

Cellulase Enzyme per industria carta e pasta: modificazione delle fibre, drenaggio, disinchiostrazione e riciclo

Team di ricerca Enzymes.bio · Wellington, Nuova Zelanda · June 20, 2026

La cellulasi per l'industria della carta e della pasta è un enzima tecnico usato per modificare in modo controllato le fibre cellulosiche, migliorare la lavorabilità della sospensione fibrosa e supportare processi come drenaggio, raffinazione e disinchiostrazione. Nelle applicazioni cartarie non viene impiegata per degradare completamente la cellulosa, ma per agire soprattutto sulle zone accessibili della superficie della fibra, con effetti dipendenti da tipo di pasta, condizioni di processo e obiettivo produttivo.

Enzymes.bio fornisce online **Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry** in unità da 1 kg per uso B2B; CoA e SDS sono forniti insieme all'ordine. Enzymes.bio è un fornitore, non un produttore né un laboratorio.

Che cos'è la cellulasi per carta e pasta

La **cellulasi** è un termine funzionale che indica un insieme di attività enzimatiche capaci di idrolizzare o modificare la cellulosa, il polisaccaride strutturale più importante nelle fibre vegetali. La letteratura sulla biomassa lignocellulosica descrive la cellulosa come una matrice ordinata di catene di glucosio unite da legami β -1,4, protetta in molti materiali naturali da emicellulose e lignina; per questo motivo l'accessibilità del substrato è uno dei fattori principali che regolano l'efficacia dell'azione enzimatica ^[1].

Nel complesso cellulolitico sono generalmente coinvolte endoglucanasi, cellobioidrolasi o esoglucanasi e β -glucosidasi. Le endoglucanasi agiscono in punti interni delle catene più accessibili, le esoglucanasi rimuovono unità dalle estremità liberate e le β -glucosidasi completano la conversione di oligosaccaridi solubili in glucosio nei contesti in cui l'obiettivo è l'idrolisi spinta; in cartiera, però, l'interesse principale è spesso la modifica superficiale e non la saccarificazione completa ^[2].

Questa distinzione è essenziale per l'industria della carta e della pasta. In un processo per bioetanolo, la cellulasi può essere valutata per liberare zuccheri fermentabili da residui lignocellulosici; in una linea cartaria, invece, l'uso tipico è più selettivo: modificare fibrille superficiali, fini e zone amorfe della cellulosa per influenzare drenaggio, raffinabilità, disinchiostrazione o qualità della pasta riciclata. Studi

su materiali lignocellulosici e carta da macero mostrano che la stessa chimica di base — l'idrolisi controllata della cellulosa — può essere orientata a obiettivi industriali diversi a seconda del substrato e delle condizioni operative ^[3].

Perché la cellulasi è rilevante nella produzione di carta e pasta

La produzione cartaria dipende dalla capacità delle fibre di disperdersi, drenare, legarsi tra loro e attraversare la macchina senza creare instabilità. La cellulasi è rilevante perché agisce direttamente sul componente dominante della fibra: la cellulosa. Anche una modifica limitata della superficie può cambiare il comportamento della sospensione, perché le fibre non sono particelle inerti ma strutture porose, fibrillate e sensibili alla storia meccanica e chimica del processo ^[4].

Nelle fibre vergini, l'obiettivo può essere rendere la fibra più reattiva alla raffinazione o modulare la formazione di fibrille superficiali. Nelle fibre riciclate, la questione è più complessa: la carta da riciclo contiene fibre già essiccate e reidratate, fini, cariche minerali, inchiostri e contaminanti variabili. Le ricerche sul riciclo e sulla valorizzazione della carta evidenziano che la qualità del materiale secondario è influenzata non solo dalla composizione fibrosa, ma anche dai trattamenti subiti e dalla separazione dei contaminanti ^[5].

La cellulasi trova quindi spazio in una logica di **biotrattamento della pasta**: un intervento enzimatico relativamente specifico, inserito in una sequenza industriale esistente, con lo scopo di ridurre resistenze operative o migliorare una proprietà di processo. Non sostituisce automaticamente raffinazione, lavaggio, flottazione, additivi o controllo meccanico della macchina, ma può integrarli quando il collo di bottiglia è legato alla struttura cellulosica della fibra ^[6].

Meccanismo d'azione sulle fibre cellulosiche

La fibra cartaria può essere immaginata come una struttura gerarchica: parete primaria e secondaria, microfibrille, zone cristalline più ordinate e regioni amorfe più accessibili. Le cellulasi non agiscono in modo uniforme su tutta la fibra; tendono a intervenire dove la cellulosa è più esposta, idratata o meno ordinata. Questo è coerente con le review sui pretrattamenti lignocellulosici, che sottolineano come accessibilità, porosità e rimozione parziale delle barriere strutturali influenzino fortemente l'idrolisi enzimatica ^[1].

