



Quest'opera realizzata da "ECOSIGN Consortium" è distribuita sotto i termini della Licenza [Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 Internazionale](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



# Eco-Design nel settore Tessile

Unità 02: I processi di trasformazione delle materie tessili: filatura, tessitura, finissaggio, confezionamento

Paolo Ghezzo. [paolo.ghezzo@centrocot.it](mailto:paolo.ghezzo@centrocot.it)



2.1. Introduzione .....	2
2.2. Immagazzinamento delle materie prime .....	4
2.3 Filatura e Tessitura .....	5
2.3.1 Filatura delle fibre Man-Made .....	5
2.3.2 Filatura: fibre naturali o fiocchi discontinui .....	6
2.3.3 Produzione dei tessili: Tessitura, Maglieria e tessuti non tessuti .....	8
2.4 Nobilitazione .....	9
2.4.1 Pretrattamenti.....	10
2.4.2 Tintura e Stampa .....	11
2.4.3 Finissaggi .....	13
2.5 Confezionamento .....	16
2.6 Principali questioni ambientali dei processi.....	16
2.6.1 BAT e BREF: il loro ruolo chiave.....	17
2.7 Panoramica sul riciclo e sul riuso .....	18
2.8 Per approfondire .....	19



Al termine di questa unità, lo studente sarà in grado di:

- Conoscere i principali processi della filiera tessile
- Conoscere le principali questioni relative agli impatti ambientali della filiera
- Conoscere i principali database per applicare le Best Practice nell'Eco-Design



## 2.1. Introduzione

L'industria tessile nel suo complesso genera una gamma di prodotti tra le più ampie ed articolate nel mondo manifatturiero, perciò il settore, costituito sia da grandi gruppi che da molte piccole e medie imprese (PMI), risulta estremamente eterogeneo e costituisce una delle filiere più lunghe e complesse. Inoltre, la catena produttiva tessile è notevolmente frammentata, in quanto i vari processi di lavorazione intermedia sono generalmente eseguiti da soggetti differenti.

Tutto questo si traduce in un gran numero di sotto settori che coprono l'intero ciclo di produzione tessile, nel passaggio dalle fibre grezze (descritte nell'Unità 01) ai prodotti finiti.

Questa Unità analizza i processi di realizzazione dei beni di consumo, affrontando in special modo le implicazioni ambientali della filiera produttiva dei semilavorati.

L'Unità fornisce una base per progettare tessuti e beni di moda più responsabili e per guidare i processi produttivi verso l'adozione di criteri di produzione a basso impatto ambientale.

Inoltre, verranno affrontate le tematiche delle Best Available Techniques (migliori tecniche disponibili) offrendo suggerimenti all'azienda riguardo al miglioramento dei processi in conformità agli standard europei.

Con riferimento al complesso mondo del settore tessile, in questa Unità viene posta l'attenzione alle varie fasi di lavorazione, che possono essere semplificate, nell'ottica di un processo lineare, con:

- filatura e tessitura
- nobilitazione e finissaggio
- confezione dei capi o dei prodotti finali

L'intero processo produttivo tessile viene sinteticamente raffigurato nello schema successivo (Figura2.1):



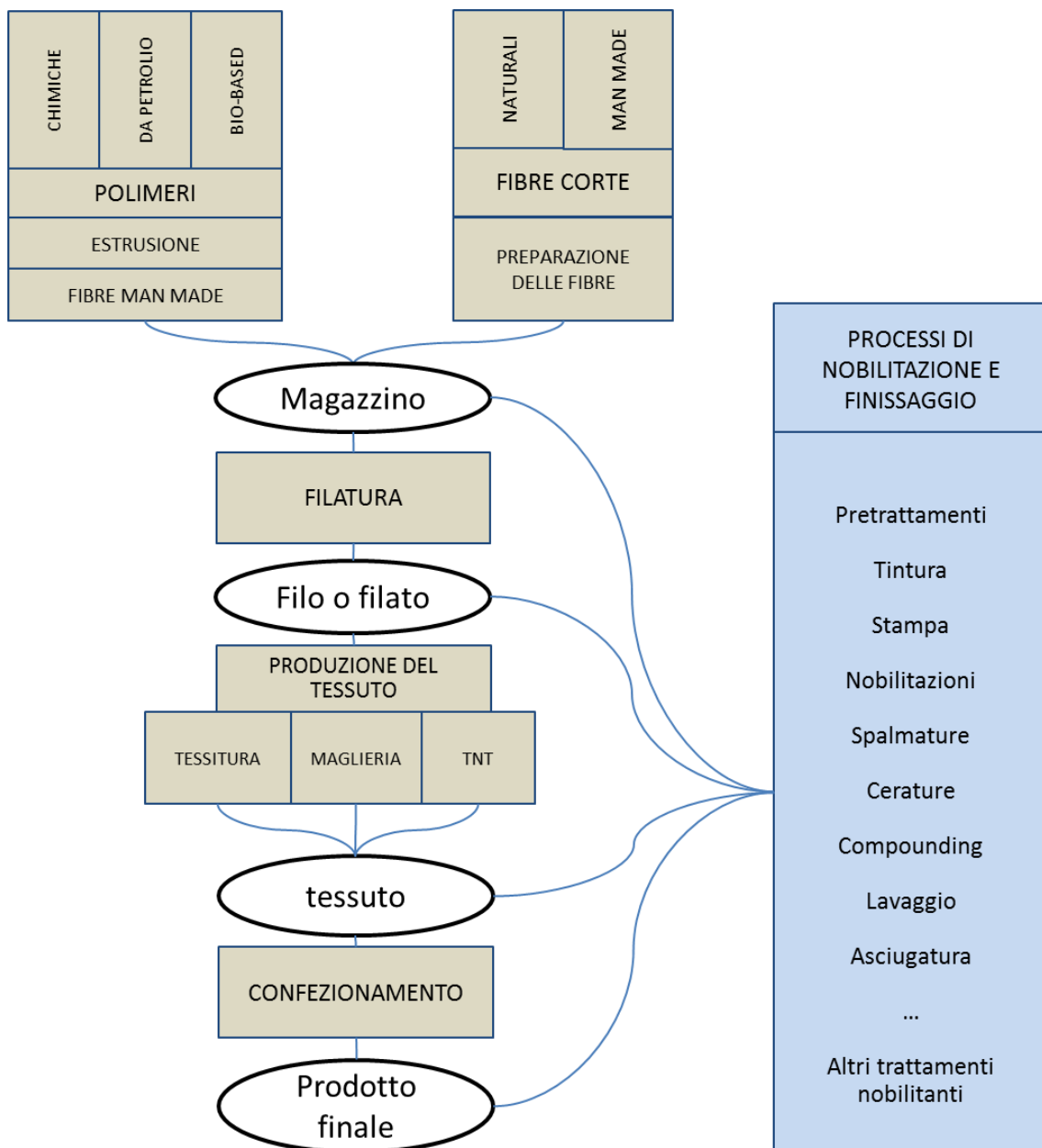


Figura 2.1 Processi standard della filiera tessile

Per semplicità, la complessità del settore si può attribuire alla somma di due principali componenti, legati tra di loro a doppio filo e che interagiscono con un rapporto reciproco:

