

Enrico Pedemonte, Elisabetta Princi, Silvia Vicini  
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale  
Università di Genova  
pede@chimica.unige.it



## STORIA DELLA DELLA CARTA PRODUZIONE

**L'articolo riassume l'affascinante storia della produzione della carta.**

**A partire dalla presunta invenzione, in Cina nel 105 d.C., sino ai giorni nostri vengono illustrate le materie prime impiegate nei diversi periodi storici, dagli stracci di lino e cotone al legno,** gli additivi chimici che nei secoli sono stati introdotti ed i processi di produzione, da quelli manuali alle macchine continue ancora oggi impiegate. In particolare vengono sottolineati gli aspetti economici che hanno determinato le successive trasformazioni, e quelli di qualità, per cui le carte antiche sono molto più resistenti di quelle moderne all'azione degli agenti di degrado.

**L**a carta è costituita essenzialmente da un feltro sottile di fibre cellulosiche, formato per deposizione da una sospensione acquosa diluita su una tela molto fine: in seguito alla rimozione dell'acqua e al successivo essiccamento le fibre restano unite per "feltratura".

La carta ha avuto un'importanza fondamentale nello sviluppo della cultura in quanto in origine è stata adoperata per trasmettere il pensiero con la scrittura e con la stampa. Alla produzione di carta da scrivere e da stampa (veline con grammatura fino a 30 g/m<sup>2</sup>, carte propriamente dette da 30 a 150 g/m<sup>2</sup>) si sono successivamente aggiunte produzioni sempre più rilevanti per usi diversi. Nel campo degli imballaggi hanno assunto grande importanza il prodotto cartari di grammatura superiore a quella normale: cartoncini (da 150 a 400 g/m<sup>2</sup>) e cartoni con grammatura superiore a 400 g/m<sup>2</sup>.

### L'invenzione della carta

Sulla base di alcuni ritrovamenti archeologici, il primo impiego della carta è collocabile alcuni secoli prima di Cristo, ma l'invenzione della stessa viene comunemente attribuita ad un mandarino cinese, di nome Ts'ai Lun, nel 105 dopo Cristo. Si dice che l'idea per la fabbricazione della carta gli venne osservando in uno stagno, adibito a lavatoio, il riunirsi sotto forma di tessuto delle fibrille staccatesi dai panni per azione dello strofinio e della sbattitura esercitati dalla lavandaia. Ts'ai Lun raccolse delicatamente il sottile velo di fibrille formatosi in un'ansa dello stagno e lo pose ad essiccare. Si formò così un foglio di colore biancastro e di una certa consistenza, idoneo a supportare la scrittura.

### La diffusione della carta

Nel settimo secolo la fabbricazione della carta passò prima in

Corea e successivamente in Giappone; nell'VIII secolo si diffuse in Occidente. Infatti nel 751, a seguito di una battaglia nel Turkestan, gli arabi fecero prigionieri alcuni cinesi che insegnarono loro la fabbricazione della carta, così che questa si diffuse in tutti i territori arabi, da Samarcanda a Bagdad, a Damasco e a Fez in Marocco (che alla fine del XII secolo possedeva circa quattrocento cartiere). Nel XII secolo gli arabi la introdussero nei territori occupati dell'Europa e particolarmente in Spagna (Jativa, dove sorse la prima cartiera europea) ed in Sicilia (Palermo).

Nel XIII secolo si sviluppò in Italia il centro di fabbricazione di Fabriano (1276), che fu il primo ad utilizzare maestranze occidentali e che fiorì sino al XVI secolo, quando si sviluppò il centro di fabbricazione di Genova-Voltri, che entrò in crisi nel XVIII secolo.

Dall'Italia la produzione passò in tutto il resto dell'Europa e particolarmente in Francia (XIV secolo), nei Paesi Bassi (XV secolo) ed in Inghilterra (XV secolo). Qui lo sviluppo fu molto rapido nel XIX secolo, a seguito della disponibilità di ingenti capitali e di un minor prezzo del combustibile necessario per il processo produttivo.

