



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN CHIMICA**

---

**TESI DI LAUREA MAGISTRALE**

**Valutazione delle alternative ai prodotti chimici**

**impiegati in industria conciaria:**

**Life Cycle Assessment di prodotti bio-based**

**Relatore: Prof.ssa Marta De Zotti**

**Correlatore: Dott. Marco Berton**

**Controrelatore: Prof.ssa Gabriella Favaro**

**Laureanda: Gloria Mafodda**

---

**Anno Accademico 2023/2024**

# INDICE

Dichiarazione

Abstract

1 Introduzione

## CAPITOLO 1

1.1 La storia Conceria Pasubio

1.2 Il settore della concia

1.3 Processo di trattamento pelli e concia

1.4 Prodotti chimici nella concia

## CAPITOLO 2

1.5 Problematiche ambientali nell'industria della pelle

## CAPITOLO 3

1.6 Prodotti bio-based

1.7 Innovazione/shift di nuove metodologie di concia

## CAPITOLO 4

1.8 Analisi del ciclo di vita (LCA)

1.9 Economia circolare

2 Obiettivi

3 Materiali e metodi

3.1 Definizione dell'obiettivo

3.2 Raccolta e analisi dell'inventario

3.3 Calcolo dell'impatto

3.4 Analisi statistica

Scopo

4 Risultati e discussione

5 Conclusione

6 Bibliografia





## **DICHIARAZIONE**

Con la presente, dichiaro di aver scritto personalmente questo lavoro di Tesi Magistrale e che ogni lavoro precedente utilizzato è riportato in bibliografia. Questo lavoro è stato svolto presso Conceria Pasubio SPA, via Seconda Strada, Arzignano (VI) e presso il Dipartimento DAFNAE, Agripolis, Padova (PD).

Padova, 29/02/2024

Gloria Mafodda



## ABSTRACT

La produzione di cuoio è una realtà produttiva di notevole importanza in Italia e fornisce una materia prima di alta qualità a diversi settori produttivi come la moda o quello automobilistico, soprattutto di alta fascia. Allo stesso tempo, la concia della pelle è associata all'utilizzo di prodotti chimici potenzialmente nocivi per l'ambiente, in primis per lo stato delle acque. Per questo motivo, processi alternativi sono stati esplorati, come ad esempio quelli basati su prodotti bio-based. Tuttavia, la valutazione ambientale di ciclo di vita di tali alternative è ancora ai primordi. L'obiettivo di questa tesi è quello di valutare tramite metodo Life Cycle Assessment l'impatto ambientale associato alle fasi di tintura e rifinitura della pelle, comparando la lavorazione standard a una alternativa di tipo bio-based.

I confini del sistema sono stati posti per considerare tutti gli input e gli output associati alle fasi di tintura e rifinitura della pelle. L'unità funzionale cui è stato riferito l'impatto è stata 1 m<sup>2</sup> di pelle rifinita. Le categorie di impatto valutate sono state il potenziale di riscaldamento globale (kg CO<sub>2</sub>-eq) e il potenziale di ecotossicità per le acque dolci (g 1,4-DB).

In coerenza con l'approccio LCA, dati primari sono stati utilizzati ogni qual volta è stato possibile. I dati primari utilizzati per caratterizzare l'inventario degli input e degli output sono derivati dalla collaborazione con l'azienda conciaria Pasubio (Arzignano, Vicenza, Italia) e hanno fatto riferimento ai diversi prodotti chimici, con la loro composizione, utilizzati lungo le fasi di tintura e di rifinitura, e ai consumi di energia e di acqua associati ai siti produttivi dove tintura e rifinitura sono eseguite.

La lavorazione standard è risultata associata, per 1 m<sup>2</sup> di pelle, all'emissione di 2.76 kg CO<sub>2</sub>-eq (circa il potenziale di riscaldamento globale) e di 56,75 g 1,4-DB (circa il potenziale di ecotossicità per le acque dolci). Di converso e per le stesse categorie, la lavorazione bio-based è risultata essere associata all'emissione di 2.51 kg CO<sub>2</sub>-eq e 204,47 g 1,4-DB, rispettivamente. Circa l'emissione di gas ad effetto serra, la quota maggiore risulta associata alla fase di rifinitura per entrambe le alternative di lavorazione (circa il 60%). In entrambe le lavorazioni, la parte preponderante di emissione è associata alla CO<sub>2</sub> (quasi il 90%); in seconda posizione l'emissione di metano. Invece, un quadro differenziato si osserva per l'ecotossicità, dove il risultato circa la lavorazione standard è soprattutto dovuto al consumo di energia e acqua in fase di rifinitura, mentre quello della lavorazione bio-based alla fase di tintura (vera e propria e all'energia e acqua associate a tale fase). Conseguentemente, nessuna delle due lavorazioni risulta essere vantaggiosa per tutte le categorie di impatto valutate.

La collaborazione tra industria, istituzioni accademiche ed enti governativi risulta fondamentale per implementare standard ambientali più rigorosi e promuovere pratiche di gestione dei rifiuti più efficienti. Inoltre, l'adozione di alternative bio-based, la promozione dell'economia circolare e la collaborazione tra attori del settore possono contribuire a migliorare la qualità della vita per un futuro più sostenibile.





# 1. INTRODUZIONE

## CAPITOLO 1

### 1.1 La storia Conceria Pasubio

Conceria Pasubio è un'azienda operativa nel settore della concia delle pelli e nella produzione di articoli di cuoio che si configurano come prodotti intermedi per lavorazioni proprie di altri settori produttivi. Presso questa azienda si è svolto il tirocinio da novembre 2021 a maggio 2023, sulla base del quale si è sviluppata questa tesi di laurea.

L'azienda è stata fondata nel 1955. La sua sede centrale è localizzata ad Arzignano (VI), all'interno del distretto della pelle e del cuoio che caratterizza questa provincia. Nel corso degli ultimi decenni, l'azienda si è specializzata nella produzione di articoli in cuoio per il settore automobilistico di fascia alta e per il settore calzaturiero. A partire da metà anni Novanta, l'azienda ha cominciato a implementare una nuova politica di innovazione diretta ad aumentare l'efficienza produttiva e la sostenibilità ambientale della stessa, puntando a ottenere una serie di certificazioni: ISO 9002; questa norma faceva parte della serie di standard ISO 9000, che si concentrava sui sistemi di gestione della qualità. La norma ISO 9002 è stata revocata nel 2000 e sostituita dalla norma ISO 9001:2000. La serie ISO 9000 fornisce linee guida e criteri per l'implementazione di sistemi di gestione della qualità nelle organizzazioni. Questi standard sono generici e possono essere applicati a diverse industrie, compresa la chimica ambientale, se l'organizzazione desidera implementare un sistema di gestione della qualità.

EAQF'94 è uno standard di qualità nel settore automobilistico, sviluppato come parte delle norme di qualità per la fornitura di componenti automobilistici; è stato integrato nella serie di standard ISO/TS 16949, standard tecnico globale per il sistema di gestione della qualità nel settore automobilistico. Questo standard è stato poi sostituito dalla norma IATF 16949 (International Automotive Task Force) che ha incorporato i requisiti della ISO/TS 16949.

14067:2018 è specificatamente associata alla valutazione delle emissioni di gas a effetto serra (GHG) durante il ciclo di vita dei prodotti. La norma fornisce linee guida per quantificare le emissioni di gas serra associate a beni e servizi, prendendo in considerazione l'intero ciclo di vita del prodotto. Anche UNI EN ISO 14064-1:2019, che fa parte della serie di standard ISO 14064, si occupa della quantificazione e della segnalazione delle emissioni di gas a effetto serra (GHG). In particolare, la ISO 14064-1 fornisce le linee guida per la progettazione e la conduzione di programmi di monitoraggio e di verifica delle emissioni dirette e indirette di gas serra per le organizzazioni.

Relativamente alla norma ISO 14067:2018:

1. **Ambito di Applicazione:** La norma si applica alla valutazione delle emissioni di gas a effetto serra lungo l'intero ciclo di vita di un prodotto o servizio. Ciò include l'estrazione delle materie prime, la produzione, la distribuzione, l'uso e la fine della vita del prodotto.
2. **Principi Fondamentali:** La ISO 14067 si basa su principi come la completezza, la trasparenza, la coerenza, la rappresentatività e l'accuratezza per garantire che le valutazioni siano robuste e comparabili.
3. **Comunicazione delle Emissioni:** La norma fornisce orientamenti sulla comunicazione delle emissioni di gas serra, consentendo alle organizzazioni di trasmettere in modo chiaro e comprensibile le informazioni relative all'impatto ambientale dei loro prodotti o servizi.
4. **Utilizzo di Indicatori Ambientali:** La norma incoraggia l'uso di indicatori ambientali specifici per valutare l'impatto delle emissioni di gas a effetto serra. Gli indicatori aiutano a semplificare la comunicazione delle informazioni complesse legate alle emissioni.

Alcuni dei punti chiave trattati dalla norma UNI EN ISO 14064-1:2019 sono:

1. **Ambito di Applicazione:** La norma fornisce orientamenti per la progettazione, lo sviluppo, la gestione, la rappresentazione e la segnalazione di programmi di monitoraggio e verifica delle emissioni di gas a effetto serra.
2. **Principi Fondamentali:** La norma stabilisce i principi fondamentali per la quantificazione delle emissioni di gas a effetto serra, inclusi i principi di completezza, coerenza, trasparenza, accuratezza e conservatività.
3. **Gestione dei Dati:** Vengono fornite indicazioni sulla gestione dei dati relativi alle emissioni, comprese le procedure per la gestione della qualità dei dati.
4. **Rapporti e Comunicazioni:** La norma fornisce linee guida per la preparazione di rapporti e comunicazioni sulle emissioni di gas a effetto serra, inclusi i requisiti per la comunicazione esterna.

14025:2010 è specificamente associata alle dichiarazioni ambientali di tipo III, che forniscono informazioni ambientali verificate e comparative su prodotti o servizi.

I punti chiave relativi alla norma ISO 14025:2010:

1. **Ambito di Applicazione:** La norma si applica alle dichiarazioni ambientali di tipo III, che forniscono informazioni ambientali verificate e basate su dati riguardanti l'impatto ambientale di un prodotto attraverso l'intero suo ciclo di vita.
2. **Principi e Procedure:** La ISO 14025 stabilisce i principi di base e le procedure per lo sviluppo di dichiarazioni ambientali di tipo III, incluso l'utilizzo di categorie di prodotto, indicatori ambientali e valutazioni dell'impatto ambientale.
3. **Valutazione del Ciclo di Vita:** La norma promuove l'uso di valutazioni del ciclo di vita (LCA) come base per le informazioni ambientali. Le LCA sono uno strumento per valutare gli impatti ambientali associati a tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto o servizio.
4. **Verifica e Certificazione:** La ISO 14025 prevede anche procedure di verifica indipendente per garantire l'affidabilità e l'accuratezza delle informazioni ambientali fornite nelle dichiarazioni di tipo III.



Figura 1. Linea temporale della crescita dell'azienda Conceria Pasubio SpA

## 1.2 Il settore della concia

L'industria conciaria in Italia è storicamente importante e ha una lunga tradizione, che si può far risalire in diverse zone italiane intorno al 1300, ma che si organizza in senso industriale solo dopo la Prima Guerra Mondiale. Oggi il settore comprende più di 1100 aziende (Unic, 2022).<sup>[1]</sup> Queste aziende si concentrano prevalentemente in tre grandi distretti industriali: il distretto veneto, concentrato nella valle del fiume Chiampo (provincia di Vicenza), il distretto toscano, soprattutto in provincia di Pisa e Firenze, e il distretto campano, con molte aziende localizzate nelle province di Avellino e Napoli.

A livello economico, il settore oggi vanta un fatturato complessivo vicino ai 4.6 miliardi di euro e occupa oltre 18 mila lavoratori (Unic, 2022)<sup>[1]</sup>. La produzione di articoli in cuoio italiani ha una forte propensione all'export (70% della produzione totale) e si presenta come primario player a livello europeo e mondiale (esempio: crea circa il 60% del valore aggiunto del settore pelle e cuoio a livello di Unione Europea).

L'industria conciaria ha come obiettivo primario quello di trasformare le pelli animali in prodotti a utilizzo commerciale. In questo senso, tale settore si è sempre caratterizzato per una stretta relazione con il settore della produzione di carne, e in specifico dell'allevamento bovino, essendo i bovini la fonte primaria della materia prima iniziale. Tale relazione si basa sul fatto che la pelle è uno dei sottoprodotti che si ottengono della macellazione dei bovini (la quale ha come obiettivo primario quello di preparare la carne per la successiva vendita al consumatore). In fase di macellazione, la pelle è velocemente rimossa dalla carcassa per evitare che il sangue danneggi il materiale e ne acceleri il processo di decomposizione. Al fine di bloccare tale processo di decomposizione, oggi esistono diversi processi chimico-fisici che possono essere utilizzati per stabilizzare il prodotto e quindi poterlo inviare alla lavorazione conciaria vera e propria. Tali processi possono essere:

- Chilling: le pelli appena rimosse dalla carcassa vengono congelate e trasportate in vagoni frigorifero; il metodo non è comunemente usato perché molto costoso.
- Drying: le pelli vengono posizionate su pietre e lasciate essiccare al sole; la non uniformità delle pietre e l'impossibilità di controllare il processo di essiccazione fanno sì che la pelle possa subire danni; per questo motivo questo trattamento non è comunemente usato.

- Brining: le pelli vengono immerse in una soluzione satura di sale e mantenuta in continuo movimento finché la salamoia non penetra nelle pelli e poi lasciate essiccare; questo metodo è uno dei più efficaci nella conservazione del pellame ma a volte inaccessibile a causa degli alti costi.
- Wet Salting: le pelli vengono stese e impilate l'una sull'altra tra strati di sale; la salamoia, formata dall'assorbimento dell'umidità della pelle da parte del sale, penetra nelle pelli uccidendo la maggior parte dei batteri e conservando il pellame. Tuttavia, non tutti i batteri vengono uccisi da questo trattamento; questo porta alla formazione di antiestetiche macchie rosse nella pelle che potrebbe abbassarne il valore. Si può ovviare a questo problema aggiungendo naftalene ( $C_{10}H_8$ ) e carbonato di sodio al sale ( $NaHCO_3+NaCl$ ).

La vera e propria trasformazione da pelle grezza a cuoio rifinito richiede una serie di processi chimici e fisici complessi, che si può riassumere con i seguenti punti:

1. Processo di Conciazione: Il processo di conciazione è fondamentale nell'industria conciaria e comprende diverse fasi:
  - Prelavaggio: Il processo inizia con la ricezione delle pelli grezze, che vengono lavate e pulite per rimuovere impurità come terra, sangue e altre sostanze indesiderate. I prodotti chimici impiegati sono enzimi, tensioattivi ed emulsionanti.
  - Concaggio: Le pelli vengono sottoposte a un processo di ammollo in acqua per rimuovere il pelo e le fibre dalla superficie utilizzando prodotti chimici come idrossido di sodio, solfuro di sodio, ammoniaca.
  - Pulitura e Scarnificazione: Dopo il concaggio, la pelle subisce un processo di raschiatura e pulizia per rimuovere la carne rimanente e altre fibre indesiderate e questo trattamento viene fatto con acidi per regolare il pH, enzimi.
2. Concia vera e propria: Questo è il processo principale in cui la pelle viene trattata chimicamente per renderla stabile e utilizzabile attraverso sali di cromo (come solfato di cromo), alluminio e altri agenti concianti a base di cromo o altre sostanze chimiche a seconda del tipo di concia.
3. Tintura: Durante questa fase, la pelle può essere tinteggiata per ottenere il colore desiderato. Come prodotti utilizzati abbiamo: coloranti, agenti fissanti.



*Figura 2. Botte con colorazione rossa per la fase di tintura. Il colore viene pompato attraverso un macchinario di pompaggio. La tecnica per la colorazione è a spray circolare: nella prima parte spruzza il colore che creerà delle linee circolari che verranno riempite nella seconda parte prima di entrare nel forno ed avere il prodotto tinto. Strumento utilizzato Gemata.*

*Fonte: fotografie scattate durante una perlustrazione della linea di tintura di Conceria Pasubio SpA, stabilimento in via II strada, Arzignano (VI)*



*Figura 3. Pelle bagnata prima di entrare nel forno a 80-100 gradi (2/3 forni circa) per prima asciugatura ed assorbimento del colore sulla pelle. Strumento utilizzato Todesco (metodo spray coating).*

*Fonte: fotografie scattate durante una perlustrazione della linea di tintura di Conceria Pasubio SpA, stabilimento in via II strada, Arzignano (VI)*

4. Fissaggio: Questo processo serve a fissare il colore nella pelle e renderlo resistente all'acqua e all'usura usufruendo di composti di alluminio o altri agenti fissanti.



*Figura 4. Botte con colorazione bianca che è il prodotto fissativo.*

*Fonte: fotografie scattate durante una perlustrazione della linea di tintura di Conceria Pasubio SpA, stabilimento in via II strada, Arzignano (VI)*





*Figura 5. Strumento per pompaggio: pompa che determina la pressione e la grammatura del fissativo che viene spruzzato a seconda della ricetta utilizzata.*

*Fonte: fotografie scattate durante una perlustrazione della linea di tintura di Conceria Pasubio SpA, stabilimento in via II strada, Arzignano (VI)*

5. Rifinitone: La pelle subisce lavorazioni aggiuntive per ottenere una superficie liscia ed esteticamente gradevole (oli, cere, vernici, finiture superficiali).



*Figura 6. Reticolanti per i colori che servono a solidificare il colore sulla pelle dopo un'ora circa. Viene spruzzato col il colore per permettere al colore di non solidificare nell'immediato.*

*Fonte: fotografie scattate durante una perlustrazione della linea di tintura di Conceria Pasubio SpA, stabilimento in via II strada, Arzignano (VI)*

6. Asciugatura e Rifinitura: La pelle viene asciugata e sottoposta a ulteriori processi di rifinitura per ottenere la consistenza e l'aspetto desiderati con: ammorbidenti, lubrificanti, protettivi.



