MARIAGRAZIA PLOSSI ZAPPALÀ (*)

La fabbricazione della carta nei secoli: dal XIII sec. ad oggi (**)

Evolution of papermaking: from the twelfth century to today.

Summary - The invention of printing with movable types in the middle of the fifteenth century led to a vast production of books with a large demand of paper. Other fibrous materials, different from cotton and linen rag, were necessary. At the same time the speed and cost of manufacturing equipment were optimised.

In the first half of the nineteenth century the invention of rosin sizing, replacing the «*in folio*» sizing which used starch or animal glue, led to a rapidly degrading acid paper.

The evolution of industrial papermaking techniques very often produced poor and short-lived paper.

La grande richiesta di carta

Verso il 1450 Giovanni Gensfleisch, detto Gutemberg, stampò in Germania, su carta e su pergamena, una Bibbia che fu in seguito detta *a 42 righe*. La data della «nascita» di questa opera di grande mole, dopo alcuni tentativi degli anni precedenti, è considerata l'inizio della stampa a caratteri mobili metallici nel mondo occidentale. La stabilità chimica della carta della Bibbia di Gutemberg è eccellente ed è giustamente considerata un monumento all'arte della fabbricazione della carta stessa.

A seguito dell'invenzione della stampa a caratteri mobili si ebbe perciò un grande impulso alla produzione libraria con conseguente richiesta sempre maggiore di carta che tra l'altro era più adatta della pergamena a ricevere gli inchiostri da stampa a base grassa. La richiesta di carta era talmente determinante e

(*) Direttore del Laboratorio di chimica dell'Istituto Centrale per la Patologia del Libro (I.C.P.L.), Ministero per i beni culturali e ambientali.

(**) Relazione presentata al VI Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (Cagliari, 4-7 ottobre 1995).

pressante da portare nel corso dei secoli a cercare, da una parte materie prime fibrose diverse dagli stracci di lino, cotone o canapa, dall'altra l'ottimizzazione delle varie fasi del processo di fabbricazione (più che altro dal punto di vista della velocità di produzione e del minore costo).

La cosiddetta *pasta straccio* assunse un'estrema importanza a causa della sua carenza rispetto ai bisogni: si venne a delineare addirittura una nuova professione, quella del raccoglitore di stracci che aveva l'incarico di passare nelle case private a raccogliere i tessuti logori che non potevano essere più utilizzati come tali. In tutto l'Occidente la carenza di questo materiale si fece talmente sentire che furono promulgate diverse leggi che ne vietavano l'esportazione e che facevano di esso oggetto di monopolio, ripetendo ciò che era successo tanti anni prima quando, durante l'impero di Tiberio, furono il commercio e la produzione del papiro ad essere regolamentati dallo Stato. In Inghilterra una legge, che è rimasta in vigore dalla II metà del XVII sec. fino al XIX, vietava che per la sepoltura dei defunti fossero usati tessuti diversi dalla lana, favorendo in questo modo sia lo sviluppo della locale industria laniera, sia il risparmio delle preziosissime fibre cellulosiche destinate all'industria cartaria. Il problema divenne gravissimo durante le epidemie, piuttosto frequenti nel Medioevo e nel Rinascimento, quando le autorità sanitarie obbligavano i cittadini a bruciare gli indumenti per tentare di arginare le infezioni; per fabbricare la carta si arrivò a utilizzare perfino le bende delle mummie egiziane.

Purtroppo, come vedremo in seguito, quasi mai le modificazioni nel processo di fabbricazione produssero carta con caratteristiche migliori di quella dei secoli passati, anzi la qualità del prodotto ottenuto con i progressi tecnologici è nettamente peggiore dal punto di vista conservativo rispetto a quella del «fatto a mano».

Ad esempio per quanto riguarda la collatura, necessaria per rendere il feltro di fibre cellulosiche adatte alla scrittura, si è passati nel corso dei secoli da quella con mucillagini o gomme vegetali, agli amidi, fino ad arrivare alla prima grande innovazione il cui merito va ai maestri fabrianesi: l'invenzione della collatura con la gelatina animale. Con questo nuovo metodo si poteva operare sul foglio quasi asciutto immergendolo nella soluzione tiepida del collante (Fig. 1)

Con eccezione dei danni legati a una certa particolare facile biodegradabilità, la collatura con gelatina non pone particolari problemi per la conservazione. I danni iniziarono quando nel XVII sec. alla gelatina fu aggiunto allume al fine di migliorarne la resa. L'allume è un solfato doppio di alluminio e potassio che ha reazione acida e accelera notevolmente l'idrolisi dei legami β-glucosidici della cellulosa.

