

# Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme per attivazione di pasta dissolving, Lyocell e fibre cellulosiche rigenerate

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

**Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme** è un ausilio enzimatico per rendere la pasta cellulosica dissolving più accessibile, più uniforme nella risposta alla dissoluzione e più adatta ai processi di fibre cellulosiche rigenerate come il Lyocell. In pratica, l'enzima non sostituisce la qualità della materia prima né la progettazione del processo: agisce come fase di modifica controllata della fibra, soprattutto quando viene integrato con preparazione meccanica, lavaggi e trattamenti chimici compatibili. Enzymes.bio lo fornisce online in unità da **1 kg**, con CoA e SDS inclusi insieme all'ordine.

## Che cos'è un enzima di attivazione per dissolving pulp

Nel contesto della pasta dissolving, "attivazione" significa aumentare la disponibilità della cellulosa alle fasi successive di dissoluzione, derivatizzazione o rigenerazione. La cellulosa della fibra non è un substrato omogeneo: contiene zone più accessibili, zone più compatte, superfici esterne, pareti interne, residui emicellulosici e una rete di legami idrogeno che condiziona il modo in cui acqua, solventi e reagenti penetrano nella struttura. Un enzima di attivazione lavora su questa architettura, modificandola in modo più selettivo rispetto a un trattamento chimico non specifico <sup>[1]</sup>.

La pasta dissolving è diversa da una normale pasta per carta perché viene destinata alla produzione di materiali rigenerati o derivati della cellulosa, non alla formazione di un foglio cartario. Le applicazioni includono fibre cellulosiche rigenerate, viscosa, Lyocell, derivati cellulosici e materiali avanzati a base cellulosa; per questo motivo contano purezza, accessibilità, distribuzione delle lunghezze di catena e comportamento in dissoluzione più di quanto contino le sole proprietà cartarie tradizionali <sup>[2]</sup>.

Nel caso del Lyocell, l'interesse tecnico è legato alla dissoluzione diretta della cellulosa e alla successiva rigenerazione in fibra. La letteratura recente sul sistema N-metilmorfolina-N-ossido, spesso abbreviato NMMO, mostra che la struttura della cellulosa rigenerata e le condizioni di rigenerazione influenzano la successiva facilità di trasformazione del materiale, confermando quanto la microstruttura della cellulosa sia centrale nei processi Lyocell e nei relativi sottoprodotti <sup>[3]</sup>.

## Cosa non fa: limiti tecnici da chiarire

Un enzima di attivazione non trasforma automaticamente una materia prima qualsiasi in una pasta ottimale per filatura Lyocell. Se la pasta contiene livelli non idonei di componenti non cellulosiche, presenta una distribuzione molecolare inadatta o è stata danneggiata in modo eccessivo da trattamenti precedenti, l'enzima può migliorare alcuni aspetti ma non corregge da solo l'intero profilo della materia prima. La produzione di paste dissolving da paste cartarie, legnose o non legnose richiede infatti sequenze combinate di pretrattamenti enzimatici e chimici, non un singolo passaggio isolato [4].

È utile distinguere tra razionale enzimatico generale e prestazione specifica in impianto. Le cellulasi e le xilanasi sono famiglie enzimatiche ampiamente studiate per la modifica di cellulosa e xylani, ma l'effetto reale dipende dalla pasta, dal livello di raffinazione, dalla storia di cottura o sbianca, dal grado di accessibilità iniziale e dalla sequenza di processo. Le review sugli enzimi degradanti cellulosa e xilano descrivono un potenziale biotecnologico ampio, ma evidenziano anche che l'efficacia applicativa dipende dall'abbinamento tra enzima, substrato e condizioni operative [5].



Figure 1. 활성화 효소는 NMMO 용해, 압출, 셀룰로오스 재생 전에 수계 펄프 전처리 단계에서 적용됩니다.

Per Enzymes.bio, il posizionamento corretto è quello di fornitore online: non è un produttore e non è un laboratorio. Il prodotto è acquistabile direttamente online in unità da **1 kg**; la documentazione CoA e SDS è fornita insieme all'ordine. Questa impostazione è importante perché evita di presentare il prodotto come un servizio analitico o come una formulazione sviluppata su misura per uno specifico impianto .

