

Il riciclo tessile: scenari e stato dell'arte Textile recycling: scenarios and state of the art

Compito delle tecnologie non è solo recuperare materia prima destinata a termovalorizzazione o discarica: è anche evitare la formazione stessa di rifiuti e risparmiare materiali preziosi, acqua ed energia

(2° Parte)

Proseguiamo il nostro viaggio nel mondo del riciclo tessile pubblicando una disamina delle tecnologie per il riciclo dei materiali tessili, estratta dallo studio realizzato dalla Dottoressa **Aurora Magni** per **ACIMIT** - Associazione Costruttori Tessili Italiani - dal titolo "Il Riciclo Tessile: Scenari e Stato dell'arte", con risorse finanziarie messe a disposizione da **ICE** - Agenzia per la promozione all'estero e l'internazionalizzazione delle imprese italiane e dal **Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale**, nell'ambito del Progetto **ITMA Milano 2023**, finalizzato a supportare la partecipazione delle aziende italiane a tale manifestazione.

La versione integrale è scaricabile dal sito www.acimit.it.

Con la crescita dei consumi globali, l'aumento della domanda di fibre e l'incremento dei rifiuti tessili pongono con urgenza la messa a punto e la diffusione di tecnologie per la cernita e il riciclo dei tessili a fine vita e degli scarti pre-consumo.

Secondo uno studio della società di ricerca McKinsey, per quanto se ne avverta l'urgenza, le potenzialità del processo di riciclaggio sono di fatto limitate da fattori oggettivi, tra cui la presenza di molteplici materiali in un unico capo spesso non facilmente separabili e l'assenza di una filiera efficiente di preparazione al riciclo. Si legge: "La nostra analisi indica che superando queste barriere, il riciclaggio da fibra a fibra potrebbe raggiungere dal 18 al 26% dei rifiuti tessili lordi nel 2030 con investimenti in conto capitale compresi tra 6 e 7 miliardi di euro. Questo settore potrebbe, una volta maturato e ridimensionato, diventare autonomo e redditizio con un pool di profitti compreso tra 1,5 e 2,2 miliardi di euro entro il 2030.

I risultati ambientali e sociali sarebbero decisamente positivi: creazione di circa 15.000 posti di lavoro e riduzione delle emissioni di CO2 di circa 4 milioni di tonnellate, equivalenti alle emissioni cumulative di un paese delle dimensioni dell'Islanda. Positivi anche gli effetti sull'economia: quantificando gli effetti secondari sul PIL derivanti da occupazione, riduzione di CO2 e utilizzo di acqua e suolo, l'industria potrebbe raggiungere i 3,5-4,5 miliardi di euro nell'impatto olistico annuo totale entro il 2030, arrivando a un ritorno sull'investimento dell'impatto olistico annuale dal 55 al 70%".

Le tecnologie digitali a sostegno di azioni di sistema

Le tecnologie avranno un ruolo importante tanto nel preve-

The task of technologies is not only to recover raw material otherwise destined for waste-to-energy or landfill: it is also to avoid the formation of waste itself and to save valuable materials, water and energy

We continue our journey into the world of textile recycling by publishing an examination of technologies for recycling textile materials, extracted from the study carried out by Dr. **Aurora Magni** for **ACIMIT** - Italian Textile Manufacturers Association - entitled "Textile Recycling: Scenarios and State of the Art," with financial resources made available by **ICE** - Agency for the Promotion Abroad and Internationalization of Italian Companies and **the Ministry of Foreign Affairs and International Cooperation**, as part of the **ITMA Milan 2023** Project, aimed at supporting the participation of Italian companies in this event.

The full version can be downloaded from www.acimit.it.