Anche i sistemi di raffinazione, operazione necessaria ad aumentare la flessibilità delle fibre, i punti di contatto fra di esse e quindi i legami idrogeno fra le catene di cellulosa, subirono nei secoli notevoli cambiamenti. Si è passati dalla bollitura con soluzioni alcaline e battitura con verghe dei Cinesi alla raffinazione

A: operaio che toglie dalla caldaia i residui del carniccio
B: operaio che versa la colla sul filtro
C: incollatore
D: pressa per eliminare la colla superflua
F: mastello
G: caldaia

Fig. 1 - Incollatura della carta: tavola n° 7 di *Osservazioni intorno all'arte di fabbricare la carta* (copia anastatica di un testo anonimo pubblicato a Parma nel 1762, a sua volta traduzione abbreviata dell'*Art de faire le papier* di J.J. De Lalande pubblicato a Parigi nel 1761).

con i mortai a mano e successivamente con il *mulino a martelli*, detto anche *pila a magli* (Fabriano); tutto sommato con questi sistemi l'azione raffinatrice non era ancora troppo drastica e non provocava danni alla fibra.

Come è stato messo in evidenza da W.J. Barrow in uno studio sulla qualità della carta di libri stampati dal 1500 fino alla prima metà del 1900[1] si può notare che a partire dalla fine del 1600 si ha un notevole peggioramento delle caratteri-

[1] W.J. Barrow Research Laboratory, inc., *Permanence/Durability of the Book - VII. Physical and Chemical Properties of Book Papers, 1507-1949,* Richmond (Virginia), 1974, p. 45.

stiche meccaniche della carta. È interessante ricordare che proprio alla fine del XVII sec. i sistemi di raffinazione subirono una grande innovazione con l'invenzione della cosiddetta raffinatrice Olandese; se ne ha una prima descrizione sull'*Art de faire le papier* del De La Lande nel 1761. La raffinazione con l'Olandese, pur essendo sempre un sistema discontinuo, riduceva notevolmente i tempi di lavorazione con grande vantaggio economico, ma produceva una pasta con caratteristiche meccaniche peggiori delle paste ottenute con i metodi più antichi.

Nell'Olandese le fibre non vengono più battute come nel mulino a magli, ma fatte circolare in una vasca ellittica nella quale ruota un cilindro provvisto di lame. La vasca per la circolazione della pasta, che inizialmente era in legno, fu in seguito costruita in muratura ed oggi in cemento, in ferro, o in acciaio. Con questo sistema la raffinazione delle paste è decisamente molto più rapida rispetto al mulino a pestelli, ma si procura anche una maggiore frammentazione della fibra.

Alla fine del XVIII sec. vennero usati il cloro e i suoi derivati per la sbianca degli stracci permettendo quindi di utilizzare non solo tessuti bianchi, ma anche quelli colorati.

Nella II metà del 1700 vennero anche usati i primi telai con il fondo di rete metallica per carta *velina*, o *velino*, (da *velin* che era la pergamena molto fine ottenuta dalle pelli di vitelli nati morti o appena nati). Questa è una carta priva delle righe orizzontali e verticali prodotte dai filoni e dalle vergelle, quindi una carta priva di *vergatura*.

Nella prima metà del sec. XIX si ha una vera e propria rivoluzione nella fabbricazione, rivoluzione che purtroppo ha portato un grande peggioramento nella qualità della carta: la sostituzione della collatura «*in folio*» con la collatura «*in pasta*» mediante colofonia[2] (la resina delle conifere, chiamata dai cartai solamente «resina») e allume.[3]

Il nuovo sistema fu inventato da M.F. Illig che, nato in Germania, figlio di un proprietario di cartiera, spese molti anni della sua vita e tutte le sue risorse economiche nella ricerca di metodi di collatura sostitutivi a quello con la colla animale tanto da morire poverissimo.

La collatura della carta *in pasta* viene effettuata preparando il cosiddetto *sapone di colofonia* ottenuto per mezzo della bollitura in una caldaia della

[2] «Colofonia» o «resina di Colofone», antica città dell'Asia Minore.