## Perché l'attivazione enzimatica è rilevante nel Lyocell

---

La produzione Lyocell richiede una cellulosa che si disperda e si dissolva in modo prevedibile. Quando la fibra è poco accessibile, la dissoluzione può diventare più lenta o meno uniforme; quando la degradazione della cellulosa è eccessiva, invece, si rischia di compromettere il profilo molecolare necessario alla formazione della fibra. L'attivazione enzimatica è interessante perché punta a modificare selettivamente la fibra, evitando un attacco indiscriminato alla matrice cellulosica <sup>[6]</sup>.

Il cuore del problema è la relazione tra struttura e processabilità. La cellulosa naturale è organizzata in fibrille, domini più ordinati e domini meno ordinati; questa organizzazione influenza la penetrazione dei liquidi e l'interazione con solventi o reagenti. Gli studi sulla de-costruzione e rigenerazione efficiente della cellulosa mostrano che l'uso sostenibile della cellulosa dipende proprio dalla capacità di controllare struttura, accessibilità e rigenerazione senza perdere le proprietà desiderate del materiale finale <sup>[1]</sup>.

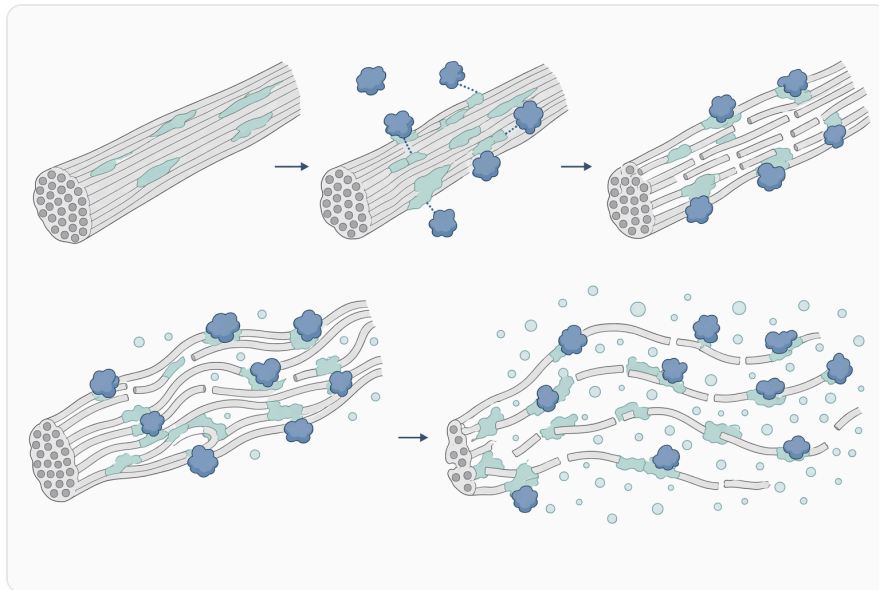
Nel Lyocell, l'enzima può quindi essere interpretato come un ausilio per preparare la pasta prima della dissoluzione, non come il passaggio di dissoluzione stesso. L'azione enzimatica può rendere più disponibili le superfici cellulosiche e contribuire a una risposta più uniforme nelle fasi successive, mentre la dissoluzione vera e propria resta governata dal sistema solvente, dalla composizione della pasta e dalla progettazione del processo <sup>[3]</sup>.

## Meccanismo: come cellulasi e xilanasi possono attivare la pasta

---

Le cellulasi sono il gruppo più direttamente collegato all'attivazione della cellulosa. In particolare, le endoglucanasi agiscono sui legami interni delle catene cellulosiche accessibili, generando nuove estremità e modificando la lunghezza media delle catene nelle regioni più esposte. Questo non significa "distruggere" la fibra: in un uso industriale controllato, l'obiettivo è aumentare l'accessibilità e correggere il comportamento della pasta senza spingere la degradazione oltre il livello utile <sup>[7]</sup>.

L'azione delle cellulasi è selettiva ma non magica: l'enzima raggiunge solo le aree fisicamente accessibili. Per questo una pasta compatta, poco gonfiata o poco aperta può rispondere in modo limitato; al contrario, una fibra già predisposta da operazioni meccaniche o chimiche compatibili può offrire più siti di attacco. Gli studi sulle cellulasi microbiche termostabili e sulle loro applicazioni biotecnologiche sottolineano che la relazione tra stabilità enzimatica, accesso al substrato e conversione della cellulosa è decisiva per l'efficienza del trattamento <sup>[7]</sup>.



