

Gli Enzimi nell'Industria Conciaria

A cura di Antonio Medici- 12 settembre 2025

Introduzione: Che cosa sono gli enzimi?

Gli enzimi sono “**biocatalizzatori**” naturali, nello specifico macromolecole biologiche, proteine, che accelerano reazioni chimiche specifiche senza essere consumate nel processo (figura 1). Presenti in tutti gli organismi viventi, svolgono un ruolo chiave in migliaia di processi metabolici. Ciò che li rende particolarmente interessanti per le applicazioni industriali è la loro **specificità** e l'**efficienza** con cui operano in condizioni relativamente blande di temperatura e pH, riducendo così l'impatto ambientale dei processi produttivi. Questi biocatalizzatori sono prodotti naturalmente da organismi viventi quali batteri, funghi e piante, ma sono ora ottenuti anche tramite fermentazioni industriali e biotecnologie avanzate.

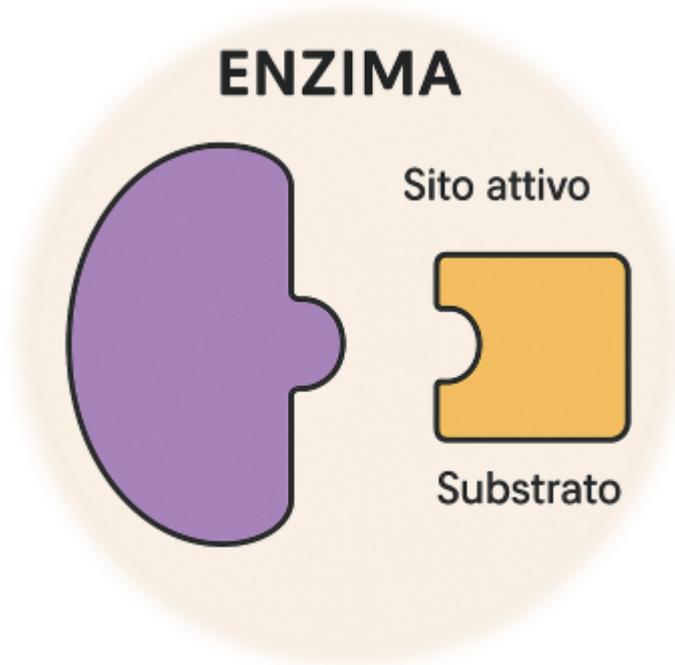


Figura 1 Meccanismo semplificato di azione dell'enzima con substrato

Nel contesto della biotecnologia industriale, gli enzimi rappresentano una delle tecnologie più promettenti per la transizione verso una chimica più sostenibile, rientrando a pieno titolo nelle cosiddette "tecnologie pulite".

La produzione di questi biocatalizzatori richiede una serie di passaggi specifici. Una volta individuato un enzima di interesse in una determinata specie batterica, vegetale o fungina, è possibile trasferire il gene corrispondente in un altro microrganismo, come *Escherichia coli*, più adatto alla produzione su scala industriale. Questo processo di ingegnerizzazione consente al nuovo batterio di sintetizzare l'enzima desiderato in quantità elevate (figura 2).