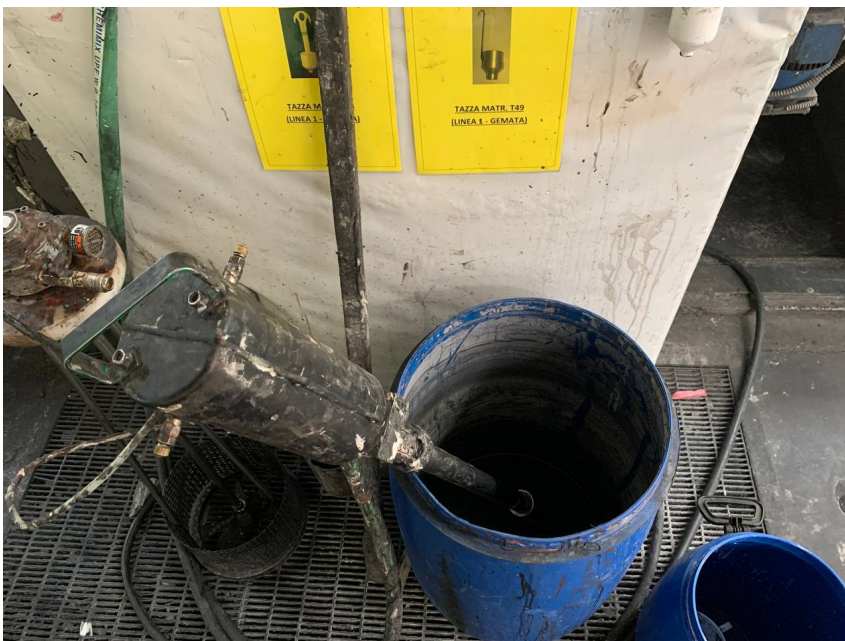
*Figura 7. Pelle in uscita dal forno asciutta.*

*Fonte: fotografie scattate durante una perlustrazione della linea di tintura di Conceria Pasubio SpA, stabilimento in via II strada, Arzignano (VI)*



*Figura 8. Macchina che serve a stuccare la pelle eliminando le imperfezioni come ad esempio buchi, ed è utilizzata prima della fase di rifinitura per le pelli superiori alla prima e seconda scelta quindi di terza e quarta e via dicendo.*

*Fonte: fotografie scattate durante una perlustrazione della linea di tintura di Conceria Pasubio SpA, stabilimento in via II strada, Arzignano (VI)*



*Figura 9. Botte con colore nero molto denso (stucco) e pompa per stuccare con successivo forno prima della fase di rifinitura.*

*Fonte: fotografie scattate durante una perlustrazione della linea di tintura di Conceria Pasubio SpA, stabilimento in via II strada, Arzignano (VI)*



*Figura 10. Pelli in fase di asciugatura dopo tutta la linea di rifinitura.*

*Fonte: fotografie scattate durante una perlustrazione della linea di tintura di Conceria Pasubio SpA, stabilimento in via II strada, Arzignano (VI)*

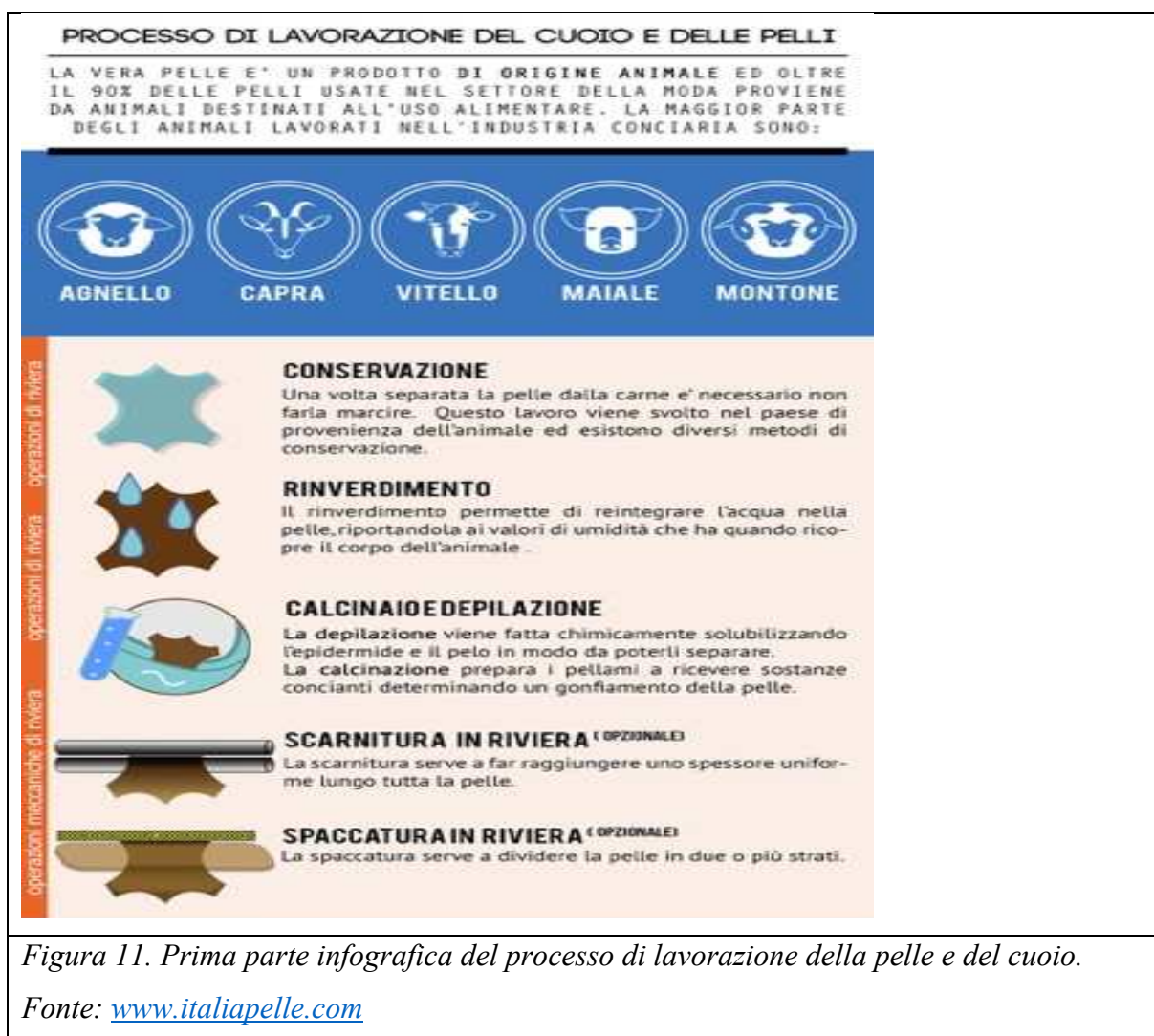
Gli specifici processi e i prodotti chimici impiegati possono variare in base al tipo di pelle, al risultato desiderato e alle pratiche specifiche di ciascuna fabbrica. La conoscenza dettagliata di questi processi e prodotti chimici è essenziale per condurre analisi comparative e valutare le alternative bio-based. L'uso intensivo di prodotti chimici nell'industria conciaria può generare impatti ambientali significativi. Questi impatti includono inquinamento delle acque a causa del drenaggio di sostanze chimiche nelle acque di scarico e problemi di salute per i lavoratori a causa dell'esposizione a sostanze chimiche nocive.

Negli ultimi anni, c'è stata una crescente consapevolezza ambientale e una spinta verso la sostenibilità nell'industria conciaria. Ciò ha portato a un'attenzione crescente sulle alternative bio-based e meno dannose per l'ambiente ai tradizionali prodotti chimici utilizzati.

### 1.3 Processo di trattamento pelli e concia

Il processo di lavorazione delle pelli animali è chiamato concia ed ha come scopo quello di trasformare la pelle putrescibile dell'animale in un prodotto imputrescibile, igienico, traspirante e resistente.

È fondamentale chiarire che non esiste un processo unico per la concia delle pelli, esso infatti dipende da moltissimi fattori, primo fra tutti è il risultato finale che si vuole raggiungere, ad esempio il processo di concia cambia se si decide di voler lasciare il pelo, se si vuole ottenere una pelle conciata al vegetale oppure al cromo ecc.



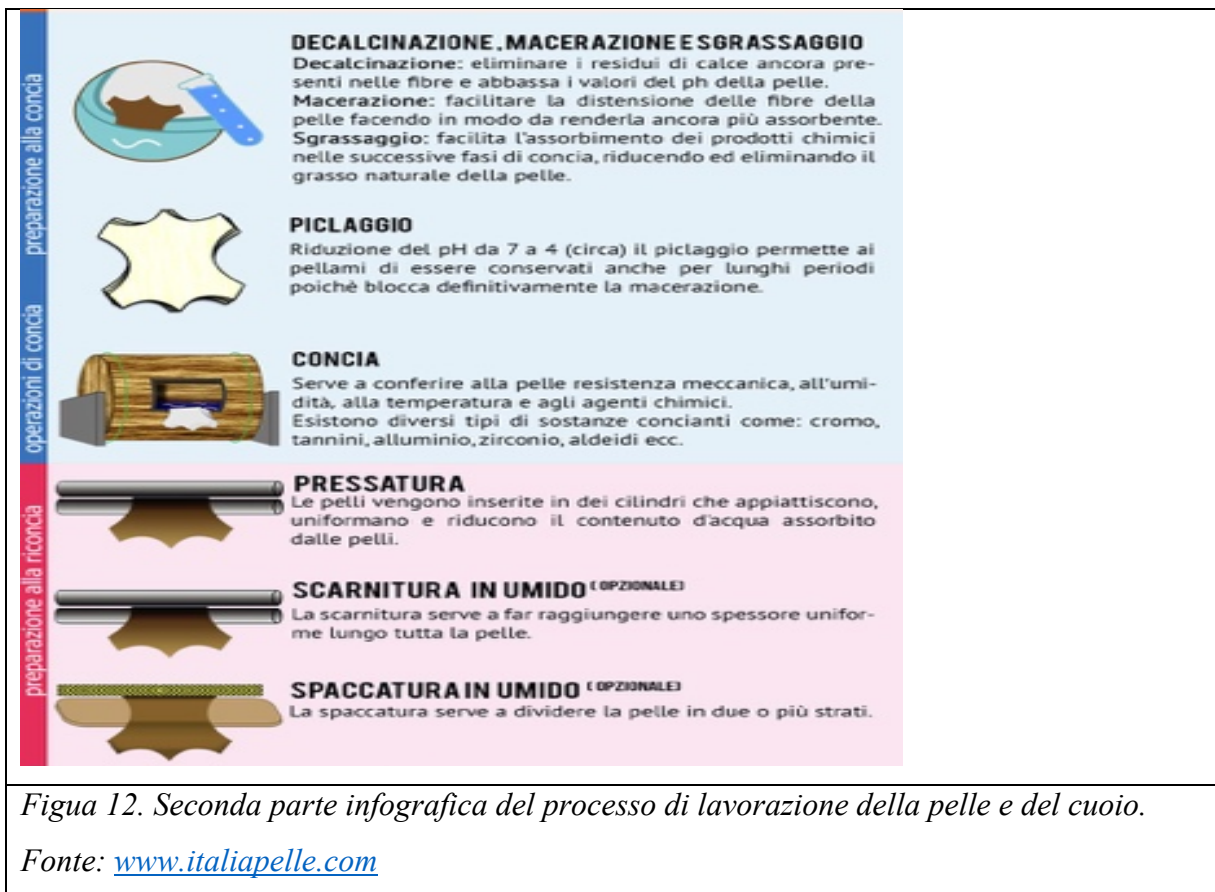


Figura 12. Seconda parte infografica del processo di lavorazione della pelle e del cuoio.

Fonte: [www.italiapelle.com](http://www.italiapelle.com)



Figura 13. Terza parte infografica del processo di lavorazione della pelle e del cuoio.

Fonte: [www.italiapelle.com](http://www.italiapelle.com)

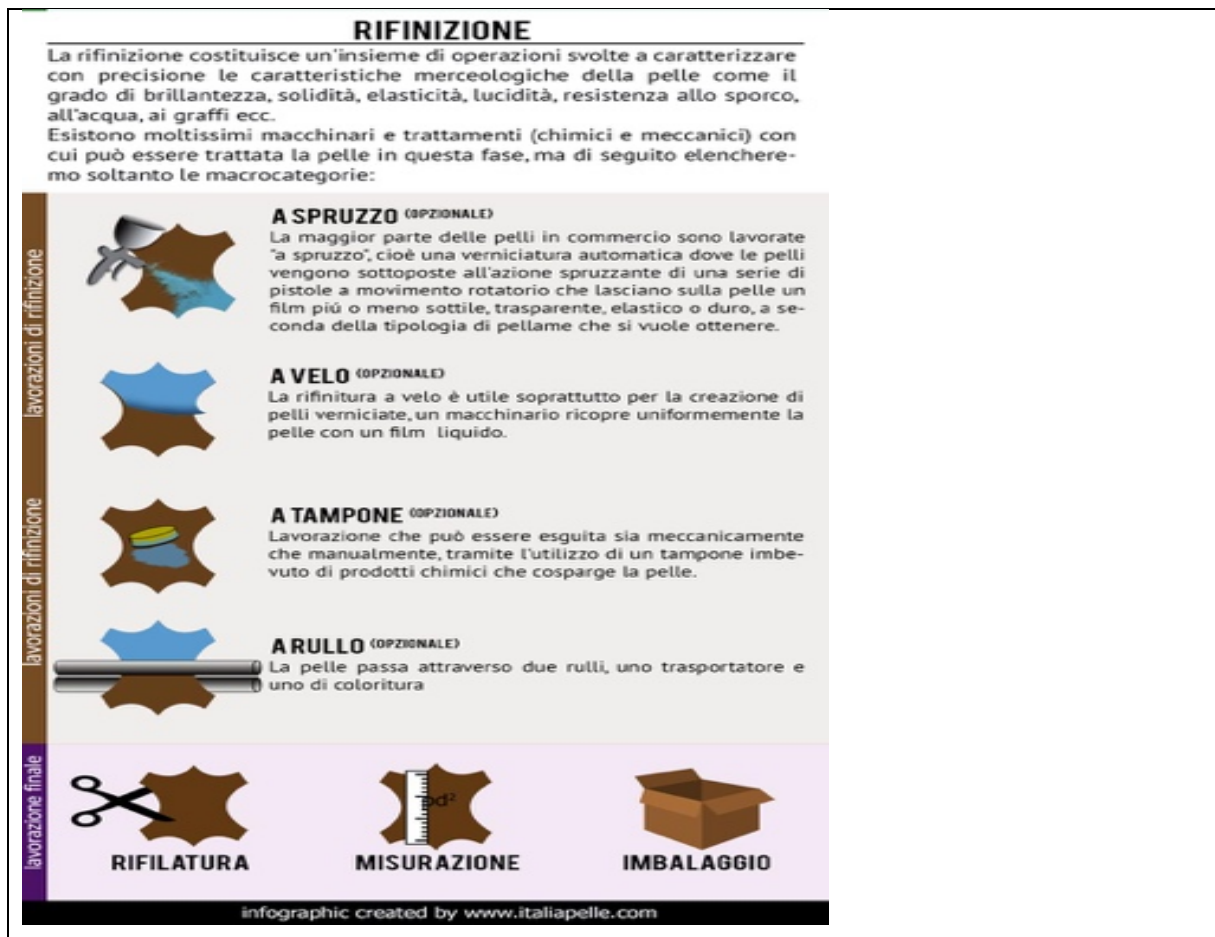


Figura 14. Infografica della parte di rifinitura della pelle e del cuoio.

Fonte: [www.italiapelle.com](http://www.italiapelle.com)

Di seguito riportate le seguenti fasi del processo di lavorazione del cuoio e della pelle nel dettaglio:

- Conservazione: Dopo lo scuoiamento, le pelli devono essere trattate, altrimenti avrà inizio il processo di decomposizione che creerà danni irreparabili al derma della pelle come: fiore guasto, struttura fibrillare vuota ed altri innumerevoli difetti. Per ovviare a questi problemi si fa riferimento alla conservazione, una lavorazione che blocca lo sviluppo e la proliferazione dei batteri. Esistono differenti metodi di conservare le pelli che prendono il nome di: Pelli Secche, Pelli Salate Fresche, Pelli Salate Secche, Pelli Arsenicate, Pelli Patinate, Pelli Piclate. Una volta finito il processo di conservazione le pelli (in gergo dette "grezze") vengono stoccate e spedite alle concerie che si occuperanno della loro lavorazione.
- Rinverdimento: Il rinverdimento delle pelli è una lavorazione utile a reintegrare l'acqua nelle fibre della pelle persa durante la conservazione, il suo scopo è quello di ridonare alla pelle la flessibilità e morbidezza (persa durante la conservazione). Esistono diversi



tipi di rinverdimento delle pelli e viene preferito uno all'altro in conseguenza di due fattori: il tipo di pellame e il tipo di conservazione subito.

- **Calcinaio e Depilazione:** Il calcinaio e la depilazione sono due lavorazioni svolte (quasi sempre) per via chimica e sebbene abbiano due scopi diversi sono spesso svolti contemporaneamente. Lo scopo del calcinaio è quello di rendere la pelle pronta all'assorbimento dei concianti, mentre la depilazione (come si può immaginare) ha come scopo quello di rimuovere il pelo e l'epidermide. I prodotti più usati per calcinaio e depilazione sono idrossido di calce, solfuro di sodio, solfato di dimetilammina. Oltre che per via chimica, la depilazione può avvenire anche per via del riscaldamento che avvia il processo di decomposizione dando la possibilità ai microbi di formarsi e distruggere la parte profonda dell'epidermide.
- **Spaccatura:** Questa lavorazione è utile nel caso in cui si lavorano pelli molto spesse, come nel caso dei vitelloni e se ne vuole ridurre lo spessore. La spaccatura è una lavorazione di tipo meccanico e viene effettuata con un macchinario che divide la pelle in due o più strati; lo strato superiore è detto fiore ed è anche il più pregiato, mentre gli strati inferiori sono dette croste.
- **Scarnitura:** La scarnitura è una lavorazione meccanica avente come scopo quello di eliminare tessuti sottocutanei ed il grasso in eccesso che restano attaccati alla pelle durante lo scuoiamento dell'animale. La scarnitura è una lavorazione che può essere svolta sia durante le lavorazioni di riviera e di concia (scarnitura in umido) che durante le lavorazioni meccaniche in rifinitura (scarnitura a secco).
- **Decalcinazione:** La decalcinazione è un processo che avviene per mezzo chimico. La sua funzionalità è quella di eliminare la maggior parte della calce attaccata alle fibre della pelle, abbassare il pH ed ottenere uno sgonfiamento del derma. Per farlo è necessario l'impiego di acidi forti o deboli.  
In passato non si usavano gli acidi<sup>[64]</sup>, ma sterco di cane o di uccelli che veniva lasciato macerare ed introdotti nei bottali insieme alle pelli e si attendeva che lo sterco dissolvesse la calce e le sostanze grasse presenti nella pelle.
- **Macerazione:** La macerazione completa il processo di decalcinazione agendo sulla struttura delle fibre delle pelli; in particolar modo è utile a rilassarle, in modo da preparare i pellami a ricevere ed assorbire appieno gli agenti concianti.
- **Sgrassaggio:** Lo sgrassaggio è una lavorazione che viene effettuata soprattutto sulle pelli molto grasse (come nel caso dei montoni provenienti dalla Nuova Zelanda).
- **La saponificazione dei grassi:** è un modo sicuro per preparare i pellami a ricevere i concianti, dato che il grasso impedirebbe la penetrazione a fondo di questi.

- Pikel: La parola piclaggio deriva dall'inglese pickle (sottaceto) ed è una lavorazione che blocca definitivamente la possibile macerazione della pelle, inoltre aiuta la pelle a rilassarsi e prepararsi per la concia.
- Concia al Cromo: La concia al cromo è una delle conce più utilizzate al mondo, si stima infatti che oltre l'80% delle pelli lavorate nel mondo siano conciate al cromo. Lo scopo della concia è fondamentalmente quello di dare al cuoio la maggior resistenza all'usura, la massima impermeabilità all'acqua, la giusta permeabilità all'aria ed al vapore acqueo (sudore) attraverso la porosità (quest'ultima caratteristica è tra le più importanti poiché conferisce alle pelli il vanto di essere una dei principali materiali igienici.).  
La lavorazione delle pelli con la concia del cromo viene fatta per via del cromo trivalente. Alla fine di questa lavorazione avremo dei pellami con un colore azzurro chiaro detti propriamente wet-blue.

