

# Laccase Enzyme CAS 80498-15-3 per trattamento acque reflue: applicazioni su fenoli, coloranti, contaminanti emergenti e reflui industriali

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

La laccasi CAS 80498-15-3 è un enzima ossidativo usato come biocatalizzatore per trasformare fenoli, coloranti, composti aromatici e alcuni contaminanti emergenti nelle acque reflue industriali. Nel trattamento wastewater non agisce come “depuratore universale”, ma come fase bio-ossidativa mirata, integrabile con chiarificazione, filtrazione, processi biologici, membrane o ossidazione avanzata quando la matrice contiene substrati compatibili <sup>[1]</sup>.

## Che cos'è la laccasi CAS 80498-15-3

La laccasi è una ossidoreduttasi multicopper: catalizza il trasferimento di elettroni da molecole organiche ossidabili verso l'ossigeno molecolare, che viene ridotto ad acqua. Questo meccanismo rende l'enzima rilevante per il trattamento di reflui contenenti strutture fenoliche, polifenoliche, aromatiche e alcuni coloranti sintetici, perché l'ossidazione può generare radicali o intermedi che evolvono verso dimerizzazione, polimerizzazione, perdita di cromofori o maggiore suscettibilità a trattamenti successivi <sup>[2]</sup>.

Nel contesto industriale, “Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater CAS 80498-15-3” indica quindi un biocatalizzatore destinato a processi di ossidazione selettiva in acqua, non un reagente chimico indiscriminato. La letteratura descrive la laccasi come una piattaforma enzimatica interessante per la remediation ambientale perché combina ossigeno come accettore finale, condizioni operative relativamente miti e capacità di agire su famiglie di inquinanti che includono fenoli, coloranti e microinquinanti organici <sup>[3]</sup>.

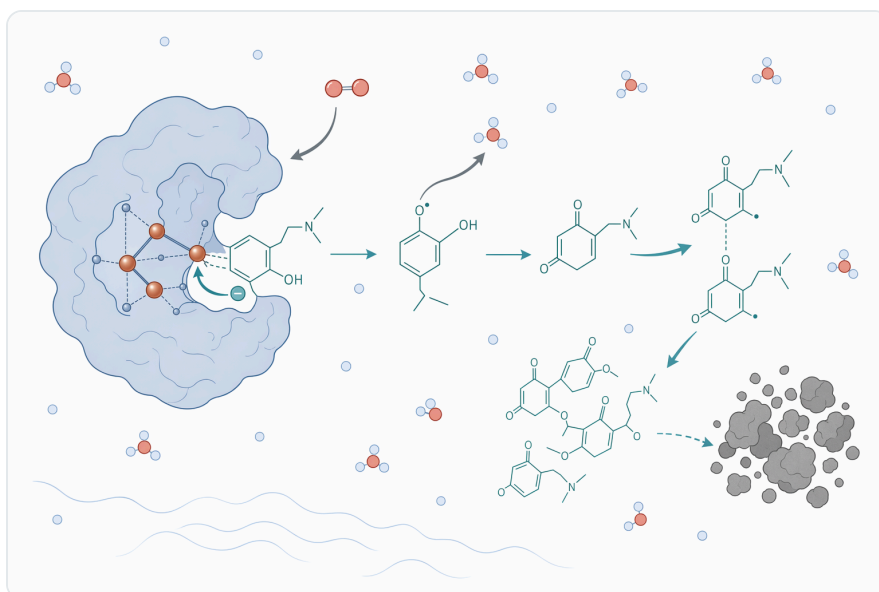
Il codice CAS 80498-15-3 identifica la sostanza enzimatica “laccase”. Enzymes.bio la rende disponibile come fornitore online B2B in formato da 1 kg per uso industriale e di processo; non deve essere interpretata come produttore o laboratorio di prova. CoA e SDS sono forniti insieme all'ordine, mentre

l'integrazione nel processo resta una valutazione tecnica dell'utilizzatore in base alla matrice del refluo e agli obiettivi di trattamento .

## Perché la laccasi è rilevante nel trattamento delle acque reflue

Molti reflui industriali sono complessi non solo per il carico organico complessivo, ma per la presenza di molecole persistenti, colorate, tossiche o scarsamente biodegradabili. Coloranti tessili, fenoli da processi agroindustriali, derivati ligninici, residui farmaceutici e interferenti endocrini possono attraversare parzialmente trattamenti convenzionali; per questo le review sul trattamento delle acque discutono sempre più spesso strategie ibride in cui processi biologici, catalitici e fisico-chimici vengono combinati [4].

La laccasi è particolarmente interessante quando il problema non è soltanto "rimuovere COD", ma trasformare molecole specifiche che causano colore, tossicità, odore, attività endocrina o inibizione dei processi biologici. Le review sui contaminanti emergenti riportano che gli enzimi laccasici possono degradare o trasformare una varietà di composti recalcitranti, pur con prestazioni dipendenti da struttura chimica, matrice, tempo di contatto, presenza di inibitori e configurazione del trattamento [4].