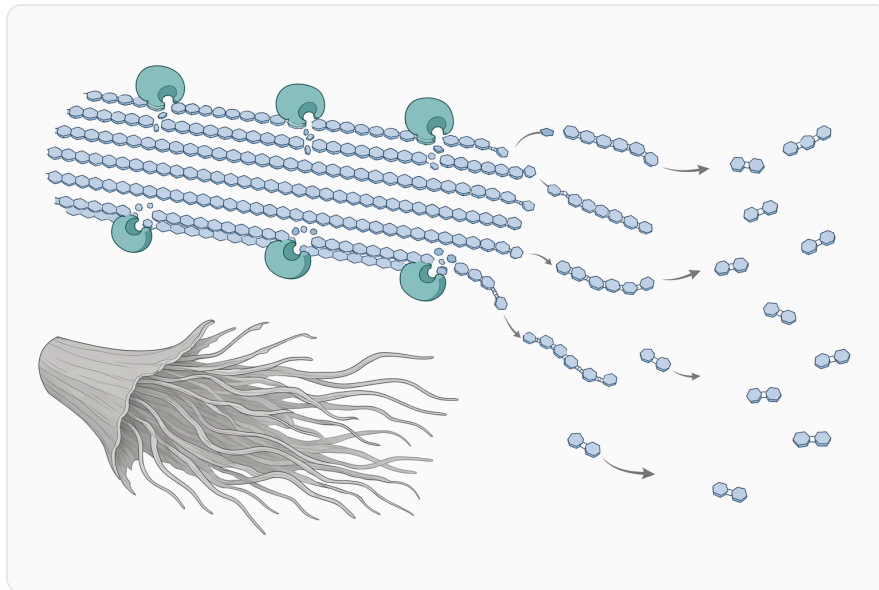


Figure 1. 셀룰레이스는 섬유벽 전체를 균일하게 분해하기보다, 먼저 접근 가능한 셀룰로오스 표면, 피브릴, 미세섬유분, 비정질 영역에 작용한다.

In una sospensione di pasta, l'effetto pratico non è solo chimico ma anche fisico. Una lieve azione sulle fibrille superficiali può modificare il rapporto tra fibre lunghe, frammenti fini e materiale colloidale; può cambiare la capacità della fibra di trattenere acqua; può facilitare il distacco di particelle legate alla superficie. È per questo che la cellulasi viene discussa non soltanto come enzima di degradazione, ma come strumento di **modificazione controllata della fibra** [7].

La specificità è però relativa, non assoluta. Poiché il substrato dell'enzima è la cellulosa stessa, un trattamento eccessivo o non compatibile con la pasta può ridurre proprietà meccaniche, accorciare eccessivamente le fibre o generare fini indesiderati. La letteratura sulle cellulasi industriali insiste sul bilanciamento tra accessibilità del substrato, stabilità enzimatica e intensità del trattamento: le stesse attività che rendono utile l'enzima possono diventare dannose se spinte oltre l'intervallo utile di processo [8].

Applicazioni principali nella filiera carta e pasta

Modificazione delle fibre e supporto alla raffinazione

La raffinazione meccanica sviluppa la fibra aumentando fibrillazione, flessibilità e superficie disponibile per i legami inter-fibra. È una fase energivora e delicata: troppo poca raffinazione può dare scarsa resistenza o formazione non ottimale; troppa raffinazione può aumentare fini, ridurre drenaggio e rendere la sospensione difficile da gestire. La cellulasi può essere usata come trattamento di supporto perché interviene sulle zone accessibili della parete cellulare, rendendo alcune fibre più sensibili alla successiva azione meccanica [7].

Il punto tecnico non è “sostituire” la raffinazione, ma cambiare la risposta della fibra alla raffinazione. Un trattamento enzimatico controllato può favorire l’apertura superficiale della fibra o la rimozione parziale di materiale amorfo, riducendo la necessità di sviluppare lo stesso effetto solo con energia meccanica. L’interesse per approcci combinati meccanico-enzimatici è coerente con gli studi sulle nanofibrille lignocellulosiche, dove trattamenti enzimatici misti sono stati valutati come via più pulita per facilitare la fibrillazione rispetto a processi più intensivi [7].

Per i tecnici di cartiera, il risultato va letto in termini di equilibrio: drenaggio, resistenza, formazione, consumo energetico e stabilità della macchina devono essere valutati insieme. Un miglioramento della raffinabilità non è utile se produce perdita di resistenza a trazione, e un aumento della fibrillazione non è necessariamente positivo se rallenta troppo la disidratazione. La cellulasi è quindi uno strumento di regolazione, non un additivo “a effetto unico”.

