



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea in Tecnologie forestali e ambientali

*Man Made Cellulosic Fibers (MMCF): un'analisi
preliminare del mercato*

Relatore: Prof. Davide Matteo Pettenella

Laureando: Enrico Zambon
Matricola: 1066350

ANNO ACCADEMICO: 2021-2022

*... abbiamo bisogno di
una nuova coscienza ambientale
su basi globali.
Per fare questo, abbiamo bisogno
di educare le persone.*

M. Sergeevich Gorbachev, 2017

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. ECONOMIA LINEARE E CIRCOLARE	3
2.1. Insostenibilità del modello economico lineare	3
2.2. Modello economico circolare	3
3. APPROCCIO ALLA BIOECONOMIA	5
3.1. Cosa s'intende con bioeconomia.....	5
3.2. Relazione tra bioeconomia e fabbricazione del rayon	5
4. APPROFONDIMENTO SULLE FIBRE CELLULOSICHE RIGENERATE E LORO RELAZIONE CON LE FIBRE SINTETICHE	6
4.1. Sintesi dell'evoluzione delle <i>man-made cellulosic fibers</i> e delle fibre sintetiche	6
4.2. <i>Fossil fashion</i> e conseguenze relative la produzione e l'uso d'indumenti sintetici	7
4.3. Cosa sono nel dettaglio le fibre cellulosiche rigenerate.....	9
4.4. Tipologie e processi di produzione delle fibre cellulosiche rigenerate.....	9
4.4.1. Viscosa	9
4.4.2. Acetato di cellulosa.....	10
4.4.3. Modal	11
4.4.4. Lyocell	11
5. L'INDUSTRIA DELLE MMCF	13
5.1. Dimensioni e valore del mercato delle MMCF.....	13
5.2. Principali aziende produttrici di rayon	15
5.3. Le aziende " <i>best in class</i> "	15
6. ECO-COMPATIBILITÀ DELLE MMCF	18
6.1. Uso di sostanze chimiche e conseguenti problemi ecologici	18
6.2. Disboscamento illegale e certificazioni FSC e PEFC	19
7. FIBRE CELLULOSICHE RIGENERATE E POLIESTERE: UN CONFRONTO	20
7.1. Accessibilità per il consumatore medio ai capi d'abbigliamento.....	20
7.1.1. Facilità d'acquisto	20
7.1.2. Costo	20
7.2. Proprietà tecnologiche dei singoli tessuti.....	22
8. RICICLO E CIRCOLARITÀ NELL'INDUSTRIA DEL TESSILE	25
8.1. L'importanza del riciclo.....	25
8.1.1. L'innovativa <i>Green Machine</i>	26
9. CONCLUSIONI	27
10. SITOGRAFIA	28
11. BIBLIOGRAFIA	36

1. INTRODUZIONE

In una società dove consumi di beni non essenziali e sprechi regnano incontrastati, qualcosa sembra stia iniziando a cambiare; parole come sviluppo sostenibile, circolarità ma soprattutto riciclo stanno ormai diventando (quasi) la normalità.

Il tema del *green* è sempre più discusso sia in campo politico che economico; le aziende, grazie anche alla nuova figura del consumatore 2.0, stanno iniziando ad abbracciare il cambiamento sostenibile. Cambiamento sostenibile che dovrebbe partire da ciò che indossiamo tutti i giorni: i vestiti.

L'industria del tessile è attualmente la fonte di maggiore preoccupazione quando parliamo di sostenibilità, poiché, la maggior parte degli indumenti prodotti deriva da risorse fossili: materie prime con una disponibilità limitata che causano non pochi problemi all'ambiente. Preso atto della necessità di abbandonare questo modello di produzione insostenibile, è chiaro come sia necessario adottare soluzioni alternative che coinvolgano tessuti realizzati in fibre tessili da fonti rinnovabili tra cui, ad esempio, le fibre cellulosiche rigenerate: fibre tessili sintetizzate a partire dal legno.

Questa tesi ha l'obiettivo di evidenziare gli strumenti necessari per comprendere se le fibre cellulosiche rigenerate sono realmente eco-compatibili e se possono sostituire le fibre sintetiche.

Dopo questa breve introduzione, nel capitolo successivo saranno indicate nozioni di taglio generale evidenziando come l'attuale modello economico (lineare) non sia sostenibile e come un modello circolare sia assolutamente necessario.

Nel terzo capitolo sarà introdotto il concetto di bioeconomia e saranno indicate le differenze tra questo modello economico e quello circolare; inoltre, sarà indicato il motivo per il quale rayon e bioeconomia sono correlati (cosa assolutamente non scontata).

Nel quarto capitolo sarà indicata la storia delle fibre cellulosiche rigenerate e delle fibre sintetiche (derivanti da combustibili fossili); sarà inoltre descritto il fenomeno della *fast fashion* (quale è direttamente collegato alla produzione di "fibre fossili") e le dirette conseguenze sanitarie ed ecologiche di questo fenomeno. Saranno infine descritte in modo dettagliato le fibre cellulosiche rigenerate, una possibile alternativa alle fibre sintetiche, esplicitandone i vari tipi.

Nel quinto capitolo sarà fornita una descrizione generale del mercato delle *Man Made Cellulosic Fibres* (MMCF); saranno anche indicate diverse aziende che operano in questo settore con analisi delle principali e dei loro prodotti.

Nel sesto capitolo saranno inquadrati le problematiche dovute all'uso ed alla produzione delle fibre cellulosiche artificiali e, quindi, al rischio della deforestazione e del degrado delle foreste, temi che saranno affrontati facendo riferimento ai sistemi di garanzia e in particolare alle certificazioni secondo gli schemi del *Forest Stewardship Council* (FSC) e del *Program for the Endorsement of Forest certification* (PEFC) schemes.

Nel settimo capitolo verrà effettuato un confronto diretto tra le MMCF e il poliestere; saranno dunque messi in comparazione costi, caratteristiche tecnologiche e reperibilità delle singole fibre.

Nell'ottavo capitolo, infine, sarà analizzato in maggior dettaglio il tema del riciclo e obiettivi annessi.

2. ECONOMIA LINEARE E CIRCOLARE

2.1. Insostenibilità del modello economico lineare

L'economia lineare si basa su un concetto fallace poiché considera illimitata la disponibilità di materia prima; inoltre, anche fosse non limitata, l'enorme quantità di scarti¹ prodotti causerebbe lo stesso grossi problemi (Zifaro, 2017).

Il modello lineare prevede la seguente sequenza:

ESTRAZIONE → PRODUZIONE → UTILIZZO → RIFIUTO

L'economia lineare è insostenibile. La continua estrazione di materia prima vergine, il mancato utilizzo degli scarti generati dalle lavorazioni ed i conseguenti danni ambientali (dovuti all'estrazione stessa ed allo smaltimento degli scarti) stanno, infatti, obbligando a traslare verso un modello economico più consapevole e sostenibile.

2.2. Modello economico circolare

“L'economia circolare [infatti] unisce gli aspetti di sviluppo economico a quelli di tutela ambientale, minimizzando il prelievo di risorse dall'ambiente naturale e riducendo il più possibile l'immissione di rifiuti [o meglio scarti] con l'obiettivo finale di chiudere il ciclo di vita generando valore e mitigando i rischi per l'ambiente” (Furcolo, 2021).

L'economia circolare prevede tipicamente una delle seguenti sequenze:

RACCOLTA → RICICLO → PRODUZIONE → UTILIZZO → RACCOLTA → RICICLO ...

oppure

RACCOLTA → RICICLO → PRODUZIONE → UTILIZZO → RIPARAZIONE → PRIMO RIUTILIZZO → RACCOLTA → RICICLO ...

oppure

RACCOLTA → RICICLO → PRODUZIONE → UTILIZZO → PRIMO RIUTILIZZO → RACCOLTA → RICICLO ...

oppure

RACCOLTA → RICICLO → PRODUZIONE → UTILIZZO → PRIMO RIUTILIZZO → RIPARAZIONE → SECONDO RIUTILIZZO → RACCOLTA → RICICLO ...

¹ Attenzione a come viene utilizzata la parola “rifiuto” in quanto oramai si preferisce parlare di “scarto” per un discorso legato alla possibilità e necessità di riciclo.

Questi processi dell'economia circolare tengono conto di situazioni plausibili; infatti, mai si parla di terzo riutilizzo poiché raramente oggetti (soprattutto se *high-tech*) riescono a "sopravvivere" per lunghissimi periodi.

Quando si parla di economia circolare, è di primaria importanza sottolineare due aspetti critici:

- spesso un oggetto danneggiato non può essere riparato o il costo di riparazione supera quello di acquisto;
- la riparazione dell'oggetto richiede nuova energia e nuova materia prima; dal riciclo di un oggetto, non è possibile riottenere il 100% della materia prima di partenza; in aggiunta, il processo di riciclo richiede energia.

Si tratta pertanto di un modello economico con dei limiti tangibili ma più evoluto, e quindi notevolmente superiore in quanto si ha un minore consumo di energia e di materia prima, rispetto a quello lineare.

Consumare meno energia e ridurre l'estrazione di materia prima, non è però sufficiente; puntare ad un'economia circolare è solo una soluzione temporanea²... Sarà inevitabile, in futuro, passare ad un'economia basata sull'impiego di risorse biologiche: la bioeconomia.

Trattasi di un paradigma già presente ma ancora troppo difficile da applicare in molti campi.

Elementi di circolarità saranno comunque utili per rendere più efficiente questo modello economico (Carus, 2017).

² In un sistema vi è sempre una perdita di energia e/o materia.

3. APPROCCIO ALLA BIOECONOMIA

3.1. Cosa s'intende con bioeconomia

"The term "Bioeconomy" means an economy using biological resources from the land and sea, as well as waste, as inputs to food and feed, industrial and energy production" (European Commission, 2012).

Il modello bioeconomico, nonostante sia fortemente connesso al paradigma circolare, presenta una grossa differenza; difatti, la bioeconomia si basa sull'utilizzo di risorse rinnovabili potenzialmente illimitate piuttosto che sul miglioramento dell'efficienza delle risorse riconosciute come limitate³ (Agrifood & Bioeconomy Cluster Agency, 2018).

3.2. Relazione tra bioeconomia e fabbricazione del rayon

La bioeconomia si basa sulla produzione del settore primario - e quindi l'agricoltura, la silvicoltura, la pesca e l'acquacoltura - e sulle industrie che usano/trasformano le risorse biologiche, come i settori della biochimica, bioenergetica e bioedilizia (European Commission, 2013).

Appartiene a questo modello economico, anche l'industria della pasta di cellulosa e della carta ed è importante sottolineare ciò, poiché, di conseguenza, tutti quei prodotti derivanti da fonti rinnovabili, anche se ricavati attraverso un processo chimico⁴ che richiede l'impiego di sostanze sintetiche⁵, sono comunque da considerarsi un segmento della bioeconomia.

Tra questi prodotti si distingue il rayon: termine che viene spesso utilizzato per includere tutte le fibre cellulosiche rigenerate (o fibre cellulosiche artificiali) (BFC, 2021). Tali fibre, in poche parole, sono composte da filamenti che si ricavano attraverso modificazioni chimiche del legno. Una spiegazione più dettagliata verrà fornita in seguito.

³ E' obiettivo dell'economia circolare odierna, migliorare l'efficienza delle risorse riconosciute come limitate (Agrifood & Bioeconomy Cluster Agency, 2018).

⁴ Con "processo chimico" si fa riferimento all'uso di *chemicals* come la soda caustica.

⁵ Si arriva a tale conseguenza poiché, la produzione di "pasta di cellulosa" si basa soprattutto sul legno come materiale di partenza e sostanze chimiche sintetiche in fase di trasformazione. La bioeconomia, quindi, non esclude esplicitamente l'uso di sostanze sintetiche/non rinnovabili (tranne che nella prima fase della ciclo di vita dei prodotti).

