

Le industrie tessili: procedimenti di lavorazione, caratteristiche dei reflui, depurazione.

Procedimenti di lavorazione

L'industria tessile è caratterizzata da una serie di fasi di produzione, che partono da molte forme tessili iniziali, tra cui ricordiamo:

- Fiocco (inglese: staple): insieme di fibre alla rinfusa
- Filato (inglese: yarn): insieme di fibre unite per torsione in vari modi e confezionate in varie forme (rocche, matasse, focacce e altre)

Da queste e da altre forme si ottengono soprattutto due tipi di manufatti:

- Tessuto ortogonale (inglese: fabric): tessuto ottenuto mediante intreccio di fili rettilinei di trama e fili di ordito ortogonali tra loro
- Tessuto a maglia (inglese: stitch): tessuto ottenuto mediante intreccio di fili curvilinei di sola trama

Nel corso delle lavorazioni i tessuti possono essere lavorati in varie forme, principalmente in corda e in largo; il tessuto in corda è un tessuto stretto sotto forma di corda, il tessuto in largo è un tessuto tenuto aperto e allargato in modo opportuno.

I vari tipi di filato sono realizzati nei reparti di filatura, i tessuti ortogonali e le maglie sono realizzati nei reparti di tessitura e maglieria mediante telai e macchine circolari.

Le fibre utilizzate si possono suddividere in:

- naturali
- artificiali
- sintetiche

Le fibre naturali sono ottenute da materie prime vegetali o animali presenti in natura (le più importanti sono: cotone, lana, seta).

Le fibre artificiali sono ottenute anch'esse da materie prime vegetali o animali presenti in natura e poi sottoposte a trasformazioni chimiche (le più importanti sono: viscosa, acetato, triacetato, cupro).

Le fibre sintetiche sono ottenute industrialmente mediante polimerizzazione di monomeri chimici (le più importanti sono: poliammide, acrilica, poliestere, polipropilene).

Una fibra tessile deve avere buone caratteristiche di resistenza meccanica e deve essere tingibile. Nella struttura di una fibra tessile vi sono zone cristalline e zone amorfe.

Le zone cristalline (cristalliti) sono zone ordinate, cioè zone in cui le catene di macromolecole si dispongono in modo ordinato; le zone amorfe sono zone disordinate, cioè zone in cui le catene di macromolecole si dispongono in modo disordinato, cioè senza allineamento.

Le zone cristalline consentono alla fibra di manifestare la resistenza meccanica, che aumenta all'aumentare del grado di cristallinità di una fibra; le zone amorfe consentono alla fibra l'assorbimento dell'acqua e delle sostanze chimiche, per cui aumentando l'estensione delle zone amorfe aumenta la tangibilità della fibra.

Perciò una fibra tessile deve avere un rapporto appropriato tra zone cristalline e zone amorfe.

Nel determinare le proprietà di una fibra e in particolare la tangibilità sono fondamentali i gruppi funzionali presenti nella sua struttura; alcuni sono polari e migliorano la tangibilità.

Tra questi ricordiamo:

- il gruppo ossidrilico, presente soprattutto nelle fibre cellulosiche (tra cui cotone, lino, viscosa)
- i gruppi amminico, carbossilico e amidico, presenti soprattutto nelle fibre proteiche (tra cui lana e seta) e nelle fibre poliammidiche (Nylon 6, Nylon 6,6 e Nylon 6,10).

Il settore tessile è molto vario dal punto di vista della produzione, sia per ciò che riguarda i tipi di tessuto, sia per le operazioni che su tale merce vengono effettuate.

Ovviamente tutte queste operazioni richiedono un consumo di acqua notevole, tanto che, per un'azienda che svolga trattamenti pressoché completi, si può anche arrivare ad un consumo di 500 litri per Kg. di merce lavorata.

Le dimensioni degli insediamenti sono molto variabili, poiché si può passare dalle piccole aziende di tipo familiare con pochi dipendenti alle grosse aziende con centinaia di addetti.

Ciò vuol dire che anche le portate delle acque di scarico sono molto variabili, da un minimo di $1 \text{ m}^3/\text{h}$ a valori che possono raggiungere anche i $150 \text{ m}^3/\text{h}$; di solito le portate medie si aggirano da 5 a $10 \text{ m}^3/\text{h}$.