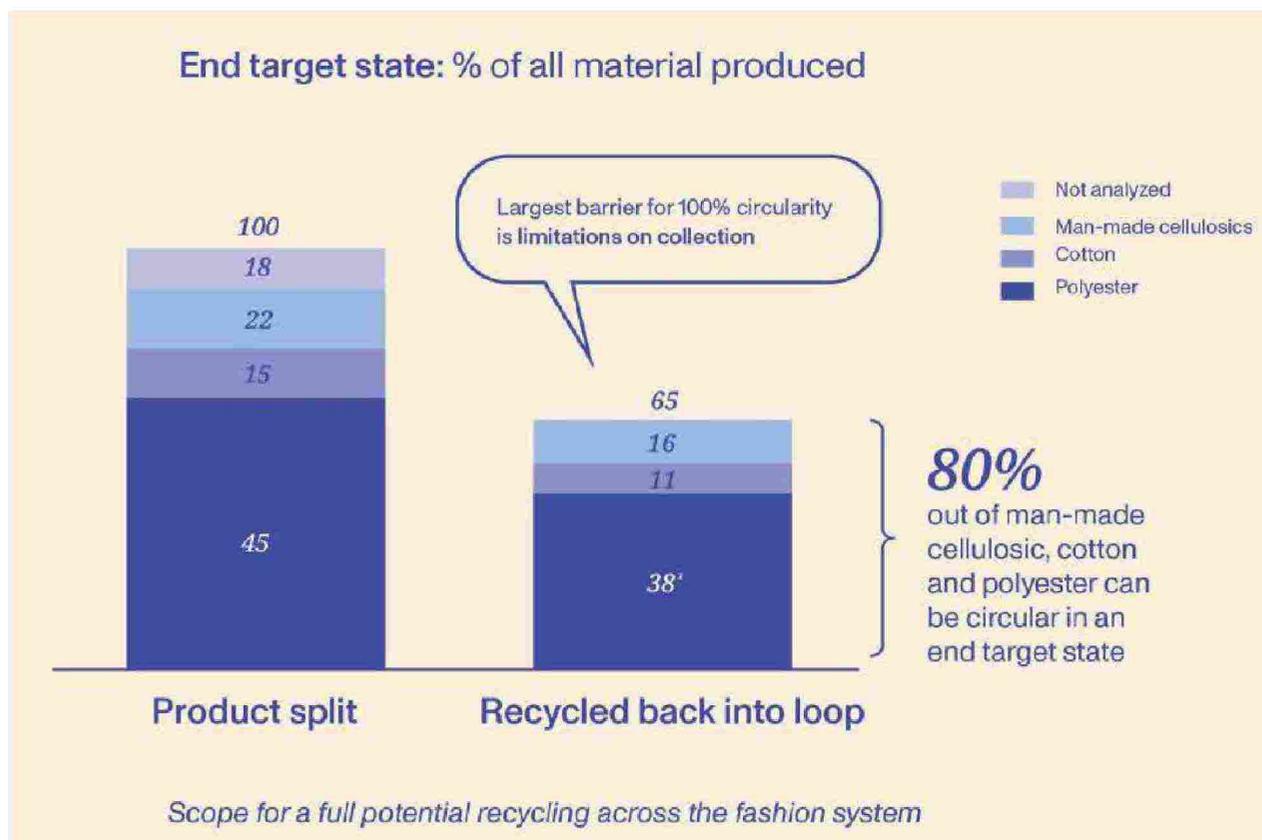
With growing global consumption, increasing demand for fiber and increasing textile waste urgently pose the development and deployment of technologies for sorting and recycling end-of-life textiles and pre-consumer waste.

According to a study by research firm McKinsey, as urgently as it is needed, the potential of the recycling process is actually limited by objective factors, including the presence of multiple materials in a single garment that are often not easily separable and the absence of an efficient recycling preparation chain. It reads, "Our analysis indicates that by overcoming these barriers, fiber-to-fiber recycling could reach 18 to 26 percent of gross textile waste in 2030 with capital investments of 6 to 7 billion euros. This sector could, once matured and downsized, become self-sustaining and profitable with a profit pool of between 1.5 and 2.2 billion euros by 2030.

The environmental and social results would be decidedly positive: creation of about 15,000 jobs and reduction of CO2 emissions by about 4 million tons, equivalent to the cumulative emissions of a country the size of Iceland. The effects on the economy would also be positive: quantifying the secondary effects on GDP from employment, CO2 reduction, and water and land use, the industry could reach 3.5-4.5 billion euros in total annual holistic impact by 2030, reaching a return on investment of 55 to 70 percent annual holistic impact".

Digital technologies to support systemic actions

Technologies will play an important role both in preventing waste formation and, of course, in recycling, but also in countering illegal and improper behavior. In fact, the illegal dispersion of textile material in the environment requires targeted interventions consistent with the principle laun-



nire la formazione di rifiuti, quanto ovviamente nel riciclo, ma anche nel contrasto a comportamenti illegali e scorretti. La dispersione illegale di materiale tessile nell'ambiente richiede, infatti, interventi mirati coerenti con il principio lanciato dalla UE 'chi inquina paga'. In Italia il contrasto a questo fenomeno richiederà investimenti avanzati per controllare il territorio con satelliti, droni e sistemi di intelligenza artificiale, esperienza già testata per intercettare l'abbandono di plastica sulle spiagge.

Ma è nei processi produttivi che le tecnologie digitali assumeranno un ruolo determinante nelle fasi di raccolta, cernita e selezione dei materiali da destinare a riuso e riciclo ed in particolare in:

- Realizzazione di piattaforme a sostegno di programmi di simbiosi industriale finalizzati a favorire l'incontro tra offerta e domanda di scarti tessili: formula già sperimentata in programmi UE, come la piattaforma **Material Match Making** realizzata da UNIVA e Centrocot, insieme a partner aziendali nell'ambito del programma Life M3P;
- Monitoraggio dei flussi di raccolta e trasformazione dei materiali destinati al riciclo rendendo efficiente e documentato il processo di lavorazione stesso, con valori affidabili relativi alle percentuali indicanti la componente da riciclo presente in nuovi prodotti e alle dichiarazioni ambientali;
- Sviluppo di modelli di business basati sulla circolarità e sulla condivisione: dalla sharing economy alla vendita di capi ed accessori usati life on line;
- Attività di sensibilizzazione e coinvolgimento attivo dei consumatori nell'assunzione di comportamenti responsabili

ched by the EU 'polluter pays'. In Italy, combating this phenomenon will require advanced investments to monitor the territory with satellites, drones and artificial intelligence systems, an experience already tested to intercept plastic abandonment on beaches.