4. APPROFONDIMENTO SULLE FIBRE CELLULOSICHE RIGENERATE E LORO RELAZIONE CON LE FIBRE SINTETICHE

4.1. Sintesi dell'evoluzione delle *man-made cellulosic fibers*⁶ e delle fibre sintetiche

Storicamente, le uniche fibre che l'uomo aveva a disposizione erano quelle che si potevano raccogliere in natura o coltivare/allevare: cotone, seta, lana e poche altre. Il problema era che, anche se i gradi più fini di queste fibre offrivano alte prestazioni, la maggior parte della popolazione doveva accontentarsi di un tessuto di livello molto basso, che spesso era scomodo, rigido o si usurava rapidamente.⁷ Inoltre è opportuno ricordare che la fornitura di questi materiali dipendeva da svariati fattori, come: le malattie, il tempo e la guerra. Era evidente come fosse necessario trovare delle soluzioni alternative.

I primi tentativi di fibre artificiali iniziarono con la ricerca della "seta artificiale", per la quale fu concesso un brevetto nel 1855 in Inghilterra al chimico svizzero Georges Audemars. Questo "alchimista delle fibre" dissolse la corteccia interna di un albero di gelso, modificandola chimicamente per produrre cellulosa. Con questa, formò dei fili immergendo degli aghi in questa soluzione e tirandoli fuori, ma non gli venne mai in mente di emulare il baco da seta estrudendo quindi il liquido di cellulosa attraverso un piccolo foro. Poi, nei primi anni del 1880, Sir Joseph Wilson Swan, un chimico ed elettricista inglese fece proprio questo, spronato ad agire dalla nuova lampada elettrica ad incandescenza di Thomas Edison (Bellis, 2020; Fibre2Fashion, senza data; ?, senza data).

Swan sperimentò forzando il liquido di cellulosa attraverso fori sottili all'interno di un bagno di coagulazione. Le sue fibre funzionavano come il filamento di carbonio e trovarono presto impiego nell'invenzione di Edison della lampada ad incandescenza. A Swan venne in mente che il suo filamento poteva essere usato anche per fare tessuti e così, nel 1885, espose a Londra alcuni tessuti preparati dalla signora Swan (Bellis, 2020; Fibre2Fashion, senza data; ?, senza data).

La prima produzione commerciale di una fibra fabbricata (*man-made*) fu realizzata dal chimico francese Hilaire de Chardonnet, che nel 1889 fece scalpore all'esposizione di Parigi quando mostrò la sua "seta artificiale". Due anni dopo, Chardonnet costruì il primo impianto commerciale di Rayon a Besancon in Francia e si assicurò il titolo di "padre dell'industria del Rayon". Diversi tentativi di produrre "seta artificiale" ebbero luogo negli Stati Uniti, un paese che era destinato a dominare le fibre sintetiche nel nuovo secolo, ma nessuno ebbe successo commerciale finché l'American Viscose Company formata da Samuel Courtaulds e Co. Ltd iniziò la sua produzione di rayon nel 1910 (Bellis, 2020; Fibre2Fashion, senza data; ?, senza data).

⁶ *Man-made cellulosic fibers* è sinonimo di *Regenerated cellulosic fibers*; con tali nomi s'intendono sempre le fibre cellulosiche rigenerate (come la viscosa ad esempio).

⁷ In passato, a differenza di oggi, vi era un enorme divario tra ricchi e poveri; solitamente tessuti di "alto livello" avevano un costo proibitivo per la maggior parte delle persone.

A metà degli anni '20, la fibra di rayon era sempre più utilizzata dall'industria tessile, non perché fosse migliore, ma perché era più economica del 50% rispetto alle fibre naturali come la seta.

Poi, nel settembre del 1931, il chimico americano Wallace Carothers che lavorava per la DuPont, scoprì una "fibra miracolosa" conosciuta semplicemente come "66"⁸. La realizzazione della fibra chiamata "66", che prenderà poi il nome di nylon, diede inizio ad una nuova era: l'era delle fibre sintetiche.

Ritchie, Winfield e Dickson continuarono il lavoro di Carothers sviluppando (con l'aiuto di W. Birtwhistle e C.G. Ritchie) nel 1941 la prima fibra in poliestere chiamata terilene sotto il produttore ICI⁹ (Bellis, 2020; Fibre2Fashion, senza data; ?, senza data).

Successivamente, il conglomerato americano DuPont acquistò i diritti legali da ICI e nel 1950 fu sviluppata una nuova fibra in poliestere chiamata dacron e nel 1952 un'altra fibra chiamata mylar (Bellis, 2020; Fibre2Fashion, senza data; ?, senza data).

Da non dimenticare "in parallelo" la scoperta dell'acrilico, una fibra che deriva dal nylon, sviluppato negli anni '40 del secolo scorso e poi commercializzato industrialmente all'inizio degli anni '50 (Gebisa, 2020).

La produzione di vestiti in rayon, nonostante inizialmente prese piede, fu in seguito posta ai margini del mercato dalla creazione di vestiti in fibra sintetica da fonti fossili. Il costo ridotto, la versatilità e la durevolezza (caratteristiche migliorate negli anni successivi) resero, infatti, tali fibre sintetiche, e in particolare poliestere, ad essere le fibre tessili più utilizzate nell'industria della moda (Gambi, 2020a).

È bene però evidenziare che, nonostante le fibre sintetiche di origine fossile siano tuttora ancora molto utilizzate, sembra che il loro successo stia lentamente riducendosi. Le cause di tale sviluppo vanno ricercate nelle svariate problematiche che l'uso e la produzione di tessuto fossile sollevano, tra cui: inquinamento atmosferico-ambientale e potenziali patologie dovute al contatto diretto delle fibre con la pelle.

4.2. Fossil fashion e conseguenze relative la produzione e l'uso d'indumenti sintetici

L'industria della moda, attualmente, si considera responsabile per circa il 10% delle emissioni globali di carbonio ed è quindi il settore più climalterante dopo quello petrolifero (Vittoria, 2021).

Ormai già da diverso tempo è diventato impossibile slegare il fenomeno della *fast fashion* dal settore della moda, termine che fu coniato dal «New York Times» agli inizi del 1990 per descrivere la missione di Zara di impiegare solo 15 giorni affinché un capo passasse dalla fase di progettazione alla vendita in negozio (Facchi, 2019).

⁸ Il nome 66 è dovuto alla struttura molecolare della fibra.

⁹ ICI è acronimo di Imperial Chemical Industries.

La *fast fashion* o moda veloce è un modello di *business* che consiste essenzialmente nella vendita di vestiti di scarsa qualità, a prezzo stracciato, dove nei negozi, in base ad una strategia di marketing, cambiano frequentemente le collezioni disponibili, rendendo di fatto unici i singoli pezzi (Pauletti, 2021).

Si utilizza spesso anche la definizione di *fossil fashion*, poiché ciò che alimenta il modello di *business* della *fast fashion* sono principalmente le fibre sintetiche da fonti fossili e a basso costo; principe fra tutte: il poliestere.

La produzione di fibre tessili sintetiche non comporta solo l'emissione di CO₂ nell'atmosfera, ma anche di altri gas serra come ossidi di diazoto, idrocarburi, ossidi di zolfo e altri. L'industria del tessile è dunque, a causa della produzione di fibre sintetiche, direttamente collegata al riscaldamento climatico (cuoremondo, 2018).

Le fibre tessili derivanti dal petrolio rappresentano un enorme rischio per l'ambiente. Infatti, l'abbigliamento realizzato in fibra sintetica come il poliestere e il nylon contribuisce all'inquinamento da microplastiche, che possono finire nell'oceano e minacciare la vita marina. Ogni anno, 1,5 milioni di tonnellate di microplastiche finiscono nell'oceano ed il 35% di esse proviene proprio da tessuti sintetici.

Le microplastiche possono presentarsi in svariate forme; in forma di filamento sono così piccole che possono essere difficili da estrarre dai corsi d'acqua; possono difatti bypassare il sistema di filtraggio dell'acqua e finire nell'acqua potabile e nei terreni agricoli, con rischi d'inquinamento del cibo e dell'acqua potabile (Takama, 2020).

Le microplastiche sono pure volatili e quindi facili da inalare. Preoccupante è il risultato di un esperimento dove si è dimostrato che la quantità di microplastiche assunte dalla polvere domestica durante il pasto può essere superiore rispetto al consumo del cibo stesso¹⁰ (Ana et al., 2018).

Le microplastiche che entrano nel corpo umano possono causare infiammazioni, genotossicità, *stress* ossidativo, apoptosi e necrosi, con impatti per la salute umana tra cui il cancro, malattie cardiovascolari, malattie infiammatorie intestinali, diabete, infiammazione cronica, condizioni auto-immuni, malattie neurodegenerative e ictus (Takama, 2020).

La ridotta disponibilità di combustibili fossili (oltre al loro costo aumentato), l'effetto iper-serra¹¹ ed il problema delle microplastiche stanno forzando l'uomo a cercare soluzioni alternative alle fibre sintetiche ed una delle possibili soluzioni potrebbero essere le fibre di cellulosa rigenerata.

¹⁰ Nello specifico lo studio fa riferimento ad un pasto a base di cozze.

¹¹ L'effetto serra è dovuto all'azione dei gas serra che essenzialmente assorbono i raggi infrarossi emessi dalla superficie terrestre per poi re-irradiarli verso la superficie terrestre stessa, riscaldandola; si tratta di un fenomeno positivo e necessario affinché la vita sulla terra possa esistere. Mentre, si parla di effetto iper-serra poiché a causa della sempre maggiore concentrazione atmosferica di gas serra, l'effetto di riscaldamento, ora, è molto più intenso rendendo di fatto negativo l'effetto serra.

4.3. Cosa sono nel dettaglio le fibre cellulosiche rigenerate

Le fibre cellulosiche rigenerate derivano dalla cellulosa estratta dalla pasta di legno; la cellulosa viene prima immersa e sciolta in una soluzione chimica per poi essere estrusa come un filamento continuo o discontinuo¹². Si chiamano "fibre cellulosiche rigenerate" a causa della combinazione della materia prima cellulosica naturale e del processo di fabbricazione chimico che rompe la cellulosa in modo che possa essere "rigenerata" in una fibra dalla polpa originale. Non sono da considerarsi fibre sintetiche come il nylon, ma nemmeno fibre naturali come il cotone. Tuttavia, le loro proprietà e caratteristiche sono più simili a quelle delle fibre cellulosiche naturali, come il cotone per l'appunto, il lino, la canapa e la juta piuttosto che a quelle delle fibre sintetiche come, ad esempio, l'acrilico ed il poliestere (Win-Win Textiles, 2020).

Da aggiungere che non tutti i tipi di legno possono essere utilizzati per la produzione di rayon; infatti, s'impiegano tipicamente specie come il pino, l'eucalipto e il faggio (MasterClass staff, 2021).

4.4. Tipologie e processi di produzione delle fibre cellulosiche rigenerate

4.4.1. Viscosa

La viscosa è una fibra tessile artificiale estratta dalla cellulosa. Essa fa parte delle fibre cellulosiche rigenerate di prima generazione (rayon di prima generazione) (Muthu, 2020).