Fino ai primi decenni dell'Ottocento il ciclo di produzione della carta rimase immutato; in tale secolo, a seguito dell'aumentata richiesta dovuta allo sviluppo dell'editoria ed in particolare alla diffusione dei periodici, divenne necessario rendere la carta più economica e a tal fine, furono introdotte nel ciclo produttivo tecnologie innovative.

### Le materie prime per la produzione della carta

Le materie prime per la produzione della carta sono cambiate nel corso dei secoli. All'inizio sono stati usati stracci di origine vegetale (soprattutto lino, ma anche cotone e canapa) bianchi o soltanto leggermente colorati; successivamente, a seguito della scoperta del cloro, che ha consentito lo sbiancamento dei tessuti (Berthollet, 1789), si sono potuti impiegare anche stracci colorati, con conseguente modificazione del processo produttivo.

Nell'800, per far fronte alle esigenze sempre crescenti che imponevano un incremento della produzione, si è fatto ricorso al legno; è stato utilizzato il legno di conifera (abete e pino, con lunghezza media delle fibre di 2-4 mm), e il legno di latifoglie (faggio, pioppo, eucaliptus, betulla, castagno ecc. con lunghezza media delle fibre di 1-2 mm).

Più recentemente si è studiato anche il possibile impiego di parti di piante annuali (cotone, lino, canapa, iuta, ginestra ma soprattutto residui di colture di frumento, di riso di granoturco ecc.), problema imposto dall'urgente necessità di reperire materie facilmente rinnovabili a causa dell'incontestabile impoverimento del patrimonio forestale. L'attenzione riservata dall'industria a moltissime specie

arboree, piuttosto che ai vegetali a corto ciclo vegetativo, dipende dal fatto che le tecnologie più diffuse per la produzione di paste per carta si sono sviluppate maggiormente per lo sfruttamento del legno rispetto a tutte le altre materie prime fibrose, le quali richiedono interventi mirati e differenziati per ognuna di esse.

Un crescente interesse è rivolto oggi al riciclo della carta, anche se il processo di lavorazione è relativamente complesso e il prodotto che si ottiene è di qualità piuttosto scadente.

Accanto alle materie prime fibrose sono usate anche materie prime non fibrose, per conferire alla carta particolari proprietà. Queste si aggiungono all'impasto fibroso, dal 2 al 40% in peso, oppure sono applicate sulla superficie del foglio già formato.



Fig. 1 - Esempio di "pila"

Tra le materie prime non fibrose ricordiamo le cariche minerali, le materie collanti e le sostanze ausiliarie.

Le cariche minerali si adoperano per migliorare la bianchezza della carta, la sua opacità e l'attitudine alla stampa; si tratta di caolino, talco, carbonato di calcio, farina fossile, gesso, solfato di bario ecc. Le materie collanti vengono aggiunte per impartire alla carta una buona resistenza alla penetrazione dell'inchiostro. Oggi sono costituite da emulsioni di resinato a base di colofonia, a cui si aggiunge dell'allume che ne provoca la precipitazione sulle fibre. Le sostanze ausiliarie sono tutte quelle altre sostanze che vengono aggiunte per ottenere particolari proprietà, come ad esempio i coloranti.

Si ricorda infine che il problema fondamentale del cartaiolo è quello di procurarsi grandi quantità di acqua. Per questo motivo le cartiere erano situate lungo il corso dei fiumi, a monte piuttosto che a valle delle città, in modo da poter disporre di acqua pura.

### La preparazione della pasta

La preparazione della pasta per la formazione del foglio di carta ha subito nel corso dei secoli sostanziali modifiche, in particolare nell'Ottocento. Nei secoli precedenti il processo è rimasto praticamente invariato nelle sue linee fondamentali, acquisendo migliorie dall'introduzione di tecnologie più sofisticate, ma rimanendo inalterato nei passaggi principali.

Nei secoli in cui, come materia prima, sono stati utilizzati stracci di origine vegetale bianchi o leggermente colorati, il procedimento per la produzione della pasta era estremamente semplice.

