

Capitolo 7

Materiali e imballaggi cellulosici

I materiali e gli imballaggi cellulosici destinati al settore del packaging alimentare appartengono a categorie molto ampie ed eterogenee: si va, infatti, dai fogli di carta utilizzati per l'avvolgimento diretto degli alimenti a confezioni flessibili e rigide impiegate come contenitori primari e secondari, nonché a materiali, come il cartone e il cartoncino, utilizzati prevalentemente come imballaggio secondario e terziario e in strutture multistrato. Questi materiali e gli imballaggi da essi derivati non sono certamente accomunati dalle tecnologie di trasformazione, che hanno registrato nel corso degli anni un elevato grado di specializzazione proprio in funzione della destinazione d'uso. Ciò che in realtà accomuna tali materiali è la presenza, nella materia prima impiegata, di fibre di cellulosa. Il mondo vegetale, infatti, rappresenta la fonte principale delle materie prime per la produzione di imballaggi cellulosici; questi, di conseguenza, possono essere considerati a tutti gli effetti risorse rinnovabili, il cui livello di biodegradabilità dipende dagli ingredienti e dal processo di trasformazione utilizzato.

La specie vegetale da cui provengono le fibre di cellulosa è ovviamente il primo livello di diversità che può fortemente influenzare le proprietà finali dell'imballaggio cellulosico. Oggigiorno è possibile reperire diverse fonti di cellulosa di origine industriale e, per questo, economica. Tuttavia, la fonte principale per gli utilizzi nel settore del packaging e della stampa è il legno di conifere (legno morbido) e di piante decidue (legno duro); per tale motivo, in questo capitolo si dedicherà particolare attenzione alle fibre del legno.

Quello cartario è un settore assai composito, che si approvvigiona prevalentemente (circa l'80%) di materie prime di importazione e rifornisce quasi in uguale misura il comparto edi-

Tabella 7.1 Dati italiani relativi ai materiali cellulosici nel settore imballaggio*

	2004	2005	2006	2007
Fatturato (Mln euro)	6.348	6.304	6.495	7.000
Produzione (10 ³ t)	5.169	5.163	5.270	5.303
Esportazione (10 ³ t)	379	444	464	460
Importazione (10 ³ t)	74	100	105	106
Consumo nazionale (10 ³ t)	4.864	4.819	4.911	4.949
Aziende	2.500	2.500	2.450	2.450
Dipendenti	38.200	38.200	38.200	38.200

* Su dati dell'Istituto Italiano Imballaggio, 2008

toriale (quotidiani, riviste, libri ecc.) e quello più direttamente collegato alla produzione di contenitori (cartotecnico) e di carte da avvolgimento o imballaggio. Quest'ultimo comparto, che sempre più si avvale di fibre di recupero, trova nel settore agro-alimentare un'importante area di impiego dei suoi prodotti.

La tabella 7.1 riporta alcuni indicatori economici relativi alla fabbricazione dei principali prodotti, rappresentati da cartone ondulato, cartoncino per astucci, carte per avvolgimento e sacchi di carta.

7.1 Struttura morfologica delle fibre cellulosiche

Le pareti delle cellule vegetali sono caratterizzate da un'elevata rigidità e da uno spessore maggiore rispetto a quello delle cellule animali. Ciò è dovuto all'organizzazione strutturale dei componenti della parete cellulare e, in particolare, della cellulosa, che rappresenta il costituente principale. Le lunghe e sottili molecole di cellulosa, infatti, si organizzano in microfibrille che, a loro volta, si uniscono a formare sottili filamenti che possono avvolgersi gli uni agli altri, andando a costituire strutture che prendono il nome di macrofibrille o fibre. Questa particolare struttura, inoltre, conferisce alla cellulosa una resistenza pari a quella di una lamina di acciaio di uguale spessore. Tali fibre sono responsabili di numerose proprietà dei tessuti vegetali; la compattezza, la resistenza e l'organizzazione strutturale che le caratterizza sono infatti sfruttate dall'industria cartaria. L'impalcatura cellulosica della parete è compenetrata da una matrice di molecole non cellulosiche costituite prevalentemente di emicellulosa e lignina.

L'analisi al microscopio elettronico evidenzia due strati nelle pareti di tutte le cellule vegetali: la lamella mediana, chiamata anche sostanza intercellulare, e la parete primaria. Molte cellule depongono anche uno strato ulteriore, la parete secondaria (figura 7.1).

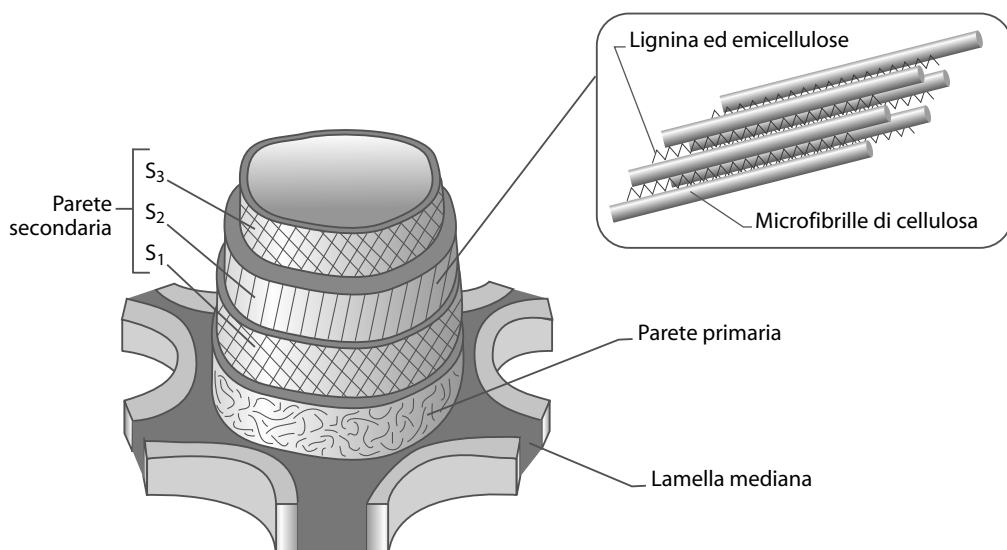


Figura 7.1 Rappresentazione schematica della struttura della parete di una cellula vegetale.

La lamella mediana è composta soprattutto di sostanze pectiche e lignina, che – come si vedrà – deve essere il più possibile allontanata nel processo di produzione della carta. La parete primaria è molto sottile ed è costituita da fibre di cellulosa per metà del suo peso; il resto è rappresentato da emicellulose, sostanze pectiche e glicoproteine. La parete secondaria è a sua volta distinta in tre strati diversi: esterno, mediano e interno, indicati, rispettivamente, con S_1 , S_2 e S_3 . La parete secondaria differisce da quella primaria non tanto per la composizione chimica, quanto per la struttura: infatti è spessa più del doppio e l'orientazione delle sue fibrille di cellulosa è diversa a seconda dello strato. Lo strato S_2 è il più spesso. Le fibrille possono essere disposte parallelamente o perpendicolarmente alla fibra e la loro orientazione può essere misurata attraverso il cosiddetto angolo della fibrilla. Le fibrille allineate con la fibra hanno un angolo minore rispetto a quelle non allineate. In particolare, l'angolo formato dalle fibrille dello strato S_2 influenza le proprietà fisiche delle singole fibre e, quindi, le proprietà del prodotto cellulosico finale.

Al centro della struttura parietale concentrica si trova il lumen, uno stretto canale attraverso il quale scorre la linfa, anch'esso importante per le proprietà del materiale finale. Nel corso del processo produttivo della carta, e in particolare durante la fase di cottura, il lumen può collassare o mantenere la sua forma originale; il foglio che si otterrà sarà compatto e denso nel primo caso e voluminoso e spesso nel secondo.

Infine, la lunghezza e il diametro delle fibre sono di fondamentale importanza per le prestazioni del prodotto finale: quanto più lunghe sono le fibre, tanto più integra sarà la matrice. Infatti i processi di lavorazione chimici o meccanici utilizzati per la produzione di pasta di cellulosa (par. 7.3.2) tendono a danneggiare la fibra. Nei legni cosiddetti morbidi (generalmente provenienti da conifere) le fibre possono raggiungere una lunghezza di 4 mm e un diametro di 30-40 μm . Nei legni duri (generalmente provenienti da latifoglie), invece, la lunghezza delle fibre varia tra 1 e 2 mm e il diametro tra 10 e 40 μm .

7.2 Struttura chimica delle fibre cellulosiche

Dal punto di vista chimico i principali costituenti delle fibre del legno sono cellulosa, emicellulose e lignina. Le proporzioni tra questi costituenti possono variare notevolmente in funzione delle diverse parti del tronco, del tipo di pianta e della stagione. La composizione chimica delle principali tipologie di legno (duro e morbido) è riportata in tabella 7.2.

7.2.1 Lignina

La lignina – ma sarebbe più corretto parlare di polimeri di lignina – è una struttura complessa, non fibrosa, a elevato peso molecolare (10000 dalton) prodotta enzimaticamente nella cellula a opera di precursori. Dal punto di vista chimico il polimero è costituito da differenti acidi e alcoli fenilpropilici (cumarilico, coniferilico e sinapilico) (figura 7.2). Il polimero è quindi il risultato di un ampio numero di combinazioni di siti di polimerizzazione (legami

Tabella 7.2 Composizione chimica dei principali tipi di legno

	Cellulosa (%)	Emicellulose (%)	Lignina (%)
Legno morbido (per esempio, conifera)	41-47	22-32	26-32
Legno duro (per esempio, latifolia)	40-48	28-42	17-26

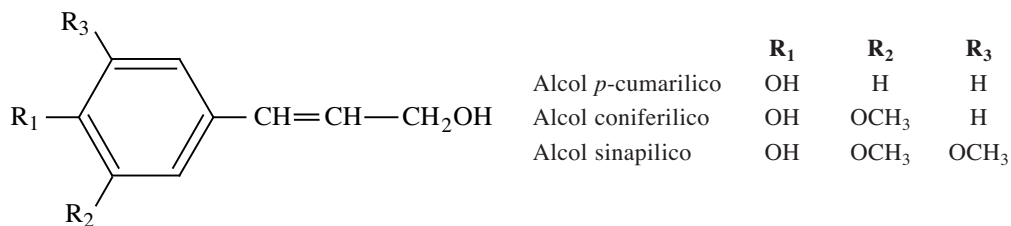


Figura 7.2 Alcol fenilpropilici presenti nella struttura della lignina.

estere, etere e carbonio-carbonio) ed è estremamente ramificato (figura 7.3). Si trova principalmente nelle pareti cellulari, dove svolge un'azione legante; ha infatti la funzione di cementare tra loro le fibre di cellulosa rendendole stabili e resistenti alla pressione. Alla lignina si attribuiscono le proprietà meccaniche e l'idrofobicità del legno.

Nel processo produttivo dei materiali cellulósici, e in particolare della carta, è fondamentale allontanare la lignina, in quanto responsabile della colorazione giallastra che il prodotto finale assume con l'esposizione al sole. La separazione della lignina dalla lamella mediana è relativamente semplice, mentre risulta più difficile eliminare quella che si deposita tra le fibrille. Il diverso trattamento industriale della lignina, e quindi le diverse tecniche per separare le fibre cellulósiche, sono alla base della distinzione tra le tipologie di fibre cartarie.

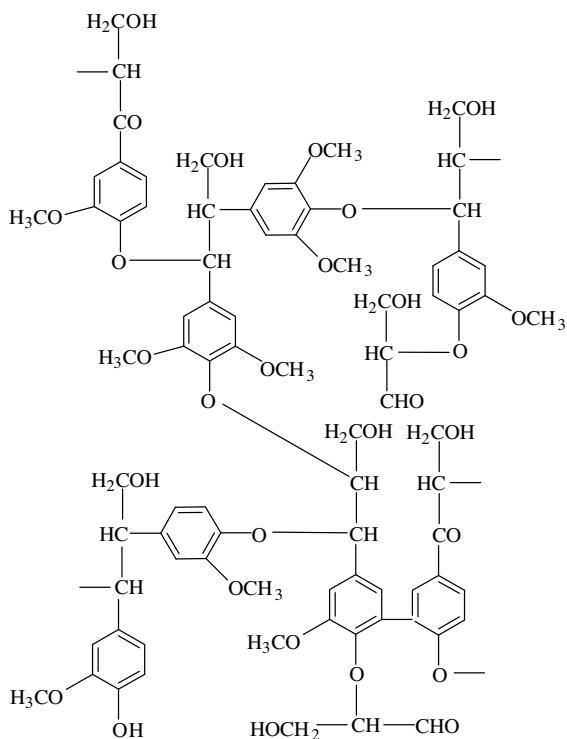


Figura 7.3 Struttura della lignina.

La lignina reagisce con numerosi composti chimici utilizzati nella produzione della carta, causando la formazione di derivati solubili di colore scuro; è quindi necessario ricorrere a operazioni di decolorazione per aumentare il grado di bianco del prodotto finale.