**Figure 2.** 셀룰라아제 유형의 활성은 접근 가능한 셀룰로오스 영역에 흡착해 제한적인 내부 절단을 일으키고, 섬유벽 부위를 열어 더 균일한 수화와 용매 침투를 돕습니다.

Le xilanasi hanno un ruolo diverso. Non sono impiegate per tagliare direttamente la cellulosa, ma per agire sui xylani, cioè componenti emicellulosiche che possono occupare spazi nella parete della fibra e influenzare la purezza della pasta. Riducendo o modificando la frazione xilanica accessibile, una xilanasi può contribuire a una matrice più aperta e a una pasta più coerente con gli obiettivi di dissolving pulp [5].

La combinazione cellulasi-xilanasi è quindi tecnicamente logica: una famiglia enzimatica interviene sulla cellulosa accessibile, l'altra su componenti emicellulosiche che possono ostacolare l'accesso o ridurre la purezza funzionale. Studi su paste e rifiuti cellulosici trattati con sistemi contenenti cellulasi e xilanasi, ad esempio nel riciclo e nel disinchiostrato, mostrano che queste attività possono modificare le interazioni fibra-contaminante e la struttura superficiale della pasta, anche se l'applicazione non coincide direttamente con il Lyocell [8].

## Attivazione prima di viscosa e Lyocell: somiglianze e differenze

La letteratura sulla "activation of dissolving pulps prior to viscose preparation" è rilevante perché chiarisce un concetto fondamentale: la pasta dissolving deve essere preparata per reagire o dissolversi in modo uniforme prima della conversione industriale. Nel processo viscosa, l'attivazione è legata alla successiva alcalinizzazione e xantogenazione; nel Lyocell, invece, il percorso chimico è diverso, ma resta critica la capacità della cellulosa di interagire in modo omogeneo con il sistema di dissoluzione [9].

La differenza principale è che il Lyocell non segue la chimica della viscosa tradizionale. Nonostante ciò, entrambe le famiglie di processo richiedono cellulosa con proprietà controllate: purezza adeguata, accessibilità, comportamento prevedibile in sospensione o soluzione e assenza di eterogeneità eccessive. Per questo, le evidenze sviluppate sulle paste dissolving per viscosa aiutano a comprendere perché l'attivazione della pasta sia un tema industriale centrale anche per fibre cellulosiche rigenerate più recenti [9].

Il Lyocell si colloca inoltre in un quadro più ampio di materiali cellulosici sostenibili. Le review sulle fibre cellulosiche naturali e sulle loro applicazioni industriali evidenziano l'interesse crescente verso soluzioni rinnovabili, biodegradabili e ad alte prestazioni, dalle fibre tessili ai compositi. L'attivazione enzimatica della pasta si inserisce in questo scenario come tecnologia di processo per valorizzare meglio la cellulosa, non come claim ambientale autosufficiente [2].

