cyan • magenta • yellow • black

Enzimologia nel tessile

Biopreparazione del cotone ed uso degli enzimi nell'industria tessile (2ª parte)

di Yves M. Galante

Si presenta un approccio enzimatico integrato nella filiera tessile e si dimostra che è possibile e conveniente applicare in un singolo processo differenti enzimi (ad esempio amilasi, pectinasi, catalisi, cellulasi) in successione o in contemporaneo, in combinazione con ausiliari chimici facilmente biodegradabili.

Nell'articolo precedente è stata introdotta la moderna enzimologia industriale e le sue applicazioni nel settore tessile. Grazie infatti agli straordinari progressi dell'ingegneria genetica e della bioingegneria di proteine applicate alla produzione di enzimi, l'industria manifatturiera in generale e tessile in particolare possono sfruttare una serie di nuove applicazioni enzimatiche con notevoli vantaggi sui per i processi, per l'ambiente e per gli articoli commerciali. Sono state descritte le nuove amilasi e lo stato dell'arte delle cellulasi con relative applicazioni su fibre cellulosiche (stone wash enzimatico di jeans e biopolishing di tessuti e capi confezionati).
In questa seconda parte vengono prima brevemente accennati i nuovi enzimi di ossido-riduzione per eliminazione di acqua ossigenata ed ossidazione di coloranti; in seguito, viene descritta in maggiore dettaglio la nuova applicazione di biopreparazione enzimatica del cotone grezzo, un'innovativa ed ecologica alternativa di processo alla convenzionale preparazione con soda caustica.

Catalasi per eliminazione di acqua ossigenata

Si potrebbe ritenere che la totalità degli enzimi usati nell'industria tessile appartenga alla classe delle idrolasi (amilasi, cellulasi, proteasi), ovvero sono usati per idrolizzare o comunque depolimerizzare polimeri naturali (amido, cellulosa, proteine).
Tuttavia, grazie ai progressi recenti in biotecnologia ed enzimologia industriale, sono già commercialmente disponibili anche enzimi di ossidoriduzione, vale a dire enzimi in grado di operare reazioni di trasferimento di elettroni, quindi di ossidazione o riduzione e non solo di rottura (ovvero idrolisi) di un legame chimico.
Un esempio: è già comune la catalasi per l'eliminazione dell'acqua ossigenata dopo candeggio. L'applicazione di catalasi ben si integra in un ciclo di lavorazione tessile con amilasi, eventualmente pectinasi e prima di cellulasi, ove la preparazione viene eseguita prima di candeggio e di tintura.
In natura, le catalasi sono presenti nelle cellule di tutti gli organismi aerobici (microorganismi, piante, animali, tessuti umani). Il loro ruolo principale consiste nella protezione delle cellule dagli effetti tossici dell'acqua ossigenata e di altri perossidi d'ossigeno.
L'enzima catalasi catalizza quindi con altissima velocità ed efficienza la decomposizione del perossido d'idrogeno in acqua ed ossigeno secondo la semplice reazione chimica di primo ordine:

$$2\ H_2O_2 \rightarrow 2\ H_2O + O_2$$

In cui H_2O_2 agisce sia come donatore che come accettore di elettroni.
In laboratorio, la decomposizione dell'acqua ossigenata può essere seguita spettrofotometricamente per assorbanza nell'UV a 240 nm.
Il crescente interesse industriale nella catalasi è strettamente dipendente dall'aumento negli impieghi del suo substrato naturale, cioè dell'acqua ossigenata, come agente biocida, come ossidante ed in candeggio.
La catalasi quindi può essere sfruttata come biocatalizzatore in ogni processo o situazione che richieda eliminazione rapida e quantitativa di H_2O_2.
Le fonti microbiche attualmente usate per produzione di questo enzima sono il batterio Gram positivo *Micrococcus luteus* ed il fungo filamentoso *Aspergillus niger*.
In generale, l'enzima batterico ha una più alta attività specifica, ma una minor stabilità ad alte concentrazioni di acqua ossigenata, mentre è il contrario per l'enzima fungino con minor attività, ma più alta stabilità.
La scelta quindi di una particolare catalasi per una determinata applicazione sarà dettata dalle condizioni del processo, dalla concentrazione di acqua ossigenata residua e dal rapporto costo/prestazione che si deve avere.
Nell'industria tessile e particolarmente in tintoria, la catalasi

Yves M. Galante, Lamberti SpA - via Piave, 18 - Albizzate (VA) - yves.galante@lamberti.com.