- la varietà delle lavorazioni possibili, ciascuna delle quali è caratterizzata da aspetti tecnici, chimici, produttivi e, di conseguenza, anche da aspetti legati alla sostenibilità ambientale;
- la varietà dei materiali possibili, i quali, a seconda delle specifiche proprietà e delle prestazioni ricercate, richiedono o escludono alcune lavorazioni.



La Figura 2.2 schematizza i possibili flussi dei materiali tessili lungo la catena di fornitura.

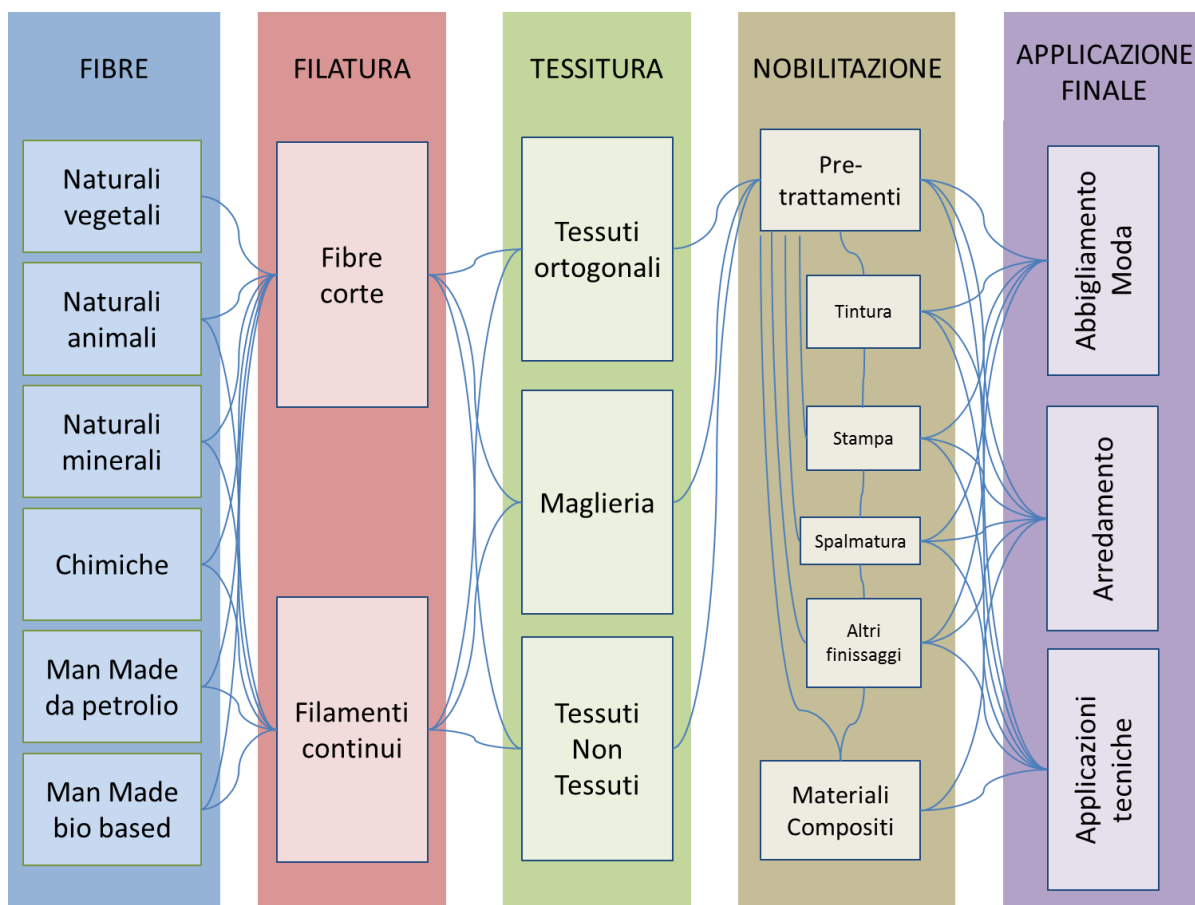


Figura 2.2 diagramma dei flussi di materiali nei principali processi tessili

La questione principale, in fase di progettazione dei prodotti, consiste nel saper valutare se l'impiego di particolari processi di nobilitazione possa portare ad una sensibile riduzione degli impatti ambientali dei prodotti finali, sia in termini economici che di bilancio ambientale.

Come vedremo in dettaglio, ciascuno dei trattamenti disponibili comporta costi in termini di possibili inquinanti e in termini di consumo di acqua e di energia. Durante la progettazione, tali questioni dovrebbero essere ben considerate, facendo riferimento sia alle banche dati disponibili che alla disponibilità di nuovi prodotti e tecnologie da utilizzare per ridurre i possibili carichi ambientali.

## 2.2. Immagazzinamento delle materie prime

Le materie prime tessili in arrivo allo stabilimento vengono innanzitutto immagazzinate in depositi dedicati e registrate prima di essere messe in lavorazione.



Gli agenti chimici di base, cioè acidi, gli alcali e le sostanze chimiche ausiliarie di massa vengono normalmente depositati in un'area specifica, con le dovute precauzioni per la sicurezza. Per alcuni componenti, come i prodotti ad alto valore e sensibili all'umidità o ad altri fattori (es. coloranti e pigmenti), vengono trasferiti direttamente all'area di preparazione ("cucina colori"). Tali componenti sono generalmente in polvere, per cui le cucine colori sono normalmente dotate di sistemi di aspirazione e filtraggio per garantire la salute dei lavoratori e la sicurezza in generale.