Il processo di formazione della viscosa è il seguente (Kiron, 2012; Sewport Support Team, 2021; Tobin, 2020; UniBg, senza data):

- Gli alberi vengono abbattuti, la corteccia viene rimossa ed il tronco scortecciato viene tagliato in trucioli (*chips*).
- I trucioli di legno vengono prima trattati con calcio bisolfito e poi cotti con vapore, sotto pressione, ottenendo pasta (di legno) di cellulosa; la pasta è subito dopo convertita in fogli.
- I fogli di cellulosa sono dunque immersi in una soluzione di idrossido di sodio diventando alcalicellulosa (questo processo rimuove tutte le impurità dalla cellulosa: emicellulose e impurità resinose).
- L'alcalicellulosa viene pressata tra 2 rulli (in modo da rimuovere il liquido in eccesso) ottenendo dei "fogli pressati".
- I fogli pressati vengono sminuzzati meccanicamente in modo da ottenere particelle finemente divise e soffici chiamate *white crumbs*.
- L'alcalicellulosa (sminuzzata in particelle soffici) viene fatta invecchiare utilizzando ossigeno puro al fine di depolimerizzare la cellulosa al grado di polimerizzazione desiderato.
- L'alcalicellulosa "invecchiata" è posta poi in vasche contenenti disolfuro di carbonio formando così xantato di cellulosa (*yellow crumbs*).

¹² Discontinuo se si procede al taglio dei filamenti continui in tratti di eguale lunghezza, che costituiscono il cosiddetto fiocco.

- Le particelle di xantato di cellulosa gialle (*yellow crumbs*) vengono sciolte in una soluzione acquosa caustica; la soluzione di xantato di cellulosa ottenuta essendo molto viscosa viene chiamata "viscosa".
- La viscosa (soluzione di soda caustica e xantato di cellulosa) è lasciata riposare per un po' di tempo in modo che possa "maturare".
- La viscosa "maturata" viene poi filtrata per rimuovere i materiali non disciolti che potrebbero interrompere il processo di filatura o causare difetti nel filamento di rayon.
- Si procede dunque al degassamento della viscosa; tale procedura elimina le bolle d'aria intrappolate nella viscosa in modo che si possa poi estrudere.
- La soluzione di viscosa subisce poi un processo di filatura per estrusione a umido in apposite filiere o *spinnerets*¹³, immerse in un bagno (acido) di coagulazione contenente acido solforico, solfato di sodio e solfato di zinco.
- Una volta che lo xantato di cellulosa (soluzione di viscosa) viene neutralizzato e acidificato, si verifica una rapida coagulazione dei filamenti di rayon, seguita da un simultaneo allungamento e decomposizione dello xantato di cellulosa in cellulosa rigenerata.
- Il rayon appena rigenerato contiene molti sali e altre impurità solubili in acqua che devono essere rimosse. La fibra rigenerata viene dunque fatta passare attraverso bagni di lavaggio (viene lavata).
- La fibra rigenerata, una volta rimosse le impurità, viene raccolta in bobine di filato.

4.4.2. Acetato di cellulosa

L'acetato di cellulosa è una fibra tessile artificiale estratta dalla cellulosa vegetale. Esso fa parte delle fibre cellulosiche rigenerate¹⁴ di prima generazione (rayon di prima generazione) (Muthu, 2020).

Il processo di formazione dell'acetato è il seguente (Vasala, senza data; Win-Win Textiles, 2020):

- Gli alberi vengono abbattuti, la corteccia viene rimossa ed il tronco scortecciato viene ridotto in trucioli di legno.
- I trucioli di legno vengono dunque trattati con soluzioni chimiche (come soda caustica e solfuro di sodio) e cotti a temperatura e pressioni elevate ottenendo così polpa di legno.
- La polpa di legno viene dunque immersa in una soluzione di idrossido di sodio (in genere) ottenendo cellulosa purificata.
- Poi, la cellulosa purificata viene fatta reagire (viene combinata) con anidride acetica, usando come catalizzatore una piccola quantità di acido solforico, ottenendo una soluzione liquida, densa e chiara di acetato di cellulosa.

¹³ La *spinneret* (filiera in italiano), nella filatura delle fibre artificiali, è un piccolo ugello metallico a forma di ditale con fori sottili attraverso i quali una soluzione di filatura è forzata a formare un filamento. La soluzione viscosa o sciropposa, preparata fondendo o sciogliendo chimicamente la materia prima, esce dalla spinneret come lunghe fibre che vengono poi solidificate per coagulazione, evaporazione o raffreddamento (Britannica, 2009).

¹⁴ Secondo alcuni autori l'acetato non è una fibra di cellulosa rigenerata ma piuttosto una fibra di cellulosa modificata in quanto i gruppi -OH della cellulosa sono fatti reagire per ottenere una fibra con caratteristiche chimiche diverse dalla cellulosa originaria (UniBg, senza data).

- Successivamente, la miscela subisce un processo di idrolisi dove il solfato viene rimosso e il prodotto finale riceve le proprietà desiderate.
- Infine, i fiocchi di acetato di cellulosa vengono sciolti in acetone e forzati attraverso i fori sottili di una *spinneret* (estrusi quindi).
- Infine, il solvente viene fatto evaporare (recuperandolo) e i filamenti sono pronti per essere filati.

4.4.3. Modal

Il modal è una fibra tessile artificiale estratta dalla cellulosa vegetale. Esso fa parte delle fibre cellulosiche rigenerate di seconda generazione (rayon di seconda generazione) (? , 2017). Il modal è essenzialmente una viscosa migliorata: qualitativamente superiore e meno inquinante in termini di produzione (Sewport Support Team, 2019).

Il processo di formazione del modal è il seguente (MasterClass staff, 2021; Sewport Support Team, 2019)

- Gli alberi abbattuti vengono prima scortecciati e poi ridotti in trucioli (della dimensione di un francobollo).
- I trucioli di legno vengono prima trattati con calcio bisolfito e poi cotti con vapore, sotto pressione, ottenendo pasta (di legno) di cellulosa.
- La pasta di cellulosa viene prima trasformata in fogli e poi immersa in una soluzione di soda caustica diventando alcalicellulosa (questo processo rimuove tutte le impurità dalla cellulosa).
È importante notare che per creare il rayon modal si usano concentrazioni molto inferiori d'idrossido di sodio rispetto a quelle usate per creare il rayon viscosa, il che si traduce nella produzione di meno rifiuti tossici.
- Poi, i fogli vengono scomposti in "particelle" (*crumbs*). Diversamente dal caso della produzione del rayon di viscosa, queste particelle non vengono invecchiate e vengono invece immerse direttamente nel disolfuro di carbonio che trasforma le *white crumbs* in una sostanza arancione chiamata xantato di cellulosa di sodio.
- Lo xantato di cellulosa viene poi immerso nella soda caustica per creare una soluzione sciropposa.
- Il processo di produzione del modal bypassa nuovamente il processo di invecchiamento che di solito avviene a questo punto e quindi, questa sostanza sciropposa viene direttamente forzata attraverso una *spinneret* (senza essere fatta invecchiare) in modo da creare delle fibre.
- Queste fibre vengono poi immerse nell'acido solforico, allungate e "trasformate" in filato. Il filato risultante viene poi lavato, sbiancato, risciacquato, asciugato e caricato su bobine.

4.4.4. Lyocell

Il lyocell è una fibra tessile artificiale estratta dalla cellulosa vegetale. Esso fa parte delle fibre cellulosiche rigenerate di terza generazione (rayon di terza generazione) (Muthu, 2017).

Il processo di formazione del lyocell è il seguente (J. Kadolph & Langford, 1998; Woodward, 2016):

- Alberi di latifoglie vengono tagliati e scortecciati. Poi i tronchi (scortecciati) vengono ridotti in trucioli.
- I trucioli vengono lasciati in una vasca di digestori chimici che li ammorbidiscono in una polpa umida che sarà poi lavata ed eventualmente sbiancata.
- La pasta di cellulosa viene dunque lasciata ad asciugare e poi trasformata in grandi fogli di cellulosa; tali fogli saranno arrotolati su grandi bobine.
- Le bobine di cellulosa vengono srotolate e sminuzzate in trucioli dalle dimensioni di circa un francobollo; tali trucioli sono dunque immersi in vasconi riscaldati e pressurizzati contenenti ossido di ammina.
- Dopo un breve periodo d'immersione nel solvente, la cellulosa si dissolve in una soluzione chiara. Questa, viene poi pompata fuori attraverso un filtro, per assicurarsi che tutti i trucioli si siano dissolti.
- Successivamente, la soluzione viene forzata attraverso le *spinnerets*. Le fibre ottenute vengono poi immerse in un'altra soluzione diluita di ossido di ammina e poi lavate con acqua de-mineralizzata.
- Le fibre di lyocell appena formate vengono quindi asciugate (tramite evaporazione dell'acqua).
- Alle fibre viene applicato un lubrificante (che può essere un sapone, un silicone od un altro agente) che ha effetto "disticante"; si tratta di una fase fondamentale poiché rende molto più facili le fasi successive di cardatura e filatura.
- Le fibre essiccate e finite, a questo punto, si presentano in una forma chiamata *tow*¹⁵.
- I fasci di *tow*, poi, vengono crimpati utilizzando macchine crimpatrici¹⁶ e le fibre crimpate vengono poi cardate; si verifica quindi (con la cardatura¹⁷) la separazione-ordinamento dei filamenti.
- Infine, i fili cardati vengono tagliati e imballati per la spedizione a una fabbrica di tessuti.

Una volta terminato il processo relativo alla fabbricazione del lyocell, si procede al recupero del solvente attraverso l'evaporazione della soluzione di ossido di ammina; l'ossido di ammina recuperato viene dunque convogliato al vascone pressurizzato citato nelle prime fasi (dove vanno i trucioli di legno essenzialmente).

Il 99% dell'ossido di ammina è recuperabile nel tipico processo di produzione del lyocell (J. Kadolph & Langford, 1998; Woodward, 2016).

¹⁵ Il *tow* è un grande fascio non attorcigliato di filamenti di lunghezza continua.

¹⁶ La crimpatrice (in questo caso) è una macchina che comprime la fibra, dandole consistenza e volume.

¹⁷ La cardatura possiamo inquadrala più facilmente con il termine "pettinatura".

5. L'INDUSTRIA DELLE MMCF

5.1. Dimensioni e valore del mercato delle MMCF

Il mercato delle MMCF all'anno 2020 è caratterizzato da un volume annuo di produzione di 6,5 milioni di tonnellate (Mt), pari ad un valore di circa 16 miliardi di dollari statunitensi (Mld \$) (? , 2020). La produzione era pari a 3 Mt 30 anni or sono e nel prossimo futuro le prospettive del mercato delle fibre cellulosiche rigenerate sembrano quelle di una forte crescita (Textile Exchange, 2020).

Le MMCF costituiscono il 5,9% del volume totale della produzione di fibre tessili (Textile Exchange, 2021) e sono le fibre più utilizzate al mondo, dopo le fibre fossili e quelle cellulosiche naturali (Fashion for Good, 2020).

Come si evidenzia in figura 1 (Textile Exchange, 2021), sul volume totale mondiale di produzione la quota di mercato della viscosa è il 4,73%, quella dell'acetato lo 0,78%, quella del modal il 0,17% e, infine, quella del lyocell lo 0,26%.