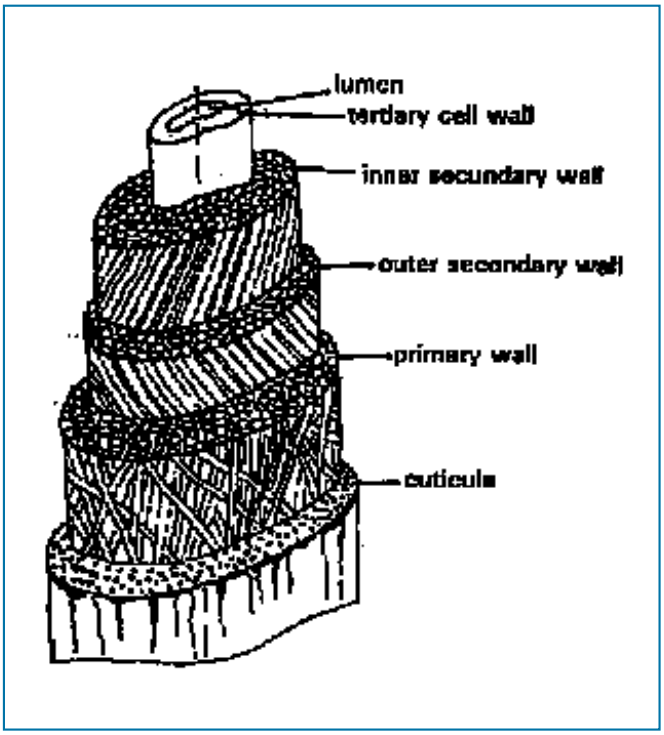


Figura 1 - La struttura della fibra di cotone

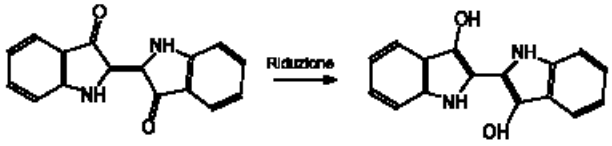
rappresenta un'applicazione innovativa, sicura ed ecologica per l'eliminazione dell'acqua ossigenata dopo la fase di candeggio e prima di tintura.
L'uso di quest'enzima invece dei reagenti chimici più tradizionali (ad esempio, detergenti alcalini, riducenti come idrosolfito o tiosolfato, sali di manganese ecc.) permette di:

- evitare ripetuti cicli di risciacquo, con notevole risparmio di acqua;
- eseguire la tintura nel secondo bagno di risciacquo oppure anche nel primo, previa correzione di temperatura e pH;
- diminuire i tempi di processo;
- avere un risparmio energetico;
- non scaricare prodotti chimici inquinanti.

Il trattamento con catalasi è facile, versatile e di semplice esecuzione, adatto sia a cicli continui che discontinui.
Viene effettuato non nel bagno di candeggio, dove il pH, la temperatura e la concentrazione di acqua ossigenata sono eccessivamente elevati, ma (volendo) nel primo bagno di risciacquo oppure sicuramente nel secondo.
Può essere usata in un ampio intervallo di pH fra 6 e 10 (ottimalmente a pH attorno a 8,5) ed a temperature di bagno fino a 70 °C circa, per tempi attorno a 10-15 minuti.
A fine trattamento, l'enzima non crea inquinamento di sorta e non lascia residui chimici sul tessuto.
È evidente la semplicità dell'operazione ed il risparmio di almeno uno o più cicli di risciacquo se si vuole effettuare la tintura nello stesso bagno, con l'unica avvertenza di aggiustare opportunamente pH e temperatura.

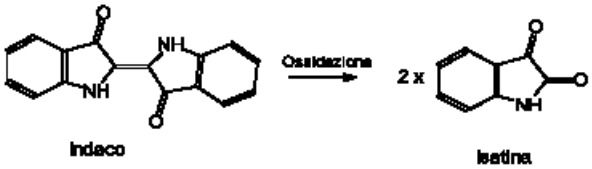
Laccasi per ossidazione enzimatica di indaco

Tradizionalmente ed ancora tutt'oggi, il candeggio di tessuti come anche l'ossidazione di coloranti fissati a tessuti oppure in soluzione viene eseguita per via chimica.
Due gli ossidanti chimici comunemente usati: l'ipoclorito e l'acqua ossigenata. Come per tutti i reagenti al cloro, anche l'uso dell'ipoclorito viene progressivamente eliminato in molti comparti industriali, fra cui anche la tintoria, sempre più a favore di ossidanti come H_2O_2, meno dannosi all'ambiente e più facilmente eliminabili a fine processo, ad esempio con catalasi (vedere paragrafo precedente).
In particolare, il candeggio dei capi in *denim*, per ottenere un effetto stinto pronunciato, viene eseguito con ipoclorito, un energico ossidante che rompe la molecola dell'indaco. Il processo non è solo ecologicamente dannoso, ma è difficile da controllare e quindi anche poco riproducibile, causa depolimerizzazione della cellulosa con perdite di resistenza del tessuto e cedimenti alle cuciture.
Infine, lo stoccaggio e l'uso dell'ipoclorito in lavanderia o tintoria richiede particolari precauzioni.
Sono state proposte alcune alternative all'ipoclorito, quali la riduzione con glucosio o con amine riducenti in condizioni alcaline, oppure l'ossidazione con ozono. Mentre un impianto ad ozono richiede un investimento non trascurabile in macchinari, la riduzione chimica dell'indaco alla forma leuco incolore, è evidentemente una reazione reversibile per cui la riossidazione all'aria restituisce la forma keto colorata blu insolubile.
Se la riossidazione della forma ridotta avviene sull'indaco ridepositato ecco che si rischia di peggiorare il *backstaining* del colorante dopo *stone wash*.
Le forme di indaco sono le seguenti:



Indaco — Leuco indaco

Recentemente è stato proposto un nuovo enzima di ossidoriduzione per la rottura ossidativa irreversibile dell'indaco che dia al capo in *denim* un effetto di "pulizia" del *backstaining* (usando bassi dosaggi) oppure di candeggio e sbianca (a dosaggi più elevati).
In natura, un importante gruppo di enzimi di ossidoriduzione è costituito dalle laccasi o polifenolossidasi. Contrariamente agli enzimi idrolitici descritti prima, le laccasi hanno una specificità meno stringente per il proprio substrato.
Le laccasi sono in grado di ossidare un ampio spettro di composti differenti, in particolare quelli con gruppi idrossilici od aminici, oppure composti aromatici eterociclici, con concomitante riduzione dell'ossigeno atmosferico (l'ossidante della reazione) ad acqua.
Le laccasi sono intensamente studiate e cominciano ad essere applicate nella sbianca enzimatica della pasta di cellulosa, con eliminazione della lignina (una struttura polifenolica estremamente complessa) in sostituzione di ossidanti chimici.
Una laccasi fungina è stata recentemente introdotta sul mercato per essere usata nell'ossidazione enzimatica dell'indaco in condizioni moderate di pH e temperatura. Visto però che l'indaco assorbito alla cellulosa è scarsamente accessibile al sito attivo dell'enzima e crea una superficie idrofobica, è necessaria la presenza di un mediatore chimico perchè il flusso di elettroni possa avvenire. In presenza di laccasi e di un opportuno mediatore, la reazione di rottura ossidativa della molecola di indaco che avviene è la seguente, generando due molecole di isatina ed una di acqua:



La presenza del mediatore è necessaria per questioni di accessibilità all'indaco, idrofobicità della superficie della fibra e scala di potenziale *redox*, ma nel tempo il mediatore stesso verrà esaurito da cicli successivi di reazione.
Quando usato a fine ciclo di *stone wash* e risciacquo di *denim*, può essere dosato in macchina a pH sotto 6,5 (meglio se a pH 4,5) e temperatura di 60-70 °C per un ciclo di 15-20 minuti.
Bassi dosaggi permettono un'ottima pulizia del *backtaining*, mentre dosaggi più elevati e magari ripetuti, danno un effetto di candeggio pronunciato.
I prodotti di reazione di questo candeggio enzimatico sono acqua, isatina di colore giallo chiaro e piccole quantità di mediatore chimico, oltre alla proteina enzimatica, il che non contribuisce in nessun modo al COD delle acque di scarico.
L'integrità del tessuto e delle cuciture non viene intaccata dalla laccasi, oltre quanto già verificatosi dopo il precedente trattamento con cellulasi.
Il sistema, come viene attualmente proposto, è specifico per l'indaco, quindi non ossida altri coloranti.
È tuttavia evidente che con una scelta opportuna di mediatore chimico e con lo stesso enzima *redox*, dovrebbe essere possibile l'eliminazione ossidativa di altri coloranti.
Questa nuova tecnologia enzimatica potrebbe quindi permettere finissaggi innovativi di tessuti e capi dopo tintura, oppure anche trattamenti di decolorazione di acqua da processi di tintura a piè di macchina, ad esempio usando bioreattori enzimatici con laccasi immobilizzata.
In questo contesto, va menzionata un'altra innovazione enzimatica che potrebbe presto essere trasferita dalla detergenza alla tintoria e lavanderia: l'uso di perossidasi nell'ossidazione di coloranti scaricati da tessuti tinti nel bagno di lavaggio. Mentre il risultato netto della reazione catalizzata da perossidasi è analogo a quello della laccasi, cioè ossidazione del colorante, in questo caso l'ossidante o accettore di elettroni è l'acqua ossigenata od altro perossido invece dell'ossigeno. Questo può a sua volta essere aggiunto tal quale od essere generato da un sistema quale il perborato + TAED, analogamente ai comuni detergenti domestici, oppure direttamente con acqua ossigenata.
Quindi, laccasi e perossidasi possono entrambi fungere da ossidanti enzimatici di coloranti, pur con qualche diversa caratteristica biochimica di reazione.
Le potenzialità applicative sono tantissime e saranno tutte da esplorare nel prossimo futuro.