But it is in production processes that digital technologies will play a decisive role in the collection, sorting and selection of materials for reuse and recycling and in particular in:

- Implementation of platforms to support industrial symbiosis programs aimed at facilitating matching textile waste supply and demand: a formula already tested in EU programs, such as the **Material Match Making** platform created by UNIVA and Centrocot, together with corporate partners under the Life M3P program;
- Monitoring the collection and processing flows of materials destined for recycling by making efficient and documented the processing process itself, with reliable values regarding percentages indicating the component from recycling present in new products and environmental declarations;
- Development of business models based on circularity and sharing: from the sharing economy to the sale of used garments and accessories life on line;
- Awareness-raising activities and active involvement of consumers in assuming responsible behavior from the purchase phase to the disposal of the good.

Collecting and preparing for recycling

The steps that a textile waste has to go through to enter the reuse chain are: 1. Collection of textile fraction carried out

dalla fase di acquisto alla dismissione del bene.

Raccolta e preparazione al riciclo

Le fasi che un rifiuto tessile deve attraversare per entrare nella filiera del riuso sono: 1. Raccolta frazione tessile effettuata mediante raccolta a domicilio o contenitori stradali; 2. Deposito/stoccaggio temporaneo; 3. Prima selezione per tipologia di articolo con apertura dei sacchetti depositati dagli utenti; 4. Seconda selezione per tipologia e qualità, effettuata manualmente da personale specializzato, per estrarre la frazione di maggior valore e a creare lotti omogenei di prodotti riutilizzabili; 5. Igienizzazione del prodotto avviato a riutilizzo.

La parte dei rifiuti tessili urbani scartata perché non adatta al riuso viene a sua volta selezionata per tipo di materiale ed avviata a produzione di pezzame ad uso industriale (stracci e strofinacci assorbenti e di lavaggio) e per la protezione di pavimenti; al riciclo tessile; o ad incenerimento-termovalorizzazione.

La ricerca si è concentrata sulla fase di selezione con tecnologie che velocizzano e rendono più affidabile l'attività, aiutando il comparto a transitare da modalità di lavoro manuali-artigianali a più modelli industriali. Si tratta prevalentemente di sistemi di lettura dei materiali mediante spettroscopia infrarossa (NIR) che consente di identificare colore e composizione dei prodotti tessili. Fibre naturali, artificiali o sintetiche hanno, infatti, strutture chimiche e molecolari differenziate che reagiscono in modo diverso alle onde elettromagnetiche.

A titolo esemplificativo citiamo due esperienze recenti:

- **SIPTex**, un consorzio svedese guidato da IVL, l'istituto svedese di ricerca ambientale, ha sviluppato un impianto pilota con un sistema di cernita che utilizza tecnologie NIR e VIS, che consente di riconoscere e separare i tessuti per tipologia di fibra prevalente e colore e invia mediante un sistema ad aria compressa a aree di raccolta designate.

- La pratese **Next Technolgy Tecnotessile** ha sviluppato un prototipo di macchina semiautomatica che riconosce i materiali che scorrono su un nastro automatico in base alla struttura (maglia, tessuto ortogonale, indemagliabile), al colore (7 colori di riferimento) e alla composizione fibrosa. La macchina è costituita da una stazione di rilevamento con telecamere evolute che sfruttano la tecnologia iperspettrale nel vicino infrarosso, assistita da un sistema di intelligenza artificiale con algoritmi di auto-apprendimento e memorizzazione delle immagini, da un nastro trasportatore e da cestelli di raccolta dei capi.

Prima di procedere al riciclaggio, è inoltre necessario rimuovere componenti quali plastificazioni morbide o elementi metallici come bottoni e zip. Mentre le parti mor-

by home collection or roadside containers; 2. Temporary deposit/storage; 3. First selection by type of article with opening of bags deposited by users; 4. Second selection by type and quality, carried out manually by specialized personnel, to extract the fraction of greatest value and to create homogeneous batches of reusable products; 5. Sanitization of the product sent for reuse.

The portion of municipal textile waste discarded because it is not suitable for reuse is in turn sorted by type of material and sent to production of rags for industrial use (absorbent and washing cloths and mops) and for floor protection; to textile recycling; or to incineration-termination.

Research has focused on the sorting stage with technologies that speed up and make the activity more reliable, helping the industry to transition from manual-craft modes of work to more industrial models. These are mainly material reading systems using infrared spectroscopy (NIR) to identify color and composition of textile products. Natural, man-made or synthetic fibers have, in fact, differentiated chemical and molecular structures that react differently to electromagnetic waves.