[3] L'allume è un solfato doppio di alluminio e potassio, $Al_2(SO_4)_3.K_2SO_4 + 24\ H_2O$, che si trova in natura. È stato da secoli usato oltre che nella fabbricazione della carta anche nella concia delle pelli, nella tintura dei tessuti, nella preparazione delle «lacche» colorate, per la preparazione di altri sali di alluminio e in medicina come astringente ed emostatico. In Italia il minerale *allumite* si trova presso Allumiere e Tolfa nel Lazio; il possesso di questi territori fu molto importante per lo Stato Pontificio perché consentiva una buona autonomia nelle attività artigiane ed economicamente una libertà dalle importazioni.

colofonia con una soluzione di soda sotto forte agitazione. La soluzione schiumeggiante così ottenuta, detta sapone di colofonia, viene aggiunta alla pasta fibrosa di carta direttamente nell'Olandese. L'addizione di allume riporta il pH della soluzione nel campo acido (circa 4-5) con conseguente precipitazione della resina sulle fibre. Il risultato è di una estrema suddivisione e uniformità della collatura, di una maggiore rapidità del processo di fabbricazione e quindi un minor costo, ma purtroppo anche di una acidificazione del foglio di carta che sarà destinato inevitabilmente a deteriorarsi.

La tecnologia della carta «moderna»

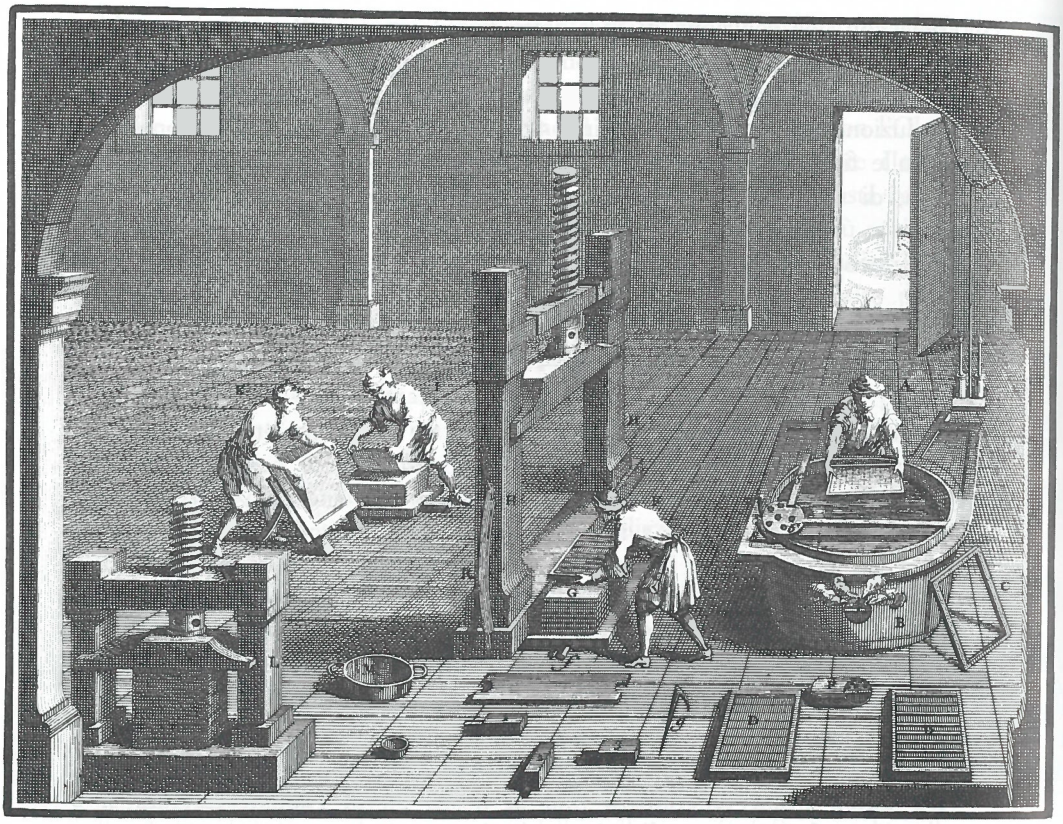
Abbiamo visto finora che molte sono state le innovazioni tecnologiche che nei secoli hanno modificato il processo di fabbricazione della carta, comunque a partire dai primi secoli della storia della carta fino alla fine del XVIII sec. si è trattato sempre di carta fatta a mano con un processo discontinuo (fig. 2). Nel 1799 Nicolas Louis Robert inventò la «macchina continua»: un'apparecchiatura che rendeva continuo il processo in quanto prevedeva che la sospensione acquosa di fibre dovesse cadere su una rete metallica in movimento chiusa ad anello.

Il sistema fu in seguito migliorato da Bryan Donkin che riuscì a produrre un nastro di circa un metro di larghezza con una velocità di alcuni metri al minuto. Successivamente in Inghilterra i fratelli Fourdrinier modificarono e perfezionarono il sistema con un tale impiego di capitale da ridursi al fallimento.