## 2.3 Filatura e Tessitura

I processi di filatura tessile (detta anche filatura secondaria) e tessitura sono processi meccanici, e i loro impatti ambientali più rilevanti sono legati a consumi energetici ed idrici, alla generazione di rifiuti solidi, polvere e rumore. Se consideriamo il ciclo di vita complessivo di un prodotto tessile (vedi Unit 06) essi non costituiscono un grande impatto ambientale, specialmente perché in genere l'uso di ausiliari o agenti chimici è ridotto, se non in alcuni casi nullo. Tali prodotti ausiliari vengono utilizzati al fine di ottimizzare i processi di produzione e sono essenzialmente lubrificanti, oli, cere o paraffine, bozzime o stabilizzanti. Questi vengono poi eliminati nelle prime fasi di nobilitazione con purghe e lavaggi appositi.

### 2.3.1 Filatura delle fibre Man-Made

Le fibre Man Made (sintetiche e artificiali) vengono estruse in filamenti continui (filatura primaria), che possono essere utilizzati così come si presentano, subire dei processi di trasformazione e nobilitazione (come stiro, torcitura, testurizzazione, tintura, finissaggi funzionalizzanti), o tagliate in frammenti di lunghezza definita per essere filate in un processo per fibre discontinue (simile a quelli utilizzati per la lana o il cotone).

I tre metodi principali per la formazione del filo primario (continuo) sono:

- filatura per fusione (melt-spinning): il polimero viene disciolto e poi, tramite pressione, estruso attraverso una testa di filatura (filiera); i fili formati vengono poi raffreddati e tramite azioni di stiro vengono regolarizzati secondo i titoli desiderati. Tale processo è adatto a fibre termoplastiche (poliestere, poliammide, poliolefine e fibre di vetro)
- filatura a secco (dry-spinning): il polimero viene prima disciolto con solvente, poi estruso attraverso una filiera in una camera con aria calda o particolari gas che ne fanno evaporare il solvente, formando così il filamento; successivamente verrà trattato con i processi tradizionali di filatura. Questo processo è usato per acetato, triacetato e poliacrilonitrile
- filatura ad umido (wet-spinning): il polimero è disciolto in soluzione e poi filato, sempre attraverso una filiera, in un bagno in cui il polimero non è solubile; il solvente viene



dissipato per reazione chimica con il bagno in modo che la fibra possa prendere forma. Successivamente la fibra dovrà essere lavata per rimuovere i residui di solvente. La filatura ad umido è di solito usata per fibre come viscosa e acrilico

Una volta prodotto il filamento, sono possibili due strade:

1. utilizzare i fili prodotti, intervenendo eventualmente sulla “forma” (sezione) della fibra;
2. tagliare le fibre in fiocco (staple fibre) per usarle nei processi tradizionali delle fibre discontinue, come cotone o lana. Questa seconda strada è la più comune per produrre filati in mischia con fibre naturali, grazie alla “similitudine” della lunghezza delle singole fibre.

Gli aspetti ambientali più rilevanti legati ai processi di filatura per le fibre Man-Made sono il consumo energetico e l’uso di agenti chimici.

Questi infatti possono essere applicati in varie fasi, oltre alla filatura primaria, in relazione alle lavorazioni che devono essere eseguite (ad es. roccatura, torcitura, orditura, ecc.). Sono pertanto previste delle procedure di sicurezza per ridurre il rischio di inquinamento delle acque reflue e generazione di emissioni in aria, che tutte le aziende sono tenute a adottare.

### 2.3.2 Filatura: fibre naturali o fiocchi discontinui

Le fibre naturali derivano da fonti animali e vegetali e non richiedono il processo di sintesi visto per le fibre Man-made. A differenza di quest’ultime però, prima della lavorazione vera e propria, le fibre naturali devono essere preparate e lavate, al fine di eliminare i residui di materiali estranei e lo sporco. In alcuni casi questa fase è quella più impattante a livello ambientale dell’intero ciclo di filatura, per cui merita un breve approfondimento per alcuni casi presi ad esempio.

#### Lana

La lana, dopo la tosatura, viene aperta e spolverata per poi essere lavata al fine di rimuovere i contaminanti e il grasso in eccesso presente sulla fibra, con bagni sopra i 40°C, che è la temperatura di fusione del grasso. Tali bagni richiedono poi specifici trattamenti di purificazione per eliminare il carico di sostanze potenzialmente inquinanti prima della loro uscita dagli impianti. Successivamente si procede con la sbiancatura, che prevede l’uso di perossido di idrogeno e acido formico o acido acetico. Altri processi possibili includono trattamenti antitarma, con un insetticida piretroide sintetico e acido acetico o acido formico, e infine una sterilizzazione con formaldeide. Risulta quindi evidente che i processi di preparazione della lana sono caratterizzati da un significativo utilizzo di prodotti chimici e acqua.

Di conseguenza, le principali questioni ambientali associate al processo di lavaggio della lana riguardano le emissioni in acqua, i rifiuti solidi e le emissioni in aria.



La rimozione dei contaminanti dalla fibra può generare acque di scarico, fanghi o, in caso di incenerimento di questi, emissioni gassose. Si rischia di immettere quindi nell'ambiente i seguenti inquinanti: sostanze organiche, composti contenenti zolfo e azoto, residui di prodotti chimici derivanti da detersivi, ausiliari e perfino dai medicinali veterinari (utilizzati sull'animale di origine).

#### Cotone e fibre liberiane

Il cotone grezzo, escludendo tutti le fasi di coltivazione della pianta e raccolta del fiocco già trattate nell'Unità 1, non presenta grossi impatti ambientali nella fase di preparazione: le fibre, fornite in balle compresse sono pulite per rimuovere le particelle di sporco e mescolate con fibre di diversi lotti per garantire la costanza di caratteristiche e prestazioni tra forniture differenti.

Con lino e fibre simili, l'estrazione e la pulizia della fibra dal gambo della pianta avviene in diverse fasi che possono generare acque di scarico con elevato contenuto di inquinanti organici a causa della degradazione delle sostanze pectiniche ed emicellulose presenti sul materiale fibroso.

#### Seta

Per la produzione della seta, la crisalide del baco da seta viene uccisa tramite vapore e il filamento viene dipanato direttamente dal bozzolo. Nella fase di preparazione alla filatura, il filamento viene sottoposto a pretrattamenti per rimuovere la sericina (una delle proteine della seta, che deve essere eliminata) e altre impurità. Questa fase impiega acqua e prodotti chimici, che devono poi essere opportunamente trattati.