Ad una prima fase di battitura e lavatura, fatte per eliminare polvere e fango, seguiva la tagliatura, per rendere gli stracci in forma di piccole strisce allungate. A questa seguiva un processo di lisciviazione, realizzato dapprima con acqua calda e cenere e successivamente con calce o soda, allo scopo di sgrassare il tessuto. Seguiva poi la fermentazione nel marcitoio, allo scopo di ottenere la cellulosa allo stato di elevata purezza.

La fase successiva, di sfibratura, era la più complessa ed aveva lo scopo di separare le singole fibre e di stemperarle con acqua. Il prodotto così ottenuto prendeva nome di "pesto".

Nei tempi più antichi gli arabi realizzavano la sfibratura in vasche di legno o di pietra, dette "pile" (Fig. 1), con pestelli chiodati di legno detti "magli" azionati a mano. Soltanto nel XIII secolo a Fabriano i magli saranno azionati da una ruota idraulica. Con questa tecnica il tempo di sfibratura era di 20/40 ore e la resa in cellulosa soltanto del 70%. Nel 1680 venne introdotta la "pila olandese" o "pila a cilindro", costituita da una vasca di pietra in cui ruotava un cilindro di legno ricoperto da lame d'acciaio sporgenti (Fig. 2). Con questa tecnica il tempo di sfibratura si riduce a 2 ore e la resa in cellulosa sale al 95%, ma la sfibratura è più spinta e si ottengono fibre più corte, che danno una carta di qualità peggiore.



Fig. 2 - Cilindro di legno della "pila olandese" o "pila a cilindro", ricoperto da lame d'acciaio sporgenti

In Italia la pila olandese si diffonde solo nell'Ottocento.

A seguito della scoperta del cloro (Scheele, 1774) e del suo utilizzo per lo sbiancamento dei tessuti (Berthollet, 1789), nel 1798 si introduce una fase di sbiancatura del pesto, proveniente da stracci colorati, con cloro gassoso o cloruro di calcio, seguita da un lavaggio con una soluzione di solfito di sodio, che sarà successivamente sostituito da iposolfito o da bisolfito di sodio, e da una raffinazione, realizzata nella pila raffinatrice. Questa è simile alla pila olandese sfilaciatrice, ma il cilindro e la lastra fissa contengono un maggior numero di lame, il cilindro è più vicino alla lastra ed inoltre gira molto più velocemente.

Questa tecnologia è rimasta pressoché inalterata fino all'800, quando per far fronte alla domanda crescente di carta e preso atto della difficoltà di reperimento degli stracci, si ricercarono materie prime naturali alternative e si fece ricorso essenzialmente al legno. Dal legno sono state ricavate tre tipi di paste: la pasta meccanica o pasta di legno in senso stretto, la pasta chimica e la pasta semi-chimica.

I diversi trattamenti hanno lo scopo di sciogliere la lignina e le altre sostanze incrostanti il legno, lasciando la cellulosa sotto forma di fibre ben separate. Anche se la reazione è facilitata dalla notevole inerzia chimica della cellulosa, in contrapposto alla relativa attaccabilità delle altre sostanze che l'accompagnano, parallelamente si ha sempre una certa degradazione della cellulosa, con conseguente diminuzione della lunghezza delle fibre.

### Pasta meccanica

La pasta meccanica fu introdotta nel 1844 dal tedesco Federico Keller; essa si ottiene per semplice sfibratura meccanica del legno (Fig. 3), pressando i tronchi contro una mola in pietra, ruotante in direzione trasversale alle fibre e immersa parzialmente in una vasca d'acqua.

Il processo ha una resa elevata (85-95%), ma la pasta che ne deriva contiene tutte le impurezze del legno; le fibre riunite a fascetti nella struttura di base di questo non vengono tutte ben separate le une dalle altre (Fig. 4). Infine le fibre vengono spezzate dall'azione meccanica, per cui la qualità della carta che così si ottiene è scarsa: in particolare non sono soddisfacenti le proprietà meccaniche. Questa carta presenta tuttavia buone caratteristiche di stampabilità e un prezzo contenuto.