7.2.2 Emicellulose

Con questo termine si intende una miscela di polisaccaridi, soprattutto zuccheri a 5 atomi di carbonio (xilosio e arabinosio) e a 6 atomi di carbonio (galattosio, mannosio e ramnosio). In molti casi la catena principale del polimero (che può essere un omopolimero o un eteropolimero) presenta diramazioni con diverse unità di zuccheri. Le emicellulose sono polimeri più piccoli della cellulosa e sono naturalmente acetilate. L'emicellulosa forma legami idrogeno con la cellulosa e in combinazione con questa funge da materiale strutturale nel legno. Sono noti diversi tipi di emicellulosa: xilani, galattani/arabinolattani e mannani/glucomannani.

Grazie alla loro elevata solubilità in alcali diluiti, le emicellulose possono essere facilmente separate dalla cellulosa nel corso del processo produttivo della polpa di cellulosa. Il residuo di emicellulose è un parametro che viene spesso misurato allo scopo di valutare le caratteristiche della polpa di cellulosa; infatti, quanto maggiore è il contenuto in emicellulose tanto più elevate saranno le forze di tensione e di piegatura. Le emicellulose, inoltre, influenzano la relazione tra carta e acqua, poiché si tratta di composti molto idrofilici. L'aumento di umidità è maggiore nei materiali cellulosici con elevati contenuti in emicellulose, dal momento che queste riducono la cristallinità: più elevato è il grado di cristallinità della carta e più basso è l'assorbimento di acqua. Se la tecnica di produzione prevede l'umidificazione della pasta per incrementare il grado di rigonfiamento (*swelling*), la polpa potrà contenere una maggiore percentuale di emicellulose.

7.2.3 Cellulosa

La cellulosa – il componente più abbondante delle fibre e l'unico con struttura cristallina – è il polimero lineare del β -D(+)-glucopiranosio legato in posizione 1-4 attraverso un legame glucosidico (figura 7.4). Il grado di polimerizzazione (numero di unità fondamentali legate) della cellulosa è dell'ordine di 10^4 , cui può corrispondere un peso molecolare molto elevato (circa $1,62 \times 10^6$ Da).

La struttura rigida e fibrosa tipica delle piante è dovuta al fatto che le molecole di cellulosa disposte tra loro parallelamente possono legarsi con legami idrogeno, dando origine alle cosiddette fibrille di cellulosa che conferiscono la caratteristica consistenza. I legami sono molto stretti quando si formano tra due catene di cellulosa adiacenti (per esempio nelle regio-

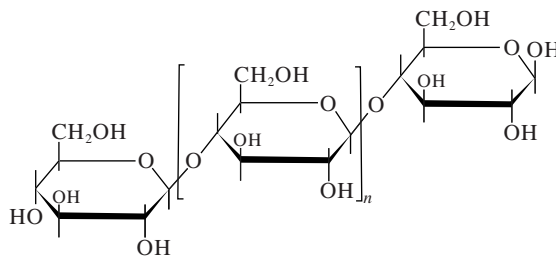


Figura 7.4 Struttura della cellulosa.

ni cristalline della cellulosa pura), mentre tendono a esserlo meno quando tra le catene si interpongono molecole d'acqua. Le proprietà di resistenza meccanica della carta sono dovute in parte a questi legami idrogeno e in parte alla forza delle singole fibre. È però importante sottolineare il fatto che – pur essendo determinanti per le caratteristiche di tenacità del network di fibre – i legami idrogeno tra le catene polimeriche della cellulosa possono non essere sufficienti per conferire particolari doti di resistenza meccanica ai prodotti finali destinati al packaging. Per ottenere tali requisiti, infatti, si aggiungono materiali non fibrosi che tendono a incrementare questi legami.

Anche i legami idrogeno sono influenzati dalla presenza di molecole d'acqua. La relazione tra l'umidità relativa e le proprietà di resistenza meccanica sono piuttosto complesse. La resistenza alla trazione delle fibre, infatti, aumenta all'aumentare dell'umidità relativa: se questa passa dal 10 al 100%, le fibre aumentano il loro grado di plasticità, raddoppiando il loro limite di allungamento. Al contrario, la resistenza alla trazione del network di fibre si riduce quando l'acqua (per valori di umidità relativa crescenti) compete con i siti destinati alla formazione di legami idrogeno tra le fibre. Il risultato è che un foglio di carta umida ha una resistenza alla trazione pari al 5-25% di un foglio di carta ottenuto in condizioni secche.

7.3 Carta e cartone

7.3.1 Materie prime per la produzione di carta e cartone

Il processo produttivo richiede l'impiego di materie prime fibrose (vergini e secondarie), non fibrose, energetiche (energia elettrica, gas naturale e olio combustibile) e acqua (figura 7.5), tanto che l'industria è fortemente vincolata a un'ubicazione nei pressi di fonti idriche e risente pesantemente dei costi energetici. Si stima che per ogni chilo di carta occorranza circa 100 litri di acqua. Gli impianti moderni sono progettati in modo che circa il 90% dell'acqua necessaria venga mantenuto in circuiti chiusi.

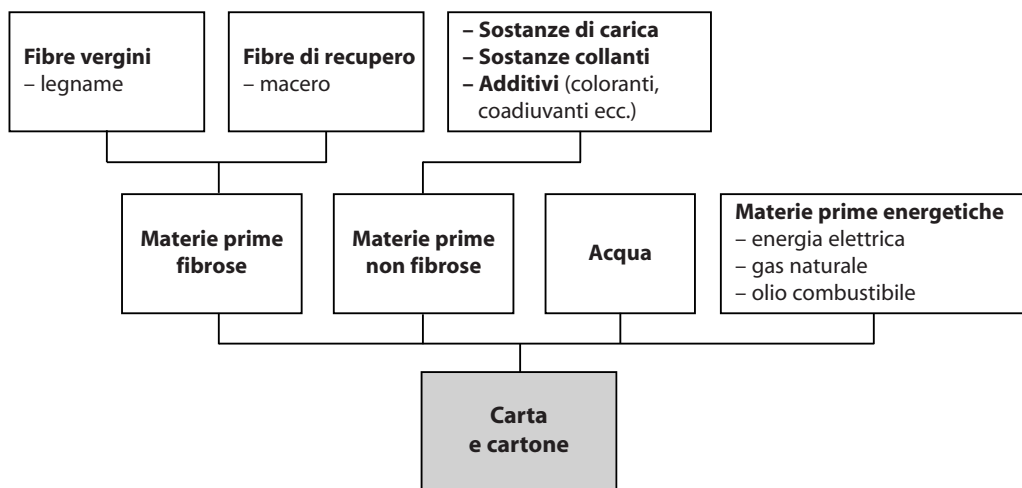


Figura 7.5 Schema relativo alle materie prime utilizzate per la fabbricazione di carta e cartone.

Tabella 7.3 Caratteristiche delle principali fibre cellulosiche utilizzate nella produzione di carta e cartone

Caratteristica	Legno di conifera	Legno di latifoglia
Massa volumica (g cm ⁻³)	0,35	0,60
Volume % della fibra	93	50
Lunghezza della fibra (mm)	3,5	1,3
Diametro (mm)	0,035	0,015

Le materie prime fibrose concorrono in misura prevalente alla produzione: rappresentano circa l'80% delle materie prime impiegate e costituiscono "il corpo" della carta e del cartone. Come si è visto, la fibra cellulosica vergine è quella ricavata direttamente dai vegetali; si tratta quindi di una struttura complessa che durante il processo di trasformazione in carta e cartone deve essere sottoposta a diverse operazioni di purificazione e trasformazione.

Per la produzione di carta e cartone, la fibra cellulosica è ricavata quasi esclusivamente da legname di recupero e a basso costo, cioè da scarti di altre produzioni (quali segherie, fabbriche di imballaggi o mobili) e tronchi di piccola pezzatura e comunque non utilizzabili per lavorazioni qualitativamente superiori.

Una parte, seppure minore, delle fibre vergini proviene direttamente da foresta, ossia da sottoprodotti non utilizzabili per altre applicazioni (alberi non adatti alla segazione, cime di piante più grandi ecc.) oppure da piantagioni di alberi a rapida crescita (6-8 anni), messi a dimora proprio per uso industriale.

Le materie prime fibrose che andranno a costituire i diversi tipi di carta e di cartone possono essere distinte sulla base della lunghezza delle fibre cellulosiche. Si distinguono, infatti: fibre lunghe, provenienti in massima parte da legni di conifere (pino, abete, larice), e fibre corte, provenienti da legni di latifoglia (faggio, betulle, eucalipto, pioppo).

In tabella 7.3 sono riportate le caratteristiche del legno di conifera e del legno di latifoglia, tipicamente impiegati nella fabbricazione di carta e cartoni. La diversa combinazione delle fibre, lunghe o corte, delignificate o contenenti ancora lignina, costituisce la differenza macroscopica tra i diversi tipi di carte o cartoni che si possono ottenere.

Le materie prime fibrose secondarie sono ricavate dalla fibra da macero o di recupero, ovvero da materiale cellulosico (carta, cartone ecc.) che è già stato utilizzato per lo scopo per il quale è stato fabbricato e che viene reimmesso nel ciclo produttivo. La cellulosa, infatti, possiede la fondamentale caratteristica di poter essere utilizzata più volte. Per quanto riguarda l'idoneità alimentare, l'utilizzo di fibre provenienti da materiali cartacei di secondo impiego, ovvero "da riciclo" è consentito soltanto per alcuni tipi di prodotti alimentari, i cosiddetti solidi secchi, mentre è vietato per altre tipologie di alimenti.

Le materie prime non fibrose servono a conferire al prodotto le caratteristiche tecnologiche richieste (quali grammatura, spessore, levigatezza, permeabilità, colore, lucentezza, stampabilità e velocità di stabilizzazione dell'inchiostro). Le principali sostanze appartenenti alle materie prime non fibrose e più ampiamente utilizzate sono le seguenti (tabella 7.4).

- *Sostanze di carica.* Si tratta di sostanze inorganiche di varia natura che riempiendo gli spazi compresi tra le fibre, le sostanze di carica consentono di ottenere una superficie chiusa e piana e conferiscono all'impasto fibroso determinate caratteristiche (tra le quali: migliore ricettività all'inchiostro, migliore lisciatura, maggior grado di bianco e maggiore opacità).

Tabella 7.4 Materie prime non fibrose utilizzate nella fabbricazione di carta e cartone

Funzione	Materie prime
Sostanze di carica	Carbonati (di Ca e Na), ossidi (TiO ₂), silicati (talco, caolino), solfati (di Ba e Ca) e solfuri (di Zn)
Sostanze collanti	Colofonia, amido, carbossimetilcellulosa, cere, resine modificate
Coloranti	Coloranti, pigmenti, imbiancanti ottici (sostanze fluorescenti che rendono ingannevolmente più bianco il colore della carta: sono vietate per le carte destinate al contatto con alimenti)
Additivi per resistenza a secco	Amidi, gomme, poliacrilammide, lattici
Additivi per resistenza a umido	Resine urea-formaldeide, melamina-formaldeide, poliammidi
Additivi specifici e coadiuvanti	Ammorbidenti, indurenti, ritardanti di fiamma, biocidi, flocculanti, antischiuma, drenanti

– *Sostanze collanti*. Rientrano in questa categoria tutte le sostanze che conferiscono alla carta impermeabilità ai liquidi e agli inchiostri, rendendola così stampabile; infatti, un foglio di carta “non collato” è generalmente così assorbente da non consentire all'inchiostro una sua permanenza in superficie fino a opportuna asciugatura.

Altre sostanze appartengono alla categoria degli additivi e vengono impiegate per il miglioramento delle condizioni di lavorazione (coadiuvanti) o per l'ottenimento di prestazioni quali la resistenza all'umidità e la resistenza ai grassi di carte e cartoni.

7.3.2 Tecnologie di produzione

La fabbricazione della carta prevede diversi passaggi, descritti nelle pagine seguenti.

7.3.2.1 Preparazione della pasta di carta

L'operazione fondamentale nella preparazione della “pasta di carta” è rappresentata dalla liberazione delle fibre cellulose dalle altre sostanze presenti (soprattutto lignina). Per realizzarla si ricorre a sistemi meccanici, termici o chimici (sia acidi sia basici) e a sistemi misti (tabella 7.5). Le caratteristiche del materiale celluloso finale (in relazione soprattutto al colore e alla resistenza meccanica) dipendono in larga misura dal grado di purezza della cellulosa e dalle dimensioni delle fibre: quanto maggiore è la loro lunghezza, tanto migliori saranno le caratteristiche meccaniche (le carte riciclate presentano fibre corte e deboli a causa dei processi cui vengono sottoposte).