By way of example, we cite two recent experiences:

- **SIPTex**, a Swedish consortium led by IVL, the Swedish Institute for Environmental Research, has developed a pilot plant with a sorting system using NIR and VIS technologies that recognizes and separates fabrics by prevailing fiber



bide-gommose possono legarsi alla fibra in fase di riciclaggio rendendola non utilizzabile, le parti dure possono danneggiare le macchine durante la lavorazione. E una scintilla causata da una componente metallica che colpisce le parti della macchina può causare l'accensione di fibre facilmente infiammabili come il cotone.

La fase di riciclo

Esistono diverse tipologie di riciclo tessile, come indicato dalla Commissione Europea nel documento 'Studio sull'efficacia tecnica, normativa, economica e ambientale del riciclo delle fibre tessili': riciclo meccanico, termo-meccanico, termo-chimico e chimico.

Riciclo meccanico

Il riciclo meccanico vanta una lunga storia. E' infatti una tecnologia consolidata, adottata da decenni soprattutto nella lavorazione di tessuti di lana, come insegna il distretto pratese. Una volta liberati da parti metalliche e fodere, i tessuti sono selezionati in base a composizione fibrosa e tonalità cromatica (che consentirà di ridurre o addirittura evitare l'uso di coloranti sul filato riciclato). Nel caso di tessuti lanieri è previsto il carbonizzo, trattamento chimico che consente di eliminare le eventuali fibre cellulosiche presenti che comprometterebbero la qualità del prodotto rigenerato. I materiali sono sottoposti a stracciatura e sfibratura, trattamenti meccanici finalizzati a districare e liberare le fibre. Il materiale ottenuto è quindi pronto per la carda, cioè la macchina

type and color and sends via a compressed air system to designated collection areas.

- Prato-based **Next Technology Tecnotessile** has developed a prototype semiautomatic machine that recognizes materials running on an automatic belt based on structure (knit, orthogonal, warp-knit), color (7 reference colors) and fiber composition. The machine consists of a sensing station with advanced cameras using near-infrared hyperspectral technology, assisted by an artificial intelligence system with self-learning algorithms and image storage, a conveyor belt, and garment collection baskets.

Before recycling, it is also necessary to remove components such as soft-rubbery or metal elements such as buttons and zippers. While soft-rubbery parts can bind to the fiber being recycled making it unusable, hard parts can damage machines during processing. And a spark caused by a metal component hitting machine parts can cause easily flammable fibers such as cotton to ignite.

The recycling step

There are different types of textile recycling, as outlined by the European Commission in the document 'Study on the technical, regulatory, economic and environmental effectiveness of textile fiber recycling': mechanical, thermo-mechanical, thermo-chemical and chemical recycling.

Mechanical recycling

Mechanical recycling has a long history. In fact, it is an esta-

che parallelizza le fibre e le allinea in nastri, che saranno poi trasformati in filato mediante stiro e torsione. La colorazione del filato finale può essere ottenuta selezionando e mischiando i tessuti in base alla tonalità cromatica già presente o mediante processi di nobilitazione che possono essere adottati sia sui materiali pre-filatura che sul prodotto a fine ciclo.

Questo sistema di rigenerazione è impiegato tanto per produrre filati pronti per il reinserimento sul mercato quanto come fase preparatoria a successivi trattamenti termici o chimici; in caso di fibre miste o di bassa qualità, è impiegato per sfilacciare i materiali per ottenere imbottiture, materiale da riempimento e rinforzo per compositi.

Se la lana trattata meccanicamente mantiene un buon livello qualitativo, maggiori criticità riguardano il trattamento di altre fibre in cui si può registrare perdita di qualità, tanto da richiedere inserimento di fibre vergini per elevare il livello del filato prodotto.

La conservazione di coloranti ed additivi chimici nel materiale ottenuto mediante riciclo meccanico può essere interpretata come un vantaggio (selezionando il flusso dei rifiuti per colore si evitano processi tintoriali), ma può rappresentare un problema per la presenza di contaminanti indesiderati, tanto che può risultare difficile rivendicare la conformità del materiale ottenuto con i parametri REACH. Il riciclo meccanico consente comunque, seppur in una logica downcycling, di trattare un'ampia gamma di materiali e di tessuti non riciclabili tramite altre tecnologie, ed è un processo a basso consumo energetico (tra 0,3 e 0,5 kW per kg di materiale in ingresso) e a basso consumo di acqua, limitato se necessario a un processo di pulizia come pretrattamento; rispetto al riciclo chimico, necessita di investimenti più contenuti e di un livello medio di competenza tecnica degli addetti.

La ricerca tecnologica si concentra soprattutto sul miglioramento della qualità dei materiali ottenuti e sulla riconfigurazione delle macchine per le successive fasi di trattamento termico e chimico partendo da una più efficace selezione dei materiali in ingresso.

