



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

A.a. 2024/2025

Sessione di Laurea Marzo/Aprile 2025

Integrazione dei criteri di circolarità nel processo di progettazione del prodotto industriale

Relatori:

Prof. Eugenio Brusa

Prof.ssa Chiara Gastaldi

Candidato:

Domenico Auriemma S281986

SOMMARIO

| | |
|--|----|
| 0 - ABSTRACT..... | 3 |
| 1 - INTRODUZIONE..... | 4 |
| 1.1 - Relazione tra sistemi produttivi e sostenibilità | 4 |
| 1.2 - State of the art della sostenibilità | 5 |
| 1.3 - Definizione circular economy..... | 6 |
| 1.4 - Differenze linear e circular economy | 8 |
| 2 - TOOLS CIRCULAR ECONOMY..... | 11 |
| 2.1 - Le 4 R: reuse, remanufacture, refurbish, recycle | 11 |
| 2.2 - I tools secondari | 13 |
| 2.2.1 - LCA..... | 13 |
| 2.2.2 - SWOT..... | 15 |
| 2.2.3 - Industria 4.0 | 16 |
| 2.2.4 - KPI..... | 18 |
| 2.2.5 - Customer assessment | 19 |
| 3 - ESEMPI APPLICATIVI | 21 |
| 3.1 - Introduzione tipologie industrie..... | 21 |
| 3.2 - Industria prodotto (automotive) | 24 |
| 3.3 - Industria processo (acciaio) | 26 |
| 3.4 - Industria progetto (costruzioni) | 28 |
| 3.5 - Applicazioni profumeria | 29 |
| 3.5.1 - Introduzione e concetti fondamentali | 29 |
| 3.5.2 - Relazione tra marketing e sostenibilità nella profumeria | 30 |
| 3.5.3 - La produzione di agarwood ed olio di oudh..... | 33 |
| 3.5.4 - Applicazione della circular economy alla profumeria..... | 42 |
| 3.5.5 - Sviluppo di un profumo secondo l'economia circolare..... | 49 |
| 5 - CONCLUSIONI | 55 |
| 6 - BIBLIOGRAFIA | 57 |
| 7 - RINGRAZIAMENTI | 60 |

0 - ABSTRACT

Il tema del consumo di risorse dovuto alle pratiche umane è sempre più importante nelle politiche socioeconomiche dei Paesi moderni. Nel corso degli anni, le aziende hanno sviluppato varie metodologie per ridurre l'impatto sociale ed ambientale delle proprie filiere produttive: al giorno d'oggi, ciò è sia un'esigenza che un fattore competitivo per le imprese. Nonostante ciò, è ancora ridotta la consapevolezza generale dell'importanza di un approccio sistemico alla questione, ed è limitata la conoscenza degli strumenti adatti a migliorare la sostenibilità in azienda.

L'elaborato si prospetta di indagare quali siano tali metodologie, di organizzare schematicamente le varie tipologie e infine di fornire al lettore alcuni esempi applicativi nel mondo produttivo. Il lavoro è, quindi, separato in tre parti principali: una indagine sul passato e presente della sostenibilità applicata alla produzione industriale; una struttura delle varie tipologie di strumenti utili ad incrementare e supportare la sostenibilità; un'applicazione pratica dei vari strumenti del punto precedente ad alcuni casi di interesse industriale. La tesi è coadiuvata da numerose citazioni, reperite dalla biblioteca di Ateneo e da fonti Internet, nonché da immagini e schemi che esemplificano quanto descritto nel testo.

1 - INTRODUZIONE

1.1 - Relazione tra sistemi produttivi e sostenibilità

Fin dall'avvento della produzione di massa, durante la prima rivoluzione industriale, i prodotti delle attività umane sono stati concepiti allo scopo di poter assolvere ad un bisogno specifico, spesso un singolo bisogno: è, anzi, molto comune che sia lo stesso bisogno a dar luogo alla nascita di nuovi prodotti, che assolvono a tali esigenze che li hanno generati. Ne segue, dunque, che il concetto primitivo di produzione sia legato al soddisfacimento di un'esigenza presente, un "qui ed ora" che trascura qualsiasi esigenza futura: oltre ad essere insito nella natura stessa della produzione del secolo scorso, quando i vincoli di sostenibilità erano minori o assenti, la stessa evoluzione dell'industria produttiva verso un'economia capitalistica ha fatto sì che il confinare un prodotto al presente sia un'esigenza di profittabilità (vedasi, a riguardo, i numerosi casi di "obsolescenza programmata").

Solo con il ridursi delle risorse naturali destinate alla produzione, l'incremento di complessità nel reperirle (la "crisi del Golfo" per il petrolio ne è un esempio) e l'aumento di consapevolezza da parte dei consumatori che le industrie hanno iniziato ad inserire il concetto di sostenibilità nella propria attività produttiva.

Se inizialmente lo scopo di questo cambiamento era esclusivamente economico (appunto, per ridurre i costi produttivi ed incrementare i ricavi delle vendite), con il passare del tempo e grazie all'impegno profuso da organizzazioni non governative la pratica produttiva ha iniziato ad avere un ulteriore vincolo, dettato dal rispetto delle persone e dell'ambiente (occorre ricordare che la maggior parte degli stakeholder delle aziende non ha lo stesso potere contrattuale, a livello legislativo, delle imprese): è da qui che nasce il concetto di sostenibilità delle "tre P", ossia "people, planet, profit", in luogo del concetto originale per cui la sostenibilità di un'impresa si misurava solo con la sostenibilità economica (ossia, il profitto nel breve e nel lungo periodo).

Lo studio [1] discute come tale approccio olistico alla sostenibilità dia anche un vantaggio competitivo alle aziende che lo attuano: in particolare, esso si concentra su vari mercati B2B europei, e analizzando vari indicatori

economico-gestionali ottiene come conclusione che tutti gli indicatori sono migliori nelle imprese che attuano strategie “green”.

L'immagine seguente (1.1) schematizza il concetto delle “tre P” (anche detta “triple bottom line”), illustrando come solo con l'implementazione totale dei tre strumenti sia possibile raggiungere una vera sostenibilità.



<https://jdmeier.com/people-planet-profit/> (1.1)

1.2 - State of the art della sostenibilità

Ad oggi, il concetto di sostenibilità è ormai pervasivo nelle politiche nazionali e sovranazionali, data l'importanza che esso assume per la società, e gran parte dei cittadini è consapevole che sia necessario porre in essere delle azioni che possano preservare le risorse naturali nel futuro, anche se ciò comporta dei sacrifici nel presente.

Nello studio [2], ad esempio, vengono analizzati gli aspetti psicologici della sostenibilità e come essa è percepita dalle persone nel loro agire

quotidiano e nella loro propensione all'acquisto (quindi anche in termini di marketing): gli autori evidenziano, tramite un sondaggio sui consumatori italiani, come la narrativa fatta riguardo i temi di sostenibilità abbia un impatto diretto sulle scelte economiche dei cittadini, nonché l'ormai diffusa consapevolezza verso i temi ambientali. Lo studio mette in risalto, inoltre, la forte richiesta di equità da parte dei consumatori (cioè, le aziende non possono più prescindere dal considerare la sostenibilità come un vero impegno, pena la perdita di valore verso gli stakeholders, che poi sono gli stessi consumatori dei beni prodotti).

Il moderno concetto di sostenibilità si basa, quindi, su un approccio olistico ai prodotti: essendo la produzione industriale ed agricola in continua crescita, si rende necessario ridurre gli sprechi in ogni punto della filiera produttiva (diminuendo i prodotti di scarto, l'uso di materie vergini, ecc...), ed anche oltre il consumo stesso dei prodotti, progettando un riutilizzo alternativo prima della produzione stessa (cioè, durante la fase di progettazione).