**Figure 1.** 라카아제는 산소를 물로 환원시키는 동시에 페놀성 오염물질과 염료 오염물질을 산화하며, 이 과정에서 종종 라디칼이 형성되어 서로 결합해 용해도가 낮은 생성물을 만듭니다.

L'applicazione più intuitiva è la decolorazione: molti coloranti contengono gruppi aromatici e sistemi coniugati responsabili dell'assorbimento visibile. L'ossidazione enzimatica può rompere o modificare tali sistemi, oppure favorire l'accoppiamento ossidativo in prodotti meno solubili e separabili; per

questo le laccasi sono ampiamente studiate per l'abbattimento dell'inquinamento da coloranti, inclusi coloranti azoici e altre famiglie usate in ambito tessile <sup>[5]</sup>.

Un secondo campo importante riguarda fenoli e clorofenoli. Queste molecole possono essere tossiche, reattive e problematiche per i trattamenti biologici se presenti in concentrazioni o combinazioni sfavorevoli. Studi recenti su laccasi immobilizzata su membrane nanofibrose hanno valutato la degradazione del p-clorofenolo in acque reflue, evidenziando l'interesse per configurazioni in cui l'enzima è trattenuto su supporti anziché disperso liberamente nella matrice <sup>[6]</sup>.

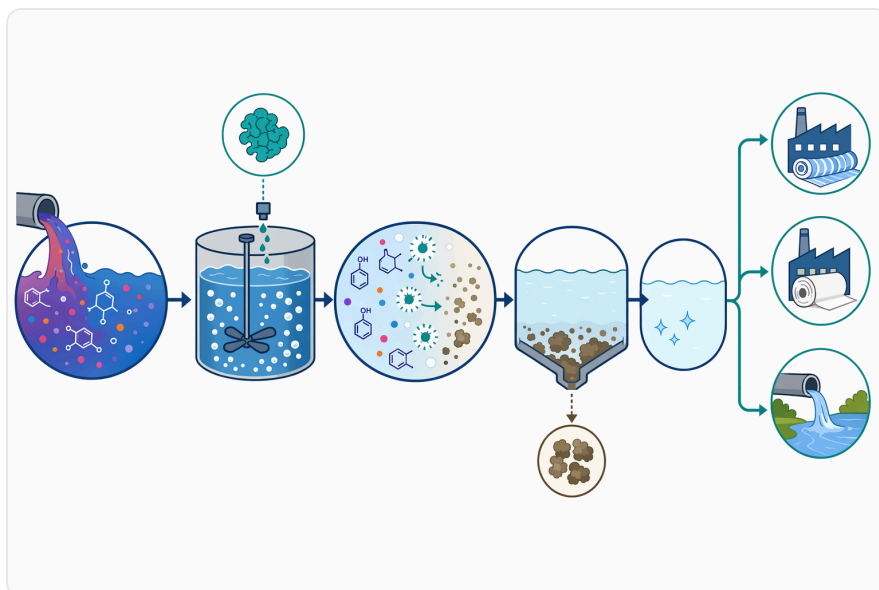
## **Meccanismo di ossidazione: cosa avviene a livello chimico**

---

Il sito attivo della laccasi contiene centri rameici che partecipano al trasferimento elettronico. In termini pratici, il substrato organico cede un elettrone all'enzima e viene convertito in un radicale o in una forma ossidata; contemporaneamente l'ossigeno funge da accettore finale. Questa architettura catalitica spiega perché la laccasi sia adatta a molecole fenoliche e aromatiche ma non necessariamente a ogni contaminante organico presente in un refluo <sup>[2]</sup>.

Dopo l'ossidazione iniziale, il destino dell'intermedio dipende dalla struttura del substrato e dalla matrice. Alcuni intermedi subiscono accoppiamento radicalico, formando oligomeri o polimeri meno solubili; altri cambiano stato di ossidazione o perdono proprietà cromofore; altri ancora generano sottoprodotti più idrofili. La review sull'immobilizzazione della laccasi per la purificazione dell'acqua sottolinea che l'efficacia del trattamento dipende sia dall'attività catalitica sia dalla gestione dei prodotti trasformati <sup>[1]</sup>.

Nel caso dei coloranti, la laccasi può attaccare regioni elettrone-ricche e alterare la struttura responsabile del colore. La decolorazione, tuttavia, non equivale sempre a mineralizzazione completa: una soluzione meno colorata può contenere frammenti o prodotti ossidati che richiedono ulteriori fasi di trattamento o verifica di compatibilità con lo scarico finale. Le review sulla decolorazione enzimatica dei coloranti azoici evidenziano proprio la necessità di distinguere tra perdita di colore, degradazione strutturale e riduzione della tossicità <sup>[5]</sup>.



**Figure 2.** 일반적인 라카아제 폐수 처리 공정에서는 색도와 산화 가능한 유기 오염물질을 줄이기 위해 정화 단계 전에 효소와 폭기를 투입합니다.

Per i contaminanti emergenti, il quadro è ancora più dipendente dalla molecola. Interferenti endocrini, farmaci e composti aromatici recalcitranti possono essere trasformati dalla laccasi, ma la rimozione osservata in laboratorio non implica automaticamente eliminazione del rischio ecotossicologico. Una review sugli interferenti endocrini riporta che i trattamenti assistiti da laccasi possono portare a degradazione significativa, ma richiedono attenzione ai sottoprodotti e all'attività biologica residua [7].

## Applicazioni principali nei reflui industriali

### Reflui tessili e coloranti sintetici

I reflui tessili possono contenere miscele di coloranti, sali, ausiliari di tintura, tensioattivi e solidi fini. In questa matrice, la laccasi è studiata per ridurre il colore e trasformare molecole aromatiche che resistono ai trattamenti convenzionali. Le review sull'impiego di laccasi per coloranti industriali riportano applicazioni su diverse classi cromoforiche, con interesse particolare per sistemi immobilizzati e bioreattori riutilizzabili [8].

