enzymes.bio

Enzimi per industria tessile: sbozzima, bioscouring, biopolishing, denim finishing, catalasi e trattamento reflui

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

Gli enzimi per l'industria tessile sono biocatalizzatori usati per rendere più selettive fasi come sbozzima, bioscouring, biopolishing, finissaggio denim, rimozione del perossido residuo e trattamento di coloranti o reflui. Le famiglie più ricorrenti nella letteratura tecnica includono amilasi, pectinasi, cellulasi, catalasi, laccasi, perossidasi, proteasi e, in applicazioni specifiche, transglutaminasi. Enzymes.bio fornisce Enzymes For Textile Industry in unità da 1 kg acquistabili online, con CoA e SDS forniti insieme all'ordine.

Che cosa significa "Enzymes For Textile Industry"

"Enzymes For Textile Industry" non indica un singolo enzima universale, ma una categoria di preparazioni enzimatiche impiegate nel wet processing tessile. In pratica, l'enzima viene scelto in funzione del substrato da modificare: amido di bozzima, pectine e impurità non cellulosiche, microfibrille superficiali di cellulosa, perossido di idrogeno residuo, componenti proteiche di lana o seta, oppure strutture aromatiche presenti in alcuni coloranti [1].

Questa specificità è il punto tecnico centrale. Un trattamento chimico alcalino, ossidante o riducente tende spesso ad agire sull'intero sistema tessile; un enzima, invece, accelera una reazione più mirata. Per esempio, un'amilasi idrolizza legami glicosidici dell'amido senza avere come obiettivo primario la cellulosa della fibra di cotone, mentre una catalasi decompone il perossido di idrogeno residuo senza funzionare come detergente o agente di scouring [2].

L'interesse industriale nasce dalla possibilità di sostituire o integrare trattamenti più aggressivi, riducendo in alcuni casi temperatura, durata dei lavaggi, alcalinità, carico chimico e danno meccanico o chimico alla fibra. Le review sull'approccio eco-friendly al processing tessile descrivono gli enzimi come strumenti rilevanti per rendere più sostenibili preparazione, tintura e finissaggio, pur sottolineando che il risultato dipende dall'integrazione nel processo reale [3].

Perché gli enzimi sono rilevanti nel textile wet processing

La filiera tessile è sottoposta a pressione crescente per ridurre impatti ambientali, consumo di risorse e rilascio di sostanze problematiche nelle acque di processo. Gli studi di life cycle assessment e di eco-design nel tessile evidenziano che le decisioni prese nelle fasi di preparazione, tintura, finissaggio, uso e fine vita incidono sulla sostenibilità complessiva del prodotto [4].

In questo contesto, la biotecnologia tessile è considerata una leva di miglioramento perché introduce reazioni selettive in fasi dove tradizionalmente sono stati usati bagni alcalini, ossidanti, riducenti o trattamenti meccanici intensivi. La letteratura sulle fibre naturali descrive il processing enzimatico come parte della “white biotechnology” applicata allo sviluppo sostenibile, soprattutto per cotone e altre fibre cellulosiche [2].

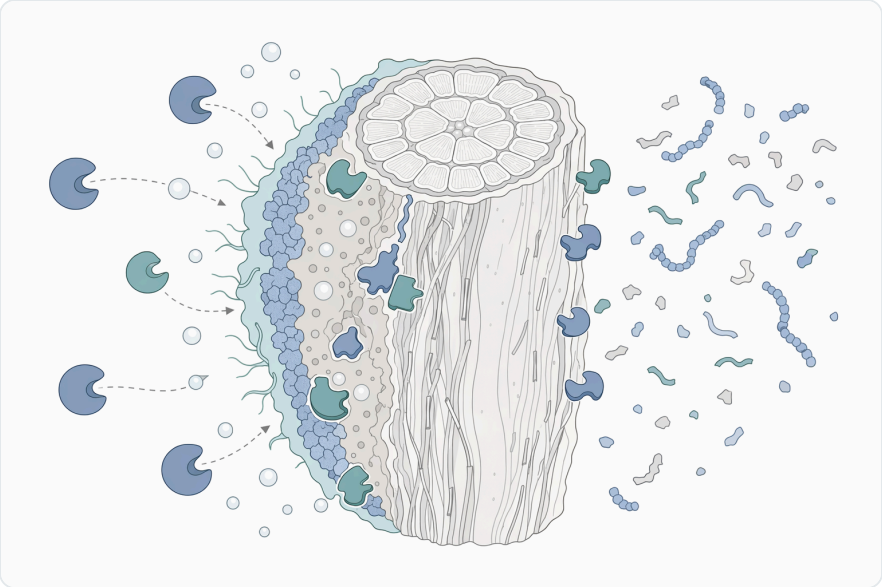


Figure 1. 섬유용 효소 블렌드는 온화한 수계 공정 조건에서 호제와 표면 불순물을 가수분해하는 동시에 섬유 표면을 개질합니다.