Riciclo termo-meccanico

Come il riciclo meccanico, quello termo-meccanico è un processo a costi contenuti e consolidato. Basato sulla macinazione e sulla fusione dei materiali, è particolarmente utile per il riciclo degli scarti di produzione di fibre man made e di alcuni rifiuti di consumo raccolti in centri specializzati (ad es. bottiglie di plastica), ma non è adatto a polimeri termoidurenti. L'eventuale presenza di polimeri incompatibili con il processo di riciclaggio può causare problemi nella lavorazione e penalizzare la qualità dell'output, pertanto la selezione accurata del materiale in ingresso è un prerequisito importante.

La ricerca relativa a questa tipologia di riciclo è focalizzata sulla riduzione dell'immiscibilità delle miscele polimeriche. Lo stesso vale per il colore poiché i pigmenti rimangono insieme ad altri contaminanti come residui di lavaggio, ritardanti di fiamma, rivestimenti, ecc., presenti nella o sulla fibra o sul tessuto (potenzialmente in contrasto con il regolamento REACH). Occorre inoltre tenere presente che le pro-

cessi di riciclaggio sono basati su tecnologie che sono state sviluppate e adottate per decenni, specialmente nel trattamento di tessuti in lana, come dimostra il distretto di Prato. Una volta liberati da parti metalliche e rivestimenti, i tessuti vengono selezionati e classificati in base alla composizione delle fibre e alla tonalità cromatica (che ridurrà o eviterà l'uso di coloranti sul filato riciclato). Nel caso di tessuti in lana, viene fornito un trattamento chimico per rimuovere le fibre cellulari che potrebbero compromettere la qualità del prodotto rigenerato. I materiali subiscono strappi e defibratura, trattamenti meccanici mirati a srotolare e liberare le fibre. Il materiale risultante è pronto per la cardatura, che è la macchina che parallela le fibre e le allinea in nastri, che saranno poi stirati e torsionati per formare il filato. Il colorimento del filato finale può essere ottenuto selezionando e miscelando i tessuti in base alla tonalità cromatica già presente o mediante processi di nobilitazione che possono essere adottati sia sui materiali pre-filatura che sul prodotto a fine ciclo. Questo sistema di rigenerazione è utilizzato sia per produrre filati pronti per il reinserimento sul mercato che come fase preparatoria per successivi trattamenti termici o chimici; in caso di fibre miste o di bassa qualità, è utilizzato per sfilacciare i materiali per ottenere imbottiture, materiale da riempimento e rinforzo per compositi. Se la lana trattata meccanicamente mantiene un buon livello qualitativo, maggiori criticità riguardano il trattamento di altre fibre in cui si può registrare perdita di qualità, tanto da richiedere l'aggiunta di fibre vergini per aumentare il livello del filato prodotto. La conservazione di coloranti ed additivi chimici nel materiale ottenuto mediante riciclo meccanico può essere interpretata come un vantaggio (selezionando il flusso dei rifiuti per colore si evitano i processi tintoriali), ma può rappresentare un problema per la presenza di contaminanti indesiderati, tanto che può risultare difficile rivendicare la conformità del materiale ottenuto con i parametri REACH. Il riciclo meccanico consente comunque, seppur in una logica downcycling, di trattare un'ampia gamma di materiali e di tessuti non riciclabili tramite altre tecnologie, ed è un processo a basso consumo energetico (tra 0,3 e 0,5 kW per kg di materiale in ingresso) e a basso consumo di acqua, limitato se necessario a un processo di pulizia come pretrattamento; rispetto al riciclo chimico, necessita di investimenti più contenuti e di un livello medio di competenza tecnica degli addetti. La ricerca tecnologica si concentra soprattutto sul miglioramento della qualità dei materiali ottenuti e sulla riconfigurazione delle macchine per le successive fasi di trattamento termico e chimico partendo da una più efficace selezione dei materiali in ingresso.

While mechanically treated wool maintains a good level of quality, more critical issues relate to the treatment of other fibers in which there may be loss of quality, so much so as to require insertion of virgin fibers to raise the level of the yarn produced. The preservation of dyes and chemical additives in the material obtained by mechanical recycling can be interpreted as an advantage (sorting the waste stream by color avoids dyeing processes), but it can be a problem due to the presence of undesirable contaminants, so much so that it can be difficult to claim compliance of the material obtained with REACH parameters.

However, mechanical recycling allows, albeit in a downcycling logic, to treat a wide range of materials and fabrics that cannot be recycled by other technologies, and it is a process with low energy consumption (between 0.3 and 0.5 kW per kg of input material) and low water consumption, limited if necessary to a cleaning process as pretreatment; compared to chemical recycling, it requires lower investments and an average level of technical expertise of the employees.

Technological research focuses mainly on improving the quality of the materials obtained and on reconfiguring the machines for the subsequent thermal and chemical treatment stages starting from a more effective selection of the input materials.