La pasta meccanica viene utilizzata per la produzione di cartone e, mescolata con la pasta chimica, per la produzione di carta da stampa. In quest'ultimo caso l'impasto contiene il 75-80% di pasta mec-

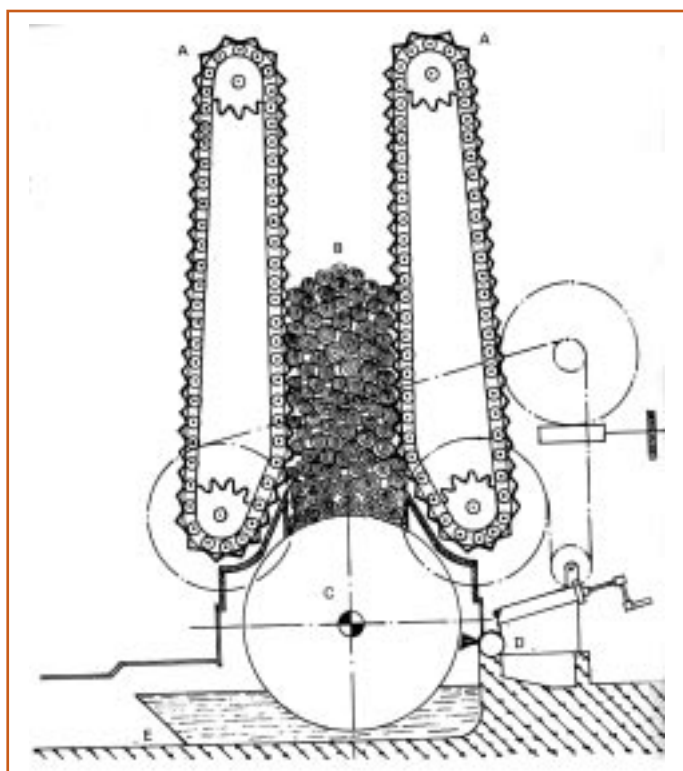


Fig. 3 - Processo di sfibratura meccanica del legno. A: catene di avanzamento, B: tondelli di legno, C: mola sfibratrice, D: spruzzo di acqua, E: pozzetto di raccolta pasta

canica; vi è però la tendenza ad una maggior utilizzazione della pasta meccanica e non è escluso che lo sviluppo tecnologico consenta di produrre carta da giornale interamente costituita da questa.

### **Pasta chimica**

La pasta chimica si ottiene per eliminazione delle impurezze e delle sostanze incrostanti che tengono unite le fibre della cellulosa costituente il legno mediante reattivi chimici.

Benché la cellulosa abbia una buona resistenza a molti reagenti, durante il processo, che prende il nome di "cottura", può subire delle modifiche più o meno profonde; pertanto la cellulosa stessa viene differenziata in relazione ai processi di purificazione. Fra questi, quelli che si sono dimostrati applicabili industrialmente sono: quello alla soda, al bisolfito, al solfato e al clorosoda. In tutti i casi, durante la cottura il legno viene trattato con una soluzione, detta "liscivio"; perché il processo sia economicamente conveniente è necessario recuperare le sostanze contenute nel "liscivio nero", che è il prodotto della fase di cottura. Esso viene sfruttato, dopo concentrazione che porta il contenuto in solido a circa il 65%, sia

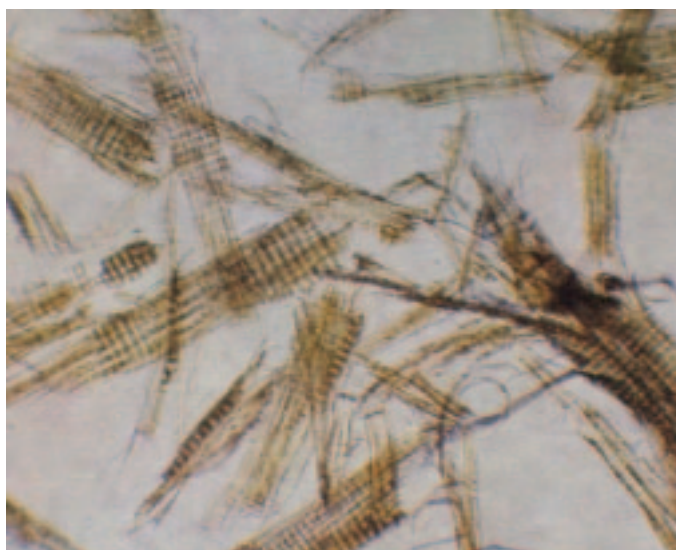


Fig. 4 - Aspetto delle fibre dopo sfibratura meccanica

quale combustibile, per la presenza di sostanze organiche, sia quale sorgente di reattivi, che possono servire a formare altro liscivio fresco, per una nuova fase di cottura.