Processo meccanico. Consiste nell'ottenere la pasta di legno a partire da tronchetti o squardi di legno, preventivamente scortecciati, che vengono sminuzzati e sfibrati per mezzo di mole rotanti e abrasive, sotto corrente di acqua. È il metodo più tradizionale e più semplice per ottenere paste cartarie di tinta chiara ma di debole resistenza a causa della rottura delle fibre. Per limitare tale inconveniente, piccoli pezzi di legno possono essere frantumati in un raffinatore a dischi dopo essere stati sottoposti a blando trattamento termico. La pasta di legno che si ottiene in questo modo è di qualità superiore rispetto a quella ottenuta secondo il processo meccanico tradizionale. Le fibre, infatti, parzialmente rammollite dal trattamento

Tabella 7.5 Processi di produzione della pasta di carta

Tipo di processo	Resa %	Caratteristiche della carta
Meccanico	95	Economica, debole, ricca di lignina
Termo-meccanico	85-90	Economica, debole, ricca di lignina
Chimico alcalino	50-55	Forte, resistente, scura
Chimico acido	40-50	Meno forte, bianca
Chimico termo-meccanico	85-88	Varie, a seconda dei trattamenti
Semichimico	65-85	Varie, a seconda dei trattamenti

termico si separano più facilmente risultando meno danneggiate. L'ultima fase di produzione consiste nella sbiancatura con perossido di idrogeno (H_2O_2). Le migliori caratteristiche di questo prodotto sono da ricercare nella buona stampabilità e voluminosità, non in quelle meccaniche di lacerazione e resistenza alla rottura. L'aumento della velocità delle macchine continue da carta e da stampa e la generale diminuzione delle grammature, dettata da esigenze di economicità, hanno portato a un rallentamento nell'impiego delle paste meccaniche e a una loro graduale sostituzione con impasti cartari più resistenti.

Processo chimico. La pasta di legno chimica è ottenuta riducendo il legno in trucioli o in fibre e trattandolo successivamente con prodotti chimici che ne asportano la maggior parte della lignina e delle altre sostanze non cellulosiche. Il processo chimico prevede l'impiego di legni di conifere e di latifoglie, dai quali si producono, rispettivamente, paste a fibra lunga e a fibra corta. Dopo essere stato scortecciato e ridotto in pezzetti (chip), il legno viene sottoposto all'attacco di sostanze chimiche in ambiente alcalino o in ambiente acido.

In ambiente alcalino si utilizza soda caustica (processo alla soda) o una soluzione di soda caustica e di solfuro di sodio (Na_2S , processo al solfato). La produzione di paste alla soda prevede la cottura a circa $170\text{ }^\circ\text{C}$ di chips di legno in soluzioni a base di $NaOH$ per tempi lunghi (3-8 ore). I tempi più elevati sono impiegati per ottenere una maggiore delignificazione e sono quindi riservati ai legni di conifera (caratterizzati da un maggior contenuto di lignina). Tale tecnica viene utilizzata prevalentemente negli Stati Uniti, mentre è scarsamente diffusa in Europa. Il processo più utilizzato è quello al solfato, che prevede la cottura dei chips di legno in ambiente alcalino ($NaOH$ e Na_2S) a $170\text{ }^\circ\text{C}$. Per limitare le perdite di zolfo e di sodio nel processo, ai residui di lavorazione costituiti dai prodotti chimici di cottura e dalle sostanze del legno che si sono separate dalle fibre (quali emicellulose e polisaccaridi) si aggiunge solfato di sodio (Na_2SO_4), da cui deriva il nome del processo. Con questo processo si ottengono le paste al solfato o Kraft (in tedesco: forte), che per le elevate caratteristiche meccaniche sono adatte alla fabbricazione degli strati esterni del cartone ondulato, delle carte da imballo e di tutti i tipi di carta per i quali è necessaria una buona resistenza meccanica.

In ambiente acido si utilizza bisolfito di magnesio [$Mg(HSO_3)_2$] come prodotto chimico attivo per la cottura acida (pH 4). Le condizioni di cottura sono variabili in relazione sia ai tempi sia alla temperatura: si possono infatti avere trattamenti che prevedono intervalli di cottura variabili tra 7 e 25 ore e di temperatura tra 120 e $160\text{ }^\circ\text{C}$. La cottura viene effettuata mediante immissione di vapore ad alta temperatura, così da sciogliere tutta la lignina per via chimica e liberare le fibre di cellulosa con un modestissimo lavoro meccanico tramite raffinatori a disco. Le caratteristiche cartarie qualitative della pasta così ottenuta (chiamata pasta al solfito) sono ottime, in termini sia di resistenza meccanica sia di grado di purezza e di bianco raggiungibile.

Processo semichimico. Il ciclo produttivo non si discosta molto da quello descritto per la produzione di cellulosa per via chimica; tuttavia, in questo caso il legno, generalmente sotto forma di trucioli, è dapprima addolcito con mezzi chimici in autoclave e successivamente raffinato meccanicamente. La differenza fondamentale consiste nel fatto che la lignina e le sostanze incrostanti non vengono completamente sciolte, poiché la cottura è solo parziale. In questo modo si ottiene una pasta che contiene ancora una grande quantità di impurità e di materiale legnoso e che, per tali motivi, viene impiegata per la produzione di carte di media qualità destinate alla produzione di carta da giornale e da stampa, cartone ondulato eccetera.

Processo chemitermomeccanico (CTMP) o chemimeccanico (CMP). Le paste chemitermomeccaniche e chemimeccaniche derivano il nome dalla metodologia utilizzata per il trattamento della lignina e delle sostanze incrostanti che cementano le varie fibre e danno corpo e rigidità al contesto legnoso. Fanno parte delle cosiddette paste ad alta resa (85-90% per kg di legno secco). Il legno (sotto forma di chips, scarti o segatura) viene dapprima ridotto allo stato fibroso per azione abrasiva meccanica. Per facilitare la separazione delle fibre di cellulosa, e quindi l'allontanamento della lignina, si possono utilizzare blandi trattamenti termochimici o solo chimici (senza vapore aggiunto).

Le paste chemimeccaniche o chemitermomeccaniche sono usate per la produzione di quasi tutti i tipi di carta e cartoni, dal *tissue* (fazzolettini igienici, asciugatutto, tovaglioli ecc.) alle carte patinate. Le caratteristiche meccaniche (lunghezza di rottura, resistenza alla lacerazione), decisamente elevate per paste ad alta resa, ne consentono impieghi anche massicci.

7.3.2.2 Fase di preparazione degli impasti

Le paste di carta preparate secondo le procedure descritte precedentemente vengono stoccate in depositi fino al loro utilizzo nelle fasi che porteranno alla formazione del prodotto finale. Poiché le materie prime si trovano allo stato secco, la prima operazione da effettuare in cartiera è spappolare il materiale fibroso utilizzando un apposito macchinario, denominato pulper, che ha lo scopo di trasformare il materiale fibroso in fibre allo stato elementare. Il pulper è costituito da una vasca contenente acqua e da una girante che ruota a velocità opportuna; il moto vorticoso creato dalla girante provoca lo sfaldamento delle diverse paste riducendole in fibre elementari che possono essere così pompate negli impianti di lavorazione. Lo schema tipo relativo alla produzione della carta è riportato in figura 7.6.

7.3.2.3 Raffinazione

È l'operazione che consente di ottenere dall'impasto fibroso le peculiarità richieste dall'utilizzatore, che caratterizzano un determinato tipo di carta. Con la raffinazione la fibra viene sottoposta a una serie di sbattimenti e compressioni che consentono all'acqua di imbibirne sempre più le fibrille interne, rendendole via via più plastiche; l'aumentata plasticità consente la formazione di un maggior numero di aree di contatto, e quindi di legami, indispensabili per una buona resistenza e per la formazione del foglio. Per evitare danni alla struttura morfologica e chimico-fisica della fibra, è indispensabile che la fase di raffinazione venga realizzata in condizioni controllate. È necessario, per esempio, evitare che le lame del raffinatoro portino a lacerazioni smodate della parete o ad accorciamenti esagerati della fibra.

L'impasto fibroso raffinato viene riversato in un tino di miscelazione mantenuto continuamente sotto agitazione. Qui sono aggiunte le materie prime non fibrose (additivi, coadiuvanti ecc.) in grado di conferire al prodotto finito specifiche caratteristiche.

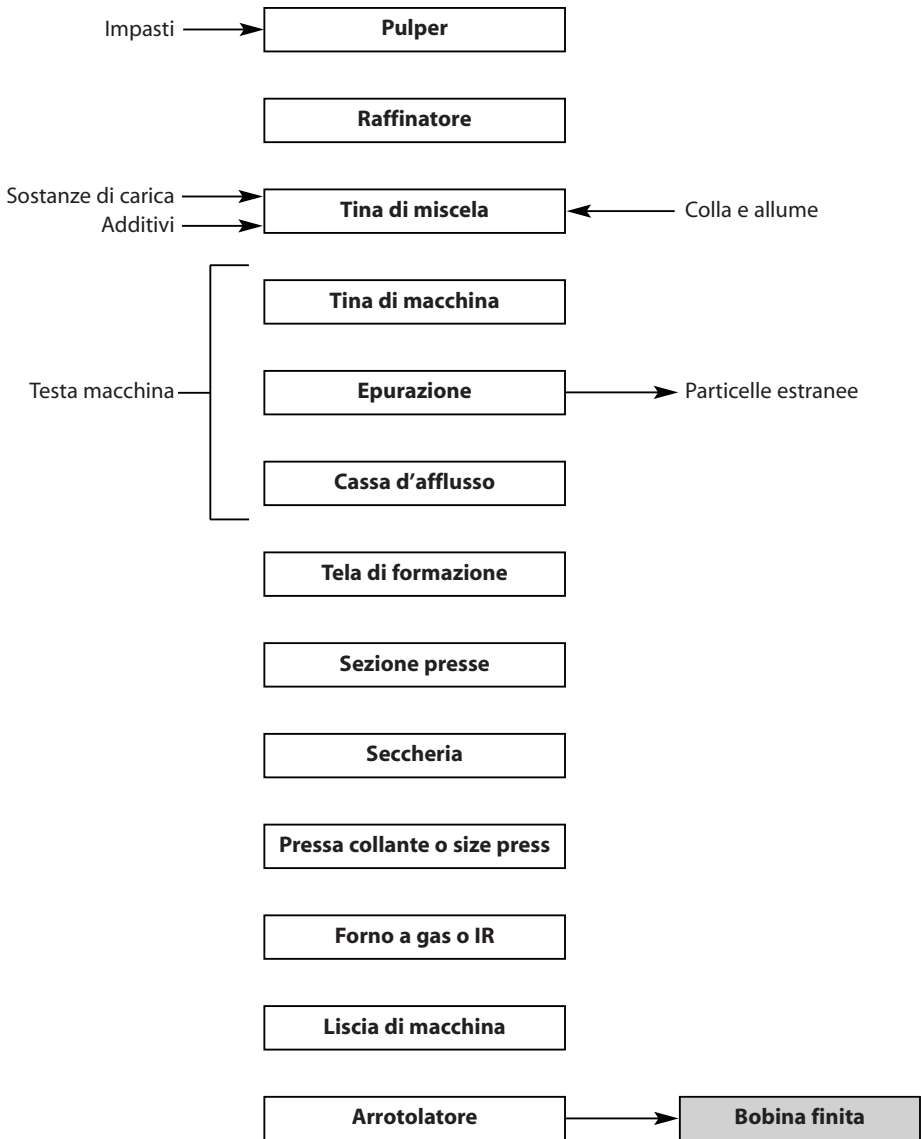


Figura 7.6 Flow sheet di produzione della carta.

7.3.2.4 Testa macchina

L’impasto fibroso proveniente dal tank di miscelazione viene inviato alla cosiddetta “testa macchina”, una porzione dell’impianto che ha la funzione di depurare l’impasto da contaminanti e da aria. Per migliorare la qualità dell’impasto, dopo la fase di epurazione la sospensione fibrosa viene sottoposta a una fase di assortimento, che ha lo scopo di separare dalla pasta gli aggregati fibrosi, che possono creare inconvenienti nelle successive fasi della lavoro.

razione. Il materiale è infine inviato alla cassa d'afflusso, che ha il compito di distribuire uniformemente sulla tela di formazione l'impasto diluito. A questo punto l'impasto, composto dal 98% di acqua e per la restante percentuale da fibre di cellulosa e dagli altri ingredienti, viene avviato verso la macchina continua.

7.3.2.5 Macchina continua a tavola piana

La macchina continua a tavola piana è così definita perché caratterizzata da un ciclo lavorativo continuo: al suo inizio viene immessa in continuazione la pasta e alla sua fine ne esce il foglio di carta.

La macchina continua è fondamentalmente costituita da due parti: la zona umida e la zona secca, che è formata da una lunga sequenza di coppie di cilindri controrrotanti, attraverso i quali viene fatta passare la pasta, e da una serie di nastri trasportatori che provvedono a spostare la pasta da una coppia di cilindri alla seguente (figura 7.7).

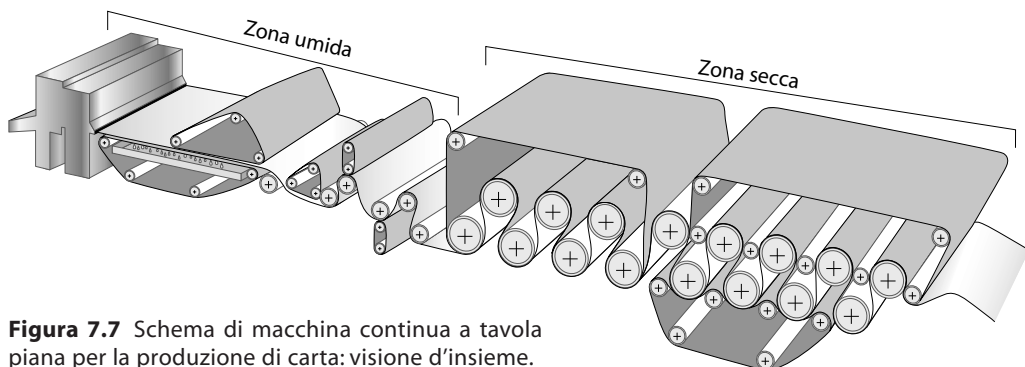


Figura 7.7 Schema di macchina continua a tavola piana per la produzione di carta: visione d'insieme.