#### Filatura delle fibre discontinue

La successiva filatura delle fibre discontinue si divide in base al tipo di fibra perché ognuna di esse ha delle caratteristiche proprie, come ad esempio la lunghezza, il titolo e la finezza. In generale si possono distinguere due principali processi: il ciclo di filatura della lana e quello del cotone. Il processo laniero si distingue a sua volta tra pettinato e cardato; quello cotoniero invece prevede una serie più articolata di operazioni (apertura e prelevamento, carda, stiro e accoppiamento, banco a fusi, eventuale pettinatura, filatura ad anello o open end, eventuale ritorcitura) e può dividersi in tre cicli: cardato, pettinato e open-end.

Nei processi di filatura possono essere impiegati agenti chimici ausiliari che dovranno essere rimossi prima delle fasi successive, con il rischio di generare emissioni in acque reflue o in aria. I principali agenti usati sono sostanze organiche (oli minerali), idrocarburi poliaromatici, alchilfenoli etossilati e biocidi. Con le fibre sintetiche la quantità di agenti chimici aumenta sensibilmente fino ad arrivare ad un 7% in peso nel caso di quelle elastomeriche.



### 2.3.3 Produzione dei tessuti: Tessitura, Maglieria e tessuti non tessuti

In questa fase, concettualmente si passa da una dimensione lineare (il filo) ad una superficie (il tessuto).

Nella fase di produzione dei tessuti si possono considerare tre diverse tecniche: la tessitura, la maglieria e la produzione di tessuti non tessuti.

Le tre famiglie hanno proprietà e processi diversi e generano, di conseguenza, prodotti con caratteristiche molto diverse tra di loro. In questa Unità non entreremo nel merito del panorama dei tessuti, ma ci concentreremo sugli impatti ambientali più rilevanti legati alla loro produzione, e come poter adottare delle accortezze in fase di progettazione per migliorarne la sostenibilità.

Gli impatti ambientali associati ai processi di realizzazione del tessuto sono fondamentalmente legati al consumo energetico delle macchine e delle utenze e da un discreto consumo di prodotti chimici che vengono caricati sul filo da tessere allo scopo di facilitare il processo.

Ad esempio, per ottimizzare la produzione della maglieria spesso si usa preparare il filo con una lubrificazione o una ceratura. L'olio e la cera che rimangono sul tessuto finale saranno successivamente lavati durante i primi trattamenti di finissaggio, generando quindi un carico inquinante.

Nel complesso l'impatto ambientale della tessitura è superiore a quello della maglieria, a causa del maggiore numero di processi di preparazione e dell'impiego di bozzime per rafforzare l'ordito. La bozzima, essendo composta da amidi naturali o da agenti chimici, durante la sua rimozione può comportare inquinamento delle acque reflue, pertanto per ridurre gli impatti sull'ambiente, tali prodotti devono essere recuperati o neutralizzati durante il trattamento delle acque reflue.

Negli ultimi decenni comunque i produttori di macchinari tessili hanno indirizzato lo sviluppo delle macchine al fine di ottimizzare l'efficienza energetica, ridurre il consumo di prodotti ausiliari e ridurre l'emissione di gas.

Le principali "Best Available Techniques" (BAT) nella produzione dei filati e dei tessuti prevedono di:

- Nella filatura, chiedere ai fornitori di non utilizzare oli, o di usare oli biodegradabili;
- Nella maglieria, sostituire l'uso di oli minerali con paraffine biodegradabili;
- Bandire i tessuti in cui sono stati aggiunte sostanze a base di PCP (pentaclorofenolo) come stabilizzanti;
- Chiedere ai fornitori di sostituire gli agenti chimici con sostanze naturali e/o biodegradabili, ed usare tecniche che ne minimizzano l'uso;
- Impiegare tecniche per il recupero ed il riuso degli agenti chimici usati;





- Non utilizzare agenti chimici sprovvisti della corretta documentazione tecnica e di sicurezza;
- Chiedere ai fornitori di combinare diversi processi al fine di ridurre il consumo di energia, agenti chimici e di acqua;
- Utilizzare processi produttivi alternativi ed innovativi, caratterizzati da una maggior efficienza e ridotto impatto ambientale.

Un tipico esempio inerente l'ultima pratica è quello della maglieria seamless (senza cuciture), che è in grado di creare un unico capo, tridimensionale, direttamente dalla macchina di maglieria, per cui non necessita dei successivi processi di taglio e cucito. Tale processo è in grado di velocizzare i tempi di produzione (del 30/40 %), di ridurre i costi poiché elimina il confezionamento del capo e ridurre la produzione di scarti.

## 2.4 Nobilitazione

Per divenire prodotti finiti i tessuti devono passare attraverso alcuni processi detti di nobilitazione e finissaggio, che hanno lo scopo di aumentare il livello qualitativo dei prodotti, di conferire la loro identità finale e di dotarli di proprietà particolari. I processi di nobilitazione rappresentano il maggior contributo sull'impatto ambientale di tutta la filiera tessile, in termini di consumo d'acqua, energia ed agenti chimici.

La nobilitazione per comodità di spiegazione viene descritta come fase successiva al processo di tessitura, ma nella realtà può essere eseguita in stadi diversi del processo di produzione, come abbiamo visto nella tabella 2.1 (o come nell'esempio che verrà illustrato nell'Unità 06: il tessuto "tinto in filo" prevede la tintura del filato prima della tessitura).

Inoltre, sebbene i cicli di filatura e tessitura siano abbastanza standardizzati, le fasi di nobilitazione invece comportano una combinazione di processi molto più frammentati ed articolati.

Come detto, i processi di nobilitazione hanno la maggior quota di impatto ambientale, poiché necessitano di risorse idriche (ad esempio per la preparazione dei bagni e i lavaggi), energia (impiegata per riscaldare i bagni e per asciugare il materiale) e prevedono l'uso di diversi agenti chimici.

Si rende quindi obbligatorio focalizzare le macro aree al fine di fornire delle indicazioni generali su come poter intervenire in fase di progettazione. Durante questa Unità forniamo tali indicazioni ma, data la complessità dell'argomento, nel caso di una produzione reale sarà necessario avere un dialogo costante e continuo con gli esperti del settore e con i delegati delle aziende specifiche.