Nel processo alla soda (1857, processo Houghton) il reagente impiegato è un liscivio di idrato sodico. Il reagente chimico di recupero si ottiene facendo reagire con idrato di calcio il residuo inorganico combusto del liscivio nero, costituito prevalentemente da carbonato sodico; si ottiene in tal modo idrato sodico che può essere reimpiegato.

Nel processo al solfato (1884, processo Dehl) il liscivio impiegato è una soluzione di idrato di sodio e di solfuro di sodio. Nella fase di combustione del liscivio nero si aggiunge una certa quantità di solfato di sodio, per compensare le perdite di zolfo e di sodio nel processo, il quale, in presenza delle sostanze organiche estratte dal legno, si riduce a solfuro, anch'esso riciclabile.

La pasta ottenuta con questo processo è particolarmente resistente dal punto di vista meccanico e per tale ragione viene detta "kraft" (dal tedesco "forte").

Nel processo al bisolfito (1867, processo Tilghman) il liscivio è una soluzione acquosa di solfito acido di calcio, nella quale è disciolta una piccola quantità di anidride solforosa libera.

Questo sistema di cottura ha avuto un impiego sempre crescente fino alla seconda guerra mondiale, da quando i nuovi impianti si sono generalmente orientati sul processo al solfato. Dato che il processo al bisolfito consente di ottenere una cellulosa particolarmente adatta a molteplici esigenze, vi è in questi ultimi anni la ten-



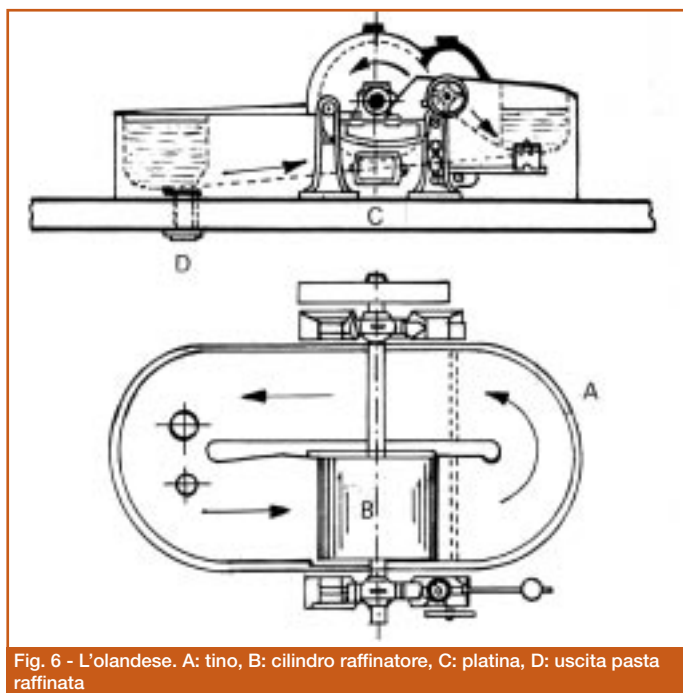


Fig. 6 - L'olandese. A: tino, B: cilindro raffinatoro, C: platina, D: uscita pasta raffinata

dole in fibre elementari.