La biopreparazione o purga enzimatica del cotone grezzo

La fibra di cotone è una singola cellula della pianta, costituita (dall'esterno verso l'interno) da: cuticola, parete primaria, parete secondaria e lumen, come è caratteristico di tutte le cellule vegetali.
La cuticola è la membrana esterna cerosa molto sottile (<0,2 micron) che serve a proteggere la cellula vegetale dall'acqua

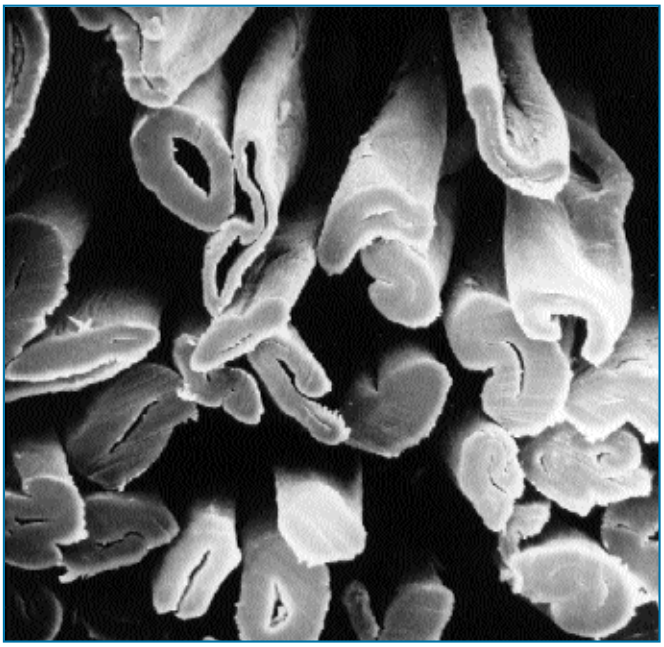


Figura 2 - Sezione trasversale della fibra di cotone

e da fenomeni atmosferici ed è composta da cere, sostanze pectiche e proteine. La componente cerosa è a sua volta costituita da acidi grassi, alcoli, steroli, alcani ecc., con una complessa miscela di esteri ad alto peso molecolare.
Le cere sono il materiale principalmente responsabile delle caratteristiche non idrofile del cotone grezzo e la loro adesione alla cellulosa è in parte mediata dalle pectine.
La parete più esterna è definita come primaria ed è formata da sostanze pectiche, emicellulose e cellulosa. Le sostanze pectiche sono prevalentemente composte da acido poligalatturonico con gruppi carbossilici variamente metilati. I residui carbossilici liberi formano invece sali insolubili con calcio e magnesio, contribuendo alle caratteristiche non idrofile del cotone grezzo assieme alle cere della cuticola. Uno schema di struttura della fibra è mostrato in Figura 1, mentre la Figura 2 riporta una foto al MES di sezione trasversale di fibra di cotone grezzo
La cuticola e la parete primaria sono composte da 55-60% circa di polisaccaridi, 8-10% di glicoproteine e 8-15% di cere. A loro volta i polisaccaridi sono composti da cellulosa ed una miscela di polisaccaridi più complessi costituiti da pectine ed emicellulose (prevalentemente xiloglucani). La parete secondaria è composta al 90% da cellulosa, con un grado di polimerizzazione molto superiore rispetto alla parete primaria e con un maggiore grado di cristallinità. I polimeri di cellulosa si associano con legami idrogeno per formare microfibrille.
Il processo di purga (*scouring*) ha per obiettivo la rimozione del materiale non cellulosico dalla superficie della fibra di cotone per renderla idrofila ed in grado di assorbire i prodotti chimici applicati in tintura e finissaggio.
Si tratta di impurezze componenti non cellulosicihe naturali provenienti dalla pianta, ma anche di impurezze provenienti dai processi di raccolta in campo, filatura e tessitura, che rendono il tessuto di cotone grezzo idrofobico e non adatto a subire processi di tintura uniforme e di finissaggio.
I processi convenzionali di purga usano soluzioni di soda caustica anche concentrata, ad alta temperatura (75-100 °C), in presenza di chelanti e tensioattivi non ionici o debolmente

cyan • magenta • yellow • black

Composizione media della fibra di cotone

Componente	*Composizione della fibra (%)*	*Composizione della parete cellulare primaria + cuticola (%)*
Cellulosa/xilo-glucani	94	54
Pectine	1,2	9
Cere	1,3	14
Proteine	0,6	8
Ceneri	1,2	3
altro	1,7	12

anionici, per tempi variabili in funzione della natura del materiale trattato, del processo seguito e del risultato finale ricercato. Sono comunemente condotti a pressione atmosferica, in cui comunque conviene prevenire il contatto del tessuto con l'ossigeno, perchè non si verifichi formazione di ossicellulosa e successiva depolimerizzazione della fibra.

Con lo *scouring* alcalino (purga) si ottengono i seguenti effetti:

- eliminazione di impurezze, naturali e non, e di parte delle guscette presenti;
- rigonfiamento della fibra, con conversione in forma solubile di parte del materiale ceroso;
- distruzione di componenti non cellulosici, come pectine, emicellulose, proteine.