1.3 - Definizione circular economy

Una tra le misure più proficue nelle pratiche di sostenibilità è l'economia circolare: essa consiste in un insieme di strategie volte a ridurre o eliminare l'esigenza di sfruttamento di risorse naturali per produrre. Tali strumenti si inseriscono nel più ampio programma di sostenibilità intrapreso da vari Paesi al fine di rendere, appunto, più sostenibili le società moderne. In particolare, l'economia circolare permette di produrre in modo più sostenibile, ossia di rendere più efficiente i processi produttivi. L'immagine (1.2) raffigura questo "cerchio virtuoso" (idealmente, la freccia dei rifiuti residui dovrebbe essere nulla o minima per raggiungere una piena

sostenibilità della produzione).



<https://www.greenplanner.it/2019/07/15/circular-economy-regole-comuni/>
(1.2)

Essendo un campo ampio e complesso, molti strumenti possono essere utilizzati per rendere la produzione più sostenibile: possono, cioè, essere individuate varie vie di azione, in base all'applicazione ed allo scopo prefissato.

Ad esempio, l'industria di produzione dell'acciaio avrà un problema principalmente nell'uso di materie vergini, quindi si può "chiudere il cerchio" (da cui, economia circolare) nel riutilizzo di "scraps", materiali di scarto, in luogo del ferro prodotto dall'estrazione da rocce, così da rendere più sostenibile il processo riducendo l'esigenza di materiali vergini, e quindi le risorse (energia, lavoro, ecc...) necessarie (tale metodo si chiama "re-cycling" nell'ambito dell'economia circolare). In alternativa, se si considera l'industria dell'auto, l'esigenza principale è nel trovare un nuovo utilizzo alle parti delle automobili in demolizione: essendo la struttura di un'auto abbastanza costante nel tempo, è possibile rendere il processo produttivo più sostenibile (e quindi efficiente) semplicemente re-immettendo nel sistema di produzione singole parti, eventualmente rilavorate o modificate, per evitare di produrre da zero tali componenti ("re-manufacture").

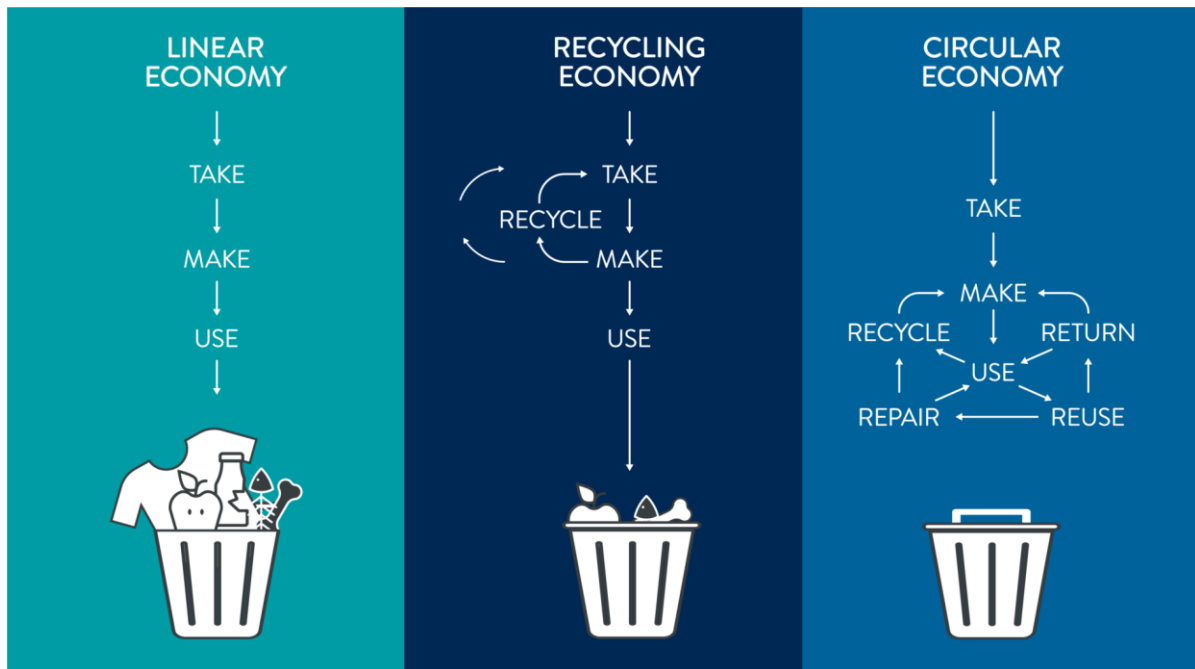
Come visto, la strategia di azione è molto variabile, poiché dipende da tanti fattori: è necessario, quindi, avere un approccio metodico alla questione. Si può schematizzare la circular economy come un processo chiuso in cui si alternano più fasi: una fase di “design” (progettazione), in cui si concepisce il prodotto ed il modo di produrlo, seguita da una fase di “action” (azione), in cui si mette in pratica lo schema ideato nella fase precedente, per quindi giungere alla fase di “evaluation” (valutazione), in cui si misurano gli effetti della produzione, in termine di sostenibilità di processo, tramite l'utilizzo di opportuni indicatori (detti KPI). Al termine di questa fase si procede, quindi, a ritornare alla fase di design, in cui si può riprogettare il processo produttivo per apportare modifiche che ne migliorino gli obiettivi di sostenibilità: tale ciclo permette di giungere al punto di ottimo, che non sarebbe possibile da raggiungere senza l'utilizzo della circular economy, nonché di accorgersi quando il processo produttivo inizia a diventare meno sostenibile nel tempo, per poterlo modificare (effettuando una sorta di controllo nel tempo del processo).

Lo studio [3] valuta con elevato dettaglio come le imprese manifatturiere (di piccole e medie dimensioni) implementino strategie di economia circolare tramite l'utilizzo di tecnologie digitali (e quale sia, quindi, la relazione tra i due argomenti): si nota come l'uso di software e strumenti di controllo analitico permettano di implementare meglio l'uso dell'economia circolare in azienda, e come siano indispensabili l'uno all'altro (ossia, in termini statistici, c'è una forte correlazione tra i due argomenti).

1.4 - Differenze linear e circular economy

Se il termine "linear economy" descrive il modo di produrre tradizionale, in cui i prodotti seguono una serie di azioni dalla fase di progettazione al rifiuto, il termine "circular economy" descrive un'evoluzione di tale concetto: in tal senso, la circular economy collega il primo e l'ultimo step della linear economy, cioè la produzione con il rifiuto, per garantire che l'intero percorso del prodotto sia una sequenza continua.

L'immagine (1.3) mette a confronto linear e circular economy, includendo anche la recycle economy che è un passaggio intermedio tra le due.



<https://itcc.ieee.org/blog/a-circular-economy-moving-from-supply-and-value-chains-to-networks/> (1.3)

Tale strumento imita molti sistemi naturali: in natura, infatti, la maggior parte dei processi non inizia in un punto e si conclude in un altro, diverso da quello iniziale, ma è inserito in un ciclo più ampio formato da altri processi. Un esempio in tal senso è il ciclo dell'acqua in natura: l'acqua si trova contemporaneamente nei suoi tre stati principali sulla Terra, ed evolve da uno stato all'altro tramite una moltitudine di processi (pioggia, scongelamento dei ghiacciai, evaporazione delle fonti d'acqua, ecc...), al punto che non si possa dire dove inizi e dove finisca il "processo" di trasformazione dell'acqua tra i vari stati, nonchè non si ha necessità di "aggiungere" acqua al processo poichè la quantità presente è sufficiente (il sistema è "chiuso" in senso fisico).

In tal senso, la circular economy cerca di imitare questo tratto peculiare per far sì che un determinato processo produttivo contenga un ciclo chiuso tra trasformazioni e non abbia necessità di integrare materiali vergini, il che permette di annullare il ricorso alle risorse naturali e quindi di avere un processo completamente sostenibile.