Le lavorazioni di nobilitazione, come anticipato, sono estremamente articolate e diversificate, sulla base del tipo di prodotto finito che si desidera ottenere, della natura della fibra impiegata e del tipo di supporto tessile impiegato (ad esempio un tessuto ortogonale ha finissaggi diversi rispetto alla maglia, anche se alcuni possono essere molto simili o addirittura uguali)

I principali fattori che influenzano i processi di nobilitazione sono:

- il tipo di fibra: fibre naturali come cotone, lana, lino e seta richiedono specifiche operazioni e reagenti chimici, e la loro lavorazione è più articolata rispetto alle fibre Man-Made. Ciò è dovuto in particolar modo al fatto che le fibre naturali contengono un maggior numero di sostanze che possono interferire durante i vari processi. Le fibre Man-Made invece implicano l'uso di agenti chimici e stabilizzanti più "forti", e che quindi necessitano di trattamenti più aggressivi per essere rimossi.
- il tipo, lo stato, la geometria e le dimensioni del substrato tessile che deve essere trattato (ad esempio si può variare dalle fibre, filati, tessuti, maglie o tessuti non tessuti)
- la quantità di materiale che deve essere trattata, il suo stato e la tecnologia disponibile. Ad esempio, si può scegliere tra cicli continui o discontinui: per grandi quantità si opta per cicli continui, ma per piccoli lotti i cicli discontinui sono economicamente più efficaci.

Per questioni pratiche raggrupperemo i processi di nobilitazione in macro aree: pre-trattamenti, tintura e stampa, finissaggi.

### 2.4.1 Pretrattamenti

I processi di pretrattamento sono eseguiti al fine di: rimuovere materiali estranei dalle fibre; migliorarne caratteristiche come l'uniformità e l'idrofilia (per un maggiore affinità con i coloranti); rilassare le tensioni nelle fibre sintetiche al fine di evitare instabilità dimensionali e increspature che potrebbero influenzare la qualità e le prestazioni del prodotto finito.

I principali pretrattamenti utilizzati nella lavorazione del cotone sono: purga, sbazzima, candeggio, mercerizzo, bruciapelo/gasatura. Spesso alcuni di essi sono combinati in un unico passaggio al fine di velocizzare il processo e ridurre il consumo delle risorse. I principali impatti ambientali sono legati all'utilizzo di prodotti chimici e acqua, ai consumi energetici e alle emissioni derivanti.

La sbazzima è il primo passaggio destinato a rimuovere residui e sporco derivanti dai processi precedenti. Le tecniche sono diverse, in relazione al tipo di agente imbozzimante impiegato: insolubili o solubili in acqua. Nel primo caso si usano processi enzimatici o trattamenti chimici analoghi al fine di ottenere una forma lavabile degli agenti stessi; molto spesso questa azione viene combinata con il candeggio nello stesso bagno. Agenti idrosolubili, invece, richiedono un bagno di risciacquo con acqua calda e



carbonato di sodio; spesso il bagno viene additivato con alcuni ausiliari per incrementarne l'efficienza. Purtroppo, questo passaggio rappresenta uno dei più critici in merito alle emissioni in ambiente a causa della bassa biodegradabilità dei composti presenti nelle acque reflue.

La purga serve ad estrarre le impurità presenti sulle fibre grezze come pectine, grassi e cere, proteine, sostanze inorganiche, e sostanze residue dalle lavorazioni precedenti. Il processo viene effettuato utilizzando prodotti chimici simili a quelli impiegati nel successivo processo di candeggio ma in condizioni più drastiche in modo da garantire un effetto di rimozione sufficientemente forte.

Il candeggio viene impiegato per produrre fibre e tessuti bianchi, per aumentare la brillantezza delle fibre sia naturali che artificiali, ed è necessario come azione preparatoria per la tintura, soprattutto per i colori più delicati, a causa del fatto che le fibre naturali, dopo la purga, sono ancora dotate di un colore originale (ecrú o off-white). Il candeggio può essere effettuato in tutti gli stadi di processo (sia su filato che su tessuto). Per le fibre cellulosiche vengono usati perossido di idrogeno ( $H_2O_2$ ), Ipoclorito di sodio ( $NaClO$ ) o Clorito di sodio ( $NaClO_2$ ).

Il mercerizzo può essere adottato sia su filati che su tessuti ortogonali e a maglia. Grazie all'azione di soda caustica permette il rigonfiamento delle singole fibre di cotone, per cui gli effetti finali sono migliori resistenze meccaniche e stabilità dimensionale, maggior lucentezza del cotone e aumento dell'assorbimento delle tinture. Il processo prevede il tensionamento del tessuto combinato con un bagno in soluzione di soda caustica concentrata. Nonostante i bagni di mercerizzo possano essere recuperati e riutilizzati in altri trattamenti di preparazione, il processo comunque genera una grande quantità di alcali forti che devono essere neutralizzati prima di essere scaricata nelle acque reflue.

Il bruciapelo rimuove le fibre superficiali facendo passare il tessuto su una fila di fiamme di gas. Il bruciapelo è più comune sui tessuti, in particolare di cotone e mischie, che sulla maglia. Poiché richiede solo acqua di raffreddamento non ha alcun effetto sugli effluenti, ma può produrre odori ed emissioni di polvere e composti organici; le sostanze odorose possono essere distrutte usando tecniche di ossidazione catalitica.

Le principali preoccupazioni a riguardo delle questioni ambientali legate ai processi finora descritti sono associate all'uso di agenti stabilizzanti, alla loro scarsa biodegradabilità e alla loro capacità di formare derivati complessi molto stabili. Un ulteriore aspetto critico è quello del candeggio con ipoclorito di sodio, che può portare alla formazione di composti organici alogenati. Da questo derivano le limitazioni d'uso in vigore in Europa.

## 2.4.2 Tintura e Stampa



La **tintura** è applicabile ai materiali tessili in tutte le fasi della lavorazione: da prima della filatura (ad esempio la tintura in massa per le fibre sintetiche), ai filati, ai tessuti e ai capi finiti.

A seconda del tipo di fibra da tingere si utilizzano diverse classi di coloranti distinti in base alla loro natura chimica e del meccanismo con cui si legano alla fibra. In base allo stato del materiale da tingere, sono disponibili diverse tecniche di tintura che possono essere alternative o sostitutive tra loro. Inoltre, di solito la tintura, a seconda del tipo di colorante, richiede anche sostanze chimiche ausiliarie per ottimizzare il processo. Il consumo indicativo varia in un range tra 2g e 80g di colorante per ogni kg di tessuto finito.

