Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
125° (2007), Vol. XXXI, P. II, t. I, pp. 189-195

LIBERATO CARDELLINI*

Recupero e utilizzazione della cellulosa da scarti agricoli

Riassunto – L'industria della carta si è sviluppata in seguito a invenzioni e miglioramenti qualitativi che hanno permesso e permettono di abbassare i costi e aumentare la qualità. Auspicando un maggior impegno da parte dei ricercatori, il recupero e l'utilizzazione della cellulosa da scarti agricoli è da molti punti di vista un buon settore su cui indagare.

Abstract – The papermaking industry has been developed because of inventions and improvements. Inventions and qualitative improvements make the product to be more competitive. In Italy we need more research work devoted to the production of cellulose from agricultural and forestry resources. This production must be competitive with the quality of chemical or chemithermomechanical pulping.

Parole chiave: carta, cellulosa, enzimi, biopulping

Introduzione

La fabbricazione della carta è un'invenzione antica attribuita a Tsai Lun nell'anno 105. Nei secoli si è spostata verso l'occidente raggiungendo molti paesi e intorno all'anno 1100 la Spagna e l'Italia [1]. «L'arte della carta bambagina risulta ufficialmente costituita in Fabriano soltanto nel 1326, anche se nel 1283 alcuni nomi di cartai fabrianesi appaiono negli atti del notaio Berretta, documenti conservati presso l'Archivio Storico del Comune» [2]. La produzione della carta a Fabriano è stata caratterizzata da alcune innovazione che l'hanno resa famosa ed hanno dato ai produttori fabrianesi un indubbio vantaggio economico sui concorrenti. Queste innovazioni possono essere state mutuate da altre lavorazioni, come la

* Dipartimento di Scienze e Tecnologiche Chimiche, Università Politecnica delle Marche. Via Brecce Bianche - 60131 Ancona. E-mail: cardelli@mta01.univpm.it

fiorente manifattura dei panni di lana: «la follatura eseguita con le "gualche" mosse da ruote ad acqua – possono aver suggerito l'impiego della pila a magli multipli per battere gli stracci, da cui si ricava la poltiglia per la pasta da carta, eliminando così il mortaio di pietra e il pestone di legno azionato a mano usato dagli Arabi. Per eliminare inoltre l'inconveniente del facile deterioramento dei fogli dovuto al collaggio con amido di frumento – causa principale dei divieti di impiegare la carta per gli atti pubblici delle cancellerie e dei notai – i fabrianesi sostituiscono le sostanze amidacee con la colla di "carniccio" o gelatina animale ricavata dagli scarti delle locali concerie. Altra importante innovazione attribuita ai fabrianesi è la filigranatura dei fogli che, osservati controluce, lasciano intravedere quello che inizialmente era il marchio dei diversi fabbricanti di carta; una necessaria distinzione del resto già praticata dai lanaioli che imprimono sui loro prodotti "marche" di fabbricazione i cui prototipi sono depositati in appositi registri della corporazione» [3].

Fino all'inizio del 1800 tutta la carta veniva fabbricata a mano. Il 9 settembre 1798 Nicolas-Louis Robert richiede il brevetto all'ufficio francese delle arti e dei mestieri per la prima macchina per produrre carta, che permetteva di variare la lunghezza del foglio prodotto fino a 12 o anche 15 metri. La notizia arriva in Inghilterra e nel 1807 le macchine per la carta sono state prodotte soprattutto per gli sforzi economici di Henry e Sealy Fourdrinier. Questi geniali inventori che – anche pagando di tasca propria – hanno rivoluzionato la moderna produzione della carta non hanno tratto vantaggio alcuno dalla loro invenzione. L'attuale macchina continua si chiama anche Fourdrinier, il solo riconoscimento postumo ricevuto dagli inventori per aver perfezionato la macchina [4].