Ovviamente, se ciò è un obiettivo ideale e difficilmente realizzabile, avere un processo produttivo circolare in cui il ricorso alle materie prime è ridotto al minimo è già un ottimo traguardo, soprattutto se confrontato al processo lineare "standard" della pratica produttiva, dove il ricorso alle materie prime

è il massimo possibile, non essendoci alcun recupero di materiale dai prodotti finiti verso l'attività produttiva.

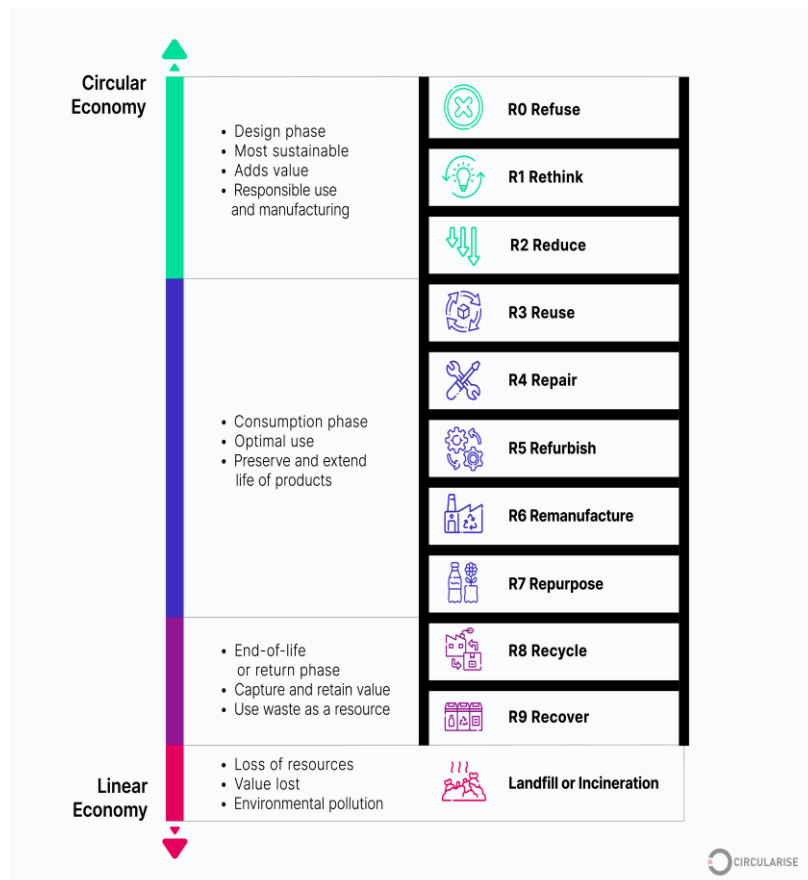
Nella pratica del riciclo dei rifiuti (uno dei primi esempi in ordine di tempo per quanto riguarda la sostenibilità) si cerca di imitare il ciclo alimentare della natura, in cui insetti, piante, funghi ed altri organismi collaborano in una catena chiusa alla trasformazione degli elementi che compongono gli organismi viventi (carbonio, ossigeno, idrogeno, ecc...), i quali sono riciclati in un insieme numeroso di processi: nel ciclo dei rifiuti, in modo simile, si cerca di recuperare quanto più possibile elementi utili dagli scarti, come l'energia per produrre corrente elettrica, il biometano per produrre combustibile sostenibile ed il disassemblaggio per recuperare componenti utili. Il metodo della linear economy, invece, brucerebbe i rifiuti senza nemmeno recuperarne il calore latente (utile, come detto, per produrre energia).

Nello studio [4] si elencano ed analizzano varie possibilità di “biomimesi” per quanto riguarda l'implementazione dell'economia circolare: dagli aspetti più teorici e filosofici fino ai possibili sviluppi socioeconomici dei modelli, a dimostrazione che esiste un forte legame concettuale tra i processi della natura e le attività produttive umane.

2 - TOOLS CIRCULAR ECONOMY

2.1 - Le 4 R: reuse, remanufacture, refurbish, recycle

Uno dei sistemi più utilizzati per la caratterizzazione della circular economy è l'uso delle "R strategies", ossia molteplici termini (per comodità si scelgono tutti con la lettera R) che illustrano varie strategie possibili della circular economy per rendere più sostenibile la produzione. Tra le tante strategie, se ne individuano quattro che si ritengono le più generiche, e quindi le più adatte ad essere applicate a molteplici contesti: re-use, re-furbish, re-manufacture e re-cycle. Nella figura (2.1) sono elencate le varie R strategies, incluse quelle qui esaminate, e come esse possano essere collocate tra circular e linear economy: si nota che il passaggio da linear a circular economy è composto da molteplici passi, ossia miglioramenti incrementali del sistema produttivo che quindi ha un range ampio di possibilità per essere sempre più sostenibile (in altre parole, la sostenibilità non va intesa come un'opzione binaria, ma come un continuo di valori).



<https://www.circularise.com/blogs/r-strategies-for-a-circular-economy> (2.1)

L'Unione Europea fornisce in [5] alcuni criteri di circolarità, ossia definizioni più formali su cosa possano essere le varie R strategies. Di seguito si riassumono i concetti fondamentali di tali pratiche.

La strategia del reuse (ossia "riutilizzo") consiste nel riutilizzare in parte o in tutto un oggetto, spesso per altri scopi (più semplici o meno safety-critical di quello originale): è ideale per quei prodotti che sono un assieme assemblato di tanti componenti, in quanto disassemblando i vari pezzi è possibile sfruttare un particolare sotto-assieme, oppure per quei prodotti che non risultano danneggiati dall'utilizzo (come ad esempio i bicchieri riutilizzabili di plastica rigida per le bevande, in luogo di quelli usa e getta).

Riutilizzare un prodotto è il metodo più efficiente in termini di risorse aggiuntive (ossia la quantità di materie prime, energia, ecc... necessarie a rendere di nuovo disponibile un prodotto), in quanto confrontando con la quantità di risorse necessaria a produrre tale prodotto da zero si ottiene spesso un valore di molto inferiore.

Rispetto al reuse, il remanufacturing (rifabbricare) prevede un processo produttivo aggiuntivo, al quale il prodotto (o uno o più dei suoi componenti) è soggetto prima di poter essere utilizzato: consiste nel modificare proprietà meccaniche, fisiche, chimiche o estetiche del prodotto tramite rilavorazioni.

Ad esempio, le case automobilistiche possono riutilizzare alcuni componenti delle vetture riprocessandoli: i motori possono essere puliti, alesati ed installati su vetture nuove, oppure le varie barre del frame possono essere rilavorate per ottenere misure diverse (da veicolo più grande a più piccolo).

Il refurbishment (rimettere a nuovo) consiste, come per il remanufacturing, nell'aggiungere un processo produttivo tra l'utilizzo precedente ed il futuro utilizzo, al quale però si aggiunge anche un processo di redesign (riprogettazione).

Un chiaro esempio in tal senso è il refurbishment di un telefono, il quale può essere aggiornato semplicemente mantenendo il frame e sostituendo l'hardware (aggiornando, poi, il software).

Il recycle (riciclo) è una strategia utile se il prodotto non ha applicazioni alternative a quella originale. I materiali compositi possono essere separati

(soprattutto se concepiti in origine per tale scopo) oppure si può effettuare una separazione al fine di recupero dei materiali utili o nobili (particolarmente importante su terre rare e metalli preziosi, enablers della transizione ecologica).

2.2 - I tools secondari

Oltre alle strategie delle 4 R, le quali sono il principale mezzo per schematizzare la circular economy, è possibile utilizzare un secondo asse di classificazione, ortogonale a quello delle R-strategies: è l'asse dei tools applicativi (o tools secondari), termine che raggruppa un insieme eterogeneo di strumenti utilizzabili per mettere in pratica la circular economy nell'operatività produttiva delle imprese.