Drenaggio e disidratazione della sospensione fibrosa

Il drenaggio è una delle aree in cui la modifica enzimatica della fibra può avere impatto operativo. In una sospensione cartaria, l’acqua è trattenuta da fibre, fibrille, fini, cariche e sostanze colloidali; il modo in cui questi componenti interagiscono determina la velocità di drenaggio nella sezione di formazione e nelle fasi successive di disidratazione. Intervendendo sulle superfici cellulosiche più accessibili, la cellulasi può contribuire a modificare la distribuzione dei fini e la capacità della fibra di trattenere acqua [6].

L’effetto non è universalmente prevedibile perché dipende dal materiale. Una pasta ricca di fibre secondarie corte e fini può reagire diversamente da una pasta vergine lunga; una pasta con alta quota di cariche minerali può avere dinamiche di ritenzione e drenaggio diverse da una sospensione più fibrosa. La letteratura sul riciclo della carta sottolinea infatti che la qualità della carta riciclata e le prestazioni ambientali del riciclo dipendono da filiere e materiali specifici, non da un unico comportamento standard del “riciclato” [4].

In pratica, la cellulasi è più interessante quando il problema di drenaggio è associato a fibre poco reattive, eccesso di materiale superficiale o sospensioni difficili da disidratare per ragioni legate alla matrice cellulosica. Non è invece lo strumento primario per problemi dominati esclusivamente da contaminanti idrofobici, schiume, cariche fuori specifica o instabilità chimica del circuito.

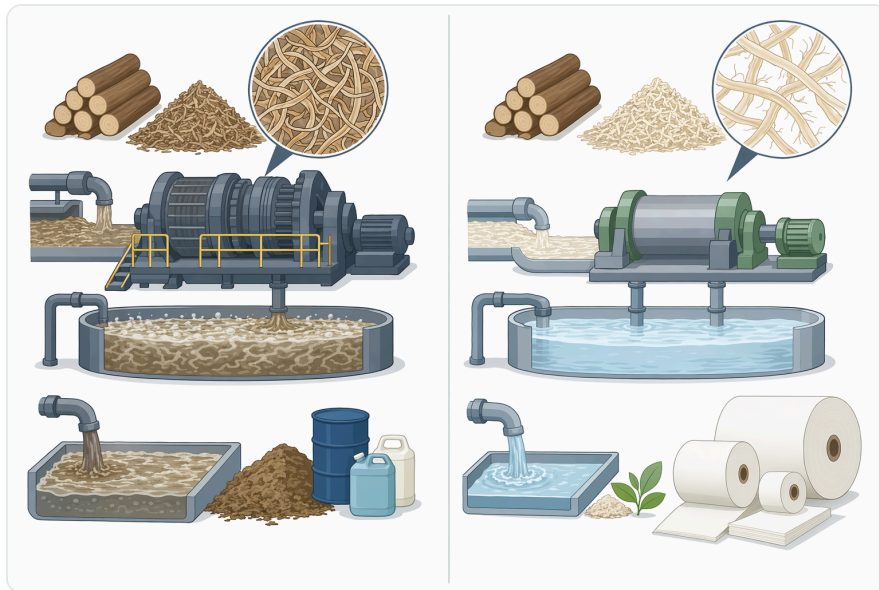


Figure 2. 제지 산업에서 셀룰레이스는 가벼운 섬유 표면 개질부터 당 방출을 위한 강한 가수분해까지 다양하게 활용되며, 공정 목표와 위험 수준도 각각 다르다.

Disinchiostrazione della carta riciclata

La **disinchiostrazione** è una delle applicazioni più citate per gli enzimi nel riciclo della carta. L'inchiostro aderisce alla fibra attraverso interazioni fisiche e chimiche che dipendono dal tipo di stampa, dal legante, dall'invecchiamento della carta e dai trattamenti precedenti. La cellulasi può facilitare il distacco delle particelle di inchiostro agendo sulla superficie cellulosa intorno al punto di adesione, rendendo più efficaci le fasi successive di separazione ^[6].

Uno studio sulla produzione di cellulasi e xilanasi da *Trichoderma harzianum* e sulla loro applicazione nel riciclo di carta da fotocopiatrice ha valutato proprio l'uso di enzimi grezzi nel trattamento della carta di scarto, confermando l'interesse della combinazione cellulasi-xilanasi in scenari di riciclo cartario. Questo tipo di ricerca è utile perché collega il meccanismo enzimatico non a un substrato modello, ma a un flusso reale di carta stampata, dove inchiostro, fibre e additivi coesistono ^[6].