Thermo-mechanical recycling

Like mechanical recycling, thermo-mechanical recycling is a cost-effective and well-established process. Based on grinding and melting materials, it is particularly useful for recycling man-made fiber production waste and some consumer waste collected at specialized centers (e.g., plastic bottles), but it is not suitable for thermoset polymers. The possible presence of polymers incompatible with the recycling process can cause problems in processing and penalize the quality of the output, so careful selection of the input material is an important prerequisite.

prietà del polimero/fibra si deteriorano dopo ogni ciclo. Pertanto, nonostante le somiglianze con la lavorazione a fusione di materie plastiche vergini o di scarto, sono necessarie apparecchiature o componenti specializzati per garantire un processo stabile e continuo e non alterazioni nel grado di viscosità del polimero ottenuto. Inoltre, poiché i coloranti rimangono nel materiale polimerico, è possibile ottenere solo colori scuri, a meno che l'input non sia selezionato per colore e non si sfrutti la capacità di alcuni coloranti termocromici di modificare colore ad una certa temperatura.

Riciclo termo-chimico

Il processo utilizza la reazione di ossidazione parziale dei polimeri o il calore per degradare i polimeri in monomeri che possono essere utilizzati come materia prima per l'industria chimica, ed è una tecnologia utile alla riduzione di rifiuti tessili non trattabili con altre metodologie, ma non al recupero da fibra a fibra. È considerata una tecnologia matura, anche se gli sviluppi per consentire la produzione di materie prime per l'industria chimica in alternativa al recupero di energia o alla produzione di combustibili sono molto recenti.

L'output principale del processo, il syngas, ha molte possibilità di applicazione nelle reazioni di sintesi chimica che portano a un'intera gamma di prodotti.

Il fabbisogno energetico per il riciclaggio termo-chimico è elevato. Nei processi di riciclo termochimico, pirolisi e gassificazione la combustione avviene a temperature variabili comprese tra 800 e 1200°C con sufficiente ossigeno per ossidare completamente il materiale. I prodotti in uscita (gas e petrolio) generati dalla gassificazione e dalla pirolisi possono essere utilizzati per scopi termici ed energetici. Tuttavia, con successive fasi di purificazione/upgrading, possono anche essere convertiti in intermedi chimici e, quindi, servire come materia prima per l'industria chimica.

Riciclo chimico

Utilizza la dissoluzione chimica o reazioni chimiche per disassemblare le fibre usate, estrarre i polimeri per nuovi usi o scomporli nei monomeri costituenti per la ricostruzione in nuove strutture fibre polimeriche.

Lo studio citato indica tre casi in cui questa tecnologia di riciclaggio è applicata.

- Il riciclo del cotone per ottenere pasta cellulosa utilizzabile nella produzione di fibre cellulosiche (viscose, lyocell) mediante processo a base solfato, solfito e senza zolfo.

Research related to this type of recycling is focused on reducing the immiscibility of polymer blends. The same is true for color since pigments remain together with other contaminants such as wash residues, flame retardants, coatings, etc., present in or on the fiber or fabric (potentially in conflict with REACH regulation). It should also be kept in mind that the properties of the polymer/fiber deteriorate after each cycle. Therefore, despite the similarities with melt processing of virgin or waste plastics, specialized equipment or components are required to ensure a stable and continuous process and no changes in the degree of stickiness of the resulting polymer. Also, because the dyes remain in the polymeric material, only dark colors can be obtained unless the input is color-selected and the ability of some thermochromic dyes to change color at a certain temperature is exploited.

Thermo-chemical recycling

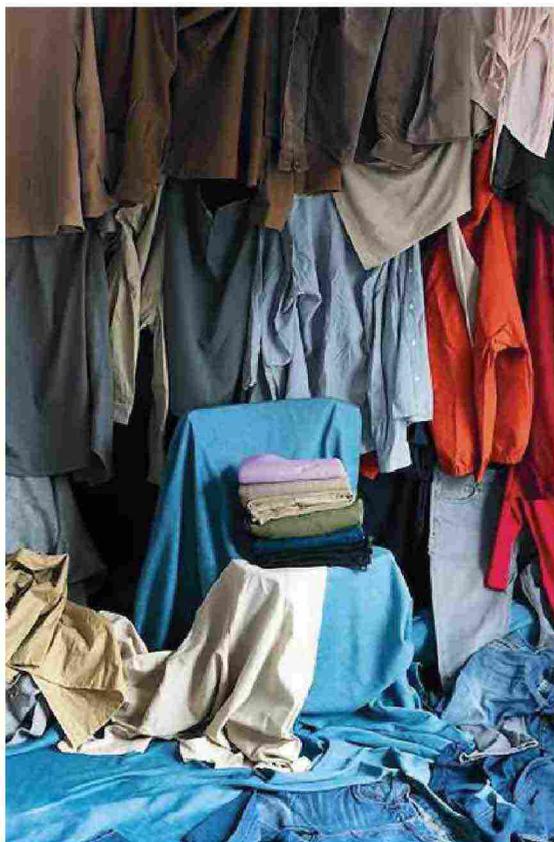
The process uses the partial oxidation reaction of polymers or heat to degrade polymers into monomers that can be used as raw materials for the chemical industry, and is a useful technology for the reduction of textile waste that cannot be treated by other methods, but not for fibre-to-fibre recovery. It is considered a mature technology, although developments to enable the production of raw materials for the chemical industry as an alternative to energy recovery or fuel production are very recent.