Da questi primi esperimenti fino ai nostri giorni l'apparecchiatura si è sempre più perfezionata con l'aggiunta di altre parti accessorie, come ad esempio i cilindri essiccatori, fino ad arrivare alle attuali grandi *macchine continue a tavola piana* che possono produrre nastri di carta con una velocità elevatissima.

La macchina a tavola piana si può considerare suddivisa in due parti: la *parte umida* e la *parte secca*. Il processo, molto schematicamente, consiste nell'entrata della sospensione di pasta fibrosa, già collata con resina e allume, nel cosiddetto *contenitore di testa* e nella successiva caduta di essa su una rete di bronzo fosforoso. Nella parte iniziale della macchina l'acqua in eccesso cade per drenaggio semplice, mentre nella sezione successiva viene aspirata mediante le *scatole di aspirazione*. Il nastro di carta, pressato da rulli, passa quindi nella seccheria. Sulla rete, dopo le scatole di aspirazione, si trova un rullo speciale, detto *ballerino,* che imprime la filigrana. Nell'ultima parte (*sezione delle presse*) la carta passa su un feltro di stoffa che la sostiene e la accompagna nella «seccheria» dove per mezzo del calore, fornito da una serie di rulli riscaldati, viene eliminata l'ultima umidità residua.

Un altro sistema continuo di produzione della carta, nato posteriormente a quello a tavola piana, è quello *in tondo*. I primi esempi di questo sistema di produzione di carta si hanno nel 1805.



A: lavorente o laurente
B: tina
C: telaio
D: forma vista dalle due parti
F: ponitore
G: posta
H: pressa
I: apprendista levatore
K: levatore dei fogli

Fig. 2 - La fabbricazione a mano della carta: tavola n° 6 di *Osservazioni intorno all'arte di fabbricare la carta* (copia anastatica di un testo anonimo pubblicato a Parma nel 1762, a sua volta traduzione abbreviata dell'*Art de faire le papier* di J.J. De Lalande pubblicato a Parigi nel 1761).

La *macchina in tondo* consta di un tamburo di bronzo di oltre 1m di diametro con la superficie laterale costituita da una tela metallica fine (*tamburo creatore*). Il tamburo pesca in una vasca in cui viene introdotto in continuo l'impasto fibroso; l'acqua in eccesso scola nell'interno del tamburo e ciò fa si che la differenza di livello che si crea tra l'esterno del tamburo, contenente la pasta, e l'interno, contenente l'acqua, imprima la forza di aspirazione necessaria all'aderenza dello strato di carta alla tela. Lo strato di carta che emerge, a seguito della rotazione del tamburo, viene prelevato da un cilindro detto *levatore* sul quale passa un feltro continuo che porta il nastro di carta alle presse umide e infine alla seccheria.

Se la tela del tamburo della macchina in tondo è suddivisa in tanti rettangoli per mezzo di sottili fili di ottone tra loro perpendicolari si ottiene alla fine del processo, in corrispondenza dei fili di ottone, una filigrana dovuta al minore spessore della carta in quei punti. Mediante lo strappo, al termine della parte umida, in corrispondenza di questi segni si ottengono dei fogli con un bordo sfrangiato molto simile a quello che si ottiene con i telai a mano e pertanto la carta così ottenuta viene chiamata *carta a mano-macchina.*

La carta fabbricata a macchina presenta notevoli differenze rispetto a quella fabbricata a mano. I fogli di carta fabbricata a mano utilizzando la «forma» classica (fig. 2) sono praticamente isotropi, cioè le proprietà fisiche non hanno valori diversi a seconda della direzione nella quale sono misurate; la carta fabbricata a macchina invece presenta una netta anisotropia per cui si distinguono due direzioni principali: la *direzione di macchina* (detta anche *longitudinale*), che è parallela alla direzione del movimento del nastro di carta nella macchina continua, e la *direzione trasversale* (o *trasversa*), che è perpendicolare a quella di macchina.

Le caratteristiche fisico-meccaniche della carta fabbricata a macchina perciò sono diverse a seconda che siano misurate in una direzione oppure nella direzione perpendicolare alla prima: in particolare la *resistenza alla trazione* e la *rigidità* sono maggiori nella direzione longitudinale rispetto alla trasversale, mentre la *resistenza alla lacerazione*, l'*allungamento*, l'*idroespansibilità* e l'*igroespansibilità* sono maggiori nella direzione trasversa. Bisogna tenere conto di tutte queste caratteristiche a seconda delle diverse utilizzazioni a cui sarà destinata la carta in esame. Dal punto di vista conservativo il differente comportamento alle sollecitazioni meccaniche provoca una maggiore facilità di lacerazione nella direzione longitudinale.