Non bisogna però presentare gli enzimi come una soluzione automatica. Un bagno enzimatico non è sostenibile per definizione: lo diventa quando riduce effettivamente consumo di acqua, energia, ausiliari chimici o rilavorazioni, mantenendo le proprietà richieste del tessuto. Le tecnologie innovative per colorazione, patterning ed effetti superficiali sono valutate proprio in base alla loro capacità di combinare prestazione tecnica e minore impatto ambientale [5].

Principali enzimi per l’industria tessile e applicazioni

Famiglia enzimatica	Substrato o bersaglio principale	Applicazioni tessili tipiche	Meccanismo tecnico essenziale	Maturità applicativa
Amilasi	Amido e derivati della bozzima	Sbozzima di tessuti, soprattutto cellulosici	Idrolisi dell’amido in frammenti più solubili e lavabili	Consolidata [1]
Pectinasi	Pectine e componenti della parete primaria del cotone	Bioscouring, miglioramento della bagnabilità	Degradazione selettiva di pectine che trattengono cere e impurità	Consolidata/industriale [2]
Cellulasi	Cellulosa superficiale accessibile, microfibrille	Biopolishing, riduzione pilling, denim finishing	Idrolisi controllata di fibrille superficiali e rilascio di particelle colorate o peluria	Consolidata, da controllare [3]
Catalasi	Perossido di idrogeno residuo	Dopo sbiancamento, prima della tintura	Decomposizione del perossido in acqua e ossigeno	Consolidata [1]
Laccasi e perossidasi	Composti fenolici, aromatici, alcuni coloranti	Decolorazione, trattamento reflui, effetti su denim	Ossidazione enzimatica; per alcune laccasi possibile uso di mediatori	Promettente, variabile [6]
Proteasi	Legami peptidici in fibre proteiche o residui proteici	Lana, seta, trattamenti superficiali selettivi	Idrolisi di proteine superficiali; rischio di danno se non controllata	Specifica per fibra [7]
Transglutaminasi	Proteine con residui glutamminici e lisinici accessibili	Lana, pelle, modifica di materiali proteici	Formazione di legami crociati tra catene proteiche	Applicazione specialistica [8]

La tabella evidenzia un aspetto spesso sottovalutato: “enzimi tessili” è una categoria funzionale, non un’unica chimica intercambiabile. La corretta associazione tra enzima, substrato e fase di processo è decisiva per ottenere un risultato riproducibile.

Amilasi per sbozzima: rimuovere l’amido senza aggredire la fibra

Durante la tessitura, i filati possono essere trattati con bozzime a base di amido per aumentare resistenza all’abrasione, coesione e scorrevolezza sul telaio. Prima di tintura, stampa o finissaggio, questa bozzima deve essere rimossa perché può ostacolare assorbimento, uniformità del colore e mano del tessuto. Le amilasi sono tra gli enzimi più storicamente consolidati in questa fase [1].

Il meccanismo è l’idrolisi delle catene di amido. L’enzima rompe legami glicosidici all’interno della macromolecola, riducendo viscosità e dimensione delle frazioni amidacee. Il materiale risultante è più facilmente dispersibile e rimovibile nei lavaggi successivi, con minore necessità di condizioni fortemente aggressive rispetto ad alcune alternative chimiche.

Il vantaggio pratico è la selettività. Poiché il bersaglio è l’amido, la sbozzima enzimatica è adatta quando si vuole liberare il tessuto dal sizing senza applicare condizioni drastiche alla cellulosa. Le review sui processi preparatori tessili indicano la sbozzima enzimatica come una delle applicazioni biotecnologiche più mature nel settore [2].

Pectinasi per bioscouring del cotone

Il cotone grezzo non è composto soltanto da cellulosa. Sulla superficie della fibra sono presenti pectine, cere, sostanze proteiche, sali minerali e altre impurità naturali che riducono bagnabilità e uniformità dei trattamenti successivi. Il bioscouring mira a rimuovere o disorganizzare questi componenti senza ricorrere necessariamente a scouring alcalini molto severi [1].