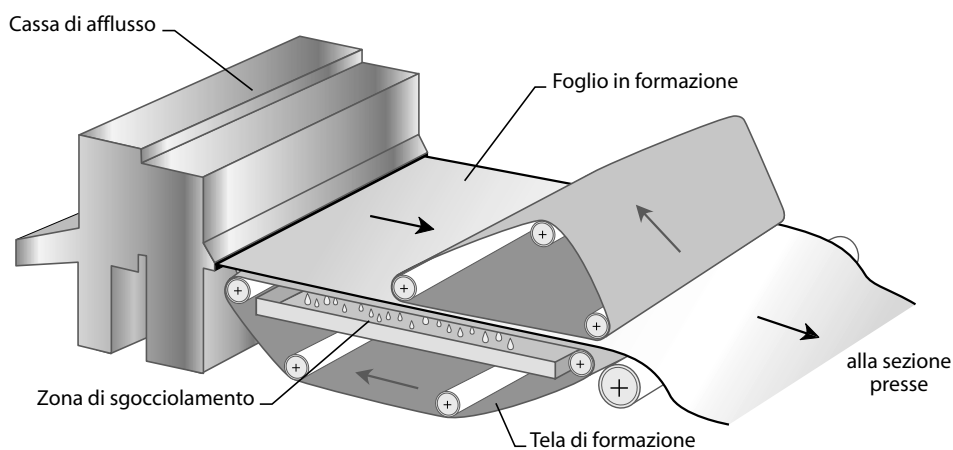


Figura 7.8 Macchina continua: rappresentazione schematica della sezione della tavola piana.

La zona umida della macchina continua inizia con una grande vasca metallica (cassa d'afflusso), nella quale arriva l'impasto fibroso ottenuto dalle fasi precedenti. Tale cassa ha la funzione di distribuire la sospensione sulla tela di formazione (tavola piana) con la massima uniformità e regolarità, evitando la produzione di vortici e schiume, dando origine a una lamina di liquido fluente e costante. La tela di formazione (figura 7.8) è composta da vari elementi drenanti, che consentono di allontanare l'acqua trattenendo le fibre e i componenti dell'impasto. La pasta si distribuisce uniformemente sulla rete a maglie molto fitte della tela e, mentre avanza, perde acqua. In questo modo le fibre si serrano tra loro e iniziano a formare il foglio. Il drenaggio sulla tela filtrante è graduale: dopo il primo tratto della tavola piana, lo strato di fibre (che contiene ancora l'80% di acqua) si distacca dalla rete e passa su un feltro che guida la pasta verso una prima serie di cilindri, che – grazie alle sottostanti cappe aspiranti – privano la pasta della maggior parte dell'acqua.

Dopo i cilindri sgocciolatori seguono i cilindri pressa che, sempre più ravvicinati, hanno lo scopo di ridurre progressivamente lo spessore del foglio in formazione (figura 7.9). Le presse riducono l'umidità del foglio di carta a valori intorno al 62-65%; valori inferiori sono difficilmente raggiungibili.

Il foglio passa successivamente nella batteria essiccatrice o seccheria, costituita da una o più sezioni di cilindri essiccatori, dove viene asciugato completamente (figura 7.10); la funzione della seccheria è, infatti, proprio quella di disidratare il foglio portandolo a un livello di umidità finale del 5% circa. Se non è attuata con determinati accorgimenti, tale operazione può anche essere dannosa per la carta; il foglio deve essere scaldato gradualmente, poiché potrebbero formarsi grinze o ondulazioni permanenti, cioè difficilmente eliminabili.

Infine, i cilindri lisciatori, costituiti da una serie di rulli sovrapposti, hanno la funzione di rendere la superficie del foglio perfettamente liscia, eliminando le rugosità causate dal passaggio sulla rete e attraverso i rulli. All'uscita della macchina continua il foglio giunge all'arrotolatore, che consente di avvolgere il foglio di carta su se stesso creando una grande bobina, larga anche 10 metri e lunga alcuni chilometri.

Una variante del processo finora descritto prevede che l'aggiunta di additivi non avvenga direttamente nell'impasto ma solo dopo la formazione del foglio e la sua uscita dalla secche-

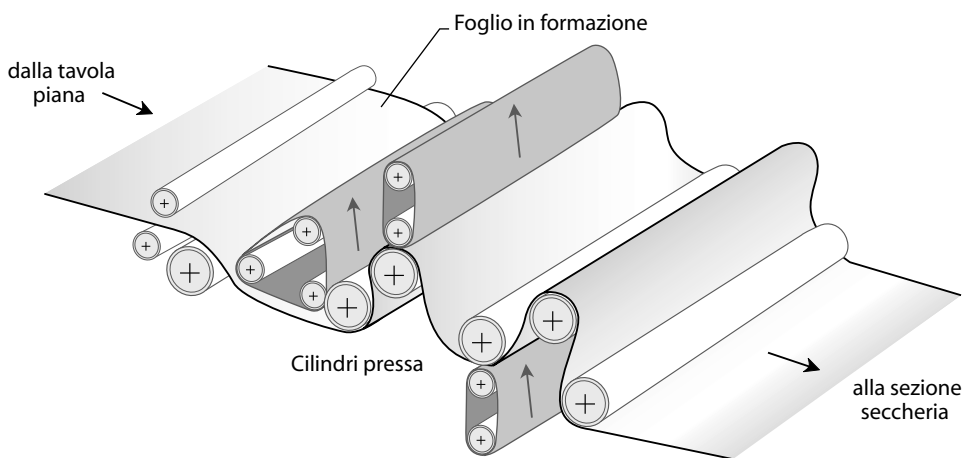


Figura 7.9 Macchina continua: rappresentazione schematica della sezione presse.

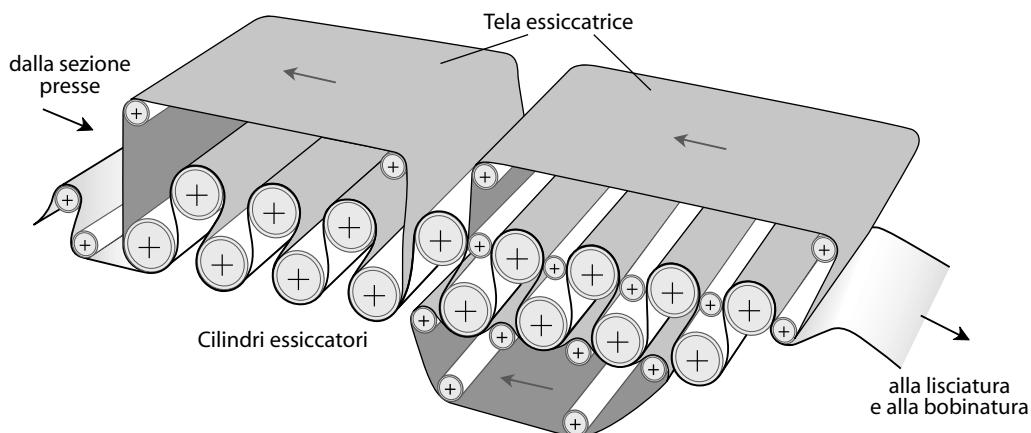


Figura 7.10 Macchina continua: rappresentazione schematica della sezione secceria.

ria. In questo caso il foglio viene fatto passare attraverso una pressa che prende il nome di *size press* o *film press*, a seconda della modalità di aggiunta degli additivi (figura 7.11). Il principio base del funzionamento della *size press* è la formazione di una sorta di pozzetto, passando nel quale la carta viene impregnata completamente con una soluzione acquosa o una sospensione atta a trasmetterle, fino in profondità, colla, carica, colore, patina eccetera, prima di passare nelle presse. È la pressione delle due presse a determinare la quantità di soluzione impregnante da applicare. In uscita dal bagno chimico il foglio passa attraverso due rulli per la spremitura della soluzione in eccesso e, successivamente, in un forno a infrarossi per l'eliminazione dell'acqua. Con il sistema della *film press*, invece, il collante viene predosato sulle presse stesse e poi trasmesso sotto forma di film sul foglio di carta. Con l'utilizzo della *size press* si avrebbe quindi un'ottima ritenzione, che con la *film press* non si riuscirebbe a raggiungere, ma lo svantaggio principale è il fatto di non poter lavorare a elevate velocità. In entrambi i casi, all'uscita della *size press* o della *film press*, la carta passa attraverso i rulli lisciatori e si avvia all'arrotolatore per la creazione della bobina.

Le operazioni di fabbricazione della carta comportano un'orientazione preferenziale delle fibre cellulosiche nel senso longitudinale di fabbricazione; ciò porta a una condizione di

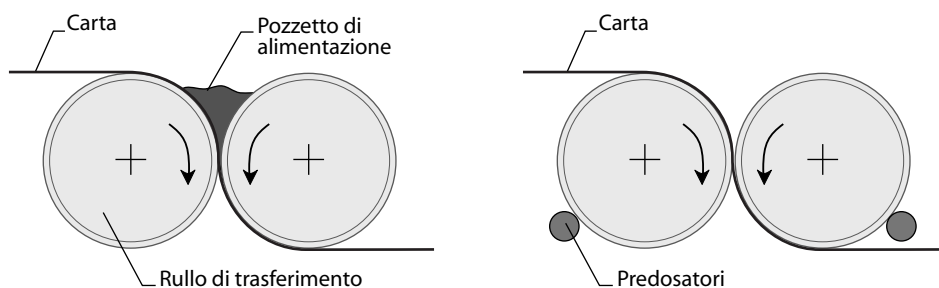


Figura 7.11 Schema di funzionamento della *size press* (a sinistra) e della *film press* (a destra).

Tabella 7.6 Criteri di classificazione dei materiali cellulosici sulla base della grammatura (G)

Materiale	Criterio	Fonte
Carta	$G < 150$	Consuetudine italiana
Cartoncino	$150 < G < 400$	Consuetudine italiana
Cartone	$G > 400$	Consuetudine italiana
Cartoncino e cartone	$G > 225$	Consuetudine italiana
Cartoncino e cartone	$G > 200$	Consuetudine italiana
Cartone (paperboard)	Spessore (ℓ) $> 0,25$ mm	Norma ASTM (USA)
Paperboard o board	$G > 250$	Norma ISO
Board	$G > 220$; Spessore (ℓ) $> 0,25$ mm	Norma BS (UK)

anisotropia, per la quale il foglio risulta più forte nella direzione di produzione che in quella ortogonale. Un'asimmetria di caratteristiche è riscontrabile anche nella direzione dello spessore del foglio, in conseguenza dell'effetto di deposizione delle fibre. Dopo essiccazione, la quantità di fibre depositata per unità di superficie stabilisce la cosiddetta *grammatura*, G (g m^{-2}), che rappresenta anche il criterio per discriminare le carte dai cartoni: secondo una norma ISO, infatti, il cartone (*paperboard* o *board*) deve avere una grammatura di almeno 250 g m^{-2} . Sono in uso, tuttavia, altri criteri di classificazione dei materiali cellulosici; i principali sono elencati in tabella 7.6.

7.3.3 Additivi impiegati nella produzione di carte e cartoni

Come si è visto, la materia prima per la fabbricazione della carta è la cellulosa. Nella pratica, tuttavia, solo alcuni tipi di carta vengono fabbricati esclusivamente con cellulosa. L'industria cartaria ha a disposizione molte varietà di materiali non fibrosi (additivi), largamente impiegati per impartire alla carta proprietà particolari che non si otterrebbero con il solo impiego della cellulosa. Oltre che per il diverso contributo che apportano alla carta, questi prodotti si differenziano per il trattamento di applicazione: superficiale, in massa o mediante patinatura. I più diffusi sono quelli riportati in tabella 7.4, ma la selezione può essere fatta su elenchi più ampi, a seconda delle prestazioni finali che si vogliono ottenere. L'aggiunta di tali materiali è necessaria per ottenere specifiche caratteristiche nella carta finita. L'additivazione, infatti, contribuisce a migliorare diverse proprietà, in particolare:

- conferisce idoneità alla stampa, favorendo anche il risparmio di inchiostro;
- regola l'assorbimento di acqua;
- riduce lo spolvero (cioè la tendenza a rilasciare frammenti di fibra o di cariche minerali per sfregamento);
- migliora la resistenza agli oli e ai grassi;
- incrementa la resistenza meccanica.

Per conferire idrorepellenza si possono aggiungere agenti collanti, come alchilchetene dimero (AKD), o altri agenti sintetici, come lattici. Oltre alle proprietà di idrorepellenza si potrebbero ricercare quelle di oleo-repellenza, dette anche *greaseproof*. A seconda dell'applicazione (fast food, pet food, carte per etichette ecc.), sono disponibili diversi polimeri in grado di conferire il desiderato grado di resistenza agli oli e ai grassi. Per tali proprietà sono noti e ampiamente utilizzati anche prodotti contenenti siliconi e derivati del fluoro.