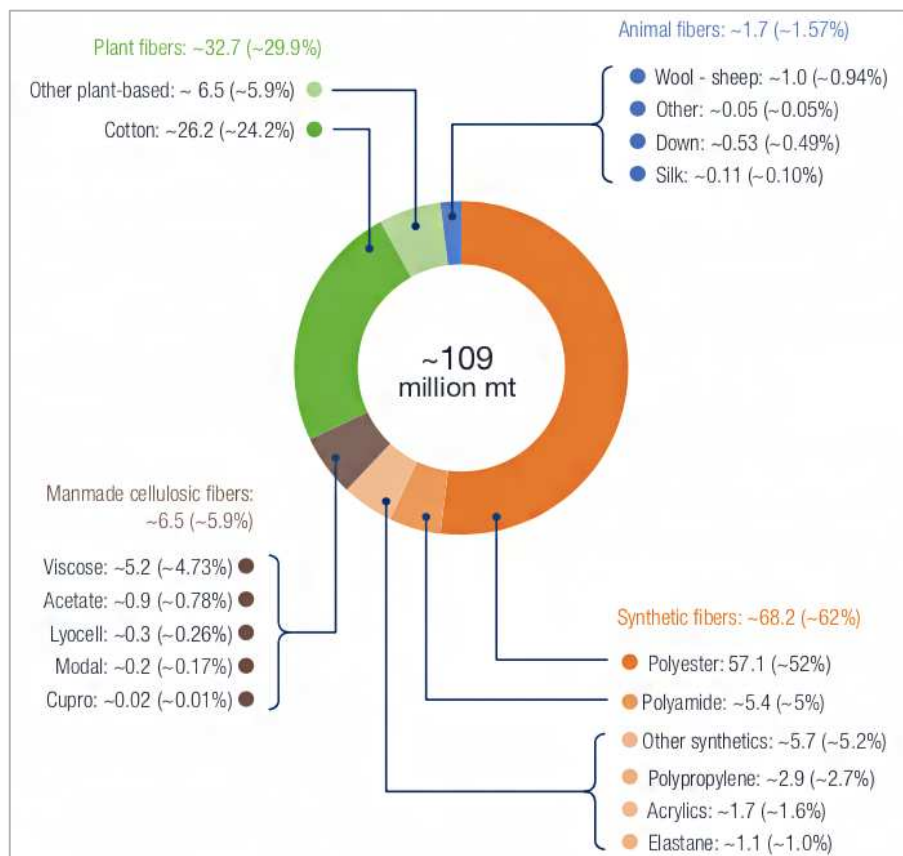


Figura 1 - Produzione globale di fibre tessili (Mt, 2020)

Dato che “the production of regenerated cellulosic fibres, such as viscose, modal and lyocell, is based mainly on the use of dissolving wood pulp as raw material” (Loureiro et al., 2021), ritengo importante evidenziare la quantità di *dissolving wood pulp* importata ed esportata globalmente e considerare alcuni dati d’import a livello nazionale italiano (tutto sempre in riferimento all’anno 2020).

Nel dettaglio, il grafico in figura 2, ripreso dai dati della BD FAOSTAT della FAO, evidenzia l’import e l’export di *dissolving pulp* a livello mondiale; mentre il grafico in figura 3, ottenuto utilizzando i dati ricavati con lo strumento d’analisi di mercato Trade Map della ITC, evidenzia l’import di *dissolving pulp* a livello nazionale.

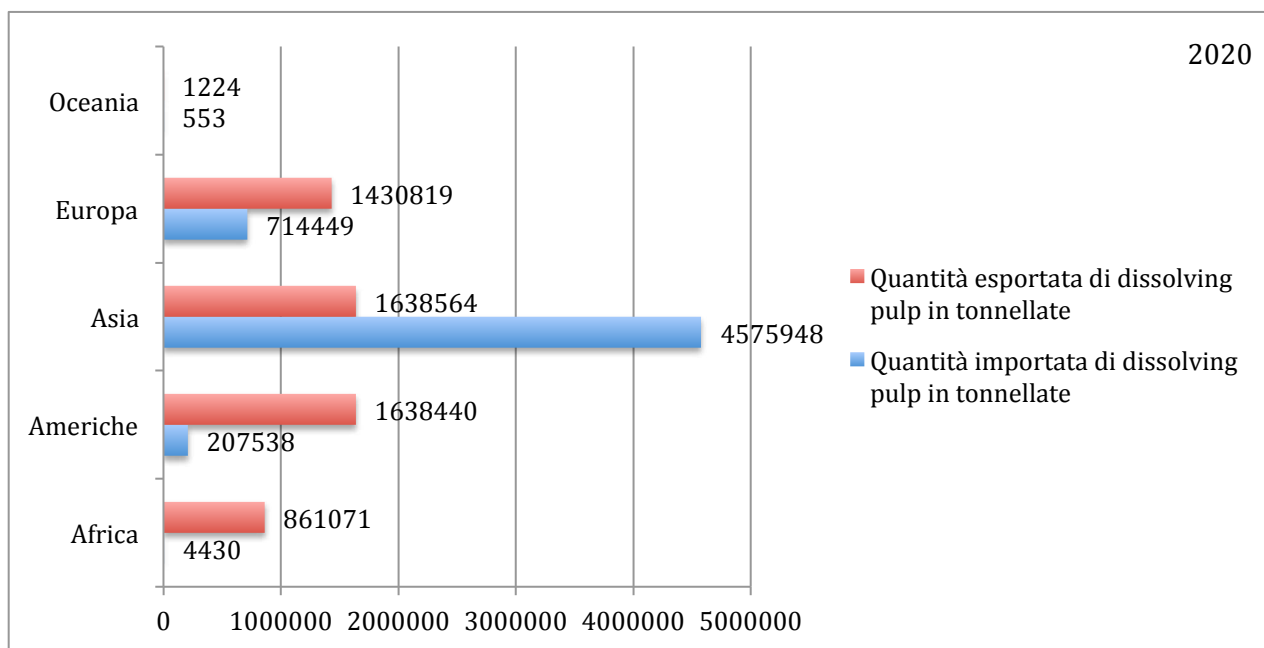


Figura 2 - Importazione ed esportazione di *dissolving wood pulp* a livello globale

Fonte: nostre elaborazioni su dati della BD FAOSTAT (Food and Agriculture Organization, 2021).

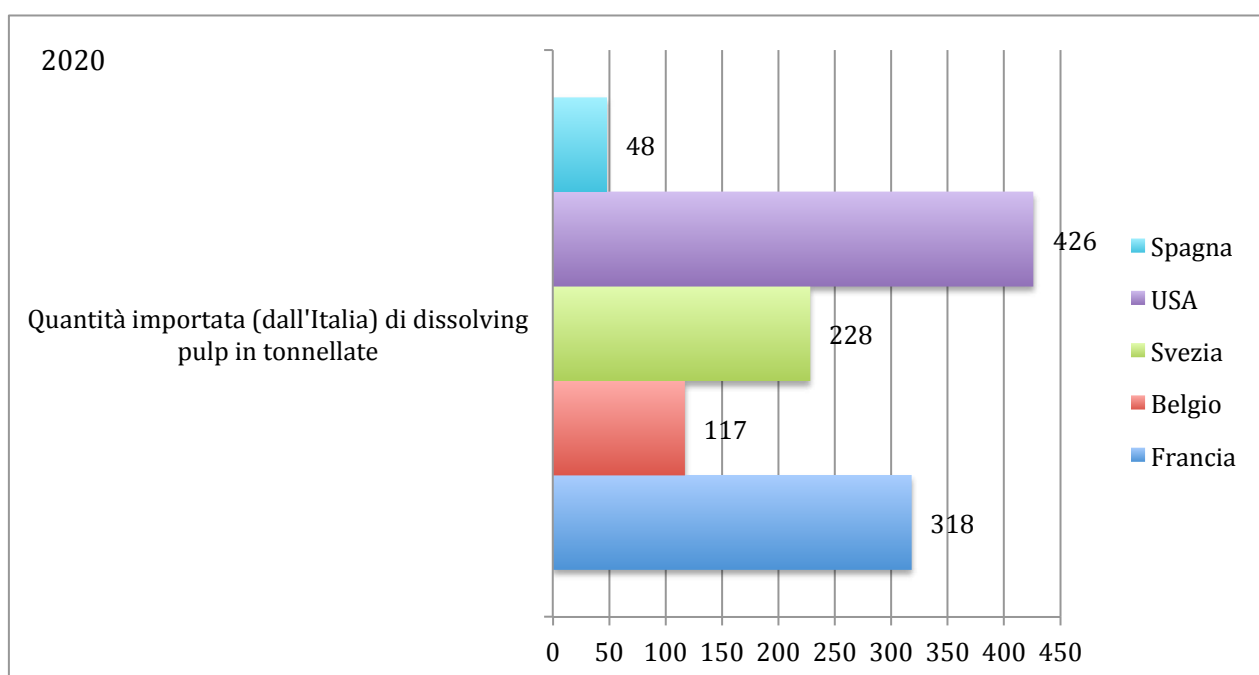


Figura 3 - Import di *dissolving wood pulp* a livello nazionale

Fonte: nostre elaborazioni su dati di ITC Trade Map (International Trade Center, senza data).

5.2. Principali aziende produttrici di rayon

In base ai dati ricavati dal sito: www.globenewswire.com, (accesso: Dicembre 2021) le principali aziende di produzione di MMCF sono:

- Aditya Birla Group (India)
- Baoding Swan Fiber Co., Ltd. (China)
- Celanese Corporation (USA)
- Century Rayon Limited (India)
- Daicel Corporation (Japan)
- Eastman Chemical Company (USA)
- Formosa Chemicals & Fiber Corporation (Taiwan)
- Glanzstoff Industries (Austria)
- Grasim Industries Limited (India)
- Indorama Ventures Public Company Limited (Thailand)
- International Paper (USA)
- Jiangsu Aoyang Technology Co., Ltd. (China)
- Kelheim Fibres GmbH (Germany)
- Lenzing AG (Austria)
- Mitsubishi Chemical Corporation (Japan)
- NRC Limited (India)
- PT Indo Bharat Rayon (Indonesia)
- PT. South Pacific Viscose (Indonesia)
- Rhodia Acetow GmbH (Germany)
- Sateri Holdings Limited (China)
- Smartfiber AG (Germany)
- Tangshan Sanyou Xingda Chemical Fiber Co., Ltd.(China)
- Thai Rayon Public Co. Ltd. (Thailand)
- Toray Industries, Inc. (Japan)
- Xinxiang Bailu Chemical Fiber Co., Ltd. (China)
- Zhejiang Fulida Co., Ltd. (China)

Delle aziende sopra citate, solo alcune offrono fibre tessili realizzate a partire da legname certificato, e tra queste le più conosciute sono indubbiamente: Aditya Birla Group, Eastman Chemical Company, Lenzing AG e Mitsubishi Chemical Corporation.

È bene però evidenziare che non necessariamente tutti i tipi di MMCF sono prodotte dalle singole aziende.

5.3. Le aziende “*best in class*”

Tenendo presente che, i fatturati ed il numero di dipendenti relativi alle singole aziende non includono solo il settore delle MMCF¹⁸, vediamo che:

¹⁸ Spesso non è possibile inquadrare con precisione fatturato e numero di dipendenti relativi alla sezione delle MMCF delle singole aziende; tali informazioni potrebbero essere oscurate al pubblico in quanto “sensibili”.

Aditya Birla Group è un grande gruppo industriale con sede a Mumbai in India. Diversi sono i settori trattati, tra cui: metalli, cellulosa e fibre, *carbon black*, tessuti, cemento e telecomunicazioni (Aditya Birla Group, senza data).

Nell'anno 2020, Aditya Birla Group presentava:

- >140.000 dipendenti (Aditya Birla Group, 2021)
- Un fatturato di 45 Mld \$ USD (Aditya Birla Group, 2021)

Aditya Birla Group produce:

- LIVAECO™: Viscosa che deriva da pasta di legno certificata¹⁹.
- LIVA REVIVA™: Viscosa composta dal 20% di rifiuti (tessili) di produzione e 80% da pasta di legno certificata.
- EXCEL™: Lyocell che deriva da eucalipto certificato.

Eastman Chemical Company è un'azienda internazionale con sede a Kingsport in Tennessee (USA) che produce una vasta gamma di materie plastiche, prodotti chimici e fibre.

Eastman è il leader mondiale delle plastiche in poliestere per l'imballaggio, un importante fornitore di stoppa di acetato di cellulosa e di prodotti chimici di base; inoltre, è fornitore *leader* di materie prime per rivestimenti, prodotti chimici fini e molte specialità chimiche e plastiche (? , senza data).

