffreddatore. Un crogiolo riscaldato ad induzione collocato davanti al cilindro fonde l'alluminio, che vaporizza e va a condensare sul film, che viene riavvolto in bobina sempre all'interno della camera. Lo strato di alluminio depositato è molto sottile (intorno a $300\text{\AA}$). La superficie metallizzata risulta perfettamente omogenea e perfettamente lucida e brillante. In genere vengono sottoposti a metallizzazione i film in poliestere e i film in polipropilene biorientato, ma in alcuni casi il trattamento viene eseguito anche su film in PVC sottili o spessi, film di acetato e film di poliammide orientati. Oltre a creare superfici di aspetto spettacolare, la metallizzazione conferisce ai film supporto ottime caratteristiche di impermeabilità al vapor d'acqua e soprattutto ai gas. Lo strato di metallo depositato, tuttavia, è molto fragile e va protetto mediante laccatura oppure accoppiamento con un altro film incollato sul lato da unire al lato metallizzato.

Le poliammidi e i poliesteri metallizzati vengono sovente impiegati negli accoppiati. Il poliestere permette di ottenere valori di impermeabilità all'ossigeno inferiori a $1\text{ cm}^3/\text{m}^2$, non raggiungibile da nessun altro materiale plastico semplice.

La metallizzazione comporta investimenti piuttosto rilevanti, dal momento che l'intero procedimento va effettuato sotto vuoto spinto in camera chiusa. Le operazioni, inoltre, sono necessariamente discontinue perché dopo ogni bobina trattata bisogna ritornare in condizioni di pressione atmosferica, caricare una nuova bobina e depressurizzare nuovamente la camera.

2.12 I film spalmati

Per conferire particolari proprietà ai film polimerici, e in particolare ai film biorientati, si ricorre alla tecnica della spalmatura, con la quale si deposita su una o su entrambe le facce del film un rivestimento costituito di norma da polimeri disciolti in un veicolo rappresentato da un solvente organico, oppure dispersi in acqua. Dopo l'evaporazione del veicolo, il supporto rimane ricoperto da un sottile strato del polimero. Quasi sempre, al rivestimento impiegato si richiedono soprattutto caratteristiche di termosigillabilità (in questo caso si parla di sigillatura anziché di saldatura, perché il film supporto non partecipa alla fusione). Le spalmature termosigillabili vengono impiegate in particolar modo per i film biorientati (film OPP e film poliestere) che, come il film di cellulosa, non sono saldabili. L'altra caratteristica che ci si

propone di ottenere con la spalmatura è l'impermeabilità ai gas e in particolare all'ossigeno. In realtà la minima quantità di polimero fatta aderire al film supporto con il procedimento di spalmatura in genere non è sufficiente a garantire una buona impermeabilità nei confronti dei gas. L'unico polimero che offra risultati veramente soddisfacenti per questa applicazione è il polivinilidencloruro (PVDC), spesso designato con il marchio commerciale americano 'Saran'. Purtroppo il PVDC ad alte prestazioni non è estraibile, e si può utilizzare unicamente per spalmatura; essendo difficilmente solubile viene applicato quasi sempre sotto forma di dispersione acquosa. La spalmatura di PVDC su un film supporto da utilizzare tal quale o destinato ad accoppiamento conferisce al film ottime caratteristiche di impermeabilità ai gas e assicura la termosigillabilità. In altri campi si utilizzano spesso spalmature ottenute da copolimeri cloroacetati, che però garantiscono la termosaldabilità. La spalmatura viene di norma effettuata presso il produttore di film con mezzi tecnicamente e dimensionalmente molto importanti, ma può essere eseguita anche in fase di trasformazione, quasi sempre abbinata in questo caso alla stampa o all'accoppiamento: lacche di protezione, di brillantatura, ecc. Va segnalato che il problema più difficile da risolvere nei procedimenti di spalmatura è l'eliminazione totale dei solventi.

2.13 Le schiume e le materie plastiche espanse

Le materie plastiche trovano applicazione nel campo dell'imballaggio anche sotto forma di schiume e materiali espansi destinati alla protezione di oggetti fragili. Nei procedimenti di espansione e di produzione delle schiume si provoca lo sviluppo di gas al momento della transizione del polimero allo stato solido, in modo da creare nella massa del materiale degli alveoli vuoti, o celle, che abbassano considerevolmente la densità apparente del prodotto finito.

2.13.1 Le schiume poliuretaniche

I poliuretani sono polimeri termoindurenti, prodotti dalla reazione tra il toluen-diisocianato ed un poliestere mediante un processo di poliaddizione durante il quale la reticolazione avviene nelle tre dimensioni. Lo sviluppo di gas nella massa dei reagenti è assicurato dalla presenza d'acqua che, per reazioni con l'isocianato, sprigiona anidride carbonica. I componenti miscelati vengono colati in continuo su un film supporto e si espandono nel giro di qualche minuto, solidificando in 6-8 ore. La densità ottenuta è dell'ordine di $20-35 \text{ kg/m}^3$. Si possono scegliere vari tipi di poliesteri in funzione del grado di flessibilità desiderato per la schiuma. I fogli possono essere sottoposti a termoformatura; le lastre o i blocchi possono raggiungere lo spessore di un metro. Si possono realizzare anche schiume poliuretaniche rigide, che però non sono impiegate nel settore dell'imballaggio e trovano applicazione principalmente come isolanti.

2.13.2 Il polistirene espanso

Anche l'espansione del polistirene avviene per formazione nella massa del polimero di microcelle create dalla liberazione di gas. Per provocare lo sviluppo di gas si utilizza un prodotto volatile, il pentano. Il procedimento più diffuso è quello della doppia espansione. Il polistirene, sotto forma di perle, viene imbibito di pentano, quindi trattato a vapore a 100°C per provocare una prima espansione. Trascorso un periodo abbastanza lungo di maturazione, le perle vengono introdotte in uno stampo freddo, dove viene iniettato vapore per qualche secondo; il materiale viene quindi lasciato raffreddare e lo stampo infine viene aperto. Le proprietà fisiche del polistirene espanso sono le stesse del polistirene estruso, anche se la densità non è paragonabile (nell'espanso è di norma intorno a 20 kg/m³ e può scendere fino a 10 kg/m³). Il polistirene espanso ha innumerevoli applicazioni ; nel settore dell'imballaggio trova impiego soprattutto sotto forma di fogli o blocchi di protezione interna, interfalda, alveoli, divisori, scatole stampate. L'espansione conferisce a tali oggetti ottima resistenza all'urto (caratteristica che non possiede il polistirene compatto) e fa in modo che, malgrado i forti spessori, questi accessori in pratica non incidano affatto sul peso dell'imballaggio.

Capitolo 3

PACKAGING ALIMENTARE

3.1 Introduzione

Le funzioni principali svolte dai materiali destinati al confezionamento di alimenti sono essenzialmente:

- protezione del prodotto dall'ambiente esterno;
- mantenimento della qualità del prodotto;
- informazione sulle caratteristiche del prodotto;

Come già precedentemente messo in evidenza è possibile distinguere il packaging primario, a contatto diretto con l'alimento, dal packaging secondario e terziario, legato essenzialmente alle esigenze di distribuzione e di commercializzazione del prodotto: l'interesse della trattazione sarà focalizzato sulla prima tipologia di confezionamento.

La "shelf-life" di un alimento confezionato dipende da tre fattori:

- caratteristiche specifiche del prodotto;
- proprietà del materiale adibito al confezionamento;
- condizioni di stoccaggio e distribuzione.

Perciò, per incrementare la vita dei prodotti confezionati, si può agire principalmente in due direzioni: migliorare le tecnologie di processo associate al confezionamento e modificare le proprietà dei materiali impiegati.

Per quanto riguarda il primo punto, uno dei metodi più largamente impiegati è il confezionamento in atmosfera modificata (MAP), che consiste nel riempire l'interno del package con gas diversi dall'aria. In questo modo si riduce la crescita dei microrganismi, creando condizioni ambientali non favorevoli, e si abbassa la velocità di respirazione dei prodotti ortofrutticoli.

Il packaging asettico rappresenta un'altra tecnologia molto diffusa nel campo della conservazione degli alimenti. Il metodo convenzionale comporta un trattamento termico simultaneo del prodotto e della confezione (per es. contenitori di carta per succhi di frutta), a cui segue la chiusura ermetica del pacchetto. Il sistema innovativo richiede invece la sterilizzazione separata del package e del prodotto. In questo modo la confezione può subire dei trattamenti più energici rispetto a quello termico (sterilizzazione chimica o con radiazioni), senza alterare le caratteristiche del prodotto contenuto.

Per quanto riguarda il secondo punto le ricerche si stanno indirizzando principalmente sulla produzione di materiali con proprietà barriera altamente selettive (EVOH, PVDC), e dotati di elevata resistenza alla temperatura. Quest'ultimo requisito si è reso indispensabile soprattutto dopo l'avvento dei forni a microonde, che richiedono materiali da imballaggio trasparenti alle onde e capaci di sopportare le alte temperature che si raggiungono localmente durante l'esposizione dell'alimento.

3.2 Caratteristiche del prodotto

Nella scelta del materiale destinato a costituire il packaging primario risulta estremamente importante conoscere le caratteristiche specifiche dell'alimento confezionato per individuarne i possibili meccanismi deteriorativi. Questi ultimi generalmente implicano:

- reazioni enzimatiche;
- reazioni chimiche;
- cambiamenti fisici;
- reazioni microbiche;

Le reazioni enzimatiche negli alimenti sono innescate principalmente da aumenti di temperatura e da variazioni della attività dell'acqua e della quantità dei singoli reagenti.

I cambiamenti di natura chimica includono idrolisi dei lipidi, ossidazione dei lipidi, denaturazione delle proteine, formazione di legami reticolati nelle proteine, idrolisi delle proteine e dei poli e oligo-saccaridi, sintesi di polisaccaridi, degradazione dei pigmenti naturali. Queste reazioni spesso prendono luogo simultaneamente e i reagenti e i prodotti interagiscono. Inoltre le velocità con cui decorrono dipendono da numerosi parametri, quali luce (intensità e lunghezza d'onda), pressione parziale dei gas, attività dell'acqua e temperatura.

I processi degradativi di tipo fisico comprendono perdita di solubilità, perdita di trattenimento dei liquidi, umidificazione, agglomerazione, instabilità dell'emulsione, rigonfiamento/restrizione, schiacciamento, rottura. Il controllo dell'assorbimento di umidità (proprietà barriera) è di primaria importanza al fine di prevenire gran parte delle trasformazioni sopra elencate. Inoltre la selezione del corretto tipo di materiale e delle modalità del processo di confezionamento e di distribuzione, incide notevolmente sulla velocità e sul tipo di modificazioni fisiche prodotte.

Un'ampia gamma di funghi e batteri è generalmente presente nei cibi: ad ogni tipo di alimento è associabile un ben determinato ceppo di microbi. L'esistenza e lo sviluppo nel tempo di una colonia di microbi è determinata da diversi fattori: la carica batterica iniziale, il pH dell'alimento, l'attività dell'acqua, il potenziale redox, sostanze antimicotiche (rilasciate dalle pareti del contenitore), l'umidità relativa, la temperatura di stoccaggio la concentrazione dei gas all'interno del contenitore (O_2 e CO_2).

E' perciò essenziale che il confezionamento svolga una funzione protettiva rispetto a contaminazioni esterne e ad attacchi microbici.

A questo proposito si è rilevato che alcuni materiali per l'imballaggio possono rivelarsi essi stessi una fonte di contaminazione del prodotto alimentare: Scholte (1995) (3) ha dimostrato che, quando viene utilizzata nell'imballaggio carta riciclata, si verifica una crescita microbica dell'ordine di 100 colonie per cm^2 . I materiali plastici, usualmente, producono fenomeni di proliferazione batterica abbastanza trascurabili ma, a causa dell'elettricità statica, attirano molta polvere.

3.3 Proprietà del materiale adibito al confezionamento

La conoscenza delle caratteristiche del prodotto, insieme alle condizioni di stoccaggio e distribuzione, dettano i requisiti barriera cui deve rispondere il materiale impiegato per l'imballaggio. Le proprietà barriera comprendono:

- la permeabilità ai gas (O_2 , CO_2 , N_2 , C_2H_2 , ecc.);
- la permeabilità al vapore acqueo;
- la permeabilità agli aromi;
- la permeabilità alla luce.

Le proprietà sopra elencate sono fattori fondamentali da considerare nel mantenimento della qualità del prodotto alimentare. Tuttavia i materiali per il packaging non possono essere scelti solo in base alla selettività nell'assorbire determinate sostanze. E' perciò necessario tenere in conto anche altri parametri quali la processabilità, le proprietà meccaniche (carico di snervamento, allungamento, resistenza al taglio, durezza, coefficiente di attrito, tenacità, ecc.), l'inerzia chimica, ecc.

Inoltre lo scenario è reso maggiormente difficile dal fatto che l'alimento confezionato realmente interagisca con il materiale del contenitore, soprattutto nel caso in cui l'interazione modifichi le proprietà iniziali meccaniche e di barriera. A tale proposito, le **interazioni tra gli alimenti ed il materiale** adibito al confezionamento possono essere suddivise in quattro categorie [15]:

- migrazione dei componenti dal materiale verso gli alimenti. Ciò compromette la qualità (per es. produzioni di odori con il riscaldamento nel forno a microonde) e la genuinità del prodotto (se le sostanze liberate dal package sono tossiche);
- permeazione di gas e vapor d'acqua attraverso il film di rivestimento. Nel caso delle materie plastiche la velocità di permeazione varia di tre ordini di grandezza, e comunque, in tutti i casi, una maggiore selettività implica un costo più alto;
- assorbimento e permeazione di vapori organici responsabili dell'aroma caratteristica dell'alimento;
- trasparenza del packaging alla luce che determina ossidazione dell'alimento, produzione di off-odors e scolorimento.

3.3.1 Relazione tra struttura e performance nei polimeri

I polimeri utilizzati nel "food packaging" sono suddivisibili in diverse classi [15]:

1. idrocarburi (PE, PP, PS);
2. alogeni (PVC, PVDC);
3. vinilici (PVOH, PAN, polivinilacetato);
4. a condensazione (nylon 6,6, PET);
5. misti (cellophane, PC, PRU);

Ciascuna di queste sostanze, a seconda del tipo di gruppi funzionali presenti, possiede:

- diversa polarità, a partire dal polietilene (bassa polarità) fino al PVOH (alta polarità);
- diversa cristallinità, a partire dal PVC (bassa cristallinità) fino al PP isotattico (alta cristallinità).

Entrambi i fattori influenzano in maniera significativa le proprietà del materiale, sia grezzo sia lavorato. In aggiunta occorre considerare altri parametri quali peso molecolare, additivi e legami incrociati.

Le performance caratteristiche dei polimeri adibiti al confezionamento sono riportate nella tabella seguente, insieme alle proprietà misurabili ad esse connesse.

<i>Performance Characteristics</i>	<i>Related Properties</i>
Mechanical Strenght	Tensile Strenght
	Compressive Strenght
	Impact Strenght
Barrier Behaviour	Permeation
	Migration
Compatibility	Sorption
	Desorption

Tabella 3.1: Performance Characteristics and Related Properties. Fonte (15)

Le diverse performance e la loro relazione con la struttura del polimero sono di seguito elencate.

Prestazioni meccaniche. Per ottenere una discreta resistenza meccanica dai polimeri a bassa polarità occorre realizzare i film con catene polimeriche lunghe e regolari, ad alto peso molecolare, per compensare le deboli interazioni dei legami di Van der Waals.

Nel caso dei polimeri a medio-alta polarità non sono richieste lunghe catene molecolari, essendo sufficiente l'azione resistenziale svolta dai legami polari ad alta energia.

Inoltre è stata rilevata una stretta correlazione tra la resistenza meccanica dei polimeri e la diffusione dei componenti nella loro matrice: infatti la permeazione di sostanze che possono modificare la mobilità delle catene (per es. spezzando legami polari), comporta:

- riduzione della prestazione del materiale a trazione e a compressione;
- incremento della resistenza al creep, per effetto di una continua deformazione nel tempo;
- aumento della tenacità, grazie alla maggiore mobilità delle catene e la minore cristallinità.

Queste ultime, infatti, consentono la rapida dispersione dell'energia mediante la torsione dei segmenti di catena polimerica.

Perciò le proprietà meccaniche sono significativamente influenzate dal comportamento del materiale rispetto alla permeazione degli ingredienti dell'alimento.

Performance di barriera. In generale sono numerosi i fattori strutturali che definiscono le proprietà di barriera di un polimero:

1. polarità dei gruppi funzionali, che incide sulla permeazione di sostanze polari provenienti dal cibo;
2. cristallinità del polimero;
3. impaccettamento denso delle catene, che riduce gli spazi a disposizione dei permeanti.

Per quanto riguarda il primo fattore, nella tabella seguente sono riportati gli effetti della polarità sulle proprietà di barriera di alcuni polimeri caratteristici.

Nel PVOH, EVOH, Nylon 6,6, l'alto contenuto di gruppi OH permette di bloccare il trasporto di molecole di O₂ e CO₂ mediante interazione polare. La presenza di acqua, però, riduce drasticamente l'effetto barriera in quanto i gruppi OH del polimero interagiscono preferenzialmente con quelli ossidrilici dell'acqua stessa, e si verifica, contemporaneamente, un rigonfiamento delle catene che lascia un maggior numero di spazi vuoti per i gas.

Nel PVDC, nel PET e nel PAN, dotati anch'essi di gruppi OH, non si rileva lo stesso comportamento selettivo verso i gas in presenza di umidità. Infatti l'effetto barriera per O₂ e CO₂ si mantiene pressoché inalterato in presenza di acqua.

Infine il PP, completamente apolare, manifestando in assoluto un alto valore di permeabilità, non risente dell'assorbimento di acqua.

In generale, quindi, la presenza di gruppi polari nel tessuto polimerico non implica un comportamento univoco verso la permeazione dei gas: tutto dipende dalla capacità dei gruppi polari di stabilire un'interazione abbastanza forte da non essere scalzati dal permeato.

<i>Polymer</i>	O_2^{dry}	O_2^{wet}	CO_2	H_2O	<i>Functional Class</i>
PVOH	0.02	7.00	0.06	10.00	Hydroxyl
EVOH	0.05	7.00	0.23	10.00	Hydroxyl
PVDC	0.08	0.08	0.30	0.05	Halogen
PAN	0.03	0.03	0.12	0.50	Nitrile
PET	5.00	5.00	20.00	1.30	Ester
NYLON 6.6	3.00	15.00	5.00	24.00	Amide
PP	110.00	110.00	240.00	0.30	Hydrocarbon

Tabella 3.2: Barrier Properties of Selected Polymers. Fonte (15)

Per quanto riguarda la cristallinità, essa, in fase di raffreddamento, determina un impacchettamento più denso delle catene molecolari, con riduzione della frazione di volume amorfo. Ciò a sua volta implica un processo più lento di penetrazione da parte dei gas.

Inoltre un trattamento di "stretch-orientation", che produce un polimero nettamente più cristallino e ordinato in cui i cristalliti sono disposti a distanze più ravvicinate, migliora sensibilmente le proprietà barriera dei materiali plastici, come è possibile osservare dalla tabella che segue.

<i>Polymer</i>	O_2 Permeation ^a		H_2 Permeation ^b	
	<i>Unoriented</i>	<i>Oriented</i>	<i>Unoriented</i>	<i>Oriented</i>
PP	414.00	240.00	0.5	0.3
Nylon	2.60	1.30	25.00	8.0
PET	8.00	4.00	3.00	1.3
PAN	0.03	0.03		

a. cc-mil/100 in².day.atm b. cc-mil/100 in².day 90% RH at 38°C

Tabella 3.3: Cristallinity Effects from Stretch Orientation. Fonte (15)

Attraverso la coestrusione di più polimeri o il rivestimento adesivo, si riesce a combinare ed integrare un determinato set di proprietà in un solo sistema.

Per esempio la sopracitata capacità barriera del PVOH all'O₂ e alla CO₂ può essere abbinata alla resistenza all'acqua del PP, sebbene quest'ultimo abbia una permeabilità ai gas tre volte superiore al PVOH.

Compatibilità agli alimenti. Con il termine "compatibilità" si intende l'attitudine del polimero e dell'alimento a coesistere senza cambiamenti significativi dovuti al loro contatto. Essa dipende principalmente dal grado di migrazione degli ingredienti dall'alimento verso la confezione e viceversa.

In entrambi i casi l'interazione dipende dalla natura dell'alimento e dalla polarità, cristallinità e stato superficiale del materiale plastico; tuttavia non sono ancora riportati in letteratura casi sufficienti per stabilire la relazione effettiva tra compatibilità, cristallinità e polarità del polimero.

3.4 Condizioni di stoccaggio e distribuzione

Nella selezione del materiale adeguato per un determinato tipo di packaging occorre tenere in considerazione anche i parametri ambientali a cui sono sottoposti i prodotti durante la fase di stoccaggio e distribuzione (temperatura, umidità relativa, intensità della luce).

Inoltre danneggiamenti di tipo meccanico si possono verificare durante il trasporto. L'estensione del danno può essere limitata da un opportuno imballaggio e da un sistema di distribuzione più efficiente.

La tabella che segue sintetizza le tipiche condizioni di stoccaggio e i fattori che incidono maggiormente sulla "shelf-life" dei singoli prodotti. In più la tabella elenca le proprietà barriera e la composizione ottimale del gas all'interno della confezione.