The main output of the process, syngas, has many possible applications in chemical synthesis reactions leading to a whole range of products. The energy requirement for thermochemical recycling is high. In thermochemical recycling, pyrolysis and gasification processes, combustion takes place at temperatures varying between 800 and 1200°C with sufficient oxygen to completely oxidise the material. The output products (gas and oil) generated by gasification and pyrolysis can be used for thermal and energy purposes. However, with subsequent purification/upgrading steps, they can also be converted into chemical intermediates and thus serve as raw material for the chemical industry.

sequent purification/upgrading steps, they can also be converted into chemical intermediates and thus serve as raw material for the chemical industry.

Chemical recycling

Uses chemical dissolution or chemical reactions to disassemble used fibers, extract polymers for new uses or break them down into their constituent monomers for reconstruction into new polymer fiber structures.



La selezione dei rifiuti tessili è molto importante: per ottimizzare il processo è necessaria un'alta presenza di cotone (almeno 50%). La tolleranza ai tessuti tinti dipende dal processo, ma la maggior parte delle tecnologie include una fase di decolorazione e/o candeggiamento. La pasta di cellulosa ottenuta può essere miscelata con pasta di legno prima di procedere alla filatura.

• Il riciclaggio dei monomeri di PA6 e PET è un processo di depolimerizzazione in cui le catene polimeriche vengono scomposte in monomeri tramite diverse tecnologie e varie condizioni di reazione (temperatura-pressione-tempo-catalizzatori).

I solventi applicati sono tipicamente acqua (cioè, idrolisi, usata per la PA6), alcoli (cioè, metanolisi) o glicoli. Per il PET possono essere utilizzati tutti e tre i meccanismi di reazione, sebbene la glicolisi sia la più comune.

Oltre ai tre metodi citati di solvolisi, recentemente si è reso disponibile un quarto metodo, vale a dire una reazione di depolimerizzazione enzimatica. In questo caso la reazione chimica è mediata da un catalizzatore biologico. Sebbene l'output finale dipenda dal reagente, PTA (acido tereftalico) e MEG (glicole etilenico) sono i monomeri tradizionali ottenuti dal PET che possono essere ripolimerizzati per ottenere polimero vergine di elevata purezza, mentre per PA6 l'output è il caprolattame che può essere ripolimerizzato in PA6 vergine. L'efficienza del riciclaggio chimico delle fibre sintetiche dipende fortemente dalla purezza del materiale in ingresso. Per ragioni economiche, il contenuto di PET o PA dell'input dovrebbe essere intorno all'80-90%, motivo per

The study cited indicates three cases where this recycling technology is applied:

- The recycling of cotton to obtain pulp that can be used in the production of cellulosic fibers (viscose, lyocell) by sulfate, sulfite and sulfur-free process. The sorting of textile wastes is very important: a high cotton content (at least 50 percent) is required to optimize the process. Tolerance to dyed fabrics depends on the process, but most technologies include a bleaching and/or bleaching step. The resulting pulp can be mixed with wood pulp before spinning.

- Recycling of PA6 and PET monomers is a depolymerization process in which polymer chains are broken down into monomers by different technologies and various reaction conditions (temperature-pressure-time-catalysts). The solvents applied are typically water (i.e., hydrolysis, used for PA6), alcohols (i.e., methanolysis) or glycols. All three reaction mechanisms can be used for PET, although glycolysis is the most common. In addition to the three mentioned methods of solvolysis, a fourth method has recently become available, namely, an enzymatic depolymerization reaction. In this case the chemical reaction is mediated by a biological catalyst. Although the final output depends on the reactant, PTA (terephthalic acid) and MEG (ethylene glycol) are the traditional monomers obtained from PET that can be repolymerized to obtain virgin polymer of high purity, while for PA6 the output is caprolactam that can be repolymerized into virgin PA6. The efficiency of chemical recycling of synthetic fibers is highly dependent on the purity of the input material. For economic reasons, the PET or PA content of the input

cui si tende a ottenere fibra di poliestere dal riciclo di rifiuti di imballaggio e industriali PET. L'utilizzo del PET per la produzione di fibre tessili sottrae però polimero al ciclo del riciclaggio ripetuto non essendo il poliestere facilmente riciclabile ed è, quindi, scoraggiato dalla Commissione UE che sollecita l'adozione di riciclo da fibra a fibra. La poliamide è, invece, solitamente ottenuta da pavimentazioni tessili, reti da pesca e da altri scarti plastici, con un recupero stimato intorno al 65% sul totale del flusso in ingresso.

- Il caso poly-cotton: Mediante processi di dissoluzione e filtrazione a base di solventi è possibile separare i diversi materiali ed estrarre i componenti desiderati: la cellulosa recuperata può essere sottoposta al processo precedentemente descritto per la produzione di man made cellulosiche mentre i polimeri del PET rimangono in gran parte intatti e possono essere trasformati in filamenti, anche se nella pratica odierna vengono inceneriti per il recupero di energia. Un secondo tipo di tecnologia consiste in un approccio idrotermico per degradare (parzialmente) il cotone o il PET o entrambi. È effettuato mediante bagno in acqua, pressione, temperatura e chimica.