b) *Raffinazione* - È un particolare trattamento meccanico, fatto in presenza dell'acqua, capace di modificare parzialmente la struttura delle fibre, al fine di rendere più facile la "feltrabilità" delle fibre stesse e cioè la capacità di dar luogo ad un foglio di carta uniforme, omogeneo e con buone caratteristiche fisico-meccaniche. Questa lavorazione ha sulle fibre sia una parziale azione di taglio, sia un'azione molto più complessa per cui, sulle loro pareti, si liberano numerose fibrille. In tal modo aumentano i punti di contatto fra fibra e fibra nella successiva fase di formazione del feltro e migliora la resistenza meccanica. La raffinazione viene effettuata con le olandesi, il raffinatoro conico e il raffinatoro a dischi. L'olandese (Fig. 6) è costituito da un tino ovale, che è parzialmente occupato da un cilindro immerso dotato di coltelli a cui si contrappongono altre lame poste su una piastra fissa, detta "platina". Il cilindro nella sua rotazione determina la circolazione della sospensione di fibre, che passano tra le lame fisse della platina e quelle rotanti de cilindro. L'olandese è impiegata nella produzione di carte di pregio. Il raffinatoro conico consente un'alta resa e conseguentemente costi di produzione inferiori rispetto all'olandese. È impiegato nelle produzioni di massa. Esso è costituito da un rotore a forma di tronco di cono e da uno statore entro il quale

avviene la rotazione del primo; sulla superficie del rotore e dello statore sono fissate delle lame, che determinano il trattamento meccanico delle fibre in sospensione che passano attraverso di esso. Il raffinatoro a dischi funziona sullo stesso principio del raffinatoro conico, con la sola differenza che le lame sono poste sulle facce di due dischi poste una di fronte all'altra. Questi raffinatori hanno rendimenti ancora maggiori e riducono in parte l'eccessivo taglio delle fibre.

c) *Miscelazione* - In questa fase della lavorazione si aggiungono alla sospensione acquosa, che contiene soltanto il 5% di fibre, le materie prime non fibrose (cariche minerali, materie collanti, sostanze ausiliarie).

### La formatura del foglio fatto a mano

La formatura del foglio fatto a mano è avvenuta fino al 1800 secondo una procedura standardizzata, che ha subito poche varianti nel corso dei secoli.

La pasta, costituita da una sospensione di fibre e contenuta in un tino, viene prelevata mediante un telaio rettangolare di legno,

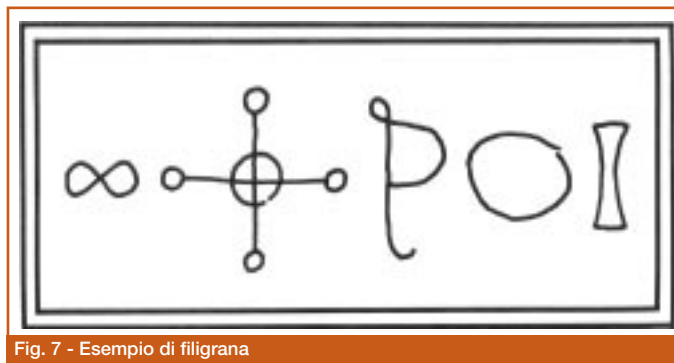


Fig. 7 - Esempio di filigrana

detto "forma", costituito da una cornice mobile di legno, detta "cascio", e da un piano filtrante formato da fili intrecciati, detti "vergelle" se paralleli al lato maggiore del cascio e "filoni" se perpendicolari ad esso.

Tali fili, costituiti da materiali diversi nel corso dei secoli, pare fossero sottili steli di bambù in epoca cinese; in Europa erano setacci d'ottone o di altro metallo.

Ovviamente si ottiene un foglio che presenta spessore diverso in corrispondenza dei fili, e questo principio è stato sfruttato, alla fine del 1200 a Fabriano, per introdurre la filigranatura.

Le prime rudimentali filigrane (Fig. 7) consistevano in fili metallici

cuciti sulle forme (filigrana "a filo"), per cui l'effetto risultante era solamente "in chiaro", cioè l'immagine o il disegno risultava con tonalità più chiara rispetto alla restante parte del foglio. Si cominciò con disegni piuttosto rozzi, per poi gradualmente progredire fino ad ottenere veri e propri marchi; questi qualificavano non soltanto il fabbricante della carta, ma spesso anche l'acquirente: infatti nobili, patrizi, prelati usavano per la corrispondenza carta che aveva in filigrana il proprio stemma.