Optimal requirements of packaging materials for different foods *										
Food	Typical time/temp.	Quality factors determining shelf-life			Required gas composition	Optimal required barrier properties				
		Microbiology	Colour	Oxidation		O ₂	CO ₂	H ₂ O	Light	Other
Animal derived products										
Red meats	0-5°C 6-14d	X	X	-	-	High oxygen (70-80%), high carbon dioxide (30-20%)	High	High	(High)	-
Other meats	0-5°C 1-4d	X	X	-	-	No control; atmospheric	Low	-	(High)	-
	0-5°C 1 d-6w	X	(b)	-	-	Low oxygen, high carbon dioxide	High	High	(High)	-
Cured meat products	5°C 4w	X	X	X	-	No oxygen, high carbon dioxide	High	High	(High)	High
Cured fish products	5°C 4w	X	X	-	-	No oxygen, high carbon dioxide	High	High	(High)	High
Fish, High fat	0-5°C 1-7d	X	-	X	-	Enzymatic	High	High	Low	-
Fish, low fat	0-5°C 1-7d	X	-	-	-	Enzymatic	High	High	Low	-
	2-12°C 25 d-4w	X	-	-	-	Enzymatic	High	High	Low	-
Eggs	2-5°C 2 d-8 md	X	-	X	-	Carbon dioxide (40-50%) and nitrogen (50-40%)	High	High	Low	-
Fluid milk	2-5°C 16-18 d	X	-	X	-	Enzymatic	High	High	High	-
Fermented milk	<5°C 1-8 w	X	-	-	-	Water loss	High	High	High	-
Fresh cheese	<5°C 1 w-10w	X	-	X	-	Photooxidation	High	High	High	-
Semi soft and hard cheese	<5°C 1 w-10w	X	-	X	-	Photooxidation	High	High	High	-
Mould ripened cheese	<5°C 1-8 w	X	-	-	-	Photooxidation	High	High	High	-
Butter, oil, dairy spreads, etc.	<5°C 6 w or more	X	-	X	-	Chemical, enzymatic	High	High	High	-
Pastas (fresh)	2-5°C 4 w	X	-	(b)	-	Low oxygen	High	High	(High)	-
Fruits and vegetables	0-25°C from 1w	X	-	X	-	No oxygen, no carbon dioxide	High	High	High	-
Root crops	0-25°C from 1w	X	-	X	-	Oxygen (1-5%), no carbon dioxide	High	High	High	-
Most vegetables	0-18°C from 1w	X	-	X	-	Oxygen (1-5%), carbon dioxide (0-5%)	High	High	High	-
Most fruits and some vegetables	2°C room temp. 3 yr.	X	-	X	-	Enzymatic	High	High	High	-
Dry products	Room temp. 1 yr.	-	-	X	-	Staling	High	High	High	-
Flour/grains	Room temp. > 1 yr.	-	-	X	-	Stale flavour	High	High	High	-
Powders, high fat	Room temp. 1 yr.	-	-	X	-	Humidity	High	High	High	-
Powders, low fat	Room temp. 1 yr.	-	-	X	-	Humidity	High	High	High	-
Breakfast cereals	Room temp. 1 yr.	-	-	X	-	Humidity	High	High	High	-

Tabella 3.4a: Fonte [3]

Tabela 3.4b: Fonte [3]

(continued)													
Food	Typical time/temp.	Quality factors determining shelf-life						Required gas composition	Optimal required barrier properties				
		Microbiology	Colour	Oxidation	Structure	Flavour	Others		O ₂	CO ₂	H ₂ O	Light	Other
Pastas (dried)	Room temp. 1-6 md	-	X	X	-	-	Enzymatic	-	-	-	High	-	-
Spices and herbs	Room temp. from 6 md	-	X	X	-	X	-	-	(High)	-	High	(High)	-
Snack foods	Room temp. 1 yr	-	X	X	-	X	Enzymatic loss of crispness, Hydrolytic rancidity	Low oxygen	High	-	High	High	-
Coffees/teas	5°C-room temp. 1 yr	-	-	X	-	X	Staling	Low oxygen	High	Low	High	High	-
Breads	5°C-room temp, 1d-12w	X	-	-	X	-	Staling	Low oxygen, high carbon dioxide	High	High	High	-	-
Cakes	5°C-room temp. 1d-4 md	X	X	X	X	-	-	Atmospheric/low oxygen, high carbon dioxide	High	High	High	(High)	-
Crackers and cookies	Room temp. 4 md	-	X	X	X	X	Loss of crispness	-	-	-	High	-	-
Chocolates	2°C-room temp. 6-12 md	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	High	Odours, grease
Beverages													
Water	Room temp. 1 yr	X	-	-	-	X	Migration, absorption	-	-	-	High	-	Aroma
Juice	5°C-room temp. 5d-1 yr	X	X	X	-	X	Photo oxidation	Atmospheric, low oxygen	High	-	High	High	-
Carbonated drinks (beer & soft drinks)	5°C-room temp. 6 md-1 yr	X	-	X	-	X	Absorption, migration	High carbon dioxide, low oxygen	High	High	High	High	-
Frozen foods													
High fat products	-18°C 1 yr	-	(b)	X	(b)	-	-	Low oxygen	High	-	High	(High)	-
Low fat products	-18°C 2 yr	-	(b)	(b)	(b)	-	Enzymatic	(Low oxygen)	High	-	High	(High)	-
Others													
High fat products (dressing, sauce, etc.)	5°C-room temp. 1 yr	-	(b)	X	-	-	-	Low oxygen	High	-	High	High	Aroma, grease
Ready meals	2-5°C 3-21d	X	-	X	-	(b)	-	Low oxygen, high carbon dioxide	High	High	High	-	-
*d = Day(s), w = week(s), md = month(s), yr = year(s).													

3.5 Il confezionamento dei prodotti solidi alimentari

3.5.1 Carne fresca

La carne fresca richiede alti livelli di ossigeno in superficie per assicurare il colore rosso-ossiemoglobina. Ciò può essere ottenuto essenzialmente in due modi:

- confezionando il prodotto con un materiale dotato di alta permeabilità all'ossigeno;
- utilizzando il sistema di imballaggio MAP (modified atmosphere packaging) contenente alta concentrazione di ossigeno.

La prima soluzione comporta, comunque, una limitata "shelf-life" dell'alimento, in quanto colonie di batteri Gram-negativi si sviluppano piuttosto velocemente: il fenomeno è ancora più evidente al crescere della superficie esposta all'atmosfera.

Invece il sistema MAP, caratterizzato da alti livelli di ossigeno (70-80%) e di CO₂ (20-30%), inibisce la tradizionale crescita microbica sulla superficie delle carni fresche, ma permette un lento sviluppo dei batteri dell'acido lattico (Carnobatteria).

La carne di manzo contiene la più alta percentuale di mioglobina ed è per questo la specie di carne più scura, mentre quella di maiale, che presenta la concentrazione più bassa, ha il colore più chiaro.

Per questo motivo, per la carne di manzo, è di fondamentale importanza preservare il colore rosso ossiemoglobina con un'opportuna scelta della tipologia di confezionamento, mentre il problema risulta meno cruciale per la carne di maiale e di pollo.

In generale non è comunque proficuo aumentare troppo la concentrazione di CO₂ nei sistemi MAP perché si è rilevato che, per alcuni tipi di carne (pollo per es.), una percentuale superiore al 25% può produrre cattivo odore e ridurre l'effetto rosso ossiemoglobina.

3.5.2 Carne affumicata

La carne affumicata è un alimento trattato con cloruro di sodio, in cui il pigmento emoglobina si converte nella forma azotata in seguito alla reazione con il monossido di azoto.

Nelle carni affumicate l'attraente colore rosso è dato dalla nitro-emoglobina che presenta la stessa pigmentazione della ossiemoglobina delle carni fresche.

La cottura denatura queste proteine e trasforma la nitro-emoglobina in nitro-emocromo, che conferisce un caratteristico colore rosa chiaro all'alimento.

La maggior parte dei prodotti affumicati sono venduti in singole unità al dettaglio. Nella fase iniziale dello stoccaggio l'alimento comincia a deteriorarsi, perdendo gradualmente colore. In un secondo momento si sviluppano colonie di microbi insieme alla rancidità di ossidazione. I pigmenti nitro-emoglobina e nitro-emocromo si ossidano rapidamente in met-emoglobina in presenza di luce e ossigeno, ed il fenomeno aumenta al crescere della pressione parziale dell'ossigeno.

Per ridurre questo tipo di deterioramento è possibile ricorrere a diversi sistemi di confezionamento:

- packaging sotto vuoto;

- MAP a bassi livelli di ossigeno;
- packaging attivo, dotato di assorbitori di ossigeno.

3.5.3 Pesce

I fattori che maggiormente incidono sulla "shelf-life" di questa categoria di prodotti sono:

- autolisi causata dagli enzimi presenti;
- attività metabolica dei microrganismi;
- ossidazione.

Il primo fenomeno dipende principalmente dalla temperatura, dal pH, dall'ossigeno, e dalle condizioni fisiologiche del pesce vivo.

Perciò, riducendo il contenuto di ossigeno nella confezione, è possibile rallentare il meccanismo di degradazione del pesce dovuto all'autolisi. Infatti una bassa concentrazione di ossigeno all'interno del package inibisce lo sviluppo dei batteri di putrefazione quali *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, ecc.

Comunque, pur mantenendo contenuti ridottissimi di ossigeno, se la temperatura di stoccaggio supera i 3°C, inevitabilmente tende a proliferare il *Clostridium Botulinum*.

Il contenuto di grasso nel pesce varia da meno 1% (per es. Merluzzo) a 30% (sgombro): il pesce ad alto contenuto di grassi è facilmente soggetto all'ossidazione, essendo polinsaturi la maggior parte dei grassi. Ciò determina la formazione di cattivi odori e rancidità.

Per questo motivo si ricorre a soluzioni di confezionamento diverse:

- MAP contenente 30% di ossigeno, 40% di CO₂, 30% di azoto per pesce non grasso;
- MAP contenente 40-60% di CO₂ bilanciata con azoto.

3.5.4 Uova

Le uova e i prodotti da esse derivati sono distribuiti sia refrigerati, sia congelati, sia conservati a temperatura ambiente.

La "shelf-life" delle uova è determinata principalmente da temperatura e umidità di stoccaggio. La rottura del guscio delle uova comunque rappresenta la causa più frequente di danneggiamento e può essere prevenuta utilizzando dei contenitori capaci di assorbire gli urti.

Inoltre, i batteri possono penetrare attraverso il guscio: le uova dovrebbero essere mantenute sempre pulite e dovrebbe essere evitata la condensazione sulla loro superficie.

Uno strato protettivo adibito a prevenire la perdita di CO₂ e umidità può incrementare considerevolmente la shelf-life del prodotto.

In Italia si consumano 12,5 miliardi di uova l'anno e dal punto di vista del packaging sono diversi i formati in commercio (confezioni da 6, 8, 10, 18, 24 uova) ed il materiale da sempre più utilizzato è il cartone pressato. Da qualche anno è apparso il contenitore in PVC trasparente, apprezzato dal produttore per il costo inferiore rispetto al cartone e dal consumatore per la possibilità di visualizzare il prodotto. Oltre al cartone e al PVC si sta diffondendo l'uso di confezioni in fibrocartone: questo materiale proviene da materia prima di riciclo e può essere a sua volta riciclato o distrutto con recupero energetico, e, cosa più interessante, è interamente biodegradabile.

3.5.5 Prodotti lattiero-caseari

Latte, formaggi, creme e i prodotti derivati dal latte fermentato richiedono tutti una bassa permeabilità all'ossigeno per evitare ossidazione e crescita microbica. I prodotti lattiero-caseari dovrebbero essere protetti contro la fotossidazione (che causa perdita di calore, produzione di cattivi odori, ecc.) e contro l'evaporazione dell'acqua. Lo *yogurt*, inoltre, richiede una protezione ulteriore contro lo smescolamento delle fasi costitutive.

Per i *formaggi freschi* (crema di formaggio, formaggio tenero, ecc.) è preferibile impiegare un confezionamento del tipo MAP con azoto e/o CO₂ per sostituire l'ossigeno. Comunque il deterioramento causato da batteri e fermenti può verificarsi anche in condizioni di basso contenuto di ossigeno e alto livello di CO₂.

I *formaggi più secchi* hanno una velocità di respirazione discretamente elevata, che richiede un materiale di imballaggio in qualche modo permeabile alla CO₂. Tuttavia il contenuto di ossigeno deve essere mantenuto sempre bassissimo per evitare lo sviluppo di funghi e l'ossidazione del formaggio.

I *formaggi fortemente stagionati*, come il Camembert, contengono colonie attive di funghi. Perciò il contenuto di ossigeno non dovrebbe essere ridotto ad un livello tale da innescare la respirazione anaerobica e la conseguente produzione di cattivi odori. Questi prodotti necessitano, quindi, una soluzione di confezionamento MAP con un contenuto bilanciato di ossigeno e CO₂.

3.5.5.1 Il mercato del confezionamento dei latticini in Italia

A livello legislativo in *Italia* il confezionamento di latte e prodotti a base di latte è regolamentato dal DPR del 14 gennaio 1997 n.54. [9]

I materiali di confezionamento più utilizzati dall'industria lattiero-casearia sono i materiali poliaccoppiati a base carta per il latte, carta per burro e per formaggi venduti al banco, ma i veri protagonisti in questo settore sono i materiali plastici, flessibili o rigidi: il loro successo è dato dal cambiamento degli scenari distributivi, dalla loro praticità d'uso, dalla possibilità che danno al marketing in termini di creatività e comunicazione e da un rapporto costo/prestazione tendenzialmente compatibile con le esigenze dei diversi operatori.

E' stato calcolato che nel 1997 sono state impiegate 16.610 tonnellate di materiali per il confezionamento dei formaggi prodotti in Italia, di cui:

- il 77% per freschi, molli e fusi;
- il 23% per duri e semiduri.

La quantità totale di imballaggi è suddivisibile nel seguente modo:

- 59% materie plastiche;
- 33% carta;
- 8% alluminio.

Tendenzialmente il mercato dei prodotti lattiero-caseari è considerato stabile, anche se secondo l'ultimo rapporto pubblicato da Assolatte, il nostro Paese si colloca al terzo posto nei consumi, con una media nel 1998 superiore a 70 kg apparenti pro capite.

Consumi di latte e prodotti lattiero-caseari nel 1998

Prodotti	Produzione (q.li)	Importazioni (q.li)	Esportazioni (q.li)	Consumo apparente	Consumi apparenti pro-capite	
					Kg/anno	Grammi/giorni
Latte alim.	30.720.000	3.389.945	62.448	34.047.497	59,50	163,00
Formaggi	9.032.747	3.024.987	1.457.894	10.599.840	18,52	50,75
Burro	910.191	277.197	233.710	953.678	1,57	4,57
Yogurt e altro	1.850.000	823.930	49.578	2.624.352	4,59	12,56

Tabella 3.5: Stime Assolute

Con un fatturato di 25 mila miliardi di lire il settore lattiero-caseario è la voce più importante del comparto alimentare nazionale.

A seguito di ciò si comprende la rilevanza assunta dall'industria del packaging in questo campo: se da una parte il mercato richiede prodotti freschi, dall'altro sono necessarie shelf-life più durature. Come già precedentemente sottolineato, per prolungare la vita commerciale e distributiva dei formaggi, in particolare quelli senza conservanti, trovano sempre più consenso la tecnologia del sottovuoto oppure il confezionamento in atmosfera protettiva con miscele di azoto e anidride carbonica. A questa tecnologia si associa prevalentemente l'uso di materiali barriera anche se, dati i tempi di rotazione del prodotto fresco presso la grande distribuzione, è possibile l'utilizzo di materiali tradizionali, in abbinamento al confezionamento con tecniche in atmosfera modificata.

Per quanto riguarda il *latte*, il mercato globale, sia fresco sia a lunga conservazione, è sostanzialmente stabile. Il settore ha dunque la necessità di stimolare i consumi anche perché l'andamento demografico a tasso zero non lascia spazio a previsioni di crescita.

Una prima soluzione sembra essere la segmentazione di prodotto (oltre al latte fresco e UHT si punterà a latte arricchito e a latte biologico) a cui è necessariamente connessa una segmentazione del packaging.

Probabilmente è da leggersi in quest'ottica l'apparizione sul mercato di confezioni desuete quali le bottiglie in vetro, per i segmenti più alti, e i contenitori in PET (Parmalat e Granarolo) generalmente utilizzati per altre bevande.

E il latte in PET è sicuramente una delle novità più interessanti; la tecnologia di riempimento asettico in contenitori di PET ad alto effetto barriera è stato, infatti, l'evento tecnologico che ha caratterizzato il 1999. Come verrà più avanti sottolineato, tra i mercati direttamente interessati ci sono quelli della birra, dei succhi di frutta, e delle bevande gassate.

Tra i fattori che hanno decretato il successo della bottiglia in PET si possono annoverare:

- gradevolezza della confezione;
- leggerezza;
- infrangibilità
- richiudibilità;
- trasparenza.

Attualmente circa il 25-30% di latte fresco è confezionato in PET, e riguarda esclusivamente la referenza latte fresco ad alta qualità. Per quanto riguarda il costo, esso si allinea grossomodo al costo del contenitore in cartoncino poliaccoppiato.

Mozzarella	
Sacchetto in PA/PE	65%
Sacchetto forato in carta politenata immesso in vaschetta termoformata inn PS con coperchio pelabile PE/PET	30%
Vaschetta in film flessibile PA/PE termoformato	5%
Ricotta e masacarpone	
Vaschetta rigida termoformata in PS	90%
Avvolti in carta (con vendita assistita)	10%
Crescenza	
Primo incarto in carta politenata e incarto esterno in carta paraffinata	60%
Primo incarto con carta politenata, secondo incarto in carta paraffinata + film barriera in PE/EVOH	40%
Gorgonzola	
Vendita al banco	60%
Preconfezionato (di cui il 75% presso i produttori in vaschetta rigida in PS oPE con coperchio pelabile in PE/PET)	40%
Grana Padano / Parmigiano Reggiano	
Vendita al banco	60%
Preconfezionato presso il produttore (di cui 40% in busta termoretraibile o in vaschette termoformate in PA/PE laminate o coestruse con coperchio pelabile in PE/PET)	35%
Preconfezionamento presso il punto vendita (in vaschetta rigida in PS avvolta con film in PVC o LDPE))	5%

Tabella 3.6: fonte (9)

3.5.6 Frutta e vegetali

Frutta e vegetali sono organismi viventi che continuano a respirare anche dopo il raccolto, consumando ossigeno ed emettendo CO₂ e altri prodotti del metabolismo primario (per es. etilene). Le velocità di respirazione e traspirazione della frutta e dei vegetali freschi sono degli ottimi indicatori del loro tempo di conservazione, essendo tanto più lunga la "shelf-life" quanto più è bassa l'attività del metabolismo. Perciò, per aumentare il tempo di conservazione di questi prodotti, si possono impiegare diversi metodi:

- controllare fattori quali l'umidità relativa, la temperatura, la composizione dei gas (etilene, ossigeno, anidride carbonica), la luce, i danneggiamenti fisici/meccanici;
- applicare additivi per gli alimenti;
- seguire delle procedure specifiche come selezionare i prodotti migliori e sottoporli ad irraggiamenti.

L'umidità relativa (RH) può essere tenuta costante mediante un opportuno sistema di packaging in modo da conseguire dei valori ottimali che si aggirano sull'85-95% di umidità per la frutta, e 90-98% per i vegetali. Alcuni tipi di vegetali richiedono quasi il 100% di umidità. La riduzione di umidità nella confezione comporta generalmente appassimento e ritiro, perdita di stabilità e freschezza del prodotto.

D'altra parte un'azione di barriera eccessivamente elevata può far crescere più del necessario il valore della RH innescando una crescita microbica.

I tessuti della frutta, essendo discretamente acidi, sono soggetti ad attacchi e proliferazione di funghi, mentre quelli dei vegetali, caratterizzati da un pH più alto, sono facilmente deteriorati dai batteri.

Il contenuto di ossigeno rappresenta un altro parametro fondamentale nel controllo della "shelf-life" di questi alimenti:

- la riduzione della concentrazione di O_2 al di sotto del 10% provoca un abbassamento della velocità di respirazione;
- la regolazione del contenuto di O_2 deve comunque muoversi all'interno di un intervallo relativamente ampio: un livello troppo basso può dar luogo a respirazione anaerobica, produzione di cattivi odori e sapori, e crescita di batteri anaerobi molto tossici (per es. il *Clostridium Botulinum*).

Comunque, se il contenuto di O_2 è ridotto in maniera insufficiente, si verifica, nel giro di pochi giorni, maturazione e deterioramento chimico e microbico.

La produzione di etilene è controllata sia da un basso livello di O_2 , sia da un alto livello di CO_2 , sia da entrambe le condizioni e l'effetto risultante è additivo.

La tavola di seguito riportata mostra i parametri ottimali dei sistemi MAP per la conservazione di frutta e vegetali freschi, mantenuti alle condizioni ambientali più usuali.

Il confezionamento di questa categoria di alimenti deve inoltre svolgere altre funzioni essenziali, quali:

1. proteggere i prodotti dalla luce;
2. trattenere aromi caratteristici;
3. proteggere gli alimenti dai danneggiamenti meccanici causati dal trasporto.

Recommended controlled atmosphere/modified atmosphere conditions for fresh fruits and vegetables

Group	Commodity	$CO_2(\%)^a$	$O_2(\%)^a$
1	Potatoes	0	0
	Carrots	0	0
	Beets	0	0
2	Tomatoes	0	3-5
	Peppers	0	3-5
	Cucumbers	0	3-5
	Lettuce	0	2-5
	Celery	0	2-4
	Onions (dry)	0	1-2
	Onions (wet)	0	1-2
3	Pears	0-5	1-3
	Lemons	0-5	5
	Apples	1-5	2-3
	Cauliflower	2-5	2-5
	Artichokes	3-5	2-3
	Peaches	5	1-2
4	Others	5-15	1-5
Percentages are volume or mole percentage; the remainder is nitrogen			

Tabella 3.7: fonte (3)

3.5.7 Prodotti secchi

I prodotti secchi sono caratterizzati da una lunga "shelf-life" che è dovuta soprattutto al basso coefficiente di attività dei prodotti stessi. Perciò la crescita di funghi e batteri è raramente un problema in condizioni normali di stoccaggio. Comunque il ridotto contenuto di acqua richiede sempre che gli alimenti di questo tipo siano mantenuti in ambienti privi di umidità: una buona proprietà barriera è, dunque, la chiave per un confezionamento ottimale.