La sfida non è solo catalitica, ma di processo: elevata salinità, variazioni di pH, presenza di ausiliari e carichi discontinui possono influenzare l'enzima. Per questo la laccasi trova più spesso un ruolo come fase dedicata di pretrattamento o polishing, non come sostituzione integrale dell'impianto. Nei reflui colorati, la combinazione con separazione fisica, trattamento biologico o ossidazione avanzata può essere più realistica rispetto a un approccio monofase [5].

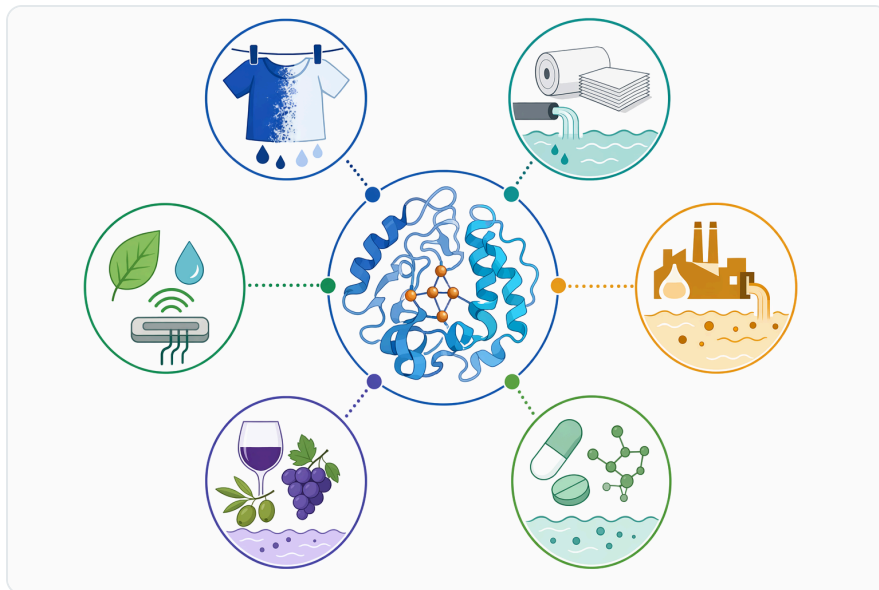
## Fenoli, polifenoli e reflui agroindustriali

Le acque provenienti da lavorazioni agroalimentari, trasformazione di biomasse, olive, vino, frutta, legno o altri processi ricchi di materia vegetale possono contenere fenoli e polifenoli. Queste molecole contribuiscono a colore, tossicità e inibizione della biodegradazione; l'ossidazione laccasica può convertirle in chinoni o radicali che successivamente reagiscono tra loro, formando strutture più grandi e talvolta più facili da separare [9].

La letteratura sui funghi del marciume bianco è importante perché molte laccasi di interesse industriale derivano da organismi ligninolitici capaci di degradare matrici aromatiche complesse. Le review sul ruolo dei funghi del marciume bianco nel trattamento di reflui industriali descrivono l'azione congiunta di enzimi extracellulari, inclusa la laccasi, nella trasformazione di composti recalcitranti provenienti da settori come cartario, tessile e agroindustriale [9].

## Cartiere, pasta di cellulosa e derivati ligninici

I reflui di cartiera e pasta di cellulosa possono contenere lignina solubile, frammenti fenolici, composti cromofori e additivi di processo. Poiché la laccasi è naturalmente coinvolta nell'ossidazione di strutture ligniniche e fenoliche, è stata studiata come componente di strategie di decolorazione e riduzione della recalcitranza in acque di processo del settore carta e cellulosa [2].



**Figure 3.** 폐수 처리용 라카아제는 염료, 제지, 페놀성 물질, 농산업 폐수 및 미량 유기 오염물질 처리 등 다양한 분야에 사용됩니다.

In questi casi il risultato desiderato può includere riduzione del colore, abbattimento di composti fenolici specifici e miglioramento della biodegradabilità a valle. Tuttavia, i reflui cartari possono variare molto in funzione del legno, della chimica di pulping, del recupero chimico e del trattamento primario;

quindi la laccasi deve essere valutata come unità funzionale dentro una sequenza più ampia, non come trattamento isolato <sup>[3]</sup>.

### **Contaminanti emergenti: farmaci, interferenti endocrini e microinquinanti**

Le review sui contaminanti emergenti riportano interesse crescente per la laccasi nella trasformazione di molecole come interferenti endocrini, farmaci e composti aromatici persistenti. La logica è sfruttare l'ossidazione enzimatica per modificare gruppi funzionali sensibili, ridurre attività biologica o rendere i composti più trattabili da processi successivi <sup>[7]</sup>.

Uno studio comparativo su ciprofloxacina, norfloxacina e ofloxacina mediato da una laccasi ha discusso la degradazione di antibiotici fluorochinolonici e i possibili meccanismi catalitici. Questo tipo di evidenza è rilevante perché mostra che l'applicazione della laccasi non si limita ai coloranti, ma può estendersi a molecole farmaceutiche selezionate, purché la struttura chimica sia compatibile con l'ossidazione enzimatica <sup>[10]</sup>.