Anche lavori più recenti sull'ottimizzazione della produzione di cellulasi da microrganismi filamentosi discutono l'impiego dell'enzima nella disinchiostrazione mediata enzimaticamente della pasta. Questi studi indicano che la ricerca non considera la cellulasi soltanto come enzima per biofuel, ma anche come strumento specifico per processi cartari in cui il distacco dell'inchiostro e la qualità della fibra riciclata sono obiettivi centrali ^[9].

Trattamento di fanghi cartari e carta da scarto

La cellulasi è studiata anche nella valorizzazione di fanghi cartari e carta di scarto, soprattutto quando questi flussi sono ricchi di carboidrati residui. In tali casi l'obiettivo può essere diverso dalla produzione di carta: convertire frazioni cellulosiche in zuccheri fermentabili o intermedi per bioenergia. Studi sulla produzione di bioetanolo da fanghi di carta riciclata hanno esaminato anche il riciclo della cellulasi, evidenziando l'importanza economica del recupero enzimatico nei processi ad alto contenuto di solidi ^[10].

Queste ricerche non devono essere confuse con l'uso della cellulasi direttamente in macchina continua, ma sono rilevanti per la filiera carta-pasta perché mostrano che i residui cellulosici del settore possono essere substrati enzimatici. La valorizzazione di fanghi e scarti cartari è un tema distinto dalla produzione di foglio, ma condivide la stessa base biochimica: l'accesso dell'enzima alla cellulosa disponibile ^[11].

La modellazione cinetica del riciclo della cellulasi nei processi da fanghi cartari a etanolo mostra inoltre che l'efficienza enzimatica è influenzata da carico di solidi, adsorbimento al substrato, recuperabilità dell'enzima e inibizioni di processo. Per un lettore cartario, il messaggio importante è che l'attività della cellulasi non è una proprietà astratta: emerge sempre dall'interazione tra enzima, fibra, acqua, solidi e condizioni operative ^[12].

Tabella comparativa: cellulasi e altri enzimi rilevanti in carta e pasta

Famiglia enzimatica	Substrato principale	Ruolo tipico in carta e pasta	Beneficio potenziale	Limite tecnico da considerare
Cellulasi	Cellulosa accessibile della fibra	Modificazione fibra, supporto al drenaggio, disinchiostrazione, gestione di carta riciclata	Migliore lavorabilità della pasta e possibile facilitazione della raffinazione	Un'azione eccessiva può indebolire la fibra o aumentare i fini
Xilanasi	Xilani ed emicellulose	Pretrattamento della pasta e supporto alla sbianca, in particolare in paste kraft e non legnose	Può migliorare l'accessibilità della matrice e ridurre l'intensità di alcune fasi chimiche	Non agisce primariamente sulla cellulosa; effetto dipendente dal contenuto di emicellulose ^[13]
Enzimi ligninolitici	Componenti ligniniche e	Applicazioni in sbianca, trattamento effluenti,	Interesse ambientale per processi meno	Meccanismi e requisiti di processo diversi dalle idrolasi della fibra ^[14]

Famiglia enzimatica	Substrato principale	Ruolo tipico in carta e pasta	Beneficio potenziale	Limite tecnico da considerare
	composti aromatici	rimozione di coloranti o contaminanti aromatici	dipendenti da chimica aggressiva	
Combinazioni enzimatiche	Cellulosa, emicellulose e componenti associati	Riciclo, deinking, pretrattamenti di biomasse cartarie o lignocellulosiche	Effetto più ampio su materiali complessi	Serve equilibrio: più attività non significa automaticamente migliore qualità del foglio [2]

La tabella evidenzia un punto operativo: la cellulasi è centrale quando il target è la fibra cellulosa, mentre xilanasi ed enzimi ligninolitici sono più pertinenti quando l'obiettivo riguarda emicellulose, accessibilità della lignina o trattamenti di sbianca. La letteratura sulle xilanasi fungine per biobleaching, ad esempio, collega questi enzimi alla modifica della matrice emicellulosica più che alla degradazione diretta della cellulosa [13].

Variabili di processo che influenzano il risultato

L'efficacia della cellulasi dipende anzitutto dal **tipo di fibra**. Fibre lunghe e poco danneggiate, fibre corte, pasta meccanica, pasta chimica, carta da ufficio riciclata, cartoni e miscele con cariche minerali offrono superfici e accessibilità diverse. La ricerca sui pretrattamenti lignocellulosici mostra che cristallinità, porosità e composizione della matrice determinano quanto substrato sia realmente disponibile all'enzima [1].