Il risultato pratico è di rendere il tessuto idrofilo, preparato al candeggio ed assorbente dei prodotti chimici di finissaggio. Essendo tuttavia la purga alcalina assolutamente non specifica nella sua azione, è inevitabile che anche la cellulosa sia intaccata, dando perdite di peso e di resistenza. Inoltre, le acque di scarico dell'impianto di preparazione hanno un alto COD (dai prodotti chimici usati) e BOD (dalle impurezze della fibra rimosse) e devono essere fortemente neutralizzate, data la quantità di soda caustica presente. Nella pratica corrente, purga e candeggio in condizioni alcaline sono spesso combinate in un'unica operazione.

La purga enzimatica *o bioscouring o* biopreparazione del cotone grezzo in alternativa alla purga alcalina è stata studiata intensamente negli ultimi anni.

L'idea alla base è semplicemente di idrolizzare per via enzimatica quei componenti non cellulosici responsabili dell'idrofobicità del cotone, mediante un processo di degradazione specifico in condizioni blande di pH e di temperatura, rimuovendoli poi con un successivo risciacquo a caldo.

Considerando la composizione dell'intera fibra in cellulosa, pectine, proteine, cere ed emicellulose, sono state valutate in *bioscouring* varie famiglie di enzimi idrolitici, usati in singolo od in combinazione, quali: cellulasi, pectinasi, proteasi, lipasi, emicellulasi. Da molti studi, è emerso che un trattamento solo con pectinasi, seguito da risciacquo a caldo con un tensioattivo, è in grado di rendere idrofila ed assorbente la fibra di cotone, quanto una purga chimica. Proteasi, emicellulasi e lipasi non sembrano contribuire effetti positivi, mentre cellulasi possono indebolire la fibra stessa.

Questo risultato si spiega considerando che:

- il materiale ceroso, le sostanze pectiche e le proteine della cuticola e della parete primaria sono associate e presenti in uno stato amorfo;
- la parete primaria è maggiormente amorfa di quella secondaria;
- la superficie esterna della fibra è quindi idrolizzabile più facilmente del suo corpo centrale;
- le pectinasi distruggono la struttura della cuticola, idrolizzando le pectine e rimuovendo le connessioni con cere e proteine, oltre che fra queste e la rimanente struttura della fibra.

Le pectine connettono le cere alla cellulosa della parete primaria, ma non è necessario eliminare tutte le pectine per avere completa idrofilia. Anche quando il 30% di pectine residue rimangono sul tessuto, un lavaggio a 80-90 °C dopo stoccaggio elimina le cere solubilizzate.

Grazie alla recente produzione per ingegneria genetica di una pectinasi alcalina batterica, è ora possibile l'introduzione a livello industriale della purga enzimatica.

Questa pectinasi è più esattamente una pectina liasi, agisce quindi sulle pectine indipendentemente dal loro grado di metilazione come indicato in Figura 3.

Trova applicazione su tessuti a navetta in continuo e su maglia in discontinuo.

Può essere applicata ad esaurimento o per impregnazione (a *pad batch*) in un opportuno tampone a pH 8-9 contenente un imbibente, a temperature fra 50 e 60 °C o più basse e per tempi variabili da alcune decine di minuti ad alcune ore, a seconda del tessuto, del dosaggio e della temperatura di stoccaggio. In queste condizioni, è anche possibile combinare i due trattamenti di purga e sbozzima in uno solo, essendo compatibili le condizioni d'uso di pectinasi ed amilasi.

Segue un risciacquo a caldo per eliminare i componenti idrolizzati e quelli cerosi liberati.

L'efficacia della purga enzimatica è misurata principalmente dall'idrofilia del tessuto trattato. Si ottienie lo stesso grado di idrofilia (con il *drop test*) paragonando purga chimica ed enzimatica. Il contenuto residuo di pectine è comparabile nei due

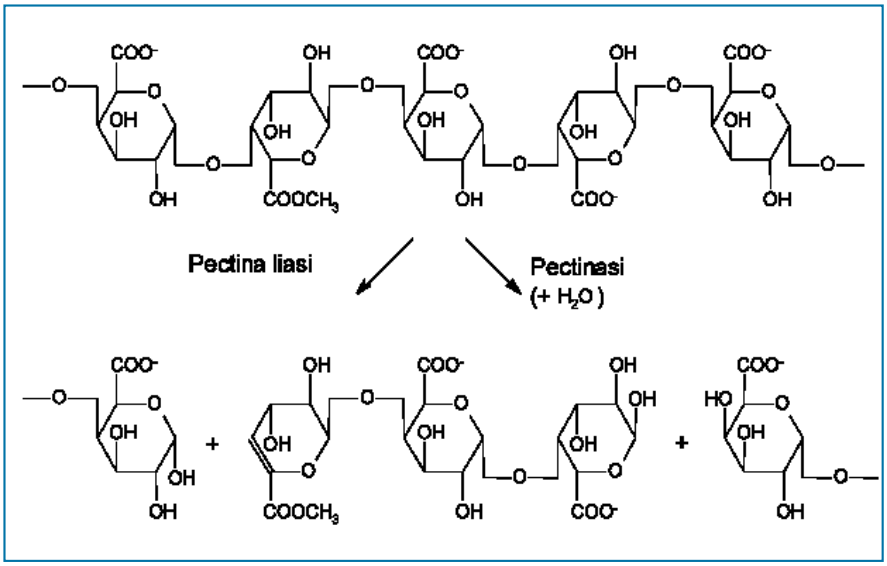


Figura 3 - Struttura della pectina (PGA, acido poligalatturonico)