Nell'anno 2020, Eastman Chemical Company dichiarava:

- 14.500 dipendenti (? , 2021)
- Un fatturato di 8,5 Mld \$ USD (Eastman Chemical Company, 2021)

Eastman Chemical Company produce:

- NAIA™: Acetato che deriva da pino ed eucalipto certificato.

Il **gruppo Lenzing** è un *leader* mondiale nella produzione di fibre tessili cellulosiche con sede in Austria, con strutture di produzione in tutti i principali mercati e una rete mondiale di uffici di vendita e marketing. Lenzing fornisce all'industria tessile (e non solo), a livello mondiale, fibre di cellulosa vegetale di elevata qualità. Il suo "campo" spazia dalla *dissolved pulp* alle fibre di cellulosa standard e speciali (kawa, 2016).

Nell'anno 2020, Lenzing AG presentava:

- 7.358 dipendenti (Lenzing, 2021)
- Un fatturato di 1,84 Mld \$ USD; dato un po' "falsato" in quanto dal 2019 al 2020 si è registrata un'inaspettata riduzione di ca. il 20% del fatturato (Lenzing, 2021).

Lenzing AG produce:

- ECOVERO™: Viscosa che deriva da pasta di legno certificata.
- LENZING™ Modal: Modal che deriva da pasta di legno certificata.
- TENCEL™ Lyocell: Lyocell che deriva da eucalipto certificato.

¹⁹ La pasta di legno certificata si ottiene tipicamente da foreste certificate di abete rosso, acero, bambù (gigante), betulla, eucalipto, faggio, pioppo e pino (Win-Win Textiles, 2020).

Mitsubishi Corporation (MC) è un'impresa commerciale integrata globalmente con sede a Tokio in Giappone che sviluppa e gestisce attività in quasi tutti i settori, tra cui finanza industriale, energia, metalli, macchinari, prodotti chimici, alimenti e settore ambientale.

Le attività attuali di MC si stanno espandendo ben oltre la sua tradizionale attività produttiva e commerciale, dato che il suo *business* spazia dallo sviluppo delle risorse naturali agli investimenti in *retail business*, infrastrutture, prodotti finanziari e produzione di beni industriali (The Canadian Chamber of Commerce, senza data).

Nell'anno 2020, Mitsubishi Corporation presentava:

- 69.607 dipendenti (Fernández, 2021)
- Un fatturato di 33 Mld \$ USD (?, 2021)

Mitsubishi Corporation produce:

- SOALONTM Triacetate yarn: Tri(acetato) che deriva da pasta di legno certificata.

6. ECO-COMPATIBILITÀ DELLE MMCF

6.1. Uso di sostanze chimiche e conseguenti problemi ecologici

Al fine di ottenere fibre cellulosiche rigenerate è inevitabile l'utilizzo di composti chimici pericolosi; infatti, la produzione di rayon (escluso il lyocell) richiede l'utilizzo di sostanze come l'idrossido di sodio, l'acido solforico, il solfuro di carbonio, il solfuro di sodio e l'anidride acetica²⁰.

- L'idrossido di sodio o soda caustica (NaOH) è una base minerale forte (Soc. Chimica Emilio Fedeli S.p.A, senza data) altamente tossica se assorbita per inalazione, ingestione o contatto con la pelle; tale sostanza provoca corrosione, ustioni cutanee e danni agli occhi (National Center for Biotechnology Information, 2022).
- Il solfuro di carbonio o disolfuro di carbonio (CS₂) è un solfuro organico che esercita un'azione tossica sul sangue e sul sistema nervoso, dove determina focolai degenerativi corticali e midollari. Tale sostanza è alquanto pericolosa poiché è possibile assorbirla tramite inalazione (Manfredi, 1936).
- L'acido solforico (H₂SO₄) è un acido minerale forte (ZipFluid, 2019) molto corrosivo; a contatto con la pelle e con gli occhi provoca una grave distruzione dei tessuti con vesciche, gravi ustioni e danni alla vista. Inoltre, l'inalazione dei vapori può causare irritazione al naso, alla gola, tosse, broncocostrizione, difficoltà respiratoria e respiro affannoso (National Library of Medicine, senza data)
- Il solfuro di sodio (Na₂S) è un sale binario fortemente basico (? , senza data) a contatto con la pelle ed occhi provoca gravi ustioni, è tossico se ingerito e corrosivo se inalato (Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2017; Flinn Scientific, 2014). Inoltre è estremamente tossico per gli organismi acquatici (Allchital S.r.l., 2020).
- L'anidride acetica (C₄H₆O₃) è un'anidride organica ottenuta per condensazione di due molecole di acido acetico; appare sotto forma di liquido incolore e presenta un forte odore di aceto. Tale sostanza essendo fortemente corrosiva può irritare-bruciare pelle e occhi. L'assunzione può verificarsi per contatto diretto oppure indiretto tramite inalazione; l'inalazione di anidride acetica provoca irritazione a naso, gola e bocca. Dosi molte elevate, se inalate, possono determinare danni polmonari con tosse e/o mancanza di respiro (New Jersey Department of Health and Senior Services, 2005).

E' dunque evidente che l'utilizzo di tali composti chimici nella produzione di fibre cellulosiche rigenerate, per quanto indispensabile, sia altamente nocivo.

²⁰ L'anidride acetica è una sostanza che viene utilizza esclusivamente nella produzione di acetato di cellulosa e non per alti tipi di rayon.

Malattie e problematiche di vario genere insorgono a causa di queste sostanze e possono colpire *in primis* i dipendenti delle aziende ed in secondo luogo le comunità che abitano vicino gli stabili, ma anche la fauna locale (Maccolini, 2019).

Le acque reflue, prodotte durante la fabbricazione del rayon, vengono spesso scaricate non trattate in laghi e corsi d'acqua locali devastando la vita marina (Maccolini, 2019); possono sorgere anche problematiche dovute al consumo di cibo coltivato nei pressi di tali fiumi-laghi.

In aggiunta, la produzione di rayon, salvo specifici casi, è associata a deforestazione e degrado delle foreste (Fashive, 2021); tali fenomeni sono legati alla necessità di utilizzare specifiche specie vegetali per la produzione di fibre tessili. Sono dunque distrutte foreste primarie²¹ in modo da coltivare pini, eucalipti o altre specie a crescita rapida²².

La deforestazione e il degrado delle foreste, frequenti in paesi come l'Indonesia, il Brasile, il Perù e la Colombia (Rogers, 2020), comportano la distruzione d'interi habitats (grave perdita di biodiversità) e l'emissione di gas serra²³.

6.2. Disboscamento illegale e certificazioni FSC e PEFC

La produzione di rayon, come abbiamo visto in precedenza, è tipicamente causa di problematiche ambientali tra cui (spesso) il disboscamento illegale; tuttavia, se il legname acquistato è marchiato e certificato da FSC²⁴, significa che quest'ultimo debba necessariamente provenire da foreste gestite in maniera corretta e responsabile secondo rigorosi standard ambientali, sociali ed economici (Forest Stewardship Council, 2014). Considerazioni analoghe si possono fare anche per il legname certificato PEFC, uno standard ritenuto tuttavia meno rigoroso e meno applicato nella certificazione delle foreste tropicali. Questo significa che le fibre cellulosiche rigenerate (MMCF), se prodotte utilizzando legname certificato, sono maggiormente eco-compatibili.

Un esempio di sostenibilità (nella produzione di rayon) è rappresentato dal gruppo Lenzing (o Lenzing AG): una società che si affida ad una silvicoltura responsabile (Lenzing AG, senza data) e sostenibile, approvvigionandosi di legno e cellulosa da fonti certificate secondo gli standard FSC e PEFC (Lidl Ireland, 2019).

La società Lenzing AG utilizza dunque legname certificato per la produzione di viscosa, modal e lyocell²⁵ a differenza di altre aziende che, non utilizzando legno certificato, lasciano non pochi dubbi sulla sua provenienza.

²¹ Alle volte legalmente mentre altre volte illegalmente; il business che c'è dietro la produzione-vendita illegale di legname è molto rilevante.

²² In genere, si utilizzano specie a crescita rapida, ma questo non esclude che possano essere usate anche altre specie, come ad esempio il faggio.

²³ L'emissione di gas serra (diossido di carbonio nello specifico) è direttamente collegata al fenomeno della deforestazione in quanto, il legname ottenuto dai singoli alberi, se bruciato o lasciato a decomporre, rilascerà diossido di carbonio nell'atmosfera. Inoltre, è da ricordare che viene a mancare la funzione di fotosintesi e quindi l'assorbimento di carbonio da parte dei singoli organismi vegetali.

²⁴ FSC e PEFC sono organizzazioni internazionali non governative, indipendenti e senza scopo di lucro, per la promozione della gestione sostenibile delle foreste attraverso la certificazione di parte terza (Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes, senza data).

²⁵ Lenzing AG non produce acetato di cellulosa.

7. FIBRE CELLULOSICHE RIGENERATE E POLIESTERE: UN CONFRONTO

7.1. Accessibilità per il consumatore medio ai capi d'abbigliamento

Quando si parla di vendita di capi d'abbigliamento è di fondamentale importanza considerare due fattori:

- Facilità d'acquisto
- Costo

7.1.1. Facilità d'acquisto

Di primaria importanza è considerare la facilità di acquisto dei singoli capi; infatti, il consumatore medio, spesso si ritrova ad acquistare indumenti in tessuto sintetico in quanto maggiormente disponibili²⁶.

Infatti, nonostante vi siano diversi siti internet che offrano *merchandise* realizzato in MMCF, nei negozi fisici la cosa è ben diversa; diversa, poiché raramente vestiti in fibra di cellulosa rigenerata sono disponibili e quando sono disponibili, spesso sono combinati con fibre sintetiche rendendo il tutto non eco-compatibile.

Leggermente differente è il discorso se si parla esclusivamente di viscosa in quanto tale tipo di tessuto è più facilmente²⁷ reperibile (basti pensare che la produzione di viscosa occupa circa l'80% della produzione delle MMCF) (PricewaterhouseCoopers, 2021).

7.1.2. Costo

Il consumatore medio, nonostante stia diventando sempre più *green*²⁸, considera da sempre prioritario il risparmio ed i capi in poliestere (puri e *blended*), avendo prezzi maggiormente accessibili, sono tendenzialmente i più acquistati (Casey, 2013)

Il poliestere, come vedremo in seguito, è un tipo di fibra sintetica con caratteristiche tecnologiche straordinarie e, se consideriamo la facile accessibilità ed il costo ridotto, è chiaro come il poliestere sia la fibra tessile più prodotta e venduta al mondo (Textile Exchange, 2021).

²⁶ Per verificare ciò, è sufficiente entrare in un qualsiasi negozio di abbigliamento e controllare le etichette dei singoli capi; la maggior parte di questi saranno costituiti da poliestere combinato con altri tessuti o eventualmente da poliestere puro.

²⁷ Più facilmente non significa ovviamente che la presenza di vestiti realizzati in viscosa sia assicurata nei negozi; inoltre, è bene comprendere che (come ricordato in precedenza) sono piuttosto infrequenti abiti realizzati al 100% da MMCF come la viscosa.

²⁸ Il consumatore *green* (definito anche come consumatore 2.0) è quel tipo di consumatore che, ad esempio, preferisce l'acquisto d'indumenti maggiormente eco-compatibili cercando di abbandonare la fibra sintetica da fonti fossili in quanto dannosa per l'ambiente e l'uomo (Mousumi, 2010).

Per confrontare adeguatamente prodotti in fibra di cellulosa rigenerata e prodotti in fibra sintetica è imperativo considerare il prezzo del tessuto sfuso e non tanto il prezzo del vestito finito, poiché, quest'ultimo è radicalmente influenzato dall'identità del *brand* dell'azienda di abbigliamento.