L'assorbimento di acqua provoca:

- addensamento in granuli (caffè);
- perdita di fragranza (cereali per la colazione);
- ricristallizzazione/retrogradazione dell'amido (pasta);
- riduzione dell'aroma (caffè);
- sviluppo di microbi.

Inoltre, l'incremento del coefficiente di attività nel prodotto confezionato può accelerare le reazioni di ossidazione. Altri fattori che incidono sulla "shelf-life" sono:

- rottura del prodotto (cereali per la colazione, snack foods, pasta). Perciò è richiesta una buona resistenza a compressione;
- ossidazione dei componenti responsabili di aroma e odore, vitamine e frazioni lipidiche. La velocità di questi processi può essere minimizzata usando un materiale non traslucido (caffè, tè, snack) e svuotando l'ossigeno dalle confezioni (caffè, tè, prodotti ad alto contenuto di grassi tipo snack);
- infestazione da insetti e roditori. Questo problema può essere prevenuto adottando un opportuno stoccaggio dell'alimento, dalla produzione all'utilizzazione finale, e utilizzando, per esempio, materiali multistrato privi di aperture e falle;
- produzione di CO₂ nel caffè dopo aromatizzazione e macinatura. Ciò può essere risolto sia degassando le polveri in recipienti aperti per 4-5 ore prima del confezionamento, o utilizzando valvole di sfiato all'interno del package, o inserendo assorbitori di CO₂ all'interno del package stesso.

3.5.8 Prodotti da forno

La componente tecnologica comune a questi prodotti è costituita dal fatto che l'impasto dei vari ingredienti di ricetta è cotta in forno; in funzione del livello di umidità residua nel prodotto finito, i prodotti vengono distinti in secchi (umidità inferiore a 5%), semiumidi (fra 5 e 20%) e umidi (superiore a 20%).

Per incrementarne la shelf life, ferma restando la possibilità di intervenire con soluzioni riguardanti la produzione, il contributo offerto dagli imballaggi è notevole; infatti, mediante opportune scelte, è possibile ridurre i seguenti tipi di degrado:

- trasferimento di umidità tra interno ed esterno delle confezioni. Questo fenomeno provoca la perdita di friabilità e croccantezza dei prodotti secchi, l'asciugatura con perdita di sofficità nei prodotti umidi, la proliferazione di muffe e batteri che tendono a svilupparsi in mezzi non sterili ad umidità superiore al 15%.
- perdita dell'aroma tipico per diffusione e formazione di "off flavours" di provenienza ambientale;

- formazione di prodotti di ossidazione (soprattutto nei grassi) che fanno insorgere l'irrancidimento.

La shelf-life del *pane* dipende dall'insieme delle condizioni igieniche durante la produzione, dall'uso di additivi e dall'atmosfera a contatto con l'alimento. Crescita di funghi e muffe, assorbimento e desorbimento di umidità sono i principali fattori che determinano la qualità e la durata dei prodotti.

Lo sviluppo di colonie di funghi può essere prevenuto impiegando sistemi MAP contenenti 70-100% di CO₂ e 0-30% di N₂, o rimuovendo l'O₂ con assorbitori.

La famiglia dei pani industriali è presentata quasi esclusivamente in confezioni flow-pack, con o senza nastrino di richiudibilità, in OPPC o in accoppiati di cellophane + polietilene. Molto successo hanno i film microforati che permettono la respirazione del pane con mantenimento delle caratteristiche di freschezza e fragranza.

Va inoltre ricordato il pane a "finitura incompleta" che è confezionato in atmosfera modificata in film a base di nylon o EVOH abbinati a PET ePP, per realizzare una forte barriera all'ossigeno. Questo prodotto viene finito nel forno casalingo, offrendo quindi al consumatore un pane sempre fresco.

I *cracker* hanno una lunga shelf-life dovuta al basso coefficiente di attività dell'acqua. I principali processi deteriorativi comprendono la perdita di fragranza per assorbimento d'acqua, ossidazione della frazione grassa, segregazione della frazione grassa e rottura. Quest'ultima può essere ridotta significativamente utilizzando, per il confezionamento, materiali resistenti a compressione.

La perdita di fragranza può essere prevenuta adottando accorgimenti specifici per migliorare la proprietà barriera della confezione verso l'umidità.

L'ossidazione della frazione grassa è contenuta grazie all'impiego di sistemi MAP a basso contenuto di O₂, e di materiali dotati di elevata proprietà barriera rispetto all'O₂.

I materiali non traslucidi riducono, inoltre, la fotossidazione.

La segregazione di grasso è legata alle fluttuazioni di temperatura durante lo stoccaggio e, comunque, non è direttamente dipendente dal tipo di packaging adottato.

In questo settore le confezioni più usate sono quelle a forma di flowpack con film accoppiato di OPP metallizzato + OPPC, dove il prodotto è contenuto ordinatamente in porzioni avvolte in OPPC monostrato. Molto diffuse sono poi le confezioni a sacchetto con fondo quadro di accoppiato di carta + alluminio + polietilene o carta + OPPC metallizzato, contenenti prodotto alla rinfusa.

Nel caso di *prodotti a media umidità* (piadine, pizzette, ecc.) le confezioni sono spesso costituite da accoppiati di nylon + polipropilene idonei a mantenere i prodotti in atmosfera modificata.

La categoria degli *snack salati* si presenta in confezioni estremamente varie che vanno dall'astuccio di cartoncino + flow-pack di OPPC o OPP metallizzato, al sacchetto in film alta barriera a fondo quadro, alla vaschetta in OPP termoformata a scomparti + coperchio a chiusura ermetica (usata soprattutto per i mix di salatini), per arrivare ai contenitori costituiti da vaschette in OPS + flowpack in OPPC.

Per quanto riguarda i *prodotti della linea dolce*, il deterioramento è dovuto essenzialmente a trasformazioni microbiche (fermentazione o formazione di muffe), invecchiamento della mollica (secchezza o sviluppo di cattivi odori, rancidità (sviluppo di cattivi odori), cristallizzazione degli zuccheri, segregazione della cioccolata, cedimenti strutturali, variazioni di colore, migrazione e perdita di umidità.

Come nel caso di pane e cracker, una scelta oculata dei parametri di packaging quali barriera all'umidità, atmosfera priva di O₂, ecc., può migliorare la qualità di questi alimenti e allungarne i tempi di conservazione.

La cioccolata è venduta sotto forma di diversi prodotti in cui essa non rappresenta l'unico ingrediente; le problematiche di conservazione riguardano la segregazione di grassi e zuccheri, la rancidità ossidativa o lipolitica e l'assorbimento di odori esterni.

La segregazione di grassi è dovuta soprattutto alle fluttuazioni di temperatura e alla non adeguata scelta degli ingredienti.

La segregazione degli zuccheri può derivare dall'uso dello zucchero raffinato con alto contenuto di umidità o dallo stoccaggio in ambienti estremamente umidi: per ridurre il fenomeno si può agire selezionando un opportuno materiale per il confezionamento, caratterizzato da una elevata proprietà barriera.

Il problema della rancidità viene controllato utilizzando materiali dotati di sufficiente selettività verso la luce, l'O₂ e l'H₂O.

Infine, l'assorbimento di odori esterni può essere arginato con l'impiego di confezioni impermeabili al passaggio di aroma.

Per le *torte* già pronte si utilizzano confezioni costituite da vassoi termoformati con coperchio sigillato o con avvolgimento a flowpack, dove i film sono per lo più a base di accoppiati di cellophane + politene. Più rari sono i casi d'uso di OPP semplici o di film complessi con alluminio o con metallizzazione. Per prodotti a brevissima shelf-life si stanno diffondendo i vassoi a valve in OPS che offrono un'ottima presentazione del contenuto oltre a una protezione fisica contro le sollecitazioni esterne.

Il settore della *biscotteria classica* (biscotti secchi e frollini) è da anni suddiviso tra confezioni in pacchetto e confezioni in sacchetto. Nel primo caso il prodotto è disposto in forma ordinata in vaschette di PVC o OPS oppure in cartucce avvolte in carta adesiva o film di OPPC (a loro volta contenute in flow pack di OPP perlaceo o accoppiato di cellophane+politene), oppure in confezioni a parallelepipedo di OPP perlaceo o OPPC trasparente. Da tempo, però, le confezioni in pacchetto hanno ceduto il passo alle confezioni in sacchetto con prodotti alla rinfusa, dove dominano le forme a fondo quadro in carta + OPPC metallizzato e carta + alluminio + politene.

Il settore degli *snack dolci*, costituito per lo più da piccoli biscotti di pasticceria e merendine a forma di minuscoli croissant, presenta soluzioni di confezionamento per lo più legate a sacchetti di piccolo contenuto in film complessi alluminati o metallizzati.

3.5.9 Alimenti congelati

Le reazioni di deterioramento che si verificano durante lo stoccaggio di alimenti congelati sono principalmente di natura chimica e comprendono degradazione di pigmenti e vitamine, ossidazione di lipidi e denaturazione delle proteine. Il confezionamento gioca un ruolo chiave nella protezione di alimenti congelati dal deterioramento.

Sono state sperimentate svariate procedure di packaging al fine di proteggere questi prodotti dall'ossigeno e dalla luce, responsabile dell'ossidazione di pigmenti e lipidi.

La perdita di umidità dovuta al fenomeno di sublimazione dalla superficie del prodotto provoca le "bruciature fredde", compromette l'aspetto del prodotto e comporta delle perdite di peso inaccettabili.

Utilizzando un materiale di confezionamento altamente impermeabile al vapor d'acqua e capace di aderire perfettamente all'alimento, è possibile controllare la sublimazione dell'acqua dalla superficie dell'alimento stesso.

I danneggiamenti meccanici sono ridotti impiegando contenitori rigidi e adottando procedure di trasporto adeguate.

Infine è necessario sottolineare che, oltre a tutti i requisiti sopra esposti, i materiali destinati al confezionamento di alimenti congelati devono resistere a bassissime temperature.

3.5.10 Burro, grassi e oli

Burro, grassi e oli sono soggetti più a degradazione di natura chimica che a degradazione microbica. Le principali reazioni degenerative comprendono rancidità ossidativa e idrolitica. A causa del basso coefficiente di attività dell'acqua, la crescita di muffa è favorita rispetto allo sviluppo di batteri.

L'ossidazione può essere prevenuta adottando un packaging privo di O₂ residuo e ben protetto dalla luce; la rancidità idrolitica, invece, è controllata da un opportuno processo di riscaldamento prima della fase di confezionamento.

Il package, inoltre, deve resistere ai grassi e prevenire la disidratazione dell'alimento (per es. burro) mediante una elevata proprietà barriera al vapor d'acqua.

Prodotti quali il burro assorbono aromi in breve tempo e richiedono, quindi, materiali di confezionamento altamente selettivi agli odori.

3.5.11 Alimenti precotti

I fattori che incidono sulla shelf-life di pietanze precotte, conservate a bassa temperatura, sono principalmente la crescita di microrganismi patogeni e i diversi meccanismi di ossidazione: questi ultimi si verificano rapidamente generando un caratteristico cattivo odore denominato "Warmed Over Flavour".

Il WOF è prodotto dall'ossidazione delle frazioni insature di fosfolipidi presenti nelle membrane cellulari. Nelle confezioni di cibo precotto contenenti ossigeno, il WOF può essere rilevato entro 24 ore dal processo di cottura e preparazione dell'alimento stesso. Perciò i cibi precotti, soprattutto le carni, richiedono un confezionamento sottovuoto o un MAP privo di O₂.

Inoltre, per inibire lo sviluppo di microrganismi, è preferibile un contenuto di CO₂ pari al 20-30% all'interno dell'involucro; al fine di evitare la crescita di microrganismi particolarmente tossici, quali *Salmonella* e *Listeria*, è necessario mantenere bassa la temperatura di stoccaggio (< 5°C) durante l'intero periodo di magazzino.

Il mercato dei cibi precotti ad uso domestico è nettamente in espansione: il "biobased packaging" (vedi avanti), rappresenta una scelta adeguata per questo tipo di alimenti, considerando il loro alto valore aggiunto ed i ridotti tempi di distribuzione-consumo.

3.6 Il confezionamento delle bevande

La categoria delle bevande comprende principalmente i seguenti prodotti: acqua minerale, vino, birra, bibite gassate, succhi di frutta, tè freddo, bevande energetiche per lo sport, superalcolici.

I principali contenitori di uso comune per le bevande non sono molto numerosi: la bottiglia di vetro, la bottiglia di PET, la lattina in alluminio, la confezione in cartone poliaccoppiato, la pouche in film flessibile. Meno diffuso è il vasetto in plastica con copertura in foglio di alluminio (tipo yogurt) che viene utilizzato per alcuni tè freddi e per le confezioni monodose di acqua e succhi di frutta.

3.6.1 Meccanismi di deterioramento delle bevande

Come già sottolineato, la funzione principale del confezionamento alimentare è la conservazione del prodotto, ossia la capacità di ritardare i fenomeni degenerativi. L'adeguatezza di un contenitore si misura quindi in riferimento alle cause di deterioramento della bevanda per cui è impiegato, avendo i singoli fattori di deterioramento un peso molto diverso a seconda del liquido considerato. In generale il deterioramento può avvenire per tre classi di ragioni:

- 1) Crescita di microbi. In questo caso solitamente il contenitore non influisce e il problema va affrontato nel processo di produzione e confezionamento della bevanda. Le soluzioni classiche sono la pastorizzazione e i conservanti, la soluzione più recente è l'imbottigliamento asettico.
- 2) Scambi di sostanza tra la bevanda e l'ambiente esterno. Un contenitore chiuso non assicura in generale un confezionamento ermetico, esistono sempre dei passaggi di calore, luce, materia attraverso le pareti del materiale. Questo fenomeno, comunque, non rappresenta a priori un grosso problema; di volta in volta è necessario studiare gli effetti che le particolari sostanze perdute o acquistate esercitano su ciascuna particolare bevanda.
- 3) Scambi di sostanze tra la bevanda e il contenitore stesso. Anche in questo caso occorre distinguere quali effetti hanno le specifiche sostanze estratte o immesse nella bevanda.

Trascurando la crescita microbica e prendendo in esame gli scambi di sostanze, si può affermare che il principale processo di deterioramento delle bevande è - in linea del tutto generale - l'ossidazione di una o più delle sostanze che contribuiscono al gusto.

L'ossidazione è quindi un problema molto generale, ma i suoi effetti variano notevolmente a seconda della bevanda considerata: ad esempio sono lievi sulle bibite gassate, sono gravi sulla birra. Per questo l'ingresso di ossigeno attraverso le pareti del contenitore è un problema trascurabile per le prime, intollerabile per la seconda. A parte l'ossidazione, tutti gli altri problemi relativi allo scambio di sostanze sono specificatamente legati a singole tipologie di bevande: ad esempio la perdita di CO₂ è un inconveniente grave soprattutto per le bevande gassate. Lo stesso principio di specificità vale per gli scambi tra bevanda e contenitore: la corrosione del metallo riguarda le bibite corrosive, la solubilità di determinati componenti della plastica in etanolo riguarda il vino, ecc.

3.6.2 Acqua minerale

La principale causa di deterioramento dell'acqua imbottigliata è la crescita microbica, mentre uno dei fattori che determinano un gusto gradevole è il contenuto di ossigeno. Le confezioni, pertanto, devono impedire la crescita microbica e preservare l'ossigeno disciolto nell'acqua, evitando al tempo stesso alterazioni di gusto (ad esempio il sapore di plastica). La bottiglia in

vetro è ancora utilizzata per l'acqua minerale, ma il contenitore oggi più diffuso è senza dubbio la bottiglia in PET (88,5% in Italia, secondo Largo Consumo). La standardizzazione del PET ha eliminato a priori i problemi posti da altre materie plastiche (HDPE, PVC, PP, PC) che pure offrivano vantaggi. Recentemente si è registrato un aumento nella diffusione di bottiglie PET da mezzo litro, prevalentemente per un consumo extradomestico da parte dei giovani. La bottiglia da mezzo litro si presta infatti a fungere da 'borraccia usa e getta', anche per la sua leggerezza e per la buona protezione igienica che il tappo fornisce alla parte di bottiglia che viene in contatto con la bocca (a differenza di quanto avviene con le bottiglie in vetro dotate di tappi a corona).

3.6.3 Succhi di frutta

Oggi esiste una grande varietà di succhi di frutta: ai tradizionali prodotti molto zuccherati si sono aggiunti succhi ottenuti senza aggiunta di zucchero e anche succhi freschi - per il banco frigo - ricavati semplicemente spremendo la frutta. In generale una distinzione che viene operata è tra :

- succhi limpidi (come il succo di mela);
- semilimpidi (come il succo d'ananas);
- torbidi (i succhi contenenti grosse quantità di polpa in sospensione).

Le tre principali cause di deterioramento dei succhi di frutta sono:

⇒ la crescita microbiologica;

⇒ l'imbrunimento non enzimatico;

⇒ l'ossidazione delle vitamine.

I fattori sopra enunciati provocano una degradazione del sapore e del valore nutritivo essenzialmente a causa di una diminuzione dell'acido ascorbico. L'aggiunta di conservanti, utilizzati per limitare questi fenomeni, è molto diminuita in questi ultimi anni. L'imbrunimento e la perdita di acido ascorbico dipendono in buona parte dalla temperatura di conservazione, ma anche dal contenitore.

La pastorizzazione è stata spesso utilizzata per controllare la microflora nei succhi di frutta. Il basso valore di pH favorisce la pastorizzazione, cosicché 80 gradi per 30 secondi viene considerato sufficiente per quasi tutti i succhi tranne i meno acidi.

Ancora oggi la bottiglia in vetro è ampiamente usata per i succhi di frutta, sebbene nel caso di riempimento a caldo essa sia esposta al rischio di rottura per shock termico.

Negli ultimi anni è aumentato, anche per queste bevande, l'uso di contenitori in materiale poliaccoppiato. In questo caso la shelf-life e le proprietà nutritive sono fortemente influenzate dalla capacità di barriera del materiale, oltre che dalle interazioni tra il succo e il materiale. Generalmente il limite della shelf-life è legato all'imbrunimento e all'assorbimento di aromi da parte del film plastico (il processo noto come 'scalping'). Perciò la scelta dei materiali plastici posti a diretto contatto con il succo di frutta è molto importante ai fini della conservazione del gusto. Ad esempio il d-limonene (una delle sostanze che determinano il sapore dei succhi di agrumi) viene assorbito in misura notevole da LDPE ed EVOH, in misura molto minore da Co-PET. Inoltre LDPE ha dimostrato di essere una cattiva barriera anche nei confronti degli aromi della mela, mentre in questo caso PVC, PVDC ed EVOH offrono prestazioni migliori. La confezione 'pouche' (una sorta di sacchetto ermetico dotato di un tappo di plastica) ha dimostrato prestazioni vicine a quelle della bottiglia in vetro e della lattina, a patto che il materiale costitutivo contenga un foglio di alluminio.

3.6.4 Bibite gassate

I principali fattori di deterioramento delle bibite gassate sono:

⇒ la perdita della gassatura;

⇒ l'ossidazione e/o idrolisi acida degli oli che determinano il sapore.

Il primo problema dipende quasi esclusivamente dalla proprietà di barriera del contenitore nei confronti della CO₂ presente nella bevanda, mentre il secondo dipende anche dalla qualità degli aromi, dall'uso di antiossidanti e dalla deaerazione del prodotto prima dell'aggiunta di CO₂. Uno dei requisiti dei contenitori per bibite gassate, inoltre, è la capacità di sopportare elevate pressioni interne. A 38°C una bevanda tipo cola esercita una pressione di sette atmosfere. Il primo contenitore per le bibite gassate fu la bottiglia in vetro con tappo a corona, poi prevalse l'uso delle lattine, sebbene il metallo non sia il materiale ideale per contenere le bevande gassate. Esse sono infatti notevolmente corrosive e quindi l'interno della lattina deve essere ricoperto da uno strato protettivo. Negli ultimi anni i produttori di lattine hanno introdotto notevoli innovazioni: oggi ci sono lattine che pesano solo 18 grammi, inoltre esistono modelli dotati di una sorta di collo per ridurre le dimensioni del coperchio. Rimane tuttavia aperta la questione dell'igienicità delle lattine. Quanto alle bottiglie in PET, va ricordato che questo materiale offre una barriera peggiore del vetro al passaggio dei gas. La perdita di CO₂ è quindi superiore, ma rimane accettabile per una shelf-life di 16-17 settimane; l'ingresso di ossigeno non rappresenta un grosso inconveniente per le bibite gassate.

3.6.5 Tè freddo

Il tè freddo, almeno in Italia, è una bevanda prodotta prevalentemente dalle aziende che imbottigliano acqua minerale. Infatti, il recente boom del tè freddo, confezionato in bottiglie PET, si deve alla riduzione dei margini di profitto dell'acqua minerale. Sebbene si tratti di una bibita molto semplice, il tè freddo richiede tecnologie di imbottigliamento asettico piuttosto sofisticate per evitare costosi conservanti e il processo di pastorizzazione.

3.6.6 Birra

La degradazione microbica non è un fenomeno caratteristico della birra, ben difesa dal suo basso pH. Inoltre normalmente la birra viene pastorizzata, di solito a 70 gradi per 20 secondi. Durante il periodo di conservazione, tuttavia, questa bevanda può subire cambiamenti irreversibili che comportano l'intorpidimento e l'alterazione del gusto. Uno di questi fenomeni è l'ossidazione dell'acido linoleico proveniente dal malto, che produce una sostanza il cui sapore sgradevole viene percepito anche in concentrazioni bassissime (0,1 parti per miliardo). Per queste ragioni la birra è molto sensibile al contenuto di ossigeno che dovrebbe essere molto basso al momento del confezionamento e rimanere tale. A questo scopo sono stati studiati anche tappi a corona contenenti assorbitori di ossigeno. Gli aromi della birra sono sensibili anche alla presenza della plastica: è sufficiente il rivestimento interno in PVC del

tappo a corona per assorbire una quantità non trascurabile dell'aroma di luppolo. I due tipici contenitori per la birra sono la bottiglia in vetro con tappo a corona e la lattina in alluminio. Soltanto recentemente la plastica ha fatto il suo ingresso nel mondo della birra. Questa bevanda è, infatti, molto sensibile all'ossigeno e quindi la permeabilità della plastica a questo gas costituisce un problema ma, come verrà esposto più dettagliatamente in seguito, sono state elaborate delle tecniche di confezionamento in PET capaci di assicurare un'ottima durabilità delle caratteristiche peculiari della birra.