Il processo di concia o stabilizzazione può essere eseguito come sopra accennato, mediante conceria vegetale, minerale o sintetica. I materiali conciari vegetali e sintetici sono in gran parte di natura anionica e sono essenzialmente simili nella loro azione sulle proteine della pelle. Chimicamente sono miscele complesse e la loro chimica non è ben compresa. Le confezioni vegetali si dividono in due classi principali:

- Sostanze conciari idrolizzabili – esteri complessi di fenolo e acido carbossilico e polioidrossifenoli.
- Tannini condensati – miscele di prodotti di vari gradi di polimerizzazione, contenenti diverse molecole di catechina o composti simili alla catechina.

I sintani sono in gran parte prodotti di condensazione di acidi solfonici (fenolico e naftolico) e formaldeide e tipi generali simili.

I materiali conciari vegetali e sintetici sono ampiamente utilizzati per modificare le proprietà della pelle conciata al cromo e come autoabbronzanti per produrre suola, cinture, coperture per il calcio e altri tipi di pelle dove l'elasticità e la morbidezza della pelle non sono richieste.

Il principale materiale di concia minerale è il solfato di cromo trivalente. Questa è oggi molto utilizzata nella preparazione di pelli per tomaie di scarpe e pelli per abbigliamento, infatti, in tutte le pelli dove sono richieste morbidezza, elasticità ed elasticità.<sup>[65]</sup>

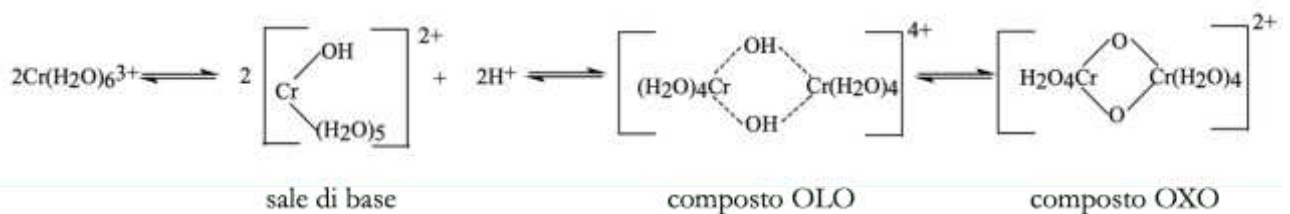
- Sintesi del cromo:



- L'uso del cromo nella concia

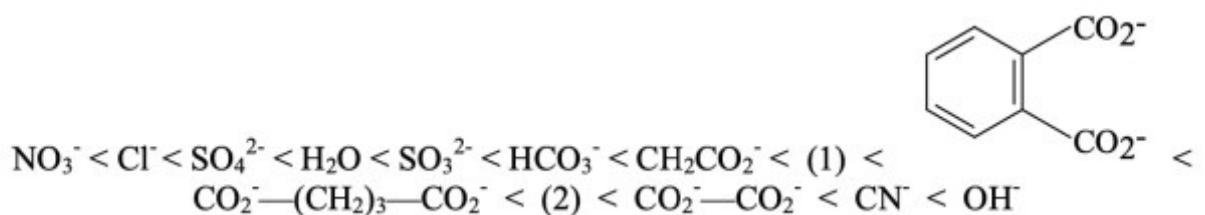
Il cromo, un elemento di transizione che forma complessi di coordinamento utilizzando orbitali 3d per accogliere elettroni extra, è particolarmente indicato come agente conciante.

Ci sono due caratteristiche principali della chimica del cromo che gli consentono di agire come agente conciante. In primo luogo, i complessi formati sono di stabilità intermedia, e quindi uno scambio di co-ligandi ordinanti può avvenire in modo relativamente semplice. In secondo luogo, il cromo ha la capacità di formare complessi polinucleari in cui sono coinvolti ponti Cr-O-Cr. Questi si verificano come segue:



Il processo finale, quello dell'ossolazione, è lento e non viene facilmente invertito. In modo simile, si possono costruire lunghe catene. Per mezzo di queste unità polinucleari si possono colmare i vuoti tra le catene di collagene nella struttura della pelle, conferendo appunto al cromo un'azione conciante. Individualmente, queste due proprietà si ritrovano nella chimica di molti altri elementi, ma da sole non conferiscono rilevanti capacità concianti. Invece, le due proprietà insieme danno una grande efficacia conciante.

Il cromo mostra una forte tendenza a formare composti di coordinazione con molecole contenenti gruppi carbossilici. L'ordine di stabilità conferita dagli ioni ai complessi che coinvolgono il cromo è:



Il complesso cromo-collagene si trova approssimativamente tra (1) e (2) nell'intervallo di stabilità e l'ordine nella serie ha una serie di implicazioni pratiche e teoriche. Si pensa che il

processo di concia al cromo coinvolga il ligando presente nel complesso del cromo che viene sostituito dal collagene.

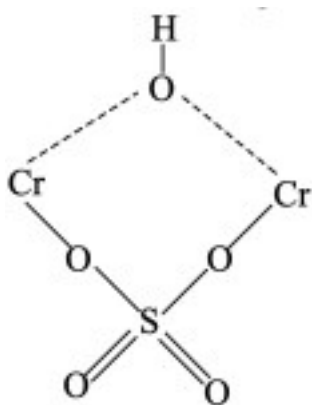
- Il composto di cromo-collagene

Ci sono diversi modi in cui l'azione conciante potrebbe avvenire, e sebbene inizialmente si possa formare un composto ionico, sembra certo che l'azione chimica principale sia per mezzo di complessi di coordinazione o legami covalenti. Sembra anche certo che, come detto sopra, i gruppi coordinanti più importanti siano i gruppi carbossilici liberi della struttura del collagene, ma non sono esclusi i gruppi amminici e i gruppi ammidici del legame peptidico. Questa teoria trova una conferma principalmente considerando le azioni concianti a vari pH. L'azione conciante aumenta con l'aumentare del pH e la concia non si verifica affatto quando tutti i gruppi carbossilati delle molecole di collagene sono protonati. Questi fattori sono discussi di seguito.

- La natura dell'anione

Aumento della capacità di concia:  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 < \text{CrCl}_3 < \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$

L'anione associato al sale di cromo è coinvolto nel ponte tra gli atomi di cromo.  $\text{SO}_4^{2-}$  ha la più grande capacità di formare questo ponte.



- La basicità del sale di cromo

A circa il 30-40% di basicità, cioè nell'intervallo di pH 3,0 – 3,4, la dimensione molecolare media è di circa 2-4 nuclei di cromo. Questo sembra essere l'ideale per la concia. A basicità inferiori la dimensione molecolare è troppo piccola e i complessi non possono colmare il divario

tra le fibre di collagene, mentre a basicità superiori la dimensione molecolare è tale che le particelle semi colloidali non possono entrare nella struttura fibrosa del collagene.

Aumentando il pH si ottiene una maggiore azione conciante.

- Sali neutri

Nonostante abbiano un effetto sull'azione conciante, questo non è di grande importanza.

- Agenti complessanti e mascheranti

Questi sono di grande importanza e il tipo di pelle prodotta dipende fortemente da quali agenti complessanti sono presenti. Questi tendono a rallentare l'azione conciante. In alcuni casi, ad es. per l'ossalato, il legante non può essere sostituito dal collagene, e quindi una soluzione contenente più di due molecole di ossalato per una di cromo non si concia. Una soluzione di ossalato di sodio rimuoverà il cromo dalla pelle conciata al cromo. Dal punto di vista pratico gli agenti complessanti più efficaci sono il solfato, il formiato, l'acetato, lo ftalato, il solfito e gli acidi bicarbossilici. Il solfato da complessi a bassa stabilità (da qui si ottiene il solfato di cromo che precipita). Il formiato, monodentato, è ampiamente utilizzato e rallenta la concia quanto basta per conferire alla pelle finita alcune qualità desiderate. L'acetato ha un effetto colore importante, producendo pelle blu. Lo ftalato è bidentato (occupa due siti di coordinazione nel nucleo di cromo). L'uso di questo ligando aumenta l'assorbimento del cromo, poiché lascia meno siti per il coordinamento con il substrato di collagene.

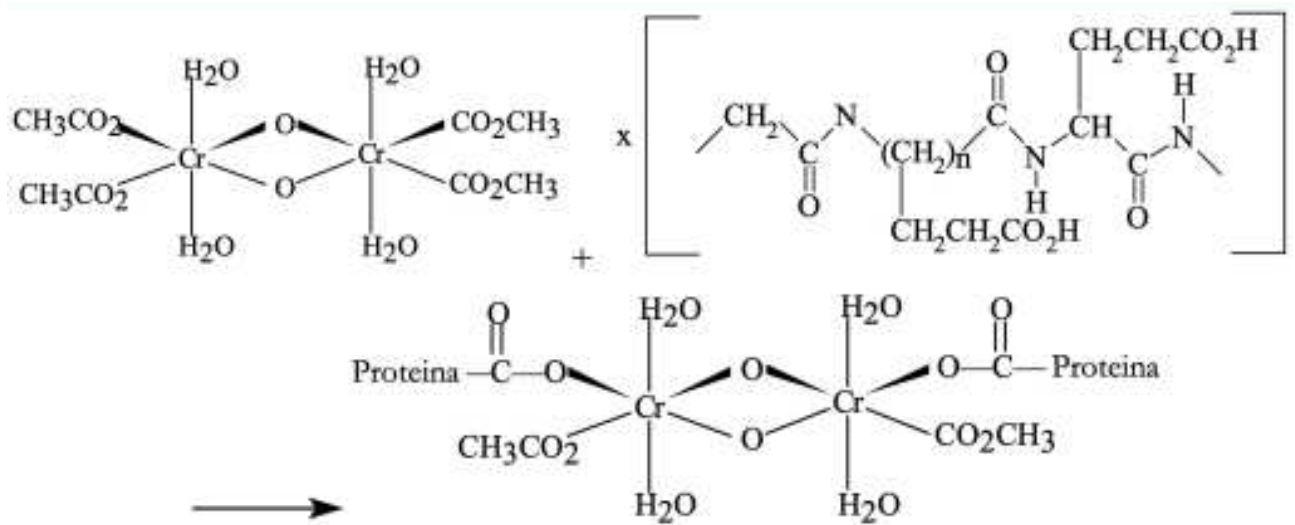
- Aspetti pratici

In che modo tutto questo ci influenza in pratica? Si può vedere che per penetrare nella struttura fibrosa della pelle, il complesso di cromo deve essere piccolo. Ciò può essere ottenuto con un pH basso e un sale di cromo a bassa basicità. Quando la penetrazione è stata raggiunta, è necessario un pH più elevato; questo libera i gruppi carbossilici del collagene e li lascia liberi per la coordinazione, aiutando nella formazione dei complessi oLo e oxo-cromo polinucleari. Quando è stato raggiunto un certo livello di concia e la pelle è più resistente al calore, la temperatura può essere aumentata.

Nella pratica la concia consiste quindi nel portare la pelle da conciare ad una condizione acida, ottenendo la penetrazione del cromo a pH basso, successivamente si ha l'innalzamento del pH, ed infine il riscaldamento per ottenere il massimo fissaggio del cromo.

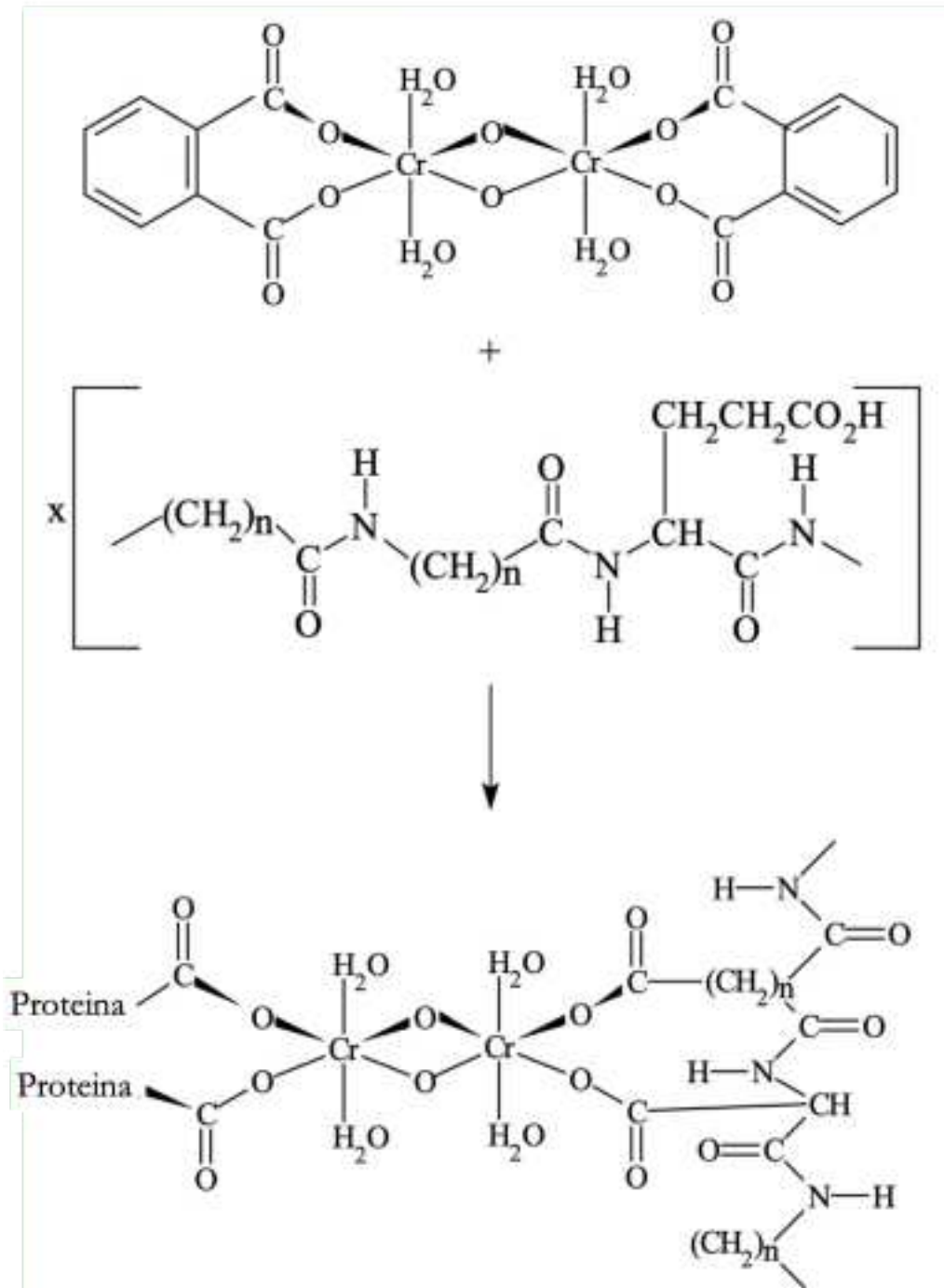
Due esempi pratici sono i seguenti:

### Mascheratura in acetato



La pelle prodotta qui è piatta ed elastica, non particolarmente ricca di cromo e di colore verde azzurro chiaro (adatta per la sbianca alla pelle bianca). Laddove venga utilizzato l'acetato, si verificano singoli collegamenti tra le catene, la pelle viene mantenuta piatta e il contenuto di cromo non è molto elevato.

## Mascheratura con ftalato



Questa pelle è più piena, non così piatta, ha un contenuto di cromo più elevato ed è di colore verde. Qui, a causa della natura bidentata dello ftalato come agente complessante, l'assorbimento del cromo tende ad essere maggiore e ci sono più collegamenti all'interno delle singole catene.

La misura pratica del grado di concia al cromo è quella della stabilità termica. Al termine di ogni concia la pelle viene testata per vedere quale temperatura, in condizioni di bagnato,

resisterà. Se resisterà a 100 °C (acqua bollente) è considerato conciata in modo soddisfacente.<sup>[64]</sup>

- Altri tipi di Concia

Esistono molti altri tipi di concia a cui poter far riferimento, come ad esempio la concia alle aldeidi, la concia al ferro, allo zirconio, all'olio, soprattutto, per produzione di scamosciato (riprenderemo all'argomento successivamente, facendo il confronto tra prodotti chimici e prodotti bio-based nella fase di tintura e rifinizione) e la più recente la concia al Titanio.

- Pressatura: Dopo aver subito il processo di concia i pellami sono impregnati ed è necessario ridimensionare la quantità d'acqua presente all'interno della pelle. Per farlo si ricorre all'uso di un macchinario che esercita una forte pressione sulle pelli (dalle 10 alle 80 tonnellate) facendo così fuoriuscire l'acqua e stendendo la pelle.
- Riconcia: La riconcia è una lavorazione propensa a dare carattere e conferire particolari proprietà merceologiche alla pelle, come ad esempio maggiore resistenza meccanica, uniformità della concia in tutto lo spessore del cuoio, conferire maggiore pienezza, morbidezza, elasticità, cedevolezza, leggerezza ecc. Anche se non è strettamente necessaria, attraverso la riconcia delle pelli è possibile determinare l'alta qualità di una pelle e le sue caratteristiche.
- Tintura: La tintura del cuoio può essere effettuata anche durante le operazioni di riconcia, in questo caso le pelli vengono immerse in un bottale contenente soluzioni acquose portate ad una temperatura elevata e vengono introdotti nell'acqua coloranti idrosolubili. Lo scopo principale della tintura, come si può immaginare è quello di conferire alla pelle il colore desiderato. Con questa modalità di tintura in botte è possibile far penetrare la tintura non solo superficialmente ma anche lungo tutto il suo spessore.
- Ingrassa: Una delle ultime lavorazioni in umido (quando le pelli sono ancora bagnate) è sicuramente l'ingrasso, un'operazione che serve a modificare le caratteristiche fisico-meccaniche della pelle introducendo nelle fibre oli e grassi solubili che fungono da lubrificanti. Senza l'ingrasso, la pelle essiccata potrebbe non godere della morbidezza, elasticità e resistenza che caratterizza solitamente i pellami, inoltre i grassi e gli oli conferiscono una maggiore idrofobicità della pelle.
- Asciugatura Come si può immaginare, le operazioni di asciugatura o essiccamento hanno come scopo principale quello di far perdere alle pelli l'acqua assorbita durante tutte le precedenti lavorazioni. Questa lavorazione inizia quasi sempre con la messa al



vento delle pelli dove i pellami attraversano dei rulli che pressano letteralmente la pelle stirandola ed allargandola, permettendo così la perdita di sostanze inutili assorbite precedentemente. Dopo la fase della messa al vento è necessario essiccare ulteriormente i pellami e per farlo esistono diversi metodi:

Sospensione dei pellami (essiccazione a catena): i pellami vengono appese su dei bastoni collegati ad un sistema di trasporto che fa' circolare i pellami in prossimità del soffitto delle concerie, dove generalmente si forma aria calda che può essere anche controllata tramite l'ausilio di impianti appositi. Questa fase permette ai pellami di perdere l'umidità in eccesso contenuta al suo interno. È necessario sapere che durante questa fase, non solo si permette ai pellami di "asciugarsi" ma è anche un ottimo metodo per permettere il fissaggio dei prodotti concianti.

Essiccamento tramite inchiodatura (intelaiatura): Le pelli vengono distese ed inchiodate (senza chiodi eh!) con delle apposite pinze su dei pianali (generalmente forati) che verranno introdotti in dei condotti di riscaldamento controllato ed umidificato, in modo da conferire la giusta morbidezza alla pelle e fare in modo che essa non si ritiri per via del calore.