Attraverso il sito web "moodfabric" è stato possibile determinare il prezzo minimo dei principali tessuti in fibra di cellulosa rigenerata e dei tessuti in poliestere. I tessuti analizzati presentavano un'altezza media di 150 cm, erano colorati (quasi tutti neri tranne la viscosa che era color rosa fluo) e privi di stampe. Per essere quanto più precisi possibile, non sono stati tenuti in considerazione eventuali sconti, poiché avrebbero falsato i risultati.

In sintesi, i risultati di questa indagine sono:

- Un tessuto in poliestere puro al 100% (con altezza di 150 cm) ha un prezzo minimo di 2,55 €/ml²⁹
- Un tessuto in acetato puro al 100% (con altezza di 155 cm) ha un prezzo minimo di 5,78 €/ml
- Un tessuto in viscosa pura al 100% (con altezza di 152 cm) ha un prezzo minimo di 6,75 €/ml
- Un tessuto in modal puro al 100% (con altezza di 154 cm) ha un prezzo minimo di 11,58 €/ml
- Un tessuto in lyocell³⁰ puro al 100% (con altezza di 145 cm) ha un prezzo minimo di 15,44 €/ml

Da questo elenco³¹, si evince chiaramente che il poliestere è la fibra tessile più economica rispetto alle altre analizzate in questa sede, mentre, per quanto riguarda le MMCF, è interessante osservare che, man mano ci si sposti da una generazione di rayon precedente alla successiva, il prezzo tenda ad aumentare notevolmente. Si tenga, infatti, presente che viscosa e acetato sono considerati rayon di prima generazione a differenza del modal e del lyocell che sono rispettivamente di seconda e terza generazione.

Ricordato questo aspetto, è di notevole importanza sottolineare anche che è raro al giorno d'oggi trovare fibre tessili non combinate e questo rende estremamente complicato farsi un'idea precisa circa il valore dei tessuti puri. Infatti, facendo due esempi, il modal è combinato con elastam³² e la viscosa è combinata con cotone; in aggiunta, da considerare è anche la percentuale di "mescolanza delle fibre" che compongono il tessuto³³.

²⁹ Con il termine "ml" s'indicano i metri lineari.

³⁰ Il lyocell in questo caso è stato prodotto da Tencel, trattasi dunque (come ricordato in precedenza) di un prodotto eccezionale in termini di rispetto ambientale. Nel sito analizzato non vi erano tessuti (a quella fascia di prezzo) in "fibra di lyocell non brandizzata".

³¹ Dati ricavati dal sito: www.moodfabric.com (accesso: Dicembre 2021)

³² In genere, la composizione dei tessuti in modal è questa: 95% modal e 5% elastam (team BERNINA Lugano, senza data).

³³ Non è scontata, poiché differenti mescolanze conseguono in differenti prezzi.

7.2. Proprietà tecnologiche dei singoli tessuti

Nella tabella che segue sono sinteticamente riportate le caratteristiche positive e negative dei diversi tipi di tessuto.

Tipo di tessuto	Caratteristiche positive del tessuto	Caratteristiche negative del tessuto
Viscosa	Adatto per essere mescolato con altre fibre	Durante il lavaggio può restringersi e deformarsi
	Antistatico	Poco resistente agli alcali ed agli acidi
	Assorbe il doppio dell'umidità rispetto al cotone	Si deteriora a contatto con l'acqua, alle alte temperature e quando esposto a radiazioni UV
	Igienico	Tende a stropicciarsi
	Ipoallergenico	
	Facile da tingere e se tinto correttamente non sbiadisce al sole	
	Molto resistente quando è asciutto	
	Morbido e piacevole al tatto	
Acetato	Adatto per le stampe	Fonde se eccessivamente riscaldato
	Asciuga rapidamente	Necessita di tinte speciali (per essere colorato)
	Aspetto lussuoso	Non adatto alle basse temperature
	Fresco	Poco resistente quando bagnato
	Morbido	Scarsa resistenza all'abrasione
	Ipoallergenico	
	Non si restringe facilmente	
	Non forma pelucchi	
(Quasi) anti-statico		
Modal	Adatto per essere mescolato con altre fibre; dona resistenza ed elasticità al prodotto finale	Abbastanza costoso
	Fresco	Non adatto alle basse temperature
	Luminoso	Può scatenare reazioni allergiche in alcune persone
	Molto assorbente	Tende ad ingiallire se esposto a temperature elevate
	Non si stropiccia (<i>anti-wrinkle</i>)	
	Ottima risposta alla tintura	
	Resistenza e tenacità equivalente alle fibre sintetiche (maggiore del cotone puro e del policotone)	
	Setoso (molto morbido)	

Tipo di tessuto	Caratteristiche positive del tessuto	Caratteristiche negative del tessuto
Lyocell	Adatto per essere mescolato con altre fibre	Costoso
	Elastico	Difficile da tingere (scarsa ritenzione dei coloranti)
	Elevata capacità di assorbimento (<i>moisture absorpton</i>)	Richiede molta energia per essere prodotto
	Estremamente versatile	Suscettibile all'attacco da parte di muffe
	"Effetto antibatterico"	
	Molto luminoso	
	Non si stropiccia (<i>anti-wrinkle</i>)	
	Resistente	
Setoso (molto morbido)		
Poliestere	Di facile manutenzione	Fonde se esposto a temperature elevatissime (si attacca alla pelle provocando severe ustioni) ³⁴
	Elevata protezione contro i raggi UV (protegge la pelle)	Ridotta capacità di assorbimento (<i>moisture absorption</i>); a temperature elevate il tessuto a causa del sudore tenderà ad "incollarsi" alla pelle
	Estremamente versatile	Scarsa traspirabilità (si riduce il <i>comfort del tessuto</i> quando la pelle è bagnata)
	Leggero	Trattiene bene gli odori
	Molto elastico	
	Molto resistente	
	Morbido (quasi setoso)	
	Prezzo molto basso (in genere)	
	(Quasi) <i>waterproof</i>	
	Resistente al calore	
Resistente alle muffe ed alle sostanze chimiche (<i>chemicals</i>)		

Tabella 1 Proprietà tecnologiche di viscosa, acetato, modal, lyocell e poliestere.

Fonti: James V, 2020; Miller, 2019; Pan , 2019; New World Encyclopedia, senza data; Paleviciute, 2021; Tissura, senza data; ?, senza data; ?, senza data.

Doveroso è aggiungere che, come già accennato, per ottenere proprietà tecnologiche differenti (e spesso migliori), si combinano tra loro fibre tessili diverse. Uno dei tessuti più popolari è difatti un mix tra cotone e poliestere che

³⁴ Il poliestere fonde a temperature maggiori di 250° C (Technofabric, senza data); il tessuto, dunque, se a contatto diretto (o comunque molto vicino) ad una fiamma, tenderà a fondere (la fiamma ha una temperatura media di ca. 600°C).

prende il nome di policotone o *polycotton* in inglese. Il *blending* di tessuti diversi può, infatti, migliorare le caratteristiche del prodotto finale rendendolo superiore ai materiali di partenza ed effettivamente il policotone è più resistente e si restringe e stropiccia meno di poliestere e cotone presi singolarmente (? , 2018).

8. RICICLO E CIRCOLARITÀ NELL'INDUSTRIA DEL TESSILE

8.1. L'importanza del riciclo

In precedenza è stato indicato che il riciclo è da considerarsi il punto cardine dell'economia circolare, poiché permette il recupero di materia prima da oggetti che altrimenti verrebbero eliminati riducendo conseguentemente la necessità di estrarre ulteriore materia prima.

Il riciclo di materia prima non rinnovabile, per quanto non sia completamente in linea³⁵ con i principi della bioeconomia, oggi risulta essere di primaria importanza siccome risorse limitate come il petrolio stanno iniziando ad esaurirsi.

È opportuno mettere in evidenza che è proprio il settore della moda a consumare quantità significative di greggio; si parla, infatti, di circa 100 milioni di tonnellate annue utilizzate dall'industria della moda³⁶ (Toronto Outdoor Education Schools, 2020). La fabbricazione quindi di poliestere e altre fibre sintetiche continua a ridurre la sempre minore disponibilità di combustibili fossili che sono ancora fondamentali per la sopravvivenza dell'uomo³⁷.

Alternative alle fibre sintetiche sono svariate e una di queste comprende ovviamente l'uso di fibre cellulosiche rigenerate. Tali fibre, se ottenute senza l'uso di sostanze chimiche pericolose ed utilizzando come unico elemento di partenza legname certificato FSC (Tencel del gruppo Lenzing, ad esempio), sono da considerarsi perfettamente eco-compatibili e migliori rispetto a "competitors" come il cotone³⁸. Vi è però un grave problema per le fibre cellulosiche semi-sintetiche: la notevole difficoltà a riciclare indumenti realizzati con suddette fibre per produrre nuovi capi.

È dunque evidente come la produzione e l'utilizzo d'indumenti in fibra sintetica riciclata³⁹, considerando la mole di "tessuto fossile" in circolazione, diventi indispensabile per affrontare la necessaria transizione verso una moda maggiormente eco-compatibile. Sfortunatamente però, fibre sintetiche come, ad esempio, l'elastam e il poliestere sono tipicamente combinate con altri tipi di tessuto rendendo di fatto impossibile il loro riciclaggio⁴⁰.

Il riciclaggio di tessuti misti è pertanto uno degli obiettivi più ambiziosi per una transizione ecologica del settore tessile. Sono, infatti, pochi⁴¹ i tessuti ad essere costituiti al 100% da un singolo tipo di fibra.

³⁵ Non completamente in linea poiché si fa riferimento a materia prima non rinnovabile.

³⁶ Sono compresi trasporto, creazione e tintura.

³⁷ La maggior parte dell'energia elettrica globale si ricava a partire da combustibili fossili (petrolio *in primis*) (Pajdo, 2021).

³⁸ La coltivazione del cotone richiede un uso massiccio di pesticidi, acqua e fertilizzanti.

³⁹ Il poliestere riciclato si ricava tipicamente da bottiglie di plastica ma anche da scarti di tessuto (Schwerdfeger, 2021).

⁴⁰ Non è ancora possibile il riciclo di tessuti misti in fibra sintetica ma potrebbe diventare possibile nel breve.

⁴¹ Tessuti puri al 100% sono pochi rispetto alla quantità di "tessuti mescolati".

8.1.1. L'innovativa *Green Machine*

La *Green Machine*, sviluppata da HKRITA con il supporto di H&M Foundation, è la prima tecnologia al mondo in grado di riciclare grandi volumi di tessuti misti⁴² senza alcuna perdita di qualità (Gambi, 2020b; H&M Foundation, senza data). Questo macchinario, grazie ad un processo che utilizza acqua, calore e una sostanza chimica biodegradabile, riesce a dividere il policotone in cotone sotto forma di polvere di cellulosa e poliestere pronto per essere filato (Gambi, 2020b; H&M Foundation, senza data).

La sostanza chimica biodegradabile, utilizzata nel processo di separazione delle fibre, spesso non è esplicitata-dichiarata nei documenti presenti in rete. Ad ogni modo, sembrerebbe che, tale sostanza sia acido citrico che nello specifico è diluito al 5% in acqua (Salamone, 2020).

Analizzando la *Green Machine*, scopriamo che (Gambi, 2020b; H&M Foundation, senza data):

- è efficiente in termini di costi e tempi;
- non genera inquinamento secondario poiché si utilizza un ciclo chiuso in cui acqua, calore e prodotti chimici vengono riutilizzati più volte;
- è modulare (può essere adattata per ogni stabilimento).

La *Green Machine* dovrebbe entrare in funzione entro la fine del 2022 in Cambogia.

⁴² Con tessuto misto s'intende esclusivamente il policotone.

9. CONCLUSIONI

Alla luce dei dati e delle considerazioni riportate nella tesi, è evidente che, per una transizione ecologica nel settore dei tessuti, bisogna puntare su tecnologie alternative maggiormente avanzate. Nessuna delle fibre tessili analizzate è priva di fattori critici di carattere ambientale.