Come accade anche per altri tipi d'industria, i consumi di acqua maggiori sono dovuti alle operazioni di lavaggio che seguono i procedimenti di candeggio, tintura e stampa, ma tali consumi dipendono fortemente anche dal tipo di macchinario usato; così ad esempio, una tintura eseguita in molinello consuma molta più acqua di una eseguita in jigger (queste sono due tra le più usate macchine per tingere).

Per poter meglio comprendere i dati relativi al carico inquinante di tali acque, è utile riassumere in modo rapido le operazioni prima elencate dando qualche dettaglio sulle sostanze chimiche usate.

Nelle filature e tessiture si eseguono trattamenti chiamati imbozzimatura o incollaggio, allo scopo di rendere i filati più resistenti alle successive sollecitazioni meccaniche dei telai; si immerge la merce in bagni contenenti amidi o sostanze resinose di tipo acrilico o alcool polivinilico o carbossimetilcellulosa.

Le acque di scarico di tali processi conteranno perciò sensibili quantità di tali sostanze.

La merce imbozzimata deve poi essere sottoposta all'eliminazione delle bozzime (sbozzimatura) in fase di preparazione al candeggio o alla tintura, poiché questi prodotti ostacolerebbero l'attacco dei candeggianti e dei coloranti; la sbozzimatura produce perciò acque di scarico con residui di tali operazioni.

Nelle fasi successive si svolgono i veri e propri processi di nobilitazione che qui di seguito è utile riassumere.

-Purga: trattamento che consente di eliminare dalla fibra impurezze naturali o residui di lavorazioni precedenti, come grassi, olii, sostanze idrocarburiche, pectine, cere o altro.

Questo trattamento si effettua di solito ad alta temperatura (compatibile con la resistenza della fibra al calore), per alcune ore, utilizzando soda caustica o carbonato di sodio insieme a tensioattivi con funzione detergente ed emulsionante.

-Candeggio: trattamento con sostanze ossidanti (o, in casi più rari, riducenti), a temperature medio-alte e con tempi variabili da circa 30 minuti a 3-4 ore, allo scopo di ridurre il colore giallognolo tipico di molte fibre allo stato grezzo; il candeggio si effettua con perossido d'idrogeno (meno inquinante e adatto per molti tipi di fibra), o con composti del cloro o con perborato; spesso si aggiungono fosfati e tensioattivi con funzione imbibente.

A volte, per ottenere un effetto di bianco migliore (non ottenibile col candeggio ora descritto), si aggiungono azzurranti ottici derivati dallo stilbene che danno effetto di fluorescenza in grado di coprire la visibilità del residuo giallognolo (candeggio ottico)

-Tintura: procedimento in cui il filato o il tessuto viene tenuto a contatto con un bagno di uno o più coloranti (in concentrazione solitamente compresa tra 0,5 e 5 %), a temperature spesso vicine ai 100° e per tempi variabili tra i 30 minuti e le 2 ore, dando modo ai coloranti di diffondere nella fibra in modo il più possibile esauriente e uniforme, con l'aiuto di sostanze tensioattive con effetto imbibente e altre con effetto egualizzante o ritardante, o, nel caso di fibre piuttosto idrofobe come il poliestere, con l'aiuto di sostanze derivate da fenoli chiamate "carriers"; per alcune fibre è necessario aggiungere elettroliti e regolatori del pH (ad esempio solfato di sodio, acido acetico, bicromato di potassio); la maggior parte dei coloranti usati è chimicamente costituita da derivati azoici, antrachinonici, indigoidi, stilbenici. Le tinture devono avere principalmente due caratteristiche: uniformità (cioè i coloranti devono diffondere in modo uniforme in tutti i punti della fibra, in modo da ottenere una tinta ben uniforme) e solidità (cioè la tinta ottenuta deve resistere nel

tempo alla luce, ai lavaggi e ad altre sollecitazioni a cui può essere sottoposto il manufatto durante il suo uso).