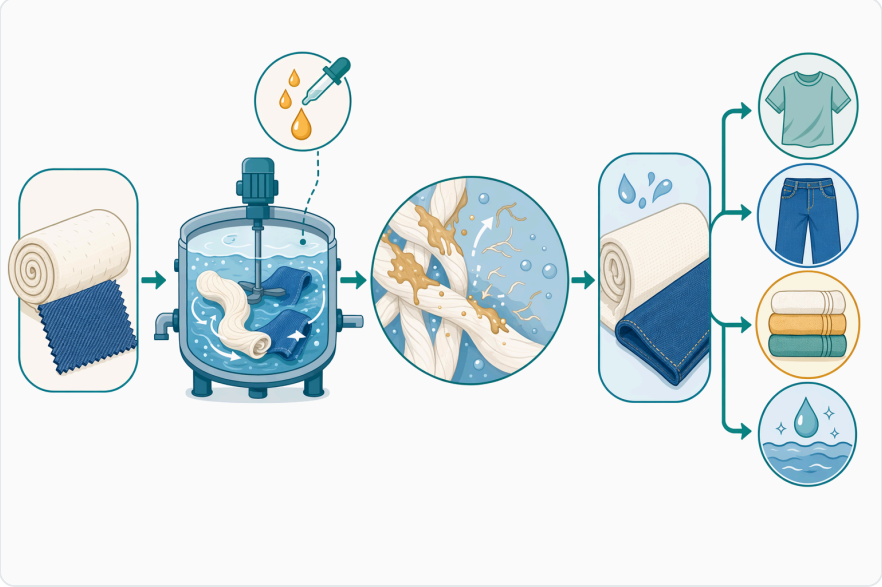


Figure 2. 산업용 섬유 효소 처리는 전처리된 원단을 더 깨끗하고 부드러우며 균일하게 마감된 소재로 전환하면서 강한 화학약품 사용을 줄입니다.

Le pectinasi agiscono sulle pectine, che contribuiscono a tenere insieme impurità e materiali cerosi nella struttura superficiale del cotone. Degradando questi polisaccaridi, il trattamento facilita il distacco di componenti non cellulosiche e migliora l'accessibilità dell'acqua e dei bagni successivi alla fibra. In termini pratici, l'obiettivo è ottenere assorbenza e preparazione alla tintura, preservando il più possibile la struttura cellulosica.

In alcuni schemi applicativi, il bioscouring può essere combinato con altre attività enzimatiche o con detergenti e ausiliari compatibili, perché la cuticola del cotone è una matrice complessa. La letteratura sul processing eco-friendly evidenzia che la sostituzione totale o parziale di trattamenti alcalini dipende dal tipo di cotone, dal livello di impurità e dai requisiti di bianchezza, assorbenza e tintura del processo finale [3].

Cellulasi per biopolishing e riduzione del pilling

Il biopolishing è una delle applicazioni più note delle cellulasi. Nei tessuti cellulosici, microfibrille e peluria superficiale possono generare aspetto opaco, mano ruvida e tendenza al pilling. Le cellulasi idrolizzano in modo controllato la cellulosa più esposta sulla superficie, aiutando a rimuovere fibrille debolmente ancorate [2].

Il risultato atteso è una superficie più pulita, con minore formazione di pallini, maggiore brillantezza visiva e mano più liscia. Il trattamento è particolarmente rilevante per cotone, viscosa, lyocell, lino e miste cellulosiche, dove la qualità percepita dipende molto dalla regolarità superficiale. Le review sulle applicazioni enzimatiche indicano le cellulasi come enzimi chiave per biofinishing e miglioramento estetico dei tessuti [3].

Il limite tecnico è il controllo dell'idrolisi. Se il trattamento è troppo intenso, la cellulasi può rimuovere eccessivamente materiale cellulosico, con perdita di resistenza, calo di peso o alterazione della mano. Per questo il biopolishing non va considerato un semplice lavaggio "verde", ma una modifica superficiale controllata della fibra.



Figure 3. 섬유용 효소는 호발, 바이오 정련, 바이오 폴리싱, 데님 마감, 표백 후 잔류물 제거, 염색 준비 및 폐수 개선에 사용됩니다.

Cellulasi nel denim finishing e negli effetti stone-washed

Nel denim, le cellulasi vengono utilizzate per ottenere effetti di invecchiamento, fading e abrasione controllata. L'indaco è concentrato soprattutto sulla superficie dei filati; quando l'enzima modifica le fibrille superficiali del cotone, parte del colore viene rimossa insieme al materiale cellulosico più esterno. Questo consente di ottenere un aspetto consumato con minore dipendenza da abrasione meccanica intensa.