Spesso la tintura richiede un consumo intenso di acqua e di energia a causa delle temperature necessarie e all'elevato rapporto tra volume del bagno e peso della merce da tingere. Dopo la tintura i coloranti non legati e gli agenti ausiliari utilizzati devono essere rimossi dal supporto tramite un lavaggio, aumentando così la quota di acque di scarico contaminate ed il consumo di energia, necessario per asciugare il materiale.

Il processo di tintura è quindi particolarmente intenso in termini di acqua, energia e prodotti chimici impiegati, anche se negli ultimi anni la crescente sensibilità alle questioni ambientali ha prodotto molte restrizioni legali, in particolare in Europa. Difatti molte tecnologie a basso consumo ed elevata efficienza sono state sviluppate o sono ancora in fase di studio e avanzamento, per garantire un equilibrio tra le prestazioni di colore e sostenibilità ambientale.

Una delle sfide più importanti in futuro consisterà nel mantenimento delle caratteristiche tintoriali (in termini estetici e prestazionali) in concordanza con la sostenibilità ambientale, in particolare per ciò che riguarda lo smaltimento e il biodegradazione del colorante/pigmento stesso. La ricerca negli ultimi decenni si è concentrata su come ottenere coloranti più stabili e gestibili e su come risolvere i problemi del loro smaltimento, poiché i coloranti sono difficili da degradare nel sistema di trattamento delle acque reflue e alcuni prodotti di degradazione sono tossici. Alcune ricerche hanno già portato a risultati utili per ridurre la componente di tossicità nei coloranti e per produrre prodotti più puliti e più rispettosi nell'ambiente.

Molti passaggi per ridurre gli impatti dei processi di tintura riguardano le acque reflue e l'abbattimento delle sostanze chimiche tossiche. Alcuni progressi sono stati ottenuti anche nella formulazione chimica dei coloranti e dei pigmenti, anche se i miglioramenti più importanti sono stati raggiunti dagli sviluppi tecnologici nelle tecniche di tintura, come ad esempio la tecnica di tintura a basso consumo di acqua, che utilizza attrezzature convenzionali per la lavorazione a umido ma elimina i processi di pretrattamento e di lavaggio; o lo sviluppo di tecniche di recupero e riutilizzo dei bagni di tintura, anche quando esauriti. Altre tecniche di tintura migliorate sono: la tintura elettrochimica che, attraverso una corrente elettrica, consente di rigenerare un bagno di tintura per poterlo riciclare; le tecniche per tingere sostituendo l'acqua con biossido di carbonio portato allo stato supercritico.



Un altro approccio può essere quello basato sull'uso di coloranti naturali, provenienti da piante, animali o conchiglie: offrono vantaggi ambientali come una bassa emissione di CO<sub>2</sub> e hanno anche implicazioni sociali, spostando il lavoro nelle comunità rurali. Anche se esiste una domanda crescente per tingere con componenti naturali, ci sono alcune difficoltà da superare: rispetto ai coloranti tradizionali la gamma di colori ottenibili è notevolmente inferiore, le resistenze in tutti gli ambiti sono scarse, i costi sono elevati e, in termini di sostenibilità sociale, la loro coltivazione/allevamento può richiedere una vasta area, che andrebbe a discapito della produzione agricola alimentare. Tutto questo tende a relegare la tendenza del ritorno al colorante naturale in nicchie di mercato particolarmente sensibili alla sostenibilità ambientale, ma non molto estese in termini di volumi di mercato.

Inoltre, non esiste la certezza che i coloranti naturali siano “più sicuri”. Alcuni studi condotti su questo argomento hanno rilevato che, partendo da materiali naturali, si possono generare per reazioni chimiche durante il processo di tintura diverse sostanze tossiche e/o nocive, vanificando quindi l'intento che sta all'origine del loro impiego.

Sebbene presenti meno varianti tecnologiche rispetto alla tintura, il processo di **stampa** è considerato più complesso a causa della presenza di un'ampia gamma di sostanze chimiche usate: diverse classi di coloranti o di pigmenti, agenti ausiliari e altri agenti chimici.

I processi più comuni sono la stampa a quadro, a rullo, a trasferimento e quella a getto di inchiostro (ink-jet). Ognuna di queste tecniche ha vantaggi e svantaggi in termini produttivi (velocità e/o quantità minima per lotto), di costi e, non ultimo, anche correlati alle questioni ambientali.

Per quanto riguarda la stampa a quadro, gli impatti principali possono essere ridotti riducendo le perdite di pasta di stampa, riutilizzando l'acqua di risciacquo usata per la pulizia ed evitare formulazioni di stampa che usino PVC e ftalati, al fine di eliminare solventi aromatici dannosi quando scaricati.

Passando alla stampa a getto di inchiostro, grazie alla propulsione di minuscole gocce di tintura o di pigmenti, gli inchiostri sono usati solo su “richiesta”, e quindi evitano sprechi di pasta di stampa; inoltre, in caso di inchiostri pigmentati si evita anche l'uso di solventi, e con essi anche emissioni di composti organici volatili, che sarebbero invece necessari per diluire il colorante nei processi tradizionali.

Nella stampa a trasferimento una particolare carta viene stampata con coloranti dispersi e poi, attraverso un processo termico, la stampa viene trasferita al tessuto per sublimazione. Questa tecnica annovera tra i vantaggi quello di evitare la generazione di rifiuti chimici, il non richiedere il lavaggio e di conseguenza non generare acque reflue.

### 2.4.3 Finissaggi



Oltre ai processi sopra menzionati, i prodotti tessili possono subire anche trattamenti di finissaggio che migliorino alcuni aspetti specifici o conferiscano nuove proprietà estetiche o tecniche. Tali processi comportano una gamma articolata di tecniche meccaniche, chimiche o congiunte.

Quelli meccanici vengono così definiti in quanto si basano sull'utilizzo di sollecitazioni fisiche (meccaniche e termiche) e non sull'uso di agenti chimici.

Tra i finissaggi meccanici possiamo citare la calandratura, un processo nel quale il tessuto viene fatto passare attraverso coppie di cilindri riscaldati che lo comprimono e lo stampano (in caso di incisioni a disegno su uno dei cilindri). Ovviamente tale principio si estende in diverse opzioni possibili, e come effetto finale aumenta la densità del tessuto e gli conferisce disegni o marezzature e goffrature.