3.6.7 Integratori ed energy drink

Recentemente sono nate due nuove categorie di bevande: gli integratori usati nel corso delle attività sportive e gli "energy drink" che vengono proposti ai giovani nelle discoteche come alternativa alle bevande alcoliche. Con gli integratori ha fatto la sua comparsa un tipo di confezionamento del tutto nuovo nel campo delle bevande: la pouche. Il film poliaccoppiato offre buone caratteristiche per la conservazione delle bevande, ma evidentemente può essere usato solo in settori di mercato molto particolari. Anche gli energy drink hanno portato una novità, seppure meno rilevante: una nuova forma di lattina, sottile e allungata. Il confezionamento di energy drink in lattina non pone problemi diversi da quello di altre bevande.

3.6.8 Vino

La principale reazione deteriorativa del vino è l'ossidazione, che provoca alterazione del gusto. Nel caso dei vini rossi sono importanti anche reazioni di polimerizzazione che coinvolgono i tannini, portando a cambiamenti di colore. Il fatto che la bottiglia di vetro con tappo di sughero sia un contenitore adatto al vino non necessita di essere discusso: le confezioni alternative sviluppate hanno avuto sinora soltanto la natura di esperimenti o si sono affermate solo nei vini di fascia bassissima. L'uso di lattine di alluminio, ad esempio, ha avuto una diffusione molto scarsa e richiede vari accorgimenti: non solo il rivestimento di materiale protettivo, ma anche l'aggiunta di azoto per ottenere una pressione interna pari a quella delle bevande gassate. Le lattine, infatti, sono realizzate con un materiale così sottile che la pressione interna serve a mantenere la forma; se la bevanda non è sufficientemente gassata, la lattina è soggetta a schiacciamenti. L'azoto, comunque, ha la funzione di eliminare l'aria e quindi l'ossigeno.

La permeabilità all'ossigeno è solo uno dei problemi che limita l'uso del PET nel caso del vino. L'altro è l'alterazione dell'aroma, dovuta al fatto che l'etanolo contenuto nel vino scioglie alcune sostanze della plastica. Si è invece affermato in modo netto, seppure nella fascia più bassa di mercato, l'uso di contenitori in cartone poliaccoppiato simili a quelli utilizzati per il latte. Questi contenitori offrono prestazioni accettabili sia in termini di 'shelf-life' (un anno circa) sia in termini di alterazione del gusto.

3.6.9 Superalcolici

Per il loro elevatissimo contenuto d'alcool i superalcolici non pongono particolari problemi di conservazione. Anche per la loro natura di bevande tradizionali, i superalcolici sono tuttora confezionati esclusivamente in bottiglie di vetro. Va osservato che nella fascia più alta del loro settore di mercato, i superalcolici tendono a sconfinare nel campo dei prodotti di lusso, dove sono determinanti la bellezza della bottiglia e anche dell'eventuale astuccio protettivo esterno.

3.6.10 Le linee di imbottigliamento

Le linee di confezionamento cambiano notevolmente a seconda del contenitore prescelto, perché la produzione del contenitore termina all'interno dell'impianto in cui si lavorano le bevande. Ad esempio le bottiglie in PET vengono fornite al produttore di bevande allo stato di "preforme" (tubi simili a provette, già dotati del filetto per il tappo). Spetta quindi al produttore di bevande compiere l'ultima fase del processo produttivo delle bottiglie. Si tratta della fase "stretch blow-moulding": le preforme vengono scaldate e gonfiate all'interno di una apposita macchina per realizzare le bottiglie finite. Analogamente, i contenitori in cartone poliaccoppiato sono costruiti nello stabilimento in cui si lavorano le bevande, a partire dal materiale in bobine.

Anche la costruzione della lattina viene completata dal produttore di bevande, per mezzo delle macchine aggraffatrici che applicano il coperchio. Altre differenze tra una linea e l'altra dipendono dal fatto che il confezionamento non è mai del tutto separato dal processo produttivo: la pastorizzazione, ad esempio, non ha nulla a che fare con l'imballaggio in senso stretto (essendo effettuata spesso sui contenitori già chiusi), ma le relative apparecchiature di frequente si trovano inserite nella linea di confezionamento.

3.6.11 L'impiego del PET nell'imballaggio dei liquidi alimentari

Fra i polimeri il PET assicura una barriera ai gas di gran lunga superiore a quella del PVC, del PP e del HDPE. La barriera offerta dal PET alla CO₂ e agli aromi ha contribuito al successo ottenuto dal poliestere come materiale di riferimento per le bevande. La sua utilizzazione si sta diffondendo oggi anche nel settore degli alimenti solitamente confezionati con poliaccoppiato, lattine e vetro. Per alcuni alimenti molto sensibili all'O₂ quali la birra, gli omogeneizzati, le salse, al fine di assicurare di assicurare 'shelf-life' compatibili con la distribuzione moderna di molti prodotti, bisogna incrementare la barriera all'O₂ dei contenitori di PET, soprattutto nei piccoli formati monouso dove il rapporto tra fra la superficie del contenitore e il volume dell'alimento è sfavorevole.

Inoltre lo sviluppo annunciato di tipi di PET resistenti a temperature più elevate delle attuali apre nuove possibilità interessanti di impiego per il poliestere termoplastico nella produzione di contenitori e corpi cavi per prodotti alimentari. Finora il limite massimo di utilizzazione di

contenitori e bottiglie di PET era di 85°C ed era perfettamente sufficiente per il confezionamento a caldo di succhi di frutta, bevande toniche, the' freddo. Ma prodotti come marmellate e zuppe richiedono temperature di riempimento più elevate. Ancora più alti sono gli standard in caso di cibi sterilizzati per neonati ed altri prodotti alimentari. In questo caso la temperatura di lavorazione è di 121°C. Recentemente un'industria tedesca produttrice di birra ha introdotto sul mercato una formulazione di PET che resiste a 95°C e il prossimo obiettivo è superare il limite di 121°C.

Attualmente le bottiglie di PET assorbono il 43% del mercato delle bevande non alcoliche e si prevede che nel 2006 oltre la metà delle bottiglie sarà di poliestere.

In Europa nello stesso periodo, la quota di mercato del PET per l'acqua minerale passerà dall'attuale 35 al 60 per cento.

I progressi compiuti in Italia, Francia e Germania nelle tecniche di confezionamento della birra da società come Sipa, Sidel, ecc., lasciano intravedere nuove prospettive di sviluppo anche in questo settore. In Europa si consumano 35 milioni di bottiglie di birra per anno e nel mondo 300 miliardi. Le soluzioni attualmente sviluppate per realizzare un contenitore per birra di materia plastica sono essenzialmente due:

- utilizzare un polimero a più alta barriera come il PEN;
- incrementare la barriera offerta dal PET con bottiglie multistrato o applicando ai contenitori un rivestimento barriera.

Entrambe le soluzioni si focalizzano su un solo aspetto del problema, ossia realizzare uno scudo che impedisca all'O₂ dell'atmosfera di entrare in contatto con il prodotto, senza prendere in considerazione il gas già presente nella parete del contenitore che poi, per desorbimento, passa nel liquido interno. La solubilità dell'ossigeno nel PET è funzione del grado di cristallinità del polimero. A seconda del processo di produzione impiegato, quindi, si rileva un diverso tasso di assorbimento di O₂ nel materiale.

Infatti nel processo monostadio il PET in granuli con alta percentuale di cristallinità viene riscaldato a 170°C per quattro ore durante l'essiccamento. In seguito viene fuso e iniettato negli stampi per iniezione a 270°C. Le condizioni del processo sono più che soddisfacenti per abbattere in maniera significativa il contenuto di O₂. La preforma viene estratta dallo stampo alla temperatura di circa 120°C e soffiata immediatamente, prima che si raffreddi e possa instaurarsi l'equilibrio.

Nel caso invece di una bottiglia 'bistadio' prodotta con una soffiatrice partendo da preforme presenti in magazzino e immediatamente rivestita con il coating, riempita e tappata, il contenuto di O₂ risulta essere almeno pari al doppio del tipo 'monostadio'. Per abbassare ulteriormente il livello di presenza dell'ossigeno si può essiccare il PET con azoto invece che con aria.

Per quanto riguarda il coating, la soluzione adottata dalla Sipa è quella di un rivestimento esterno mediante verniciatura con materiali plastici ad elevata barriera. Il sistema è molto economico, semplice da applicare, riciclabile e sicuro per l'alimento in quanto non entra in contatto con il liquido alimentare e non può alterarne le caratteristiche. Il PET fa da schermo tra alimento e rivestimento barriera.

Altre possibili soluzioni di coating sono rappresentate dalla deposizione di carbonio ed ossidi di silicio con tecnica al plasma. Le tecniche di deposizione con l'uso di plasma sono però estremamente complesse, sofisticate, e costose. Presentano un inconveniente per quanto riguarda la riciclabilità in caso di bottiglia colorata poiché questa deve essere completamente colorata mentre, nel caso della soluzione Sipa, il colore viene applicato solo al rivestimento esterno, permettendo la riciclabilità del PET che rimane trasparente.

La società francese Sidel ha annunciato il processo Actis (Amorphous carbon treatment on internal surface, da essa sviluppato, che consiste nel trattamento della superficie interna della bottiglia con deposizione di uno strato sottilissimo (0,01 micron) di carbonio amorfo

idrogenato. Le bottiglie di PET sottoposte a questo trattamento che si effettua a valle della linea di soffiaggio sarebbero meno costose dei contenitori multistrato, delle lattine di alluminio e delle bottigliette di vetro, pur avendo proprietà barriera equivalenti. Il problema ancora in sospeso resta l'approvazione da parte degli organismi che garantiscono l'idoneità delle bottiglie al contatto con gli alimenti quali la Food and Drug Administration negli Stati Uniti o il Ministero della Sanità in Italia.

La Schmalbach ha sviluppato una bottiglia multistrato per la birra composta di tre strati esterni di PET ed uno mediano di nylon modificato che impedisce da una parte l'ingresso di O₂ e dall'altra la perdita di carbonio.

3.6.12 Il consumo delle bevande in Italia

Nella graduatoria delle bevande più consumate in Italia, alle acque minerali seguono i soft drink (57 litri l'anno pro-capite).

Per quanto riguarda il vino (52 litri pro-capite), prodotto per il 40% dell'intera produzione mondiale da Francia e Italia, dopo la forte crisi dei consumi avvenuta all'inizio degli anni 90, negli ultimi due/tre anni il calo è notevolmente rallentato. L'introduzione dei contenitori innovativi per questa bevanda è notevolmente frenata dalle tradizioni. Infatti, se è vero che il vino è un prodotto delicato e difficile da conservare e trasportare, è pur vero che il brik si è rivelato idoneo a contenerla, anche se non ideale quanto il vetro, soprattutto per l'invecchiamento. In Italia solo l'1,5% della produzione viene confezionata in brik, una nicchia che si è affermata nel settore della ristorazione dove si fa uso di vino sfuso.

3.7 L'uso dei biopolimeri nel settore dell'imballaggio

Durante gli ultimi dieci anni, gli sforzi congiunti dell'industria alimentare e di quella dell'imballaggio hanno ridotto notevolmente la quantità di materiale utilizzato per il packaging alimentare; i rifiuti da imballaggio, tuttavia, continuano a necessitare un trattamento finale di riciclaggio, incenerimento o riutilizzo. I decreti in campo ambientale, inoltre, stanno diventando sempre più restrittivi ed incontrano un'attenzione sempre crescente da parte del consumatore europeo.

Per questo motivo oggi appare più realistica la possibilità di impiegare, nell'ambito del confezionamento, i materiali di origine biologica ("Biobased Materials") come una valida alternativa ai materiali derivati da fonti non rinnovabili.

L'imballaggio "ecologico" si configura come un tipo di packaging basato su materiali grezzi originati da fonti agricole, per esempio amido. Occorre, però, sottolineare che queste sostanze non sono necessariamente biodegradabili.

Nella trattazione che segue verrà focalizzata l'attenzione sul confezionamento primario degli alimenti; molte problematiche sono connesse all'uso di questi materiali e prima del loro ingresso in commercio sarà necessario risolverne svariate difficoltà. E' infatti importante comprenderne appieno i meccanismi di degradazione nelle diverse condizioni ambientali, i cambiamenti delle proprietà meccaniche durante lo stoccaggio, la suscettibilità allo sviluppo di microbi e la tendenza al rilascio di diverse sostanze all'interno della confezione contenente il prodotto.

3.7.1 Regolamentazione nell'uso dei biopolimeri

In Europa l'impiego dei biopolimeri nel campo del packaging alimentare è regolato da due direttive della Comunità Europea:

- "Plastic Materials and Articles Intended to come into Contact with Food-stuffs" (90/128/EEC);
- "Packaging and Packaging Waste Directive" (94/62/EEC).

La tavola riportata ne sottolinea il contenuto essenziale.

EU legislation on packaging

Plastic materials and articles intended to come into contact with foodstuff (90/128/EEC)

- *Lists allowed monomers, additives, etc. to be used in the production of packaging materials for foods.*
- *Outlines both total migration limits as well as specific migration requirements for numerous compounds.*
- *Sets standards for the production and use of packaging materials and the labelling of these materials.*

Packaging and Packaging Waste Directive (94/62/EEC)

- *Regulates the production of packaging materials*
- *Regulates waste management and the use of recycling, composting, and denerfgy recovery by incineration.*

Tabella 3.8: fonte (3)

Il biopackaging spesso incontra difficoltà nel rispondere ai requisiti, dettati dalla seconda direttiva sopra menzionata, riguardanti la migrazione di sostanze all'interno della confezione. Inoltre, molti dei materiali di base e degli additivi usati per produrre i biopolimeri non sono compresi nella lista dei componenti approvati.

3.7.2 Biodegradazione

La degradazione di un polimero può dipendere dall'azione di microbi, microrganismi, macrorganismi, luce o agenti chimici.

La degradazione microbica può evolvere secondo due meccanismi: quello anaerobico, che conduce alla produzione di biogas (metano e idrogeno) utilizzabile come fonte di energia, e quello aerobico, che genera concime.

Tutti i test di biodegradazione comportano l'esposizione dei materiali per l'imballaggio in un ambiente contenente una precisa quantità di microrganismi: il campione è mantenuto in questo ambiente controllato al fine di rilevare la graduale modifica delle proprietà intrinseche del materiale e di misurare l'incremento dei prodotti del metabolismo degli stessi microrganismi (CO₂ se il test è aerobico, C₂H₄ se il test è anaerobico). A questo riguardo esistono delle precise metodologie e procedure, stabilite dai decreti promulgati dalla Comunità Europea, alle quali riferirsi per la valutazione delle proprietà che un materiale deve possedere per essere degradato completamente; tra queste ultime si evidenziano biodegradabilità, disintegrazione durante i trattamenti biologici, effetto sui trattamenti biologici, ed incidenza sulla qualità dei composti finali.

3.7.3 Biopolimeri

La generazione futura dei materiali adibiti al packaging deriverà quasi totalmente da fonti rinnovabili: tutti questi materiali saranno, in linea teorica, biodegradabili. Comunque, i polimeri naturali manifestano un diverso livello di degradazione nell'ambiente, ed alcune proteine, per esempio, non possono essere classificate come "degradabili", almeno secondo la definizione degli standard della Comunità Europea.

I biopolimeri sono generalmente distinti in tre categorie, a seconda del metodo di produzione:

- 1) Polimeri estratti/rimossi direttamente da materia prima naturale, soprattutto piante: ne sono un esempio i polisaccaridi, come l'amido e la cellulosa, e le proteine, quali la caseina ed il glutine.
- 2) Polimeri prodotti da processi "classici" di sintesi chimica a partire da monomeri bioderivati: il polilattato, per esempio, è un biopoliestere ottenuto dai monomeri di acido lattico. I monomeri, a loro volta, sono ricavati dalla fermentazione di carboidrati vari [5].
- 3) Polimeri generati da microrganismi o da batteri geneticamente trasformati: la tipologia più conosciuta è quella dei Poli-idrossi-alcanoati soprattutto il Poli-idrossi-butilato (HB) ed il Poli-idrossi-valerato (HV) [4]. Tali polimeri sono prodotti dalla Monsanto e sono meglio noti col nome commerciale di "Biopol". La funzione svolta dai Poli-idrossi-alcanoati, nel metabolismo dei microrganismi produttori, è di substrato energetico e di magazzino di carbonio.

I materiali appartenenti alle categorie sopra menzionate o sono già impiegati commercialmente nel campo dell'imballaggio o offrono notevoli prospettive di sviluppo in questo settore. Tuttavia ancora oggi è predominante l'impiego dei polimeri derivati dal petrolio (PE e PS per esempio), con problemi ambientali non ancora risolti dalla pratica del riciclaggio. La sola eccezione è rappresentata dalla cellulosa, che nella forma di carta e cartone è largamente diffusa come strato esterno nella gran parte delle confezioni prodotte. La pura cellulosa è facilmente biodegradabile ma la carta non offre prestazioni eccezionali: è fibrosa, opaca, idrofila ed il suo uso rimane perciò relegato al packaging secondario.

I parametri distintivi associati allo studio dei biopolimeri sono essenzialmente tre:

- performance;
- processo;
- costo.

Sebbene questi aspetti siano intimamente correlati, le problematiche legate a "performance e processo" sono più significative per i polimeri estratti direttamente dalla biomassa (cellulosa, amido, proteine). Al contrario, i polimeri appartenenti alle categorie 2 e 3, generalmente danno buone prestazioni e sono facilmente formabili in films utilizzando tecniche standard per le materie plastiche, ma tendono ad essere più costosi rispetto a queste ultime.

Per quanto riguarda il primo gruppo di biopolimeri, la materia prima è rappresentata da prodotti agricoli, piante e alberi: come già riportato, ne sono esempio la cellulosa, l'amido, le proteine, le pectine. Tutte queste sostanze sono di natura idrofila e di struttura in qualche modo cristallina; proprio queste caratteristiche sono responsabili delle difficoltà legate alla lavorazione e alle cattive performance.

La **cellulosa** è il più abbondante polimero naturale presente sulla terra ed è essenzialmente costituita da una catena lineare di glucosio anidro. È un materiale di base molto economico (0,5-1 ECU/Kg) e, a causa della sua struttura chimica, è altamente cristallino, fibroso, e insolubile. Per questo motivo, nella produzione di film, la cellulosa è dissolta in una miscela tossica di idrossido di sodio e bisolfato di carbonio ("Xantathion") e, successivamente rifiuta

nell'acido solforico. Con questo procedimento si ottiene il film di **cellophane**, caratterizzato da:

- buone proprietà meccaniche;
- alta idrofilia e quindi scarsa resistenza all'umidità;
- scarsa ermeticità e sigillabilità;
- bassa capacità di barriera.

Il cellophane, per ovviare ai problemi sopra menzionati, viene spesso rivestito con PVDC o con cera di nitrocellulosa (NC-W); in questo modo, però, pur migliorando le prestazioni del materiale, se ne incrementa il costo di produzione.

Inoltre, sono disponibili una serie di derivati della cellulosa, quali acetato di cellulosa, etil-cellulosa, idrossietil-cellulosa, idrossipropil-cellulosa, ma tutte le lavorazioni necessarie per la trasformazione del materiale di partenza sono costose e difficili: la sostanza più economica è il diacetato che costa intorno ai 3-4 ECU/Kg.

Per realizzare un processo termoplastico efficiente si rende necessaria l'aggiunta di almeno il 25% di sostanza plastificante, e sarebbe possibile ricorrere a plastificanti bioderivati anche se, ad oggi, non sono commercialmente impiegati.

Le proprietà di barriera dell'acetato, rispetto ai gas e all'umidità, non sono ottimali per il confezionamento degli alimenti.

Alcuni tipi di acetato di cellulosa (grado di sostituzione minore di 1.7) sono biodegradabili, sebbene ad una velocità minore del cellophane.

L'**amido** è un altro polisaccaride largamente presente in natura, ottenuto sotto forma di granuli da grano, riso, patate, e costituito da una miscela di amilose, un polimero quasi lineare di glucosio anidro, e amilopectina, una catena fortemente ramificata di glucosio anidro. Il rapporto tra i due componenti varia a seconda del tipo di amido considerato. Questo materiale viene impiegato in moltissimi settori non alimentari, per esempio come rivestimento, adesivo, additivo rinforzante; nel campo del packaging ha ricevuto notevole attenzione, essendo altamente biodegradabile ed economico (0,5-1,5 ECU/Kg). Le difficoltà legate alla sua massiccia penetrazione nel campo dell'imballaggio sono principalmente:

- alta idrofilia;
- bassa capacità di barriera rispetto all'umidità;
- parziale cristallinità che ne rende difficile la lavorazione;
- proprietà meccaniche inferiori rispetto ai polimeri sintetici.

Con l'aggiunta di un plastificante, per es. l'acqua, l'amido manifesta un comportamento termoplastico. A causa di tutti questi fattori è perciò necessario un trattamento a monte prima di completare la produzione del film, trattamento che generalmente consiste nel passaggio attraverso un estrusore e nell'aggiunta di polimeri sintetici (PVA o policaprolattame); il prodotto che si ottiene ha una buona trasparenza ma risulta sempre discretamente idrofilo ed ulteriori lavorazioni non sono convenienti da un punto di vista economico.

Una strategia alternativa è rappresentata dal processo di modificazione chimica dell'amido. L'industria già produce amido modificato per svariati usi, ma generalmente la lavorazione interessa solo la superficie del granulo e risulta comunque molto costosa, sebbene l'amido è meno cristallino e più accessibile chimicamente della cellulosa. In aggiunta, l'amido è più vulnerabile alla degradazione durante il trattamento di modifica rispetto alla cellulosa, e le condizioni delle reazioni chimiche non devono essere severe, per prevenire la depolimerizzazione e la perdita di proprietà.