Aiutata dalla chimica, l'innovazione meccanica ha messo a punto macchine che producono migliaia di metri di carta al minuto. La carta è di fatto una commodity: la conoscenza per la sua produzione è diffusa, così per ricavare margini di guadagno i produttori devono necessariamente spingere sempre più sulla produzione di elevate quantità di prodotto.

La materia prima

La materia prima è costituita essenzialmente da cellulosa, acqua e da alcuni additivi, ma l'impasto per la produzione della carta di fatto è diverso in ogni cartiera e dipende dal tipo di prodotto e dalla qualità che si vuole ottenere. Ad esempio per la produzione di carta moneta sarà necessario avere molta cura della qualità del prodotto piuttosto che della quantità e si usa 100% cellulosa di cotone: si tratta di fibre lunghe e molto costose, rispetto ad altri tipi di cellulosa. Questo perché è necessario impartire al prodotto certe caratteristiche meccaniche, ad esempio un numero molto elevato di doppie pieghe, affinché la carta prodotta possa essere utilizzata come carta moneta.

Per una cartiera che produce cartoncino, sarà sufficiente utilizzare carta da macero, il cui costo è un decimo o meno, se paragonata al costo di cellulosa bian-

chita di conifere o di latifoglie [5]: naturalmente, per produrre la copertina si userà della cellulosa di qualità superiore, in dipendenza dell'uso finale del prodotto e delle necessità di stampa.

Anche la carta per ufficio viene prodotta in grande quantità: una macchina piana che lavora alla velocità di 850m/min è in grado di produrre in un anno 150.000 tonnellate di carta. L'impasto sarà costituito da una parte di fibra lunga e da una parte importante di fibra corta. Nella produzione della carta ci sono rotture e rifili prodotti nell'allestimento del prodotto per il cliente. Queste carte di scarto vengono in gergo di cartiera chiamate fogliacci e vengono rispappolati e usati per produrre la carta.

La produzione della carta

Uno schema molto semplificato di cartiera prevede tre reparti fondamentali: la preparazione dell'impasto, la macchina piana e la finitura. La preparazione dell'impasto comprende sia il proporzionamento delle materie prime, che l'aggiunta di coloranti, di cariche e di altri prodotti chimici ausiliari. La chimica riveste un ruolo importante in cartiera e permette sia di raggiungere elevati livelli qualitativi, che velocità di produzione anche di 2000 metri al minuto. Ad esempio l'uso delle cariche è dettato sia dalla necessità di impartire caratteristiche adatte alla stampa, che di abbassare i costi, dato che il carbonato di calcio ha un costo inferire della cellulosa. Però con l'aumento della quantità di carbonato si ha una diminuzione delle proprietà meccaniche della carta.

L'impasto viene poi sottoposto ad alcuni trattamenti meccanici che hanno lo scopo di migliorarne le caratteristiche. Una volta che le fibre sono state spappolate nel pulper, vengono sottoposte alla raffinazione. La raffinazione ha lo scopo di modificare la struttura delle singole fibre in modo da aumentare la formazione dei legami idrogeno e questo conferirà alla carta prodotta un aumento di certe proprietà meccaniche.

Dopo una fase di epurazione l'impasto viene mandato alla cassa d'afflusso che ha il compito di ripartirlo sulla tela di formazione in modo omogeneo e stabile. L'impasto raggiunge la tela ad una consistenza dello 0,5%; compito della tela è anche di rimuovere l'acqua in modo controllato e progressivo. Il feltro fibroso così formato passa alle presse e ad una serie di essiccatori che asportano l'umidità; segue la finitura e la carta va all'arrotolatore.

I numeri della carta

L'industria cartaria nel 2006 ha prodotto 10 milioni di carta e cartone, utilizzando 1.230.000 m^3 di legname, dei quali 985.000 m^3 sono di importazione. Da questo legname sono stati prodotti circa 350.000 t di paste meccaniche e 150.000 t di paste chimiche e semichimiche. Sono state importate 3.428.000 t di cellulose e

sono state utilizzate circa 5.550.000 t di carta riciclata. Essendo in Italia la raccolta di macero pari a 6.000.000 t, una parte di carta riciclata viene esportata. Oltre alla cellulosa sono state utilizzate 1.820.000 t di materie prime non fibrose: cariche, caolino, collanti, ecc., 8,4 miliardi di kwh (circa la metà autoprodotti) e, naturalmente, 370 milioni di m^3 di acqua.