Rispetto allo stone washing tradizionale con pietre, il trattamento enzimatico può contribuire a ridurre danno meccanico, usura degli impianti e variabilità legata all'abrasione fisica. Le tecnologie di finissaggio e di effetti superficiali sostenibili includono i trattamenti enzimatici tra le opzioni capaci di generare pattern e modifiche estetiche con approcci più controllabili [5].

Anche in questo caso il processo richiede equilibrio. L'effetto desiderato non è la degradazione indiscriminata del tessuto, ma il distacco selettivo di materiale superficiale e colorante. Per questo, nel denim finishing, cellulasi, tempo di trattamento, azione meccanica e successiva inattivazione o rimozione del bagno devono essere compatibili con il risultato visivo richiesto.

Catalasi per rimuovere il perossido residuo dopo sbiancamento

Lo sbiancamento con perossido di idrogeno è molto diffuso nella preparazione del cotone e di altri materiali tessili. Dopo questa fase, residui di perossido possono interferire con la tintura, soprattutto con sistemi coloranti sensibili all'ossidazione. La catalasi risolve un problema preciso: decompone il

perossido di idrogeno residuo in acqua e ossigeno [1].

Dal punto di vista operativo, questa reazione può ridurre la necessità di lavaggi prolungati o di scavenger chimici, quando il ciclo è progettato per integrare correttamente l'enzima. Il beneficio non è soltanto ambientale, ma anche di qualità: un residuo ossidante non controllato può alterare tonalità, resa tintoriale e riproducibilità del colore.



Figure 4. 기존의 화학적 섬유 가공과 비교해 효소 기반 처리는 섬유 손상, 폐수 부하, 에너지 요구량 및 화학약품 소비를 줄일 수 있습니다.

La catalasi è un buon esempio di applicazione enzimatica "di transizione" tra fasi di processo. Non serve a creare un effetto estetico, ma a rendere compatibile una fase ossidativa con la fase successiva di tintura. La letteratura sul processing tessile enzimatico la include tra gli strumenti consolidati per razionalizzare i passaggi di preparazione [3].

Laccasi e perossidasi: ossidazione di coloranti e applicazioni emergenti

Le laccasi sono ossidasi multicopper capaci di ossidare composti fenolici e altre strutture aromatiche, riducendo ossigeno molecolare ad acqua. In ambito tessile sono studiate per decolorazione di coloranti, trattamento di reflui, modifica di superfici e alcuni effetti sul denim. Le review sistematiche sulle laccasi fungine ne evidenziano il potenziale biotecnologico in numerosi settori, incluso quello tessile [6].

Le perossidasi, incluse manganese perossidasi e lignin perossidasi, appartengono a sistemi ossidativi spesso associati ai funghi degradatori del legno. Poiché molti coloranti tessili contengono strutture aromatiche resistenti, questi enzimi sono studiati come strumenti per trasformare molecole cromofore

e ridurre colore nei reflui. La white biotechnology fungina include questi enzimi tra le piattaforme più interessanti per applicazioni ambientali e industriali [9].

La cautela è necessaria. La decolorazione enzimatica dipende da struttura del colorante, salinità, ausiliari di tintura, pH, temperatura, carico organico e presenza di sostanze inibenti. Per questo l'uso di laccasi e perossidasi nei reflui è più variabile rispetto a sbozzima con amilasi o biopolishing con cellulasi, che sono applicazioni più mature e prevedibili.

Proteasi, seta, lana e fibre proteiche

Le proteasi idrolizzano legami peptidici e sono quindi rilevanti per fibre proteiche come lana e seta, oppure per residui proteici presenti su materiali naturali. Nel caso della seta, la chimica tessile della sericoltura distingue la fibroina strutturale dalla sericina, componente più superficiale e rimovibile durante processi di sgommatura e preparazione [7].

Sulla lana, trattamenti enzimatici possono mirare alla modifica della cuticola, riducendo infeltrimento o migliorando alcune proprietà superficiali. Il problema è che la lana ha una struttura complessa, con scaglie cuticolari e proteine reticolate; un'idrolisi proteolitica non controllata può danneggiare la fibra, ridurre resistenza o generare mano indesiderata.