Nonostante tutti questi fattori a sfavore, l'amido rimane il più promettente tra i polisaccaridi disponibili per il confezionamento alimentare, essendo più facilmente processabile della cellulosa, avendo un basso costo, ed essendo facilmente biodegradabile. La sfida scientifica per questo materiale rimane, perciò, lo sviluppo di un processo capace di aumentarne la resistenza all'umidità senza intaccare le altre caratteristiche favorevoli.

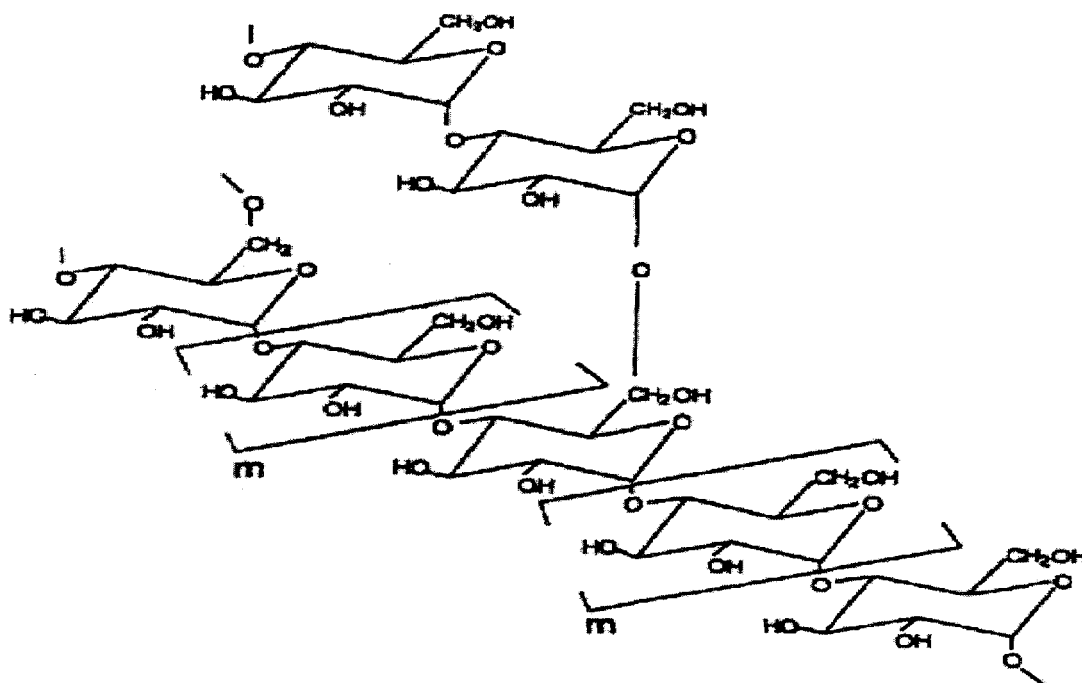


Figura 3.1: Chemical structure of amylopectin. Fonte (3)

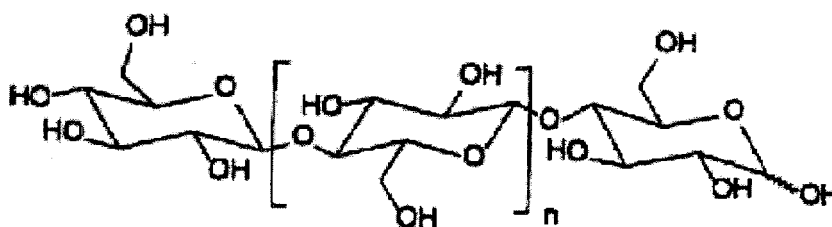


Figura 3.2: Chemical structure of amylose (3)

Le **proteine** hanno riscosso recentemente molta attenzione per la produzione di film degradabili a partire da fonti rinnovabili. Tradizionalmente esse sono usate nel campo degli adesivi e dei rivestimenti, ma offrono notevoli potenzialità come materiali a lenta degradazione per l'imballaggio.

Queste sostanze sono interessanti da un punto di vista chimico per i numerosissimi gruppi funzionali presenti nella loro struttura, che danno luogo alle più svariate proprietà.

L'applicazione del processo di estrusione è possibile soprattutto con le proteine di origine vegetale, come il glutine del grano, ma sono anche disponibili quelle di origine animale, quali la caseina, la cheratina ed il collagene. Quest'ultimo, ultimamente, a causa degli scandali che hanno coinvolto la politica di smaltimento delle sostanze animali di scarto, incontra poca simpatia da parte del consumatore.

I film ottenuti da questo materiale hanno dimostrato di avere buone proprietà di barriera rispetto ai gas e molti presentano anche una discreta resistenza all'umidità, sebbene non siano interamente idrofobi. L'ostacolo maggiore alla diffusione delle proteine nel campo del packaging alimentare è la mancanza di una conoscenza approfondita della loro struttura

terziaria e quaternaria, che consentirebbe di sfruttare appieno tutte le possibilità offerte da queste sostanze.

Il costo "virtuale" dei film ottenuti dalle proteine dovrebbe oscillare tra 1 e 10 ECU/Kg.

La **terza categoria di polimeri**, tipo Biopol, possiede una eccellente formabilità e lavorabilità e ottime proprietà di rivestimento. I film in **PHA** sono prodotti in modo da presentare prestazioni simili al PE, al PP e PET. Sono inoltre:

- biodegradabili a contatto con il terreno;
- resistenti all'acqua;
- facilmente processati in impianti tradizionali per le materia plastiche.

Il maggiore inconveniente è rappresentato dal costo piuttosto elevato, dovuto alla complessità di alcune fasi della produzione (per es. l'isolamento del polimero dal microrganismo) e dal fattore di scala sfavorevole.

Le proprietà dei film ottenuti possono essere controllate modificando il rapporto tra i due costituenti principali: l'HV e l'HB. Un alto contenuto di PHB conferisce al polimero resistenza e durezza, mentre un'alta percentuale di PHV ne aumenta la flessibilità e la tenacità.

Queste sostanze costano all'incirca 10-12 ECU/Kg, mentre inizialmente l'obiettivo prefissato era un prezzo di 3-5 ECU/Kg: se si riesce ad abbassare il costo attuale al valore progettato le potenzialità di questo materiale nel campo del packaging sono enormi.

Per quanto riguarda, i **polilattati**, prodotti a partire dall'acido lattico mediante un processo di polimerizzazione, offrono delle buone prestazioni e consentono di ottenere film flessibili, resistenti all'acqua.

Inoltre questa categoria di materiali, in condizioni ambientali controllate, è facilmente biodegradabile e può essere lavorata con apparecchiature industriali standard. Sebbene non ancora prodotti in larga scala, si prevede un loro sviluppo a breve grazie all'interesse di almeno due compagnie (Cargill Dow Polymeris e Neste). Il costo finale del polimero può dipendere strettamente dall'efficienza del processo iniziale di fermentazione; i prezzi dovrebbero aggirarsi sui 2-4 ECU/Kg e se il tetto massimo dovesse scendere a 2 ECU/kg la crescita potenziale del mercato per questo materiale sarebbe enorme, assumendo di riuscire a migliorare le proprietà di barriera.

I polilattati sono dotati di buone proprietà meccaniche e la resistenza all'umidità è migliore dei materiali derivati dall'amido, mentre la selettività ai gas è peggiore.

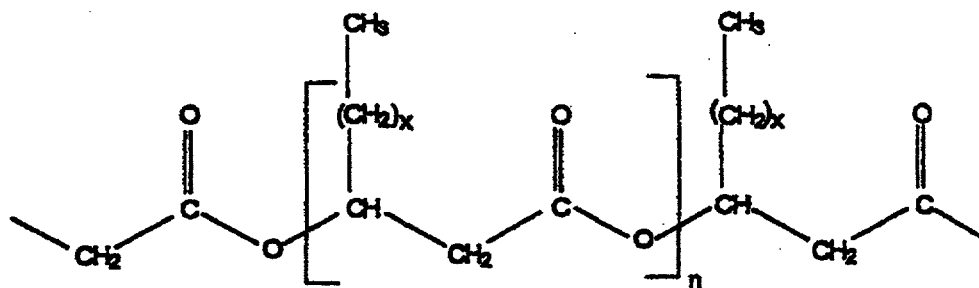


Figura 3.3: Chemical structure of polyhydroxyalkanoate (PHA) [3]

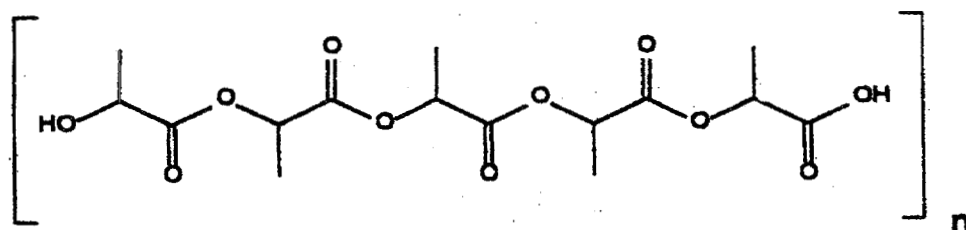


Figura 3.4: Chemical structure of polylactate (PLA) [3]

I biopolimeri destinati al packaging alimentare possono contenere additivi quali lignina e cera, che agiscono come ritardanti del processo di degradazione dell'alimento confezionato. Questa tecnica, tuttavia, necessita ancora di una adeguata sperimentazione.

Ulteriori aggiunte di antiossidanti, plastificanti, ecc., sono previste nell'immediato futuro.

Generalmente i materiali termoplastici impiegati più di frequente per l'imballaggio alimentare, quali il PE, il PS, il PET, sono prodotti in enormi quantità in impianti che godono i vantaggi di una favorevole economia di scala. Il PE costa all'incirca 0,7-1 ECU/Kg, mentre il prezzo del PS è pari almeno al doppio. Grazie alla continuità del processo di produzione, oggi la qualità e le performance delle materie plastiche tradizionali sono perfettamente riproducibili.

Invece la maggior parte dei polimeri bioderivati (eteri ed esteri di cellulosa, ecc.), richiedono ancora cicli produttivi in batch; ciò comporta un maggior costo e una qualità non riproducibile.

Perciò lo sviluppo dei processi in continuo rappresenta il fattore chiave per la conquista di una fetta del mercato dell'imballaggio da parte dei materiali bioderivati. E' inoltre fondamentale riuscire ad impiegare, per questi ultimi, gli impianti tradizionali per la lavorazione dei termoplastici.

Sulla base di queste considerazioni, i polilattati e i PHA sembrano avere maggiori prospettive di utilizzo, presupponendo di riuscire a contenere i costi delle fasi iniziali di fermentazione o bioproduzione.

Sono promettenti anche i prodotti derivati dall'amido, che possono essere sottoposti ad estrusione continua, qualora si ottenga un miglioramento della resistenza all'umidità.

Nella tabella riportata di seguito si confrontano le caratteristiche dei polimeri bioderivati più promettenti e dei materiali tradizionali come l'LDPE e il PS.

Comparative properties of bioderived polymers and comparison with polyethylene and polystyrene.

Polymer	Moisture permeability	Oxygen permeability	Mechanical properties	Expected price (ECU/kg)
Cellulose/cellophane	High-medium (low if coated)	High	Good	1.5-3
Cellulose acetate	Moderate	High	Moderate (needs plasticizer)	3-5
Starch/Polyvinyl alcohol	High	Low	Good	2-4
Proteins	High-medium	Low	Moderate	1-8
Polyhydroxyalcanoates (Polyhydroxybutyrate/v alerate)	Low	Low	Good	Present: 10-12 Projected ^a : 3-5
Poly lactate	Moderate	High-moderate	Good	Projected ^a : 2-4
Low density PE	Low	High	Moderate-Good	0.7-2
Polystyrene	High	High	Poor-moderate	1-2

^a Projected: at full scale production

Tabella 3.9: Fonte (3)

3.7.4 Biopackaging alimentare

Una delle difficoltà maggiori da superare per rendere competitivi i biopolimeri sul fronte del packaging alimentare, è di rendere compatibile la durabilità della confezione con la shelf-life del prodotto contenuto.

Infatti i materiali bioderivati devono mantenersi stabili, senza cambiamenti nelle proprietà meccaniche e di barriera, e devono assolvere adeguatamente la loro funzione fino alla dismissione.

Inoltre queste sostanze, in condizioni ambientali controllate, dovrebbero biodegradarsi rapidamente.

I parametri più significativi nel controllo della stabilità di un biopolimero destinato al confezionamento alimentare sono l'attività dell'acqua, il pH, l'ossigeno, il tempo di stoccaggio e la temperatura. Perciò alimenti secchi possono essere conservati per lunghi periodi, mentre prodotti caratterizzati da una notevole umidità hanno una shelf-life più breve.

Per molti anni sono stati utilizzati per il packaging alimentare cellophane rivestito e acetato di cellulosa: il primo è impiegato per prodotti da forno, carne trattata, formaggio, prodotti freschi, il secondo soprattutto per prodotti da forno e prodotti freschi.

Le proprietà di barriera dell'acetato di cellulosa rispetto ad umidità e gas non sono ottimali per il confezionamento alimentare. Tuttavia il film è eccellente per sostanze molto umide, permettendone la respirazione.

Recentemente in Giappone è stato realizzato un laminato biodegradabile di chitosano-cellulosa e policaprolattame; si è cercato [6] di esaminare l'applicabilità del laminato per sistemi MAP o per la conservazione di beni ortofrutticoli. La convenienza dell'impiego del laminato per il confezionamento MAP di lattuga, broccoli, pomodori, grano tenero è stata valutata mediante simulazioni basate sulla velocità di respirazione dei prodotti stessi. I

risultati incoraggiano l'uso di questo polimero biodegradabile nell'intervallo di temperatura 10-25°C.

Sono stati effettuati, inoltre, dei test sperimentali su film per il packaging contenenti amido; Holton e altri hanno confrontato l'applicabilità di un film in PE puro e di un film in PE contenente il 6% di amido per il confezionamento di broccoli, pane, arrosto in normali condizioni di tempo e temperatura.

Apparentemente il tipo di materiale adottato non ha influito sui parametri di qualità degli alimenti (colore dei broccoli, ossidazione dei lipidi nell'arrosto, ecc.). Tuttavia è stato rilevato un significativo ritiro del film contenente amido, probabilmente a causa dell'interazione tra il polimero e i radicali liberi generati dall'ossidazione dei lipidi durante lo stoccaggio refrigerato dell'arrosto. Invece non sono state evidenziate consistenti differenze per il pane e i broccoli.

Perciò Holton e altri sono giunti alla conclusione che è proficuo utilizzare il film in PE con tracce di amido solo per alimenti secchi e a basso contenuto di grassi.

Stranz e Zottola, Kim e Pometto [8] hanno studiato la sopravvivenza dei batteri sulla carne di manzo confezionata con PE contenente amido.

L'aggiunta di amido (0-28%) non ha danneggiato o compromesso l'isolamento termico, nè ha accelerato lo sviluppo di microbi. Inoltre, la stabilità del colore durante lo stoccaggio refrigerato non è stata intaccata, e le proprietà meccaniche del film utilizzato per il packaging della carne non hanno subito significativi cambiamenti.

Stranz e Zottola, inoltre, [7] hanno inoculato carne di manzo magra con *Salmonella typhimurium*, *Bacillus cereus* e *Staphylococcus aureus*, e hanno rilevato che lo sviluppo di batteri e la loro sopravvivenza non sono influenzati dalla presenza dell'amido.

Questa ricerca ha perciò evidenziato che la qualità microbiologica degli alimenti non dipende dalla percentuale di amido contenuta nella confezione in PE.

In Belgio il packaging contenente amido è impiegato commercialmente nei fast-food per l'incartamento di patatine fritte.

Le attività di ricerca e sviluppo riguardanti i PHA e i PLA sono state notevolmente intensificate durante l'ultimo decennio, e i materiali per il packaging sono ora facilmente disponibili. Sia per il PHA che per il PLA è però carente l'informazione scientifica sul loro utilizzo nel campo dell'imballaggio.

Comunque, la Danone, al momento, sta testando l'impiego di bicchieri a base di polilattato per il confezionamento dello yogurt.

Per quanto riguarda i PHA, gli usi suggeriti nel campo del packaging alimentare sono per contenitori di liquidi, cartoni rivestiti per il latte, bicchieri e films.

Più recentemente dei ricercatori francesi hanno dimostrato che l'uso di films in glutine può essere vantaggioso per lo stoccaggio di prodotti freschi, caratterizzati da un'elevata velocità di respirazione. I films, contenenti glutine, sono dotati di discrete barriere all'O₂ mentre rimangono permeabili alla CO₂. Perciò, per la conservazione dei funghi, è stato realizzato un sistema MAP al 2-3% di O₂ e 2-3% di CO₂ che ha dimostrato una buona efficienza nel mantenimento della qualità del prodotto.

Application of biopolymers for food packaging

Food product	Biopackaging	Storage conditions	Main result	Reference
Fresh mushrooms	Glass jar covered with gluten film	10°C for 140 h (6 days)	A modified atmosphere containing 2-3% CO ₂ and 2-3% O ₂ developed during the storage period.	Barron et al. (1997) cf. Guilbert et al. (1997)
Fresh products (lettuce and cabbage, broccoli, tomatoes, sweet corn and blueberries)	Laminate of chitosan (14.5% by weight)-cellulose (48.3%) and polycaprolactone (glycerol 36.2% and protein 1%)	10-25°C for 4-6 days	The biodegradable laminate was found suitable as a packaging material with MAP in the inert temp. range	Makino and Hirata (1997)
Lean beef and bologna inoculated with pathogenic bacteria.	Polyethylene with corn starch (final conc. 6%)	4 and 21°C for 3-13 days	Survival was not enhanced by the presence of corn starch	Strantz and Zottola (1992)
Bread, broccoli, and ground beef	Cornstarch-containing (CSC) poly-ethylene. Final cornstarch concentration were 6% in the film	Temperature appropriate for recommended storage periods	CSC film was effective as control film in protecting storage foods, but the film should not be used to package foods in which lipids would be in contact with the films surface under storage, because of lipid oxidation.	Holton et al. (1994)
Ground beef	Starch-polyethylene films containing corn starch (0-28%), low or high-molecular weight oxidized polyethylene and pro-oxidant	-18°C for 4 weeks or +10°C for 2 days	Starch polyethylene films have potential use as primary food containers for ground beef	Kim and Pometto III (1994)

Tabella 3.10: Fonte (3)

3.7.5 Prospettive di utilizzo del biopackaging alimentare

Nelle sezioni precedenti sono state descritte le proprietà dei materiali bioderivati e i requisiti necessari per il confezionamento dei vari tipi di alimenti. Confrontando, perciò, le caratteristiche dei biopolimeri con quelle dei prodotti da conservare, risulta evidente che non tutti gli alimenti e i materiali sono tra loro compatibili.

Inoltre, la lavorazione dei biopolimeri è considerevolmente più costosa della produzione dei materiali tradizionali per il packaging (PE,PS,PET), a causa del fattore di scala sfavorevole e del processo di trasformazione non continuo.

Un altro importante aspetto di cui tener conto è l'opinione pubblica: è generalmente riconosciuto che i consumatori dovrebbero sviluppare una maggiore consapevolezza dell'ambiente e degli strumenti a suo favore. In quest'ottica dovrebbe essere data maggior rilevanza al contributo ambientale offerto da un packaging ricavato interamente da fonti rinnovabili.

Inoltre i biomateriali danno modo di sperimentare nuove soluzioni di imballaggio con atmosfera modificata, che migliorano notevolmente la qualità del prodotto specifico durante la sua shelf-life.

Dalla sperimentazione, come già sottolineato, è emerso che le proprietà barriera del biopackaging, in particolare rispetto all'umidità, sono inferiori di quelle dei polimeri tradizionali; questo problema ha un peso notevole soprattutto se i materiali bioderivati vengono impiegati come packaging primario.

La soluzione più immediata è di confezionare con i biopolimeri solo gli alimenti ad essi compatibili.

Un'altra strada consiste nel rivestire il biopolimero con uno strato interno più adatto a rimanere a contatto col cibo, e dotato delle opportune proprietà barriera. In questa maniera si risparmierebbe sulla quantità di materiale globalmente usato come packaging primario. Il rivestimento potrebbe essere effettuato anche esternamente, al fine, ad esempio, di conferire idrofobicità alla confezione (cera).

La tecnologia moderna, comunque, rende possibile laminare più materiali bioderivati insieme o progettare un laminato costituito da biopolimeri mescolati a sostanze sintetiche.

La strada della trasformazione chimica del biopolimero è, invece, troppo costosa, anche a causa dello sfavorevole fattore di scala.

La migrazione dei componenti all'interno della confezione è un altro importante fattore: prima dell'avvento dei biomateriali come packaging primario, questo fenomeno veniva in tutti i modi evitato. Oggi, invece, si progetta il trasferimento di alcune sostanze al prodotto, quali antiossidanti e antimicrobici.

Inoltre la gran parte dei biopolimeri utilizzati nel campo del confezionamento alimentare è biodegradabile. Tuttavia la stabilità dell'attività microbica durante lo stoccaggio deve essere testata con molta attenzione.

In conclusione, se il consumatore è disposto a pagare di più non solo la qualità del prodotto, ma anche il favorevole impatto del contenitore sull'ambiente, un sostanziale ingresso dei biopolimeri sul mercato dell'imballaggio è prevedibile in pochi anni; è, inoltre, comprensibile come il biopackaging sia un'alternativa più ragionevole per i beni alimentari pregiati (funghi, frutta e vegetali di stagione, insalate già lavate e tagliate, ecc.).

Anche la legislazione è un altro importante aspetto da non trascurare: è di vitale necessità identificare una procedura opportuna di etichettatura che indichi chiaramente il tipo di materiale impiegato e le sue origini, e creare nuovi standard per il riconoscimento e la classificazione dei biopolimeri nel campo del packaging.