Essiccamento tramite sottovuoto: I pellami vengono introdotti in dei macchinari aventi delle grosse piastre in acciaio inox che si riscaldano e sovrappongono; una volta in questa posizione viene aspirata l'aria tra le due piastre e si crea un effetto sottovuoto.

- Palissonatura: La palissonatura è quella lavorazione che ha lo scopo di ammorbidire i pellami che dopo aver attraversato la fase di essiccazione risultano "duri e cartonosi" al tatto. Questa lavorazione viene svolta solitamente in apposite macchine come il palissone rotativo, dotato di rulli con lame ondulate che svolgono la funzione di distendere e rilassare la struttura fibrosa della pelle in modo da ammorbidirla; il palissone a vibrazione dove la pelle viene inserita e grazie all'azione dei pioli di questa macchina viene allentata la struttura delle fibre ammorbidendo così la pelle.
- Follonatura o Volanatura: Come la palissonatura, anche la follonatura o volanatura ha il compito di ammorbidire la pelle. La differenza risiede nella tipologia del macchinario usato e nella caratteristica merceologica che si vuole conferire al pellame; infatti, nella lavorazione a follonare vi è l'impiego di un bottale (a secco) dove è possibile controllare temperatura e valori di umidità; i pellami vengono inseriti nel bottale e vengono scossi meccanicamente dall'azione rotativa facendo in modo che la pelle si ammorbidisca. È importante sapere che tramite questa lavorazione è possibile aggiungere prodotti chimici in grado di stabilire gli effetti moda desiderati.

- Smerigliatura: La smerigliatura è una lavorazione che viene effettuata tramite un macchinario dotato di rulli abrasivi e può essere utile principalmente in tre casi, per la creazione delle pelli con effetto scrivente (es. nabuk) dove viene appunto smerigliato (carteggiato) il fiore della pelle; per “riparare” guasti sul fiore della pelle stuccando prima la parte del fiore dove sono presenti difetti (con della speciale pasta) e poi smerigliando la pelle in modo da pareggiare la stuccatura con la superficie del fiore della pelle; Per eliminare eventuali residui sottocutanei dal lato carne della pelle.
- Rifinizione delle pelli: Le lavorazioni di rifinizione possono manomettere una grandissima varietà di caratteristiche della pelle, è possibile infatti attraverso questa fase conferire il colore desiderato, l’effetto moda voluto, le prestazioni fisiche e meccaniche, il tatto, l’effetto scivolante o frenante ecc. Esistono tantissime macchine per la rifinizione, ma in questo contesto ci soffermeremo ad elencare soltanto i più importanti.
 

Rifinizione a Spruzzo: La rifinizione a spruzzo è effettuata per mezzo di macchinari aventi delle grosse cabine dove vengono inserite le pelli, all’interno ci sono una o più giostre di pistole che fungono da aerografi che effettuano movimenti circolatori ad alta velocità spruzzando delle finissime goccioline spinte da aria compressa sulla superficie della pelle, creando così un film sulla parte superficiale della pelle che oltre a modificare il colore, può manomettere anche il carattere della pelle. In questa fase, infatti, è possibile creare infiniti prodotti moda come, ad esempio, pellami anti appiccicanti ed anti trasudanti, è possibile manomettere l’effetto frenante al tatto, rendere la pelle impermeabilizzata, aggiungere fissativi, ammorbidire la pelle, creare effetti cerati ecc. Proprio per la vastità di applicazioni possibili, la rifinizione a spruzzo è tra le più in voga nella produzione industriale di pellami.

Rifinizione a Velo (Velatura): Questo tipo di rifinizione serve sostanzialmente per la produzione di pelli verniciate, poiché l’applicazione dei prodotti viene fatta tramite un macchinario “la velatrice” adoperato anche per verniciare il legno. Questo macchinario è dotato di un tappeto dove vengono fatte scivolare le pelli e di una testa che tramite delle “labbra” in acciaio fa colare sui pellami un velo liquido che tinge uniformemente le pelli e dona l’effetto desiderato.

Rifinizione a Tampone: La rifinizione a tampone ha origini antiche; infatti, è una lavorazione che spesso ancora oggi viene effettuata manualmente senza l’ausilio di macchinari. La metodologia dell’applicazione dei prodotti è molto semplice, viene stesa la pelle su un pancale solitamente in truciolato laminato e tramite l’ausilio di un tampone (una specie di spugna) viene tinta la pelle per via dello strofinio effettuato ripetutamente

sulla pelle per creare l'effetto moda ricercato. Oggigiorno è possibile anche l'utilizzo di macchinari appositi che si occupano di effettuare meccanicamente questa lavorazione.

Rifinitone a Rullo (spalmatura): La rifinitone a rullo è solitamente usata per pelli che devono avere una trama particolare come, ad esempio, una stampa pitonata leopardata a fiori ecc. oppure per croste (cioè la parte qualitativamente inferiore delle pelli che sono state spaccate) che vogliono assomigliare al fiore. Le pelli vengono introdotte in un macchinario che applica una carta adesiva contenente il disegno desiderato lungo tutta la superficie della pelle. Come potrete ben immaginare è possibile riprodurre una quantità infinita di prodotti finali tramite questa tecnologia. Inoltre, tramite la rifinitone a rullo è possibile recuperare anche quelle pelli che hanno difetti visivamente sgradevoli.

- Rifilatura: La rifilatura delle pelli è un'operazione che consente alle pelli di avere dei bordi regolari, vengono infatti ritagliate le parti ritenute inutili lungo il bordo delle pelli. Questa operazione può essere svolta sia su pelli in trippa che in rifinitone, per rifilare le pelli vengono usate solitamente delle forbici o un coltello a seconda della fase in cui vuole essere svolta.
- Misurazione: Nell'industria conciaria le misurazioni delle pelli si fanno sia per lo spessore che per la superficie e con le nuove tecnologie non è necessario avere due macchinari appositi per misurare entrambi i parametri. L'unità di misura usata per la misurazione della superficie delle pelli è il  $\text{pd}^2$  (piede quadrato) che corrisponde a  $30.48\text{cm}^2$  oppure in  $\text{m}^2$ , mentre per lo spessore della pelle si usano i millimetri. La misurazione viene calcolata tramite appositi macchinari che scansionano la superficie della pelle e lo spessore e stampano sul retro della pelle la misura calcolata.<sup>[65]</sup>

## 1.4 Prodotti chimici nella concia

La concia è un processo industriale che trasforma la pelle grezza in un materiale più resistente, flessibile e duraturo. Tuttavia, questo processo comporta l'uso di diversi prodotti chimici che possono avere impatti significativi sull'ambiente se non gestiti correttamente. Ecco alcuni dei principali prodotti chimici utilizzati nella concia e i relativi impatti ambientali:

- Sali di cromo: Tradizionalmente, il cromo è stato ampiamente utilizzato come agente conciante, in particolare sotto forma di cromo esavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ). Questa forma di cromo è tossica e può causare danni alla salute umana e all'ambiente. Gli sforzi sono stati fatti per ridurre l'uso di cromo esavalente, sostituendolo con alternative meno dannose come il cromo trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ).
- Sali di alluminio: Alcuni processi di concia utilizzano sali di alluminio per ottenere pelli più morbide. Anche se l'alluminio è meno tossico rispetto al cromo, il suo utilizzo può contribuire all'inquinamento dell'acqua.
- Prodotti chimici organici: Vengono spesso impiegati composti organici, come gli acidi e gli oli, per ottenere le caratteristiche desiderate nella pelle. Il rilascio di tali composti può contaminare le acque superficiali e sotterranee, influenzando negativamente gli ecosistemi acquatici.
- Solventi: L'uso di solventi organici durante il processo di concia può contribuire all'inquinamento atmosferico e rappresentare un rischio per la salute umana. Inoltre, il rilascio di solventi nell'ambiente può avere impatti negativi sulla qualità dell'aria.
- Rifiuti solidi: Il settore della concia produce una considerevole quantità di rifiuti solidi, tra cui scarti di pelle, polveri di concia e altri sottoprodotti. La gestione inadeguata di questi rifiuti può portare a problemi ambientali localizzati, come il deterioramento del suolo.

Per mitigare gli impatti ambientali del settore della concia, ci sono crescenti sforzi verso la ricerca e l'implementazione di processi di concia più sostenibili e l'adozione di alternative più ecologiche ai prodotti chimici tradizionali. Le tecnologie di riciclo, il miglioramento delle pratiche di gestione dei rifiuti e l'adozione di standard ambientali più rigorosi stanno contribuendo a ridurre l'impatto negativo della concia sull'ambiente.

Nello specifico ho trattato l'impatto dei prodotti chimici nella fase di tintura e rifinitura, che sono due delle fasi con più impatto ambientale.

## CAPITOLO 2

### 1.5 Problematiche ambientali dell'industria della pelle

L'industria della pelle può generare problematiche ambientali legate all'atmosfera a causa del processo della concia, che spesso impiega sostanze chimiche nocive come il cromo. Le emissioni di gas e i rifiuti provenienti da queste attività possono contribuire all'inquinamento atmosferico, con effetti negativi sulla qualità dell'aria e sul clima.

La gestione inadeguata dei rifiuti industriali può portare a rilasci di sostanze inquinanti nell'ambiente, rappresentando una sfida per la sostenibilità del settore.

Nell'industria conciaria, le sostanze inquinanti rilasciate in atmosfera includono composti organici metallici (VOC), idrogeno solforato ( $H_2S$ ) e ammoniaca ( $NH_3$ ).

Questi gas possono derivare dai processi di concia, dalla manipolazione delle pelli e dal trattamento dei rifiuti. I VOC, ad esempio, possono contribuire alla formazione dell'ozono troposferico e all'inquinamento dell'aria. Il rilascio di queste sostanze richiede una gestione attenta per ridurre gli impatti negativi sull'ambiente e sulla salute umana.

Durante la lavorazione della pelle, possono essere emessi gas tossici come l'idrogeno solforato nell'atmosfera, contribuendo all'inquinamento dell'aria. L'idrogeno solforato invece, rilasciato in atmosfera può avere diversi effetti negativi.

Questo gas è tossico per gli esseri umani e può causare problemi respiratori, irritazione degli occhi e del tratto respiratorio superiore. A concentrazioni più elevate, l'esposizione all' $H_2S$  può portare a sintomi più gravi, come nausea, mal di testa e in casi estremi, danni al sistema nervoso. Inoltre, l'idrogeno solforato è coinvolto nella formazione di aerosol solforati, che possono contribuire all'inquinamento atmosferico ed avere impatti sulla qualità dell'aria. È quindi importante limitare le emissioni di  $H_2S$  e gestire adeguatamente le attività industriali che possono generare questo gas tossico.

Per quanto riguarda invece il sistema acqua-suolo, l'industria della pelle può generare problematiche ambientali significative.

Durante il processo di concia, vengono spesso utilizzati prodotti chimici, come il cromo e altri agenti concianti, che possono contaminare acque superficiali e sotterranee. Le sostanze chimiche rilasciate durante il lavaggio e il trattamento delle pelli possono entrare nei corsi d'acqua, causando inquinamento a impatti negativi sulla fauna e sulla flora acquatica.

Inoltre, i rifiuti solidi derivanti dalla lavorazione della pelle, come raschiatura e scarti conciari, se gestiti in modo inadeguato, possono contribuire all'inquinamento del suolo. La presenza di

sostanze chimiche tossiche nei rifiuti può compromettere la qualità del suolo, influenzando la fertilità e la salute degli ecosistemi circostanti.

La gestione sostenibile e responsabile dei rifiuti e l'adozione di pratiche conciarie più ecocompatibili sono fondamentali per affrontare queste problematiche.

Uno dei problemi principali sono le acque reflue. Le acque reflue in uscita dai processi di lavorazione del cuoio sono problematiche perché spesso contengono una serie di sostanze inquinanti. Queste acque possono essere ricche di sostanze chimiche utilizzate durante la concia delle pelli, come il cromo esavalente, i solfati, i cloruri, ed altri composti organici. Tali sostanze possono essere dannose per l'ambiente acquatico.

Il cromo esavalente, ad esempio, è una forma di cromo altamente tossica e cancerogena. Le acque reflue contenenti cromo possono avere effetti negativi sulla vita acquatica e influenzare la qualità dell'acqua. Inoltre, i solfati e i cloruri presenti nelle acque reflue possono contribuire all'incremento della salinità e avere impatti sulla flora e la fauna dei corsi d'acqua.

I solfuri sono un altro gruppo di composti presenti nelle acque reflue dell'industria conciaria.

I solfuri possono essere rilasciati principalmente sotto forma di solfuri solubili, come solfuri di sodio o solfuri di ammonio. La presenza di solfuri nelle acque reflue può comportare vari problemi. Quando entrano in contatto con l'ossigeno nell'ambiente acquatico, possono formare solfati, contribuendo, come abbiamo detto, alla salinità dell'acqua. Inoltre, i solfuri possono essere tossici per alcuni organismi acquatici, influenzando negativamente la vita nelle acque superficiali, ma non solo. Questi sono utilizzati per la depilazione e se sversati nelle acque marine tendono a formare sali di complessi con metalli pesanti che poi però precipitano e si dispongono nei sedimenti ed inquinano. Un altro fattore influente è il ferro che rende l'acqua dura e quindi negli impianti di depurazione delle acque si aggiungono agenti chelanti come EDTA, NTA o fosfati che complessano i metalli e li fanno precipitare così che poi vengono smaltiti attraverso la liea dei fanghi.

L'EDTA (acido etilendiamminotetraacetico), è un composto chimico utilizzato in vari settori, tra cui l'industria conciaria.

Nell'ambito della lavorazione del cuoio, l'EDTA può essere impiegato come agente chelante, ovvero per legare e rimuovere metalli pesanti come il cromo.

Sebbene l'EDTA possa svolgere una funzione utile nel processo di concia, è importante notare che può presentare problematiche ambientali. Quando rilasciato nelle acque reflue, l'EDTA può formare legami stabili con i metalli, influenzando negativamente la biodisponibilità di questi elementi per gli organismi acquatici. Ciò può avere impatti sulla catena alimentare e sugli ecosistemi acquatici.

Per problematiche ambientali causate dall'industria della pelle un altro fattore importante è il COD, ovvero la richiesta chimica di ossigeno, quindi sostanze ossidabili, che risulta un parametro da tenere in considerazione, più è alto più vuol dire che c'è tanta sostanza che richiederà ossigeno.

La troppa domanda di ossigeno porta anossia nell'ambiente acquatico a causa dei solfuri ed altri agenti chimici utilizzati, e questo diventa un problema per tutta la parte trofica dell'acqua ovvero moria di autotrofi e degradatori ed anche specie acquatiche e ciò equivale ad ottenere un'acqua che non può né essere utilizzata per scopi secondari né riversata nell'ambiente marino perché modificherebbe l'equilibrio acquatico.<sup>[66]</sup>

Nell'industria conciaria della valle del Chiampo, l'uso eccessivo di agenti chelanti come NTA di TA per ridurre la durezza dell'acqua, soprattutto in relazione al contenuto di ferro, ha generato quantità sproporzionate di solfuri e cloruri nelle acque industriali. Questo è dovuto alle pratiche di salatura delle pelli in soluzioni ipertoniche contenenti cloruri e solfuri, accentuando l'uso di agenti chelanti.

Il principale gestore dell'industria conciaria deve affrontare la sfida dell'abbattimento del cromo tre, uno degli inquinanti predominanti. L'introduzione di due linee, wet glow (con cromo) e wet white (senza cromo), ha risposto alle richieste di sostenibilità del mercato, spostando la produzione verso wet white per rispondere alla crescente domanda di prodotti eco-friendly, come le foderine delle auto di lusso.

Tuttavia, questo cambiamento ha causato problemi ambientali poiché le acque delle due linee si mescolano nel tubone, utilizzando più agenti complessanti nella wet white. Ciò complica il controllo del cromo tre, che resta sotto forma di idrossido di cromo tre senza precipitare efficacemente.

Le EDTA, potenti complessanti per il ferro, sono utilizzate in eccesso, specialmente il TATA, rappresentando un problema ambientale per il trasporto dei metalli. La gestione delle EDTA è diventata critica poiché sono considerate un inquinante emergente secondo la legislazione europea, influenzando la mobilizzazione dei metalli.

L'analisi DTA mostra che il ferro edta è significativamente più forte del cromo edta, con oltre 5 ordini di grandezza di differenza. La gestione analitica, focalizzata sulla misura dell'edta totale, non tiene conto completamente del cromo edta non abbattuto dall'impianto.

La gestione ambientale applica politiche di disincentivazione basate sui volumi di effluente per le EDTA, data l'assenza di limiti di legge. Le restrizioni sono imposte agli interferenti (concianti) per incentivare pratiche più sostenibili.

La wet white presenta sfide aggiuntive, con l'ozonizzazione inserita nella progettazione per ridurre le sostanze ossidabili (COD) e rispettare i parametri di legge. La presenza di tannini, refrattari e difficilmente biodegradabili, aumenta il carico dell'impianto.

In sintesi, il cambiamento verso pratiche più sostenibili nell'industria conciaria ha generato sfide gestionali legate al cromo tre, EDTA e altri inquinanti, con interventi tecnologici come l'ozonizzazione per mitigare l'impatto ambientale.

Il cromo è un contaminante inorganico metallico. In acqua si trova in stato di ossidazione +3 o +6. Cromo e altri metalli pesanti tossici presentano caratteristiche diverse a seconda della speciazione. La speciazione spesso coinvolge le comunità batteriche. Nello specifico, specie diverse hanno diversi:

- Comportamenti chimici;
- Capacità di essere abbattuti negli impianti di trattamento;
- Profili di tossicità;
- Destini ambientali;
- Legislazione.

Cr (III) è la specie meno tossica e meno mobile, usata in industria cosmetica nelle creme abbronzanti e nell'industria della concia. Anche Cr (III) e Cr (VI) sono usati per la produzione di vetro artistico (limite 100 ppm in packaging).

Oggi è attiva una rivalutazione della tossicità del Cr (III), ma comunque si parla di diversi ordini di grandezza diversi rispetto al Cr (VI).

Abbattimento: Cr (III) precipita facilmente a pH acidi (4 - 4,5) come idrossido. Cr (III) e ferro sono simili da un punto di vista chimico. Rispetto al ferro, Cr (III) ha pH di precipitazione più alti.

In generale è importante evitare l'ossidazione di Cr (III).

Il Cr (VI) è la specie più tossica, classificata come "cancerogeno certo" dalla IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) <sup>[67]</sup>, agenzia che si occupa della valutazione e classificazione delle sostanze con potenziale cancerogeno.

Cr (VI) è usato in industria metallica per produzione di acciai inossidabili e superleghe (resistenti a gas corrosivi, ad alte temperature, all'attacco chimico). È usato per produzione di aerei, automobili, pentole, equipaggiamento medico.... È inoltre presente come impurità nelle rocce di estrazione (industria mineraria).

Cr (VI) è più mobile di Cr (III): viaggia come cromato anche in suolo e sottosuolo, e può arrivare alle falde per percolazione. Può essere immobilizzato come sale insolubile di Cr (III).



In generale, il suolo può scambiare cariche negative con le specie chimiche in soluzione: molti inquinanti sono più mobili in forma anionica.