La trasformazione dei microinquinanti richiede però prudenza interpretativa. Una percentuale di rimozione del composto originario non basta a dimostrare sicurezza finale: servono considerazioni su sottoprodotti, attività biologica residua e compatibilità con lo schema di trattamento complessivo. Le review sugli interferenti endocrini evidenziano che dimeri, trimeri o altri prodotti ossidati possono formarsi durante processi laccasi-assistiti <sup>[7]</sup>.

### **Laccasi libera, immobilizzata e sistemi integrati**

---

La laccasi può essere usata in forma libera, dispersa nella fase acquosa, oppure immobilizzata su supporti solidi, membrane, particelle, gel o materiali compositi. La forma libera offre contatto diretto con i contaminanti ma può essere più difficile da recuperare; la forma immobilizzata mira a trattenere l'enzima, aumentare stabilità operativa e consentire riuso in reattori o moduli di trattamento <sup>[1]</sup>.



**Figure 4.** 더 강한 화학적 산화나 응집 처리와 비교할 때, 라카아제 처리는 더 온화한 조건에서 운전할 수 있으며 색을 유발하는 오염물질을 줄일 수 있습니다.

L'immobilizzazione è uno dei temi più importanti per il passaggio da esperimenti di laboratorio a configurazioni più industriali. Le review dedicate riportano che il supporto può proteggere l'enzima da denaturazione, migliorare la resistenza a condizioni sfavorevoli e semplificare la separazione dell'enzima dall'effluente; tuttavia può anche introdurre limiti di diffusione se il contaminante raggiunge con difficoltà il sito catalitico [11].

Studi recenti su membrane elettrofilate in poliuretano/cellulosa rigenerata con laccasi immobilizzata hanno mostrato interesse per il trattamento del p-clorofenolo, un inquinante fenolico rappresentativo. Questi sistemi sono rilevanti perché uniscono catalisi enzimatica e separazione su supporto, aprendo a moduli più controllabili rispetto all'aggiunta diretta dell'enzima in vasca [6].

La laccasi può anche essere integrata con processi che migliorano trasferimento di ossigeno, adsorbimento o ossidazione complementare. Poiché l'ossigeno molecolare è l'accettore finale della reazione laccasica, la disponibilità di ossigeno e la miscelazione incidono sulla resa pratica; parallelamente, micro-nano bolle e altre tecnologie di intensificazione sono studiate nel trattamento delle acque per migliorare trasferimenti di massa e prestazioni di processo [12].

## Tabella comparativa: dove la laccasi si inserisce rispetto ad altre tecnologie

Approccio di trattamento	Ruolo principale	Punti di forza	Limiti pratici	Quando considerarlo
Laccasi libera	Ossidazione selettiva di fenoli, coloranti e alcuni microinquinanti	Contatto diretto con substrati, processo bio-ossidativo relativamente mite	Recupero difficile, sensibilità alla matrice, possibile inattivazione	Flussi dedicati, polishing, prove di integrazione su reflui con substrati ossidabili <sup>[4]</sup>
Laccasi immobilizzata	Ossidazione enzimatica con enzima trattenuto su supporto	Maggiore riutilizzabilità potenziale, migliore separazione dall'effluente, stabilità spesso superiore	Possibili limiti diffusivi, costo e compatibilità del supporto	Reattori continui, membrane catalitiche, trattamento di contaminanti specifici <sup>[11]</sup>
Trattamento biologico convenzionale	Biodegradazione del carico organico biodegradabile	Robusto per BOD/COD biodegradabile, diffuso negli impianti	Meno efficace su composti recalcitranti o tossici	Fase principale per acque biodegradabili, eventualmente dopo pretrattamento enzimatico <sup>[13]</sup>
Ozonazione / ossidazione avanzata	Ossidazione chimica non enzimatica	Ampio spettro su molti organici persistenti	Consumo energetico/reagenti, sottoprodotti, controllo di processo	Reflui con microinquinanti resistenti o come polishing avanzato <sup>[14]</sup>
Elettrocoagulazione	Destabilizzazione e rimozione di colloidali, colore e metalli	Riduce solidi, torbidità e alcuni contaminanti	Produzione di fanghi, consumo elettrodico/energetico	Pretrattamento o chiarificazione di reflui complessi <sup>[15]</sup>
Membrane / MBR	Separazione fisica e trattamento biologico intensificato	Effluente chiarificato, alta ritenzione biomassa	Fouling, costi di gestione, sensibilità a carichi complessi	Impianti con requisiti elevati di qualità e recupero acqua <sup>[13]</sup>

Questa comparazione evidenzia un punto chiave: la laccasi è più convincente quando viene collocata in una catena di trattamento, non quando viene caricata dell'intera responsabilità depurativa. Nei reflui industriali reali, un enzima ossidativo può ridurre colore o trasformare composti bersaglio, mentre solidi sospesi, sali, nutrienti, metalli, carico organico biodegradabile e sottoprodotti richiedono spesso unità dedicate [1].

## Variabili operative che influenzano la prestazione

La composizione del refluo è il primo fattore. La laccasi funziona meglio su substrati chimicamente ossidabili; se la matrice contiene prevalentemente composti non accessibili al meccanismo laccasico, l'effetto sarà limitato. Anche all'interno della stessa categoria, due coloranti o due farmaci possono rispondere in modo diverso perché cambiano potenziale redox, ingombro sterico, solubilità e gruppi funzionali disponibili [4].