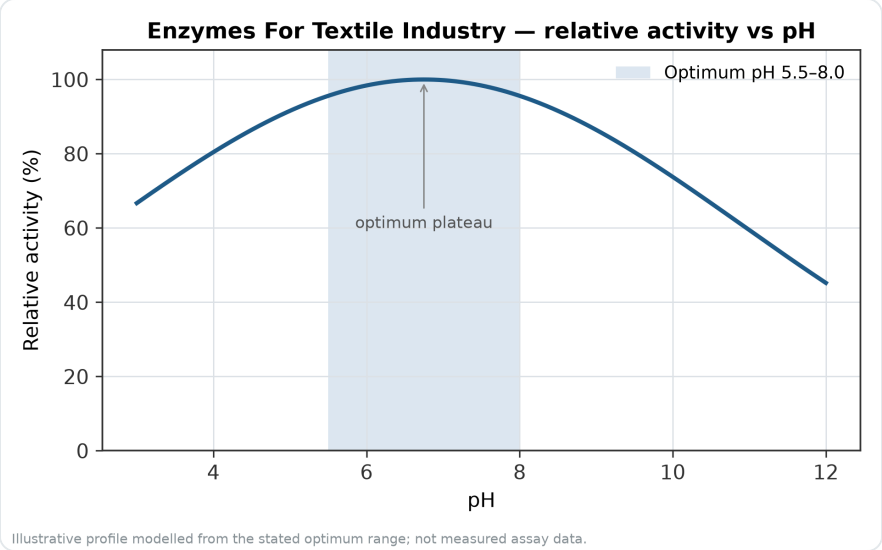


Figure 5. pH에 따른 섬유 산업용 효소의 상대 활성으로, pH 5.5~8.0에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

Le transglutaminasi rappresentano un caso diverso: non idrolizzano, ma catalizzano legami crociati tra catene proteiche. La letteratura sulle applicazioni di transglutaminasi in tessile, lana e pelle ne descrive l'interesse per la modifica di materiali proteici, dove la formazione di nuovi legami può influenzare proprietà meccaniche o superficiali [8].

Enzimi per fibre naturali alternative: banana, bambù, ramia e fibre fogliari

L'interesse per enzimi tessili non riguarda solo il cotone. Fibre naturali alternative come banana, bambù, ramia e fibre fogliari contengono miscele di cellulosa, emicellulose, lignina, pectine, cere e componenti estrattive. Il trattamento selettivo di queste matrici può migliorare separazione, pulizia, filabilità o compatibilità con applicazioni tecniche.

Uno studio recente su fibre di banana ha valutato un trattamento enzimatico eco-friendly per preparare fibre filabili come alternativa al cotone, indicando l'interesse della ricerca per processi meno aggressivi nella valorizzazione di biomasse fibrose [10]. Per il bambù, le review sui pretrattamenti evidenziano che la qualità della fibra dipende fortemente dalla rimozione controllata di componenti non cellulosiche e dalla preservazione dell'integrità strutturale [11].

Anche ramia e fibre fogliari sono oggetto di studio per applicazioni tessili e tecniche. Le review sulla ramia ne discutono il potenziale in tessili sostenibili e blend, mentre trattamenti enzimatici e modifiche superficiali eco-friendly sono stati esplorati per geo-tessili e agro-tessili a base di fibre fogliari [12][13].

Trattamento di rifiuti tessili e bioeconomia

Oltre al wet processing, gli enzimi sono studiati nella valorizzazione dei residui tessili. I rifiuti a base cellulosica possono essere pretrattati e idrolizzati per ottenere zuccheri fermentescibili, aprendo percorsi di bioeconomia in cui scarti tessili diventano materie prime per nuovi prodotti. Uno studio ha esaminato l'idrolisi enzimatica di rifiuti tessili e cartone come fonte di glucosio per la produzione di limonene in *Escherichia coli* [14].

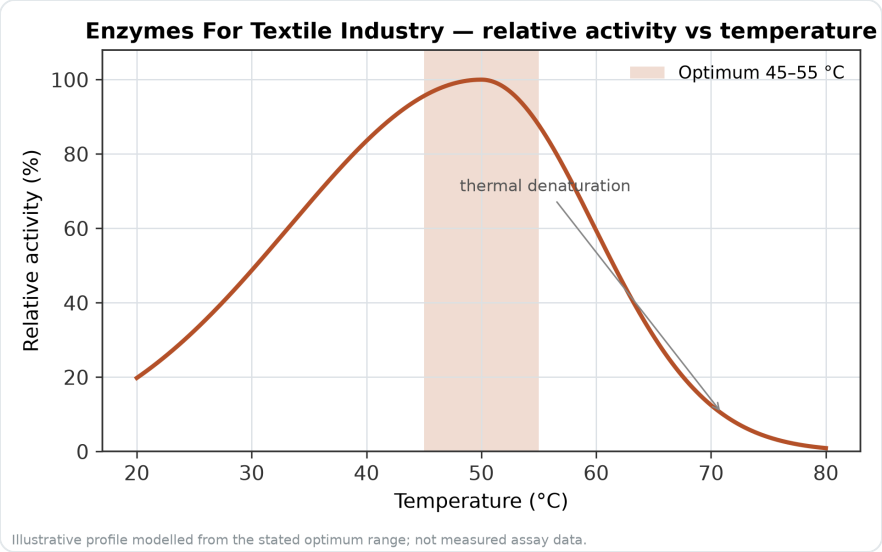


Figure 6. 온도에 따른 섬유 산업용 효소의 상대 활성으로, 45~55°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열 변성에 따른 특징적인 활성 저하가 나타납니다.