Abbattimento: visto che Cr (VI) è presente principalmente come cromato è difficilmente abbattibile come idrossido a pH acidi. Per l'abbattimento è necessario usare scambiatori anionici. Questo trattamento di raffinamento è costoso.

## CAPITOLO 3

### 1.6 Prodotti bio-basaed

L'adozione di alternative bio-based nell'industria conciaria è spinta da diverse ragioni e ha come obiettivo principale la sostenibilità. Le principali ragioni (il "rationale") per l'adozione di alternative bio-based possono essere così descritte:

1. **Sostenibilità Ambientale:** Le alternative bio-based spesso provengono da fonti rinnovabili, come piante e biomasse. Utilizzare risorse rinnovabili riduce la dipendenza dai combustibili fossili e contribuisce a ridurre l'impatto ambientale complessivo dell'industria conciaria.
2. **Riduzione delle Emissioni di CO<sub>2</sub>:** La produzione di prodotti chimici tradizionali può generare elevate emissioni di carbonio. Le alternative bio-based, derivando da fonti vegetali, possono spesso contribuire a ridurre l'impronta di carbonio complessiva poiché le piante assorbono CO<sub>2</sub> durante la crescita.
3. **Minore Inquinamento:** I prodotti chimici tradizionali utilizzati nell'industria conciaria possono contenere sostanze chimiche nocive e persistenti che contribuiscono all'inquinamento ambientale. Le alternative bio-based possono essere progettate per essere più biodegradabili e meno tossiche.
4. **Minori Rischi per la Salute:** Molti prodotti chimici tradizionali possono rappresentare rischi per la salute dei lavoratori e delle comunità circostanti le fabbriche. Le alternative bio-based, se progettate per essere meno nocive, possono ridurre tali rischi.
5. **Risparmio Energetico:** La produzione di alcuni prodotti chimici tradizionali richiede elevate quantità di energia. Le alternative bio-based possono richiedere meno energia per la produzione, contribuendo a un maggiore risparmio energetico complessivo.

6. Diversificazione delle Fonti: Diversificare le fonti di materie prime attraverso l'uso di alternative bio-based può rendere l'industria conciaria meno vulnerabile alle fluttuazioni dei prezzi delle materie prime tradizionali.
7. Richiesta del Mercato: I consumatori stanno diventando sempre più consapevoli dell'impatto ambientale dei prodotti che acquistano. L'adozione di alternative bio-based risponde a una crescente richiesta di prodotti più sostenibili da parte dei consumatori.

L'adozione di queste alternative richiede tuttavia una valutazione attenta e approfondita dell'impatto complessivo sull'ambiente, sulla salute umana e sull'efficienza economica per garantire che le alternative bio-based rappresentino un'opzione migliore rispetto ai prodotti chimici tradizionali.<sup>[66]</sup>

### **1.7 Alternative Bio-based e innovazione/shift verso nuove metodologie di concia**

L'industria della concia sta cercando attivamente nuove metodologie e tecnologie per ridurre l'impatto ambientale e migliorare la sostenibilità complessiva. Nel settore della concia, le alternative bio-based stanno emergendo come soluzioni promettenti per ridurre l'impatto ambientale associato ai processi tradizionali. Ecco alcune alternative bio-based esistenti e i loro vantaggi:

- **Concia al vegetale:**

Un'alternativa sostenibile è rappresentata dalla concia al vegetale, che utilizza tannini estratti da piante come quercia, castagno o mimosa. Questo metodo riduce la dipendenza dai sali di cromo e contribuisce a un prodotto finale più biodegradabile.

Materie prime: Utilizza tannini naturali estratti da piante come quercia, castagno o mimosa.

Vantaggi: Riduzione della dipendenza dai sali di cromo tossici, contribuendo a un processo più sostenibile. Le pelli conciate al vegetale sono biodegradabili e possono avere un aspetto distintivo.

- **Concia senza cromo:**

Alcune aziende stanno sviluppando processi di concia che eliminano completamente l'uso di cromo, sostituendolo con alternative più ecologiche come i tannini vegetali o altri agenti concianti a base di alluminio o zirconio.

- Concia ad acqua:  
 Le tecniche di concia a base d'acqua stanno guadagnando popolarità. Questi processi riducono il consumo di acqua e diminuiscono l'emissione di sostanze chimiche nocive nelle acque reflue, contribuendo a rendere il settore più sostenibile.  
 Materie prime: Usa acqua come veicolo per i concianti, riducendo la necessità di solventi tossici.  
 Vantaggi: Minimizza l'utilizzo di sostanze chimiche nocive, riducendo gli impatti ambientali delle acque reflue. Diminuisce il consumo complessivo di acqua nel processo.
  
- Tecnologie enzimatiche:  
 L'utilizzo di enzimi come catalizzatori per la concia può ridurre la dipendenza da sostanze chimiche più dannose. Gli enzimi possono migliorare l'efficienza del processo e ridurre la quantità complessiva di prodotti chimici utilizzati.  
 Materie prime: Utilizza enzimi come catalizzatori per accelerare il processo di concia.  
 Vantaggi: Riduzione dell'uso di sostanze chimiche nocive. Gli enzimi possono migliorare l'efficienza del processo, consentendo una concia più delicata e meno inquinante.
  
- Materiali alternativi:  
 La ricerca si concentra anche su materiali alternativi al cuoio animale. Materiali sintetici avanzati, come pelli a base di funghi o altri materiali biodegradabili, stanno emergendo come possibili sostituti.
  
- Pelli a base di funghi:  
 Materie prime: Utilizza miceli di funghi per creare una "pelle" simile al cuoio.  
 Vantaggi: Riduzione della dipendenza dal cuoio animale, produzione più sostenibile e biodegradabilità. Può essere prodotto con minori impatti ambientali rispetto al processo tradizionale.
  
- Cuoio vegetale sintetico:  
 Materie prime: Polimeri vegetali o altre fonti rinnovabili.  
 Vantaggi: Elimina il bisogno di cuoio animale, contribuendo a ridurre l'impatto sulla fauna. Può essere realizzato con fonti rinnovabili, riducendo la dipendenza dai combustibili fossili.

- Riciclo del cuoio e upcycling:  
Materie prime: Materiali di scarto dalla produzione di cuoio o prodotti a base di cuoio riciclati.  
Vantaggi: Riduzione dei rifiuti e utilizzo efficiente delle risorse. Contribuisce a una circolarità nella produzione.
- Pelli a base di alga:  
Materie prime: Estratte dalle alghe marine.  
Vantaggi: Riduzione dell'uso di risorse terrestri e della pressione sull'ambiente marino. Possono essere una fonte rinnovabile e biodegradabile.
- Cuoio di ananas (Piñatex):  
Materie prime: Fibre ottenute dalla foglia di ananas.  
Vantaggi: Utilizza sottoprodotti dell'industria dell'ananas, riducendo la produzione di rifiuti. Meno impatto ambientale rispetto al cuoio animale.
- Cuoio derivante dall'ulivo:  
Materie prime: tannini prodotti con l'utilizzo dell'olio d'oliva  
Vantaggi: impatto sul refluo minimo e/o inesistente.

Queste alternative bio-based offrono una varietà di vantaggi, tra cui una minor dipendenza da risorse non rinnovabili, riduzione dei rifiuti, e minori impatti ambientali durante la produzione e l'uso dei materiali concianti. L'adozione di queste soluzioni contribuisce a rendere l'industria della concia più sostenibile e consapevole dell'ambiente.

- Tecnologie di trattamento delle acque reflue:  
Le aziende stanno investendo in tecnologie avanzate per il trattamento delle acque reflue per ridurre l'impatto ambientale delle sostanze chimiche scaricate durante il processo di concia.
- Monitoraggio ambientale e trasparenza:  
L'adozione di pratiche più sostenibili spesso comporta l'implementazione di sistemi di monitoraggio ambientale. Le aziende stanno cercando di aumentare

la trasparenza sulla catena di approvvigionamento e sulla produzione per dimostrare l'impegno verso la sostenibilità.

Queste innovazioni sono fondamentali per ridurre l'impatto ambientale dell'industria della concia e per promuovere un approccio più sostenibile alla produzione di prodotti in pelle. Tuttavia, è importante notare che la transizione a pratiche più eco-friendly può richiedere tempo e risorse significative.

## CAPITOLO 4

### 1.8 Analisi del ciclo di vita (LCA)

L'analisi del ciclo di vita (LCA) è un approccio per valutare l'impatto ambientale associato a un prodotto (materiale o immateriale sottoforma di servizio) considerando tutto il suo ciclo di vita, dalla estrazione/produzione delle materie prime necessarie alla sua produzione fino alla fase di smaltimento effettuata dopo la fine della vita utile del prodotto stesso (ISO 14040-14044; ISO, 2006).<sup>ii[2]</sup>

Tale metodo, nato come metodo di valutazione dell'efficienza produttiva nel settore industriale, è per sua natura applicabile in tutti i contesti produttivi, anche quello della lavorazione della pelle. La forte diffusione del suo utilizzo (più di 69000 lavori nel database Scopus catalogati con la parola chiave "life cycle assessment" e pubblicati tra il 2000 e il 2023 in forma di articoli scientifici, review, capitoli di libri e atti di convegno) è dovuta in primis alla sua natura quantitativa, perfettamente applicabile alle catene produttive e che produce risultati di tipo ambientale ma immediatamente riferiti a tali catene, e in secundis ai vantaggi che si possono associare a tale metodi, come l'identificazione dei punti del processo produttivo che sono maggiormente contribuenti all'impatto complessivo (e che quindi si presentano come target primari per gli obiettivi di riduzione dell'impatto stesso) oppure il produrre risultati utili per guidare decisioni informate e sostenibili a livello aziendale, individuale e politico.

Il metodo LCA si compone di quattro fasi principali: la definizione degli obiettivi e del campo di applicazione, l'analisi dell'inventario del ciclo di vita, la valutazione degli impatti del ciclo di vita e l'interpretazione dei risultati.

1. Definizione degli obiettivi e del campo di applicazione: Questa fase stabilisce lo scopo della valutazione e il prodotto o servizio che deve essere analizzato. In questa fase, vengono definiti gli obiettivi della valutazione, il pubblico a cui è destinata e il campo di applicazione. Inoltre, vengono stabiliti i criteri di selezione dei dati e le fonti di informazione.
2. Analisi dell'inventario del ciclo di vita: In questa fase, vengono raccolti dati sulle materie prime, l'energia e le emissioni associate al prodotto o servizio. Questi dati vengono utilizzati per creare un inventario del ciclo di vita, che rappresenta tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto o servizio, dalla produzione alla gestione dei rifiuti. L'inventario del ciclo di vita può essere suddiviso in tre categorie: input, output e sistema di gestione.
3. Valutazione degli impatti del ciclo di vita: In questa fase, vengono analizzati gli effetti ambientali associati al prodotto o servizio. Questa fase si basa sull'inventario del ciclo di vita creato nella fase precedente e utilizza metodi di valutazione degli impatti per analizzare gli effetti ambientali. Gli impatti ambientali possono essere suddivisi in diverse categorie, come l'effetto serra, l'acidificazione, l'eutrofizzazione, la tossicità e la degradazione del suolo.
4. Interpretazione dei risultati: In questa fase, viene fornita una valutazione complessiva degli impatti ambientali e delle possibili soluzioni per migliorare le prestazioni ambientali. I risultati della valutazione degli impatti del ciclo di vita vengono interpretati in relazione agli obiettivi della valutazione e al campo di applicazione. In questa fase, vengono anche identificate le aree di miglioramento e le possibili soluzioni per migliorare le prestazioni ambientali del prodotto o servizio.

Il metodo LCA è stato utilizzato da alcuni gruppi di ricerca per la valutazione del processo produttivo del cuoio.

Le tabelle riportate sottostante ci propongono degli studi che comprendono l'intero processo di produzione della pelle.

**Tabella 1** Studi LCA che comprendono l'intero processo di produzione della pelle

LCA dell'intero processo di produzione della pelle					
Tipo di studio	Anno	Posizione	Dati di inventario	Osservazioni	Rif.
LCA per il marchio di qualità ecologica della pelle	2002	Catalogna (Spagna)	No	Risultati quantificati per diversi impatti	[31]
LCA dell'industria della pelle nei paesi in via di sviluppo	2004	Cile	Si, completo	Dati d'inventario aggregati per fasciatoio, tanyard, concia e tintura e trattamento delle acque reflue	[32]
Flussi di materiali nell'LCA della pelle	2009	India	Si, completo	Ingressi e uscite di materiali	[3]
Sistemi di produzione della pelle italiani e spagnoli	2011	Italia e Spagna	Si, completo	Inventario e impatti LCA di macelli e concerie	[33]
Rifinitura della pelle: anilina	2014	Taiwan	No	CF <sup>a</sup> di 1 m <sup>2</sup> di pelle anilina finita di vari spessori: 1,5 mm; 1,7 mm; 1,9 mm e tutti gli spessori	[34]
CF <sup>a</sup> di un'azienda conciaria in Turchia	2015	Turchia	Si, completo	Risultati dell'impatto sul cambiamento climatico	[35]
Valutazione multicriteriale costi-benefici della produzione conciaria	2015	Brasile	Alcuni <sup>b</sup>	Ottimizzazione dell'uso e del riciclo di acqua e prodotti chimici nelle concerie. Completa la LCA con la contabilità "emergente".	[36]
Pelle conciata al vegetale o al cromo	2017	7 paesi	No	Impatti dell'intero processo conciario di 12 concerie in 7 Paesi. Concia al vegetale e al cromo.	[37]
LCA della lavorazione della pelle in Bangladesh	2018	Bangladesh e India	Si, completo	L'impatto ambientale di due prodotti in pelle: la pelle interamente cromata e la pelle in crosta conciata al cromo da pelli grezze salate	[38, 39]
CF <sup>a</sup> di pelle bovina	2019	Cile, Cina, India, Italia e Spagna	Pochi <sup>c</sup>	L'impronta di carbonio è stata calcolata come indicatore ambientale	[40]
LCA delle calzature	1998	Spagna	Fabbricazione di scarpe	Categorie di impatto CML. Inclusi gli impatti della produzione di pelle	[41]
Design sostenibile delle calzature	2011	Spagna	Fabbricazione di scarpe	Le scarpe sintetiche hanno ottenuto un impatto minore rispetto alle scarpe in pelle.	[42]
LCA delle calzature	2019	Cina	Fabbricazione di scarpe	Ecoindicatore 99	[43]
LCA di un cluster industriale: il polo conciario in Toscana	2017	Toscana (Italia)	No	Risultati d'impatto di diversi scenari di approccio collettivo	[44]
Nuovo sistema continuo per produrre pelle	2014	Spagna	Alcuni <sup>d</sup>	La pelle disidratata e la sua	[45] CF <sup>a</sup>
	2017	Spagna	Alcuni	Successiva concia (su scala di impianto pilota)	[46] più impatti

<sup>a</sup>Impronta di carbonio della FC

<sup>b</sup>Dati di inventario solo da decapaggio-limatura, decapaggio-concia e trattamento delle acque reflue

<sup>c</sup>Solo alcuni dati sulla rifinitura delle pelli e sul trattamento delle acque reflue

<sup>d</sup>Solo le quantità totali richieste (di acqua, prodotti chimici aggregati, elettricità ed energia termica) rispetto alla produzione di pelle tradizionale

*Tabella 1. Studi LCA nell'intero processo di produzione della pelle.*

*Fonte: Navarro et al. Journal of Leather Science and Engineering (2020) 2:26*

*<https://doi.org/10.1186/s42825-020-00035-y>.*

**Table 2** LCA papers found in the literature, studying a specific part of the leather production

LCA of a specific step in leather production					
Type of study	year	location	Inventory data	Observations	Ref.
Dehairing: chemical vs enzymatic	2019	Catalonia (Spain)	Some	Chemical dehairing with landfilling or composting of the hair vs enzymatic dehairing with composting	[47]
LCA of hide oxidative unhairing	2014	Italy	Yes-unhairing	Oxidative (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) vs traditional unhairing	[48]
LCA of wet-white (chrome-free) leather manufacture	2016	China	Yes-tanning	Wet-white tanning (vegetable tannin with laponite nanoclay) vs chrome tanning.	[49]
CF <sup>a</sup> of chrome-free tanning	2015	China	Yes-tanning	Several impact categories are evaluated: global warming, energy consumption and human and marine toxicity	[50]
Development of a green tanning process supported by LCA	2014	Italy	Few	Comparing glucose tanning with conventional chrome-tanning.	[51]
LCA of new degreasing formulation	2017	Italy	Yes-lactose derivative production in the lab	Single-score LCA evaluation of the production of a new degreasing agent (lactose derivative) to avoid ethoxylated alcohols.	[52]
LCA of retanning, fatliquoring and dyeing	2019	Italy	Yes-retanning, fatliquoring and dyeing	Sulphochlorinated paraffin and epoxidized vegetable oil are evaluated as alternative to fatliquoring agents	[53]
LCA of leather dyestuff	1998	Switzerland	No	Environmental risks of colorants depending on their toxicity and portion entering the environment	[54]
LCA of acrylic acid (raw material of leather process)	2016	Romania	Yes-acrylic acid production	Production of acrylic acid from propylene was simulated using commercial software and evaluated through LCA	[55]

<sup>a</sup>CF carbon footprint

*Tabella 2. Studio LCA preso in letteratura di una specifica parte di produzione della pelle.*

*Fonte: Navarro et al. Journal of Leather Science and Engineering (2020) 2:26*

*<https://doi.org/10.1186/s42825-020-00035-y>.*



## 1.9 Economia circolare

Alcune delle tendenze chiave nella produzione e nei modelli di consumo di pelle che stanno guidando la necessità di un approccio più sostenibile includono:

1. Transizione verso l'economia circolare: c'è una crescente tendenza verso la transizione dal modello economico lineare attuale a un'economia circolare più sostenibile. Questa transizione mira a eliminare i rifiuti e promuovere il riutilizzo e il riciclo delle risorse.<sup>iii[3]</sup>
2. Preoccupazioni ambientali: crescenti preoccupazioni ambientali, come l'inquinamento delle acque e la depauperazione delle risorse, hanno messo sotto pressione l'industria della pelle a adottare pratiche più sostenibili. <sup>[3]</sup>
3. Consumo sostenibile: i cambiamenti delle preferenze dei consumatori verso prodotti sostenibili ed ecologici stanno influenzando la domanda di prodotti in pelle ecologicamente responsabili. <sup>[9-24]</sup>
4. Innovazione e tecnologia: i progressi tecnologici e i processi innovativi stanno guidando lo sviluppo di metodi di produzione di pelle più sostenibili, come l'ottimizzazione dell'uso di acqua e sostanze chimiche e il miglioramento del trattamento dei rifiuti e del riciclo. <sup>[4-8]</sup>
5. Considerazioni di fine vita: la focalizzazione sulla fase di fine vita dei prodotti in pelle, compresi il riciclo e le pratiche di smaltimento, sta diventando un aspetto critico degli sforzi di sostenibilità nell'industria della pelle. <sup>[9-24]</sup>

Alcuni esempi, di tecnologie o strategie innovative discusse nella revisione della letteratura che mirano a migliorare la sostenibilità dei processi di produzione di pelle includono:

1. Conciatura senza cromo: lo sviluppo di processi di concia senza cromo, come la concia umida-bianca utilizzando tannino vegetale con nanoclay di laponite, mira a ridurre l'impatto ambientale della produzione di pelle eliminando l'uso del cromo. <sup>[46-54]</sup>
2. Depilazione enzimatica: l'uso della depilazione enzimatica come alternativa alla depilazione chimica nel processo di produzione di pelle può ridurre l'impatto ambientale minimizzando l'uso di sostanze chimiche e migliorando le pratiche di gestione dei rifiuti <sup>[36,55]</sup>.
3. Logistica inversa: l'implementazione di strategie di logistica inversa per la raccolta, il riutilizzo, il riciclo e lo smaltimento dei rifiuti post-consumo in pelle può contribuire a

migliorare la sostenibilità della produzione di pelle riducendo i rifiuti e promuovendo l'efficienza delle risorse. [46-54]

4. Eco-design: le strategie di eco-design si concentrano sulla progettazione di prodotti in pelle per la riciclabilità e l'incorporazione di materiali sostenibili per ridurre l'impatto ambientale e promuovere la circolarità nell'industria della pelle. [9-24]
5. Riduzione dell'impronta idrica: le strategie per ridurre l'impronta idrica dei processi di concia, come l'ottimizzazione dell'uso dell'acqua e l'implementazione di sistemi di riciclo dell'acqua, possono contribuire a minimizzare il consumo di acqua e migliorare la sostenibilità della produzione di pelle.<sup>iv</sup>[4-9]

**Table 4** Life cycle thinking papers related to leather production

Life cycle thinking of leather production					
Type of study	Year	Location	Inventory data	Observations	Ref.
Paradoxes of circular economy: leather case	2019	Italy	No	Circular economy challenges may lead to paradoxical tensions for companies: use of recycled materials may result in lower quality of product. Companies from leather, paper and textile sectors were interviewed	[60]
A future for leather	2019	Europe	No	Leather PEF category rules at EU is explained and environmental challenges and opportunities for leather companies are discussed.	[61]
LCA procedure and benchmarking for non-leather shoes	2015	Germany	No	Defining the category rules for an LCA of sport-shoes. Difficulty to define the benchmark and influence of the lifetime in the impacts of the shoes.	[62]
Barriers to reverse logistic of leather shoes	2019	Bangladesh	No	Main barriers to implement reverse logistics (RL) in Bangladesh are identified. This is crucial for leather footwear reuse and recycle.	[63]
Framework to measure sustainability in firms: textile & leather	2019	Italy	No	Framework to organize sustainable practices relevant to manufacturing firms (leather or textile).	[64]
Water footprint (WF) methodology: leather	2018	Guanajuato (Mexico)	No	Methodology for calculating the WF of an industrial product related to the context. The case of chrome-tanned leather in Guanajuato.	[65]
Eco-design of luxury personal accessories	2017	Italy	No	When Fashion brands combine eco-design and recycling of stored (out-moded) materials and products.	[66]
Influence of leather ecological properties on its products eco-design	2014	China	Some	Leather selection (supplier and ecological criteria) is crucial in the process of ecodesign for leather products.	[67]

*Tabella 3. Life cycle thinking of leather production.*

*Fonte: Navarro et al. Journal of Leather Science and Engineering (2020) 2:26 <https://doi.org/10.1186/s42825-020-00035-y>.*

Implementando queste tecnologie e strategie innovative, l'industria della pelle può migliorare la sostenibilità dei suoi processi di produzione, ridurre gli impatti ambientali e soddisfare la crescente domanda di prodotti in pelle ecologici e trasparenti.<sup>v</sup>[56-63]



## 2. OBIETTIVI

Questa tesi di laurea ha come obiettivi:

1. Verificare e/o confermare la modellizzazione dei prodotti chimici standard nel database di SimaPro (<https://simapro.com>).
2. Verificare e/o confermare la modellizzazione dei prodotti chimici bio-based nel database di SimaPro (<https://simapro.com>).
3. Valutare l'impatto dei prodotti alternativi (bio-based).
4. Valutare l'impatto della ricetta «standard» vs. le ricetta «bio-based».
5. Quantificare impatto ambientale della produzione di 1 m<sup>2</sup> dell'articolo con prodotti standard vs. prodotti bio-based.



### **3. MATERIALI E METODI**

#### **3.1 Definizione dell'obiettivo**

L'obiettivo di questo lavoro è quello di effettuare una valutazione preliminare dell'impatto ambientale associato alla tintura e rifinizione del cuoio nel sito produttivo dell'azienda presso la quale è stato svolto il tirocinio. Ulteriore obiettivo è quello di effettuare tale valutazione non solo sul metodo di lavorazione convenzionale (Standard) ma anche su quello innovativo che vede l'introduzione di input produttivi bio-based (Bio-based). Tali input bio-based sostituiscono alcuni input convenzionali, perseguendo un obiettivo di rendere il processo produttivo maggiormente aderente ai concetti di economia circolare.

In coerenza con tale obiettivo, il confine del sistema, cioè gli elementi dell'intera catena produttiva che sono stati presi in esame, è stato settato in modo tale da considerare gli input e gli output relativi alle fasi di tintura e di rifinizione del cuoio. Con tali confini del sistema, il modello LCA utilizzato si configura come di tipo attribuzionale (cioè attribuente una quota di impatto al prodotto in esame, scattando una fotografia dello stato attuale) e di tipo gate-to-gate (cioè che prende in esame solo una parte dell'intero ciclo di vita, non valutando gli step a monte e a valle di quelli considerati).

Sebbene il gold standard sia quello di considerare tutto il ciclo di vita (cradle-to-grave, dalla culla alla tomba) o almeno tutto il processo produttivo in capo al responsabile del prodotto (cradle-to-gate, dalla culla al cancello aziendale), i dati a disposizione per tale analisi, come descritto successivamente, non sono tali – circa la loro disponibilità e precisione – da permettere un allargamento del confine del sistema.

Per quanto riguarda l'unità funzionale, cioè l'unità cui è riferito l'impatto, tale unità è stata definita come 1 m<sup>2</sup> di cuoio rifinito e pronto alle fasi produttive successive. Rispetto invece alla tipologia di impatto valutato, due diverse categorie di impatto sono state selezionate:

1. Potenziale di riscaldamento globale (GWP), avente come unità di misura kg CO<sub>2</sub>-equivalente (eq); categoria associata all'emissione di gas ad effetto serra e quindi contribuenti all'aumento della forzante radiativa della Terra e in ultima battuta all'aumento della temperatura media della Terra;

2. Potenziale di ecotossicità delle acque dolci (Feco), avente come unità di misura g 1,4 DB-eq, e inerente all'emissione nelle acque dolci (fiumi, laghi e corpi sotterranei) di sostanze ad effetto tossico sugli organismi viventi.

Queste due categorie di impatto, tra i molti disponibili, sono state selezionate in quanto connesse a due tematiche ambientali di primo ordine per il settore della lavorazione del cuoio, cioè quello dell'emissione di gas ad effetto serra (così come per tutto il comparto industriale e non solo) e lo scarico di sostanze potenzialmente nocive nel sistema delle acque dolci.

In riferimento alla produzione del cuoio, l'Unione Conciaria Italiana (UNIC) e Cotance hanno partecipato al progetto pilota per lo sviluppo di un documento PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules) specifico per tale settore produttiva. I manuali PEFCR sono linee guida ufficiali a livello europeo su come deve essere svolta una valutazione di tipo LCA su un determinato prodotto.

Rispetto al PEFCR "PCR 2011:13 Finished bovine leather (3.0.3)" (<https://environdec.com/pcr-library>), la valutazione per questo elaborato di tesi ha seguito le linee guida generali di massima accuratezza e precisione, ma allo stesso tempo si discosta in quanto i dati disponibili, e utilizzabili al di fuori del patto di riservatezza con l'azienda che li ha forniti, non sono tali da permettere di effettuare una valutazione LCA completa.

### **3.2 Raccolta e analisi dell'inventario**

Il raggiungimento dell'obiettivo posto inizialmente determina la tipologia di dati che devono essere raccolti ed analizzati per la creazione dell'inventario, cioè di quel dataset di input ed output su cui successivamente eseguire il calcolo dell'impatto ambientale.

Inoltre, la raccolta dei dati, così come la successiva analisi e calcolo degli impatti, è stata mantenuta separata per le due alternative (standard e bio-based) in tutti i casi in cui è stato possibile. Nel caso non ci fossero dati disponibili per le due alternative in modo separato, si è supposto, anche sulla base di quanto discusso con gli addetti dell'azienda stessa, che l'organizzazione aziendale fosse simile e quindi fosse applicare uno stesso valore ad entrambe le linee produttive. Tutta la raccolta dei dati è stata seguita in modo unitario insieme agli addetti dell'azienda, per poter essere il più aderenti possibili all'effettiva configurazione delle due linee produttive analizzate.

Per questo motivo, la costruzione dell'inventario ha osservato le seguenti fasi:

1. Schematizzazione del processo di tintura e di rifinizione, sia per il metodo standard sia per il metodo bio-based
2. Raccolta dei nomi e delle quantità dei singoli prodotti chimici utilizzati per le fasi di tintura e di rifinizione, con le quantità parametrizzate rispetto a un determinato quantitativo di pelle (lo stesso per i metodi standard e bio-based)
3. Raccolta delle informazioni circa i consumi di energia elettrica, energia termica ed acqua nelle fasi di tintura e di rifinizione. Circa questo punto, il livello di dati che era disponibile era solo di tipo aggregato, senza distinzioni di linea produttiva. Per questo motivo, utilizzando l'output totale di cuoio in 1 anno, sono stati calcolati i valori di consumo elettrico, consumo di energia termica e di acqua da rete idrica per m<sup>2</sup> di cuoio in uscita.
4. Parametrizzazione dei materiali utilizzati nella tintura, nella rifinizione e dei consumi di risorse energetiche ed idriche alla stessa unità di misura, cioè l'unità funzionale (1 m<sup>2</sup> di cuoio in uscita dalla rifinizione)

Al termine di questa fase, ognuna delle due linee produttive (standard e bio-based) ha presentato quindi un inventario degli input necessari alla tintura e alla rifinizione di 1m<sup>2</sup> di cuoio, compresi i consumi di risorse energetiche ed idriche

### **3.3 Calcolo dell'impatto**

Le due categorie di impatto valutate (GWP, Feco) sono state computate integrando l'inventario degli input necessari a produrre 1 m<sup>2</sup> di cuoio al termine della rifinizione con l'insieme dei fattori di emissioni (quantità emessa per unità di input) relativi alle due citate categorie di impatto. I valori di questi fattori di emissione sono stati derivati dal database Ecoinvent v.3.8 (Wernet et al., 2016).

In particolare, e in relazione ai diversi prodotti chimici utilizzati nelle due linee produttive, l'integrazione dei due dataset, e quindi la possibilità di ottenere come risultato l'inventario delle emissioni per unità funzionale, ha comportato eseguire una fase intermedia. Tale fase



intermedia è consistita nel determinare, tramite le etichette e le schede di sicurezza dei singoli prodotti chimici, la composizione percentuale degli ingredienti componenti questi prodotti. Questo è stato necessario in quanto le schede presenti nel database Ecoinvent fanno riferimento ai composti chimici base, e quindi per calcolare il fattore di emissione di un prodotto chimico composta da diversi ingredienti è necessario calcolare una media dei fattori di emissioni dei singoli ingredienti, pesata sulla presenza percentuale di tali ingredienti.

Nel caso non fosse possibile rinvenire una scheda in Ecoinvent che fosse del tutto coerente con il composto chimico da associare, è stata utilizzata una scheda generica (presente in Ecoinvent) per i composti inorganici e una scheda generica per i composti organici.

Prodotti								
Output noti a tecnosfera. Prodotti e coprodotti	Quantità fisica	Unità di mi	Quantità fis	% Allocazi	Tipo r			
Formic acid (RER) market for   Cut-off, U	1	kg	Mass	100 %	non d			
Input								
Input noti da natura (risorse)	Sottocompartimento	Quantità fisice	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SE	Min	Max	Commento
Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)		Quantità fisice	Unità di mi	Distribuzion	SD^2 o 2*SE	Min	Max	Comment
Formic acid (RER) decarboxylative cyclization of adipic acid   Cut-off, U		0.006252426	kg	Non definiti				Productio
Formic acid (RER) production, methyl formate route   Cut-off, U		0.972506668	kg	Non definiti				Productio
Formic acid (RER) oxidation of butane   Cut-off, U		0.021240905	kg	Non definiti				Productio
Transport, freight train (RER) market group for transport, freight train   Cut-off, U		0.3091	tkm	Lognormale	1.9993			(1,1,5,5,4,1 Transport Surveys 1!
Transport, freight, inland waterways, barge (RER) market for transport, freight, inland waterways, barge		0.0246	tkm	Lognormale	1.9993			(1,1,5,5,4,1 Transport Surveys 1!
Transport, freight, lorry, unspecified (RER) market for transport, freight, lorry, unspecified   Cut-off, U		0.2088	tkm	Lognormale	1.9993			(1,1,5,5,4,1 Transport Surveys 1! the total r delivery v sale, and wholesale

Figura 15. Esempio di scheda di inventario per la produzione di 1 kg di acido formico, produzione media a livello europeo.

Circa la categoria GWP, sono stati valutati i contributi determinati dai tre gas ad effetto serra maggiormente collegati con le attività produttive umane, cioè l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) e il metano (CH<sub>4</sub>):

1. Anidride carbonica: È il principale gas serra prodotto dalle attività umane, ad esempio dalla combustione di combustibili fossili.

2. Metano: È un gas serra più potente dell'anidride carbonica, emesso da processi naturali e attività umane in cui si osserva degradazione di materia organica in condizioni di anossia.

3. Protossido di azoto: Un altro potente gas serra derivante principalmente dall'agricoltura, in particolare dall'uso di fertilizzanti azotati, ma connesso a qualsiasi sistema in cui si possano osservare ossidazioni parziali dei composti azotati.

Questi tre composti contribuiscono al riscaldamento globale in termini diversi. Per poterli sommare e quindi ottenere un valore di impatto per la categoria, i quantitativi di ogni composto devono essere convertiti all'unità di misura della categoria (CO<sub>2</sub>-eq). Tale conversione è stata eseguita utilizzando i valori di caratterizzazione pubblicati dall'International Panel on Climate Change nel V Assessment Report (Mhyre et al., 2013).

Questi valori di caratterizzazione sono:

CO<sub>2</sub> = 1

N<sub>2</sub>O = 265

CH<sub>4</sub> = 28

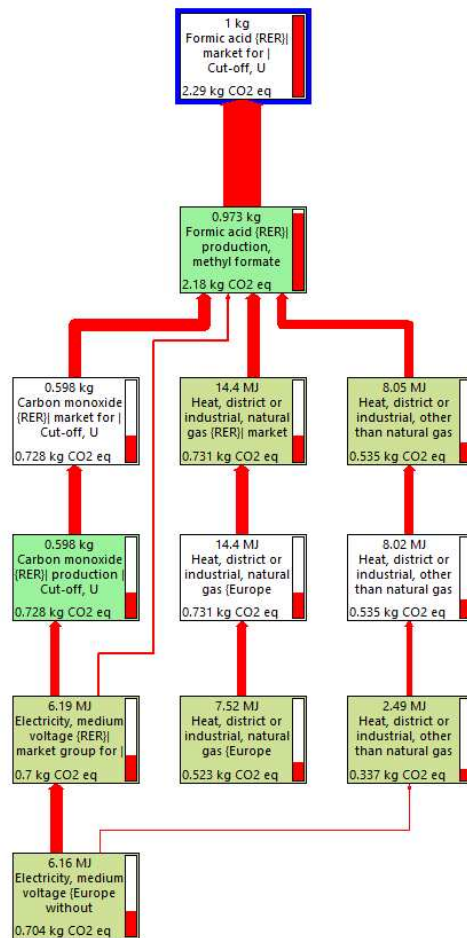


Figura 16. Esempio di output per il calcolo del potenziale di riscaldamento globale per 1 kg di acido formico, sulla base della relativa scheda di inventario, nel software Simapro e usando il database Ecoinvent.

Relativamente alla categoria Feco, una procedura simile è stata utilizzata. I valori di caratterizzazione per riportare all'unità di misura della categoria le quantità dei singoli composti contribuenti a tale categoria sono disponibili nel software Simapro v9.3 per il metodo di impatto CML-IA (CML, 2016).

Caratterizzazione		Normalizzazione			
Comparto	Sottocomparto	Sostanza	Numero CAS	Fattore	Unità
Aria		2-(4-Chloro-2-methylphenoxy)propanoic acid	007085-19-0	37,2	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua		2-(4-Chloro-2-methylphenoxy)propanoic acid	007085-19-0	379	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua	ocean	2-(4-Chloro-2-methylphenoxy)propanoic acid	007085-19-0	3.78E-10	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno		2-(4-Chloro-2-methylphenoxy)propanoic acid	007085-19-0	78,4	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno	agricultural	2-(4-Chloro-2-methylphenoxy)propanoic acid	007085-19-0	30	kg 1,4-DB eq / kg
Aria		2-Methyl-4-chlorophenoxyacetic acid	000094-74-6	1,06	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua		2-Methyl-4-chlorophenoxyacetic acid	000094-74-6	27,2	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua	ocean	2-Methyl-4-chlorophenoxyacetic acid	000094-74-6	5.35E-13	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno		2-Methyl-4-chlorophenoxyacetic acid	000094-74-6	1,68	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno	agricultural	2-Methyl-4-chlorophenoxyacetic acid	000094-74-6	0,463	kg 1,4-DB eq / kg
Aria		2,4-D	000094-75-7	38,7	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua		2,4-D	000094-75-7	403	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua	ocean	2,4-D	000094-75-7	1.14E-10	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno		2,4-D	000094-75-7	82	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno	agricultural	2,4-D	000094-75-7	29,5	kg 1,4-DB eq / kg
Aria		2,4,5-T	000093-76-5	0,854	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua		2,4,5-T	000093-76-5	17,1	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua	ocean	2,4,5-T	000093-76-5	1.67E-10	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno		2,4,5-T	000093-76-5	1,53	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno	agricultural	2,4,5-T	000093-76-5	0,443	kg 1,4-DB eq / kg
Aria		Acephate	030560-19-1	79,2	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua		Acephate	030560-19-1	1.10E3	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua	ocean	Acephate	030560-19-1	6.04E-8	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno		Acephate	030560-19-1	159	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno	agricultural	Acephate	030560-19-1	50,9	kg 1,4-DB eq / kg
Aria		Acrolein	000107-02-8	519	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua		Acrolein	000107-02-8	2.51E5	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua	ocean	Acrolein	000107-02-8	4,98	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno		Acrolein	000107-02-8	4.54E4	kg 1,4-DB eq / kg
Aria		Acrylonitrile	000107-13-1	0,414	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua		Acrylonitrile	000107-13-1	79,2	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua	ocean	Acrylonitrile	000107-13-1	0.00604	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno		Acrylonitrile	000107-13-1	8,1	kg 1,4-DB eq / kg
Terreno	agricultural	Acrylonitrile	000107-13-1	6,47	kg 1,4-DB eq / kg
Aria		Aldicarb	000116-06-3	5.09E4	kg 1,4-DB eq / kg
Acqua		Aldicarb	000116-06-3	4.37E5	kg 1,4-DB eq / kg

Figura 17. Esempio di valori di caratterizzazione per la conversione dei valori quantitativi dei singoli composti chimici nell'unità di misura comune della categoria Ecotossicità per le acque dolci, nel metodo CML-IA.