PACKAGING NON INERTE NEL SETTORE ALIMENTARE

4.1 Introduzione

La ricerca nel settore dei materiali per il confezionamento di alimenti per molti anni si è proposta l'ottenimento di materiali inerti, tali da non interagire con il cibo confezionato, e in particolare da non cedere ad esso sostanze estranee che ne alterassero la sicurezza e le proprietà organolettiche e nutrizionali. La ricerca è stata guidata da uno dei principi fondamentali della legislazione sulla materia, cioè la Direttiva Europea 89/109/EEC. Tale Direttiva prescrive che qualsiasi materiale a contatto con l'alimento debba essere inerte: l'inerzia o comunque la minimizzazione dell'interazione è vista come la funzione migliore che un materiale per confezionamento possa svolgere nei confronti dell'alimento stesso. Al contrario, l'assenza di inerzia, come ad esempio la cessione di sostanze da parte del materiale di confezionamento all'alimento, viene considerata dal legislatore una caratteristica negativa e indesiderabile. Tuttavia, da circa un decennio, la ricerca tecnologica ha progressivamente rovesciato la prospettiva del problema attraverso lo sviluppo di sistemi di confezionamento attivi e intelligenti.

4.2 Interazioni tra alimento e confezione: problematiche inerenti l'uso del PVC

Il PVC è stata una delle prime materie plastiche a trovare largo impiego nell'industria dell'imballaggio. Dal 1970 ad oggi, cioè da quando in un convegno scientifico svoltosi a Houston, negli Stati Uniti, furono sollevati i primi sospetti sulla tossicità del monomero VCM da cui si ricava il cloruro di polivinile, questo materiale è diventato un "sorvegliato speciale" tenuto sotto rigoroso controllo dagli organismi internazionali. Pochi materiali sintetici sono stati studiati così a fondo.

Anche se la sicurezza del polimero in se' sembra dimostrata, periodicamente il PVC è soggetto a controversie scientifiche: dapprima per la tossicità del VCM in fase di polimerizzazione, poi per la migrazione del monomero, poi ancora per il problema della distruzione dei prodotti in PVC dopo l'uso.

Recentemente è stata avanzata una critica riguardante i plastificanti, cioè gli additivi usati nella lavorazione del PVC e, in modo particolare, dei film destinati all'imballaggio dei prodotti alimentari.

Infatti, tra le pellicole polimeriche impiegate per questo uso quelle viniliche richiedono la maggiore quantità di plastificanti. In alcune miscele si raggiunge anche il 30% in peso sulla resina. I tipi di plastificanti sono numerosi. Se ne contano più di 300 e il loro impiego è regolamentato dalla normativa italiana ed europea. Ognuno di essi ha caratteristiche e valore economico diversi. Per alcuni non ci sono restrizioni particolari di impiego ma per altri come, per esempio, il di-2-etilesiladipato (DHEA) sono previsti limiti di migrazione specifica qualora venga usato nei materiali a contatto con gli alimenti.

Per fare il punto su questo problema e sulla concreta pericolosità dei film di PVC contenenti plastificanti di questo tipo nonché sui meccanismi di cessione, l'Istituto Italiano Imballaggi ha organizzato a Milano un seminario a cui hanno partecipato diversi relatori.

E' emerso che la migrazione di plastificanti (soprattutto ftalati e adipati) contenuti nei cling film, le pellicole in rotoli che si usano in cucina o nel confezionamento di alcuni alimenti nella grande distribuzione, "è un evento molto probabile, praticamente inevitabile e in certa misura ricercato per ottenere la adesività della pellicola".

La migrazione si verifica in particolare al contatto con alcuni prodotti contenenti grassi, oli animali e vegetali e alcoli e avviene in determinate condizioni. Si rende perciò necessario uno studio più approfondito della cinetica di migrazione di queste sostanze in funzione del tempo, della temperatura e della matrice alimentare.

In estrema sintesi, la conclusione tratta dal seminario sembra tradursi in un invito a usare le pellicole di PVC con gli alimenti compatibili e nel modo corretto suggerito dalla istruzioni d'uso.

La sicurezza dei manufatti di PVC, quindi, viene garantita dalle esistenti norme e legislazioni che sono specifiche dei singoli settori applicativi quali l'edilizia, l'imballaggio, l'isolamento elettrico, i dispositivi medici, il tempo libero. All'interno del rispetto delle norme e delle leggi esistono per l'industria ulteriori margini di lavoro per aumentare la sicurezza e la compatibilità ambientale.

Nell'ambito del settore alimentare sono state, comunque, elaborate delle valide soluzioni in alternativa al PVC, quali, ad esempio, una pellicola ottenuta da un coestruso di polietilene e polistirene, paragonabile ai film attualmente in commercio sia dal punto di vista meccanico, sia dal punto di vista della conservazione degli alimenti.

4.3 Imballaggi attivi

Si possono definire materiali per confezionamento "attivi" quelli che interagiscono di proposito con gli alimenti, cedendo sostanze o modificando la composizione del gas nello spazio di testa della confezione. Tali materiali hanno effetti "desiderabili" nei confronti degli alimenti, e quindi si pongono in contrasto con il concetto di inerzia della legislazione.

Si definiscono, invece, imballaggi "intelligenti" quelli che forniscono informazioni sulla storia del prodotto, evidenziando se il trattamento al quale l'alimento è stato sottoposto ne abbia compromesso la qualità. Ad esempio gli indicatori di temperatura consentono di rilevare se il prodotto ha subito scongelamento, oppure gli indicatori della composizione dello spazio di testa della confezione possono fornire informazioni importanti sulla qualità igienica e sul tempo di vita dei prodotti.

Pionieri della ricerca nel campo degli imballaggi attivi ed intelligenti sono state alcune tra le maggiori compagnie giapponesi, ma alcuni importanti brevetti sono posseduti anche da compagnie europee e statunitensi.

E' opportuno precisare che, nei paragrafi successivi, tranne alcune applicazioni limitate al mercato degli Stati Uniti si fa riferimento a materiali sperimentali non disponibili dal punto di vista commerciale soprattutto per problemi di carattere regolatorio.

4.3.1 Assorbitori di ossigeno

I sistemi di confezionamento assorbitori di ossigeno sono in commercio da molti anni. Il principio di funzionamento è piuttosto semplice: consiste infatti nella reazione di ossidazione del ferro. La maggior parte di essi è venduta sotto forma di sacchetto contenente polvere di ferro, con dimensioni molto ridotte delle particelle, tali da favorire l'ossidazione ed impoverire l'atmosfera di ossigeno, garantendo di conseguenza un allungamento del tempo di vita dei prodotti.

Assorbitori a base di ferro sono anche venduti sotto forma di etichette. La diffusione di tali sistemi è piuttosto limitata in Europa, dove la presenza di un oggetto estraneo nella confezione, come il sacchetto assorbitore, è percepita in genere negativamente dal consumatore. Il mercato più importante di questo tipo di sistemi è appunto il Giappone, dove essi sono venduti da venti anni.

La maggior parte degli assorbitori di ossigeno in commercio sono basati sull'ossidazione del ferro, tuttavia esistono altri sistemi basati sull'acido ascorpico, che hanno però una diffusione limitata prevalentemente al mercato giapponese.

Il maggiore vantaggio degli assorbitori di ossigeno è la loro capacità di ridurre la concentrazione di ossigeno in una atmosfera di spazio di testa a un livello dell'ordine di grandezza di 0,01%, cosa impossibile nelle linee commerciali di MAP a flusso di gas.

Una categoria completamente nuova di assorbitori di ossigeno è rappresentata da films multistrato, che, opportunamente stimolati, iniziano ad assorbire ossigeno.

Il meccanismo di assorbimento non comincia dopo la produzione del film, ma è innescato dall'assorbimento di luce UV-B. Nella pratica industriale l'irraggiamento con UV-B viene effettuato mediante opportune apparecchiature che sono direttamente montate sulle macchine di confezionamento.

Il film, perciò, ha il vantaggio di possedere proprietà assorbenti non visibili, e la confezione finale non presenta elementi che possono essere percepiti dal consumatore come intrusioni indesiderate.

Mentre negli Stati Uniti questo dispositivo, coperto da brevetto, può essere venduto in accordo alle prescrizioni di FDA, in Europa, dove non esistono leggi specifiche sugli imballaggi attivi, esso non è attualmente approvato per il contatto con gli alimenti.

4.3.2 Film antimicrobici

I film "antimicrobici" o "auto-sanitizzanti" sono stati concepiti per ridurre la crescita microbiologica sull'alimento, in particolare dei microrganismi patogeni.

Gli agenti antimicrobici che possono essere utilizzati sono numerosi e di natura chimica molto differente tra loro: etanolo, ioni metallici (Ag,Zn,Cu), sali di ammonio quaternari, biossido di cloro. Inoltre un considerevole numero di composti organici (Nisina, Pediocina, Triclosan, Metil e Propil Paraben, ecc.) presenta proprietà biocide.

Questi agenti possono essere incorporati nella matrice polimerica del film a contatto, oppure depositati sulla superficie interna con un rivestente (che può anche essere costituito da una sostanza edibile). In alternativa il biocida può essere attaccato alla superficie stessa con legami labili, tali comunque da non impedirne il rilascio verso l'alimento. Infatti l'agente biocida, per poter espletare la sua azione, deve necessariamente essere trasmesso alla superficie dell'alimento; quindi i film antimicrobici rappresentano uno dei più classici esempi di imballaggio attivo.

4.3.3 L'agente biocida

Per preservare gli alimenti da qualsiasi contaminazione sarebbe necessario disporre di un agente biocida non selettivo, capace di abbattere la crescita di una varietà ampia di agenti patogeni. Nella pratica ciò non è possibile, poichè la maggior parte dei biocidi tendono ad essere specifici verso determinati patogeni. Di conseguenza si scelgono sostanze biocide selezionate sulla base dei contaminanti tipici dell'alimento che si vuole confezionare.

Il film antimicrobico ideale dovrebbe avere un rilascio controllato del biocida, cioè trasmettere la minima quantità possibile, tale da esercitare l'azione antimicrobica ma da non essere in eccesso nell'alimento. Un eccesso di tali sostanze potrebbe infatti causare alterazioni delle proprietà organolettiche dell'alimento stesso: l'allilisotiocianato, ad esempio, impartisce un intenso odore a livelli di concentrazione estremamente bassi (6 ppb).

Il biossido di cloro, che presenta il vantaggio di possedere attività battericida ad ampio spettro, causa decolorazione della carne con una velocità superiore alla sua azione battericida e quindi ha notevoli problemi di dosaggio.

Dal punto di vista tecnologico, quindi, è spesso difficile bilanciare l'attività antimicrobica con gli effetti sfavorevoli. La velocità di trasmissione non è facilmente controllabile. Essa dipende infatti sia dalla velocità di diffusione del biocida nella matrice polimerica che dal coefficiente di partizione del biocida tra la matrice polimerica e l'alimento. A sua volta, il trasporto delle molecole di biocida è una funzione piuttosto complessa sia delle caratteristiche della molecola (polarità, ingombro sterico) che della matrice (grado di cristallinità, orientazione, ecc.).

Si può, comunque, facilmente intuire che la quantità di biocida che può essere incorporata nel polimero è limitata, per ragioni legate alla miscibilità, e che la frazione di biocida trasmesso all'alimento è in generale minore di 1. Questo è dovuto sia a ragioni cinetiche e termodinamiche, come visto sopra, ma anche al fatto che una parte delle molecole dell'agente biocida decompone durante il processo di estrusione. La quantità migrata, infine, subisce un effetto di diluizione che ne limita ancora l'attività.

La conseguenza di tutto questo è che la tecnologia dei film antimicrobici non può che essere considerata un sistema barriera di basso livello alla crescita dei patogeni, che non può quindi compensare, ad esempio, scorretti trattamenti termici dell'alimento, nè sanitizzare alimenti ad alto contenuto iniziale di CFU.

Un'ultima considerazione riguarda il limitato tempo di attività delle sostanze biocide. Infatti, poichè normalmente si ottengono abbattimenti di una o più unità logaritmiche, e mai totale decontaminazione, il microrganismo tenderà a recuperare una volta consumato il biocida.

L'effetto netto che si ottiene è di tipo batteriostatico, cioè un ritardo della crescita microbiologica e ciò conferma il fatto che i film antimicrobici possono essere usati solo come una blanda barriera alla contaminazione.

In aggiunta ai problemi di carattere tecnico connessi alla progettazione di film antimicrobici, anche in questo caso ci sono delle difficoltà di carattere regolatorio. Oltre alla nota assenza di regolamentazione degli imballaggi attivi in Europa, anche negli Stati Uniti sussistono alcuni problemi connessi al fatto che non tutti gli agenti biocidi sono accettati da FDA per l'uso come additivi diretti (conservanti) o indiretti degli alimenti.

4.3.4 Film trasferitori di colore e odore

Questi materiali sono stati sviluppati per sostituire il ciclo di trattamento della carne dopo la cottura, eliminando la necessità di affumicarla per impartire il colore e l'aroma desiderati.

La tecnologia consiste nella deposizione sulla superficie della carne, durante la fase di cottura, di un rivestimento contenente il colorante e l'aromatizzante.

Tale rivestimento è composto da un idrocolloide, da un agente aggraffante per ancorarlo al supporto polimerico e dagli additivi. Durante la fase di cottura il rivestimento viene trasferito alla carne e con esso gli additivi.

Il controllo del rilascio del rivestimento rappresenta un punto chiave, poichè determina l'uniformità e l'intensità della colorazione.

Per questo motivo è molto importante la natura dell'agente aggraffante, che deve legare in maniera reversibile il rivestimento alla superficie del film. Poichè il distacco del rivestimento è di natura idrolitica, deve essere scelto un idrocolloide che, nelle condizioni di temperatura di trattamento della carne, abbia velocità di idratazione compatibile con le proprietà desiderate: da questo dipenderà l'uniformità del deposito degli additivi sulla carne.

Gli esperimenti condotti di recente mostrano che è possibile ottenere risultati soddisfacenti con carni suine e carni di tacchino.

E' opportuno specificare che tutti i componenti del rivestimento, compresi gli additivi che impartiscono colore e aroma, sono già approvati come additivi alimentari diretti.

Tuttavia, poichè un film trasferitore di additivi alimentari cade nella categoria degli imballaggi attivi, la tecnologia non è oggi ammessa in Europa.

4.3.5 Indicatori di gas

Gli indicatori della composizione dello spazio di testa sono in grado di rilevare se la confezione ha perduto la sua ermeticità, ad esempio a causa di un difetto nella saldatura, o

anche di dare informazioni sullo stato di conservazione dell'alimento, dipendente, come è noto, dalla presenza di ossigeno.

Affinchè un indicatore possa trovare un'applicazione commerciale, deve essere sensibile al punto di misurare concentrazioni di gas sufficientemente piccole, e deve avere un tempo di risposta breve.

Si possono trovare in commercio due tipi fondamentali di indicatori, quelli sensibili alla concentrazione di ossigeno e quelli sensibili alla concentrazione di anidride carbonica; ed entrambi vengono venduti sotto forma di etichette.

Gli indicatori di ossigeno sono chimicamente indicatori di ossido-riduzione, cioè sostanze che cambiano il loro assorbimento a determinate lunghezze d'onda, nello spettro visibile o ultravioletto, in funzione del loro stato di ossidazione.

Gli indicatori di CO₂, invece, consistono chimicamente di indicatori di pH, che cambiano l'assorbimento in funzione del loro stato di protonazione.

Dal punto di vista tecnologico il maggior ostacolo che deve essere superato è il fatto che le reazioni di ossido-riduzione e protonazione devono avvenire allo stato solido, poichè gli indicatori sono supportati su di una matrice solida.

E' quindi necessario selezionare composti la cui cinetica di reazione è sufficientemente veloce anche in fase solida.

4.4 Normativa per il packaging attivo

Il principale ostacolo al commercio di materiali attivi ed intelligenti è la mancanza di regolamentazioni. A fronte dello sviluppo di materiali non inerti, il cui effetto si traduce nel miglioramento della qualità dell'alimento, la legislazione attualmente vigente è da ritenersi inadeguata.

Gli imballaggi non inerti si collocano al di fuori del campo di applicazione della legge attuale, e per questo motivo necessitano di normative specifiche. In assenza di normative specifiche la tendenza è quella di utilizzare le legislazioni esistenti, ad esempio la Direttiva Europea 90/128 sui Materiali ed Oggetti per Contatto con Alimenti ed i suoi quattro emendamenti.

Tuttavia tale Direttiva non copre l'intera gamma dei componenti che sono utilizzati per la fabbricazione di materiali destinati al contatto alimentare: ad esempio la lista degli additivi della 90/128 è ancora incompleta, così come sono assenti i coloranti e i coadiuvanti di polimerizzazione. Inoltre il suo campo di applicazione è ristretto ai materiali fabbricati interamente in plastica, e quindi piuttosto limitativo.

Di conseguenza, per tutte le parti non coperte dalla Direttiva, è necessario fare riferimento alle leggi dei singoli paesi europei, dove ci si trova ancora in una situazione di carenza normativa nel settore del confezionamento intelligente.

Per questo motivo la Commissione della Comunità Europea, nell'ambito dei progetti finanziati dalla Direzione Generale XII, ha stanziato fondi per un progetto di ricerca il cui obiettivo è quello di valutare i materiali attivi ed intelligenti e porre le basi per una nuova legislazione europea che ne regoli l'uso. Il progetto, denominato Actipack, è iniziato nel gennaio 1999 ed avrà una durata di tre anni, al termine dei quali saranno formulate proposte di nuove legislazioni per i materiali attivi ed intelligenti.

Capitolo 5

PACKAGING NON ALIMENTARE

5.1 Introduzione

Le tecnologie dell'imballaggio e del confezionamento sono oggi estremamente pervasive e riguardano tutti i prodotti di tutti i settori industriali. La loro specificità applicativa, tuttavia, permette e richiede di operare alcune distinzioni.

Due macrocategorie emergono per le loro caratteristiche specifiche, quella *alimentare* e quella dei *farmaci e dei cosmetici*, mentre la terza macrocategoria, (molto eterogenea) risulta "per differenza" rispetto alle prime due.

Il settore *alimentare e delle bevande* contiene una miriade di prodotti diversissimi tra loro, ma come già visto nel cap. 3, presenta alcuni importanti "fattori comuni":

- la destinazione d'uso dei prodotti è l'alimentazione umana e quindi il confezionamento deve assicurare requisiti di igiene e di conservazione;
- la vendita avviene direttamente al consumatore finale attraverso canali ben definiti (oggi prevalentemente la grande distribuzione) e quindi il confezionamento deve assolvere anche una funzione promozionale;
- nel caso specifico dell'Italia, buona parte dei prodotti alimentari e delle bevande è destinata all'esportazione e quindi è importante tenere conto dei requisiti di confezionamento posti dai diversi Paesi.

Anche la macrocategoria dei *farmaci e dei cosmetici*, sebbene più eterogenea della precedente, presenta alcuni importanti fattori comuni:

- la destinazione d'uso dei prodotti è la salute e il benessere della persona;
- a livello tecnologico, molti farmaci e cosmetici pongono requisiti simili o vengono confezionati in modo simile;
- a livello commerciale, i canali di vendita spesso sono comuni. Oggi, infatti, le farmacie vendono svariati prodotti, cosmetici compresi, e si è allargata la fascia dei farmaci acquistabili liberamente dal consumatore.

La terza categoria "residuale" può essere a sua volta suddivisa in base al destinatario dei prodotti: alcuni di essi sono rivolti al consumatore finale, mentre altri si indirizzano all'industria.

5.2 Il confezionamento dei farmaci

Il packaging farmaceutico ha da tempo acquisito un suo profilo ben definito e caratterizzato da esigenze specifiche in tema di qualità e sicurezza. Prova di ciò è anche il fatto che i fornitori di packaging di questo settore sono nella maggior parte dei casi aziende che lavorano quasi esclusivamente per l'industria farmaceutica e che hanno sviluppato al loro interno una specifica organizzazione dal punto di vista qualitativo e produttivo.

Per molti anni la maggior parte delle confezioni farmaceutiche si sono presentate con soluzioni essenziali, quasi standardizzate. Ultimamente l'approccio è notevolmente cambiato e molte novità sono entrate nel mondo del packaging farmaceutico.

Ma la cosa che maggiormente sta emergendo è la disponibilità di nuovi farmaci con forme di presentazione innovative che necessitano di particolari strumenti per una più semplice, corretta e sicura somministrazione al paziente. Le soluzioni possono essere le più disparate, si va infatti da presentazioni monodose ad altre che ricoprono un intero ciclo terapeutico; in alcuni casi sono previste confezioni differenziate per la prima terapia e la terapia di mantenimento.

Un altro argomento legato alla sicurezza del farmaco è quello della contraffazione, problema particolarmente sentito da quelle aziende che producono per l'export e che forniscono mercati dove queste pratiche sono diffuse

5.2.1 Il confezionamento dei farmaci liquidi

La forma liquida è forse la più tradizionale modalità di presentazione dei farmaci e fino ad alcuni decenni fa era nettamente prevalente rispetto alle presentazioni solide. Ancora oggi sono moltissime le forme farmaceutiche liquide e per alcune categorie questa modalità di presentazione non potrà mai essere sostituita da altre: si pensi, ad esempio, alle gocce per gli occhi, per il naso o per le orecchie.

Tradizionalmente i farmaci liquidi vengono suddivisi in una serie di categorie, alcune delle quali hanno comunque un'importanza ridotta.

Il settore delle soluzioni acquose orali comprende:

- gli estratti;
- le infusioni;
- gli sciroppi.

Mentre gli estratti e le infusioni oggi sono più prodotti di erboristeria che non di farmacia, gli sciroppi mantengono una discreta importanza nella categoria farmaceutica.

Gli sciroppi sono soluzioni di acqua e zucchero cui vengono aggiunti i farmaci veri e propri; l'uso orale e l'elevato contenuto zuccherino rendono relativamente semplice il confezionamento degli sciroppi, che non richiedono sterilizzazione e si mantengono con facilità.