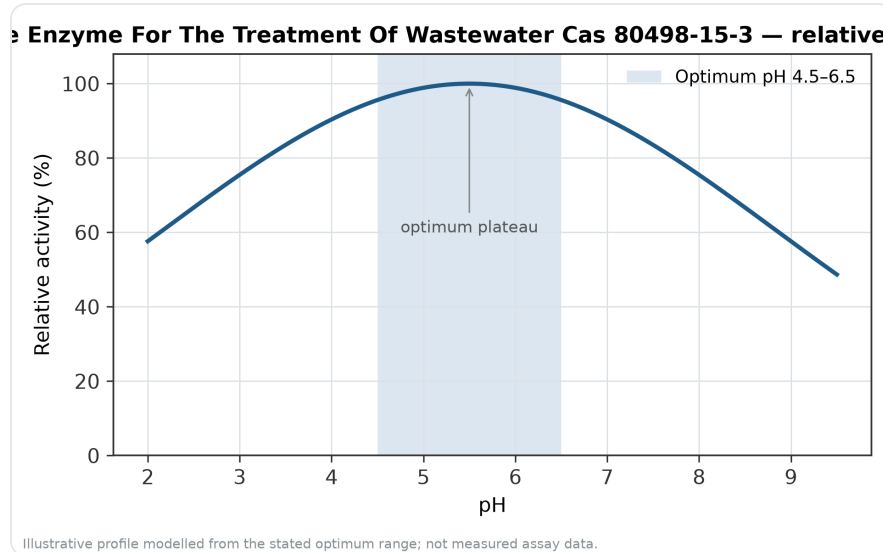


Figure 5. pH에 따른 폐수 처리용 라카아제 효소(CAS 80498-15-3)의 상대 활성으로, pH 4.5~6.5에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

pH, temperatura, salinità, solventi, tensioattivi, metalli e solidi sospesi possono alterare attività e stabilità dell'enzima. In un refluo reale, queste variabili non sono indipendenti: ad esempio un'elevata forza ionica può modificare solubilità e interazioni elettrostatiche, mentre solidi e colloidali possono adsorbire sia contaminanti sia enzima, cambiando la disponibilità effettiva dei substrati [11].

Il tempo di contatto e la disponibilità di ossigeno sono altrettanto importanti. Poiché la laccasi trasferisce elettroni all'ossigeno, una miscelazione insufficiente o una bassa disponibilità di ossigeno possono limitare la velocità apparente della reazione. Le strategie che applicano ossigeno molecolare

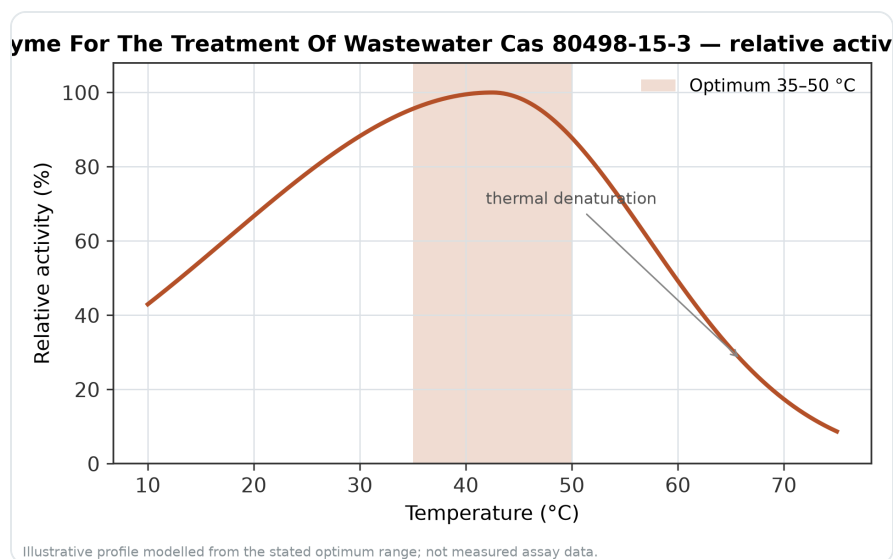
per degradare inquinanti organici sono discusse come alternative più sostenibili rispetto a ossidanti più aggressivi, ma restano dipendenti da trasferimento di massa e configurazione del reattore [16].

La presenza di mediatori redox può ampliare lo spettro dei substrati ossidabili, consentendo la trasformazione di molecole che la laccasi da sola ossida con difficoltà. Tuttavia l'uso di mediatori introduce ulteriori considerazioni su costo, tossicità, destino nel refluo e compatibilità normativa. Per questo, in un documento tecnico orientato all'uso industriale, è più corretto presentare il sistema laccasi-mediatore come opzione specialistica, non come requisito universale [1].

## Benefici attesi e limiti da comunicare correttamente

Il beneficio principale della laccasi è la trasformazione selettiva di contaminanti problematici in condizioni relativamente blande. Nei reflui contenenti coloranti o fenoli, questo può tradursi in riduzione del colore, ossidazione di composti aromatici e formazione di prodotti più facilmente rimovibili mediante separazione o trattamento successivo. Le review sulla remediation con laccasi sottolineano il valore di questa specificità catalitica in applicazioni ambientali [3].