Se lo schema offerto dalle R-strategies è più concettuale che applicativo, questi tools secondari permettono di concretizzare l'analisi su applicazioni reali della pratica produttiva, offrendo un array di opzioni che sono configurabili specificamente alla realtà produttiva, per analizzare in dettaglio il sistema considerato.

In particolare, sono molteplici gli ambiti da cui si ricavano tali tools secondari, tra i quali l'economia, l'ingegneria gestionale e l'ingegneria dei sistemi. La vera forza di tali strumenti, però, risiede nell'essere generici, e quindi non solamente applicabili agli ambiti di origine, ma trasferibili a realtà completamente diverse tra loro.

2.2.1 - LCA

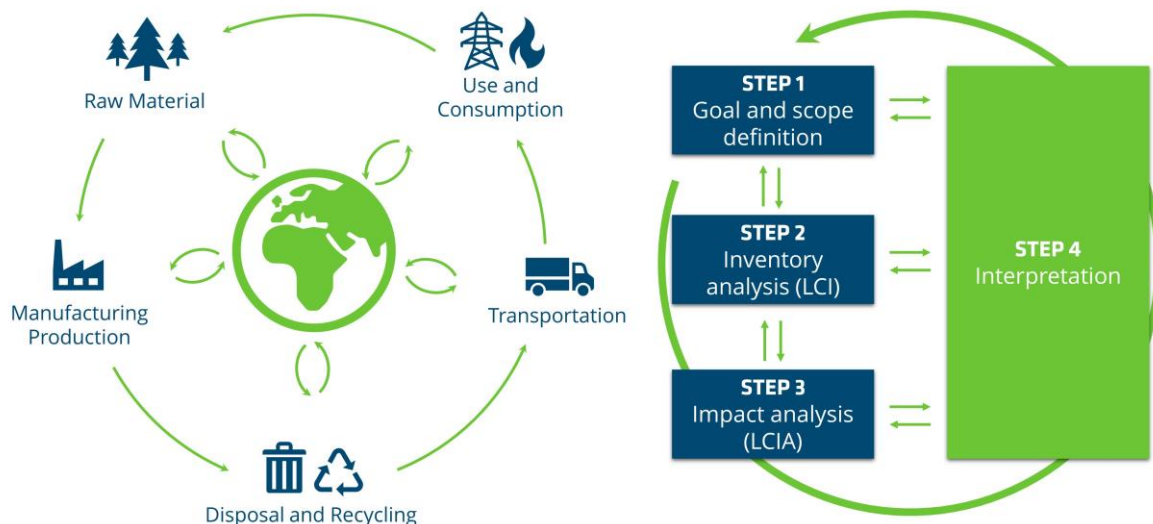
Il metodo LCA (Life Cycle Assessment) è un'analisi sistematica utilizzata per valutare l'impatto ambientale di un prodotto o servizio nell'intero ciclo di vita: si usa quindi il termine "from cradle to grave", ossia dalla culla alla tomba, intendendo che la valutazione è fatta dal primo processo produttivo (ad esempio, l'estrazione delle materie prime) fino all'ultimo processo (ad esempio, il termine di utilizzo). È uno strumento, quindi, molto utile per valutare l'impronta ambientale ("environmental footprint"), cioè il consumo di risorse da parte dei processi produttivi collegati al prodotto o servizio. Non è da trascurarsi, però, un importante limite di tale analisi: sono necessarie numerose ipotesi iniziali per poter effettuare i calcoli, e molti dei dati utilizzati sono stime o valori parziali. Tali elementi obbligano ad

utilizzare con cura l'analisi, soprattutto quando è prodotta per effettuare un confronto tra prodotti o opzioni diverse.

L'analisi LCA si divide in quattro fasi principali:

- 1) definizione degli obiettivi, in cui si definiscono i risultati da voler raggiungere, gli elementi dell'analisi ed eventuali vincoli presenti;
- 2) analisi dei dati (LCI, Life Cycle Inventory), in cui si elencano gli input (ciò che è necessario) e gli output (ciò che è generato, come ad esempio le emissioni) di ogni processo;
- 3) analisi degli impatti (LCIA, Life Cycle Impact Assessment), che traduce i dati del punto precedente in valori di alcuni indicatori notevoli (ad esempio, il danno agli ecosistemi in termine di specie danneggiate oppure la variazione di concentrazione di inquinanti per metro cubo d'aria);
- 4) interpretazione dei risultati ottenuti dai punti precedenti.

Nella figura (2.2) sono illustrate le varie fasi di una analisi LCA (a destra), assieme al ciclo produttivo ideale (a sinistra).



3

<https://www.gruppo3i.it/life-cycle-assessment-limportanza-del-ciclo-di-vita-di-prodotti-e-processi/> (2.2)

Si riporta in [6] un esempio concreto di analisi LCA: in tale caso, è la conversione di acido solfidrico in idrogeno puro (è, quindi, un caso di produzione su processo).

2.2.2 - SWOT

L'analisi SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) è uno strumento di derivazione gestionale, tipicamente utilizzato dalle imprese per valutare l'ambiente in cui opera un particolare business e gli eventuali aspetti su cui dover agire per migliorare o rafforzare tale business: in poche parole, è uno strumento di decision-making.

Tale analisi si basa su due assi perpendicolari di analisi: le variabili dipendenti dal business, ossia i punti di forza e di debolezza, e le variabili dipendenti dall'ambiente esterno, ossia le opportunità e le minacce.

Nell'immagine (2.3) è schematizzato il concetto dell'analisi SWOT nei quattro quadranti principali.



<https://www.danea.it/blog/analisi-swot-obiettivi-aziendali-pianificazione-strategica-aziendale/> (2.3)

Nell'ambito della sostenibilità e dell'economia circolare, è possibile riadattare tale strumento per ottenere un'analisi specifica di un particolare

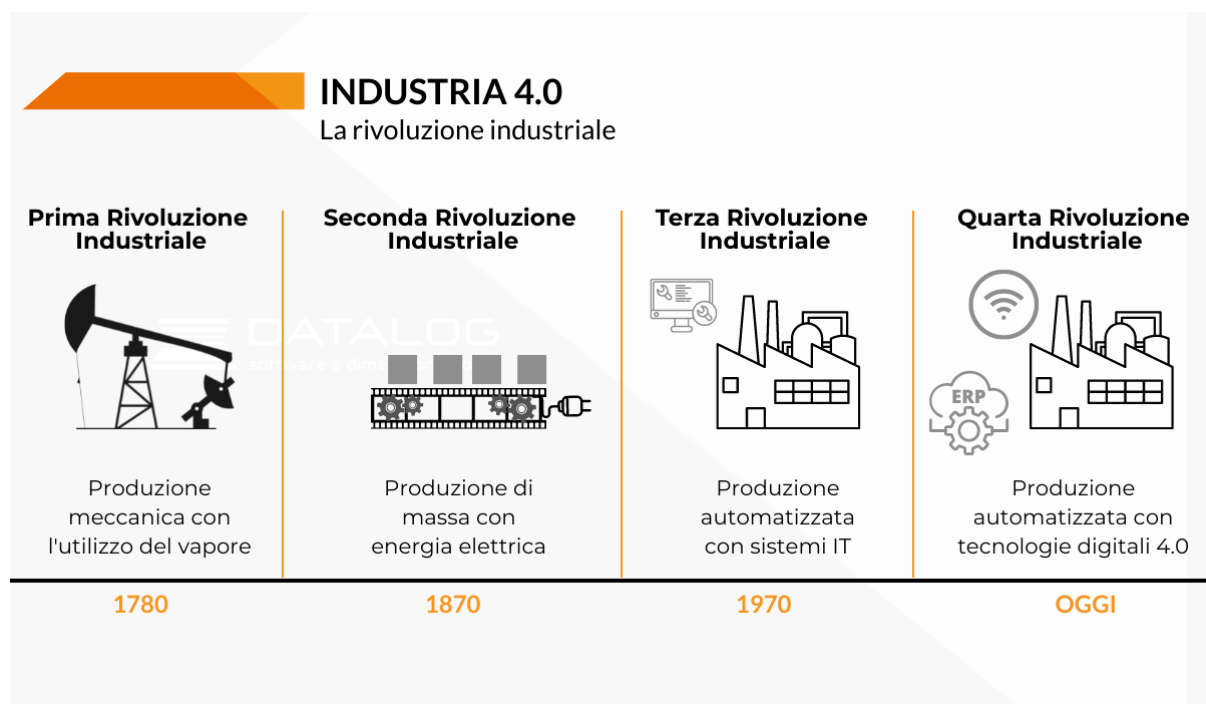
investimento. In tal caso, si valutano dapprima i punti di forza e di debolezza di una decisione di investimento in sostenibilità, come ad esempio la miglior immagine dell'azienda nei confronti dei clienti (forza) oppure una perdita di competitività dovuta all'incremento dei costi (debolezza), per poi analizzare gli effetti sul mercato, come un possibile incremento di vendite dovute alla maggior percezione di valore da parte dei clienti (opportunità) oppure una perdita di fatturato dovuta all'incremento di prezzi necessario per sostenere l'investimento (minaccia).