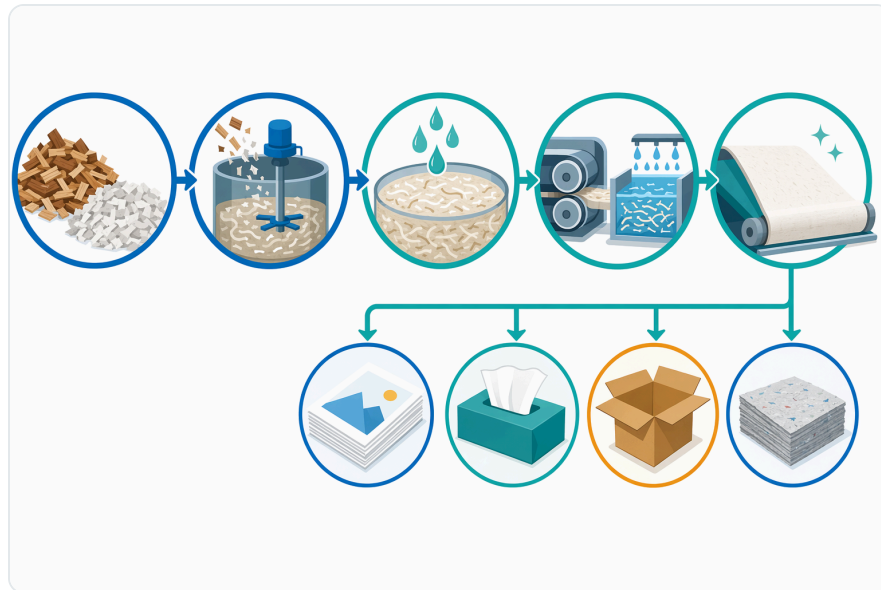


Figure 3. 재생지 탈묵 공정에서는 셀룰레이스가 셀룰로오스가 풍부한 잉크 부착 부위를 느슨하게 만든 뒤, 세척이나 부유선별을 통해 떨어져 나온 입자를 제거한다.

Un secondo fattore è la **storia della fibra**. Le fibre riciclate hanno spesso subito essiccazione, compressione, stampa, disinchiostrazione e nuova dispersione. Questo modifica rigonfiamento, flessibilità e capacità di formare legami, oltre ad aumentare la variabilità del materiale in ingresso. Studi sul riciclo della carta come elemento di sviluppo sostenibile sottolineano che il valore del riciclo dipende dalla qualità della raccolta e dalla possibilità di mantenere proprietà utilizzabili nel ciclo successivo [4].

Contano poi **pH, temperatura, tempo di contatto e compatibilità chimica**, ma non come parametri isolati. Un enzima può essere stabile in un intervallo operativo e perdere efficacia fuori da esso; può adsorbirsi alle fibre, essere inibito da componenti del circuito o agire più rapidamente su fini e zone amorfe che su fibre integre. La ricerca su cellulasi termostabili e su ceppi produttori di enzimi robusti nasce proprio dall'esigenza di adattare le prestazioni alle condizioni industriali, spesso più severe dei sistemi modello [15].

Infine, è importante il **punto di inserimento nel processo**. Prima della raffinazione, la cellulasi può modificare la risposta meccanica della fibra; prima o durante una fase di disinchiostrazione può favorire il distacco dell'inchiostro; in flussi di scarto può contribuire all'idrolisi di frazioni cellulosiche. Lo stesso enzima può quindi avere risultati diversi se applicato su pasta densa, sospensione diluita, materiale riciclato o fango cartario [10].

Evidenze scientifiche: cosa è consolidato

È consolidato che le cellulasi agiscono sulla cellulosa e che la loro efficacia dipende dall'accessibilità del substrato. Le review sui pretrattamenti della biomassa lignocellulosica mostrano che trattamenti fisici, termici e chimici vengono spesso usati proprio per aumentare l'accesso degli enzimi ai polisaccaridi strutturali; questo conferma quanto la struttura della fibra sia determinante per l'idrolisi o la modifica enzimatica ^[1].

È anche ben documentato che materiali cartari e lignocellulosici possono essere substrati per cellulasi. Studi su carta di scarto, carta da ufficio, fanghi di cartiera e materiali cellulostici trattati biologicamente hanno valutato l'idrolisi enzimatica in scenari di recupero o trasformazione, dimostrando la compatibilità concettuale tra cellulasi e flussi derivati dall'industria carta-pasta ^[3].

Nel riciclo, le evidenze supportano l'interesse per cellulasi e xilanasi come strumenti di trattamento della carta stampata. L'esempio della carta da fotocopiatrice trattata con enzimi prodotti da *Trichoderma harzianum* indica che le applicazioni di deinking enzimatico non sono soltanto teoriche, ma oggetto di sperimentazione su materiali cartari reali ^[6].