Le fibre sintetiche di fonte fossile, nonostante siano molto competitive per il loro costo ridotto e per le proprietà tecnologiche, si basano su materie prime non rinnovabili e comportano emissioni di gas di serra, mentre le MMCF, ad esclusione del Tencel⁴³ e di qualche altra fibra di lyocell brandizzata, non sono del tutto eco-compatibili ma sono sicuramente migliori delle fibre fossili se realizzate attraverso un processo produttivo a circuito chiuso utilizzando legname certificato.

Per quanto riguarda invece le fibre cellulosiche naturali, come il cotone ad esempio, neppure queste possono essere definite *environmentally friendly* poiché nella maggior parte dei casi la loro coltivazione richiede grandi spazi, sostanze chimiche inquinanti e massicci quantitativi di acqua⁴⁴.

È dunque opportuno destinare grandi quantità di risorse umane e finanziarie al fine di migliorare le attuali tecnologie di riciclo; sarà necessario riciclare per scongiurare una crisi globale dovuta all'esaurimento delle risorse. Inoltre, una volta perfezionate nuove tecniche di riciclo, dovranno assolutamente essere sviluppati metodi avanzati per la produzione di fibre tessili a partire dagli scarti alimentari, tecnologia ancora in fase sperimentale, in modo da abbracciare pienamente il paradigma della bioeconomia circolare.

⁴³ Si ricorda che il Tencel è lyocell brandizzato Lenzing.

⁴⁴ Cotone e canapa richiedono molta acqua, mentre il lino ne richiede poca; questo dipende quindi dalla fibra naturale considerata. Ricordiamo però che il cotone occupa quasi tutta la produzione di fibre cellulosiche naturali (vd. Figura 1) quindi quando si parla di fibre cellulosiche naturali si fa riferimento soprattutto al cotone.

10. SITOGRAFIA

?. (2017, Luglio 1). Rayon, modal, lyocell – who's the fairest of them all?. *Ettitude*. Consultato in data Dicembre 12, 2021, da: <https://ettitude.com/impact/whos-the-fairest-of-them-all>

?. (2018, Aprile 19). Top 5 poly cotton advantages and disadvantages you need to know. Bizvibe. Consultato in data Dicembre 12, 2021, da <https://blog.bizvibe.com/blog/textiles-and-garments/5-poly-cotton-advantages-and-disadvantage>

?. (2020, Ottobre 20). Global rayon fibers industry (2020 to 2027) - market trajectory & analytics. *Globenewswire*. Consultato in data Dicembre 24, 2021, da: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2020/10/20/2110891/28124/en/Global-Rayon-Fibers-Industry-2020-to-2027-Market-Trajectory-Analytics.html>

?. (2021). Eastman chemical: number of employees 2006-2021 | EMN. *Macrotrends*. Consultato in data Dicembre, 27 2021, da: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/EMN/eastman-chemical/number-of-employees>

?. (2021). Mitsubishi chemical holdings revenue 2013-2021 | MTLHY. *Macrotrends*. Consultato in data Dicembre 27, 2021, da: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/MTLHY/mitsubishi-chemical-holdings/revenue>

?. (senza data). The complete history of polyester. *Qualitynylonrope*. Consultato in data Dicembre 5, 2021, da <https://www.qualitynylonrope.com/blog/the-complete-history-of-polyester/>

?. (senza data). Eastman Chemical Company. *Semi*. Consultato in data Dicembre 27, 2021, da <https://www.semi.org/en/resources/member-directory/eastman-chemical-company>

?. (senza data). Solfuro di sodio. *Chimica-online*. Consultato in data Dicembre 11, 2021, da <https://www.chimica-online.it/composti/solfuro-di-sodio.htm>

?. (senza data). Acetate. *Fabriclink*. Consultato in data Dicembre 9, 2021, da <https://www.fabriclink.com/University/Acetate.cfm>

?. (senza data). Discover the fabric of the future: lyocell. *Lyocell*. Consultato in data Dicembre 31, 2021, da <https://lyocell.info/>

Aditya Birla Group. (2021, Luglio). Group presentation july. *Adityabirla*. Consultato in data Dicembre 27, 2021, da <https://www.adityabirla.com/about-us/downloads/Group-presentation-July-2021.pdf>

Aditya Birla Group. (senza data). About us. *Adityabirla*. Consultato in data Dicembre 27, 2021, da <https://www.adityabirla.com/about-us>

Agrifood & Bioeconomy Cluster Agency. (2018 Aprile, 16). Il ruolo della bioeconomia nell'economia circolare regionale europea. *Agrifoodfvg*. Consultato in data Dicembre 17, 2021, da <https://www.agrifoodfvg.it/ProxyVFS.axd?snode=15507&stream=>

Allchital S.r.l. (2020 Agosto, 7). Scheda di dati di sicurezza. *Allchital*. Consultato in data Dicembre 22, 2021, da https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjJocCksZr1AhVB8LsIHbYKCo0QFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.allchital.it%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F08%2F2908240_-_SODIO-SOLFURO_IT.pdf&usg=AOvVaw2U1hYpi5l3forUQgvY5229

Bellis, M. (2020, Gennaio 9). The history of polyester. *Thoughtco*. Consultato in data Dicembre 17, 2021, da <https://www.thoughtco.com/history-of-polyester-4072579>

BFC. (2021, Giugno 10). Il rayon. *Segretidelloshopping*. Consultato in data Dicembre 9, 2021, da <https://segretidelloshopping.it/il-rayon/>

Britannica. (2009 Marzo, 16). Spinneret. *Britannica*. Consultato in data Dicembre 8, 2021, da <https://www.britannica.com/technology/spinneret-fibre-manufacturing>

Canadian Centre for Occupational Health and Safety. (2017, Gennaio 3). Sulfur dioxide. *Ccohs*. Consultato in data Dicembre 19, 2021, da https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/sulfurdi.html

Carus, M. (2017, Agosto 30). The bioeconomy is much more than a circular economy. *Brain-biotech*. Consultato in data Dicembre 20, 2021, da <https://www.brain-biotech.com/blickwinkel/circular/the-bioeconomy-is-much-more-than-a-circular-economy/>

Casey, B. (2013, Settembre 2). Frugal fashion: just say no to polyester. *Moneyaftergraduation*. Consultato in data Gennaio 2, 2022, da <https://www.moneyaftergraduation.com/frugal-fashion-just-say-no-to-cheap-fabrics/>

cuoremondo. (2018, Dicembre 11). Ecco perché i vestiti inquinano. *Cuoremondo*. Consultato in data Dicembre 14, 2021, da <https://www.cuoremondo.it/post/i-vestiti-inquinano-perch%C3%A9>

Eastman Chemical Company. (2021, Gennaio 28). Eastman announces fourth-quarter and full-year 2020 financial results. *Eastman*. Consultato in data Dicembre 27, 2021, da https://www.eastman.com/Company/News_Center/2021/Pages/Eastman-Announces-Fourth-Quarter-and-Full-Year-2020.aspx

European Commission. (2012, Febbraio 13). Commission proposes strategy for sustainable bioeconomy in Europe. *Ec.europa*. Consultato in data Dicembre 6, 2021, da <https://ec.europa.eu/newsroom/growth/items/45753>

European Commission. (2013, Novembre 20). Bioeconomy. *Ec.europa*. Consultato in data Dicembre 28, 2021, da <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/bioeconomy#Article>

Facchi, R. (2019, Gennaio 30). Fast fashion: i vestiti che indossiamo tutte e che stanno uccidendo il pianeta. *Robadadonne*. Consultato in data Gennaio 2, 2022, da <https://www.robadadonne.it/175353/fast-fashion-vestiti-uccidendo-pianeta/>

Fashion for Good. (2020, Settembre). Coming full circle: innovating towards sustainable man-made cellulosic fibers. *Fashionforgood*. Consultato in data Dicembre 19, 2021, da https://reports.fashionforgood.com/wp-content/uploads/2020/09/Final-Coming-Full-Circle_Final.pdf

Fashive. (2021, Marzo 10). The Next-Gen cellulose: can we replace trees?. *Fashive*. Consultato in data Dicembre 11, 2021, da <https://fashive.org/the-next-gen-cellulose-can-we-replace-trees/#e577>

Fernández, L. (2021, Luglio 6). Mitsubishi chemical holdings corporation's number of employees from 2010 to 2020. *Statista*. Consultato in data Dicembre 27, 2021, da <https://www.statista.com/statistics/784467/mitsubishi-chemical-holdings-corporation-number-of-employees/>

Fibre2Fashion. (senza data). History of fibre development. *Technicaltextile*. Consultato in data Dicembre 17, 2021, da <https://www.technicaltextile.net/articles/history-of-fibre-development-2442>

Flinn Scientific. (2014, Aprile 21). Sodium sulfide safety data sheet (SDS). *Flinnsci*. Consultato in data Dicembre 13, 2021 da https://www.flinnsci.com/sds_762-sodium-sulfide/sds_762/

Food and Agriculture Organization. (2021). Forestry Production and Trade. *Fao*. Consultato in data Febbraio 20, 2022 da www.fao.org/faostat/en#data/FO

Forest Stewardship Council. (2014, Gennaio 10). Chi siamo. *It.fsc*. Consultato in data Dicembre 14, 2021, da <https://it.fsc.org/it-it/chi-siamo>

Furcolo, N. (2021, Settembre 16). Progetto di fattibilità tecnico economica: relazione di sostenibilità dell'opera. *Biblus.acca*. Consultato in data Gennaio 12, 2022, da <https://biblus.acca.it/progetto-di-fattibilita-tecnico-economica-relazione-di-sostenibilita-dellopera/>

Gambi, S. (2020a, Gennaio 30). Episodio 6: è il poliestere la fibra più utilizzata al mondo: ma lo conoscete davvero?. *Solomodasostenibile*. Consultato in data Dicembre 5, 2021, da <https://www.solomodasostenibile.it/2020/01/30/episodio-6-e-il-poliestere-la-fibra-piu-utilizzata-al-mondo-ma-lo-conoscete-davvero/>

Gambi, S. (2020b, Novembre 20). Green Machine e Loop: il riciclo possibile di H&M. *Solomodasostenibile*. Consultato in data Gennaio 1, 2022, da

<https://www.solomodasostenibile.it/2020/11/20/green-machine-e-loop-il-riciclo-possibile-di-hm/>

Gebisa, B. (2020, Gennaio 20). Physical Property of Acrylic Fiber. *Authorea*. Consultato in data Dicembre 4, 2021, da <https://www.authorea.com/users/293116/articles/421029-physical-property-of-acrylic-fiber>

H&M Foundation. (senza data). Green Machine - recycling blend textiles at scale. *Hmfoundation*. Consultato in data Gennaio 1, 2022, da <https://hmfoundation.com/project/recycling-the-green-machine/>

James V. (2020, Settembre 4). Is modal fabric breathable? (modal fabric pros and cons). *Sewingischool*. Consultato in data Dicembre 31, 2021, da <https://sewingischool.com/breathable-modal-fabric-pros-and-cons/>

International Trade Center. (senza data). List of supplying markets for the product imported by Italy in 2020. *Trademap*. Consultato in data Marzo 2, 2022, da https://www.trademap.org/Country_SelProductCountry.aspx?nvpm=1|381|||4702||4|1|1|1|1|1|2|1|1|1

kawa. (2016, Agosto 2). Lenzing invests more than EUR 100 million in new production capacities for specialty fibers in Austria. *Lenzing*. Consultato in data Dicembre 24, 2021, da https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwis-IfPzKn1AhXJiP0HHeM9DJMQFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.lenzing.com%2Ffileadmin%2Fcontent%2FPDF%2F01_Medien%2FPresseausendungen%2FFEN%2FPA_2016_07_02_EN_Lenzing_invests_in_Austria.pdf&usg=AOvVaw1K31aYj5My8XD-3f0NRxqu