In [7] è presente un caso concreto di analisi SWOT applicato al management sostenibile di risorse minerarie: l'analisi si concentra sulle FinTech che gestiscono le attività di estrazione mineraria, ed osserva come l'integrazione dei SDG (Sustainable Development Goals, standard di sostenibilità forniti dall'ONU) possa modificare l'attività di tali imprese.

2.2.3 - Industria 4.0

Con il termine "industria 4.0 si indicano tutte quelle innovazioni che nei primi due decenni del XXI secolo hanno caratterizzato lo sviluppo tecnologico a livello industriale.

Nella figura (2.4) è illustrata l'evoluzione temporale delle varie industrie, dall'inizio dell'attività produttiva ad oggi.

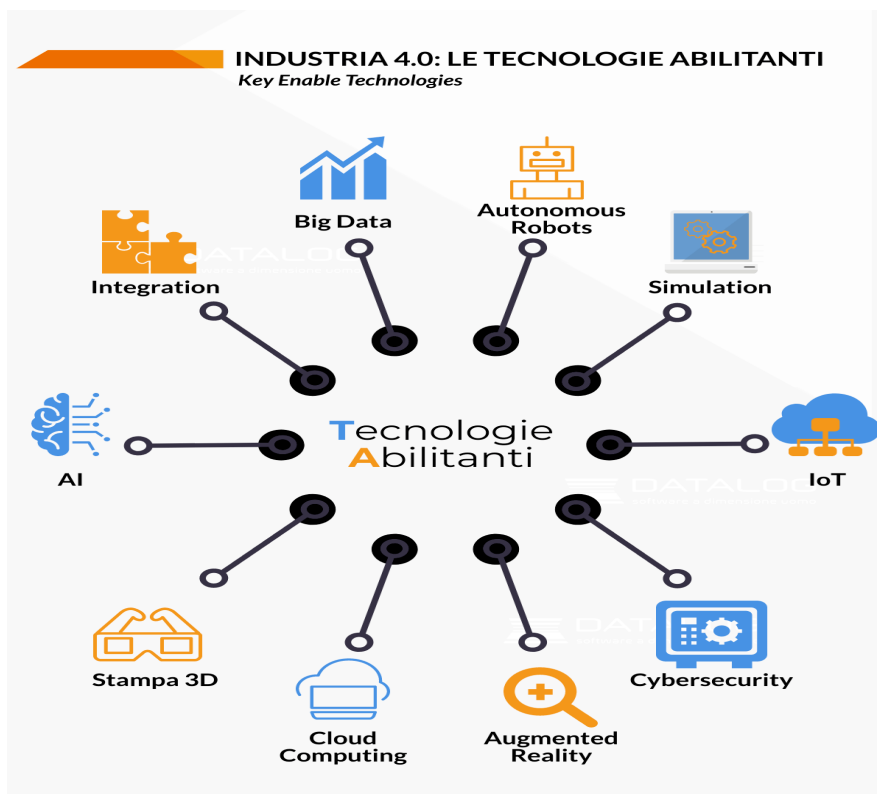


<https://www.datalog.it/industria-4-0-incentivi/> (2.4)

Prima dello sviluppo autonomo dell'Intelligenza Artificiale e delle reti neurali, l'industria è stata a lungo concentrata sugli strumenti più prettamente produttivi dell'Industria 4.0: come per l'analisi SWOT, anche essi sono di derivazione gestionale, ma racchiudono in sé maggiori possibilità di analisi (sono, quindi, più generici).

Con il termine "Industria 4.0" si raggruppano le diverse tecnologie avanzate (come l'Internet of Things, la robotica, i big data, il cloud computing, etc...) che hanno permesso alle aziende un'integrazione totale tra mondo fisico (macchinari) e digitale (informatica), permettendo un controllo preciso dell'attività produttiva: tra essi c'è anche l'Intelligenza Artificiale, che però ha minore applicazione essendo un ambito ancora in via di sviluppo, mentre gli altri strumenti godono di un utilizzo più lungo, e quindi sono, per così dire, più "avanzati". In particolare, per la sostenibilità sono molto utili i big data, che permettono di analizzare grandi quantità di dati (assieme al cloud computing) e la robotica, che permette di automatizzare processi produttivi per migliorarne l'efficienza.

La figura (2.5) sottostante riassume varie tecnologie abilitanti (che cioè permettono di "attivare" l'industria 4.0).



<https://www.datalog.it/industria-4-0-incentivi/> (2.5)

In [8] si elencano in maniera esaustiva altri collegamenti tra Industria 4.0 e sostenibilità, con un ampio riferimento al percorso storico che ha portato agli strumenti attuali. In [9], invece, è presente un ponte tra gli strumenti dell'Industria 4.0 e 5.0, relativamente al settore logistico.

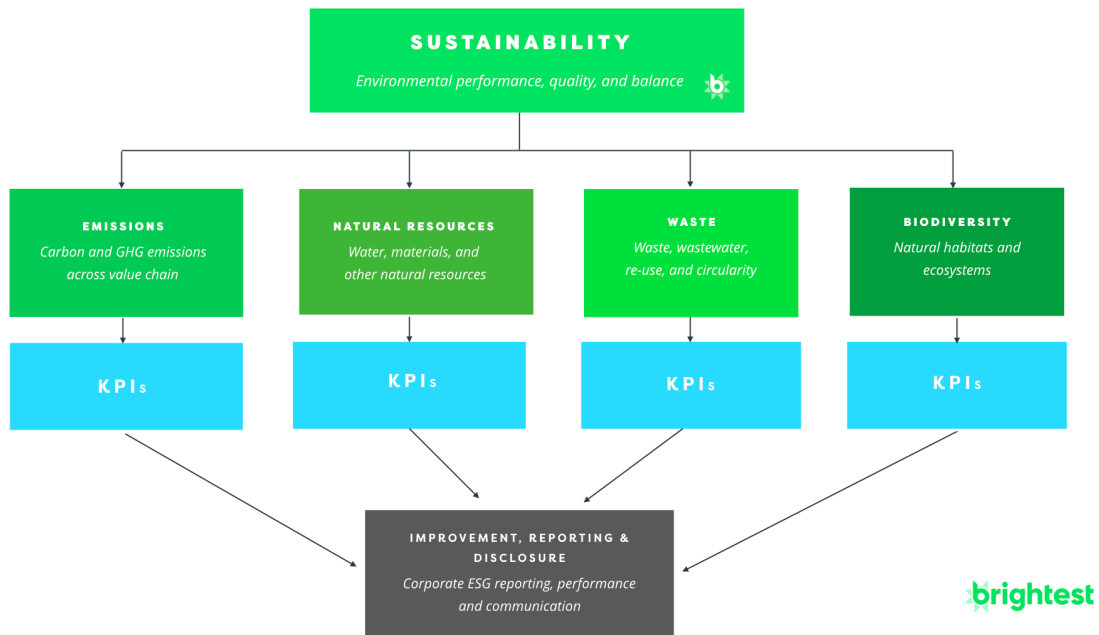
2.2.4 - KPI

I KPI (Key Performance Indicators), ossia gli indicatori chiave di prestazione, sono degli strumenti utilizzati per analizzare l'andamento dei processi: nella pratica gestionale, si è soliti creare dei "cruscotti di indicatori" dei processi (produttivi o aziendali), che permettono di tenere traccia nel tempo dell'evoluzione di particolari dinamiche di processo (come ad esempio una deriva di un processo produttivo verso l'aumento degli scarti, tramite il tasso di scarti, oppure una riduzione dell'efficacia di un processo aziendale di customer care, tramite un questionario per la valutazione soggettiva dei clienti).