### 3.4 Elaborazione statistica

I contributi determinati dalle singole fasi del processo produttivo per ognuna delle categorie di impatto sono stati analizzati tramite hotspot analysis (EC, 2010).

L'analisi degli hotspot, o "hotspot analysis", è un approccio utilizzato in diversi contesti per identificare aree o punti specifici in cui si verifica una concentrazione significativamente elevata di un fenomeno particolare. Questo termine può essere applicato in vari campi, tra cui scienze ambientali, epidemiologia, informatica e altro.

L'analisi degli hotspot ambientali è una metodologia che viene utilizzata per individuare e identificare specifiche aree geografiche in cui si verifica una concentrazione eccezionalmente elevata di un determinato fenomeno ambientale. Questa analisi è spesso impiegata per comprendere e affrontare questioni legate all'ambiente, come inquinamento, perdita di biodiversità o rischi naturali.

Di seguito, alcuni esempi di come l'analisi degli hotspot può essere applicata nel contesto ambientale:

1. **Inquinamento:** Identificare le aree con livelli di inquinamento superiori alla media, sia che si tratti di inquinamento dell'aria, dell'acqua o del suolo. Questo può aiutare a concentrare gli sforzi di bonifica e controllo nelle zone più critiche.
2. **Biodiversità:** Individuare regioni con una straordinaria ricchezza di specie, indicando le aree di maggiore importanza per la conservazione. Al contrario, può essere utilizzato per identificare hotspot di minaccia per la biodiversità, dove le specie sono particolarmente a rischio.
3. **Cambiamenti climatici:** Analizzare le regioni che subiscono cambiamenti climatici più rapidi rispetto ad altre, aiutando a comprendere e affrontare i rischi associati come eventi meteorologici estremi, cambiamenti nei modelli di precipitazioni, ecc.
4. **Rischi naturali:** Identificare aree con una maggiore probabilità di rischi naturali come terremoti, inondazioni o frane. Ciò può guidare la pianificazione territoriale e la gestione dei rischi.

L'analisi degli hotspot ambientali spesso coinvolge l'uso di dati geospaziali e tecniche di mappatura per visualizzare chiaramente le aree di maggiore interesse o preoccupazione. Identificando questi punti critici, gli attori ambientali e le autorità possono concentrare risorse e sforzi per affrontare e mitigare i problemi ambientali in modo più efficace.



## SCOPO

Lo scopo è stato quello di valutare l'impatto ambientale associato alle fasi di tintura e rifinitura del cuoio, adottando un approccio basato sull'analisi del ciclo di vita (LCA) e considerando due lavorazioni alternative, una standard e una basata su prodotti chimici alternativi (bio-based). L'impatto ambientale viene valutato in termini di emissioni di gas ad effetto serra e di sostanze ad effetto ecotossico nelle acque dolci, parametrizzate su 1 m<sup>2</sup> di cuoio rifinito, sulla base dell'analisi dei prodotti chimici utilizzati nelle due lavorazioni e mediante l'utilizzo del software Simapro e il database Ecoinvent dei fattori di emissione

Sulla base dei risultati, si vogliono sottolineare le implicazioni per l'industria conciaria, andando a focalizzare l'importanza di adottare pratiche più sostenibili per ridurre l'impatto ambientale e preservare le risorse naturali, oltre a porre le basi per offrire possibili raccomandazioni pratiche per l'implementazione di alternative bio-based, la promozione dell'economia circolare e la collaborazione tra attori del settore per un futuro più sostenibile.





## 4. RISULTATI E DISCUSSIONE

Per quanto riguarda i consumi di energia elettrica, gas, acque di input e output del complesso aziendale di Conceria Pasubio SPA, non verranno segnati per motivi di disclaimer aziendale.

Tipo lavorazione	Potenziale di riscaldamento globale (kg CO <sub>2</sub> -eq)
STANDARD	2,76
BIO-BASED	2,51

*Tabella 4. Emissioni di gas climalteranti (Potenziale di riscaldamento globale) per 1 m<sup>2</sup> di cuoio rifinito, in riferimento alla lavorazione standard e a quella bio-based.*

La tabella 4 riporta i valori di impatto per la categoria potenziale di riscaldamento globale in riferimento alle due lavorazioni alternative, per 1 m<sup>2</sup> di cuoio in uscita dalla rifinitura. In particolare, la linea produttiva standard è risultata essere associata all'emissione di circa 2,8 kg CO<sub>2</sub>-eq, mentre quella bio-based ha mostrato un'emissione inferiore del 9% rispetto alla lavorazione standard. Di conseguenza, per quanto riguarda l'emissione di gas climalteranti, il risultato ottenuto suggerisce che l'alternativa bio-based abbia il potenziale per determinare una riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra. Da questi risultati possiamo dedurre che la lavorazione con i prodotti chimici standard è più impattante dal punto di vista ambientale rispetto alla lavorazione con i prodotti bio-based.

Tipo lavorazione	Freshwater ecotoxicity (g 1,4 DB-eq)
STANDARD	56,75
BIO-BASED	204,47

*Tabella 5. Confronto delle analisi dei contributi alla categoria potenziale di ecotossicità per le acque dolci (g 1,4 DB/m<sup>2</sup> materiale) tra prodotti bio-based e standard durante la lavorazione, in somma totale, delle pelli nel trattamento di tintura e rifinitura.*

Allo stesso modo, la tabella 5 riporta il valore ottenuto, sempre per 1 m<sup>2</sup> di cuoio e per le due diverse tipologie di lavorazione, circa il potenziale di ecotossicità relativo alle acque dolci. Come possiamo notare, la lavorazione con i prodotti bio-based (204,47 g 1,4-DB) è risultata più impattante rispetto alla lavorazione con i prodotti chimici standard (56,75 g 1,4-DB).

I risultati ottenuti per queste due categorie di impatto mostrano una situazione variegata, con una lavorazione che si dimostra più vantaggiosa dell'altra a seconda di quale categoria di impatto si osserva.

Al fine di indagare alcuni possibili elementi che, anche solo parzialmente, possano spiegare questo insieme di risultati, si è eseguita l'analisi hotspot delle diverse fasi produttive e, circa il potenziale di riscaldamento globale, anche dei contributi associati ai tre principali gas ad effetto serra (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O).

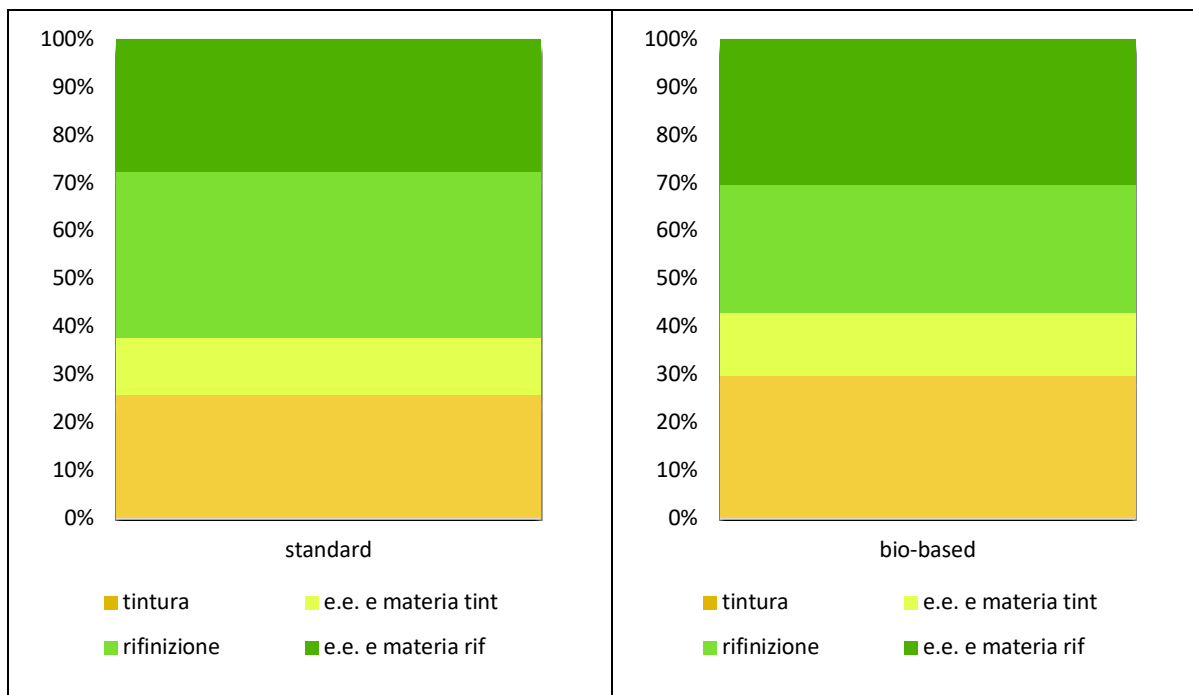
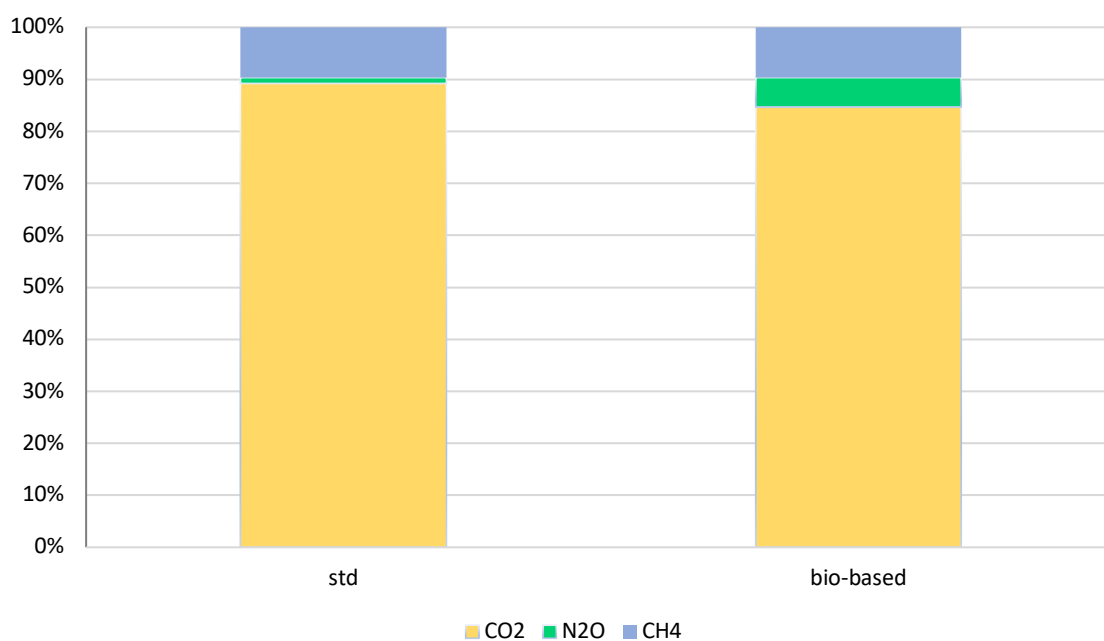


Figura 18. Singoli contributi dei processi (tintura, rifinizione, energia e materia per la tintura ed energia e materia per la rifinizione) al potenziale di riscaldamento globale.

La figura 18 riporta i contributi, per la lavorazione standard e per quella bio-based, dovuti ai diversi processi produttivi, al potenziale di riscaldamento globale. La figura evidenzia come, per la lavorazione standard, circa il 40% dell'impatto complessivo è associato alla fase di tintura (considerati anche gli input di energia e materia come l'acqua), mentre la quota maggioritaria (circa il 60%) dell'impatto faccia capo alla fase di rifinizione. In particolare, si nota come però il rapporto tra processo vero e proprio e input energia ed acqua sia diverso nelle due macro-fasi: il contributo di energia e acqua è minoritario nella macro-fase tintura, mentre contribuisce con circa il 40% nella macro-fase rifinizione.

Circa la lavorazione bio-based, la tintura (più energia ed acqua) contribuisce poco più rispetto al contributo osservato nella lavorazione standard, e quindi la rifinizione poco meno (essendo il totale sempre 100). In particolare, si può notare come nella rifinizione, il contributo legato all'energia e uso di acqua sia maggiore rispetto a quello osservato per la lavorazione standard. Quando si combina il risultato finale e i contributi percentuali delle diverse fasi, ottenendo il valore di emissione in termini di kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup> per le singole fasi, si osserva come il valore inferiore di impatto osservato per la lavorazione bio-based sia soprattutto legata all'uso dell'energia nella macro-fase tintura (-33%) e nella fase vera e propria di rifinizione (-25%). Il maggiore impatto nelle altre due fasi (tintura vera e propria ed energia in fase di rifinizione) non è tale da controbilanciare la suddetta differenza favorevole alla lavorazione bio-based (+9% per entrambe).



*Figura 19. Contributi dei singoli gas serra in percentuali per il trattamento con prodotti chimici standard vs. prodotti bio-based.*

La figura 19 mostra invece il contributo determinato dai singoli gas ad effetto serra al risultato finale di potenziale di riscaldamento globale per le due linee produttive. La figura mostra come, per il CH<sub>4</sub>, la percentuale, sia per i prodotti convenzionali che per quelli alternativi, sia relativamente uguale (10%), varia per un valore di 0,02 maggiore per i prodotti chimici standard.

Per quanto vale invece, il contributo di N<sub>2</sub>O è pressoché poco significativo, quindi relativamente impattante. La CO<sub>2</sub>, invece, ha dei valori per entrambi i processi di trattamento delle pelli che raggiunge quasi il 90%. Possiamo dire quindi, che il contributo dell'anidride carbonica come gas serra è quello che genera un versamento in atmosfera a livello di inquinamento e quindi influenza maggiormente l'effetto serra.

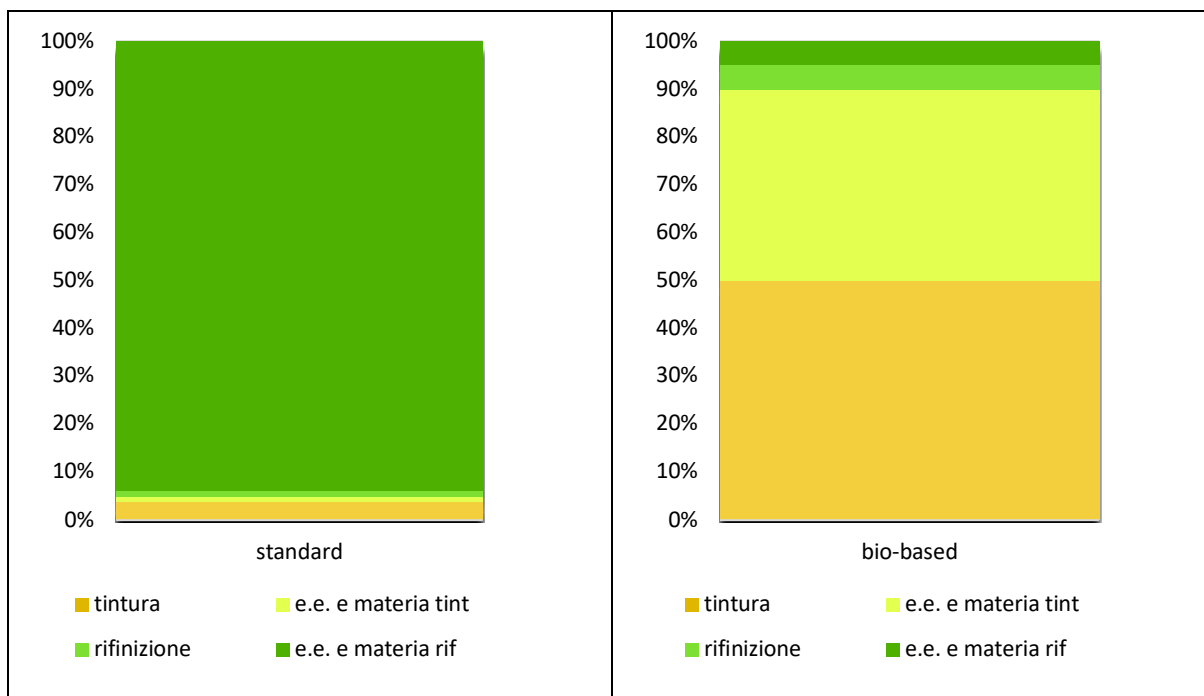


Figura 20. Singoli contributi dei processi alla categoria potenziale di Ecotossicità per le acque dolci: (tintura, rifinizione, energia e materia per la tintura ed energia e materia per la rifinizione).

La figura 20 illustra i contributi delle diverse fasi al valore di potenziale di ecotossicità per le acque dolci per le lavorazioni standard e bio-based. Rispetto a quanto osservato per il potenziale di riscaldamento globale (Figura 18), l'hotpost analysis per il potenziale di ecotossicità mostra una situazione molto diversa tra la lavorazione standard e quella bio-based. Infatti, circa la lavorazione standard, il consumo di energia e acqua in fase di rifinizione determina un

contributo predominante sul risultato finale (circa il 90%), con gli altri tre processi (tintura e rifiniture vere e proprie ed energia e acqua in fase di tintura) che contribuiscono per il 10% complessivamente. D'altra parte, la macro-fase tintura predomina il contributo alla categoria di impatto circa la lavorazione bio-based (quasi il 90%), con il 50% complessivo legato solo alla tintura vera e propria.

I valori osservati, in termini assoluti e in termini relativi di contribuzione delle singole fasi ai risultati finali di impatto, suggeriscono che il passaggio dalla lavorazione standard a quella bio-based ha diverse implicazioni.

In primis, questo passaggio non determina solo un cambiamento nei prodotti chimici utilizzati per eseguire la tintura e la rifinitura della pelle ma anche nelle necessità di energia e di acqua necessari per eseguire tali lavorazioni di tintura e rifinitura. Questo è un aspetto fondamentale che il metodo LCA consente di osservare rispetto a una analisi preliminare che tiene in conto solo l'origine (standard o bio-based) dei prodotti che vengono utilizzati. In questo senso, una prospettiva auspicabile, cioè quella di passare a una lavorazione bio-based che riduca l'uso di prodotti chimici tradizionali con diverse problematiche (cromo...), deve però tenere in considerazione gli effetti indiretti sulla catena produttiva. Infatti, questi effetti indiretti possono essere positivi (ad esempio quanto trovato in termini di emissioni di gas ad effetto serra) oppure negativi (ad esempio in associazione al potenziale di ecotossicità per le acque dolci).

- Limiti della valutazione

Essendo questo elaborato una valutazione preliminare di tipo LCA del processo produttivo standard e di quello alternativo bio-based per la lavorazione della pelle, vi sono alcuni punti che limitano a oggi l'utilizzo concreto dei risultati ottenuti, e che sono spronanti quindi alla necessità di raffinare la valutazione. Questo è in coerenza con il metodo LCA stesso, che è di tipo iterativo e quindi raccomanda, alla fine di ogni ciclo di valutazione, di valutare quali aree della valutazione possono essere migliorate e quindi dove si possa intervenire per ottenere un risultato più accurato e preciso.