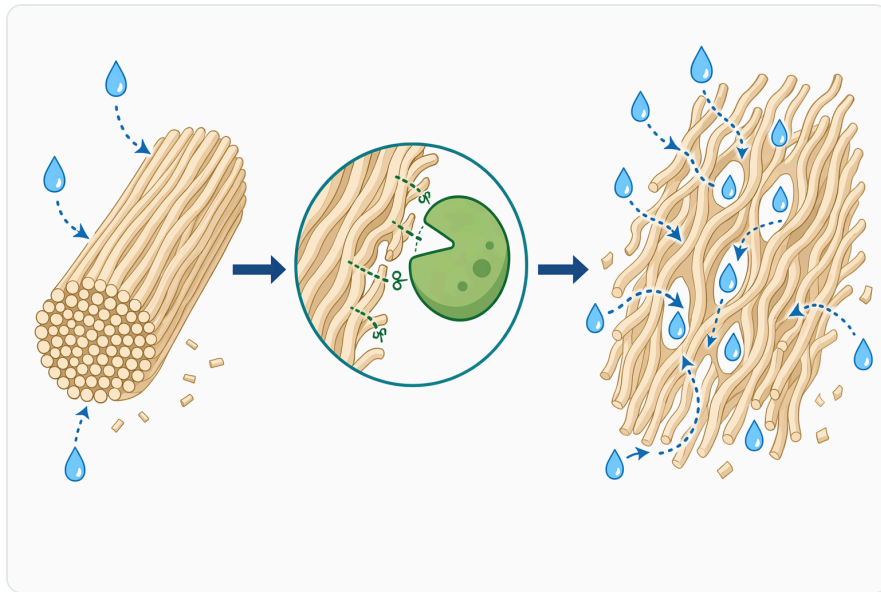


Figure 3. 제어된 활성화는 펄프의 제한 요인이 접근성일 때 습윤, 팽윤, 용해 준비성 및 잔류물 감소를 개선합니다.

## Confronto tra strategie di preparazione della pasta dissolving

Strategia di preparazione	Meccanismo principale	Vantaggio tecnico	Limite operativo	Ruolo rispetto al Lyocell
Attivazione enzimatica con cellulasi	Modifica selettiva delle regioni cellulosiche accessibili	Aumenta l'accessibilità e può aiutare a regolare il comportamento della pasta	Richiede substrato accessibile e controllo della severità del trattamento	Utile prima della dissoluzione, soprattutto in sequenze integrate

Strategia di preparazione	Meccanismo principale	Vantaggio tecnico	Limite operativo	Ruolo rispetto al Lyocell
Trattamento con xilanasi	Modifica dei xylani e di frazioni emicellulosiche accessibili	Può favorire purezza funzionale e apertura della matrice	Non corregge direttamente la cellulosa se il problema è il profilo molecolare	Complementare alla cellulasi quando le emicellulose sono critiche
Raffinazione o apertura meccanica	Aumento della superficie e della disponibilità delle fibre	Migliora il contatto tra enzima, acqua e fibra	Può consumare energia e alterare la fibra se eccessiva	Spesso utile come fase preparatoria
Pretrattamenti chimici compatibili	Rimozione o modifica di componenti non cellulosiche	Può portare la pasta verso specifiche dissolving	Può essere meno selettivo e richiede gestione del processo	Spesso necessario nell'upgrade da paste non dissolving
Nessuna attivazione	Conservazione dello stato iniziale della pasta	Processo più semplice	Rischio di dissoluzione meno uniforme se la pasta è poco accessibile	Accettabile solo se la pasta è già adeguata al processo

Queste strategie non vanno viste come alternative assolute. Gli studi sulla produzione di paste dissolving da paste cartarie di legno e non legno mostrano che l'approccio più realistico è spesso una combinazione di pretrattamenti enzimatici e chimici, perché ogni passaggio agisce su una barriera diversa: emicellulose, accessibilità, purezza o risposta della cellulosa alla conversione <sup>[4]</sup>.

## Applicazione 1: preparazione di pasta per fibre Lyocell

L'applicazione più diretta del Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme è la preparazione della pasta destinata a fibre Lyocell. Il punto tecnico non è "fare Lyocell con l'enzima", ma preparare una materia prima più adatta al passaggio successivo di dissoluzione e rigenerazione. La ricerca sulla rigenerazione della cellulosa da sistemi NMMO conferma che le condizioni di rigenerazione influenzano la struttura e la successiva trasformabilità della cellulosa, quindi la qualità della pasta in ingresso è parte della stessa catena causa-effetto <sup>[3]</sup>.

Una pasta più accessibile può favorire una dissoluzione più regolare, riducendo la probabilità che restino frazioni meno trattate o zone con comportamento differente. In un contesto industriale, questa uniformità è importante perché la filatura di fibre cellulosiche rigenerate dipende dalla continuità del

materiale disciolto e dalla riproducibilità del profilo della soluzione. Le review sulla de-costruzione e rigenerazione della cellulosa collegano direttamente controllo strutturale e impiego efficiente della cellulosa nei materiali rigenerati <sup>[1]</sup>.