Nell'ambito dell'economia circolare, è facile immaginare come i vari aspetti di sostenibilità possano essere tracciati sviluppando un cruscotto di indicatori chiave (KPI), che viene monitorato nel tempo: alcuni esempi possibili sono la quantità di materia vergine necessaria a produrre un oggetto oppure la percentuale di materie naturali nelle varie tipologie di prodotto, nonché il già menzionato tasso di scarti (che misura anche l'efficienza produttiva).

Il lavoro [10] effettua un'analisi approfondita della "misurabilità" dell'economia circolare, tramite la misura di KPI interni ed esterni (utilizzando, cioè, anche lo strumento dell'analisi SWOT). In particolare, vengono analizzate varie tecnologie e come esse impattino sulla sostenibilità aziendale: la misura è effettuata tramite i KPI per avere un elemento oggettivo di valutazione.

L'immagine (2.6) illustra alcuni esempi applicativi di KPI agli ambiti di sostenibilità.



<https://www.brightest.io/sustainability-kpi-framework-examples> (2.6)

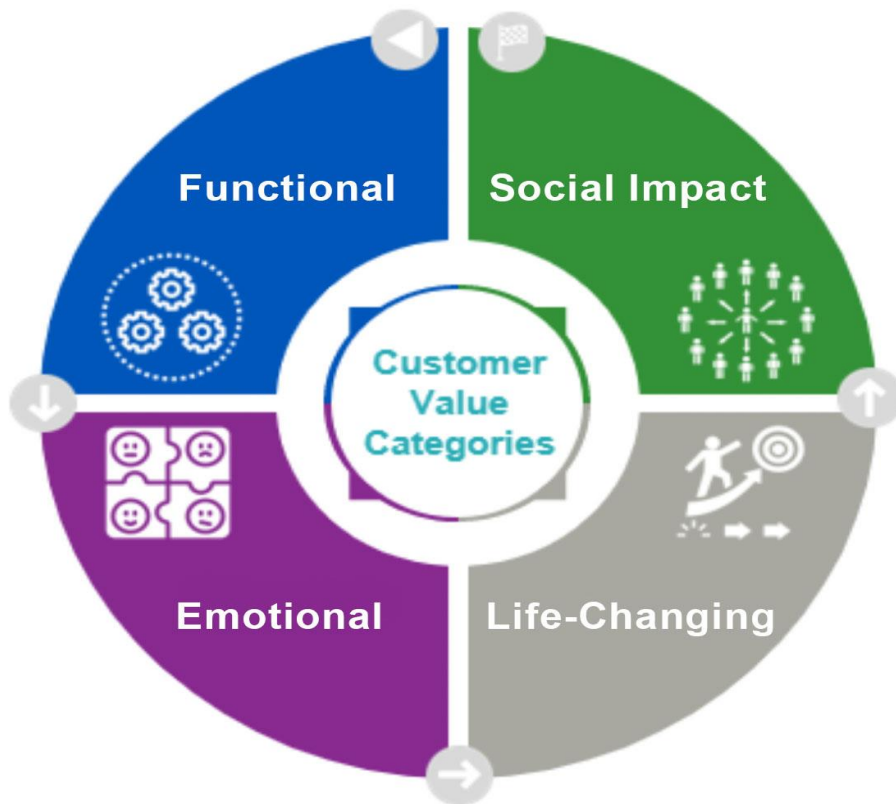
2.2.5 - Customer assessment

La customer assessment (o valutazione del cliente) è un'importante pratica qualitativa nell'ambito del marketing, che permette di misurare il valore percepito da parte dei clienti. In sostanza, si analizzano varie fasce di mercato (pensionati, bambini, donne, under 30, ecc...) o singole persone, tramite la collezione delle loro opinioni: tali opinioni possono essere ottenute direttamente (con un questionario) o indirettamente (con, ad esempio, i cookies di navigazione).

Benché sia uno strumento poco oggettivo, è di fondamentale importanza per la sostenibilità, in quanto gran parte di ciò che è considerato "sostenibile" (che ha cioè un valore per il cliente in quanto apporta miglioramenti in ambito sostenibilità) dipende da come i clienti lo percepiscono (ad esempio, un cliente europeo può avere una sensibilità maggiore verso il riciclo, mentre un cliente sudamericano può essere più interessato all'efficienza dei processi, per ridurre il consumo di materie prime, e quindi lo sfruttamento delle risorse naturali).

Nello studio [11] si valuta la sovraesposizione ad informazioni sulla sostenibilità da parte dei clienti, e su come ciò influisca sui comportamenti sociali ed economici.

L'immagine (2.7) illustra quali siano gli aspetti del valore percepito da parte dei clienti (e quindi cosa considerare quando lo si misura).



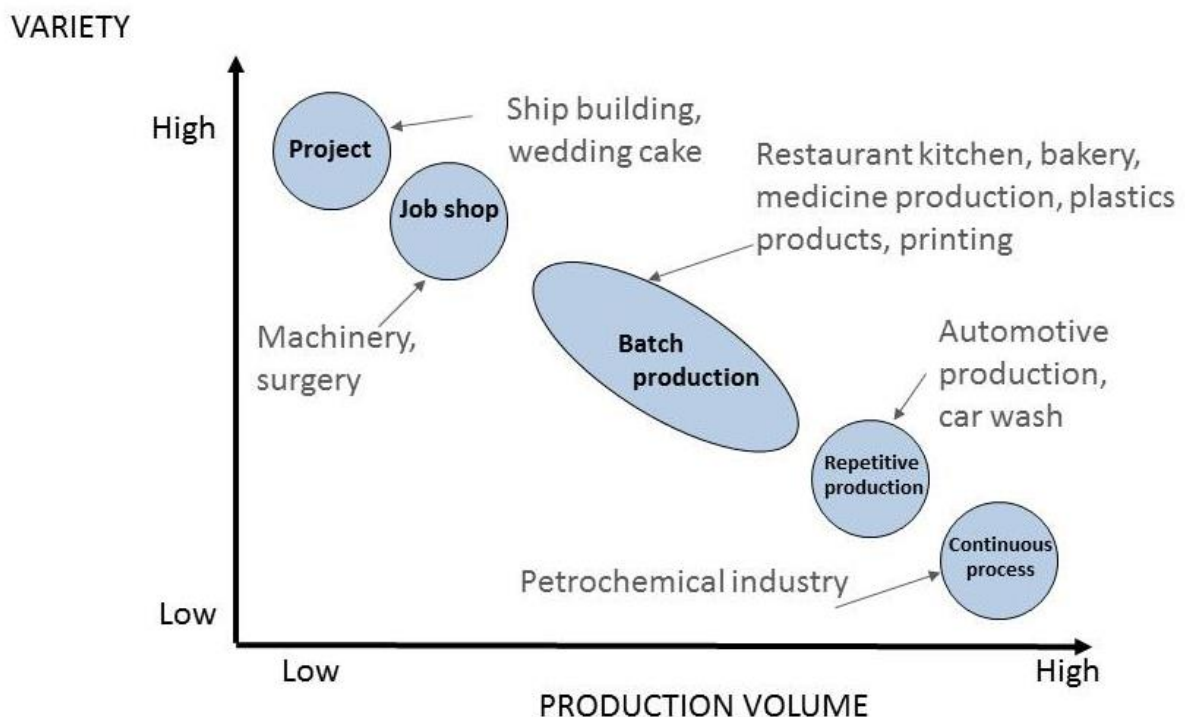
<https://sivoinights.com/the-value-of-a-customer-value-equation/> (2.7)