La sfida è l'accessibilità della cellulosa. Tessuti tinti, finiti o miscelati con fibre sintetiche possono essere difficili da idrolizzare; inoltre, finissaggi, coloranti e contaminanti possono interferire con processi biologici successivi. La ricerca sul pretrattamento meccanico dei rifiuti tessili di cotone mira proprio ad aumentare l'efficienza dell'idrolisi enzimatica rendendo la fibra più accessibile [15].

Queste applicazioni non coincidono con il finissaggio tessile tradizionale, ma mostrano come gli enzimi possano contribuire a strategie di circolarità. La bioeconomia nell'industria tessile include la valorizzazione dei residui verso funzionalizzazione, recupero di componenti e nuovi impieghi, ampliando il ruolo degli enzimi oltre il singolo bagno di processo [16].

Benefici tecnici: selettività, qualità e compatibilità di processo

Il primo beneficio degli enzimi è la selettività. Una sbozzima con amilasi mira all'amido; una pectinasi agisce sulle pectine; una catalasi elimina perossido residuo; una cellulasi modifica la superficie cellulosica accessibile. Questa selettività consente di intervenire su problemi specifici senza applicare necessariamente condizioni drastiche a tutto il tessuto [2].

Il secondo beneficio riguarda la qualità. Nel biopolishing, la riduzione delle microfibrille può migliorare aspetto e mano; nella sbozzima, la rimozione dell'amido migliora la preparazione alla tintura; nella fase post-sbiancamento, la catalasi protegge la tintura da interferenze ossidative. Sono vantaggi pratici, non solo ambientali, perché incidono su uniformità, ripetibilità e valore percepito del prodotto.

Il terzo beneficio è la possibilità di integrare gli enzimi in strategie di processo più leggere. Le review sull'evoluzione della biotecnologia nel textile processing descrivono enzimi e bioprocessi come parte di una transizione verso tecnologie più efficienti e meno dipendenti da chimiche aggressive [17].

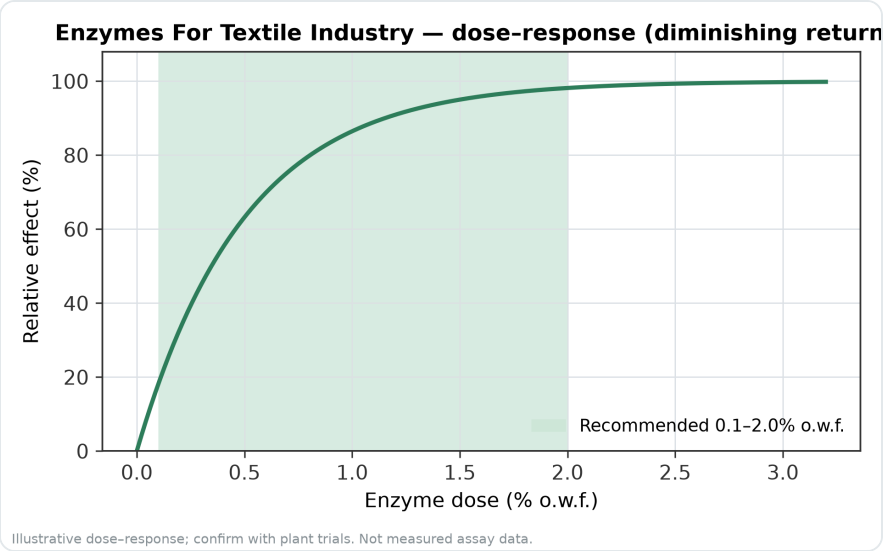


Figure 7. 권장 사용 범위(섬유 중량 대비 0.1~2.0%)에서 섬유 산업용 효소의 용량-반응 관계를 예시한 그림입니다.

Limiti tecnici e condizioni operative da controllare

Gli enzimi sono proteine funzionali e, come tali, hanno sensibilità a pH, temperatura, ossidanti, metalli, tensioattivi, solventi, forza ionica e altri componenti del bagno. Se l'ambiente è incompatibile, l'attività utile diminuisce o il trattamento diventa poco riproducibile. Questo è uno dei motivi per cui un enzima non può essere trattato come un additivo generico.