Un secondo beneficio è l'integrazione con processi biologici. Se la laccasi riduce l'inibizione causata da fenoli o modifica molecole recalcitranti, il trattamento biologico a valle può operare in condizioni più favorevoli. Questo principio è coerente con la tendenza più ampia del wastewater treatment industriale verso configurazioni ibride, dove biofilm, MBR, ossidazione avanzata, coagulazione e unità catalitiche vengono combinati secondo la matrice [17].



**Figure 6.** 온도에 따른 폐수 처리용 라카아제 효소(CAS 80498-15-3)의 상대 활성으로, 35~50°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열 변성에 따른 전형적인 활성 감소가 나타납니다.

Il limite più importante è che “degradazione” non significa sempre mineralizzazione. La laccasi può trasformare il composto originario senza convertirlo completamente in anidride carbonica, acqua e sali minerali. Per alcuni obiettivi di processo questo è sufficiente, ad esempio se la trasformazione consente separazione o riduce tossicità; per altri, serve una fase successiva. La letteratura sui contaminanti emergenti insiste sulla necessità di considerare sottoprodotti e non solo scomparsa del contaminante target <sup>[7]</sup>.

Un altro limite è la stabilità. Gli enzimi sono proteine e possono perdere funzionalità in ambienti estremi o fortemente contaminati da inibitori. L’immobilizzazione, la scelta della posizione nel processo e la protezione da shock di matrice sono quindi strategie importanti, ma non eliminano la necessità di progettare il trattamento in funzione del refluo reale <sup>[11]</sup>.

## **Ruolo della laccasi in una linea di trattamento industriale**

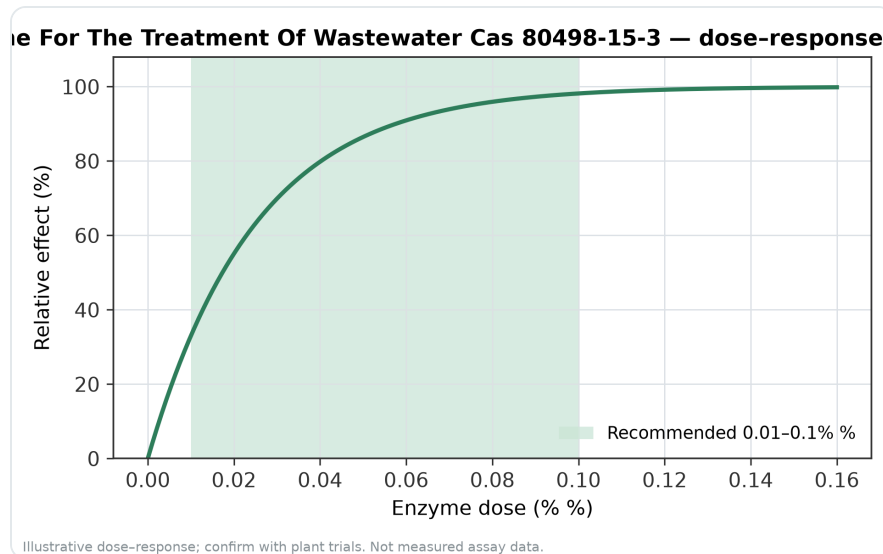
---

In una linea di trattamento, la laccasi può essere collocata come pretrattamento per ridurre colore o fenoli prima di una fase biologica, come trattamento intermedio su un flusso laterale ad alta concentrazione, oppure come polishing finale su microinquinanti selezionati. La posizione più razionale dipende da cosa si vuole ottenere: proteggere la biomassa, ridurre un parametro estetico come il colore, abbattere molecole bersaglio o migliorare la separabilità dei prodotti ossidati <sup>[1]</sup>.

Per reflui con solidi grossolani o oli, è spesso più logico rimuovere prima le frazioni che ostacolano il contatto enzima-substrato. Per reflui molto diluiti ma contenenti microinquinanti persistenti, la laccasi può essere studiata come fase terziaria o modulo dedicato. Le tecnologie basate su biofilm e bioprocessi avanzati mostrano che la compartimentazione del trattamento può migliorare il controllo delle comunità biologiche e delle funzioni specifiche <sup>[17]</sup>.

Rispetto a ozonazione, persolfato, fotocatalisi o catalisi avanzata, la laccasi ha un profilo più selettivo e biologico. I processi avanzati di ossidazione possono generare specie reattive molto potenti e meno selettive, utili per composti resistenti ma anche più complessi da controllare. Le review su sistemi persolfato e fotocatalitici evidenziano che la degradazione di inquinanti persistenti dipende da radicali, superfici catalitiche, luce, trasferimento elettronico e percorsi di reazione specifici <sup>[18]</sup>.

La scelta non dovrebbe quindi essere formulata come “laccasi contro ossidazione avanzata”, ma come valutazione della funzione richiesta. Se l’obiettivo è trasformare fenoli o coloranti con un biocatalizzatore integrabile in condizioni miti, la laccasi è coerente. Se l’obiettivo è abbattere un insieme ampio di molecole non selettive e altamente resistenti, un processo avanzato o una combinazione può essere più adeguato <sup>[14]</sup>.



**Figure 7.** 권장 사용 범위(0.01~0.1%)에서 폐수 처리용 라카아제 효소(CAS 80498-15-3)의 예시적 용량-반응 관계입니다.

## Laccasi naturale, laccase-like e materiali mimetici

La letteratura recente include anche catalizzatori “laccase-like” e materiali mimetici, cioè sistemi non necessariamente enzimatici che imitano alcune funzioni ossidative della laccasi. Complessi, nanomateriali a base rame e compositi sono studiati per degradazione di inquinanti fenolici, biosensing e ossidazione di coloranti, perché cercano di replicare il trasferimento elettronico associato ai centri rameici [19].