3 - ESEMPI APPLICATIVI

3.1 - Introduzione tipologie industrie

L'insieme delle imprese economiche che producono beni o servizi può essere schematizzato secondo una suddivisione che segue il metodo con cui si susseguono le varie fasi operative per arrivare al prodotto finito: si parla, quindi, di imprese che lavorano per processo, per progetto o per prodotto in base a come l'impresa approccia la produzione.

Nell'immagine (3.1) sono illustrate tutte le varie tipologie, con alcuni esempi pratici: il grafico dell'immagine mette in relazione la varietà dei prodotti dell'impresa (ossia, quante tipologie diverse di prodotti possono essere realizzati dall'impresa o, in altri termini, quale sia la "flessibilità" produttiva) con i volumi produttivi (cioè il numero di prodotti realizzabili in un determinato periodo di tempo).



<https://www.logistiikanmaailma.fi/en/production/production-types/> (3.1)

Nel caso di imprese per prodotto, la produzione arriva al bene finito tramite un assemblaggio o unione di più componenti o sotto-assiemi: esempi in tal senso sono le case automobilistiche o le aziende dolciarie, in cui le auto o i biscotti, rispettivamente, si ottengono unendo insieme più elementi o ingredienti (come il motore allo chassis, oppure la farina allo zucchero). Tali

imprese producono tanti prodotti in un breve lasso di tempo, ma non riescono a personalizzare in modo specifico i propri prodotti: la produzione è quindi rigida (poco flessibile), e risponde ad esigenze di mercati standardizzati, in cui il cliente finale può adattarsi ad acquistare un prodotto realizzato in serie che, al massimo, è personalizzato esclusivamente nelle fasi finali della produzione (nelle automobili, ad esempio, è possibile scegliere il colore ma non è possibile avere un motore personalizzato, in quanto tale componente è assemblato in una fase intermedia e non finale). La tipologia qui descritta ricerca l'efficienza, trascurando la flessibilità.

Nel caso di imprese per processo, invece, il prodotto finito non è composto da più componenti, ma è un risultato di una serie di lavorazioni che rende indistinguibili gli elementi utilizzati in produzione nel risultato finale: esempi classici in tal senso sono l'acciaio, il cemento ed in genere quasi tutte le lavorazioni chimiche, ove cioè si giunge al prodotto finito mescolando assieme varie molecole secondo una formula predefinita e tramite una sequenza di operazioni (variazioni di temperatura, miscelazione, esposizione alla luce, ecc...). Rispetto alla produzione per prodotto, la standardizzazione è ancora più elevata, con possibilità nulla di personalizzazione: i componenti in uscita da un'acciaieria hanno forma e dimensioni standard, in quanto l'utilizzo effettivo segue delle stringenti normative (ad esempio, i tondini di rinforzo per il calcestruzzo nel cemento armato devono seguire una norma ISO che ne definisce le proprietà meccaniche, il materiale e, in ultima analisi, le dimensioni).

Infine, la produzione per progetto lavora in maniera simile alla produzione per prodotto, però il risultato ottenuto non è replicabile nella maniera esatta, in quanto il progetto è per definizione unico: esempi in tal senso sono le costruzioni o i macchinari sviluppati ad hoc, e la classica sequenza di operazioni produttive della produzione per prodotto si modifica di conseguenza. Tale tipologia è la più flessibile, e permette di personalizzare enormemente i prodotti realizzati: ad esempio, in un edificio è possibile scegliere il numero di piani, la planimetria di ogni piano, l'altezza di ogni piano, i materiali utilizzati, ecc... Come si vede da tale esempio, quasi nulla è standardizzato, e ciò riduce l'efficienza produttiva di tali imprese: costi e tempi sono tipicamente più lunghi rispetto alle altre tipologie, ma la flessibilità è massima, e ciò permette di intercettare le esigenze di determinate tipologie di clienti che vogliono una personalizzazione massima del prodotto (un ulteriore esempio, che permette di confrontare tale tipologia con la produzione per prodotto, è la realizzazione di una

supercar, spesso prodotta in un unico esemplare, con specifiche tecniche che seguono le richieste del cliente, ed ovviamente costi e tempi di realizzazione molto maggiori rispetto alle automobili prodotte in serie).

La distinzione tra le tre tipologie è fondamentale poiché l'approccio alla sostenibilità sarà inevitabilmente differente, in quanto i metodi produttivi, il risultato voluto e la tipologia di cliente (quindi la percezione del consumatore rispetto alla sostenibilità, nonché il metodo di utilizzo del prodotto) varia fortemente tra le tre tipologie.

Nello specifico, l'industria di processo avrà principalmente problemi legati al riciclo dei materiali utilizzati e degli scarti di prodotto finito (sia di lavorazione, sia di prodotti al termine dell'utilizzo, come ad esempio l'acciaio del cemento armato dopo la demolizione di un edificio), mentre l'industria di prodotto ha un approccio alla sostenibilità più complesso, essendoci molteplici possibilità di applicazione della circular economy (come ad esempio, il riutilizzo di alcuni componenti, il remanufacturing dei prodotti finiti, ecc...). L'industria di progetto, rispetto alle altre due, ha una esigenza inferiore di sostenibilità (essendo i progetti una produzione singola, per definizione), ma è quella più complessa in termini di analisi, essendo le procedure meno standardizzate e più soggette a variabilità.

Nelle sezioni successive si analizzano, quindi, tre scenari comuni della pratica produttiva, che esemplificano le categorie appena descritte:

- per l'industria di prodotto si è scelto l'automotive, in quanto è una delle industrie più esemplificative dell'ingegneria, nonché uno dei settori più comuni;
- per l'industria di processo si è scelto l'acciaio, in quanto è tra i pochi settori che ha, a valle, una lavorazione anche per prodotto (il laminato continuo in uscita dai laminatoi viene diviso e lavorato nei vari prodotti finiti, e ciò permette di poter collegare quanto analizzato su tale industria con le industrie di prodotto);
- per l'industria di progetto si è scelto il settore delle costruzioni (che racchiude le due industrie precedentemente menzionate, ad esempio con il cemento dall'industria di processo e con i mattoni dall'industria di prodotto).

A seguire, si analizza in dettaglio un settore particolare, quello della profumeria, che raccoglie le tre tipologie di produzione (prodotto, processo e progetto) nelle varie fasi.

3.2 - Industria prodotto (automotive)

L'industria dell'auto è uno dei settori più inquinanti dell'economia: l'intera filiera (supply chain) dell'autoveicolo produce notevoli emissioni, date dal trasporto di grandi volumi di materiali tra paesi lontani per produrre i veicoli, ma anche l'utilizzo stesso delle automobili è fonte importante di inquinamento atmosferico. Questi due aspetti, che pesano sul bilancio globale di emissioni per una quota importante, hanno fatto sì che gli enti regolatori, statali e di settore, abbiano imposto misure sempre più stringenti al mercato dell'auto, con conseguente evoluzione verso modelli produttivi più sostenibili: non è quindi un caso se tale settore sia tra quelli più sensibili nei confronti delle evoluzioni in tema di sostenibilità, e spesso si trovi ad essere un precursore di metodi e pratiche rivoluzionarie, che solo in seguito verranno esportati verso altri settori (un esempio famoso a riguardo è il metodo della lean manufacturing proposto da Toyota).