Il rischio tecnico principale è l'eccesso di trattamento. Una cellulasi può migliorare la superficie, ma anche indebolire la fibra se l'idrolisi procede oltre il livello desiderato. Una proteasi può modificare la lana, ma anche danneggiare proteine strutturali. Una laccasi può contribuire alla trasformazione di coloranti, ma il risultato dipende dalla chimica del colorante e dalla matrice del refluo [6].

La letteratura sugli avanzamenti enzimatici sottolinea l'importanza di enzimi più attivi, stabili e adatti alle condizioni industriali, ma anche di tecniche di processo che ne valorizzino le prestazioni [18]. In altre parole, il successo dipende sia dalla preparazione enzimatica sia dal modo in cui viene inserita nella linea produttiva.

Applicazioni consolidate e applicazioni ancora in sviluppo

Le applicazioni più consolidate sono sbozzima con amilasi, bioscouring con pectinasi, biopolishing con cellulasi, denim finishing con cellulasi e rimozione del perossido con catalasi. Queste fasi hanno bersagli chiari, effetti misurabili sul processo e una lunga presenza nella letteratura tecnica [1][3].

Le applicazioni più variabili includono bleaching enzimatico ad alte prestazioni, dyeing assistito da enzimi, decolorazione diretta di reflui complessi e funzionalizzazioni avanzate. In questi casi il substrato non è sempre uniforme: un refluo reale contiene coloranti diversi, sali, ausiliari, tensioattivi, residui di finissaggio e variazioni di carico. La trasferibilità da studio sperimentale a impianto industriale richiede quindi maggiore prudenza.

Questa distinzione è importante per una comunicazione B2B affidabile. Presentare tutte le applicazioni enzimatiche come ugualmente mature sarebbe scorretto; allo stesso tempo, ignorare le aree emergenti ridurrebbe la visione tecnica del settore. Le tecnologie tessili sostenibili avanzano proprio attraverso una combinazione di applicazioni già operative e ricerca su nuove piattaforme [5].

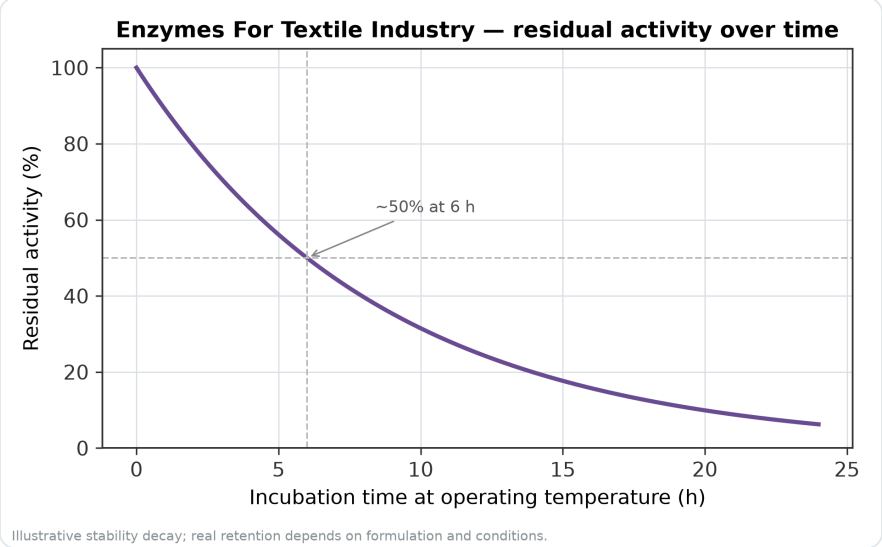


Figure 8. 섬유 산업용 효소의 열 안정성 감소를 예시한 그림으로, 운전 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소합니다.

Enzymes.bio come fornitore online

Enzymes.bio opera come fornitore di Enzymes For Textile Industry, non come produttore e non come laboratorio. Il prodotto è disponibile per acquisto diretto online in unità da 1 kg; dopo il pagamento online, l’ordine viene gestito e spedito secondo il normale flusso di vendita.

Il Certificato di Analisi e la Scheda di Dati di Sicurezza sono forniti insieme all'ordine. Questa documentazione accompagna il prodotto per supportare gestione, sicurezza e tracciabilità generale, senza trasformare Enzymes.bio in un laboratorio di prova o in un produttore.

Conclusione

Gli enzimi per l'industria tessile sono strumenti tecnici utili quando il processo richiede una modifica selettiva: amilasi per sbozzima, pectinasi per bioscouring, cellulasi per biopolishing e denim, catalasi per rimozione del perossido, laccasi e perossidasi per applicazioni ossidative, proteasi e transglutaminasi per materiali proteici. Le review sul processing tessile enzimatico confermano il ruolo di queste famiglie nella transizione verso processi più controllati e potenzialmente meno impattanti [2] [3].