-Stampa: procedimento di fissazione di disegni colorati sul tessuto, con l'ausilio di macchine particolari e secondo tecniche ormai molto collaudate (stampa a cilindri, stampa a quadri) o di più recente introduzione (stampa transfer); occorre l'applicazione di paste di coloranti, con l'aiuto di tensioattivi di vario tipo.

-Finissaggio: insieme di procedimenti che seguono la tintura o la stampa, costituiti da trattamenti di tipo chimico o meccanico, spesso ad alta temperatura, per conferire al tessuto particolari caratteristiche di resistenza, stabilità dimensionale, aspetto, mediante applicazione di resine particolari (acriliche, viniliche, ureiche o altre), o aggiunta di sostanze inorganiche, come composti del fosforo e del silicio; i procedimenti di finissaggio più usati sono: ammorbidente, antipiega, antifiama, impermeabilizzante, antibatterico.

-Mercerizzo: procedimento utilizzato soprattutto per il cotone, consistente in un rapido trattamento con soda caustica e tensioattivi imbibenti, accompagnato da azione meccanica, che conferisce al cotone un aspetto più lucido e migliori requisiti di resistenza meccanica e tingibilità.

Molti tra i procedimenti elencati, ed in particolare la purga, il candeggio, la tintura, la stampa e il mercerizzo sono seguiti da fasi di lavaggio ed asciugamento; i lavaggi, che consentono di eliminare reattivi e coloranti in eccesso o non fissati, richiedono quantitativi di acqua notevoli.

Caratteristiche delle acque di scarico

Le acque di scarico degli stabilimenti hanno portate e carichi inquinanti molto diversi a seconda dei quantitativi di merce prodotta e dei tipi di produzione; sostanzialmente le acque possono essere:

-acque di raffreddamento: hanno temperature medio-alte, ma scarso carico inquinante

-acque di processo: sono le acque scaricate dai bagni di tintura, candeggio, purga, imbozzimatura, sbizzimatura, finissaggio chimico; tali acque hanno portate non molto elevate ma spesso carico inquinante notevole

-acque di lavaggio: hanno portate considerevoli, con un carico inquinante più ridotto, ma comunque non trascurabile.

Da questa breve introduzione appare evidente che le acque reflue di questo tipo di aziende sono caratterizzate soprattutto da:

-Sostanze organiche in generale, che contribuiscono al valore del COD e del BOD

-Coloranti in particolare, anch'essi influenzanti il COD e il BOD in modo non trascurabile

-Tensioattivi di tutti i tipi (come già visto, vengono utilizzati per molti processi)

-Solidi sospesi

-Composti azotati e fosforati

-Metalli (contenuti a volte nei coloranti o residui dei catalizzatori usati nella produzione industriale dei coloranti stessi)

-Cloruri e solfati.

Le acque provenienti dai vari reparti di produzione presentano:

-pH compreso tra 4 e 10 (prevalentemente acido per le acque dei lanifici, prevalentemente basico per quelle dei cotonifici)

-COD compreso tra 500 e 3000 mg/l

-Rapporto COD/BOD piuttosto alto (in genere vicino a 3), anche se spesso non è possibile valutarlo, poichè la determinazione del BOD viene effettuata solo da poche aziende (mentre sarebbe utile conoscere questi parametri per poter meglio valutare l'indice di biodegradabilità dei liquami)

-Colore intenso e spesso ben visibile

-Tensioattivi totali solitamente compresi tra 10 e 100 mg/l

-Solidi sospesi compresi tra 100 e 600 mg/l

-Ammoniaca compresa tra 1 e 20 mg/l (come N); nitriti compresi tra 1 e 10 mg/l (come N);

-Fosfati compresi tra 1 e 10 mg/l (come P);

- Rame, cromo, ferro e altri metalli, per un totale compreso tra 0,5 e 10 mg/ l;
- Cloruri compresi tra 500 e 1000 mg/ l; solfati compresi tra 200 e 600 mg/ l.