7.3.4 Carte speciali

Le carte destinate all'avvolgimento o all'imballaggio di alimenti sono, quasi sempre, sottoposte a trattamenti per migliorarne le caratteristiche funzionali, la stampabilità, le proprietà di superficie, la resistenza all'umidità e alle sostanze grasse. Le operazioni effettuate a tal fine possono essere successive alla formazione del rotolo di carta. Classici trattamenti sono la lisciatura su calandra, per ottenere carte monolucide o satinata, e la spalmatura con patine minerali, per carte patinate. Alcuni tipi di carte speciali sono descritti di seguito.

Carta pergamena. Carta di pura cellulosa, resa impermeabile ai grassi e resistente all'umido per trattamento a freddo con acido solforico concentrato (65-70% per 10 s a 10 °C): quando è bagnata è più resistente di quando è secca. Durante il trattamento lo strato esterno delle fibre rigonfia e la cellulosa si idrolizza parzialmente formando una massa gelatinosa che salda le fibre. Il supporto da pergamene non è "collato" (additivato con agenti collanti) ed è molto soffice e poroso, simile a una carta assorbente.

Carta surrogato pergamena (greaseproof). Carta grassa trasparente o semitrasparente (sfi-brillatura molto accentuata, raffinazione molto prolungata), poco porosa e resistente ai grassi ma non all'umido. Tipo di carta da banco.

Carta pergamin (pergamino). Fortemente calandrata a caldo, ossia pressata tra due cilindri metallici riscaldati che ruotano contrapposti (calandre). Si ottiene una modificazione del contesto fibroso a dare una struttura amorfa quasi trasparente per azione meccanico-termica, che disaggrega il reticolo fibroso (carta oleata). Ne risulta una carta liscia e lucida, semitrasparente, molto utilizzata come carta da banco (per avvolgimenti estemporanei), abbastanza resistente ai grassi e al calore, impiegata anche per realizzare pirottini, sacchetti ecc.

Carta impermeabile. Carta impregnata (rivestita o accoppiata) di sostanze idrofobiche. Carta politenata, paraffinata. Tipo di carta da banco.

Carta umidoresistente. Questa tipologia di carta mantiene una resistenza apprezzabile anche quando è satura d'acqua. La resistenza è ottenuta trattando l'impasto con opportune sostanze, come resine poliammidiche modificate con epichelidrina. È impiegata come carta da banco, per etichette, tovaglioli eccetera.

Carte speciali, trattate con emulsioni fluorurate. Le emulsioni polimeriche fluorurate, dispersibili in acqua, migliorano le caratteristiche di resistenza chimica dei materiali celluloseici (carte, cartoncini, cartoni). Sono diffusi tipi che conferiscono resistenza a oli e grassi e altri che conferiscono resistenza a oli, grassi e tensioattivi e repellenza ad acqua e alcol. In genere sono applicabili come additivi interni o come rivestimenti esterni; vengono utilizzati per imballaggi di snack, margarine, contenitori per fast food, vassoi per prodotti da forno, pet-food, prodotti chimici.

7.3.5 Proprietà della carta

Indubbie caratteristiche positive di questi materiali sono: flessibilità di assemblaggio in contenitori di diverso tipo e forma, costi contenuti, facilità di stampa, leggerezza (densità di 0,7 g cm⁻³ circa), riciclabilità e biodegradabilità.

Per contro, qualsiasi materiale celluloseico ha una barriera insignificante al passaggio di gas e vapori (non si può parlare di permeabilità, in quanto la trasmissione avviene attraverso le discontinuità dell'intreccio fibroso), scarsa resistenza all'umidità (l'acqua dissolve i legami idrogeno che legano una catena di cellulosa all'altra e le fibre tra di loro), debolezza meccanica e facile bio-deteriorabilità.

Come tutti i materiali e gli oggetti destinati al contatto alimentare, anche la carta e il cartone devono rispondere a requisiti di idoneità alimentare. È bene però sottolineare che a livello di Unione Europea per questi materiali non è ancora stata raggiunta una regolamentazione armonizzata; in alcuni Paesi, come Italia, Francia, Belgio, Finlandia e Olanda, vige una normativa nazionale specifica su questi materiali, mentre in Germania vale la raccomandazione dell'Istituto per la Sicurezza dei Consumatori (BfR). In particolare, il DM 21.03.1973 elenca le sostanze autorizzate da impiegare nella fabbricazione di carte e cartoni (liste positive per materie fibrose, sostanze di carica, sostanze ausiliarie, imbiancanti ottici e coadiuvanti tecnologici di lavorazione) e prevede anche la verifica di requisiti di composizione e purezza. La normativa in vigore stabilisce per carta e cartoni i seguenti limiti.

- *Materie prime fibrose*: devono costituire almeno il 75% p/p delle carte e dei cartoni destinati al contatto con alimenti per i quali sono previste prove di migrazione (per esempio alimenti umidi e grassi) e almeno il 60% p/p delle carte e dei cartoni destinati al contatto con alimenti per i quali non sono previste prove di migrazione (per esempio, alimenti secchi come sale, riso e pasta).
- *Sostanze di carica*: devono costituire al massimo il 10% p/p delle carte e dei cartoni destinati al contatto con alimenti per i quali sono previste prove di migrazione e al massimo il 25% p/p delle carte e dei cartoni destinati al contatto con alimenti per i quali non sono previste prove di migrazione.
- *Materie prime non fibrose*: per essere trasformate in carta, tutte le materie fibrose devono essere opportunamente lavorate e additivate con altre sostanze di natura non fibrosa (denominate “ausiliarie” dallo stesso DM), che ai sensi della normativa in vigore devono essere presenti in quantità non superiori al 15% p/p nelle carte e nei cartoni destinati al contatto con alimenti.

Il DM 21.03.73 prevede, inoltre, la verifica di alcuni requisiti di purezza, ossia la quantificazione di sostanze quali policlorobifenili, imbiancanti ottici (se la carta e il cartone sono destinati al contatto con alimenti per i quali sono previste prove di migrazione) e piombo.

7.4 Cartone ondulato

È una struttura realizzata mediante sovrapposizione di più fogli di carta, dei quali almeno uno (detto “onda” o “centro”) è ondulato e almeno un altro (detto “copertina”) è invece teso e incollato al primo. Nel cartone a due onde i fogli di carta sono cinque e la carta interna, compresa tra le due onde, non è più chiamata copertina ma foglio teso (figura 7.12). Le carte che formano la copertina devono avere caratteristiche differenti da quelle utilizzate per l'onda. Nella tabella 7.7 sono riportate le tipologie di carte impiegate nella produzione di cartone ondulato.

Tra le varie tipologie di cartone ondulato la più semplice è certamente la carta ondulata, che si ottiene dall'accoppiamento di una superficie piana con una ondulata. Non essendo rigida, la carta ondulata viene commercializzata in rotoli o bobine e trova impiego nella protezione, mediante avvolgimento, di prodotti con forme irregolari.

Il cartone ondulato vero e proprio, invece, è costituito da due superfici di carta piana o tesa, inframezzate da una superficie ondulata; le tre superfici sono tenute insieme da apposito collante. Questa tipologia è denominata cartone a onda semplice o a una sola onda. Una struttura leggermente più complessa è il cartone a doppia onda o doppio-doppio. In questo caso le

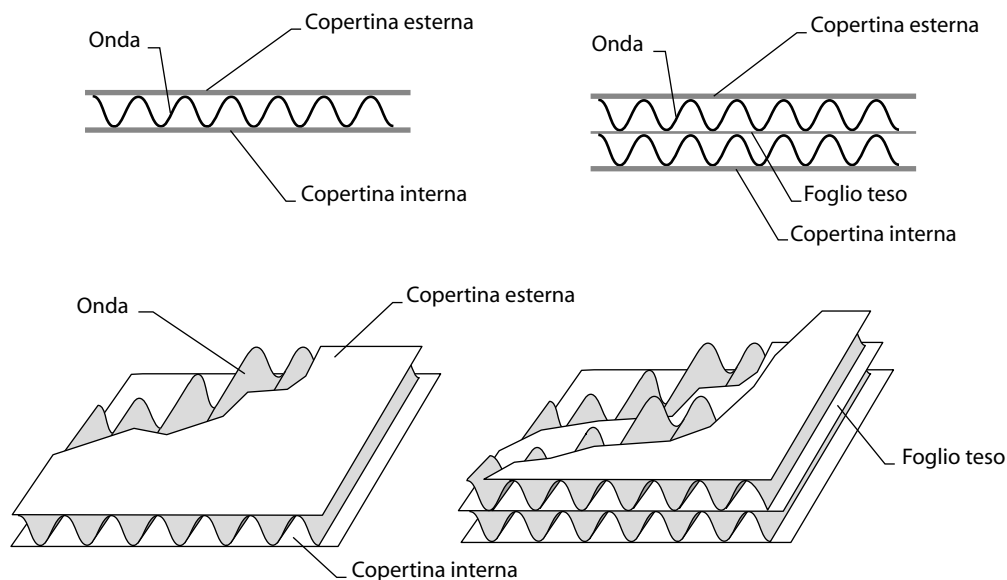


Figura 7.12 Struttura di cartone ondulato a una e a due onde.

Tabella 7.7 Tipologie di carta impiegate per copertine e onde

Carta per copertine $125 < G < 440 \text{ g m}^{-2}$	Simbolo	Descrizione
Kraftliner	K	Da processo alcalino; elevata resistenza meccanica
Liner	L	Da macero; buona resistenza meccanica; realizzata in più strati
Test-liner	T	Da macero; discreta resistenza meccanica; realizzata in più strati
Camoscio	C	Da macero misto di qualità non alta; impiegata esclusivamente come foglio teso all'interno delle ondulazioni; scarse caratteristiche meccaniche
Carta per onde $112 < G < 210 \text{ g m}^{-2}$	Simbolo	Descrizione
Semichimica	S	Da pasta semichimica greggia di latifoglia (60%); buona resistenza meccanica
Medium	M	Da macero di media qualità; caratteristiche meccaniche medio-alte anche per l'aggiunta di amido
Fluting	F	Da macero di bassissima qualità; caratteristiche meccaniche medio-basse
Paglia	P	Da pasta semichimica di paglia; caratteristiche meccaniche bassissime

copertine sono sempre due, quella esterna e quella interna, ma le superfici ondulate diventano due, collegate tra loro da una terza superficie piana, il foglio teso. Molto più complicata risulta invece la produzione del cartone a tripla onda: all'interno delle due superfici piane esterne vi sono tre ondulazioni, unite tra loro da due fogli tesi. Il cartone a tripla onda (noto anche come cartone pesante a tre onde) è destinato a impieghi specifici; è particolarmente adatto a contenere e trasportare oggetti di notevoli dimensioni e peso e – grazie ai costi contenuti e alla possibilità di riciclare il cartone – può talvolta sostituire i tradizionali imballi in legno.

Il cartone ondulato può essere classificato sulla base di alcuni criteri:

- altezza dell'onda;
- numero di onde per metro lineare;
- passo: è la distanza tra la sommità di due onde vicine;
- coefficiente di ondulazione: è un valore, superiore a 1, che indica il numero di metri lineari di carta per onda necessario per ottenere un metro lineare di carta ondulata.

In tabella 7.8 sono riportate le caratteristiche delle diverse tipologie di cartone ondulato in base ai criteri descritti precedentemente.

Per la particolare conformazione che assumono i fogli ondulati e incollati, la struttura del cartone ondulato manifesta una resistenza meccanica elevatissima se comparata alla leggerezza del materiale. In direzione perpendicolare alle onde è massima la resistenza alle sollecitazioni dinamiche (urti e cadute), in quella parallela si ha la massima resistenza alle sollecitazioni statiche (carichi costanti).

In Italia l'industria alimentare utilizza quasi la metà del cartone ondulato prodotto, che ammonta ogni anno a oltre 1 milione di tonnellate. Per la realizzazione del cartone ondulato si utilizzano macchine ondulatorici la cui complessità varia in funzione del numero di onde del cartone. Per esempio, per realizzare un cartone a doppia o a tripla onda è necessario disporre in linea con il primo gruppo ondulatorio un secondo gruppo ondulatorio e di conseguenza tutte le altre parti che compongono la macchina (ponte, porta bobine, pre-riscaldatori, pre-condizionatori).

Di seguito sono descritti i principali componenti di una macchina ondulatorice.

- *Pre-riscaldatore*. Serve per eliminare umidità residua dal contesto fibroso e per permettere la perfetta adesione tra l'ondulazione e la copertina durante l'incollaggio. Il nastro di carta viene guidato nei pre-riscaldatori, costituiti da cilindri lisci riscaldati internamente con vapore a 180-190 °C.