Il valore reale non sta nell'etichetta "enzimatico", ma nella corrispondenza tra enzima, substrato, fibra e fase di processo. Le applicazioni mature sono già ben riconosciute; quelle su reflui, colorazione avanzata e bioeconomia sono promettenti ma più dipendenti dalla matrice reale e dalle condizioni operative. Enzymes.bio fornisce Enzymes For Textile Industry in unità online da 1 kg, con CoA e SDS inclusi insieme all'ordine.

Ordina Enzymes For Textile 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 Enzymes For Textile 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. Shaikh, M. A. (2008). Biotechnology in preparatory process in textile wet processing.
2. Shahid, M., Mohammad, F., Chen, G., Tang, R., & Xing, T. (2016). Enzymatic processing of natural fibres: white biotechnology for sustainable development. *Green Chemistry*, 18, 2256-2281.
3. Kumar, D., Bhardwaj, R., Jassal, S., Goyal, T., Khullar, A., & Gupta, N. (2021). Application of enzymes for an eco-friendly approach to textile processing. *Environmental science and pollution research international*, 30, 71838-71848.

4. Fonseca, A., Ramalho, E., Gouveia, A., Henriques, R., Figueiredo, F., & Nunes, J. (2023). Systematic Insights into a Textile Industry: Reviewing Life Cycle Assessment and Eco-Design. *Sustainability*.

5. Morgan, L., Kane, F., Shen, J., Prajapati, C. D., Tyrer, J., & Smith, E. (2020). Innovative Technologies for Sustainable Textile Coloration, Patterning, and Surface Effects. *Sustainable Textiles: Production, Processing, Manufacturing & Chemistry*.

6. Cruz, I. D. A., Cruz-Magalhães, V., Loguercio, L., Santos, L. B. P. R., Uetanabaro, A., & Costa, A. M. (2024). A systematic study on the characteristics and applications of laccases produced by fungi: insights on their potential for biotechnologies. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 54, 896 - 909.

7. Aramani, K., M., K. S., S, T. A., Pn, S., B, B. K., & K, S. (2025). Textile chemistry of sericulture: molecular insights, processing and applications. *Agriculture Association of Textile Chemical and Critical Reviews*.

8. Tesfaw, A., & Assefa, F. (2014). Applications of Transglutaminase in Textile, Wool, and Leather Processing. *International Journal of Textile Science*, 3, 64-69.

9. Meena, H., & Siddhardha, B. (2019). Global Scenario of Fungal White Biotechnology: Past, Present, and Future. *Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi*.

10. Mushtaq, B., Nawab, Y., Ahmad, S., & Ahmad, F. (2024). An eco-friendly enzymatic treatment to prepare spinnable banana fibers as an alternative to cotton for textile applications.. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134630 .

11. Hasan, M., & Islam, R. (2024). Advancements in chemical pretreatment techniques for enhancing bamboo fiber quality in textile applications: a critical review. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*.

12. Toor, H., Mahajan, S., & Ammayappan, L. (2026). Sustainable Processing and Technical Textile Potential of Ramie and Its Blends: A Comprehensive Review. *Asian journal of current research*.

13. Turşucular, Ö. F., & Temesgen, A. G. (2024). Ecofriendly Surface Modification of Leaf Fibers via Aloe-vera and α-Enzymatic Treatment for Geo and Agro-textile Application. *Journal of Modern Polymer Chemistry and Materials*.

14. Zebec, Ž., Poberžnik, M., & Lobnik, A. (2022). Enzymatic Hydrolysis of Textile and Cardboard Waste as a Glucose Source for the Production of Limonene in Escherichia coli. *Life*, 12.

15. Schaake, M. M., Pikhard, O., Bross, M., May, T., Hua, Z. C., Schmidt, L., Jaeger, F., … et al. (2025). Optimizing mechanical pretreatment of cotton textile waste to enhance enzymatic hydrolysis.. *Waste Management*, 204, 114967 .

16. Fernandes, A. M., Pinheiro, A. I., Rodrigues, C., & Silva, C. (2025). Bioeconomy in Textile Industry: Industrial Residues Valorization Toward Textile Functionalization. *Recycling*.

17. Patil, S. (2025). Evolving Biotechnology in Textile Processing. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*.

18. Zhang, Y., & Zheng, M. (2022). Editorial: Exploration of highly active enzymes, performance enhancement and enzymatic processing techniques. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10.

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.