Parallelamente agli sviluppi tecnologici sulle macchine per la produzione cartaria si sono avuti anche ulteriori modificazioni e sviluppi dei sistemi di raffinazione delle fibre. Abbiamo visto che già l'Olandese aveva introdotto modificazioni sostanziali soprattutto per quello che riguardava una maggiore rapidità del processo che tuttavia restava discontinuo: la pasta raffinata doveva periodicamente essere estratta dall'Olandese per essere immessa nei tini per la carta a mano o essere inviata alla macchina continua.

Verso la metà del 1800 in America vennero usati i primi raffinatori continui come il R*affinatore conico Jordan* che con varie modifiche si è affermato fino ai nostri giorni. I raffinatori conici constano di una parte conica mobile (*rotore*), munita di lame, ruotante dentro una parte sempre conica, ma fissa, munita di controlame (*statore*). La distanza fra lame e controlame, cioè tra il cono fisso e quello mobile, può essere variata: la pasta entra ed è costretta a passare fra le lame in rotazione subendo in questo modo il processo di raffinazione che è più veloce, ma ancora più drastico di quello dell'Olandese.

Al giorno d'oggi infine si usano, oltre ai raffinatori conici, i *raffinatori a dischi* che adottano più o meno lo stesso sistema di lame e controlame del raf-

finatori conici con la differenza che le lame sono supportate su due dischi di cui uno è fisso mentre l'altro ruota; la pasta fibrosa da raffinare viene ugualmente fatta passare fra lame e controlame.

L'evoluzione delle materie prime fibrose

Abbiamo visto precedentemente che l'invenzione della stampa a caratteri mobili diede un impulso incredibile alla produzione cartaria con l'inevitabile carenza delle materie prime costituite dagli stracci. L'invenzione e il perfezionamento della macchina continua con la velocizzazione del processo di fabbricazione resero ancora più urgente il reperimento di altre materie prime fibrose diverse dallo straccio.

Un aiuto venne dalla scoperta del cloro alla fine del XVIII sec. che, come abbiamo accennato in precedenza, consentì di utilizzare non solo stracci bianchi, ma anche tessuti colorati, mentre l'invenzione della macchina sgranatrice del cotone aveva reso più accessibile dal punto di vista economico la produzione di tessuti con questa fibra e quindi un più facile reperimento di stracci usati.

Nel 1719 il fisico francese René Antoine Ferchault de Réaumur per primo suggerì, durante una comunicazione sull'argomento all'Accademia reale francese, che si poteva ottenere carta anche a partire dal legno.

Nel 1844 si ebbe la prima *pasta legno* ottenuta dalla sfibratura meccanica dei tondelli di legno di abete o di pioppo pressati contro una pietra rotante. Nel 1857 Enrico Volter perfezionò gli sfibratori allora esistenti che furono negli anni successivi ancora più perfezionati e modificati fino ad arrivare ai moderni dischi metallici taglienti.

La cellulosa chimica

La cellulosa è contenuta nel legno insieme ad altre sostanze, dette «non cellulosiche»: lignina, emicellulose, resine, gomme. Per separarla si deve sottoporre il legno ad un processo nel quale la cellulosa viene «disincrostata» dalle altre sostanze che, al contrario della cellulosa, si lasciano attaccare facilmente da molti reagenti chimici. Si può comprendere perciò come la carta costituita da cellulosa pura, proprio per la sua buona stabilità chimica, sia molto più resistente nel tempo rispetto a quella contenente lignina o più genericamente contenente pasta meccanica di legno, cioè pasta ottenuta da legno e acqua mediante l'impiego della sola energia meccanica.

Il primi brevetti per la produzione di cellulosa dalla paglia sono del 1854. Il francese Mellier trattò questo materiale con **soda caustica** in bollitori sferici. Anche C. Watt e H. Burgess in Inghilterra estrassero la cellulosa mediante un

liscivio contenente soda caustica in recipienti di ferro alla pressione di qualche atmosfera. Sono questi i primi esempi della produzione di quelle che verranno in seguito chiamate *cellulose chimiche.*

Nel 1864 l'americano Benjamin Tilghman scoprì per caso che dal legno attaccato dall'acido solforoso si otteneva una sostanza soffice e fibrosa: la cellulosa. Nel 1867 egli brevettò il cosiddetto **processo al bisolfito** (processo acido). Il processo consiste in un trattamento del legno con bisolfito di calcio contenente anidride solforosa libera: la lignina viene trasformata in sale dell'acido ligninsolfonico che è solubile in acqua e pertanto eliminabile.