Siccome una parte di carta e cartone prodotti vengono esportati, per sopperire al consumo nazionale di carta e cartoni, vengono importate circa 5.200.000 t di carta e cartoni. Vengono consumate circa 11.700.000 t di carta e cartone, circa un terzo di questa quantità viene usata per la produzione di cartone ondulato per imballaggi. Un altro terzo per stampa, quotidiani, editoria, grafica e articoli per cartoleria. Il resto per altri molti usi, comprese 750.000 t per usi igienici e sanitari. Questa è la produzione delle 190 cartiere, che impiegano 23.000 addetti con un fatturato di 7,6 miliardi di euro [6].

Le previsioni del consumo della carta sono ancora in crescita [7]: la crescita maggiore è però prevista nelle regioni con grandi popolazioni e redditi bassi o medi. Con l'aumento del benessere si prevede un aumento pro capite del consumo di carta. Già oggi la Cina non riesce a produrre la quantità di fibre necessarie a soddisfare il proprio fabbisogno di carta, così come succede a parecchi paesi che importano carta riciclata dagli Stati Uniti [8].

Applicazioni biologiche per l'industria cartaria

L'obiettivo principale di queste applicazioni è la degradazione della lignina che viene effettuata nell'industria con processi meccanici, termici e chimici. Questi processi sono costosi ed inquinanti; metodi alternativi di produzione della cellulosa sono senza dubbio meritevoli di essere studiati. Inoltre, anche per la grande richiesta di cellulosa, può risultare interessante la produzione di paste cartarie utilizzando piante non legnose o scarti agricoli.

Il Prof. Giovannozzi ha dedicato molto lavoro di ricerca alle applicazioni biologiche per l'industria cartaria. Per questo scopo sono utilizzabili due metodologie principali: la colonizzazione del materiale ligno-cellulosico con funghi ligninolitici e il pretrattamento del materiale ligno-cellulosico con enzimi. Il biotrattamento mediante colonizzazione con funghi richiede tempi lunghi e si ha anche una perdita significativa della materia organica (fino al 20-30%), dovuta al metabolismo del micelio. Il trattamento con enzimi ha invece grandi vantaggi potenziali: dura poche ore e non vi è perdita di materiale organico dovuto al metabolismo miceliare.

La disponibilità di enzimi a basso costo è fondamentale per le applicazioni biologiche nell'industria cartaria. Gli enzimi principali utilizzabili sono l'idrolasi e l'ossidoriduttasi; ma data la complessità della matrice organica nella quale si trovano inglobate le fibre cellulosiche, è necessario utilizzare un insieme di enzimi per degradare le altre componenti.

Caratteristiche del processo LINA

Il processo LINA (Lignocellulose In Numberless Application) messo a punto dal Prof. Giovannozzi permette la produzione del micelio *Lentinula edodes* (ceppo SC 495) a basso costo per mezzo di fermentazioni di materiale lignocellulosico in fase solida. Questo enzima è in grado di degradare in modo selettivo la lignina presentando al contempo una capacità modesta verso la cellulosa [9]. Il trattamento biologico e la crescita miceliare vengono condotti in un bioreattore pilota della capacità di circa 4000 litri, riportato nelle fig. 1-2.