Il sanfor invece è un trattamento che serve per dare stabilità dimensionale, e si basa su un'azione combinata meccanica e termica che "forza" il tessuto a rientrare in senso ordito.

La garzatura consiste nel grattare superficialmente il tessuto, con spazzole rotanti che ne fanno emergere le fibre. Vi sono diversi tipi di garzatura e alcuni prendono il nome del produttore del macchinario che conferisce aspetti di mano particolarmente riconoscibili (pile, manopesca, Lafa).

Sono disponibili anche una serie di finissaggi meccanici che incrementano la sofficietà, la pelosità e altri aspetti estetici in genere.

Considerando i finissaggi chimici invece, è possibile identificarne alcuni più comuni, come quelli che permettono di ridurre la manutenzione dei capi finiti (es. idro- e oleo-repellenti) o aumentarne la resistenza a differenti tipi di danno (es. antifiama).

La repellenza dell'acqua o dell'olio è data da finissaggi che usano cere o sostanze chimiche perfluorurate. Queste ultime rappresentano attualmente un aspetto critico a cause del loro alto impatto ambientale, per cui si rende necessario calibrare bene il processo al fine di garantire bassi livelli di tali agenti pericolosi o trovare nuove tecniche alternative.

I finissaggi antimacchia si basano sull'adozione di principi idrorepellenti e oleorepellenti, come prodotti a base di siliconi per macchie solubili in acqua e prodotti a base di resine sintetiche. Nel caso dei finissaggi antisporca si possono ad esempio saturare le irregolarità superficiali della fibra con particelle bianche e traslucide, al fine di renderne meno affine la fibra e agevolarne la pulizia.

Volendo citare una tecnologia potenzialmente a basso impatto ambientale in grado di conferire idro- e oleo-repellenza, è possibile considerare quella basata sull'effetto loto. Ispirato alle foglie del loto che sono in grado di far scivolare le gocce di pioggia, veicolando le particelle di sporco, questo finissaggio nanotecnologico combina il principio di antiaderenza e autopulizia alle superfici tessili formando una sottilissima struttura rugosa, per cui le gocce di sostanze estranee scivolano via.



I finissaggi antimuffa, specialmente per tessuti cellulosici, impiegano antisettici e prodotti batteriostatici al fine di evitare la crescita di muffe che possono rilevarsi pericolose per la salute e creare danni al tessuto.

Un altro finissaggio comunemente utilizzato è quello per il conferimento di proprietà antifiamma. Si basa sull'utilizzo di sostanze chimiche contenenti fosforo, azoto, carbonio e alogeni in grado di interferire con l'innesco e la propagazione della fiamma. Bisogna però considerare che sostanze molto efficienti, come quelle alogenate, risultano altamente impattanti sull'ambiente, quindi si stanno cercando e sviluppando tecnologie sostitutive.

Un'altra classe di finissaggi riguarda la protezione da agenti patogeni mediante l'adozione di sostanze biocide come il triclosan, generalmente usato su Nylon e poliestere e relative mischie, applicabile per spalmatura. Anche per questa classe di finissaggi in realtà esistono diverse tecniche, diversi principi attivi, diversi stadi della filiera produttiva in cui sono applicabili. Quindi la gamma di prodotti è estremamente articolata e differenziata anche per tipo di performances attese.

Un trattamento futuro ancora in fase di sviluppo è il trattamento al plasma: si tratta di un processo che modifica la superficie di un tessuto grazie alla reazione tra gas ionizzato (il plasma) e la superficie del materiale. Gli effetti possono essere calibrati modificando pressione, temperatura, densità e livello di ionizzazione.

L'applicazione al plasma potrebbe fornire nuovi metodi sia economici che ecologici per finissaggi superficiali come: aumentare l'idrofilia; fornire idrorepellenza e/o olorepellenza; aumentare l'affinità alla tintura e alla stampa; conferire effetti anti-infeltrimento; aumentare la stabilità dimensionale. Sono in fase di studio anche processi per la generazione di superfici con le proprietà funzionali come antifiamma, antistatico, antibatterico, resistente alla muffa, biocompatibile, resistente agli agenti ossidanti, alla luce UV e alla luce del sole.

Le modifiche indotte dal trattamento plasma hanno effetto sugli strati superficiali del substrato e non alterano le proprietà fisiche/meccaniche generali del materiale. Le tecnologie del plasma sono considerate come efficienti dal punto di vista energetico, rispettose dell'ambiente e completamente asciutte. Poiché il trattamento con plasma è un processo a secco, non usa acqua o energia per l'evaporazione dei solventi; inoltre, dato che il processo riguarda solo gli strati superficiali, minimizza quindi la quantità di sostanze chimiche utilizzate. Quindi il trattamento con plasma si stima avere impatto ambientale molto basso.

L'uso di alcuni processi sostitutivi e innovativi inoltre permette di ridurre gli impatti ambientali futuri dei prodotti, ad esempio grazie alla riduzione dei lavaggi necessari nella fase d'uso, o all'aumento della durata del prodotto.

Come per la precedente sezione sulla tintura, anche il finissaggio tessile ha impatti ambientali basati prevalentemente sul consumo di acqua e sull'impiego di prodotti chimici, nonché sull'utilizzo di numerose sostanze chimiche per la realizzazione di tessuti accoppiati, spalmati, etc. Come accennato, alcuni prodotti utilizzati per impartire



specifiche proprietà comportano elevati rischi ambientali (perfluorurati, alogenati, etc.), ma non sempre i prodotti alternativi fin qui sviluppati permettono di raggiungere gli stessi livelli di performance. La sicurezza dei prodotti tessili verrà trattata più in dettaglio nelle unità 4 e 7.

## 2.5 Confezionamento

La preparazione dei capi finiti (abbigliamento, arredamento, etc.) dopo aver prodotto il tessuto implica il processo finale di confezionamento, ossia tutti i processi di preparazione, taglio e cucitura necessari.

Anche questa fase è estremamente ampia e variegata, ad esempio, per una tovaglia questa fase è più semplice rispetto alle lavorazioni necessarie per realizzare un vestito su misura.

I tessili tecnici o compositi costituiscono un ulteriore livello di complessità, perché sono destinati ad entrare in altri settori, come ad esempio in lavorazioni meccaniche o di formatura non tradizionali.