Nel 1872 in Svezia C. Ekman perfezionò il procedimento impiegando bisolfito di magnesio.

Dieci anni dopo nel 1882 il tedesco A. Mitscherlich brevettò un processo simile trattando il legno in autoclave riscaldata indirettamente con vapore, mentre nel 1888 il processo Ritter-Kellner prevedeva la cottura con iniezione di vapore diretto. Dal 1890 il processo al bisolfito è il metodo più impiegato per l'estrazione della cellulosa dal legno.

Nella seconda metà dell'800 vennero sviluppati i **processi alcalini: alla soda e al solfato**. Il legno viene trattato con soda caustica (NaOH) in bollitori a pressione; il liquido alcalino di attacco è detto *liscivio bianco* mentre quello dopo la cottura viene chiamato *liscivio nero.* Alla soda viene aggiunto il 10% di solfuro di sodio per rendere l'azione solvente meno energica e quindi aumentare la resa in cellulosa. Al liscivio esausto si aggiunge carbonato di sodio (**processo alla soda**) o solfato di sodio (**processo al solfato**). Questo secondo metodo, inventato nel 1884 dal polacco Carl F. Dahl, è usato per i bassi costi e perché permette di ottenere una carta meccanicamente molto resistente, anche se scura, tanto da essere chiamata *Kraft* (dal tedesco «forte»).

Il processo «Cataldi-Pomilio», messo a punto nel 1933, è il cosiddetto **processo alla cloro-soda**. Esso comprende tre fasi: un trattamento con soda caustica, uno con cloro gassoso e quindi un lavaggio alcalino. È un processo molto usato per ottenere cellulosa dalla paglia, materiale questo molto diffuso in tutte le regioni italiane e disponibile ogni anno. Il processo è continuo e viene effettuato in una serie di torri.

La pasta meccanica di legno da sola non ha sufficienti «proprietà cartarie», cioè non riesce a formare sufficienti legami tra le fibre per ottenere una buona *feltrazione*: per la fabbricazione del foglio è necessario aggiungere una certa percentuale di pasta di cellulosa. Si miscela perciò la pasta meccanica con la pasta chimica in proporzioni diverse: una pasta molto comune, che serve per la produzione della cosiddetta «carta giornale», contiene dal 50% all'80% di pasta meccanica e il rimanente di cellulosa chimica.

Per migliorare il rendimento di questi processi, dal punto di vista economico, ma certamente non da quello conservativo, si cerca di aumentare sempre di più la quantità di pasta meccanica nell'impasto.

Le paste semichimiche e la moderne paste ad alta resa

Per aumentare la resa dei processi di produzione delle paste chimiche sono stati sperimentati molti metodi. Un processo con il quale si ottiene una pasta che si può considerare un prodotto intermedio tra le paste chimiche e quelle meccaniche e che pertanto viene detto *pasta semichimica*, prevede un preventivo blando trattamento chimico, per eliminare solo in parte i componenti non cellulosici, seguito da un trattamento meccanico per separare le fibre.

Quando le paste semichimiche sono ottenute mediante l'utilizzazione, con opportune modifiche, degli stessi impianti impiegati per la produzione delle cellulose chimiche, si parla di «cellulose chimiche ad alta resa», mentre quando vengono utilizzati impianti *ad hoc* si parla di paste semichimiche vere e proprie.

Tenendo conto che le tradizionali paste chimiche al bisolfito o al solfato hanno normalmente un basso rendimento (45-55%), mentre le paste meccaniche un alto rendimento (90-95%), ricapitolando e precisando questa terminologia piuttosto complicata, e non ancora strettamente definita poiché si tratta di processi in continua evoluzione, si possono considerare:[4]

- *paste chimiche ad alto rendimento* (con il rendimento del 55-70%); sono ottenute con processi al solfito e al solfato opportunamente modificati;
- *paste semichimiche* propriamente dette (con un rendimento del 65-85%);
- *paste meccano-chimiche* (con un rendimento del 90-95%); il rendimento elevato dimostra che solo la parte più solubile delle emicellulose viene eliminata e che anche una certa quantità di lignina rimane praticamente inalterata.