Un terzo approccio si concentra sulla degradazione parziale attraverso un trattamento enzimatico che consente di ottenere glucosio (destinabile ad altri processi industriali), polvere di cellulosa e PET. Per ottenere fibre di PET attraverso un processo di filatura a fusione adatte per applicazioni tessili, è però necessario integrare PET vergine per migliorarne la qualità.

- Il riciclo mediante biotecnologie: Il ciclo biologico si basa su risorse che possono decomporsi e costruire nutrienti da trasformare in nuove risorse rinnovabili. I processi possono essere distinti in: biologico, ovvero decomposizione biologica di fine vita in cui i microrganismi metabolizzano i materiali tessili in molecole semplici (compost e digestione anaerobica), biochimico, ovvero depolimerizzazione enzimatica che utilizza enzimi per decostruire il tessuto polimeri in monomeri e fermentazione mediante microrganismi.

I rifiuti tessili sono visti come materia prima ricca di cellulosa per la bioraffineria di seconda generazione in un processo di riciclaggio a circuito aperto (da cotone a man made cellulosiche), per quanto contaminanti eventualmente presenti, elastomero e sostanze chimiche utilizzate per la tintura e il finissaggio, oltre all'elevata cristallinità delle fibre di cotone, possano rappresentare un vincolo al riciclo stesso. Lana e seta sono costituite da cheratina, una proteina il cui riciclaggio è stato studiato dall'industria del food per il recupero di biopolimeri da piumaggio post-macellazione, ma i severi costi associati e gli impatti ambientali negativi hanno al momento scoraggiato questo filone di ricerca.

Sono in corso studi per il riciclo enzimatico del PET, anche se questo approccio è oggi difficilmente applicabile ai tessili. Si va diffondendo, comunque, l'idea che metodologie sviluppate nell'ambito della gestione biotecnologica di materiali da fonte rinnovabile e non rinnovabile possano rappresentare una strada da approfondire o essere funzionali ai processi di riciclo chimico, ad esempio, nella fase di preparazione pre-riciclaggio. È questo uno dei fronti più innovativi della ricerca sul riciclo dei materiali tessili, anche se ancora poco scalabile a livello industriale.

Aurora Magni - Presidente Blumine srl

should be around 80-90%, which is why there is a tendency to obtain polyester fiber from recycling of PET packaging and industrial waste.

The use of PET for textile fiber production, however, removes polymer from the repeat recycling loop since polyester is not easily recyclable and is, therefore, discouraged by the EU Commission, which urges the adoption of fiber-to-fiber recycling. Polyamide, on the other hand, is usually obtained from carpet tiles, fishing nets and other plastic waste, with recovery estimated at around 65 percent of the total input stream.

- The poly-cotton case: Using solvent-based dissolution and filtration processes, it is possible to separate the different materials and extract the desired components: the recovered cellulose can undergo the previously described process to produce cellulosic man made while the PET polymers remain largely intact and can be made into filaments, although in today's practice they are incinerated for energy recovery. A second type of technology consists of a hydrothermal approach to degrade (partially) cotton or PET or both. It is carried out by bathing in water, pressure, temperature and chemistry. A third approach focuses on partial degradation through enzymatic treatment to obtain glucose (which can be used for other industrial processes), cellulose powder, and PET. To obtain PET fibers through a melt spinning process suitable for textile applications, however, virgin PET must be incorporated to improve its quality.

- Recycling through biotechnology:

The biological cycle relies on resources that can decompose and build up nutrients to be transformed into new renewable resources. Processes can be distinguished into: biological, i.e., end-of-life biological decomposition in which microorganisms metabolize textile materials into simple molecules (compost and anaerobic digestion), biochemical, i.e., enzymatic depolymerization using enzymes to deconstruct polymer fabric into monomers, and fermentation by microorganisms.

Textile waste is seen as a cellulose-rich feedstock for the second-generation biorefinery in an open-loop recycling process (cotton to cellulosic man made), however much contaminants that may be present, elastomer and chemicals used for dyeing and finishing, as well as the high crystallinity of cotton fibers, may be constraints to the recycling itself.

Wool and silk are made of keratin, a protein whose recycling has been investigated by the food industry for recovery of biopolymers from post-slaughter plumage, but the severe associated costs and negative environmental impacts have currently discouraged this line of research.

Studies are underway for the enzymatic recycling of PET, although this approach is difficult to apply to textiles today. There is, however, a growing idea that methodologies developed in the area of biotechnological management of materials from renewable and nonrenewable sources may be an avenue to be explored further or be functional for chemical recycling processes, for example, in the pre-recycling preparation stage. This is one of the most innovative fronts of textile materials recycling research, although still not very scalable at the industrial level.

Aurora Magni - Presidente Blumine srl