Le tecniche analitiche utilizzate per la determinazione delle sostanze presenti sono:

- pH: determinazione potenziometrica
- COD e BOD: determinazione con i metodi tradizionali
- Tensioattivi: gli anionici sono determinati mediante estrazione con cloroformio e determinazione spettrofotometrica del complesso formato con blu di metilene; i cationici sono determinati mediante estrazione con cloroformio e determinazione spettrofotometrica del complesso formato con blu disulfine; i non ionici mediante titolazione con Tetrakis o determinazione potenziometrica con metodo al bismuto
- Metalli: determinazione mediante spettrofotometria di assorbimento atomico; alcuni metalli, come ferro, rame e cromo si possono determinare anche con spettrofotometria molecolare nel visibile (il ferro con o – fenantrolina, il rame con cuproina, il cromo con difenilcarbazide)
- Anioni: cloruri, fosfati, nitriti, nitrati, solfati si possono determinare mediante cromatografia di scambio ionico; i cloruri e i solfati anche mediante titolazione, i nitriti, i nitrati e i fosfati anche mediante spettrofotometria molecolare nel visibile
- Ammoniaca: mediante spettrofotometria molecolare nel visibile (reattivo di Nessler) e potenziometria con elettrodo selettivo
- Solidi sospesi: si determinano mediante filtrazione, essiccamento e pesata del filtro

Depurazione delle acque di scarico

Le acque reflue degli stabilimenti tessili, per il loro contenuto di sostanze biodegradabili e per l'assenza quasi completa di sostanze tossiche (anche se negli ultimi decenni l'utilizzo di prodotti chimici per i finissaggi ha peggiorato la situazione), sono particolarmente adatte al trattamento biologico, che in effetti è il più diffuso.

Nelle zone di maggiore concentrazione di stabilimenti di questo tipo, le acque reflue, unitamente a quelle di origine domestica dei centri abitati, vengono condotte attraverso la rete fognante verso grandi impianti consortili di depurazione , dove tali acque miste sono trattate con tecniche prevalentemente di tipo biologico.

Per ottenere l'autorizzazione allo scarico e alla depurazione presso tali impianti, le industrie devono però garantire acque reflue con caratteristiche accettabili, in modo da non creare particolari problemi ai suddetti impianti, il che significa che le acque reflue devono essere comunque sottoposte a trattamenti preliminari.

Occorre pertanto in questi casi almeno regolare il pH, ridurre il contenuto di solidi sospesi e il COD.

Il più delle volte questi impianti di singole aziende comprendono perciò essenzialmente:

- vasca di omogeneizzazione
- vasca di decantazione
- sistema di regolazione del pH

In questo modo è comunque possibile soddisfare i limiti tabellari consortili, i cui valori sono spesso più alti di quelli consentiti dalle Tabelle di legge.

Nelle aziende in cui è possibile, i trattamenti più utilizzati sono quelli biologici, soprattutto a fanghi attivi.

Di solito la sequenza di trattamento è la seguente:

- grigliatura
- accumulo e correzione del pH
- ossidazione biologica a vasca unica

-filtrazione su carbone attivo
-trattamento fanghi

Il trattamento biologico permette di abbattere molte sostanze organiche e i microrganismi patogeni; la filtrazione successiva mediante carbone attivo permette di migliorare l'abbattimento dei tensioattivi e dei coloranti.

A volte l'ossidazione biologica è condotta in più vasche in serie e la filtrazione dei fanghi è preceduta da un ispessimento degli stessi.

In altri casi, soprattutto per aziende con grandi portate di reflui e carico inquinante notevole (valori di COD superiori a 2000-2500), con scarichi sottostanti alla tabella per scarichi superficiali, è stato necessario installare impianti biologici a doppio stadio, cioè con due stadi separati di ossidazione biologica disposti in serie, ciascuno seguito da una sedimentazione del fango attivo, in parte riciclato nella vasca biologica antecedente.

Negli ultimi anni si è diffuso sempre di più l'uso dell'ossigeno puro in luogo dell'aria in almeno una delle vasche d'ossidazione.

Le aziende che hanno effettuato tale modifica si sono dichiarate soddisfatte di ciò, soprattutto per la migliore capacità di tale sistema a far fronte a improvvisi aumenti del carico organico inquinante e la possibilità di assicurare nelle vasche un maggiore e più diffuso quantitativo di ossigeno.