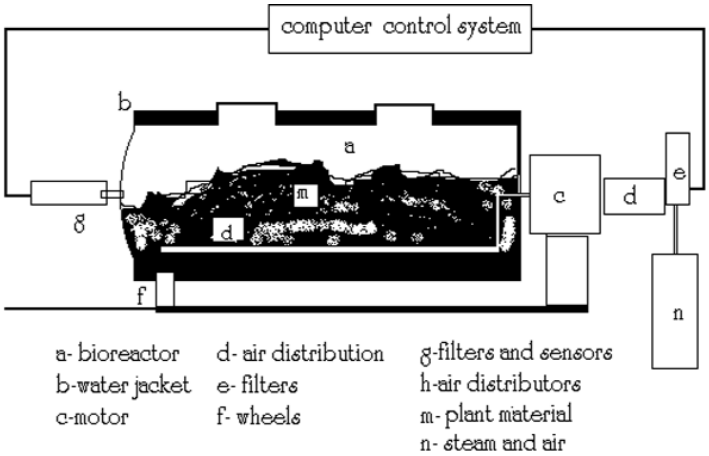

Fig. 1.

La produzione degli enzimi avviene attraverso il seguente procedimento: il materiale vegetale (paglie, stocchi, etc.) opportunamente preparato viene ipercompattato e raggiunge la densità di circa 1000 kg/m^3 (valore superiore a quello del legno usato nelle cartiere). Il substrato solido viene immesso nel bioreattore al quale vengono aggiunti microelementi, fosfati ed eventualmente induttori. Il bioreattore viene chiuso e la biomassa per circa un'ora viene sterilizzata a vapore a 120°C. Dopo la sterilizzazione, la biomassa viene raffreddata fino a 30°C ed inoculata con una sospensione di cellule di miceli della carie bianca. Durante la colonizzazione miceliare il bioreattore ruota lentamente (8 giri/giorno) a temperatura costante e a livelli prefissati di CO_2 ed O_2, il che permette una rapida, uniforme ed attiva crescita del micelio. Dopo 7 giorni di crescita miceliare il bioreattore viene aperto, la biomassa scaricata e pressata a 350 atm per raccogliere il liquido. Detta fase liquida contiene esoenzimi quali polifenolossidasi, cellulasi, pectinasi, xilanasi ecc. e dopo tipizzazione per il contenuto enzimatico, tale fase liquida, opportunamente preparata, è usata per pretrattare i materiali lignocellulosici da avviare alle cartiere (biopulping).

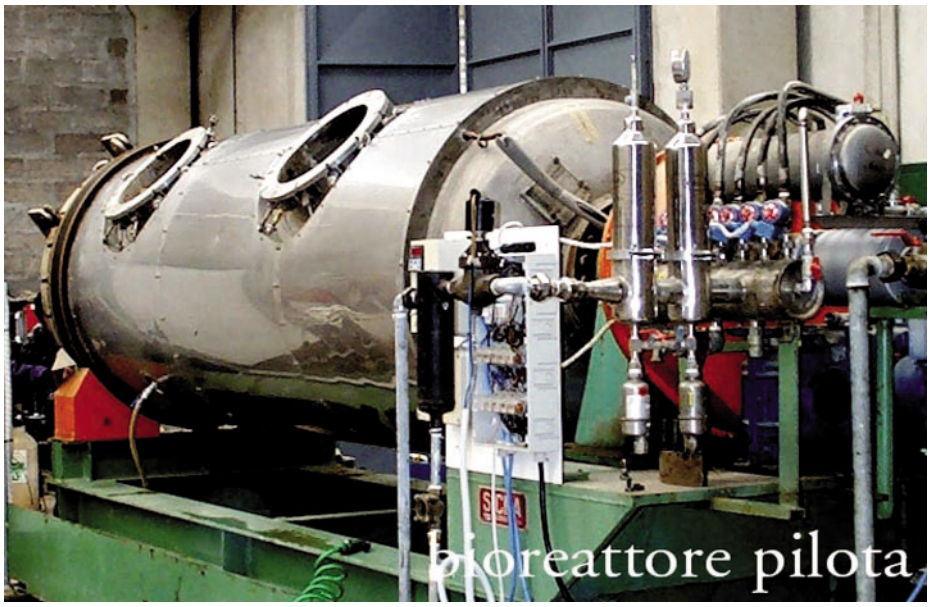

Fig. 2.