A causa dei problemi legati all'inquinamento degli scarichi industriali negli ultimi decenni vi è stata una notevole diminuzione nella produzione delle paste semichimiche (i liscivi di fabbricazione sono troppo poveri di sostanze organiche per poter essere bruciati, ma troppo concentrati per poter subire un trattamento biologico di depurazione) con una rivalutazione delle paste meccaniche. I notevoli progressi tecnologici hanno fatto sì che le moderne paste meccaniche differiscano notevolmente da quelle del passato, decisamente troppo scadenti dal punto di vista della qualità cartaria. La necessità di ricavare dal legno la maggior quantità possibile di materiale per l'uso cartario, consentendo in questo modo una limitazione nel consumo di esso, ha portato all'utilizzo di una grande

[4] MARTIN G., *Le Papier*, «Que sais-je?», n° 84, Paris, Presses Universitaires de France, 1970, p. 37.

varietà di paste che vanno dalle paste meccaniche e termomeccaniche, alle moderne chemitermomeccaniche che si possono definire «paste ad alta resa».

Attualmente *la pasta meccanica o pasta legno* può essere ottenuta dalla sfibratura del legno mediante l'uso di una mola o di un «raffinatore», che in questo caso non esercita la funzione di vera e propria raffinazione, ma semplicemente di separazione delle fibre. Nel primo caso la temperatura sale per attrito per cui il legno deve essere previamente bagnato con acqua; nel secondo caso il legno, già ridotto in minuzzoli e bagnato, viene introdotto ad alta temperatura in un raffinatore (che sarebbe più corretto definire «apritore») sotto pressione.

Dagli anni 70 del nostro secolo si sono sviluppate nuove tecniche di lavorazione per ottenere dal legno rese sempre più elevate e prodotti con migliori caratteristiche qualitative dell'impasto fibroso. Come già detto la pasta temomeccanica (TMP) si ottiene, con buoni vantaggi rispetto al semplice trattamento meccanico, sottoponendo i minuzzoli di legno ad un trattamento con vapore per ammorbidire le fibre; se oltre all'acqua viene aggiunto un reattivo chimico specifico (ad esempio uno sbiancante), con costi maggiori, ma con una migliore qualità del prodotto tanto da non riuscire «ad occhio» a distinguere questa pasta da quella di cellulosa, si ottiene la cosiddetta pasta chemitermomeccanica (CTMP).

Oggi è possibile, modificando opportunamente i vari processi, ottenere tutta una gamma di impasti fibrosi che vanno dalla pasta meccanica fino alla pasta di cellulosa chimica con l'ottimizzazione delle caratteristiche necessarie a seconda dell'impiego al quale la carta sarà destinata. Ad esempio l'industria della stampa, con riferimento particolare alla carta per giornali, ha a disposizione carte ottenute da paste ad alta resa con un buon grado di bianco e con una buona opacità che sono i requisiti indispensabili per una buona stampabilità. Rimane tuttavia ancora aperto il problema della conservazione della carta allestita con i tipi di paste più moderni: in altre parole, le proprietà fisico-chimiche (bianchezza, resistenza alla piegatura e allo strappo, opacità, ecc.), che sono buone al momento della fabbricazione e del primo utilizzo, al fine di soddisfare anche le esigenze conservative dovrebbero mantenersi tali per lungo tempo.

Gli ultimi studi nel campo della ricerca di materie prime alternative al legno considerano il riciclo dei residui agricoli (potature di olivi e tralci di vite, gusci di nocciole, ecc.). Questi materiali però creano talmente tante difficoltà a causa della scarsa idoneità all'utilizzazione nel settore cartario, da non rendere economicamente consigliabile l'uso di essi. L'unica eccezione, sempre tra i residui agricoli, è costituita dalla paglia di cereali anche se negli ultimi anni i problemi relativi al difficile disinquinamento delle acque reflue hanno ridotto di molto l'utilizzo di questo materiale.

Le fibre da recupero

Non si può infine non ricordare le cosiddette «fibre da recupero», cioè quelle ottenute dal riciclo di carta già utilizzata.

La carta, con la sola eccezione dei Cinesi che utilizzarono fibre vegetali vergini, «nasce» come materiale di trasformazione da altri materiali di scarto: stracci, ritagli di rifilatura o carte difettose; ma per considerare i primi tentativi di riutilizzo di carta già adoperata per la scrittura, cioè il primo riutilizzo di carta inchiostrata, è necessario arrivare alla fine del XVII sec.