## **Applicazione 2: upgrade di paste cartarie verso qualità dissolving**

---

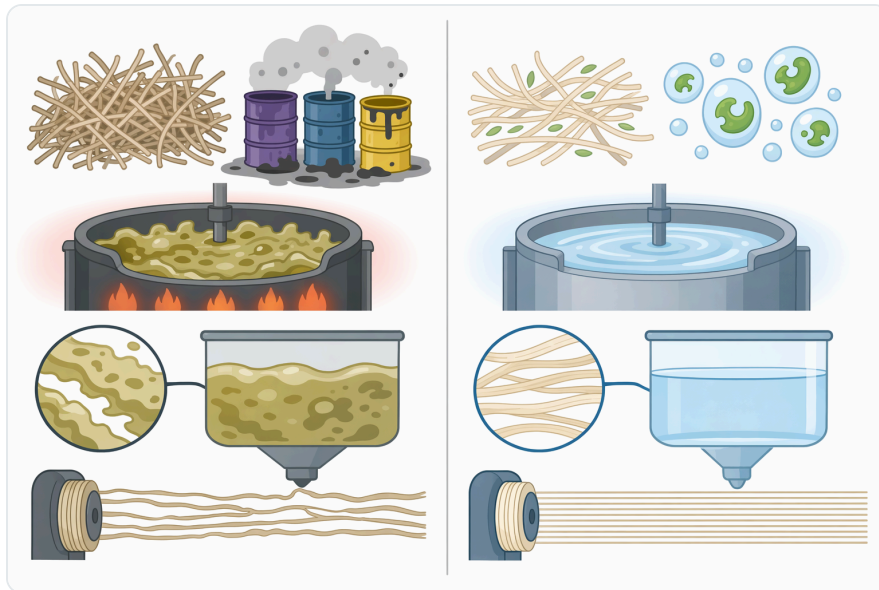
Un secondo ambito rilevante è l'upgrade di paste cartarie, incluse paste da legno e da fonti non legnose, verso impieghi più vicini alla dissolving pulp. Questo non significa che ogni pasta cartaria possa diventare idonea al Lyocell, ma che trattamenti combinati possono ridurre alcune barriere tecniche. Lo studio sulla produzione di dissolving grade pulps da paste paper-grade mediante pretrattamenti enzimatici e chimici documenta proprio questa logica di conversione controllata <sup>[4]</sup>.

In questo scenario, l'enzima può contribuire in due modi: modificando la cellulosa accessibile e partecipando alla riduzione di componenti che ostacolano la purezza o l'apertura della fibra. Il risultato dipende però dalla materia prima iniziale. Fibre non legnose, paste riciclate o paste con diversa storia di processo possono rispondere in modo diverso, perché cambiano porosità, composizione, cristallinità relativa e disponibilità delle superfici <sup>[2]</sup>.

## **Applicazione 3: supporto a viscosa, rayon e derivati cellulósici**

---

Anche se il focus del prodotto è la pasta dissolving per Lyocell, il concetto di attivazione è utile per comprendere processi adiacenti come viscosa, rayon e derivati cellulósici. Nel caso della viscosa, l'attivazione della pasta prima della preparazione è stata studiata specificamente perché la reattività della cellulosa influenza la conversione successiva. Questo rende la letteratura sulla viscosa una base utile per interpretare l'importanza dell'accessibilità anche in altri percorsi di rigenerazione <sup>[9]</sup>.



**Figure 4.** 효소적 활성화는 수계 조건에서 접근 가능한 셀룰로오스 영역을 선택적으로 변형한다는 점에서 기계적, 화학적, 무활성화 방식과 다릅니다.

La cautela è necessaria: Lyocell e viscosa non sono lo stesso processo. Nel Lyocell, la dissoluzione diretta della cellulosa e la rigenerazione seguono una logica diversa rispetto alla xantogenazione della viscosa. Tuttavia, le proprietà della pasta — accessibilità, purezza e risposta al trattamento — restano variabili condivise, quindi l'attivazione enzimatica può essere letta come tecnologia trasversale alla famiglia delle paste dissolving <sup>[1]</sup>.

## Applicazione 4: materiali celluloseici avanzati e fibre sostenibili

La domanda di materiali a base cellulosa va oltre il tessile tradizionale. Nanofibre di cellulosa, nanocristalli, cellulosa batterica, compositi e fibre funzionali sono oggetto di ampia ricerca perché combinano origine rinnovabile, modificabilità chimica e proprietà meccaniche interessanti. Le review sui materiali nanocellulosici mostrano che fabbricazione, caratterizzazione e applicazioni dipendono fortemente dal modo in cui la struttura della cellulosa viene aperta, separata o rigenerata <sup>[10]</sup>.