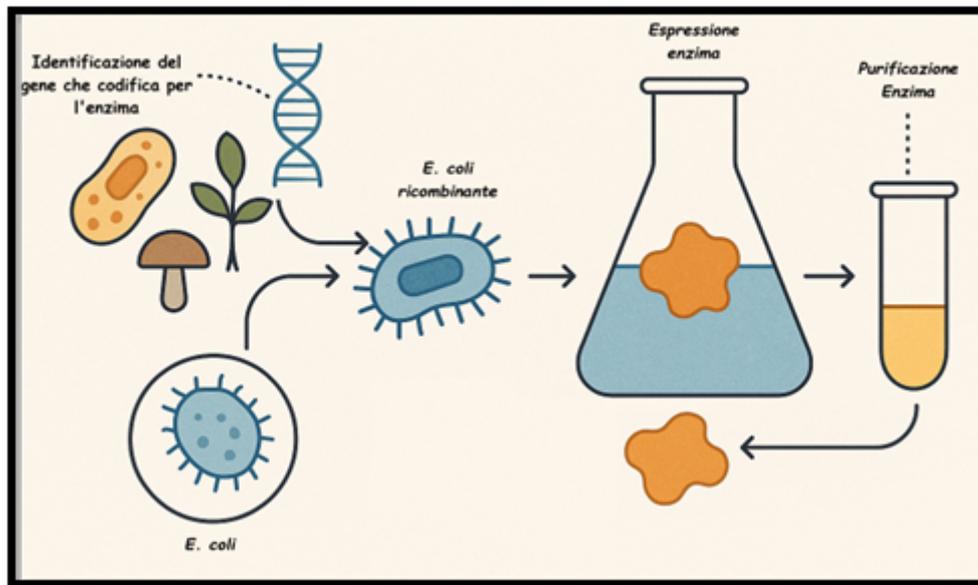


Figura 2 Meccanismo semplificato di produzione di enzimi

Un esempio emblematico di questa tecnica è la produzione industriale moderna dell'insulina, oggi ottenuta mediante batteri modificati geneticamente, mentre in passato era di origine animale. Dopo la produzione, l'enzima viene isolato e purificato tramite metodi come la cromatografia o la precipitazione selettiva, per ottenere un prodotto finale ad alta purezza.

Il ruolo degli enzimi nella concia: dove e perché si usano

L'industria conciaria trasforma le pelli grezze animali in cuoio resistente e durevole attraverso una sequenza complessa di trattamenti chimico-fisici. Tra le fasi principali troviamo: il **rinverdimento**, il **calcinaio**, la **depilazione**, la **macerazione**, la decalcinazione, il pickling e la concia vera e propria. Molte di queste fasi sono potenzialmente sostituibili o integrabile con l'uso di enzimi specifici, con notevoli vantaggi ambientali. L'introduzione degli enzimi in questo contesto rappresenta una grande opportunità per migliorare il processo conciario, offrendo un metodo "green" che si integra, talvolta in modalità ibrida, con le tecnologie tradizionali ¹.

Nello specifico, il ruolo degli enzimi nel processo conciario si articola principalmente nell'utilizzo di diverse classi:

- **Proteasi:** Degradano le proteine e facilitano il distacco del pelo e le impurità associate.
- **Lipasi:** Eliminano i grassi in eccesso presenti sulle pelli.
- **Idrolasi (Amilasi²):** Contribuiscono al degrado di composti organici indesiderati³.

Rinverdimento e calcinaio

Il rinverdimento serve a reidratare la pelle conservata, secca e/o sotto sale, restituendole flessibilità e morbidezza. Tradizionalmente, si utilizzano agenti bagnanti, ma oggi si stanno introducendo enzimi (soprattutto **lipasi** e **proteasi blande**) per **rimuovere i grassi superficiali** e **facilitare la penetrazione dell'acqua** nei tessuti aprendo le fibre del collagene. Durante il rinverdimento, un passaggio iniziale cruciale, gli enzimi aiutano a reidratare e pulire la pelle, facilitando e velocizzando la rimozione delle impurità superficiali e migliorando la successiva penetrazione dei concianti. Studi hanno evidenziato che la proteasi isolata da *Pseudomonas aeruginosa* è in grado di idrolizzare efficacemente substrati quali caseina, albumina di siero bovino, gelatina, elastina ed emoglobina, evitando di degradare cheratina e collagene. Un'interessante osservazione è che l'incremento della concentrazione di questa proteasi (da 0,1% a 0,5%) durante la fase di ammollo migliora notevolmente la penetrazione dell'acqua. Questo fenomeno è attribuibile all'idrolisi di albumina ed elastina, un processo che favorisce l'apertura delle fibre⁴.

Nel calcinaio, si apre la struttura fibrosa della pelle grazie a sostanze alcaline come la calce. L'integrazione di enzimi in questa fase — soprattutto proteasi alcaline — permette di ridurre significativamente l'uso di idrossido di calcio⁵, l'impiego di enzimi consente una degradazione più selettiva dei componenti non desiderati, mantenendo l'integrità del collagene.

Depilazione enzimatica

È forse il campo più studiato dell'applicazione enzimatica nella concia. Gli enzimi depilanti (soprattutto proteasi selettive) attaccano specificamente le proteine della base del pelo, come la cheratina. L'approccio enzimatico è più delicato, non danneggia la struttura del derma e consente di ottenere un prodotto finale di qualità superiore. Nella fase di depilazione, le proteasi agiscono sulla cheratina, il principale costituente dei peli, idrolizzandolo permettendo di ottenere una depilazione efficiente senza ricorrere all'uso intensivo di sostanze come il solfuro di sodio⁶. L'azione enzimatica mirata evita l'eccessiva degradazione del collagene, mantenendo la struttura fibrosa del derma più integra, caratteristica essenziale per la resistenza e la flessibilità del cuoio. Ad esempio alcuni studi⁷ hanno dimostrato l'uso di un estratto enzimatico prodotto da un ceppo di *Bacillus subtilis* in combinazione con il perossido di idrogeno per la depilazione di pelli bovine dimostrando come questa tecnica di depilazione ossidativo-enzimatica non causava la distruzione del pelo, ma la sola rimozione permettendo un riutilizzo del pelo e riducendo il tempo di processo rispetto ai metodi convenzionali⁷.