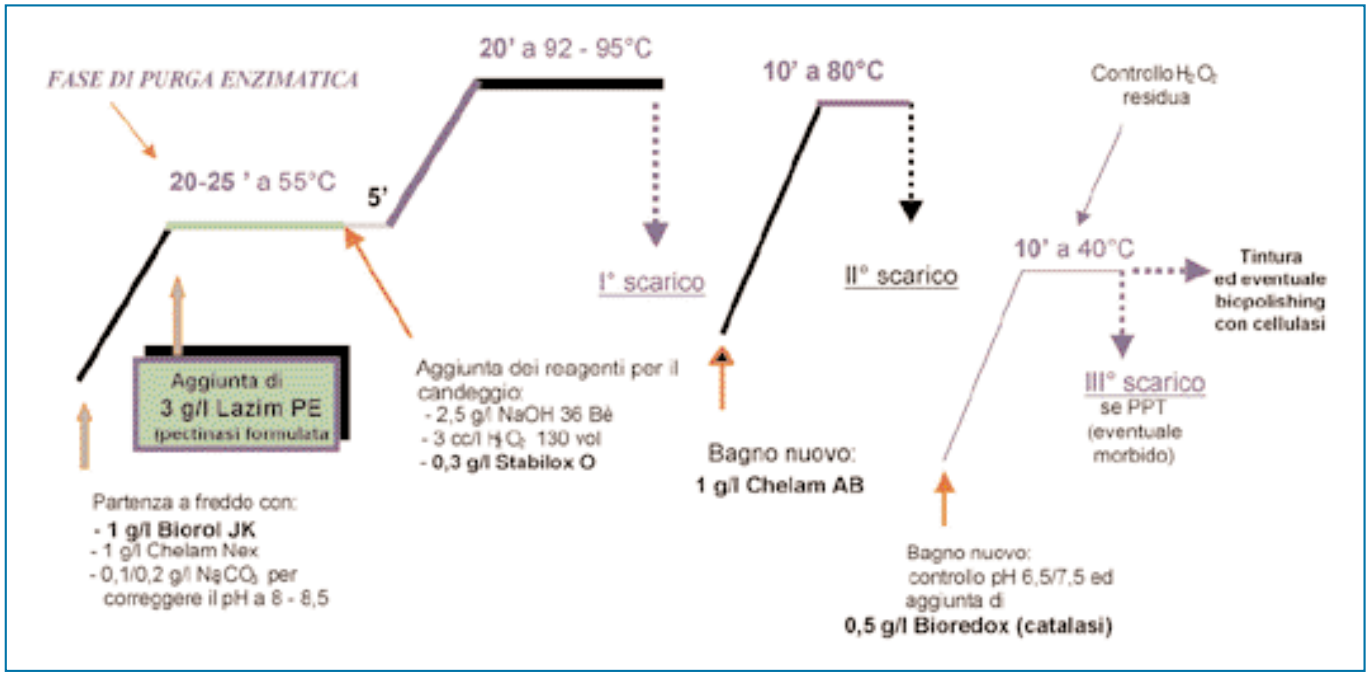


Figura 4 - Schema di lavorazione per bioscouring ad esaurimento su filato o capo confezionato e successivo candeggio

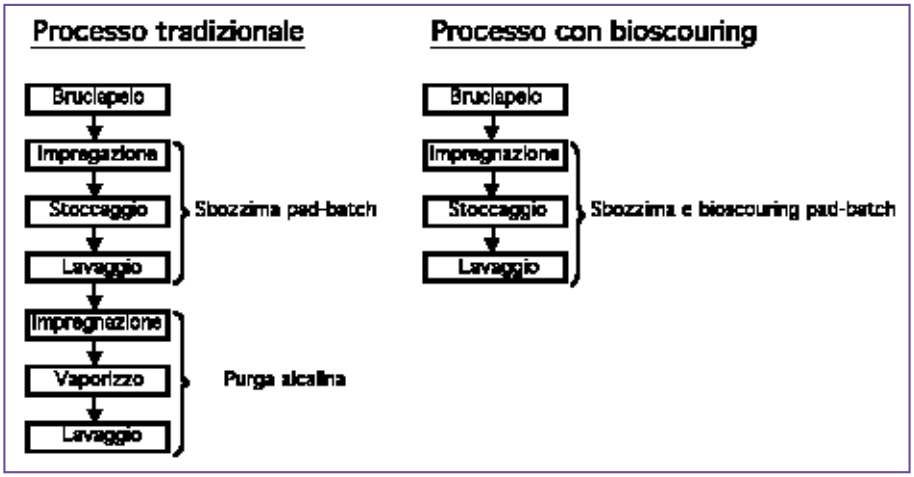
approcci, ma ciò non è influente sull'idrofilia, essendo questa determinata prevalentemente dai componenti cerosi della cuticola.
D'altra parte, con la sola purga enzimatica, le guscette non vengono eliminate (si tratta infatti di materiale ligneo) e non aumenta il grado di bianco.
Entrambi questi aspetti sono comunque risolti nel successivo candeggio.
Fra i potenziali vantaggi applicativi e commerciali della purga enzimatica, si possono citare:

- risparmio di acqua e di energia;
- minor impatto ambientale e maggiore facilità di trattamento delle acque di scarico;
- migliore compatibilità con altri processi, macchinari e materiali;
- minor intacco della struttura della fibra, perdita di peso e resistenza, con miglioramento della qualità dell'articolo;
- miglioramento di mano;
- possibilmente, un più alto grado di polimerizzazione della cellulosa ed una minor tendenza del tessuto a fibrillare formando *pilling* successivo;
- migliore e più uniforme affinità tintoriale;
- con tessuti navetta, possibilità di combinare i due passaggi di sbozzima e purga in uno solo;
- nel caso di maglia, possibilità di combinare purga con *biopolishing* mediante cellulasi, operando in *jet* oppure *overflow*;
- sempre nel caso di maglia da tingere con toni scuri, possibilità di evitare candeggio dopo biopreparazione e di eseguire tintura nello stesso bagno;
- possibilità di purgare il cotone anche in miste con fibre più delicate.

Infine, pur essendo un aspetto da studiare e mettere a punto caso per caso, anche il processo di candeggio può essere rivisto nel senso di condizioni più moderate di pH, a seguito di *bioscouring* con pectinasi, pur raggiungendo lo stesso grado di bianco e rimozione completa di guscette.
Un esempio di schema integrato di trattamento industriale di maglia, capo o filato in un sistema ad esaurimento è esemplificato in Figura 4. Nello schema, oltre alla pectinasi in biopreparazione, può anche essere inserita la catalasi dopo candeggio ed eventualmente una cellulasi finale per *biopolishing*.

Trattamento pad-batch *su tessuti*

Per la preparazione di tessuti a navetta, è possibile combinare il trattamento di *bioscouring* con la sbozzima a *pad-batch* con amilasi.
In questo caso, si ottengono con un solo passaggio caratteristiche di preparazione confrontabili a quelli ottenibili con una preparazione a 2 *step* di sbozzima e purga alcalina, come nello schema seguente.



Conclusioni e prospettive

In relativamente poco tempo, il comparto tessile è diventato quasi una filiera di enzimologia industriale!
Fino a dieci anni fa, l'uso delle normali amilasi di sbozzima era più o meno l'unica applicazione nota e sarebbe stato difficile immaginarsi un tale *boom* di sviluppo di nuovi enzimi e relative applicazioni in campo tessile.
Riteniamo che non si è raggiunto ancora il massimo sviluppo e la massima diffusione dell'enzimologia in questo settore.
Vi sono ancora molti progressi da compiere, quali:
- i costi devono diventare ancora più competitivi;
- la facilità d'uso e di controllo dei parametri di processo deve essere migliorata.
- deve essere risolta la questione di inserire fasi di trattamento enzimatico in processi in continuo;
- devono essere sviluppati nuovi enzimi, soprattutto attivi in ambiti di pH e di temperatura più ampi;
- devono essere messi a punto metodi rapidi, semplici ed economici di misura di attività enzimatica per dare all'operatore maggiore controllo sul processo;
- serve diffondere una cultura biochimica negli ambienti tessili, sia tecnici che commerciali