Generalmente queste operazioni sono manuali e non implicano un grande impatto sull'ambiente. Gli impatti più rilevanti sono quelli sociali dovuti al fatto che la maggior parte delle grandi aziende che eseguono queste lavorazioni si trovano nei paesi in via di sviluppo per via del basso costo della manodopera, comportando impatti legati al trasporto di materiali grezzi e capi finiti.

## 2.6 Principali questioni ambientali dei processi

I problemi ambientali più importanti per la filiera tessile sono legati alla generazione di acque reflue cariche di sostanze chimiche, al consumo di acqua e al consumo di energia. Hanno un impatto di ordine inferiore le emissioni in aria, la produzione di rifiuti solidi e la generazione di odori.

Le emissioni atmosferiche sono relegate al luogo in cui vengono prodotte. Vi è una buona documentazione in merito alle emissioni atmosferiche causate da diversi processi specifici, per cui è possibile avere anche gli strumenti per ridurre al minimo gli impatti.

Non è così invece per le emissioni in acqua. I vari flussi di acque reflue, provenienti dai diversi processi, sono miscelati e producono un unico effluente le cui caratteristiche sono il risultato di una combinazione complessa di fattori, specialmente fibre e residui dei composti chimici usati. Nell'Unione Europea è obbligatorio trattare le acque reflue al fine di eliminare il rischio di contaminazione da inquinanti, come vedremo in maniera approfondita nell'Unità 05.





Può essere considerato utile identificare alcune categorie del sistema tessile e confrontare la quantità di effluenti tra i diversi sistemi produttivi della stessa categoria, per verificare i dati forniti e identificare le differenze macroscopiche delle varie attività. Nei BREF (BAT Reference documents) infatti sono incluse considerazioni sugli input e output dei consumi e dei rifiuti per un certo numero di categorie rappresentative dei sistemi, partendo da una descrizione dettagliata delle acque (in ingresso e reflue) per concludere con un'analisi più specifica dei singoli processi per i quali sono disponibili dati. I risultati più rilevanti su alcuni processi di particolare importanza vengono poi essi stessi riportati nell'ultima revisione dei BREF.

### 2.6.1 BAT e BREF: il loro ruolo chiave

Al fine di raggiungere il più alto livello di protezione dell'ambiente, è stata adottata nel 1996 la Direttiva 96/61/EC, detta anche "Direttiva IPPC" (Integrated Pollution Prevention and Control), che stabilisce i principi generali che governano gli obblighi fondamentali per tutte le attività industriali, al fine di adottare le misure preventive appropriate per assicurare un livello elevato di protezione dell'ambiente, e che comprende al suo interno le misure per il trattamento dei rifiuti, l'uso efficiente delle risorse energetiche e la prevenzione dagli incidenti.

Le misure per prevenire l'inquinamento sono descritte nelle BAT (Best Available Techniques), documenti che, per ogni settore di attività, riportano tutte le informazioni utili nei cosiddetti BREF (BAT Reference documents), e sono costantemente aggiornati dalla Commissione Europea.

In linea generale, queste pratiche generali di buona gestione riguardano sia la formazione dei dipendenti che la definizione delle procedure ben documentate per la gestione degli impianti di produzione, la manutenzione delle macchine, la conservazione dei prodotti chimici e il loro uso, dosaggio e distribuzione.

Una migliore conoscenza di ciò che viene inserito in un processo e che cosa esso produce è la componente essenziale per una buona gestione dei processi stessi. Ciò implica quindi, da un lato, la conoscenza approfondita delle materie prime tessili, dei prodotti chimici, dell'energia elettrica e/o del calore, e dell'uso di acqua e dall'altro lato avere il controllo delle emissioni in aria e in acqua e del tipo di rifiuti che vengono generati.

Il monitoraggio degli input e degli output dei processi costituisce il punto di partenza per individuare le opzioni disponibili e le priorità per migliorare le prestazioni sia in termini ambientali che economici.

La misura per migliorare la qualità e la quantità dei prodotti chimici utilizzati prevede una revisione e una valutazione periodica delle formulazioni, una pianificazione ottimale della produzione e il coinvolgimento di acqua di alta qualità nei processi ad umido.

I sistemi per il controllo automatico del parametro operativo (ad esempio la temperatura, la pressione, il tempo, l'ingresso di prodotti chimici) consentono un più



accurato controllo dell'intero processo per una migliore produzione, con un aumento minimo dei prodotti chimici e degli ausiliari.

## 2.7 Panoramica sul riciclo e sul riuso

Con il termine “riciclo”, si intende ogni processo in grado di reinserire i prodotti in un nuovo processo produttivo e quindi fornire un nuovo ciclo di vita al materiale altrimenti destinato ad essere rifiuto.

Il “riuso”, invece, si ha quando ci riferiamo al riutilizzo di prodotti, ossia un allungamento del loro ciclo di vita, rivalorizzato in una nuova modalità di impiego e destinato a nuovi mercati e consumatori.

Sono due le macro categorie che caratterizzano i rifiuti:

- “pre-consumo” riguarda i rifiuti tessili che provengono dalla produzione di filati e tessuti, dai processi di confezionamento dei capi di abbigliamento e dal retail;
- “post-consumo” nel caso dei rifiuti tessili che derivano da prodotti dismessi, perché consumati o obsoleti.

Il potenziale del recupero dei rifiuti post-consumo è enorme e viene considerato non ancora completo: le possibilità di riciclo sono quasi illimitate. Il tessuto a fine vita potrebbe mutare in un prodotto riciclato destinato in diversi settori industriali, ad esempio la produzione di pannelli isolanti impiegati nel settore automobilistico, nautico e in arredamento, producendo indubbi vantaggi sia in termini ambientali che economici (per la riduzione dei costi per lo smaltimento e generando un nuovo valore).

Il tema del riciclo dei prodotti tessili, i relativi processi, studi e sviluppi che si prevedono sono affrontati in maniera più completa nell’Unità 08 di questo corso.



## 2.8 Per approfondire

- Sustainable Fashion and Textiles: Design Journeys, Capitolo 2 - Kate Fletcher
- Environmental Analysis of Textile Value Chain: An Overview – da “Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing - Environmental and Social Aspects of Textiles and Clothing Supply Chain (2014)” - T. Karthik and D. Gopalakrishnan
- Toxicology of textile dyes - P. GREGORY, Avecia, UK
- Reference documents under the IPPC Directive and the IED – <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>