È inoltre consolidato che l'uso di enzimi nella filiera carta-pasta deve essere selettivo. Le xilanasi sono studiate per biobleaching di paste kraft e non legnose, mentre gli enzimi ligninolitici sono discussi per applicazioni su inquinanti, reflui, coloranti, carbone, carta e polimeri. Questo dimostra che il termine "enzimi per carta" copre famiglie diverse, ciascuna con substrati e meccanismi propri ^[14].

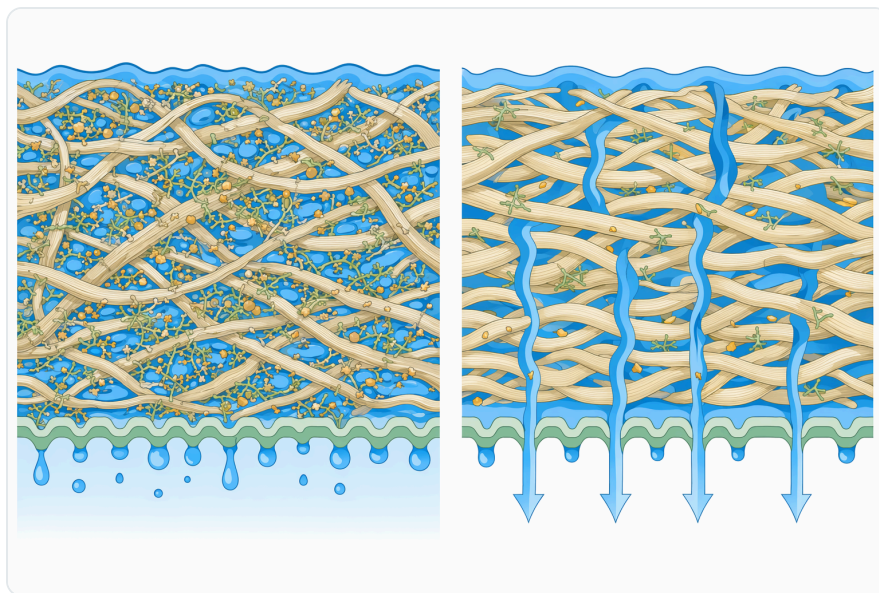


Figure 4. 셀룰레이스는 미세섬유분, 피브릴, 섬유 팽윤, 기공 구조를 변화시켜 배수성과 보수성에 영향을 줄 수 있다.

Dove serve cautela nell'interpretazione dei risultati

La prima cautela riguarda il trasferimento diretto dai dati di laboratorio alla cartiera. Molti studi lavorano su substrati selezionati, condizioni controllate o ceppi specifici; una linea industriale reale contiene miscele di fibre, additivi, cariche, contaminanti e variabilità giornaliera. Per questo un risultato positivo su carta da ufficio o fango cartario non garantisce automaticamente lo stesso effetto su ogni pasta riciclata o su ogni macchina continua ^[15].

La seconda cautela riguarda il linguaggio dei benefici. “Miglioramento del drenaggio”, “riduzione dell’energia di raffinazione” o “supporto alla disinchiostrazione” sono risultati plausibili e coerenti con il meccanismo della cellulasi, ma non sono proprietà intrinseche garantite in ogni impianto. Il risultato dipende dall’equilibrio tra idrolisi utile della superficie e perdita indesiderata di integrità fibrosa ^[2].

La terza cautela è legata alla sostenibilità. Il riciclo della carta ha benefici importanti, ma gli impatti climatici e ambientali dipendono da energia, logistica, qualità della fibra, tasso di sostituzione di fibra vergine e destino finale del materiale. Un’analisi sui benefici climatici del riciclo globale di pasta e carta ha evidenziato che i vantaggi non sono illimitati né uniformi in tutti gli scenari ^[5].

Benefici realistici della cellulasi in applicazioni cartarie

Il primo beneficio realistico è la **migliore lavorabilità della pasta**, quando la cellulasi modifica in modo controllato superfici e frazioni fini. Questo può aiutare in processi dove la sospensione è difficile da trattare meccanicamente o mostra risposta non ottimale alla raffinazione. Le ricerche sulle nanofibrille lignocellulosiche mostrano che trattamenti enzimatici possono facilitare processi di fibrillazione e ridurre la dipendenza da interventi più intensivi ^[7].

Il secondo beneficio è il **supporto al drenaggio**. Modificando regioni cellulosiche accessibili, la cellulasi può influenzare ritenzione d’acqua e comportamento dei fini; tuttavia, il risultato deve essere interpretato insieme a ritenzione, formazione e proprietà meccaniche del foglio. In pasta riciclata, la variabilità del materiale rende particolarmente importante considerare il trattamento enzimatico come parte di un sistema più ampio ^[4].