Attualmente la carta da macero o da riciclo viene spappolata in acqua per l'allontanamento delle impurezze e quindi sottoposta ad energici trattamenti chimici per la sua disinchiostrazione. Si può facilmente comprendere come il prodotto ottenuto sia pessimo dal punto di vista conservativo, dato che i vari processi di recupero tendono a frammentare meccanicamente e chimicamente notevolmente le fibre (ogni trattamento di recupero comporta una perdita di fibra del 20-24% in modo che dopo 4 o 5 recuperi il materiale non riesce più a «feltrare» e quindi non è più utilizzabile per la produzione di carta) anche se gli ultimi studi su questo argomento stanno portando a significativi sviluppi dal punto di vista qualitativo.

Dopo un primo facile entusiasmo legato alla speranza di poter risparmiare il legno, e quindi limitare l'abbattimento degli alberi, si è compreso che anche dal punto di vista ecologico l'utilizzo delle fibre da recupero non è scevro da inconvenienti: oltre la bassa qualità della fibra, a meno di non prevedere una preselezione del materiale da macero, cioè una sua «nobilizzazione», gli stessi sistemi di disinchiostrazione possono portare alla formazione di composti particolarmente inquinanti.

Gli scarti della carta o del cartone dell'industria cartaria sono in genere ridotti in pasta con un semplice spappolamento a freddo, a caldo o con l'aggiunta di particolari sostanze per favorire l'operazione, a seconda del materiale di partenza. La carta stampata invece viene trattata a caldo con un liscivio alcalino contenente emulsionanti adatti a staccare l'inchiostro da stampa dal supporto cartaceo. Le particelle di inchiostro vengono allontanate mediante la formazione di schiuma che, inglobando le particelle di pigmento, le separa meccanicamente con un processo di *flottazione*. La sbianca della cartaccia viene effettuata con cloro e suoi derivati o con perossidi (o idrosolfiti) a seconda che non contenga, oppure contenga, pasta meccanica di legno.

L'uso degli adesivi *hot melt* e di inchiostri a base acquosa, se da una parte snellisce ed economizza il processo di stampa, complica notevolmente il processo di disinchiostrazione. Il necessario maggior uso di sbiancanti crea ulteriori problemi di inquinamento tanto che ormai la carta con fibre di riciclo non viene più chiamata «ecologica».

Attualmente gli enormi problemi ambientali legati alla deforestazione indi-

scriminata e allo smaltimento dei rifiuti, impongono all'industria cartaria di privilegiare l'impiego di cellulosa ricavata da piante a ciclo annuale e, quando possibile, il riciclo dei materiali. Purtroppo gli interessi economici e/o ambientali sono ancora in contrasto con i requisiti di stabilità e durabilità della carta; una seria ricerca finalizzata potrebbe arrivare a conciliare queste due posizioni, cioè potrebbe, con l'ottimizzazione delle varie fasi dei processi industriali, arrivare alla conciliazione dell'interesse conservativo con quello economico. Un esempio significativo è costituito dalla produzione della carta alcalina che sembrava un primo tempo legata solamente a intenti conservativi; con l'ottimizzazione delle varie operazioni e fasi del processo (uso del carbonato di calcio micronizzato, collatura neutra con alchilcheteni, ecc.) è diventata oggi decisamente favorevole anche dal punto di vista economico tanto da essere già in produzione in numerose cartiere.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

ATICELCA (Associazione Italiana per la Cellulosa e la Carta), *Introduzione alla fabbricazione della carta*, Milano, ed. ATICELCA, 1992.

Basanoff A., *Itinerario della carta / Dall'Oriente all'Occidente e la sua diffusione in Europa*, Milano, Il Polifilo, 1965.

Botto-Micca G., Grandis E., *Estratto dall'Enciclopedia della stampa/Carta*, Torino, S.E.I., 1969.

De Lalande J.J., *L'art de faire le papier*, Paris, 1761.

E.N.C.C. (Ente Nazionale Cellulosa e Carta), *Conoscere la carta,* Roma, ed. E.N.C.C., 1987.

Eves I., *Manuale della carta*, vol. 1 e vol. 2, Milano, Tecniche nuove, 1990.

Gianni E., *Carte, cartoncini, cartoni*, Milano, U. Hoepli, 1959.

Grant J., *A Laboratory Handbook of Pulp and Paper Manufacture*, London, Edward Arnold L.T.D., 1961.

Hunter D., *The History and Technique of an Ancient Craft*, London, The Cresset Press, 1957.

Martin G. , *Le Papier*, «Que sais-je?», n° 84, Paris, Presses Universitaires de France, 1970

Osservazioni intorno all'arte di fabbricare la carta, copia anastatica dell'ediz. del XVIII sec. della Biblioteca Palatina di Parma, Milano, Il Polifilo, 1962.