Rispetto alla valutazione effettuata in questo elaborato, i seguenti punti sono da tenere in considerazione per una futura raffinazione della valutazione stessa:

1. Limitatezza delle schede Ecoinvent a disposizione: sebbene per la stragrande maggioranza dei prodotti fosse disponibile la composizione, a questa disponibilità non è corrisposta sempre una equivalente disponibilità di schede di inventario nel database Ecoinvent per ottenere i fattori di emissioni per una unità dei singoli prodotti chimici. In prospettiva, quindi, vi è la necessità del settore bio-based di collaborare con gli istituti che compilano e mettono a disposizione i fattori di emissione al fine di rendere più completi i loro database;
2. Limitatezza nella catena produttiva valutata: qui, come dichiarato, ci si è concentrati sulle fasi di tintura e rifinizione della pelle, e i connessi usi di energia e acqua. Ampliare la catena produttiva considerata permetterà di avere un dato di impatto più rappresentativo della realtà;
3. Limitatezza della granularità dei dati: per una valutazione al massimo livello di qualità, si necessita di migliorare la partizione di tutti quegli input che non sono strettamente legati alla singola lavorazione (standard o bio-based) ma che sono legati più all'impianto produttivo, per ovviare a una partizione generica di primo livello come quella qui effettuata per mancanza di dati più raffinati (ad esempio circa l'energia). In considerazione di questo, è ovviamente da tenersi in considerazione la necessità di avere un buon compromesso con la copertura di informazioni riservate proprie dell'azienda;
4. Limitatezza nelle categorie di impatto: in prospettiva, e soprattutto tenuto conto del diverso ranking tra lavorazione standard e bio-based determinato dalle due categorie di impatto qui valutare, sarà necessario valutare anche altre categorie di impatto (acidificazione, eutrofizzazione, uso di energia, emissione di particolato fine...



## 5. CONCLUSIONI

In questo lavoro di Tesi si riporta la Valutazione delle alternative ai prodotti chimici impiegati in industria conciaria: Life Cycle Assessment di prodotti bio-based.

Le tendenze di mercato influenzano l'industria conciaria, con una crescente domanda di prodotti sostenibili, etici e di lusso. Gli sforzi verso processi di concia basati su alternative ecologiche hanno l'obiettivo di ridurre l'impatto complessivo di questa catena produttiva, e porre il settore come attore attivo nell'indirizzare i sistemi produttivi verso configurazioni più in equilibrio con il sistema ambientale naturale. Per questo motivo è necessario valutare con metodi che includono tutti i processi produttivi e consentano di valutare eventuali compromessi o effetti di sinergia quando si prospetta di passare da un tipo di lavorazione a uno alternativo.

I risultati qui ottenuti hanno mostrato come, rispetto alle due categorie di impatto valutate, né la lavorazione standard né la lavorazione bio-based risultano sempre vantaggiose rispetto all'altra lavorazione. Questo determina una situazione complessa che deve essere valutata al fine di migliorare la lavorazione bio-based, stante l'obiettivo di questa di permettere la lavorazione della pelle con un sistema che permetta un migliore equilibrio con le componenti dell'ambiente naturale. Inoltre, i risultati ottenuti come la possibilità di avere dati primari direttamente dai siti produttivi, e quindi lavorare in diretta collaborazione con le stesse aziende, come qui fatto con l'azienda conciaria Pasubio SpA, è l'unica via, ancora non del tutto sfruttata, per ottenere valutazioni di impatto che siano accurate e quindi utilizzabili a fini interni per miglioramenti futuri.

Promuovendo la collaborazione tra industria, istituzioni accademiche ed enti governativi si potranno implementare standard ambientali più rigorosi e pratiche di gestione dei rifiuti più efficienti, offrire raccomandazioni pratiche per l'implementazione di alternative bio-based, la promozione dell'economia circolare e la collaborazione tra attori del settore può migliorare la qualità della vita per un futuro più sostenibile. Approfondendo inoltre gli studi sull'analisi del ciclo di vita dei prodotti conciari possiamo valutare in modo più accurato gli impatti ambientali identificando così aree di miglioramento.





## 6. BIBLIOGRAFIA

---

1. <sup>i</sup> <http://www.unic.it/conceria-italiana/industria-conciaria-italiana>
2. <sup>ii</sup>Finnveden, G., et al., Recent developments in Life Cycle Assessment, *Journal of Environmental Management* (2009), <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
3. Navarro et al. *Journal of Leather Science and Engineering* (2020) 2:26
4. Pringle T, Barwood M, Rahimifard S. Le sfide per il raggiungimento di un'economia circolare nel riciclo della pelle. *Procedia CIRP*. 2016; 48:544–9. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.112>.
5. <sup>v</sup> Daddi T, Ceglia D, Bianchi G, de Barcellos MD. Paradoxical tensions and corporate sustainability: a focus on circular economy business cases. *Corp Soc Responsib Environ Manag*. 2019; 26:770–80. <https://doi.org/10.1002/csr.1719>.
6. Muktadir MA, Rahman T, Ali SM, Nahar N, Paul SK. Esame delle barriere alle pratiche di logistica inversa nell'industria delle calzature in pelle. *Ann Oper Res*. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03449-y>.
7. Cimatti B, Campana G, Carluccio L. Eco design e produzione sostenibile nella moda: un caso di studio nel settore degli accessori personali di lusso. *Procedia Manuf*. 2017; 8:393-400. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.050>.
8. Chen J, Cheng B, Sun S, Zhang X. L'influenza della ricerca sulle proprietà ecologiche della pelle sulla progettazione ecologica dei prodotti. *J Soc Leather Technol Chem*. 2014; 98:275-84.

- 
9. Milà i Canals L, Domènech X, Rieradevall J, Puig R, Fullana P. Uso della valutazione del ciclo di vita nella procedura per la definizione dei criteri ambientali nel marchio catalano di qualità ecologica del cuoio. *Int J Life Cycle Assess.* 2002; 7:39-46. <https://doi.org/10.1007/BF02978908>.
  10. Rivela B, Moreira MT, Bornhardt C, Méndez R, Feijoo G. Life cycle assessment as a tool for the environmental improvement of the tannery industry in developing countries. *Environ Sci Technol.* 2004; 38:1901-9. <https://doi.org/10.1021/es034316t>.
  11. Notarnicola B, Puig R, Raggi A, Fullana P, Tassielli G, De Camillis C, Rius A. Valutazione del ciclo di vita dei sistemi di produzione di pelle bovina italiani e spagnoli. *Afinidad.* 2011; 68:167-80.
  12. Chen KW, Lin LC, Lee WS. Analisi dell'impronta di carbonio della pelle bovina finita: un caso di studio sulla pelle all'anilina. *Energy Procedia.* 2014;61: 1063–6. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1023>.
  13. Kılıç E, Puig R, Zengin G, Zengin CA, Fullana-i-Palmer P. Corporate carbon footprint for country climate change mitigation: a case study of a tannery in Turchia. *Sci Total Environ.* 2018; 635:60–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.111>.
  14. Giannetti BF, Agostinho F, Moraes LC, Almeida CMVB, Ulgiati S. Valutazione multicriteriale costi-benefici della produzione conciaria: la necessità di alternative di processo innovative oltre l'ottimizzazione della tecnologia convenzionale. *Environ Impact Assess Rev.* 2015; 54:22-38. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.04.006>.
  15. Laurenti R, Redwood M, Puig R, Frostell B. Misurare l'impronta ambientale delle tecnologie di lavorazione della pelle. *J Ind Ecol.* 2017; 21:1180–7. <https://doi.org/10.1111/jiec.12504>.

- 
16. Chowdhury ZUM, Ahmed T, Antunes APM, Paul HL. Valutazione del ciclo di vita ambientale dell'industria della lavorazione della pelle: un caso di studio del Bangladesh. *J Soc Leather Technol Chem*. 2018; 102:18-26.
  17. Chowdhury Z, Ahmed T, Hashem M. Flusso di materiali ed energia nel ciclo di vita della pelle: un caso di studio del Bangladesh. *Mater Tech*. 2017; 105:1–12. <https://doi.org/10.1051/mattech/2018013>.
  18. Chen M, Duan Y, Dong L, Chen M, Cheng H. Valutazione del ciclo di vita a livello nazionale dell'impronta di carbonio nella lavorazione della tomaia bovina. *J Am Leather Chem Assoc*. 2019; 114:194-203.
  19. Milà L, Domènech X, Rieradevall J, Fullana P, Puig R. Applicazione della valutazione del ciclo di vita alle calzature. *Int J Life Cycle Assess*. 1998; 3:203-8. <https://doi.org/10.1007/BF02977570>.
  20. Herva M, Álvarez A, Roca E. Progettazione sostenibile e sicura di calzature che integrano impronta ecologica e criteri di rischio. *J Hazard Mater*. 2011;192: 1876–81. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.028>.
  21. Fan S, Ding S, Li R. Valutazione del ciclo di vita del processo di produzione di calzature in pelle basato su Simapro. *J Soc Leather Technol Chem*. 2019; 103:231-40.
  22. Daddi T, Nucci B, Iraldo F. Using life cycle assessment (LCA) to measure the environmental benefits of industrial symbiosis in an industrial cluster of SMEs. *J Clean Prod*. 2017; 147:157-64. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.090>.
  23. Bacardit A, Baquero G, Sorolla S, Ollé L. Valutazione di un nuovo sistema continuo sostenibile per la lavorazione della pelle bovina. *J Clean Prod*. 2015;101: 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.012>.
  24. Baquero G, Sorolla S, Ollé L, Bacardit A. Valutazione ambientale dei processi di disidratazione della pelle bovina. *J Am Leather Chem Assoc*. 2017; 112:102-8.

- 
25. Suárez-Eiroa B, Fernández E, Méndez-Martínez G, Soto-Oñate D. Operational principles of circular economy for sustainable development: linking theory and practice. *J Clean Prod.* 2019; 214:952–61. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.271>.
26. Simon B. What are the most significant aspects of supporting the circular economy in the plastic industry? *Resour Conserv Recycl.* 2019; 141:299–300. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.044>.
27. Gaustad G, Krystofik M, Bustamante M, Badami K. Strategie di economia circolare per mitigare le criticità di approvvigionamento dei materiali. *Resour Conserv Recycl.* 2018; 135:24-33. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.002>.
28. Laso J, García-Herrero I, Margallo M, Vázquez-Rowe I, Fullana P, Bala A, et al. Trovare un equilibrio economico e ambientale nelle catene del valore basate sul pensiero dell'economia circolare: una metodologia di eco- efficienza applicata all'industria conserviera del pesce. *Resour Conserv Recycl.* 2018; 133:428-37. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.004>.
29. Principato L, Ruini L, Guidi M, Secondi L. Adottare l'approccio dell'economia circolare sulle perdite e gli sprechi alimentari: il caso della produzione italiana di pasta. *Resour Conserv Recycl.* 2019; 144:82-9. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.025>.
30. Teigiserova DA, Hamelin L, Thomsen M. Revisione delle bioraffinerie di rifiuti e residui alimentari ad alto valore aggiunto, con particolare attenzione agli scarti inevitabili della lavorazione. *Resour Conserv Recycl.* 2019; 149:413-26. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.003>.
31. Delgado-Aguilar M, Pèlach M-A, Mutjé P, Fullana-i-Palmer P. Le nanofibre di cellulosa sono una soluzione per un'economia più circolare dei prodotti cartacei? *Environ Sci Technol.* 2015; 15:629–37. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02676>.

- 
32. Esteve-Turrillas FA, de la Guardia M. Impatto ambientale del recupero del cotone nell'industria tessile. *Resour Conserv Recycl.* 2017; 116:107-15. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.034>.
33. Yousef S, Tatariants M, Tichonovas M, Sarwar Z, Jonuškienė I, Kliucininkas L. Una nuova strategia per l'utilizzo dei rifiuti tessili come fonte sostenibile di materiale recuperato cotone. *Resour Conserv Recycl.* 2019; 145:359-69. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.031>.
34. Navarro A, Puig R, Martí E, Bala A, Fullana-i-Palmer P. Affrontare la rilevanza dell'imballaggio nella valutazione del ciclo di vita dell'olio di oliva vergine e le conseguenze ambientali della regolamentazione. *Environ Manag.* 2018; 62:277-94. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1021-x>.
35. Civancik-Uslu D, Puig R, Ferrer L, Fullana-i-Palmer P. Influenza dell'allocazione del fine vita, dei crediti e di altre questioni metodologiche nell'LCA dei composti: un caso di studio di economia circolare in azienda sugli imballaggi. *J Clean Prod.* 2019; 212:925-40. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.076>.
36. ISO 14044. Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida. Ginevra: Organizzazione internazionale per la standardizzazione; 2006.
37. Muñoz I, Gazulla C, Bala A, Puig R, Fullana P. LCA ed ecodesign nell'industria dei giocattoli: caso di studio di un orsetto che incorpora componenti elettrici ed elettronici. *Int J Life Cycle Assess.* 2009; 14:64-72. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0044-6>.
38. Civancik-uslu D, Puig R, Voigt S, Walter D, Fullana-i-palmer P. Improving the production chain with LCA and eco-design: application to cosmetic packaging. *Resour Conserv Recycl.* 2019; 151:104475. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104475>.

- 
39. Bala A, Laso J, Abejón R, Margallo M, Fullana-i-Palmer P, Aldaco R. Valutazione ambientale del sistema di gestione dei rifiuti di imballaggio alimentare in Spagna: capire il presente per migliorare il futuro. *Sci Total Environ.* 2020; 702:134603. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134603>.
40. Abejón R, Laso J, Margallo M, Aldaco R, Blanca-Alcubilla G, Bala A, et al. Valutazione dell'impatto ambientale dell'implementazione di un sistema di deposito-rimborso per i rifiuti di imballaggio in Spagna: una soluzione o un problema aggiuntivo? *Sci Total Environ.* 2020; 721:137744. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137744>.
41. Blanca-Alcubilla G, Bala A, De-Castro N, Colomé R, Fullana-i-Palmer P. Le stoviglie riutilizzabili sono la scelta migliore? Analisi per il settore della ristorazione aerea con un approccio al ciclo di vita. *Sci Total Environ.* 2019; 708:135121. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135121>.
42. Abejón R, Bala A, Vazquez-Rowe I, Aldaco R, Fullana i Palmer P. Quando gli imballaggi in plastica dovrebbero essere preferiti: analisi del ciclo di vita degli imballaggi per la distribuzione di frutta e verdura nel mercato peninsulare spagnolo. *Resour Conserv Recycl.* 2020; 155:104666. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104666>.
43. Batlle-Bayer L, Aldaco R, Bala A, Fullana-i-Palmer P. Toward sustainable dietary patterns under a water-energy-food nexus life cycle thinking approach. *Curr Opin Environ Sci Heal.* 2020; 13:61-7. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.11.001>.
44. Ros T, Celades I, Masoni P, Vilalta L, Fullana-I-Palmer P, Monfort E. Confronto ambientale dei rivestimenti per pavimenti interni. *Sci Total Environ.* 2019; 693:133519. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.325>.
45. Fullana i Palmer P, Puig R, Bala A, Baquero G, Riba J, Rauei M. Dalla

- 
46. <sup>v</sup>Catalán E, Komilis D, Sánchez A. A life cycle assessment on the Dehairing of rawhides: chemical treatment versus enzymatic recovery through solid state fermentation. *J Ind Ecol.* 2019; 23:361–73. <https://doi.org/10.1111/jiec.12753>.
47. Puccini M, Seggiani M, Castiello D, Vitolo S. DEPOXO process: technical and environmental study of hide oxidative unhairing. *Chem Eng Trans.* 2014;36: 193–8. <https://doi.org/10.3303/CET1436033>.
48. Shi J, Puig R, Sang J, Lin W. A comprehensive evaluation of physical and environmental performances for wet-white leather manufacture. *J Clean Prod.* 2016; 139:1512–9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.120>.
49. Xu X, Baquero G, Puig R, Shi J, Sang J, Lin W. Carbon footprint and toxicity indicators of alternative chromium-free tanning in China. *J Am Leather Chem Assoc.* 2015; 110:130–7.
50. Puccini M, Seggiani M, Castiello D, Vitolo S. Sustainability in process innovation: development of a green tanning process supported by LCA methodology. *J Am Leather Chem Assoc.* 2014; 109:110–6.
51. Rosa R, Pini M, Neri P, Corsi M, Bianchini R, Bonanni M, et al. Environmental sustainability assessment of a new degreasing formulation for the tanning cycle within leather manufacturing. *Green Chem.* 2017; 19:4571–82. <https://doi.org/10.1039/c7gc01900a>.
52. Tasca AL, Puccini M. Leather tanning: life cycle assessment of retanning, fatliquoring and dyeing. *J Clean Prod.* 2019; 226:720–9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.335>.
53. Püntener AG. Risk assessment of leather dyestuffs. *J Soc Leather Technol Chem.* 1998; 82:1–4.



- 
54. Petrescu L, Fermeglia M, Cormos CC. Life cycle analysis applied to acrylic acid production process with different fuels for steam generation. *J Clean Prod.* 2016; 133:294–303. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.088>.
55. ISO 14040. Environmental Management-Life Cycle Assessment – Principles and Framework. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. ISO 14044 (2006) Environmental Management - Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. Geneva: International Organization for Standardization; 2006.
56. <sup>v</sup> Daddi T, Ceglia D, Bianchi G, de Barcellos MD. Paradoxical tensions and corporate sustainability: a focus on circular economy business cases. *Corp Soc Responsib Environ Manag.* 2019; 26:770–80. <https://doi.org/10.1002/csr.1719>.
57. Gonzalez-Quijano G. The 60th John Arthur Wilson memorial lecture: a future for leather! *J Am Leather Chem Assoc.* 2019; 114:244–55.
58. Gül S, Spielmann M, Lehmann A, Eggers D, Bach V, Finkbeiner M. Benchmarking, and environmental performance classes in life cycle assessment—development of a procedure for non-leather shoes in the context of the product environmental footprint. *Int J Life Cycle Assess.* 2015; 20:1640–8. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0975-7>.
59. Moktadir MA, Rahman T, Ali SM, Nahar N, Paul SK. Examining barriers to reverse logistics practices in the leather footwear industry. *Ann Oper Res.* 2019. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03449-y>.
60. Pande B, Kumar AG. A Value Chain Framework for Assessment of Sustainable Practices in Manufacturing Firms. *Eur J Sustain Dev.* 2019; 8:95– 107. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2019.v8n3p95>.
61. Arroyo I, Cervantes G. Water footprint of an industrial product: An adapted methodology | Artículo Huella hídrica de un producto industrial: UNA metodología

---

adaptada. *Tecnol y Ciencias Del Agua*. 2018; 9:70–90. [https:// doi.org/10.24850/j-tyca-2018-06-03](https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-06-03).

62. Cimatti B, Campana G, Carluccio L. Eco design and sustainable manufacturing in fashion: a case study in the luxury personal accessories industry. *Procedia Manuf.* 2017; 8:393–400. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.050>.
63. Chen J, Cheng B, Sun S, Zhang X. L'influenza della ricerca sulle proprietà ecologiche della pelle sulla progettazione ecologica dei prodotti. *J Soc Leather Technol Chem.* 2014; 98:275-84.
64. INFO su: <https://www.chimicaindustrialeessenziale.org/materiali-e-applicazioni/la-pelle-ed-i-prodotti-della-concia/>
65. INFO su: <https://www.italiapelle.com/concia-lavorazione-pelli-cuoio/>
66. Argomenti trattati nella materia universitaria: “Chimica Analitica degli inquinanti”.
67. <https://www.direzionescientifica.airc.it/>