In epoca più tarda, in Francia, venne poi realizzata la filigranatura "a chiaro e scuro"; questo procedimento è lungo e complesso.

L'artista incide su una superficie di cera l'immagine da riprodurre, la cera si ricopre con un sottile strato di grafite e viene sottoposta a un bagno galvanico, ottenendo così il "punzone". Da questo, per compressione su di esso di un materiale plastico, si ottiene il "contropunzone" che, spalmato sempre con grafite, in un bagno galva-

nico dà origine a un contropunzone in rame che combacia perfettamente con il punzone ottenuto all'inizio.

La tela metallica della forma subisce un processo di riscaldamento e, per azione dei punzoni, un trattamento di sbalzatura e cioè uno schiacciamento, realizzato sotto una pressa, allo scopo di imprimere sulla tela gli incavi e i rilievi del punzone. Osservando il foglio in controluce si ha un effetto di chiaro in corrispondenza delle zone in incavo e di scuro in corrispondenza di quelle in rilievo con sfumature molto delicate.

Nel 1757 Wathman sostituisce i fili grossolani di ottone del setaccio con una finissima tela di fili d'ottone in modo da ottenere un foglio di spessore più uniforme. Sulla base di questo principio è stato possibile produrre fogli di carta anche molto sottili, a cui è stato dato il nome di carta velina.

I fogli di carta preparati in questo modo, con una produzione di 7-8 fogli al minuto, corrispondente a 4.250 fogli al giorno, venivano impilati alternandoli a feltri, in modo da costruire pile di 160-420 fogli.

A ciò seguiva una prima pressatura (Fig. 8) per l'eliminazione quasi completa dell'acqua e l'asciugatura per esposizione all'aria, seguita eventualmente da una seconda pressatura.

Per rendere la carta più impermeabile ed impedire all'inchiostro di espandersi era poi necessaria la "collatura". Essa veniva praticata dagli arabi con colle vegetali, cioè con sostanze amidacee derivanti dalle farine, che avevano però il difetto di provocare la formazione di muffe; nel 1337, a Fabriano, venne introdotto l'uso della gelatina animale, ottenuta dalla bollitura dei cascami delle pelli bovine, ovine e caprine. Le colle animali costituiscono un materiale più deperibile, per cui, a partire dal XVII secolo sono state stabilizzate con l'aggiunta di piccole quantità di allume, che agisce come coagulante, favorendo la deposizione della gelatina sulle fibre cellulosiche. A partire dal 1826, ad opera di Illig, la gelatina è stata sostituita dalla colofonia, sempre mescolata con allume. Questo metodo è meno lungo, laborioso e costoso del precedente. L'ultimo trattamento consisteva nella "lisciatura", tra due cilindri metallici, introdotta alla fine del XVII secolo.

### La formatura del foglio eseguita a macchina

Nei primi anni del XIX secolo, per far fronte all'incremento nella richiesta di carta da stampa, avviene l'industrializzazione delle cartiere, che comporta una rivoluzione nella tecnica, nei ritmi di lavorazione e nei costi di produzione.



Fig. 8 - Pressa

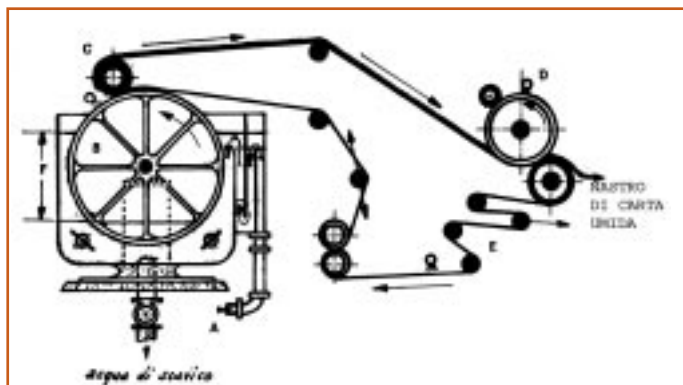


Fig. 9 - Macchina continua a cilindro. A: entrata sospensiva fibrosa, B: tamburo creatore, C: cilindro ponitore, D: pressa disidratatrice, E: tratto di ritorno del feltro, F: differenza di livello fra l'esterno e l'interno del tamburo creatore

Le macchine per la formatura del foglio diventano continue e se ne costruiscono due modelli, la macchina continua in piano e quella a cilindro.