In questo quadro, l'attivazione enzimatica della pasta non deve essere confusa con la produzione diretta di nanocellulosa o compositi, ma con una filosofia di processo comune: intervenire sulla struttura della cellulosa in modo mirato per ottenere un materiale più lavorabile. Anche le ricerche su fibre composite conduttive a base cellulosa per e-textiles confermano che la cellulosa rigenerata può diventare piattaforma per materiali funzionali quando la struttura viene progettata correttamente <sup>[11]</sup>.

## Benefici tecnici attesi

Il primo beneficio atteso è l'aumento dell'accessibilità. Quando l'enzima raggiunge le zone idonee della fibra, può aprire passaggi nella matrice cellulosa e creare nuove superfici funzionali. Questo può rendere più omogeneo il contatto tra cellulosa e ambiente di processo, un aspetto coerente con l'uso degli enzimi come catalizzatori industriali specifici e integrabili in processi più sostenibili [6].

Il secondo beneficio è il supporto al controllo del profilo della pasta. La cellulosa deve mantenere una struttura sufficientemente integra per fornire buone proprietà al materiale finale, ma non deve essere così chiusa o eterogenea da ostacolare dissoluzione e rigenerazione. Il trattamento enzimatico ha senso proprio in questa finestra: abbastanza incisivo da attivare la fibra, ma non così severo da degradarla oltre l'obiettivo tecnico [7].

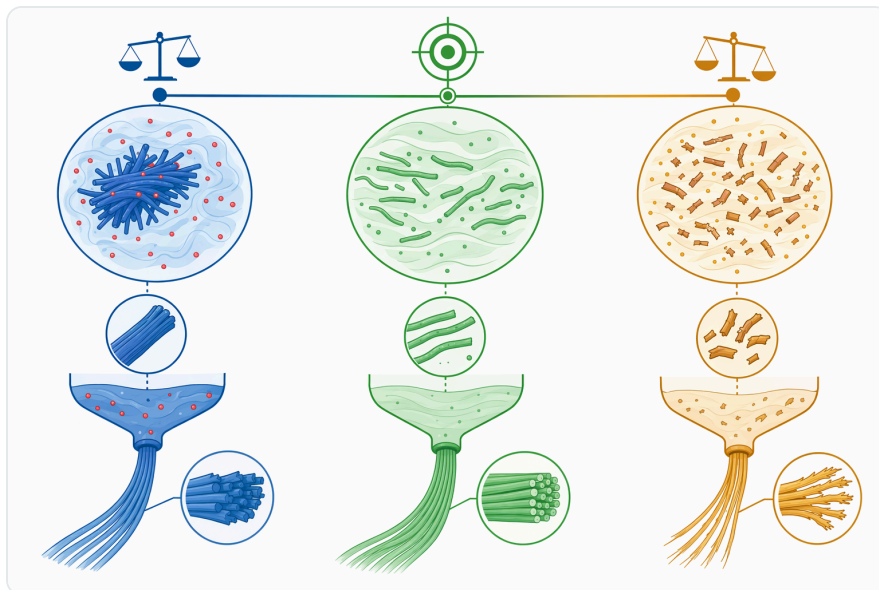


Figure 5. 유용한 활성화 범위는 셀룰로오스 사슬의 과도한 단축 없이 접근성 향상과 점도 반응 사이의 균형을 맞춥니다.

Il terzo beneficio è la compatibilità con strategie di processo più ampie. Nel settore tessile e nel trattamento delle biomasse cellulosiche, le applicazioni enzimatiche vengono studiate perché possono ridurre la dipendenza da condizioni drastiche e migliorare la selettività di alcune fasi. Le review sulle applicazioni microbiche degli enzimi nel textile processing e nella gestione dei flussi di scarto confermano l'interesse industriale verso biocatalisi, trattamenti più mirati e integrazione con processi esistenti [12].