Il terzo beneficio è il **supporto alla disinchiostrazione**. L’azione sulla superficie della fibra può favorire il distacco dell’inchiostro e migliorare la successiva separazione fisica, soprattutto quando la cellulasi è usata insieme ad altre attività enzimatiche compatibili. Gli studi sul riciclo della carta da fotocopiatrice con cellulasi e xilanasi sono un esempio diretto di questa linea applicativa ^[6].

Il quarto beneficio riguarda la **valorizzazione di flussi cellulósici secondari**, come carta di scarto o fanghi cartari. In questo caso l'obiettivo può non essere la produzione di carta, ma il recupero di carboidrati o la generazione di intermedi per processi fermentativi. La ricerca sul bioetanolo da fanghi di carta riciclata conferma che questi flussi possono essere trattati enzimaticamente, anche se la logica economica e impiantistica è diversa da quella della macchina continua [16].

Integrazione con strategie di sostenibilità

Gli enzimi sono spesso discussi come strumenti per rendere più selettivi i processi industriali. Nel settore carta e pasta, questa selettività può significare minore intensità meccanica, minore dipendenza da determinate fasi chimiche o migliore utilizzo di fibre secondarie, a seconda del processo. Le applicazioni degli enzimi ligninolitici a reflui, coloranti, carta e altri materiali mostrano come la biocatalisi sia considerata una leva per trattamenti più mirati rispetto a interventi chimici non selettivi [14].



Figure 5. 제지 및 펄프 분야의 셀룰레이스 적용에는 탈묵, 백수 내 미세섬유분 제어, 배수성 개선 지원, 고해 보조, 생물표백 보조, 나노셀룰로오스 생산, 슬러지 자원화가 포함된다.

Per la cellulasi, la sostenibilità non deriva dal fatto che l'enzima sia "naturale" in senso generico, ma dalla possibilità di intervenire sulla fibra con maggiore specificità. Se un trattamento enzimatico consente di migliorare la qualità della pasta riciclata o di rendere più efficiente una fase di lavorazione, può contribuire a una filiera più circolare. Tuttavia, gli studi sul riciclo della carta ricordano che il beneficio ambientale complessivo dipende dal sistema, non da un singolo additivo [5].

L'uso della cellulasi si inserisce quindi in una prospettiva tecnica: aumentare il valore operativo delle fibre disponibili, ridurre sprechi di materiale quando possibile e supportare il riciclo di carta e pasta senza compromettere le prestazioni del prodotto finito. Questa impostazione è più solida di affermazioni generiche su "processi verdi", perché collega l'enzima a variabili misurabili del processo cartario.

Ruolo di Enzymes.bio nella fornitura B2B

Enzymes.bio propone enzimi industriali per applicazioni carta e pasta attraverso il proprio catalogo online, includendo prodotti destinati a processi come trattamento della fibra, riciclo e lavorazioni correlate. In questo contesto, **Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry** è presentato come prodotto B2B per operatori che impiegano enzimi tecnici in processi industriali e di trasformazione .

È importante definire correttamente il ruolo del fornitore: Enzymes.bio non è un produttore né un laboratorio di prova. L'acquisto avviene direttamente online in unità da 1 kg; la documentazione CoA e SDS accompagna l'ordine. Le informazioni tecniche devono essere lette come supporto descrittivo e applicativo, mentre l'integrazione in processo resta legata alle condizioni specifiche dell'utilizzatore industriale .

Conclusione

La cellulasi per l'industria carta e pasta è un enzima tecnico con una base biochimica chiara: agisce sulla cellulosa accessibile e può modificare la superficie delle fibre in modo utile per raffinazione, drenaggio, disinchiostrazione e gestione di materiali riciclati. Il suo valore non sta nella degradazione indiscriminata della fibra, ma nella possibilità di ottenere una modifica controllata della matrice cellulosica ^[1].

Le evidenze disponibili supportano l'uso della cellulasi in applicazioni legate a carta da scarto, riciclo, fanghi cartari e trattamento di fibre lignocellulosiche. Allo stesso tempo, i risultati dipendono fortemente da substrato, condizioni operative, punto di applicazione e interazione con altri trattamenti. Per questo la cellulasi va considerata uno strumento di processo specifico, non una soluzione universale ^[6].

Per un utilizzatore B2B, **Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry** è quindi rilevante quando l'obiettivo riguarda la fibra cellulosica: migliorare la lavorabilità della pasta, supportare il drenaggio, facilitare la disinchiostrazione o valorizzare flussi cellulosici secondari. Enzymes.bio la fornisce online in unità da 1 kg con CoA e SDS inclusi nell'ordine, mantenendo il ruolo di fornitore e non di produttore o laboratorio.

Ordina Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry online

Venduto in unità da 1 kg, disponibile a magazzino e pronto per la spedizione. Ordina direttamente dal nostro store: paga online e noi elaboriamo il tuo ordine. Un Certificato di Analisi e una Scheda Dati di Sicurezza sono inclusi in ogni ordine.