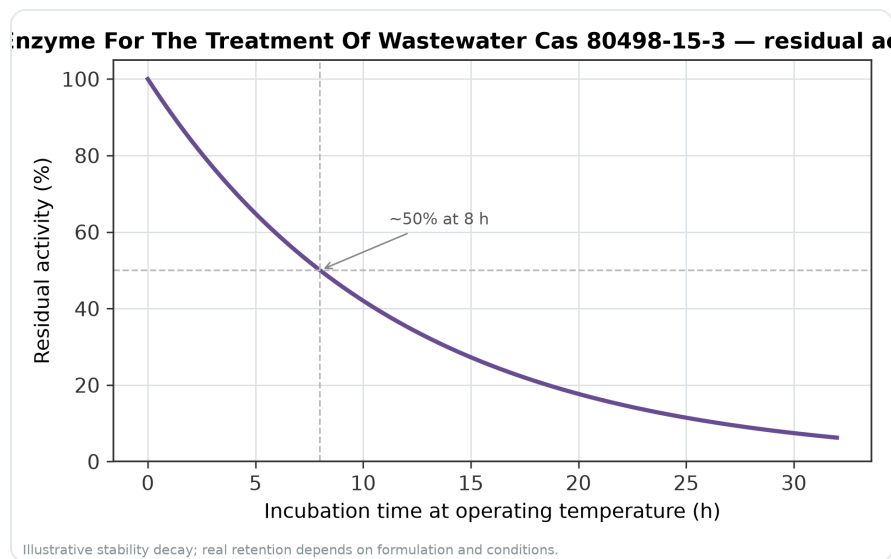
Questi sistemi sono scientificamente interessanti, ma non vanno confusi con l’enzima laccasi CAS 80498-15-3. Un materiale laccase-like può avere maggiore robustezza in alcune condizioni, ma anche diversa selettività, diverso profilo ambientale e differenti sottoprodotti. Per un utilizzatore industriale, la distinzione è importante: acquistare una laccasi enzimatica significa introdurre un biocatalizzatore proteico, non un catalizzatore inorganico mimetico [20].

Le ricerche su materiali biomimetici confermano comunque il valore del meccanismo: il fatto che molti gruppi tentino di imitare l’attività laccasica indica l’interesse del trasferimento elettronico mediato da rame nella degradazione di inquinanti organici. Allo stesso tempo, l’enzima reale mantiene vantaggi di specificità e origine biologica che lo rendono adatto a strategie di trattamento più orientate alla biocatalisi [21].

## Posizionamento del prodotto Enzymes.bio

Enzymes.bio fornisce Laccasi Enzyme CAS 80498-15-3 come prodotto B2B acquistabile online in unità da 1 kg. Il prodotto è destinato a usi industriali e di processo, inclusi impieghi in cui la laccasi serve come enzima ossidativo per applicazioni di trattamento acque, trasformazione di composti fenolici o decolorazione di reflui compatibili.

È importante formulare correttamente il ruolo del fornitore: Enzymes.bio non deve essere presentato come produttore, laboratorio analitico o sviluppatore dell'impianto di trattamento. La sua funzione commerciale è la fornitura online del prodotto; CoA e SDS accompagnano l'ordine, mentre la progettazione del processo, la compatibilità con il refluo e la conformità dell'effluente finale sono responsabilità dell'utilizzatore industriale.



**Figure 8.** 폐수 처리용 라카아제 효소(CAS 80498-15-3)의 예시적 열 안정성 감소 곡선으로, 운전 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소합니다.

Questo posizionamento è adatto ad aziende, impianti pilota e team tecnici che cercano un enzima laccasi da integrare in una valutazione di processo. La decisione applicativa dovrebbe basarsi su conoscenza della matrice, obiettivo di trattamento e compatibilità con le unità esistenti, evitando aspettative irrealistiche di depurazione totale da parte di un singolo biocatalizzatore <sup>[1]</sup>.

## Conclusion

La laccasi CAS 80498-15-3 è un enzima ossidativo con un razionale tecnico solido per reflui contenenti fenoli, polifenoli, coloranti, derivati aromatici e alcuni contaminanti emergenti. Il suo valore non sta nel sostituire l'intero impianto di depurazione, ma nell'aggiungere una funzione bio-ossidativa selettiva che può ridurre colore, trasformare composti recalcitranti o migliorare la trattabilità a valle <sup>[3]</sup>.

Le evidenze più mature riguardano decolorazione di reflui tessili, ossidazione di composti fenolici, applicazioni con laccasi immobilizzata e trasformazione di microinquinanti selezionati. Allo stesso tempo, restano essenziali la valutazione della matrice reale, la gestione dei sottoprodotti e l'integrazione con separazione, trattamento biologico, membrane o ossidazione avanzata quando necessario <sup>[11]</sup>.

Per un utilizzatore B2B, Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater CAS 80498-15-3 fornita da Enzymes.bio va quindi intesa come componente enzimatica di processo: utile quando il refluo contiene substrati ossidabili e quando il trattamento è progettato con obiettivi chiari, non come soluzione generica per qualsiasi acqua reflua industriale.