Da un punto di vista più propriamente biochimico, queste sono le linee di tendenza di sviluppo dell'enzimologia tessile sul medio termine:
Amilasi: con ottimo di pH acido oppure alcalino; stabili in condizioni ossidanti; attive in assenza di ioni calcio; ad alta attività specifica per processi di sbozzima in continuo.
Cellulasi: specifiche per le particolari fibre, tipi ed armature di tessuto da trattare, in funzione dell'effetto di finissaggio desiderato e con minimi effetti secondari di danneggiamento; attive a bassa oppure ad alta temperatura; con attività modulabile sia in positivo che in negativo a seconda della fase del processo; stabili in condizioni ossidanti ed a pH estremamente alcalino; utilizzabili nel carbonizzo della lana.
Pectinasi: specializzate per purga enzimatica, con ottimo di pH alcalino; attività indipendente da ioni calcio e compatibili con processi di sbozzima; competitive con purga chimica.
Proteasi: specifiche per lana o per seta, per modifiche di mano, per modulare l'affinità tintoriale e favorire il processo di candeggio.
Emicellulasi (ad esempio, galattomannanasi): specifiche per gomme da stampa ed aiutarne l'eliminazione.
Catalasi: con più alta tolleranza a pH alcalini, alta temperatura ed alte concentrazioni di acqua ossigenata.
Lipasi: attive su cere naturali e/o su componenti trigliceridi di bozzima; in purga di lana sucida o per eliminazione dello strato lipidico dell'epicuticola della fibra di lana.
Perossidasi e laccasi: stabili ed efficaci nell'ossidazione di coloranti sul tessuto e/o nel bagno; forse nella depigmentazioni di fibre pregiate (ad esempio, cashmere, vicuna ecc.).
Disolfuro isomerasi o reduttasi od ossidasi: per possibili impieghi nella modifica di ponti cistinici di keratine come per lana non feltrente od altre fibre animali.
Tutti questi sono solo esempi di sviluppi in corso o possibili.
Certo è che l'enzimologia sta trovando sempre maggior posto nella pratica della preparazione e del finissaggio tessile.
Non è una tecnologia che elimina né la chimica né la meccano-tessile, ma che ben si integra con esse.
Per un'industria tessile come quella italiana, dipendente per il proprio successo commerciale soprattutto da un'eccellente capacità e sensibilità nel finissaggio dell'articolo tessile, come viene riconosciuto mondialmente, una buona padronanza dell'enzimologia diventa quindi un ottimo fattore di vantaggio competitivo.

Bibliografia

- Watson, J.D. Gilman *et al.,* Recombinant DNA, W.H. Freeman & Co (Eds.), New York,1992.
- Godfery, Industrial Enzymoloy, T. and West (Eds.), Macmillan Press, London, 1996.
- Cegarra, The state of the art in textile biotechnology, JSDC 112, 3276,1996.
- Heine, Hocker, *Rev. Prog. Coloration,* 1995, **25,** 57.
- Beguin, Aubert, *FEMS Microbiology Reviews,* 1994, **13**, 25.
- Medve, Karlsson *et al., Biotecnol. & Bioing.,* 1998, **59,** 621.
- Rouvinen, Bergfors *et al., Science,* 1990, **249,** 380.
- Linder, Teeri, *J. Biotechnology,* 1997, **57,** 15.
- Schulein, *J. Biotechnology,* 1997, **57,** 71.
- Harkki, Mantyla *et al., Enzyme Microb. Technol.,* 1991, **13,** 227.
- Divne, Stahlberg *et al., Science,* 1994, **265,** 524.
- Kleman-Leyer, Siika-Aho, *et al., Appl. Environ. Microbiol.,* 1996, **62,** 2883.
- Arunachalam, Kellis, *Biochemistry*, 1996, **35,** 11379.
- Kumar, Yoon *et al., Textile Chemist & Colorist,* 1997, **29,** 37.
- Cavaco-Paulo,Morgado *et al., J. Textile Res.,* 1998, **68**, 398.
- Galante, De Conti *et al.,* Trichoderma & Gliocladium, Harman and Kubicek (Eds.), 1998,311.
- Cavaco-Paulo, *Carbohydrate Polymers,* 1998, **37,** 273.
- Buschle-Diller, Traore, *J. Textile Res.,* 1998, **68,** 185.
- Janecek, *Prog. Biophys.Molec. Biol.,* 1997, **67,** 67.
- Borchert, Lassen *et al.,* Carbohydrate Bioengineering, Petersen *et al.* (Eds.), 1995,175.
- Riva, Cegarra *et al., JSDC*, 1993, **109,** 210.
- Douthwaite, Lewis, *JSDC,* 1994, **110,** 304.
- Galante, Foglietti *et al.,* Enzyme Applications in Fiber Processing, Eriksson and Cavaco-Paulo (Eds.), 1998, 294.
- Levene, *JSDC,* 1997, **113,** 206.
- Riva, Alsina *et al., JSDC*, 1999, **115,** 125.
- Milstein, Nicklas *et al., Appl. Microbiol. Biotechnol,* 1989, **31,** 70.
- Bollag, Shuttleworth, Anderson, *Appl. Environ. Microbiol.,* 1988, **54,**3086.
- J.V. Kierulff, *Textile Horizons,* Oct/Nov, 1997, 33.
- WO, *Alkaline enzyme scouring of cotton textiles,* 1998, 24965.
- Y. Li, I.R. Hardin, *J. Textile Rad esempio,* 1998, **68,** 671.
- K. Sawada, S. Tokino *et al., JSDC,* 1998, **114,** 333.
- Hartzell, Y.L.Hsieh, *J.Textile Res.,* 1998, **68,** 233.
- J. Buchert, J. Pere, *Textile Chemist and Colorist,* 2000, **32,** 48.
- L. Heikinhelmo, J. Buchert *et al., J. Textile Res.,* 2000, **70,** 969.