Tabella 7.8 Caratteristiche delle diverse tipologie di cartoni ondulati

Tipo di onda	Altezza (mm)	Passo (mm)	Numero di onde/m	Coefficiente di ondulazione
Onda alta (K)	>5,0	14,9	67	–
Onda alta (A)	>4,5	da 8,6 a 9,1	da 110 a 116	da 1,48 a 1,45
Onda media (C)	tra 3,5 e 4,4	da 7,3 a 8,1	da 123 a 137	da 1,41 a 1,45
Onda bassa (B)	tra 2,5 e 3,4	da 6,3 a 6,6	da 152 a 159	da 1,33 a 1,36
Micro-onda (E)	tra 1,2 e 2,4	da 3,2 a 3,4	da 294 a 313	da 1,23 a 1,30
Micro-onda (F)	0,7-0,9	da 2,3 a 2,4	da 417 a 435	–
Micro-onda (G)	0,5-0,6	da 1,8 a 1,9	da 526 a 556	–

- *Pre-condizionatore*. Il passaggio nel pre-condizionatore riguarda solamente la carta che verrà ondulata; questa, infatti, necessita di un'attenta regolazione dell'umidità. Tale operazione è necessaria e di fondamentale importanza, sia per il processo di trasformazione che la carta per onda deve subire sia per il buon incollaggio tra onda e copertina. Un incremento di umidità, infatti, riduce la rigidità, aumenta l'allungamento e diminuisce la tensione interna della carta; inoltre, riducendo la temperatura di rammollimento di lignina ed emicellulosa, determina vantaggi in termini di plasmabilità della carta durante l'ondulazione.
- *Gruppo-ondulatore*. Il passaggio della carta attraverso questo gruppo rappresenta il punto critico dell'intero processo di produzione del cartone ondulato. Il dispositivo è munito di due cilindri sovrapposti, la cui superficie è scanalata in senso parallelo all'asse di rotazione in modo da ottenere il profilo desiderato. I cilindri sono riscaldati con vapore a circa 180 °C. Il movimento rotatorio dei cilindri è simile a quello di ingranaggi: in corrispondenza del punto di contatto tra i due si forma l'ondulazione. La pressione tra i cilindri può essere invece variata in base al tipo di carta utilizzata e alla sua grammatura.
- *Cilindro di pressione*. Preme contro il cilindro ondulatore inferiore. È riscaldato internamente con vapore a 180 °C circa per facilitare l'incollatura che avviene proprio in corrispondenza di esso. Infatti, un rullo liscio pesca il collante da una vasca e un secondo rullo più piccolo ne dosa lo spessore sulla sommità delle onde; si ha così la definitiva coesione tra la prima copertina e la carta ondulata, che viene trasferita al ponte di immagazzinaggio una volta abbandonato il cilindro di pressione.
- *Incollatore ai piani*. È costituito da una vasca che contiene il collante mantenuto in movimento da un rullo liscio che pesca il collante e da un secondo rullo più piccolo che ne dosa lo spessore. Ha il compito di distribuire uno strato di colla sui risalti delle onde della carta ondulata per l'incollaggio della seconda copertina. Prima che la carta ondulata venga incollata alla seconda copertina, entrambe subiscono un trattamento termico per preparare le superfici a un migliore incollaggio.
- *Piani caldi*. Il cartone ondulato viene essiccato per contatto, facendolo passare su piani lisci, riscaldati con vapore a temperatura compresa tra 120 e 180 °C, posti uno accanto all'altro. La temperatura dei rulli è regolabile in funzione del tipo di cartone prodotto; inoltre, per facilitare l'essiccamento di cartoni pesanti è necessario ridurre la velocità della macchina.

7.5 Cartone teso. Cartoncino patinato

Sebbene non esistano criteri ufficiali di classificazione, nella pratica si definiscono cartoni tesi o cartoncini i materiali cellullosici con grammatura elevata, non ondulati e destinati alla fabbricazione di scatole pieghevoli, astucci e altre forme di confezionamento come bicchieri, coppette e vaschette. In genere tali materiali sono ottenuti con il metodo multigetto, nel quale vengono combinati da 3 a 7 getti di pasta di carta diverse; nei cartoni tesi si distinguono almeno tre strati: copertina (il più esterno, patinato con emulsioni di sostanze inorganiche per offrire un supporto di stampa migliore in quanto non assorbente), intermedio (quasi sempre di materiale riciclato) e retro (cellulosa vergine di primo impiego a contatto con l'alimento). Dal punto di vista produttivo, i tre strati vanno gestiti in modo completamente diverso, avendo grammature, tipi di impasto e peculiarità impiantistiche molto differenti.

Per quanto riguarda la grammatura, quella del retro (che è lo strato più spesso) può variare da 90 a 200 g m⁻², quella della sottocopertina da 22 a 28 g m⁻², mentre quella dello strato più nobile, ossia la copertina, da 40 a 48 g m⁻².

La grande maggioranza dei cartoncini per astucci è del tipo patinato, composto cioè da una parte di sostanza fibrosa e da una patina superficiale esterna ottenuta impiegando una dispersione acquosa di pigmenti (caolino e carbonato di calcio) e adesivi (amidi e lattici sintetici), che garantiscono una buona stampabilità e una presentazione gradevole. La parte fibrosa non è quasi mai omogenea (struttura monogetto), ma è spesso costituita da strati di materiale cellulosico diverso, anche di recupero; il retro, che si trova a contatto con il prodotto, è però sempre di materiale primario, non “bianchito”, per conferire al cartoncino la migliore finitura.

Per applicare sulla superficie della carta uno strato di patina sottile e uniforme sono stati messi a punto diversi procedimenti. Nel procedimento di spalmatura a racla, la patina viene applicata sulla carta in quantità eccedente mediante un rullo o un ugello; subito dopo l'applicazione la patina viene livellata, asportandone l'eccesso, con una lama in acciaio flessibile (racla). La quantità di patina da applicare è determinata dalla viscosità e dal contenuto solido della patina, nonché dalla velocità della macchina, dalla distanza tra la racla e la carta, come pure dalla pressione e dall'angolo della racla. I moderni impianti di spalmatura a racla raggiungono una velocità operativa pari a 2000 m min^{-1} .

Altre tipologie di cartoncino sono realizzate mediante l'unione con altri materiali (film plastici, fogli di alluminio) o trattamenti con resine o additivi per migliorarne le prestazioni; tra i cartoncini accoppiati si considera anche il cosiddetto “microonda”, costituito da un cartoncino patinato incollato a un microndulato, realizzato con una copertina non patinata e un centro con 27 onde per decimetro lineare. Alcune versioni di cartoncino per imballaggi alimentari sono riportate in figura 7.13.

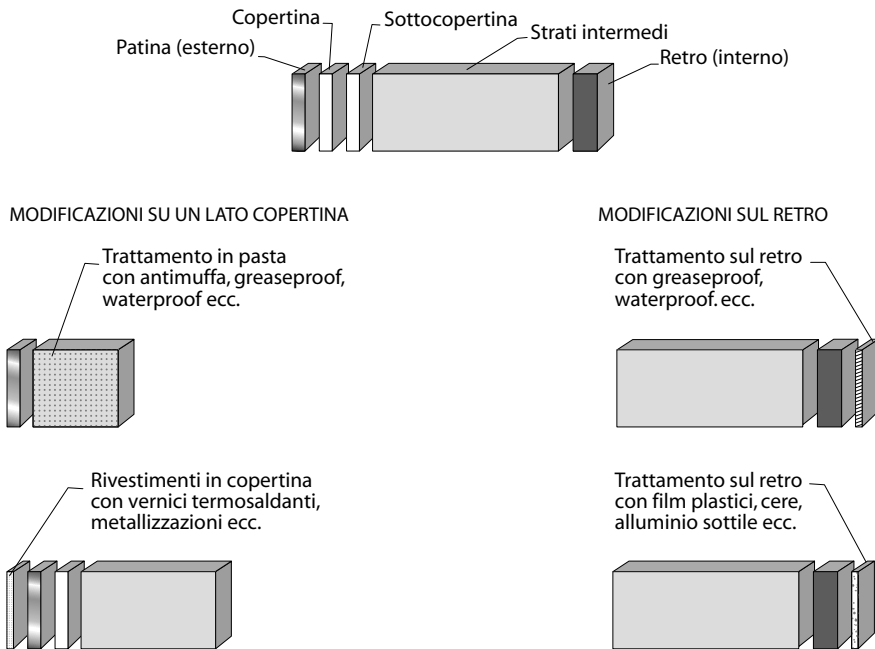


Figura 7.13 Tipologie di cartoncino per imballaggio alimentare.

Per quanto riguarda l' idoneità alimentare, il DM 21.03.1973 fissa limitazioni d'uso per i cartoni multistrato utilizzati nell' imballaggio di alimenti. Secondo l' articolo 27-bis, infatti, i contenitori formati da cartoni multistrato a grammatura minima di 200 g m^{-2} e costituiti da almeno tre strati possono essere utilizzati per l' imballaggio a livello industriale di specifiche categorie di alimenti (camomilla, tè ed erbe infusionali, cereali secchi allo stato originario e sotto forma di farine e semole, cereali tostati, paste alimentari non fresche, sale da cucina ecc.). I requisiti previsti dal decreto si applicano a tutti gli strati del cartoncino; tuttavia, i limiti di migrazione del piombo valgono solo per il retro, cioè per lo strato direttamente a contatto con l' alimento.

7.6 Cellulosa modellata. Polpa di cellulosa

La pasta di carta, materia prima per la produzione di carte e cartoni sulle macchine continue, può anche essere modellata – per formatura, pressatura ed essiccamento – per realizzare imballaggi dalle forme più varie, che si adattano facilmente al prodotto cui sono destinati (come uova, frutta o carne) e hanno un modestissimo impatto ambientale.

Per la produzione di polpa di cellulosa si utilizzano due tecniche principali:

- *processo a iniezione in pressione*, che consente di produrre gli articoli soffiando aria pressurizzata a 0,4 MPa nello stampo contenente la miscela di polpa e acqua; successivamente l' articolo formato viene sottoposto a essiccamento con effetto sterilizzante;
- *processo per aspirazione*, che applica il vuoto per rimuovere l' acqua dall' impasto di cellulosa nello stampo; in questo caso l' articolo che si ottiene avrà un contenuto di umidità maggiore rispetto a quello ottenuto con il metodo precedente e andrà quindi sottoposto a essiccazione.

Il processo a iniezione è più lento del secondo e produce oggetti con superficie meno regolare; per tale motivo, gli oggetti prodotti mediante processo per aspirazione sono più idonei a essere sottoposti alle operazioni di stampa.

Al termine dell' essiccazione, gli oggetti in polpa di cellulosa possono essere sottoposti a una serie di post-trattamenti – come la laminazione, la stampa e il rivestimento – a seconda delle prestazioni richieste dall' utilizzatore finale. La laminazione con sottili film plastici consente, per esempio, di ottenere confezioni *dual ovenable*, ossia in grado di resistere a temperature sia di congelamento sia di cottura in forni tradizionali (massimo $200 \text{ }^\circ\text{C}$) e in forni a microonde.

Le confezioni in cellulosa modellata sono generalmente rigide, presentano spessori variabili (0,2-6 mm) e sono molto leggere (densità $0,2\text{-}1,0 \text{ g cm}^{-3}$). Possono facilmente assorbire shock e vibrazioni e hanno una buona resistenza a stress meccanici. Per tali motivi sono utilizzate in alternativa ai contenitori in polistirene espanso (EPS). La cellulosa modellata è, inoltre, permeabile al vapore acqueo e mostra elevati valori di trasmissione ai gas, oltre che bassi valori di selettività (ossia una simile velocità di permeabilità all' anidride carbonica e all' ossigeno): tali proprietà sono molto utili soprattutto nel confezionamento di prodotti dotati di metabolismo respiratorio come frutta e vegetali. Altri aspetti importanti riguardano il basso costo della materia prima e la possibilità che nella formulazione rientrino materiali riciclati, oltre al fatto che la cellulosa modellata sia, a tutti gli effetti, un materiale facilmente riciclabile.

7.7 Cellophane. Cellulosa rigenerata

La cellulosa rigenerata, più nota con il primo nome commerciale di cellophane, è un materiale sottile e trasparente. Può considerarsi il capostipite delle moderne pellicole plastiche, sebbene se ne differenzi sostanzialmente in quanto non termoplastico. Il grande numero di legami idrogeno tra le catene cellulosiche, infatti, impedisce il tipico comportamento termoplastico delle resine sintetiche e rende il cellophane combustibile. La sua fabbricazione è estremamente complessa e parte da una pasta di legno particolarmente selezionata, che viene posta in un bagno di soda caustica per depolimerizzare la cellulosa; in seguito viene aggiunto del solfuro di carbonio per produrre la cosiddetta “viscosa” (xantogenato di cellulosa), che – purificata e filtrata – viene colata in un bagno di acido solforico nel quale la cellulosa si rigenera sotto forma di polimero lineare le cui macromolecole sono molto ravvicinate. Il film di cellophane è estremamente trasparente, ha buone caratteristiche di rigidità e macchinabilità, è biodegradabile e ha una discreta barriera al passaggio dei gas; per contro, ha un costo elevato, un peso notevole (massa volumica pari a $1,44 \text{ g cm}^{-3}$), non è termosaldabile (non fonde ma brucia) ed è estremamente sensibile all’umidità, che lo deforma e lo rende più permeabile (tabella 7.9). Non viene praticamente mai utilizzato tal quale, ma sempre rivestito con lacche plastiche termosaldabili e impermeabili. Il suo impiego, molto diffuso negli anni Sessanta e Settanta, è oggi in forte declino per la concorrenza delle materie plastiche, in particolare del polipropilene orientato. È ancora molto usato per l’incarto doppio fiocco (caramelle), poiché, al contrario di molte materie plastiche, tiene assai bene la piega (non è elastico).