## Variabili che influenzano il risultato

---

La risposta della pasta all'enzima dipende innanzitutto dalla materia prima. Una pasta kraft pre-idrolizzata, una pasta al solfito, una pasta cartaria da legno duro, una pasta da fibre non legnose o un flusso cellulosico riciclato possono avere contenuti diversi di emicellulose, diversa accessibilità e diversa storia di trattamento. Gli studi sulla produzione di paste dissolving da fonti legnose e non legnose confermano che il percorso di upgrade deve essere adattato al tipo di fibra e al suo stato iniziale <sup>[4]</sup>.

Conta anche la struttura fisica della fibra. Se le pareti cellulari sono poco aperte, l'enzima può restare confinato alla superficie esterna; se la fibra è stata aperta in modo appropriato, l'azione può diventare più efficace. Studi microscopici sugli effetti enzimatici sulle membrane delle punteggiature del legno mostrano che gli enzimi possono modificare elementi strutturali fini della fibra, evidenziando quanto l'accesso fisico al substrato sia importante per osservare effetti reali <sup>[13]</sup>.

Infine, è decisiva la sequenza. Un trattamento enzimatico prima di una fase meccanica può dare un risultato diverso rispetto a un trattamento dopo apertura della fibra; lo stesso vale per la posizione rispetto a lavaggi o trattamenti chimici. La letteratura sui processi di biocatalisi industriale sottolinea che gli enzimi funzionano meglio quando sono integrati in un processo progettato per valorizzarne specificità, stabilità e compatibilità con le altre fasi <sup>[6]</sup>.

## Sostenibilità: vantaggi reali senza sovrappromesse

---

Gli enzimi sono spesso associati a processi più sostenibili perché lavorano con elevata specificità e possono ridurre la necessità di trattamenti più aggressivi. Nel caso della dissolving pulp, questo vantaggio potenziale riguarda la modifica mirata della fibra e l'integrazione con sequenze di trattamento più efficienti. Tuttavia, non è corretto affermare che l'enzima renda automaticamente sostenibile l'intero processo: il bilancio reale dipende da energia, recupero dei solventi, resa, qualità della pasta e gestione dei flussi di processo <sup>[12]</sup>.

Nel Lyocell, l'attenzione alla sostenibilità è legata anche alla rigenerazione della cellulosa e alla gestione del solvente. La ricerca sulla de-costruzione e rigenerazione efficiente della cellulosa indica che il futuro dei materiali cellulosici dipende da processi capaci di usare la biomassa in modo più razionale, recuperare componenti utili e limitare sprechi. L'attivazione enzimatica è una leva possibile in questo quadro, ma non l'unica <sup>[1]</sup>.



**Figure 6.** 활성화된 용해 펄프는 라이오셀 스테이플 섬유, 필라멘트, 세섬도 섬유, 특수 셀룰로오스 및 기타 고균일성 재생 셀룰로오스 응용 분야에 활용될 수 있습니다.

## Inquadramento del prodotto Enzymes.bio

Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme è presentato da Enzymes.bio come prodotto per l'attivazione della pasta dissolving destinata ad applicazioni industriali legate alla cellulosa rigenerata. Enzymes.bio opera come fornitore online: il prodotto è disponibile direttamente in unità da **1 kg**, e la documentazione CoA e SDS viene fornita insieme all'ordine .

Dal punto di vista tecnico, il prodotto si colloca nella categoria degli ausili enzimatici per la modifica della pasta cellulosa. Il suo uso va interpretato in coerenza con le evidenze disponibili sulle famiglie enzimatiche pertinenti, in particolare cellulasi e xilanasi, e con la necessità di integrare il trattamento in una sequenza di processo appropriata. Questa impostazione è coerente con la letteratura sulla produzione di paste dissolving mediante combinazioni di pretrattamenti enzimatici e chimici <sup>[4]</sup>.

## Conclusion

Un enzima di attivazione per Lyocell dissolving pulp è uno strumento tecnico per aumentare l'accessibilità e la lavorabilità della cellulosa prima delle fasi di dissoluzione e rigenerazione. Le evidenze più pertinenti indicano che cellulasi e xilanasi possono modificare cellulosa e frazioni emicellulosiche accessibili, soprattutto quando sono integrate con operazioni di preparazione della fibra e con sequenze di trattamento progettate per paste dissolving <sup>[5]</sup>.