[Acquista Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry →](#)

Riferimenti

Numerati in ordine di prima citazione. Fonti open access, ciascuna verificata come raggiungibile al momento della pubblicazione; i numeri di citazione nel testo rimandano qui.

1. Woźniak, A., Kuligowski, K., Świerczek, L., & Cenian, A. (2025). Review of Lignocellulosic Biomass Pretreatment Using Physical, Thermal and Chemical Methods for Higher Yields in Bioethanol Production. *Sustainability*.
2. Kululo, W. W., Habtu, N., Abera, M., Sendekie, Z., Fanta, S., & Yemata, T. A. (2025). Advances in various pretreatment strategies of lignocellulosic substrates for the production of bioethanol: a comprehensive review. *Discover Applied Sciences*, 7.
3. Franceschin, G., Favaron, C., & Bertucco, A. (2010). WASTE PAPER AS CARBOHYDRATE SOURCE FOR BIOFUEL PRODUCTION: AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION. *Chemical engineering transactions*, 20, 279-284.
4. Wolska, W., & Małachowska, E. (2023). Paper recycling as an element of sustainable development. *Annals of WULS, Forestry and Wood Technology*.
5. Ewijk, S., Stegemann, J., & Ekins, P. (2020). Limited climate benefits of global recycling of pulp and paper. *Nature Sustainability*, 4, 180-187.
6. Pathak, P., Bhardwaj, N., & Singh, A. (2014). Production of Crude Cellulase and Xylanase From Trichoderma harzianum PPDDN10 NFCCI-2925 and Its Application in Photocopier Waste Paper Recycling. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172, 3776-3797.
7. Bian, H., Chen, L., Dong, M., Fu, Y., Wang, R., Zhou, X., Wang, X., ... et al. (2020). Cleaner production of lignocellulosic nanofibrils: Potential of mixed enzymatic treatment. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122506.
8. Peculyte, A., Anasontzis, G. E., Larsson, T., & Olsson, L. (2012). Enzyme production by Trichoderma reesei Rut C-30 followed by enzymatic hydrolysis of different lignocellulosic materials.
9. Das, A. (2025). Optimization of cellulases production by Aspergillus fumigatus ABK9 following statistical strategy while participating enzyme-mediated deinking of paper pulp. *SAYAM*.
10. Gomes, D. G., Gama, M., & Domingues, L. (2018). Determinants on an efficient cellulase recycling process for the production of bioethanol from recycled paper sludge under high solid loadings. *Biotechnology for Biofuels*, 11.
11. Gomes, D. G., Domingues, L., & Gama, M. (2016). Valorizing recycled paper sludge by a bioethanol production process with cellulase recycling. *Bioresource Technology*, 216, 637-44 .

12. Arthur, W., Diedericks, D., Coetzee, G., Rensburg, E., & Görgens, J. (2021). Kinetic modelling of cellulase recycling in paper sludge to ethanol fermentation. *Journal of environmental chemical engineering*, 9, 105981.
13. Kmetzki, A. C. F., Henn, C., Moraes, S. S., Silva, N. F. S., & Kadowaki, M. K. (2020). Physicochemical Characteristics of Fungal Xylanases and their Potential for Biobleaching of Kraft and Non-wood Pulps. *Annual Research & Review in Biology*.
14. Yadav, M., & Yadav, H. S. (2015). Applications of ligninolytic enzymes to pollutants, wastewater, dyes, soil, coal, paper and polymers. *Environmental Chemistry Letters*, 13, 309-318.
15. Jain, K. K., Kumar, S., Deswal, D., & Kuhad, R. C. (2017). Improved Production of Thermostable Cellulase from Thermoascus aurantiacus RCKK by Fermentation Bioprocessing and Its Application in the Hydrolysis of Office Waste Paper, Algal Pulp, and Biologically Treated Wheat Straw. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 181, 784-800.
16. Gomes, D. G., Serna-Loaiza, S., Cardona, C., Gama, M., & Domingues, L. (2018). Insights into the economic viability of cellulases recycling on bioethanol production from recycled paper sludge. *Bioresource Technology*, 267, 347-355 .

Contatta Enzymes.bio

Hai domande su un ordine? Il nostro team è lieto di aiutarti.

EMAIL wholesale@enzymes.bio

TELEFONO (USA) **+1 (507) 428-6057**

[Contattaci →](#)



400+ Clienti B2B



60+ partner di ricerca universitari



54 serviti in tutto il mondo

© 2026 Enzymes.bio · Fornitura di enzimi industriali e per la lavorazione alimentare · Non destinato al consumo umano né alla vendita al dettaglio.