Nuove regole di produzione e utilizzo per le pellicole di cellulosa rigenerata per alimenti dettate dall’UE sono contenute nella Direttiva 2007/42/CE. In particolare i criteri di applicazione, insieme alle percentuali di sostanze consentite per la loro composizione, sono specificati nel secondo e terzo allegato alla Direttiva, mentre il primo allegato contiene la definizione di pellicola di cellulosa rigenerata. In pratica si tratta di un foglio sottile prodotto a par-

Tabella 7.9 Proprietà caratteristiche delle pellicole di cellophane

Proprietà	Cellophane non rivestito	Cellophane rivestito di PVDC	Cellophane rivestito di nitrocellulosa
Massa volumica (g cm^{-3})	1,5	1,5	1,5
Opacità (%)	3,0	3,5	3,0
Allungamento % longitudinale	16	22	16
Allungamento % trasversale	60	60	60
Resistenza alla tensione:			
– longitudinale (kg inch^{-2})	18.000	18.000	18.000
– trasversale (kg inch^{-2})	8.000	8.000	8.000
Temperatura di saldatura ($^{\circ}\text{C}$)	–	165	170
Permeabilità O_2 50% UR*	45	7,5	30
Permeabilità O_2 95% UR*	750	7,5	150
WVTR**	1.500	7,0	7,5
38 $^{\circ}\text{C}$ 90% ΔUR (25 μm)			

* $\text{cm}^3 \text{ m}^{-2} 24\text{h}^{-1} \text{ bar}^{-1}$ (25 μm)

** $\text{g m}^{-2} 24\text{h}^{-1}$

tire da cellulosa raffinata (ottenuta da legno o cotone non riciclati) alla quale possono essere aggiunte opportune sostanze nella massa o in superficie. L'allegato, inoltre, precisa che possono essere ricoperte su uno o su entrambi i lati. Sostanze non elencate nel secondo allegato possono essere impiegate solo come coloranti (cioè tinture e pigmenti) o come adesivi, purché non ne venga rilevata traccia (con un metodo convalidato) all'interno o sulla superficie dei prodotti alimentari. La Direttiva 2007/42/CE riguarda sia le pellicole che sono parte di un prodotto finito (per esempio, strutture multistrato), sia quelle che costituiscono di per sé un prodotto finito. Per tutelare la salute dei consumatori, la stessa norma vieta il contatto diretto con i prodotti alimentari delle superfici di pellicola di cellulosa rigenerata stampate.

7.8 Buste e sacchetti di carta

Con numerosi tipi di carta – quali carta Kraft avana e sbiancata, carte al solfito e pergamino (glassine) – anche accoppiati con altri materiali non cellulósici, vengono realizzate moltissime confezioni che trovano largo impiego sia nel confezionamento da asporto di alimenti solidi, anche granulari o in polvere, sia nel confezionamento di materie prime e semilavorati in sacchi di grandi dimensioni. Questi semplici imballaggi sono realizzati da macchine automatiche, che provvedono al taglio e all'incollaggio a partire da uno o due fogli del materiale, e si distinguono facilmente per la forma e alcune particolari caratteristiche (figura 7.14). Il sacco o sacchetto piano è la forma più semplice; incollato sul fondo e longitudinalmente, può prevedere soffietti laterali che ne aumentano la capacità e un lembo sporgente dalla sommità (pateletta) che, ripiegato, offre una sorta di chiusura. Sia nella forma con soffietti sia in quella piana, il sacchetto può essere costruito con un fondo (detto quadro) che favorisce l'apertura e il sostentamento; questo tipo è anche detto ad apertura automatica o SOS (*self opening sachet*). Infine può essere dotato di maniglie fustellate (aperture ricavate nei fogli costituenti) o esterne alla confezione (incollate o cucite).

7.9 Astucci pieghevoli

Astucci e scatole pieghevoli rappresentano il principale settore dell'imballaggio prodotto mediante impiego di cartoncino, assorbendo il 60% circa della produzione nazionale di cartone. Il comparto alimentare utilizza circa il 50% delle scatole prodotte, che vengono impiegate, principalmente, per prodotti da forno, paste alimentari, riso, zucchero, dolci e surgelati. Si tratta di confezioni destinate all'imballaggio sia primario sia secondario; nel secondo

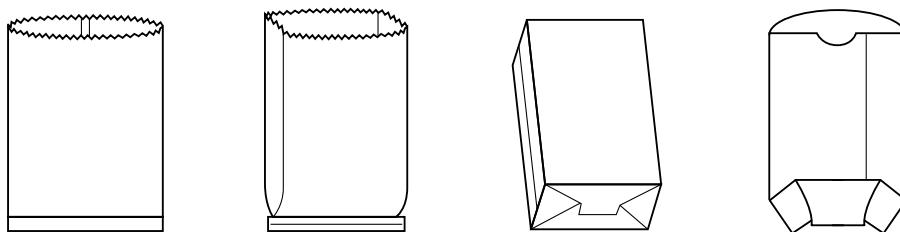


Figura 7.14 Alcune tipologie di buste e sacchetti di carta.

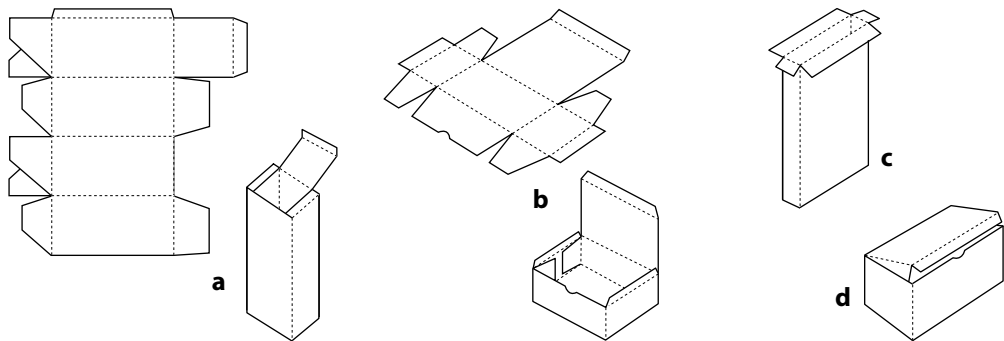


Figura 7.15 Alcune tipologie di astucci e scatole pieghevoli.

caso, al loro interno è contenuta una busta o un sacchetto e raramente si tratta di confezioni chiuse ermeticamente (figura 7.15). In genere i cartoncini impiegati sono del tipo patinato sulla superficie esterna, ma tutte le possibili configurazioni possono essere utilizzate per la lavorazione cartotecnica. Le fasi fondamentali del processo di fabbricazione degli astucci pieghevoli, che parte dal materiale piano in rotoli o fogli, sono la stampa, la fustellatura-cordonatura e la piegatura-incollatura. Quasi tutte le tecniche di stampa (che verranno descritte più avanti) vengono impiegate per decorare i cartoncini, sebbene la stampa offset da foglio e quella rotocalco da bobina siano le più utilizzate.

7.9.1 Fustellatura/cordonatura

In un'unica operazione, realizzata in macchine automatiche dette autoplatine, il foglio di cartoncino viene tagliato in sagome e cordonato lungo le linee di piegatura. La fustella – montata sulla parte mobile di una pressa – effettua sia il taglio sia la cordonatura del cartoncino mediante l'azione di filetti di taglio e di cordonatura che fuoriescono da solchi incisi in una tavola di speciale legno compensato premuta sul cartoncino. I filetti di taglio separano dal foglio le sagome secondo un preciso layout (disposizione della forma stesa sul foglio), che tiene conto del senso della fibra (che deve essere ortogonale alle cordonature longitudinali) e della direzione macchina, per ottimizzare le proprietà meccaniche del futuro contenitore, e tende al migliore utilizzo della superficie minimizzando gli scarti (figura 7.16).

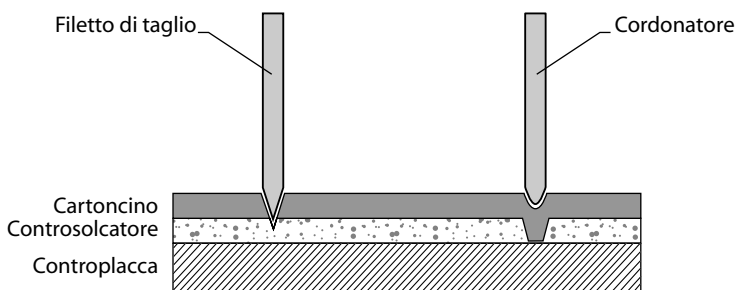


Figura 7.16 Fustellatura e cordonatura di un cartoncino.

I filetti di cordonatura incidono il foglio, comprimendolo ma senza separare le fibre, per ottenere delle linee preferenziali in corrispondenza delle quali il cartoncino possa piegarsi senza spezzarsi o rovinarsi. All'uscita dall'autoplatina, le sagome (prefustellati stesi) vengono impilate e avviate a operazioni di finitura per essere liberate individualmente e ripulite dagli sfridi. Presso l'utilizzatore finale, a partire dai prefustellati stesi, particolari macchine sono in grado di costruire, riempire e chiudere l'astuccio. Nella categoria dei fustellati stesi rientrano anche le fascette per il multi-packaging, largamente impiegate per assemblare bottigliette di birra o bevande, yogurt, conserve ecc. Mediante lavorazioni analoghe, e sempre partendo da un fustellato steso, si producono anche bicchieri di carta (*paper cup*), barattoli di materiale multistrato (*single wrap composite*), vaschette di cartoncino termosaldato (*paper tub*). Una caratteristica comune a queste tre forme di packaging è la finitura del bordo e del fondo (flangiatura e curlingatura), che si realizza per irrigidire il bordo e per consentire, con una tecnica simile all'aggraffatura, il fondello inferiore.

7.9.2 Piegatura/incollatura

Questa operazione è opzionale e viene eseguita solo se il fine della lavorazione cartotecnica è produrre l'astuccio preincollato, detto anche a manica o astuccio tubolare. Nelle "piega-incollatrici" lineari (che possono raggiungere cadenze di 80000 pezzi/h) il fustellato viene disimpilato, sottoposto a prerottura delle cordonature (per ridurne la resistenza durante la messa in volume dell'astuccio sugli impianti automatici di confezionamento presso l'utilizzatore finale), incollato sul patellino (lembo esterno della sagoma, preposto all'incollaggio), ripiegato e raccolto nuovamente in pila per il confezionamento. Altre operazioni opzionali, preliminari all'incollaggio, sono la finestatura (per applicazione di film trasparenti) e l'applicazione di maniglie, nastri a strappo o seghetti metallici. Macchine più sofisticate, dotate di particolari dispositivi di piegatura e incollaggio, consentono di realizzare astucci di forma irregolare, scatole a fondo automontante e strutture più complesse (figura 7.17).

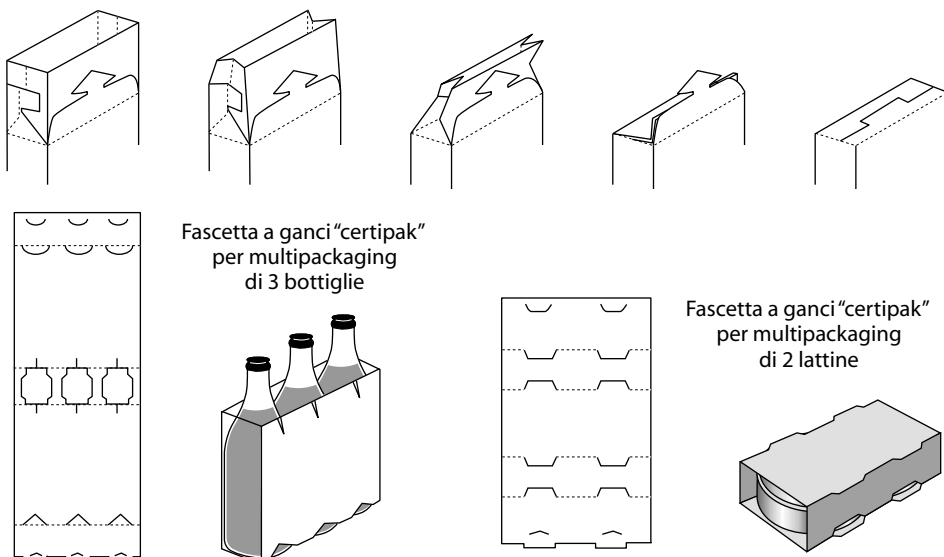


Figura 7.17 Sistemi di piegatura di astucci e fascette.

7.9.3 Tecniche di confezionamento

Possono essere classificate in base al tipo di materiale trattato (prefustellato steso o astuccio preincollato) o alla direzione di riempimento (verticale o orizzontale, figura 7.18). La distinzione in tecniche verticali o orizzontali riguarda in realtà il prodotto da condizionare: per prodotti in polvere o granulari (*free flowing*) sarà ovviamente verticale, mentre per prodotti di forma regolare e volumetria costante sarà orizzontale o *end-load*. La velocità di confezionamento può variare da 20 a 400 pezzi al minuto utilizzando astucci preincollati, mentre sarà ovviamente inferiore impiegando prefustellato steso, poiché prima di caricare il prodotto è necessario realizzare il contenitore. Da fustellato steso si producono vassoi, astucci con coperchio calzante (*hood cover*), particolarmente adatti per il riempimento con prodotti *free flowing*, e sistemi di confezionamento *wrap around*, nei quali la scatola viene formata direttamente intorno al prodotto da confezionare, con un sensibile risparmio di materiale (figura 7.19).