La categoria delle soluzioni acquose non orali comprende:

- le emulsioni;
- le iniezioni;
- le lozioni;

- le lozioni oculari;
- le gocce per naso, occhi e orecchie.

Esiste infine la categoria dei farmaci liquidi non acquosi, a base di alcool (ad esempio disinfettanti) o a base di olio (ad esempio gli oli vegetali usati in farmacia).

Una diversa classificazione permette di delimitare anche la categoria delle gocce per uso orale, che possono essere sia soluzioni acquose sia di altro tipo (idroalcoliche, idrogliceriche, idro-glicero-alcoliche, miscele di tinture). Ciò che accomuna questi diversi tipi di gocce è la elevata concentrazione dei principio attivi, che rende necessaria una notevole precisione di dosaggio e quindi l'uso del contagocce.

Vanno infine ricordati i farmaci liquidi erogati per mezzo di nebulizzatori.

E' importante sottolineare che, come per il settore alimentare, anche per i farmaci la legislazione ha un effetto diretto e fortissimo sulle modalità di confezionamento: scelta dei materiali, requisiti di pulibilità delle macchine confezionatrici, requisiti di "child resistance" o di "tamper evidence", indicazioni di legge sulle etichette, ecc.

Per quanto riguarda i materiali impiegati in questo settore, la delicatezza e criticità delle reazioni chimiche impone una grande cura nella scelta dell'imballaggio primario. Questo è un principio generale, che tuttavia ha una importanza particolare nel caso delle forme farmaceutiche liquide. Infatti i liquidi entrano strettamente a contatto con l'intera superficie interna del contenitore e quindi la possibilità di interazione è molto elevata.

Particolare cura va posta non soltanto nella scelta dei materiali plastici, ma anche dei vari tipi di vetro, sebbene questo sia un materiale ritenuto generalmente inerte. Nelle applicazioni farmaceutiche è necessario distinguere fra tre tipi di vetro: il vetro neutro, quello alcalino, e quello trattato superficialmente. Inoltre va ricordato che anche i liquidi confezionati in vetro possono subire contaminazioni da parte del contenitore: infatti alcune particelle di vetro possono staccarsi per erosione. Questo fenomeno è più probabile nel caso di soluzioni alcaline sterilizzate in autoclave.

I materiali plastici, più utilizzati per il confezionamento dei farmaci sono le poliolefine (LDPE, HDPE, LLDPE, e PP), il PVC e il PS. Meno diffusi sono il PET e il PC (policarbonato).

Tuttavia, la varietà delle sostanze usate in farmacia e la gravità degli effetti di interazioni indesiderate fanno sì che ogni prodotto debba essere sempre valutato come un caso a se stante.

Alcuni esempi riportati in letteratura riguardano l'incompatibilità tra conservanti e materiali costituenti il flacone, l'effetto dell'agitazione meccanica sul distacco di particelle dal contenitore, l'incompatibilità tra farmaci e chiusure. In quest'ultimo caso, per esempio, la cristallizzazione dello zucchero contenuto in uno sciroppo aveva danneggiato il rivestimento in lattice del tappo, con la conseguenza di un contatto diretto tra il farmaco e l'alluminio del tappo stesso.

I contenitori usati normalmente per le forme farmaceutiche liquide non iniettabili sono i flaconi e, in misura minore, le fiale. Esistono inoltre contenitori particolari come le confezioni monodose in materiale plastico per il collirio.

5.3 Il confezionamento dei prodotti per l'igiene personale

Alla categoria dei prodotti per l'igiene personale appartengono principalmente il sapone, il dentifricio, lo shampoo, il bagnoschiuma ed il deodorante.

Per quanto riguarda il settore dei saponi, una delle voci che incide maggiormente sul prezzo del prodotto al consumatore è l'imballaggio. Si possono distinguere diverse confezioni:

- l'incarto classico, costituito da cartoncino e carta, copre tutta la fascia medio-bassa del mercato;
- il cosiddetto flow-pack, che consente una confezione ermetica impiegando film plastico, è il sistema di confezionamento emergente per il costo sensibilmente più contenuto (nonostante l'utilizzo di questo materiale richieda variazioni sulle macchine esistenti, poichè nell'operazione di saldatura la plastica ha un comportamento diverso dalla carta);
- i saponi confezionati "nudi" all'interno dell'astuccio;
- incarto classico inserito in un astuccio per la fascia alta del mercato. Si tratta di vero e proprio overpacking, ma l'astuccio oltre a trasmettere un'immagine di maggiore qualità del prodotto contenuto, consente di fornire informazioni al consumatore e, allo stesso, tempo di proteggere il sapone da possibili urti che lo danneggerebbero inevitabilmente.

Passando in rassegna altre categorie di prodotti, nel segmento del dentifricio, la tendenza è l'esplorazione di nuove tecniche di stampa, tipo la stampa olografica, che permette di ottenere particolari effetti visuali e attirare l'attenzione del consumatore.

Si stanno intraprendendo operazioni anche sull'imballo secondario, cioè l'astuccio che contiene il tubetto di dentifricio. Alcune multinazionali stanno considerando, su base sperimentale, di rimuovere l'astuccio. Questo significa, però, rinunciare alla comunicazione, a danno anche dell'immagine del prodotto nei confronti del consumatore.

Per quanto riguarda bagnoschiuma e shampoo, la strada che stanno seguendo alcuni produttori è di avvicinarsi sempre più alla qualità cosmetica. Oltre, naturalmente, alla particolare formula del prodotto, l'operazione che ha dato l'impronta più significativa è stata la trasformazione radicale del packaging: è stato abbandonato il classico flacone da mass market, non attraente, per prediligere un pack più ricercato. In questo caso, per raggiungere l'obiettivo, il punto di partenza è stato il design, più accattivante, per poi passare alla scelta di alcuni materiali quali pigmenti perlescenti per creare l'effetto brillantezza.

Un'operazione di packaging di questa portata richiede, comunque, un'ottica di contenimento dell'incidenza del costo dell'imballaggio. A tal fine l'unica strada percorribile è agire sulle economie di scala, standardizzando su base globale il nuovo imballaggio.

5.4 La terza macrocategoria

Se considerato nel suo insieme e posto a confronto con i settori alimentari/bevande e farmaci/cosmetici, questo "terzo settore" dell'imballaggio presenta una maggiore varietà di contenitori e di materiali e una minore criticità dei processi di confezionamento. Infatti ai materiali impiegati in campo farmaceutico e alimentare si affiancano molte altre soluzioni di imballaggio; per esempio, è ampiamente utilizzato il polistirolo espanso per strutture avvolgenti e imbottiture, oppure il velluto per i gioielli, o i materiali antistatici per i dispositivi elettronici.

D'altro canto in questo settore non si hanno particolari problemi di conservazione (almeno in linea generale) e quindi non sono richieste confezioni in atmosfera modificata, sterilizzazione o altro.

Prevalgono, dunque, gli aspetti ingegneristici in senso stretto (dimensioni, pesi, robustezza) e passano in secondo piano gli aspetti chimici e microbiologici.

5.4.1 Il confezionamento dei prodotti rivolti al consumatore

La terza macrocategoria "residuale" può essere suddivisa innanzitutto in base al destinatario dei prodotti: alcuni di essi sono rivolti al consumatore finale, mentre altri si indirizzano all'industria. Di seguito viene riportata una classificazione dei prodotti rivolti al consumatore:

- Prodotti chimici: si tratta di prodotti chimici specifici, quali piccoli barattoli di vernice, lattine d'olio per motori, insetticidi, colle, ecc.
- Prodotti elettronici: un importante settore applicativo del confezionamento è quello che riguarda i prodotti della cosiddetta "elettronica di consumo". Con questa espressione si indicano apparecchi radio e televisivi, telefoni cellulari, personal computer con le loro periferiche, fotocamere digitali, ecc. Tutti questi prodotti sono accomunati da alcuni fattori: 1) elevato contenuto tecnologico e quindi necessità di un imballo molto protettivo e di un notevole corredo di istruzioni; 2) target costituito da consumatori giovani, sensibili all'immagine del prodotto. I grandi televisori e i grandi hi-fi, tuttavia, pongono requisiti simili a quelli dei grandi elettrodomestici (vedi oltre). Un cenno a parte meritano i materiali di consumo come le cartucce per stampanti ink-jet. Si tratta di prodotti concettualmente simili a componenti o a ricambi per uso industriale, ma si rivolgono al consumatore finale. Spesso, quindi, la loro confezione è relativamente sofisticata, ma l'involucro esterno deve rispondere anche ai requisiti comunicativi tipici di un bene esposto in un negozio.
- Elettrodomestici: i piccoli elettrodomestici - asciugacapelli, rasoi, frullatori, tostapane, ecc. - vengono prelevati direttamente dallo scaffale e quindi il loro imballo si rivolge anche al consumatore finale. Esso deve quindi svolgere soprattutto una funzione comunicativa e gli altri requisiti non sono particolarmente stringenti, in quanto questi prodotti di solito sono leggeri e poco delicati. Al contrario, i grandi elettrodomestici (frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie, ecc.) sono pesanti e ingombranti e l'imballo deve rispondere principalmente a precisi requisiti di protezione del contenuto. La confezione esterna non assolve alcuna funzione comunicativa, essendo generalmente esposti dei campioni, visibili al consumatore.
- Abbigliamento e calzature: in questo settore i requisiti tecnologici sono molto limitati e tendono a rimanere invariati negli anni. Tuttavia anche in questo campo applicativo così stabile esistono fattori di cambiamento: l'emergere di nuovi canali di vendita o la massificazione dei prodotti di lusso che richiedono in grandi volumi confezioni belle e accurate.
- Gioielli e orologi: in questo caso il confezionamento ha una funzione di immagine; i metalli preziosi non richiedono precauzioni particolari se non quelle legate agli shock meccanici. I motivi di interesse stanno appunto nello sviluppo di confezioni piccole e molto accurate, spesso dotate di rivestimenti in velluto, ecc. Diversa è la situazione per gli orologi: quelli a basso costo sono prodotti di largo consumo e quindi il confezionamento deve rispondere anche a requisiti di economicità e comunicazione, oltre a garantire protezione da danneggiamenti meccanici.
- Mobili e complementi d'arredo: per questi prodotti si ripropone una distinzione simile a quella tra piccoli e grandi elettrodomestici. L'imballo dei mobili risponde soprattutto a requisiti di protezione durante il trasporto, mentre i complementi d'arredo (piatti, bicchieri, vasi, lampade, ecc.) sono oggetti di piccole dimensioni, prelevati direttamente dal consumatore e quindi i requisiti comunicativi dell'imballo sono importanti.

5.4.2 Il confezionamento dei prodotti rivolti all'industria

Di seguito viene riportata una classificazione dei prodotti rivolta all'industria.

Componenti meccanici ed elettronici: in questo settore si concentra un elevato volume di scambi "da industria a industria" di prodotti confezionati. I componenti sono prodotti lavorati, spesso enormemente complessi (si pensi ad un microprocessore), che entrano a far parte, come semplici mattoni costruttivi, di altri prodotti ad altissimo valore aggiunto. Si può operare una prima suddivisione tra componenti meccanici e componenti elettronici. In linea generale i primi sono più pesanti, più ingombranti, e meno delicati dei secondi. Evidentemente alcuni componenti meccanici, come le viti, non pongono problemi di confezionamento ma, se si amplia questa categoria fino a comprendere i ricambi per autoveicoli, emergono diverse difficoltà quali fragilità, necessità di identificazione precisa, ecc. Anche alcuni tipi di componenti elettronici non sono particolarmente delicati (si pensi, ad esempio, alle resistenze) ma generalmente i componenti a semiconduttore sono molto delicati sia dal punto di vista meccanico (essendo ricoperti di minuscoli contatti elettrici) sia dal punto di vista elettrico (devono essere protetti dall'elettricità statica).

Prodotti chimici di uso industriale: l'industria chimica è certamente uno dei principali soggetti che immettono sul mercato prodotti rivolti non già al consumatore bensì ad altre industrie. La gamma dei prodotti chimici è estremamente ampia e diversificata: un inventario parziale comprende fertilizzanti, anticrittogamici, insetticidi, oli lubrificanti, vernici, solventi, inchiostri, colle, sostanze a base di silicone, materie plastiche, ecc. È difficile individuare caratteristiche comuni a prodotti così diversi tra loro, ma è abbastanza frequente che essi siano tossici o nocivi e talvolta corrosivi.

Un aspetto importante nel confezionamento di queste sostanze, quindi, è la protezione, ma secondo una logica opposta rispetto a quella che regola il settore alimentare: non si tratta tanto di preservare il prodotto, quanto di garantire la sicurezza del consumatore che è destinato ad utilizzarlo. Di qui il notevole peso delle normative, che influiscono non solo sul confezionamento in senso stretto ma anche sul trasporto, sullo stoccaggio e sullo smaltimento dei rifiuti da imballaggio.

Per quanto riguarda lo smaltimento, va osservato che in linea generale il contatto con prodotti tossico-nocivi rende tossico-nocivo anche un imballo di per sé assolutamente innocuo.

Comunque, occorre aggiungere che molte sostanze chimiche necessitano di una protezione anche per salvaguardare le loro caratteristiche (per es. evaporazione dei solventi).

Un'ultima considerazione riguarda i volumi di prodotti chimici impiegati: queste sostanze, infatti, sono spesso utilizzate come materiale di partenza nei processi di trasformazione e quindi sono richieste in grosse quantità. Di qui deriva la necessità di contenitori di grande capacità, facili da trasportare e da svuotare.

Una classificazione funzionale può essere operata per distinguere i contenitori utilizzati per il trasporto e i contenitori rivolti all'utilizzatore finale. Nel primo caso i contenitori sono ad alta e media capacità, impiegati generalmente per alimentare processi produttivi; nel secondo caso, invece, i contenitori sono di piccola capacità, chiamati anche a facilitare una funzione legata all'uso immediato del prodotto.

Per quanto riguarda la prima categoria, la tipologia dei contenitori può essere ricondotta a quattro tipi principali:

- i fusti per i prodotti liquidi - usati ampiamente per trasportare medie quantità di prodotti chimici liquidi. Ai classici fusti in lamiera d'acciaio si sono affiancati, recentemente, quelli in materiale plastico. L'intera materia dei fusti, dalle loro caratteristiche e prestazioni, è regolata da standard e da organizzazioni internazionali.

- le bulk bag - note anche col nome FIBC (flexible intermediate bulk containers), sono contenitori delle dimensioni di un pallet. Realizzate generalmente in film o tessuto plastico, di solito vengono riempite e sollevate dall'alto, svuotate dal fondo. Il trasporto delle bulk bag richiede alcune precauzioni, in quanto questi contenitori sono piuttosto instabili a causa del peso elevato e della consistenza non rigida. Esse, inoltre, si prestano all'uso multiplo perchè i "vuoti" occupano poco spazio. In alcune applicazioni questi contenitori vengono dotati di un rivestimento interno usa e getta, per evitare che la struttura portante venga a contatto col prodotto. Le bulk bag offrono svariati vantaggi: sono più economiche rispetto ai contenitori di dimensioni inferiori, assecondano le nuove esigenze legate ai limiti massimi del peso sollevabile manualmente da un operatore, possono essere conservate all'aperto, evitando il ricorso a silos e capannoni. Gli standard di prestazioni e di sicurezza di questi contenitori vengono fissati e controllati in modo rigoroso da vari organismi di standardizzazione e organizzazioni di settore.
- i sacchi - realizzati in carta multistrato o in plastica. I primi sono gli eredi dei vecchi sacchi in tela e vengono ottenuti con almeno due strati di carta non uniti tra loro; possono essere aperti ad un'estremità oppure chiusi e dotati di una valvola che permette il riempimento. Il tipico settore applicativo dei sacchi multiwall è l'industria delle costruzioni. Per quanto riguarda i sacchi in plastica, un' interessante tendenza è il confezionamento sotto vuoto delle polveri, che permette di ottenere blocchi duri e squadrati.
- le scatole in cartone - utilizzate per confezionare prodotti chimici in polvere; alcuni tipi di scatole contengono un sacco in plastica, un imballo primario molto leggero che si "sporca" per il contatto con la sostanza chimica, mentre la scatola vera e propria rimane pulita. Dopo l'uso le due parti dell'imballo vengono separate e seguono percorsi di riciclaggio diversi.

Capitolo 6

L'IMBALLAGGIO E L'AMBIENTE

6.1 Introduzione

La difficoltà di gestire quantità crescenti di rifiuti di ogni genere e il loro impatto sull'ambiente caratterizza ormai in modo permanente la realtà della parte industrializzata del mondo.

Per questo motivo sono di scottante attualità le discussioni che, in varie sedi politiche e diplomatiche, vengono condotte sulle prospettive di un equilibrio possibile della società contemporanea.

Ai sensi della normativa vigente (D.P.R. n. 915/1982), i rifiuti sono suddivisi nelle seguenti categorie in funzione della loro origine:

- rifiuti solidi urbani (RSU), se provenienti dalle utenze domestiche, al cui smaltimento devono provvedere obbligatoriamente i comuni;
- rifiuti speciali (RS), se si originano da attività agricole, artigianali, commerciali, industriali e di servizi, che non siano assimilabili, per qualità e/o quantità, ai RSU; il loro smaltimento è a carico dei produttori;
- rifiuti speciali assimilati agli urbani (RSAU), costituiti dai rifiuti speciali che, per qualità e/o quantità, sono assimilati dai Comuni ai RSU.

Tra le varie categorie di rifiuti, destano particolare preoccupazione quelli che si generano nelle grandi aree metropolitane, in prevalenza di origine domestica (RSU).

Infatti il continuo incremento quantitativo di questa categoria di rifiuti, legato al prevalere di modelli di consumo più orientati alla quantità che alla qualità, non è stato generalmente accompagnato da un adeguato potenziamento dell'efficienza degli enti preposti alle funzioni di controllo e gestione.

Sono numerose le cause che, in particolare nel contesto italiano, rendono oggi complesse le attività di smaltimento e gestione degli RSU. Schematicamente è possibile individuare cinque principali fattori di crisi:

- a) una quantità crescente di rifiuti di provenienza domestica. Secondo gli ultimi dati forniti dal Consorzio Replastic [18], in Italia si producono annualmente circa 100 milioni di rifiuti, di cui 25.780.000 rifiuti solidi urbani;
- b) uno scarso funzionamento dell'apparato pubblico di controllo, in termini di gestione delle risorse organizzative, tecnologiche e finanziarie finalizzate alla raccolta, trattamento e smaltimento degli RSU. Alla limitata efficienza del settore pubblico si è accompagnato, fino ad ora, un livello insoddisfacente di cooperazione tra settore pubblico e settore privato;
- c) la difficile creazione di consenso attorno all'insediamento di impianti di trattamento e smaltimento rifiuti e, più in generale, all'innovazione tecnologica in questo settore;

- d) la strutturale inadeguatezza di un sistema di smaltimento come quello italiano, basato principalmente sulle discariche (86% di rifiuti smaltiti mediante interrimento). Infatti, al di là di ogni valutazione comparativa sul possibile impatto ambientale delle discariche rispetto a quello di impianti di incenerimento realizzati in piena regola con gli standard di emissione in atmosfera, resta il fatto dei limiti oggettivi di capacità delle discariche esistenti rispetto alla quantità di RSU effettivamente prodotti. Una circostanza, questa, cui va aggiunta la ormai cronica carenza di spazio, proprio nelle aree urbane, per la creazione di nuove discariche;
- e) la carenza di una informazione adeguata e corretta dei cittadini, capace di generare, accanto ad una sensibilità non conflittuale e cooperativa per i problemi di impatto ambientale dei rifiuti, comportamenti corretti in termini di compatibilità ambientale nelle fasi di consumo e post consumo.

L'esperienza concreta nei vari Paesi ha dimostrato che, al di là del grado di efficienza degli apparati di controllo pubblico, c'è un limite di tipo quantitativo che caratterizza, attualmente, la funzionalità dei sistemi di smaltimento: c'è un limite di capacità e di spazio per le discariche e c'è un limite di accettazione sociale per gli impianti di incenerimento.

L'unica soluzione possibile consiste nel metter da parte la convinzione per cui l'inquinamento da rifiuti può essere adeguatamente superato mediante forme corrette di eliminazione, e nel promuovere programmi di intervento a monte, orientati verso una riduzione della produzione dei rifiuti.

6.2 Imballaggi e rifiuti da imballaggio in Italia

Le strategie di riduzione dei RSU messe in campo nei vari Paesi sono accomunate da una tendenza costante: considerare gli interventi di ottimizzazione ecologica sugli imballaggi come il punto focale delle nuove politiche preventive e di valorizzazione economica dei rifiuti.

Infatti, i rifiuti costituiti da imballaggi rappresentano una quota significativa dei RSU.

In Italia, a fronte di un consumo annuo complessivo di circa 10 milioni di tonnellate di imballaggi, si stima che ne confluiscano circa 4,8 milioni negli RSU: una quantità che corrisponde a circa il 20% in peso di questa tipologia di rifiuti [1].

Rifiuti solidi urbani prodotti in Italia (t)

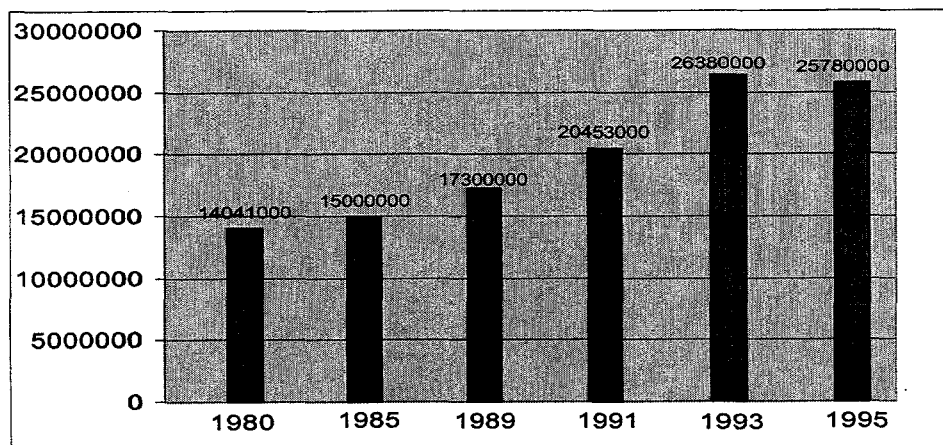


Figura 6.1: fonte OCSE

Secondo elaborazioni effettuate dalla ECR Italia, invece, i rifiuti di imballaggio provenienti dalle famiglie (e quindi rientranti nella categoria degli urbani) ammonterebbero a 4.787.000 tonnellate, mentre quelli prodotti da attività artigianali, commerciali, industriali, ecc., sarebbero pari a 4.656.000 tonnellate. Per dettagli si veda la tabella successiva, in cui gli imballaggi sono suddivisi anche per tipologia d'impiego.