In entrambi i casi il processo avviene con le seguenti fasi:

- distribuzione uniforme della sospensione diluita dell'impasto su di una rete metallica;
- eliminazione dell'eccesso di acqua mediante sgocciolamento, aspirazione e pressatura;
- eliminazione dell'acqua residua mediante riscaldamento.

L'invenzione della macchina continua in piano avviene in Francia, nel 1798 (brevetto del 1799) ed è dovuta a Nicholas Louis Robert della cartiera Didot; il primo esemplare però fu costruito in Inghilterra nel 1803 da Bryan Donkin.

Secondo questa tecnologia la sospensione arriva in una vasca metallica, opportunamente sagomata, che ha la funzione di distribuire con la massima uniformità e regolarità la sospensione stessa su un nastro a fili di bronzo fosforoso, versandola attraverso una fessura a labbri sporgenti; sulla tela tale sospensione, che inizial-

mente è molto diluita (1% di fibre), perde acqua scorrendo su diversi settori del nastro piano, sino a formare il foglio di carta, che staccato dalla tela stessa viene deposto su un feltro che lo accompagna nelle successive fasi; queste sono:

- a) la pressatura, che si realizza in una coppia di cilindri sovrapposti, che hanno la funzione di schiacciare il foglio di carta ad elevata pressione, riducendo il contenuto d'acqua attorno al 60-65%;
- b) l'asciugatura, che ha la funzione di disidratare quasi completamente il foglio, riducendo il tenore d'acqua al 5%, e si esegue in una o più sezioni di cilindri essiccatori riscaldati con vapore;
- c) collatura, che comporta l'impregnazione superficiale con una soluzione o con una sospensione per dare alla carta la colla, la patina ecc. La collatura può avvenire già nel tino arricchito di colofonia e allume;
- d) lisciatura, che ha la funzione di lisciare la carta e renderne più regolare lo spessore, si realizza attraverso un certo numero di rulli di metallo sovrapposti.

Con questo sistema si ha una produzione di 600 metri di carta al minuto, con una larghezza del foglio che può raggiungere i 10 metri. La qualità della carta così ottenuta è tuttavia modesta.

La macchina continua a cilindro (Fig. 9) fu ideata nel 1797 da Michael Leistenschneider, ma il primo esemplare fu costruito nel 1809 nella cartiera inglese Dickinson.

Secondo questa tecnologia nella vasca contenente la pasta è immerso orizzontalmente per tre quarti un cilindro rotante ricoperto da una rete di fili in bronzo fosforoso; la pasta si deposita sul cilindro e subisce una prima asciugatura, prima di passare su un feltro che scorre sopra la vasca. Questo tipo di macchina si differenzia da quella in piano per la parte relativa alla formazione del foglio; tutte le successive sezioni sono sostanzialmente analoghe. La qualità della carta così ottenuta è buona, ma il costo di produzione con questa tecnologia è superiore rispetto a quello della carta prodotta con la macchina continua in piano.

### Bibliografia

- |  |   |
|--|---|
| <p>[1] R. Wagner, Nuovo trattato di chimica industriale, Loescher, Torino, 1875.</p> <p>[2] L. Figuer, Le meraviglie dell'industria, vol. III, Treves, 1880.</p> <p>[3] D. Meneghini, Chimica applicata ed industriale, vol. II, Vallardi, Milano, 1961.</p> <p>[4] M. Callegari, La manifattura genovese della carta, ECIG,</p> | <p>Genova, 1986.</p> <p>[5] Ente nazionale cellulosa e carta, Conoscere la carta, Roma, 1987.</p> <p>[6] M. Copedè, La carta e il suo degrado, Nardini, Firenze, 1991.</p> <p>[7] F. Baldi, Il processo di produzione delle paste chimiche e il loro trattamento, Scuola interregionale di tecnologia per tecnici cartari, VIII corso, Verona, 2000/2001.</p> |
|--|---|