Risultati e conclusioni

L'industria cartaria mostrerà interesse per i processi alternativi di produzione della cellulosa se le proprietà del prodotto finito saranno comparabili con i processi industriali attuali e naturalmente ad un costo minore. Il processo messo a punto dal Prof. Giovannozzi permette di ottenere foglietti con proprietà meccaniche paragonabili e in qualche caso migliori rispetto alla cellulosa prodotta con processi chimici o meccanici [10, 11].

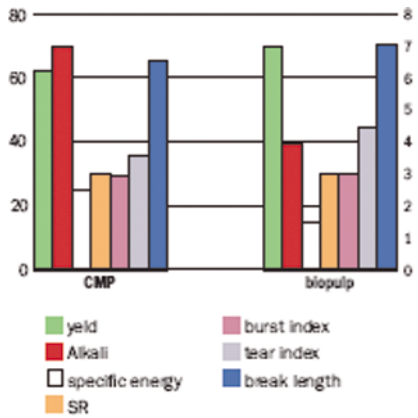

Fig. 3. Miglioramento della resa e delle proprietà della cellulosa attraverso l'impiego di enzimi.

La produzione della carta è molto costosa per la grande quantità di energia coinvolta e in Italia l'energia elettrica ha un costo del 20-30% superiore ai concorrenti europei. Nella produzione della carta i processi di raffinazione e di asciugamento richiedono molta energia. La ricerca dovrebbe aspirare ad individuare innovazioni qualitative sulla scia delle innovazioni avvenute in Fabriano, che hanno dato all'allora industria cartaria modo di fiorire e prosperare. Il recupero e l'utilizzazione della cellulosa da scarti agricoli è da molti punti di vista un buon settore su cui indagare.

BIBLIOGRAFIA

[1] G. Castagnani (a cura di), *L'uomo il foglio il segno*, Pia Università dei Cartai, Fabriano 2001, cap. 4.

[2] G. Castagnani, Le origini dell'arte della carta a Fabriano. In: G. Castagnani (a cura di), *L'uomo il foglio il segno*, Pia Università dei Cartai, Fabriano 2001, p. 84.

[3] G. Castagnani, Un salto tecnico: Fabriano e l'arte della carta. In: G. Castagnani (a cura di), *L'uomo il foglio il segno*, Pia Università dei Cartai, Fabriano: 2001, p. 108.

[4] D. Hunter, Papermaking. *The History and Tecnique of an Ancient Craft*, Dover Publications, Inc., New York 1978, p. 341-355.

[5] I prezzi delle materie prime, *Industria della Carta*, *2007*, *45* (1), 79.

[6] Dati, statistiche e trend dall'industria cartaria, *Industria della Carta*, *2007*, *45* (4), 92.

[7] Jaakko Pöyry, World paper markets up to 2015: What drives the global demand? *Solutions!*, *2003*, *86* (8), 64.

[8] Jaakko Pöyry, China needs vast recovered fiber imports, *Solutions!*, *2003*, *86* (3), 12.

[9] G. Giovannozzi-Sermanni, A. D'Annibale, C. Perani, A. Porri, F. Pastina, V. Minelli, N. Vitale, A. Gelsomino, Characteristics of paper handsheets after combined biological pretreatments and conventional pulping of wheat straw, *Tappi Journal*, *1994*, *77* (6), 151-157.

[10] G. Giovannozzi-Sermanni, P.L. Cappelletto, A. D'Annibale, C. Perani, Enzymatic pretreatments of nonwoody plants for pulp and paper production, *Tappi Journal*, *1997*, *80* (6), 139-144.

[11] G. Giovannozzi-Sermanni, P.L. Cappelletto, A. D'Annibale, F. Mongardini, C. Perani, A. Porri, Lignocellulosic residues as cellulose sources for paper pulp blends, Fresenius Environmental Bullettin, 1998, *7*, 108-113.