### Ordina Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3 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 Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3 →](#)

## 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. Wen-Zhou, Zhang, W., & Cai, Y. (2021). Laccase immobilization for water purification: A comprehensive review. *Chemical Engineering Journal*, 403, 126272.
2. Sodhi, A. S., Bhatia, S., & Batra, N. (2024). Laccase: Sustainable production strategies, heterologous expression and potential biotechnological applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135745 .
3. Younus, H., Khan, M. A., Khan, A., & Alhumaydhi, F. (2025). Eco-Friendly Biocatalysts: Laccase Applications, Innovations, and Future Directions in Environmental Remediation. *Catalysts*.
4. Bhardwaj, P., Kaur, N., Selvaraj, M., Ghramh, H. A., Al-Shehri, B. M., Singh, G., Arya, S., ... et al. (2022). Laccase-assisted degradation of emerging recalcitrant compounds- A review. *Bioresource Technology*, 128031 .
5. Rajendran, S., Kalairaj, A., & Senthilvelan, T. (2024). A comprehensive review on enzymatic decolorization of various azo dyes using laccase for the abatement of industrial pollution. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15, 13079 - 13101.
6. Lin, H., Chen, Y., Li, D., Gao, J., Song, J., Tao, Y., Zhang, J., ... et al. (2025). Laccase immobilized on electrospun polyurethane/regenerated cellulose nanofiber membranes for efficient P-Chlorophenol degradation from wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144990 .

7. Barrios-Estrada, C., Jesús Rostro-Alanis, M., Muñoz-Gutiérrez, B. D., Iqbal, H. M., Kannan, S., & Parra-Saldivar, R. (2018). Emergent contaminants: Endocrine disruptors and their laccase-assisted degradation - A review. *Science of the Total Environment*, 612, 1516-1531 .
8. Naseem, S., Rawal, R., Pandey, D., & Suman, S. (2023). Immobilized laccase: an effective biocatalyst for industrial dye degradation from wastewater. *Environmental science and pollution research international*, 30, 84898-84917.
9. Latif, W., Ciniglia, C., Iovinella, M., Shafiq, M. I., & Papa, S. (2023). Role of White Rot Fungi in Industrial Wastewater Treatment: A Review. *Applied Sciences*.
10. Bhatt, S., Choudhary, P., Chatterjee, S., & Akhter, Y. (2023). Comparative analysis of SilA-laccase mediated degradation of ciprofloxacin, norfloxacin and ofloxacin and interpretation of the possible catalytic mechanism. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 42, 425 - 434.
11. Wang, H., Tang, L., Ye, Y., Ma, J., Li, X., Si, J., & Cui, B. (2024). Laccase immobilization and its degradation of emerging pollutants: A comprehensive review. *Journal of Environmental Management*, 359, 120984 .
12. Sakr, M., Mohamed, M., Maraqa, M., Hamouda, M., Hassan, A. A., Ali, J., & Jung, J. (2021). A critical review of the recent developments in micro–nano bubbles applications for domestic and industrial wastewater treatment. *Alexandria Engineering Journal*.
13. Chang, H., Liu, Y., Keng, C., Jiang, H., & Hu, J. (2024). Challenges of industrial wastewater treatment: utilizing Membrane bioreactors (MBRs) in conjunction with artificial intelligence (AI) technology. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 41, 422 - 427.
14. Wen-An, Li, X., Ma, J., & Ma, L. (2023). Advanced treatment of industrial wastewater by ozonation with iron-based monolithic catalyst packing: From mechanism to application. *Water Research*, 235, 119860 .
15. Shah, A. A., Walia, S., & Kazemian, H. (2024). Advancements in combined electrocoagulation processes for sustainable wastewater treatment: A comprehensive review of mechanisms, performance, and emerging applications. *Water Research*, 252, 121248 .
16. Fan, X., Fu, Q., Liu, G., Jia, H., Dong, X., Yi-Li, & Cui, S. (2024). Applying molecular oxygen for organic pollutant degradation: Strategies, mechanisms, and perspectives. *Environmental Science and Ecotechnology*, 22.
17. Maurya, A., Kumar, R., & Raj, A. (2023). Biofilm-based technology for industrial wastewater treatment: current technology, applications and future perspectives. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 39.
18. Jing, B., Li, J., Nie, C., Zhou, J., Li, D., & Ao, Z. (2022). Flow line of density functional theory in heterogeneous persulfate-based advanced oxidation processes for pollutant degradation: A review. *Critical reviews in environmental science and technology*, 53, 483 - 503.
19. Yang, T., Li, Y., Liu, G., Tong, J., Zhang, P., Feng, B., Tian, K., ... et al. (2024). Nucleobase-modulated copper nanomaterials with laccase-like activity for high-performance degradation and detection of phenolic pollutants. *Journal of Hazardous Materials*, 477, 135292 .
20. Sun, M., Dang, Y., Du, R., Lu, Z., Wang, Y., Wang, X., Song, C., ... et al. (2021). Experiment and theoretical insights into CuNi/CoMoO<sub>4</sub> multi-functional catalyst with laccase-like: Catalysis mechanism, smartphone biosensing and organic pollutant efficient degradation. *Chemical Engineering Journal*, 425, 130586.
21. Majidi, S., Rashtbari, S., Jamei, S., & Dehghan, G. (2025). Biologically inspired laccase-mimicking OVA-Cu complex for degradation of organic dye pollutant: Artificial neural network modeling and optimization. *BioImpacts*, 15.

## 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**

[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.