In presenza di ossigeno puro il suo assorbimento da parte dei microrganismi di depurazione è più veloce.

Le tecniche di trattamento chimico-fisico delle acque reflue nelle industrie di questo tipo, pur meno diffuse rispetto a quelle biologiche, sono molto utilizzate.

Si può ritenere che almeno il 30% degli stabilimenti tessili tratti le proprie acque reflue con impianti di tipo chimico-fisico.

Nei casi più frequenti si effettua una coagulazione con cloruro ferrico, seguita da alcalinizzazione con calce e flocculazione con polielettrolita anionico; il trattamento viene effettuato in più vasche, con raccolta dei fanghi, che in alcuni casi vengono fatti sedimentare in una vasca a parte.

Il trattamento viene completato da una filtrazione su sabbia e un adsorbimento su carbone attivo.

La coagulazione-flocculazione consente di ridurre la concentrazione dei coloranti, il COD, i metalli, i fosfati, i tensioattivi; la filtrazione su sabbia riduce il contenuto di solidi sospesi residui, l'adsorbimento su colonna di carbone attivo riduce ulteriormente il contenuto di tensioattivi, il colore, il COD, le altre sostanze organiche.

L'abbattimento dei coloranti mediante coagulazione può avere rendimenti più o meno elevati a seconda della classe tintoriale dei coloranti stessi; in generale si può comunque affermare che i rendimenti di depurazione con queste tecniche non sono inferiori a quelli ottenibili con tecniche di tipo biologico.

In linea di massima si può riscontrare un abbattimento dei coloranti intorno al 50 – 60 %; questo risultato viene poi migliorato dai successivi trattamenti.

I fanghi di depurazione delle tintostamperie vengono disidratati nella maggior parte dei casi mediante filtropressa a piastre, meno frequentemente con filtropressa a nastro, più raramente con centrifuga.

Spesso la filtrazione è preceduta dal condizionamento chimico, effettuato aggiungendo al fango un polielettrolita cationico, oppure cloruro ferrico o calce, allo scopo di migliorare la disidratabilità del fango stesso.

In questo modo si ottiene una più alta percentuale di sostanza secca finale.

I fanghi da impianto biologico difficilmente superano il 20% di sostanze solide secche finali, mentre quelli da impianto chimico-fisico possono raggiungere anche il 40%, con minori costi di smaltimento finale.

Molte aziende effettuano un parziale riutilizzo delle acque di scarico, al fine di ottenere risparmi nel consumo di acqua e di prodotti chimici.

Un esempio interessante di parziale riutilizzo di acque residue è quello di stabilimenti tessili che effettuano la stampa di tessuti in cotone, con annesse operazioni di vaporizzo, lavaggio, asciugatura. Le aziende in parte scaricano in fognatura le acque residue e in parte (a volte anche fino al 60 %) le riutilizzano per i lavaggi dei quadri di stampa.

L'impianto può essere così costituito:

- 1- Accumulo e neutralizzazione
- 2- Filtrazione
- 3- Ossidazione biologica a fanghi attivi
- 4- Sedimentazione
- 5- Ozonizzazione
- 6- Scarico in fognatura
- 7- Riciclo in stabilimento
- 8- Trattamento fanghi

L'accoppiamento ossidazione biologica-ozonizzazione è senza dubbio uno degli aspetti più interessanti di questo impianto; in particolare l'ozonizzazione, pur molto onerosa dal punto di vista del costo d'investimento (per una portata media di 15 mc/h il costo attuale può raggiungere gli 80000 Euro), consente di abbattere notevolmente i tensioattivi e gli altri composti difficilmente biodegradabili.

BIBLIOGRAFIA

- F. Corbani : Nobilitazione dei tessili – Ed. CENTROCOT
- R. Tomanelli : I reflui dell'industria tessile – Rivista ACQUA & ARIA – 1997 – Ed. ARTI POLIGRAFICHE EUROPEE
- R. Tomanelli : Acqua: conoscenza delle problematiche e gestione razionale – Corso CENTROCOT - 2006
- G. Bianucci – E. Ribaldone Bianucci – Il trattamento delle acque residue industriali e agricole – Ed. HOEPLI