Kiron, M. I. (2012, Marzo 12). Production process of viscose rayon. *Textilelearner*. Consultato in data Dicembre 11, 2021, da <https://textilelearner.net/viscose-rayon-manufacturing-process/>

Lenzing. (2021). Lenzing Group *weathers* the crisis year 2020 and remains strategically well on track. *Lenzing*. Consultato in data Dicembre 27, 2021, da <https://www.lenzing.com/newsroom/press-releases/press-release/lenzing-group-weathers-the-crisis-year-2020-and-remains-strategically-well-on-track>

Lenzing. (senza data). External recognition. *Lenzing*. Consultato in data Dicembre 22, 2021, da <https://www.lenzing.com/sustainability/external-recognition>

Lidl ireland. (2019, Marzo 1). Position paper on the sustainable sourcing of timber and wood-based products. *Lidl*. Consultato in data Dicembre 22, 2021, da <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiLsaqYt5r1AhXMiP0HHXRcD1AQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.abettertomorrow-lidl.ie%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F02%2FSustainable-Sourcing-of-Timber-and-Wood-Based-Policy.pdf&usg=AOvVaw1s5JhOFTldXvl8wZztAvm6>

Maccolini, S. (2019, Maggio 3). Moda inquinante | Lo sporco della moda: la viscosa fa malissimo all'ambiente (ma si può farne a meno). *Linkiesta*. Consultato in data Dicembre 21, 2021, da <https://www.linkiesta.it/2019/05/viscosa-industria-moda-inquinamento/>

Manfredi, L. (1936). Tratto il giorno 12 23, 2021 da https://www.treccani.it/enciclopedia/solfuro-di-carbonio_%28Enciclopedia-Italiana%29/

Manfredi, L. (1936). Solfuro di carbonio. *Treccani*. Consultato in data Dicembre 23, 2021, da https://www.treccani.it/enciclopedia/solfuro-di-carbonio_%28Enciclopedia-Italiana%29/

MasterClass staff. (2021, Agosto 12). Fabric guide: what is viscose? Understanding viscose fabric and how viscose is made. *Masterclass*. Consultato in data Dicembre 23, 2021, da <https://www.masterclass.com/articles/fabric-guide-what-is-viscose-understanding-viscose-fabric-and-how-viscose-is-made#how-is-viscose-made>

Miller, B. (2019, Novembre 1). 17 pros and cons of modal fabric. *Greengarageblog*. Consultato in data Dicembre 31, 2021, da <https://greengarageblog.org/17-pros-and-cons-of-modal-fabric>

Mousumi, R. (2010, Maggio 4). Green consumer. *Sk.sagepub*. Consultato in data Dicembre 30, 2021, da <https://sk.sagepub.com/reference/greenconsumerism/n71.xml>

Mr. Pan. (2019, Giugno 19). Characteristics of modal fabrics. *Beaut4ecotex*. Consultato in data Dicembre 31, 2021, da <http://www.beaut4ecotex.com/resources/characteristics-of-modal-fabrics.html>

National Center for Biotechnology Information. (2022). Sodium hydroxide. *Pubchem.ncbi.nlm.nih*. Consultato in data Gennaio 4, 2022, da <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-hydroxide>

National Library of Medicine. (senza data). Sulfuric acid. *Webwiser.nlm.nih*. Consultato in data Dicembre 25, 2021, da <https://webwiser.nlm.nih.gov/substance?substanceId=316&catId=83>

New Jersey Department of Health and Senior Services. (2005, Dicembre). Hazardous Substance fact sheet. *Web.doh.state.nj*. Consultato in data Dicembre 10, 2021, da https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiX5OzIs5r1AhUJiP0HHS4_AS0QFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.nj.gov%2Fhealth%2Fehoh%2Frtkweb%2Fdocuments%2Ffs%2F0005.pdf&usg=AOvVaw2k6BjQrKCVE2ZmPi8J1NAW

New World Encyclopedia. (senza data). Cellulose acetate. *Newworldencyclopedia*. Consultato in data Dicembre 31, 2021, da

https://www.newworldencyclopedia.org/entry/cellulose_acetate#Fiber_Properties

Pajdo, P. (2021, Giugno 22). L'oro nero domina il mix energetico mondiale. *Corriere*. Consultato in data Gennaio 1, 2022, da <https://www.corriere.ca/analisi/loro-nero-domina-il-mix-energetico-mondiale/>

Paleviciute, R. (2021, Agosto 1). What is lyocell fabric and is it sustainable?. *Makefashionbetter*. Consultato in data Dicembre 31, 2021, da <https://www.makefashionbetter.com/blog/what-is-lyocell-fabric-and-is-it-sustainable>

Pauletti, C. (2021, Marzo 18). Fast Fashion: di cosa si tratta?. *Friendlyshop*. Consultato in data Dicembre 10, 2021, da <https://www.friendlyshop.it/fast-fashion-di-cosa-si-tratta/>

PricewaterhouseCoopers. (2021). Re-fiber: il futuro delle fibre tessili è sostenibile. *Pwc*. Consultato in data Dicembre 29, 2021, da https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwixpLVpYn1AhW9h_OHHXqmDXs4FBAWegQIBhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.pwc.com%2Fit%2Fit%2Findustries%2Fretail-consumer%2Fassets%2Fdocs%2Fpwc-ReFiber-sostenibile.pdf&usq=A0vVaw3aZBfpsBpgn-tNqIVODKkr

Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes. (senza data). What is PEFC?. *Pefc*. Consultato in data Dicembre 22, 2021, da <https://www.pefc.org/discover-pefc/what-is-pefc>

Rogers, S. (2020, Febbraio 2). Fibre naturali: sicuri che siano ecosostenibili?. *Vogue*. Consultato in data Dicembre 15, 2021 da <https://www.vogue.it/moda/article/tessuti-ecosostenibili-viscosa-rayon-deforestazione-amazzonia>

Salamone, L. (2020, Novembre 20). Cos'è la green machine della H&M Foundation. *Nssmag*. Consultato in data Gennaio 5, 2022, da <https://www.nssmag.com/it/fashion/24319/hm-green-machine-monki>

Schwerdfeger, E. (2021, Aprile 23). Real talk: how sustainable is recycled polyester? Here's the surprising truth. *Brightly*. Consultato in data Gennaio 1, 2022, da <https://brightly.eco/recycled-polyester-impact/>

Sewport Support Team. (2019, Dicembre 3). What is modal fabric: properties, how its made and where. *Sewport*. Consultato in data Dicembre 11, 2021, da <https://sewport.com/fabrics-directory/modal-fabric>

Sewport Support Team. (2021, Dicembre 10). What is viscose fabric: properties, how its made and where. *Sewport*. Consultato in data Dicembre 11, 2021, da <https://sewport.com/fabrics-directory/viscose-fabric>

Soc. Chimica Emilio Fedeli S.p.A. (senza data). Soda caustica. *Chimicafedeli*. Consultato in data Dicembre 30, 2021, da <https://www.chimicafedeli.it/soda-caustica.html>

Takama, M. (2020, Ottobre 24). Problems with synthetic fabrics. *Movemetica*. Consultato in data Dicembre 18, 2021, da <https://movemetica.com/blogs/news/problems-with-synthetic-fabrics>

team BERNINA Lugano. (senza data). Jersey collezione poppy. *Bernina-lugano*. Consultato in data Dicembre 30, 2021, da https://www.bernina-lugano.ch/online_shop/tessuti/TESSUTO_POPPY

Technofabric. (senza data). Poliestere. *Technofabric*. Consultato in data Gennaio 4, 2022, da <https://www.technofabric.com/Poliestere.html>

Textile Exchange. (2020). Preferred fiber & materials market report 2020. *Textileexchange*. Consultato in data Dicembre 24, 2021, da https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiP7dSbxbP1AhUxiP0HHSVVBcMQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Ftextileexchange.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F06%2FTextile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2020.pdf&usg=AOvVaw0jbDBhHSREsPga-Fa0ZUVp

Textile Exchange. (2021). Preferred fiber & materials market report 2021. *Textileexchange*. Consultato in data Dicembre 24, 2021, da https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjmh6rMyPz0AhXNm6QKHaz2BsYQFnoECA0QAQ&url=https%3A%2F%2Ftextileexchange.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F08%2FTextile-Exchange_PREFERRED-Fiber-and-Materials-Market-Report_2021.pdf&usg=AOvVaw0Sa9VDLmFxlgyRTTljnNr

The Canadian Chamber of Commerce. (senza data). About Mitsubishi Corporation. *Cccj*. Consultato in data Dicembre 27, 2021, da <https://www.cccj.or.jp/profile/mitsubishi-corporation>

Tissura. (senza data). Viscose fabric guide. *Tissura*. Consultato in data Dicembre 30, 2021, da <https://tissura.com/articles/viscose-fabrics>

Tobin, A. (2020, Agosto 28). What is Viscose – SupplyCompass material guide. *Supplycompass*. Consultato in data Dicembre 9, 2021, da <https://supplycompass.com/sustainable-fashion-blog/what-is-viscose/>

Toronto Outdoor Education Schools. (2020, Aprile 23). How are your choices in clothing affecting the water, climate change and people around the world?. *Storymaps.arcgis*. Consultato in data Gennaio 1, 2022, da <https://storymaps.arcgis.com/stories/66ea7714178741b4aecbf53b44fb8710>

UniBg. (senza data). Le fibre artificiali. *Unibg*. Consultato in data Dicembre 11, 2021 da <http://www00.unibg.it/dati/corsi/22037/45927-LE%20FIBRE%20ARTIFICIALI.pdf>

Vaisala. (senza data). Cellulose acetate fiber production. *Vaisala*. Consultato in data Dicembre 4, 2021, da <https://www.vaisala.com/en/industries-applications/chemicals-allied-products/cellulose-acetate-fiber-production>

Vittoria, M. (2021, Giugno 20). Bulgaria: situazione ambientale e inquinamento. *Informazioneambiente*. Consultato in data Dicembre 13, 2021, da <https://www.informazioneambiente.it/bulgaria-situazione-ambientale-e-inquinamento/>

Win-Win Textiles. (2020, Settembre 20). Regenerated cellulosic fibres: viscose, modal, lyocell, cupro, (tri-)acetate. *Win-win*. Consultato in data Dicembre 9, 2021, da <https://win-win.info/index.php/sustainable-concepts/regenerated-cellulosic-fibres/>

Woodward, A. (2016, Agosto 8). Lyocell. *Encyclopedia*. Consultato in data Dicembre 15, 2021, da <https://www.encyclopedia.com/sports-and-everyday-life/fashion-and-clothing/textiles-and-weaving/lyocell>

Zifaro, M. (2017). L'economia circolare "niente è rifiuto, tutto può essere trasformato". *Docenti.unimc*. Consultato in data Dicembre 3, 2021, da <http://docenti.unimc.it/maria.zifaro/teaching/2017/17858/files/presentazioni-lavori-di-gruppo-economia-circolare>

ZipFluid. (2019, Marzo 2). Acido solforico. *Zipfluid*. Consultato in data Dicembre 24, 2021, da <https://www.zipfluid.it/soluzioni/chimica-di-base/acido-solforico/>

11. BIBLIOGRAFIA

Ana et al. (2018). Low levels of microplastics (MP) in wild mussels indicate that MP ingestion by humans is minimal compared to exposure via household fibres fallout during a meal. *Environmental Pollution*, 237, 675-684.

J. Kadolph & Langford. (1998). *Textiles*. Upper Saddle River, N.J..

Subramanian Senthikannan, M. (2007). *Sustainable Fibres and Textiles*.

Subramanian Senthikannan, M. (2020). *Chemical Management in Textiles and Fashion*. Woodhead Pub Ltd.