Il valore pratico non sta in una promessa universale, ma nella capacità di inserire il trattamento enzimatico nel punto corretto del processo: preparazione di pasta per Lyocell, upgrade di paste cartarie, supporto a viscosa e derivati cellulosici, o sviluppo di materiali cellulosici rigenerati. Enzymes.bio fornisce il prodotto online in confezioni da **1 kg**, con CoA e SDS inclusi insieme all'ordine, mantenendo il ruolo di fornitore e non di produttore o laboratorio .

## Ordina Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme 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 Lyocell Dissolving Pulp Activation Enzyme →](#)

## 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. Huang, C., Yu, H., Gao, Y., Chen, Y., Abdalkarim, S. Y. H., & Tam, K. C. (2025). [Recent Advances in Green and Efficient Cellulose Utilization Through Structure Deconstruction and Regeneration](#). *Advanced Functional Materials*, 35.
2. Bourakadi, K. E., Semlali, F., Hammi, M., & Achaby, M. E. (2024). [A review on natural cellulose fiber applications: Empowering industry with sustainable solutions](#). *International Journal of Biological Macromolecules*, 135773 .
3. Orozco, S. E., Hoheneder, R., Steiner, K., Frécaut, S., Fitz, E., & Bischof, R. H. (2025). [Coagulation temperature during cellulose regeneration from N-methylmorpholine-N-oxide \(NMMO\) influences the structure and ease of saccharification of lyocell byproducts](#). *Carbohydrate Polymers*, 363, 123618 .
4. Li, D., Ibarra, D., Köpcke, V., & Ek, M. (2012). [Production of Dissolving Grade Pulps from Wood and Non-wood Paper Grade Pulps Using Enzymatic and Chemical Pre-treatments](#).
5. Šuchová, K., Fehér, C., Ravn, J., Bedř, S., Biely, P., & Geijer, C. (2022). [Cellulose- and xylan-degrading yeasts: Enzymes, applications and biotechnological potential](#). *Biotechnology Advances*, 107981 .
6. Farhan, M., Hasani, I. W., Khafaga, D. S. R., Ragab, W. M., Kazi, R. N. A., Aatif, M., Muteeb, G., ... et al. (2025). [Enzymes as Catalysts in Industrial Biocatalysis: Advances in Engineering, Applications, and Sustainable Integration](#). *Catalysts*.
7. Dadwal, A., Sharma, S., & Satyanarayana, T. (2021). [Thermostable cellulose saccharifying microbial enzymes: Characteristics, recent advances and biotechnological applications](#). *International Journal of Biological Macromolecules*.
8. Pathak, P., Bhardwaj, N., & Singh, A. K. (2015). [Enzymatic deinking for recycling of photocopier waste papers using crude cellulase and xylanase of Trichoderma harzianum PPDDN10 NFCCI 2925](#). *Nordic Pulp & Paper Research Journal*,

30, 689 - 700.

9. Kvarnlöf, N. (2007). Activation of dissolving pulps prior to viscose preparation.
10. Rostamabadi, H., Bist, Y., Kumar, Y., Yildirim-Yalcin, M., Ceyhan, T., & Falsafi, S. R. (2024). Cellulose nanofibers, nanocrystals, and bacterial nanocellulose: Fabrication, characterization, and their most recent applications. *Future Postharvest and Food.*
11. Liu, W., Liu, H., Zhao, Z., Liang, D., Zhong, W., & Zhang, J. (2023). A novel structural design of cellulose-based conductive composite fibers for wearable e-textiles. *Carbohydrate Polymers*, 321, 121308 .
12. Khan, M. F. (2025). Recent Advances in Microbial Enzyme Applications for Sustainable Textile Processing and Waste Management. *The Scientist.*
13. Durmaz, S., Yıldız, Ü., Öztürk, M., & Serdar, B. (2016). INVESTIGATION OF ENZYMATIC EFFECTS ON PIT MEMBRANES USING LIGHT AND SCANNING ELECTRON MICROSCOPY. *Drewno. Prace Naukowe, Doniesienia, Komunikaty = Wood. Research Papers, Reports, Announcements.*

## Contatta Enzymes.bio

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

EMAIL [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

TELEFONO (USA) [+1 \(507\) 428-6057](tel:+15074286057)

[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.