Origine e tipologia dei rifiuti di imballaggio [t] (1993)

ORIGINE	TIPOLOGIA		
	Primari	Secondari/Terziari	Totale
Urbani, dalle famiglie	4.265	522	4.787
Speciali da:	300	4.356	4.654
-artigianato, servizi, commercio	50	2.520	2.570
-commercio organizzato (GDO)	50	1.390	1.440
-industria	200	446	646
TOTALE	4.565	4.878	9.443

Tabella 6.1: fonte ECR Italia

Quanto incidano gli imballaggi sulla produzione di rifiuti è ulteriormente dimostrato da un dato relativo alle plastiche. Nel 1992, nel consumo complessivo di materie plastiche in Europa (24.730.000 t), il consumo di imballaggi ha occupato una quota del 40%, ma, nella fase di post-consumo e quindi di produzione di rifiuti, il rapporto si è invertito: sulla quantità totale di rifiuti plastici prodotti nello stesso anno (15.230.000t), il 59% è stato infatti rappresentato da imballaggi [1].

A tutto ciò va aggiunta la facilità di razionalizzazione della raccolta differenziata, grazie alla relativa omogeneità dei materiali impiegati.

Schematicamente, le politiche di gestione dei rifiuti applicate al settore degli imballaggi e, più in generale, le strategie di limitazione dell'impatto ambientale degli imballaggi puntano a tre principali obiettivi (Dlgs 5 febbraio 1997 n.22):

- ridurre alla fonte i rifiuti da imballaggi, con interventi innovativi sulla progettazione;
- ottimizzare l'uso di risorse e di energia, riducendo al contempo il conferimento allo smaltimento finale, mediante attività di recupero e di riutilizzo o riuso;
- ridurre i costi e l'impatto dello smaltimento mediante la produzione di imballaggi facilmente smaltibili.

Come si vede gli interventi a favore dell'eco-compatibilità degli imballaggi sono destinati a operare prima e dopo il consumo e si possono così riassumere:

- dematerializzazione* - riduzione della quantità di materiali impiegati nella produzione di imballaggi con duplice risultato positivo: risparmio di energia, minore produzione di rifiuti;
- sostituzione di materiali* - sostituzione di materiali difficilmente recuperabili con materiali più idonei al riciclo e recupero di energia per favorire la massima valorizzazione economica dei rifiuti di imballaggio;
- progettazione in funzione del riciclo* - standardizzazione dei materiali utilizzati e sostituzione di imballaggi a composizione plurima con imballaggi monomateriali o imballaggi multimateriali, purché i materiali stessi siano facilmente ed economicamente separabili; *riutilizzo* - operazione di nuovo riempimento dello stesso imballaggio o di nuovo utilizzo identico a quello per cui l'imballaggio era stato originariamente concepito;

- *riciclaggio* - recupero di materiali di imballaggio mediante ritrattamento in un processo di produzione identico a quello originario o di altro tipo, compreso il riciclaggio organico;
- *riciclaggio organico* - trattamento aerobico (compostaggio) o anaerobico (biometanazione) delle parti biodegradabili dei rifiuti di imballaggio, con produzione di residui organici stabilizzati o di metano, con esclusione dell'interramento in discarica;
- *recupero di energia* - la utilizzazione dei rifiuti di imballaggio combustibili per produrre energia mediante incenerimento diretto, con o senza altri rifiuti ma con recupero del calore.

6.3 Eco-compatibilità dei diversi tipi di materiali

Per approfondire ulteriormente le opzioni associabili ai diversi "interventi" di ottimizzazione ecologica, può essere utile esaminare le caratteristiche di degradabilità dei singoli materiali. Gli studi più recenti compiuti in questa direzione indicano che, tra i vari materiali normalmente impiegati nella produzione di imballaggi, nessuno primeggia in termini di eco-compatibilità.

Iniziando dall'alluminio, i suoi punti di forza dal punto di vista ecologico sono:

- abbondanza di materia prima;
- elevata capacità di riutilizzo;
- elevata capacità di recupero motivata dall'alto valore dei residui;
- elevata percezione da parte del pubblico della sua idoneità al riciclaggio;

Gli inconvenienti associati all'uso dell'alluminio invece sono:

- elevato consumo di energia per la produzione con materia prima vergine;
- rischi di inquinamento connessi con i processi di purificazione;

Per quanto riguarda il vetro, le caratteristiche favorevoli all'ambiente sono:

- abbondanza di materia prima;
- caratteristiche igieniche rispetto al contenimento di cibi e bevande;
- elevata capacità di riutilizzo in seguito a restituzione e nuovo riempimento;
- sistemi di raccolta differenziata del vetro ampiamente funzionanti nei vari paesi;
- alta percezione da parte dei consumatori delle sue possibilità di recupero in generale e di riciclaggio in particolare;

Anche per questo materiale non mancano, però, le implicazioni negative:

- consumo significativo di energia in fase di produzione;
- rischi di inquinamento connessi con la produzione in fornace;
- peso relativamente elevato degli imballaggi in confronto con altri materiali utilizzabili;
- pericoli per la sicurezza dovuti a possibili frantumazioni;

La carta è il materiale sicuramente vissuto dal consumatore come il meno aggressivo nei confronti della natura e dell'ambiente. Ciò dipende da:

- materie prime tipicamente rinnovabili;
- notevole degradabilità;
- efficienza dei sistemi di raccolta e riciclaggio per questo specifico materiale;
- ulteriore possibilità di ottenere recupero di energia in seguito alla sua eliminazione mediante termodistruzione;

Gli inconvenienti legati a questo materiale sono:

- consumo di energia tuttora elevato
- frequente utilizzo come materiale di copertura in associazione ad altri materiali.

Per quanto riguarda la plastica, essa presenta degli aspetti sicuramente competitivi quali:

- efficienza ed economicità nell'imballaggio dei singoli prodotti;
- igienicità per cibi e bevande, con buon effetto protettivo da eventuali danni materiali;

- capacità di consentire elevato recupero energetico per termodistruzione;
- suscettibilità di elevato grado di recupero come scarto di produzione nell'ambito del medesimo impianto;

Non mancano però problematiche irrisolte, quali:

- origine da materie prime non rinnovabili;
- ingombro notevole nella massa dei rifiuti;
- difficoltà di separazione dalla massa di rifiuti solidi senza una preventiva ed adeguata raccolta differenziata;
- non completa degradabilità;
- frequente utilizzo in associazione con altri materiali, con maggiori difficoltà di recupero.

6.4 La gestione dei rifiuti in plastica

La disciplina normativa italiana in materia di rifiuti è stata profondamente innovata dall'entrata in vigore del Dlgs 1997 n.22 (Decreto Ronchi) e del successivo Dlgs 8 novembre 1997.

Tra i cambiamenti principali introdotti dalla nuova normativa, sono rilevanti quelli che riguardano il settore dei rifiuti da imballaggio ed in particolare le strutture organizzative dei Consorzi di recupero di tali rifiuti.

Innanzitutto è stato costituito il Consorzio Nazionale Imballaggi, denominato CONAI, le cui finalità sono il raggiungimento degli obiettivi globali di recupero e riciclaggio, il raccordo con l'attività di raccolta differenziata effettuata dagli Enti Locali, il coordinamento dei singoli Consorzi di Filiera, costituiti per ciascuna tipologia di materiale da imballaggio.

Al CONAI spetta il compito di assicurare il proseguimento delle attività svolte fino ad oggi dai Consorzi Nazionali Obbligatori (tra cui Replastic) nati con la legge 475/88 precedentemente in vigore.

Per il materiale plastico si è costituito il Consorzio Nazionale per il Recupero degli imballaggi in Plastica che allargherà il campo di attività di recupero e riciclaggio dagli attuali contenitori in plastica per liquidi post-consumo a tutti i rifiuti da imballaggio in plastica. A questo Consorzio volontario aderiscono imprese produttrici e importatrici di materia prima destinata alla fabbricazione di imballaggi in plastica e imprese produttrici o importatrici di imballaggi in plastica o relativi semilavorati.

Le innovazioni introdotte dalla normativa sopra citata riguardano anche il criterio della gestione dei rifiuti, secondo tre principi guida fondamentali:

- prevenire: la riduzione della produzione e della pericolosità dei rifiuti devono caratterizzare tutti i settori della produzione;
- incentivare il riutilizzo, il riciclaggio, ed il recupero di materia prima dai rifiuti;
- ottimizzare lo smaltimento.

I nuovi obiettivi stabiliti dal decreto dovranno essere raggiunti entro 5 anni sul totale degli imballaggi immessi sul mercato. I valori espressi in peso, sono:

- ⇒ da 50 a 65% di rifiuti da imballaggi da recuperare;
- ⇒ da 25 a 45% di rifiuti da imballaggi da riciclare

6.4.1 La raccolta delle bottiglie e dei flaconi in plastica

L'esperienza maturata dal Consorzio Replastic nel riciclaggio delle bottiglie e dei flaconi in plastica, che rappresentano una parte considerevole degli imballaggi conferiti ogni anno in discarica, consente di avere un quadro generale delle problematiche connesse al riciclaggio di qualsiasi manufatto realizzato con materiale polimerico.

I vantaggi della raccolta differenziata, rispetto alla pratica predominante di smaltimento, sono:

- minore impatto ambientale, sottraendo alle discariche, ormai in molti casi sature e insufficienti, una frazione dei rifiuti di notevole volume;
- risparmio di risorse consentendo, attraverso la selezione e la rilavorazione, di ottenere dai contenitori post-consumo materia plastica pronta all'uso, sostitutiva del corrispondente materiale vergine, oppure, attraverso la combustione, recupero energetico;
- contenimento dei costi eliminando le spese del processo passivo di trattamento dei rifiuti indifferenziati.

Nella figure seguenti sono sintetizzati i dati riguardanti la raccolta differenziata di bottiglie e flaconi in plastica (anno 1996).

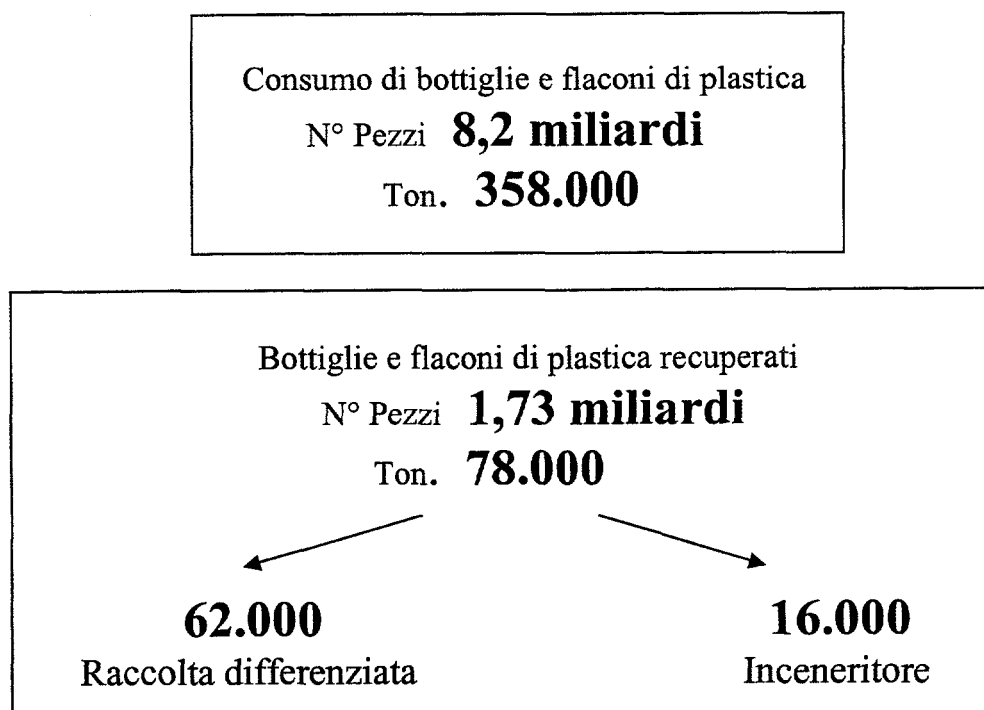


Figura 6.2: fonte Replastic

6.4.2 Il riciclaggio delle bottiglie e dei flaconi in plastica

L'obiettivo principale del sistema industriale per il riciclaggio delle bottiglie e dei flaconi in plastica, coordinato da Replastic, è riuscire a recuperare, dalla massa indifferenziata dei rifiuti, il PE, il PET e il PVC. Il raggiungimento di tale obiettivo ha richiesto la messa a punto di procedure tecnologiche complesse che devono necessariamente coprire l'intero processo: dalla raccolta del rifiuto all'immissione sul mercato del prodotto ottenuto dal riciclaggio. Nella figura seguente è schematizzato il processo nelle diverse fasi costitutive.

Sintesi del sistema di riciclaggio Replastic

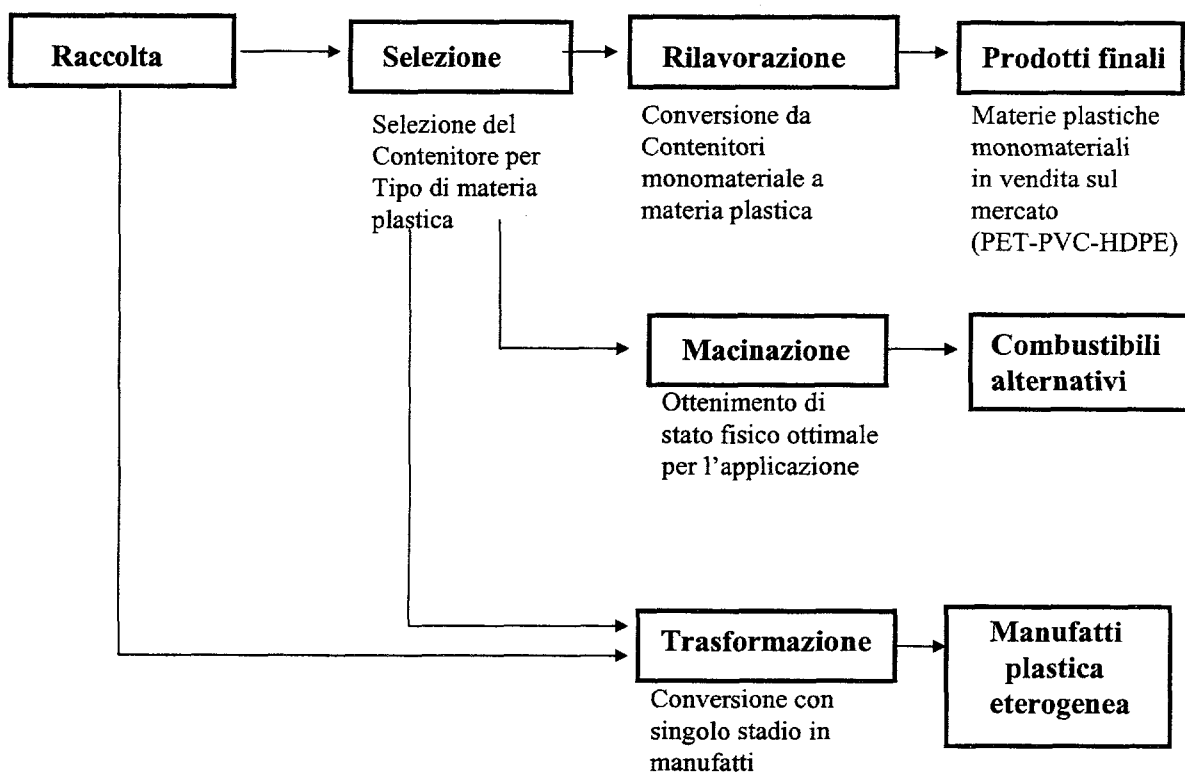


Figura 6.3: fonte Replastic

Il processo di riciclaggio di bottiglie e flaconi di plastica che produce i materiali più puri inizia con la selezione, una fase fondamentale che non esiste nel riciclaggio di altri materiali. Infatti, i contenitori raccolti possono essere realizzati con plastica di diversa natura chimica (PVC, PE, PET), e, per poter essere rilavorati, devono essere separati per gruppi omogenei. Tale operazione può essere manuale o automatica. Una volta avvenuta la selezione i contenitori prendono diverse direzioni secondo i diversi tipi di riciclaggio.

Il riciclaggio meccanico omogeneo o rilavorazione consente di ottenere materie plastiche pure (le cosiddette prime seconde), che vengono diffusamente utilizzate negli stessi settori applicativi del polimero vergine:

- il PE riciclato viene utilizzato nei contenitori per detergenti realizzati in coestrusione, come strato intermedio tra due di plastica vergine. Inoltre il PE riciclato si usa per produrre fogli e film, tubi e manufatti per l'edilizia;
- il PET riciclato viene riutilizzato nello stampaggio di elementi della componentistica auto e per la produzione di fibre e filati tessili, imbottiture per abbigliamento e arredamento, maglioni;
- il PVC riciclato viene assorbito dal settore dell'edilizia sotto forma di tubi, raccordi, condotti, passacavi.

Il riciclaggio meccanico eterogeneo o trasformazione si applica alla plastica eterogenea, cioè al prodotto della raccolta non selezionato e/o alle frazioni provenienti dalla selezione (oggetti diversi dai contenitori per liquidi o contenitori scartati) per la trasformazione diretta in materiali o manufatti. La plastica "mista" ottenuta ha particolari caratteristiche di prestazione, durata, resistenza e costo contenuto, che la rendono competitiva rispetto ai materiali tradizionali, senza contare il "plus-valore" determinato dalla valenza ambientale del suo riutilizzo. Si possono realizzare con la plastica eterogenea riciclata: parchi giochi per bambini, attrezzi da ginnastica, panchine per giardini, fioriere, manufatti per arredo urbano ed altri innumerevoli oggetti.

6.4.4 Il recupero energetico

La quota dei contenitori in plastica per liquidi destinata al recupero energetico può raggiungere il 50% dei quantitativi stabiliti dalla legge 475 come obiettivi minimi di riciclaggio.

Vista l'inesistenza a livello italiano ed europeo di esperienze consolidate di recupero energetico esclusivo da parte di materie plastiche post-consumo e considerata la pratica prolungata di recupero energetico da termovalorizzazione dei RSU, Replastic ha definito una strategia di intervento così articolata:

- supporto continuo al recupero energetico dei contenitori in plastica per liquidi effettuata tramite termovalorizzazione dei RSU;
- produzione di PDF (Packaging Derived Fuel), da affiancare ai combustibili solidi tradizionali nell'impiego in impianti industriali (breve termine);
- attivazione di impianti di produzione energetica, di media capacità, con alte efficienze energetiche ed economiche (medio-lungo termine).

Per quanto riguarda il PDF, ricavato principalmente da PE e PET, un'indagine industriale ha confermato che i forni per la produzione di cemento sono gli utilizzatori potenziali più indicati di questo combustibile alternativo. Inoltre, i grandi volumi di energia richiesti dall'industria del cemento in Italia assicurano l'assorbimento dell'intera produzione programmata di PDF (nel 1996 ne sono state immesse sul mercato 4598 t).

La strategia finale del Consorzio, comunque, è orientata verso la produzione di energia elettrica attraverso impiantistica ad alto rendimento. I vantaggi sono, da un lato, la riduzione delle operazioni di preparazione e di trasporto del materiale, dall'altro la possibilità di ottenere, con minimi impatti ambientali, i massimi rendimenti energetici ed economici.

Bibliografia

- 1) Cioccarelli A. and Frava S. (1994) "Libro Bianco sull'Imballaggio", Istituto Italiano Imballaggio, Milano
- 2) Laboratoire National d'Essais Emballages Magazine (1994), "Manuale dell'Imballaggio", Tecniche Nuove, Milano
- 3) Petersen K. (1999) in "Trends in Food Science & Technology", 10, 52-68
- 4) Selke S. (1996) "Biodegradation and Packaging" (2nd Ed.), Pira International, Leatherhead, UK
- 5) Hujanen M. and Linko Y.Y (1996) in "Appl. Microbiol. And Biotech", 45, 307-313
- 6) Mokino Y. and Hirata T. (1997) in "Postharvest Biology and Technology", 10, 247-254
- 7) Stranz A.A. and Zottola E.A. (1992) in "J. Food Pro.", 55, 782-786
- 8) Kim M. and Pometto III A. L. (1994) in "J. Food Pro.", 57, 1007-1012
- 9) Lamonarca L. (2000), "Imballaggio", 522, 26-29
- 10) Giannangeli G. (2000), "Imballaggio", 522, 32-34
- 11) Landi A. (2000), "Imballaggio", 523, 36-38
- 12) Dainelli D. (1999), "Imballaggio", 518, 42-48
- 13) Martinez E. (2000), "Imballaggio", 521, 42-46
- 14) Buora N. (2000), Imballaggio", 522, 48-51
- 15) Hotchiss, H. (1987), "Food and Packaging Interactions", American Chemical Society, Washington, USA
- 16) Morelli R. (1995), "Imballaggi e rifiuti di imballaggio", 150A
- 17) Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (1998), "Primo rapporto sui rifiuti urbani..."
- 18) Consorzio Replastic (1996), "Il riciclaggio della plastica"
- 19) Croci M. (2000), "Imballaggio", 530
- 20) Marchelli R. (2000), "Imballaggio", 529
- 21) "Italiaimballaggio", Novembre-Dicembre 2000