Decalcinazione e macerazione

In fase di decalcinazione, enzimi come le amilasi e proteasi facilitano la rimozione dei residui calcarei e delle proteine solubili. Nella macerazione, il ruolo degli enzimi è cruciale. Questa attività è resa possibile grazie alla specificità degli enzimi che, lavorando in condizioni di pH controllato, agiscono in modo selettivo sui legami peptidici delle proteine non strutturali, lasciando intatta la matrice collagene indispensabile per il mantenimento delle proprietà meccaniche della pelle. Tale selettività permette di ottenere una pelle dalle caratteristiche organolettiche e meccaniche migliorate, con una maggiore uniformità e morbidezza, oltre a garantire una migliore penetrazione dei reagenti concianti. In altri studi, le formulazioni enzimatiche sono state ottimizzate per lavorare nell'intervallo pH 7-12 e in condizioni di temperatura che variano generalmente tra 25 °C e 35 °C, parametri che corrispondono ideale alla stabilità e all'attività di enzimi come le proteasi e le cheratinasi. Tali condizioni permettono agli enzimi di agire senza denaturarsi, mantenendo elevati livelli di attività catalitica che consentono una macerazione rapida ed efficace. Le evidenze sperimentali evidenziano inoltre che l'utilizzo di enzimi amministrati in modalità *spray* o *dip immersion* facilita la distribuzione uniforme sull'intera superficie della pelle, contribuendo in modo significativo all'omogeneità del trattamento e alla riduzione dei tempi complessivi del processo¹.

Conclusioni

L'adozione diffusa delle tecnologie enzimatiche nel settore conciario non è priva di sfide tecniche. Uno dei limiti più rilevanti riguarda, principalmente l'elevato costo di implementazione e inoltre anche la stabilità degli enzimi in condizioni produttive variabili: i fattori critici come il pH, la temperatura e la presenza di inibitori chimici possono ridurre l'efficacia del trattamento enzimatica. La necessità di formulazioni enzimatiche specifiche per adattarsi ai diversi tipi di pelle e alle differenti condizioni operative impone l'ottimizzazione costante dei processi, rendendo complessa l'integrazione degli enzimi nei cicli produttivi tradizionali^{1,8}.

In conclusione, l'utilizzo degli enzimi nell'industria conciaria rappresenta una delle più promettenti innovazioni in termini di sostenibilità ambientale e di ottimizzazione economica. Questi biocatalizzatori offrono la possibilità di operare processi più delicati e specifici, riducendo al contempo l'uso di sostanze chimiche aggressive e abbattendo i costi connessi al trattamento degli scarichi e allo smaltimento dei rifiuti.

Bibliografia

1. Khambhaty, Y. Applications of enzymes in leather processing.
2. Ramamoorthi, P., Rathinam, A., Jonnalagadda, R. R. & Palanisamy, T. Non-aqueous green solvents improve alpha-amylase induced fiber opening in leather processing. *Sci Rep* **10**, 22274 (2020).
3. Thanikaivelan, P., Rao, J. R., Nair, B. U. & Ramasami, T. Zero Discharge Tanning: A Shift from Chemical to Biocatalytic Leather Processing.
4. Zambare, V. P., Nilegaonkar, S. S. & Kanekar, P. P. Protease production and enzymatic soaking of salt-preserved buffalo hides for leather processing. *iioblett* **3**, (2014).
5. Mamo, G. *Alkaliphiles in Biotechnology*. (Springer International Publishing AG, Cham, 2020).
6. Kanagaraj, J. An efficient dehairing system supported by oxidative-enzymatic auxiliary towards sustainability.
7. Andrioli, E. & Gutterres, M. Associated Use of Enzymes and Hydrogen Peroxide for Cowhide Hair Removal. *JALCA* **109**, 41-48 (2014).
8. Kuria, A. N. Assessment of Pollution Reduction in the Tannery Pre-tanning Processes Through the Use of Enzymes.