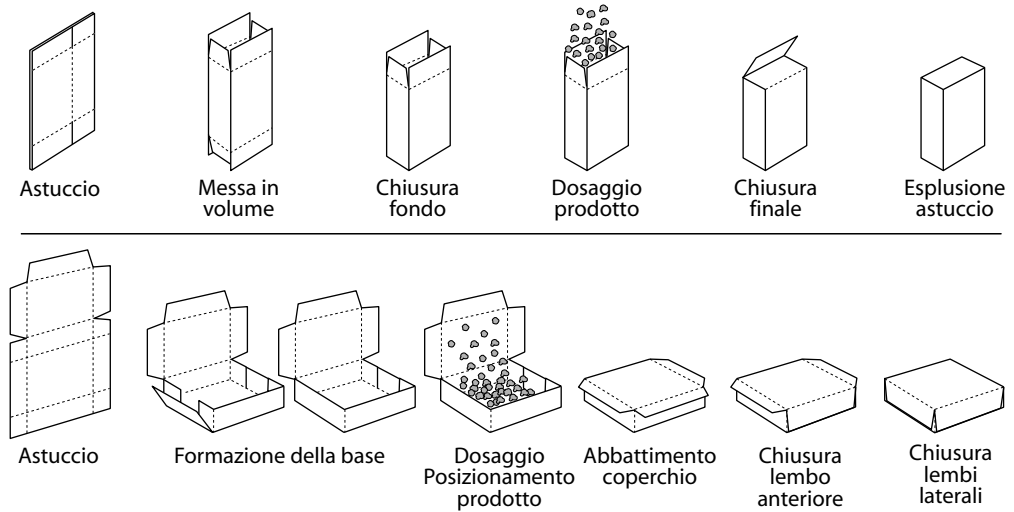


Figura 7.18 Confezionamento verticale (*in alto*) e orizzontale (*in basso*) a partire da astucci pieghevoli.

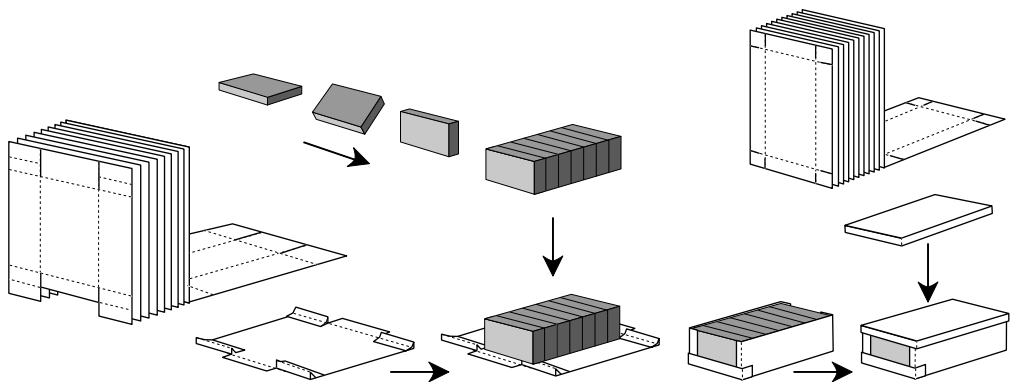


Figura 7.19 Sistema di riempimento *wrap around*.

7.10 Scatole di cartone ondulato

I diversi tipi di cartone ondulato sono utilizzati per produrre scatole di forme e dimensioni differenti, ma anche altri utili oggetti di packaging; la figura 7.20 riporta, a titolo d'esempio, alcuni classici formati di imballaggi di cartone ondulato. In alto la tipica scatola (o cassa) detta anche "tipo americano". Costituita generalmente da un solo pezzo, munita di falde superiori e inferiori, cucita o incollata o nastrata sul fondo. Viene fornita stesa, è detta anche scatola "slottata" perché dotata delle caratteristiche slottature, quegli intagli del fustellato (*slots*) che ne consentono la formazione senza sforzi o sollecitazioni. Il secondo formato corrisponde alle cosiddette "scatole pieghevoli", contenitori e vassoi formati normalmente dalla piegatura di un fustellato di cartone. In basso nella figura, infine, una cassetta per ortofrutta, corrispondente alla tipologia delle "scatole incollate e pronte all'uso", imballaggi incollati già pronti, composti in genere da un pezzo, sono consegnati piegati e sono pronti per l'uso tramite una semplice fase di montaggio apertura.

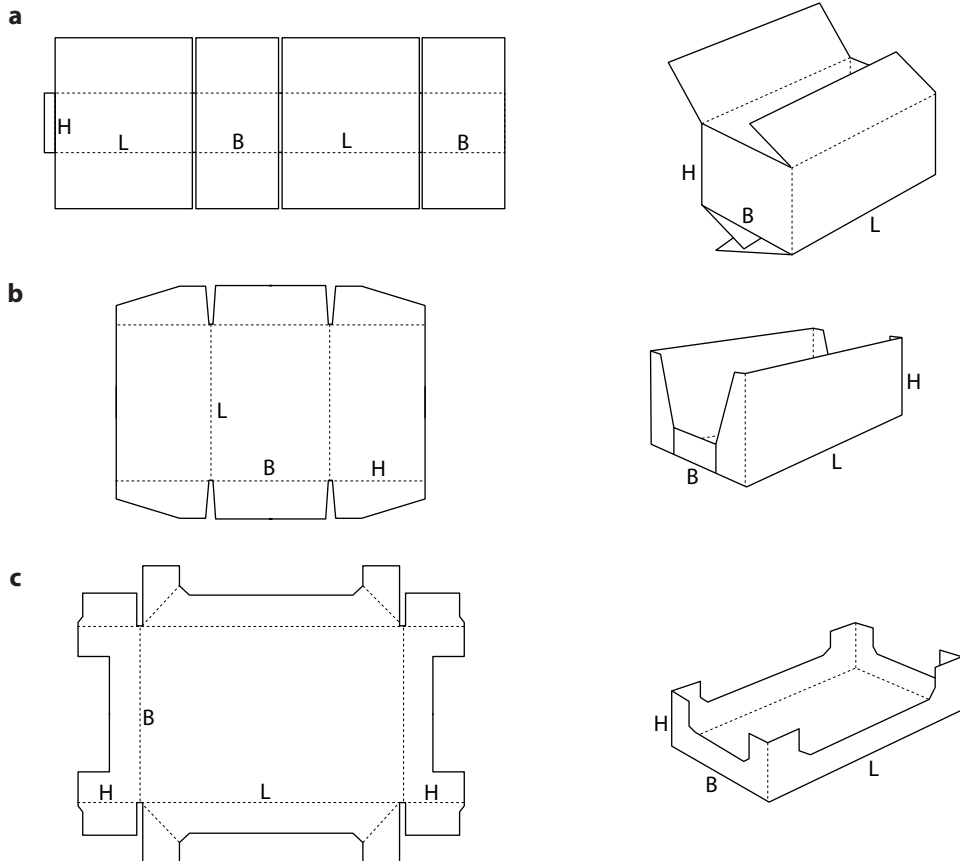


Figura 7.20 Alcune tipologie di imballaggi in cartone ondulato. **a:** scatola (o cassa) "tipo americano"; **b:** scatola pieghevole; **c:** scatola incollata e pronta all'uso.

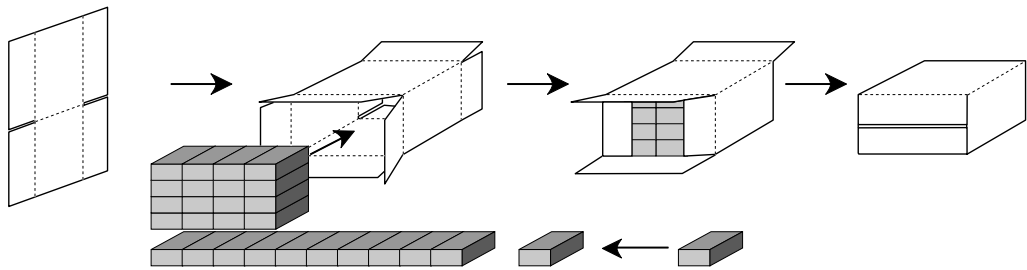


Figura 7.21 Sistema di riempimento di scatole americane (FEFCO 0201).

Le dimensioni di una scatola (lunghezza, L; larghezza, B; altezza, H) vengono di norma riferite al suo interno. Al fine di uniformare la nomenclatura delle scatole in cartone ondulato, la Federazione Europea che raggruppa i produttori di cartone ondulato (FEFCO: European Federation of Corrugated Board Manufacturers) ha assegnato un codice univoco a ogni tipologia di prodotto. Per esempio, la scatola americana è identificata con il codice FEFCO 0201, mentre quella semiamericana con il codice FEFCO 0200.

I sistemi di riempimento delle scatole in cartone ondulato possono essere di vario tipo, a seconda delle dimensioni. Per le scatole americane di grandi dimensioni i sistemi di riempimento partono dal cartone fustellato e preincollato, si sviluppano in orizzontale e prevedono stazioni di incollaggio dei lembi inferiore e superiore (figura 7.21).

Gli esercizi di autovalutazione di questo capitolo si trovano a pagina 512

Bibliografia

- Associazione Italiana fra gli Industriali della Carta, Cartoni e Paste per Carte (Assocarta) (www.assocarta.it).
- Baldi F (2000) *Il processo di produzione delle paste chimiche e il loro trattamento*. 8° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari, edizione 2000/2001. Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari (http://www.scuolagrafिकासzeno.com/index.php?option=com_rokdownloads&view=file&id=326:ricerca_baldi).
- Bertoldi L (2001) *La collatura superficiale con applicazione a mezzo size press e film press*. 9° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari, edizione 2001/2002. Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari (http://www.scuolagrafिकासzeno.com/index.php?option=com_rokdownloads&view=file&id=348:ricerca_bertoldi).
- Biancolini ME, Brutti C (2003) Numerical and Experimental Investigation of the Strength of Corrugated Board Packages. *Packag Technol Sci*, 16: 47-60.
- Bronovitskii VE, Kalinskaya LL (1973) Oxidation of Lignin in Aqueous Alkaline Solution. *Chemistry of Natural Compounds*, 6(5): 532-535.
- Choi JO, Jitsunari F, Asakawa F et al. (2002) Migration of surrogate contaminants in paper and paper-board into water through polyethylene coating layer. *Food Addit Contam*, 19(2): 1200-1206.
- Cordoano D (2002) *La tavola piana*. 10° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari, edizione 2002/2003. Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari (http://www.scuolagrafिकासzeno.com/index.php?option=com_rokdownloads&view=file&id=378:cordoano).

- Di Carlo P (1999) *La produzione del cartone ondulato*. 7° Corso di Tecnologia per tecnici cartari, edizione 1999-2000. Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari (http://www.scuolagrafिकासазено.com/index.php?option=com_rokdownloads&view=file&id=294:di_carlo).
- DM 21 Marzo 1973, Ministero della sanità. Disciplina igienica degli imballaggi, recipienti, utensili, destinati a venire in contatto con le sostanze alimentari o con sostanze d'uso personale e successive modifiche e integrazioni. Suppl. ord. alla GU n. 104 del 20.4.1973.
- GIFCO. Gruppo Italiano Fabbriчanti Cartone Ondulato (www.gifco.it).
- Ikeda T, Tomimura Y, Magara K, Hosoya S (1999) Sulfuric acid bleaching of kraft pulp II: behavior of lignin and carbohydrate during sulfuric acid bleaching. *Journal of Wood Science*, 45(4): 75-80.
- Lee DS, Yam K, Piergiovanni L (2008) *Food Packaging Science and Technology*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 243-275.
- Negri E (2006) *Il cartone ondulato e le caratteristiche delle carte per ondulatore*. XIV Corso di Tecnologia per tecnici cartari, edizione 2006-2007. Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari (http://www.scuolagrafिकासазено.com/index.php?option=com_rokdownloads&view=file&id=471:negri_emanuele).
- Paine FA, Paine HY (1983) *A Handbook of Food Packaging*. Leonard Hill, Glasgow, pp. 113-121.
- Raven HP, Evert RF, Curtis H (1984) *Biologia delle piante* (4^a ed). Zanichelli, Bologna.
- Regolamento CE 1935/2004 del Parlamento europeo e del Consiglio del 27 ottobre 2004 riguardante i materiali e gli oggetti destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari e che abroga le direttive 80/590/CEE e 89/109/CEE. GU L/338 del 13.11.2004.
- Robertson GL (ed) (1993) *Food Packaging. Principles and Practice*. Marcel Dekker, New York, pp. 144-171.
- Rustioni E (2001) *La patinatura della carta*. 9° Corso di Tecnologia per Tecnici Cartari, edizione 2001-2002. Scuola Interregionale di Tecnologia per Tecnici Cartari (http://www.scuolagrafिकासазено.com/index.php?option=com_rokdownloads&view=file&id=356:ricerca_rustioni).
- Soroka W (2003) *Packaging Technology - Fondamenti di Tecnologia dell'Imballaggio*. Istituto Italiano Imballaggio, Milano.
- Taranto R, Rossi L, Bonaguro G et al. (1997) *Alla scoperta del pianeta carta*. Assocarta.