Lo studio [12] analizza l'implementazione della strategia delle “tre P” (people, planet, profit), qui declinata come ESG (environment, social, governance), al settore dell'automotive, utilizzando i KPI come misura analitica per valutare i benefici della sostenibilità in tale settore. I risultati di tale lavoro illustrano come le strategie della circular economy siano fattori influenti per una completa sostenibilità produttiva (sia reale che percepita).

Come noto, l'intero processo di produzione di un veicolo automobilistico è un complesso di più sotto-processi, ognuno dei quali è altamente variabile e include notevoli materiali.

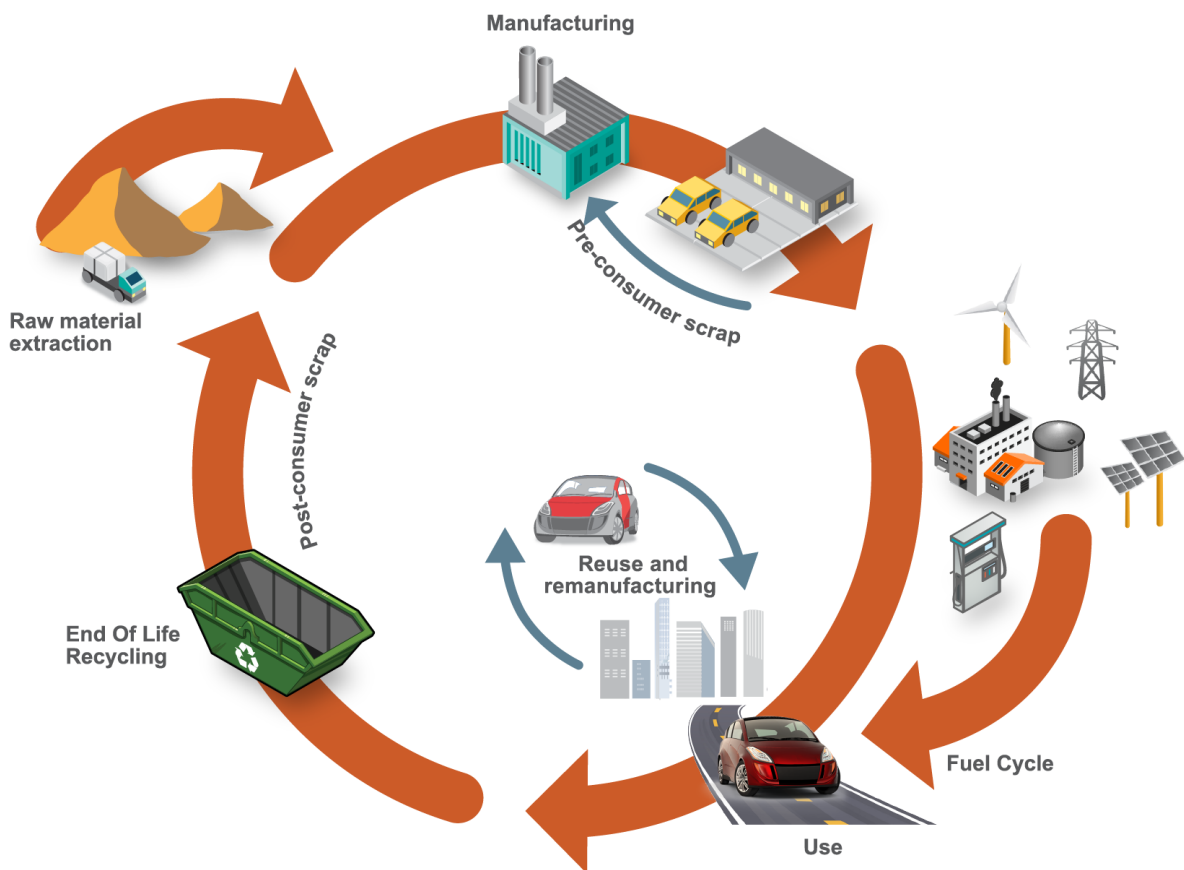
Schematicamente, è possibile racchiudere l'intero processo di vita di un veicolo come:

- Progettazione del veicolo: l'auto viene progettata seguendo un know-how sviluppato sui modelli precedenti, considerando le analisi di mercato sulle richieste dei clienti ed effettuando test e misure sui sottosistemi che compongono il prodotto finito (motore, scocca, impianto frenante, ecc...).
- Produzione del veicolo: dopo essere stato progettato, il veicolo viene prodotto, seguendo le specifiche, ed assemblato come assieme finito.

- Spedizione del veicolo: il veicolo assemblato viene quindi movimentato dallo stabilimento produttivo ad un intermediario (concessionario automobilistico) oppure direttamente al cliente finale.
- Utilizzo del veicolo: il prodotto viene utilizzato dal cliente.
- Smaltimento del veicolo: dopo l'utilizzo, il veicolo viene rottamato.

Tale particolare suddivisione in cinque steps permette di concentrarsi su diverse problematiche ambientali (ossia di sostenibilità) connesse a ciascun processo.

La figura (3.2) illustra, invece, un ciclo semplificato per l'automobile, utile per un calcolo LCA.



<https://steelemotive.world/life-cycle-assessment-for-vehicle-development/>
(3.2)

Essendo il primo processo, la progettazione del veicolo può influire su numerose scelte di sostenibilità, come l'utilizzo di materiali riciclati o pezzi di scarto da veicoli usati o rottamati (si parla quindi di refurbish). La

principale problematica è l'efficienza dei consumi, cioè la riduzione di materiali, soprattutto quelli vergini, implicati nel progetto dell'automobile.

A seguire, la produzione del veicolo è l'insieme di ciò che viene prodotto dall'azienda e ciò che viene approvvigionato tramite sourcing da subfornitori esterni: essa ha un ruolo importante nel bilancio totale di emissioni del settore automotive, ed è quindi di fondamentale importanza minimizzare i consumi dovuti alle attività di produzione (uno degli aspetti cruciali per le decisioni di make or buy è proprio l'impatto di sostenibilità, sia sull'ambiente che sulle attività umane, nonché sulla salute dei lavoratori, in quanto alcuni fornitori potrebbero essere economicamente vantaggiosi ma fare ricorso a lavoro nero, inquinare l'ambiente o stravolgere le comunità locali, con conseguenti scandali per le aziende coinvolte).

Il processo di spedizione del veicolo, così come la produzione, ha impatto anzitutto sulle emissioni, ed è quindi necessaria una ottimizzazione dei trasporti, talvolta anche considerando questo fattore nelle decisioni di dove posizionare uno stabilimento produttivo.

Infine, l'utilizzo ed il successivo smaltimento del veicolo sono connessi a processi di emissioni di inquinanti atmosferici (per l'utilizzo) ed ambientali (per lo smaltimento): l'impatto ambientale va quindi ridotto in fase di progettazione, considerando opzioni meno inquinanti in opera e più riciclabili al termine dell'utilizzo.

Lo studio [13] analizza il processo di calcolo di un LCA per l'automobile, valutando numerosi LCA effettuati, ed ottiene come risultato che gli attuali metodi di calcolo si focalizzano troppo sul prodotto auto (cioè sulla tecnologia ed i metodi produttivi) e troppo poco sul sistema che lo circonda (ad esempio, le infrastrutture o i carburanti).

3.3 - Industria processo (acciaio)

L'industria dell'acciaio si colloca nella tipologia delle industrie di processo: il prodotto finito è il risultato di una serie di trasformazioni a partire da una materia prima, senza necessità di assemblaggio tra componenti come si ha nell'industria di prodotto.

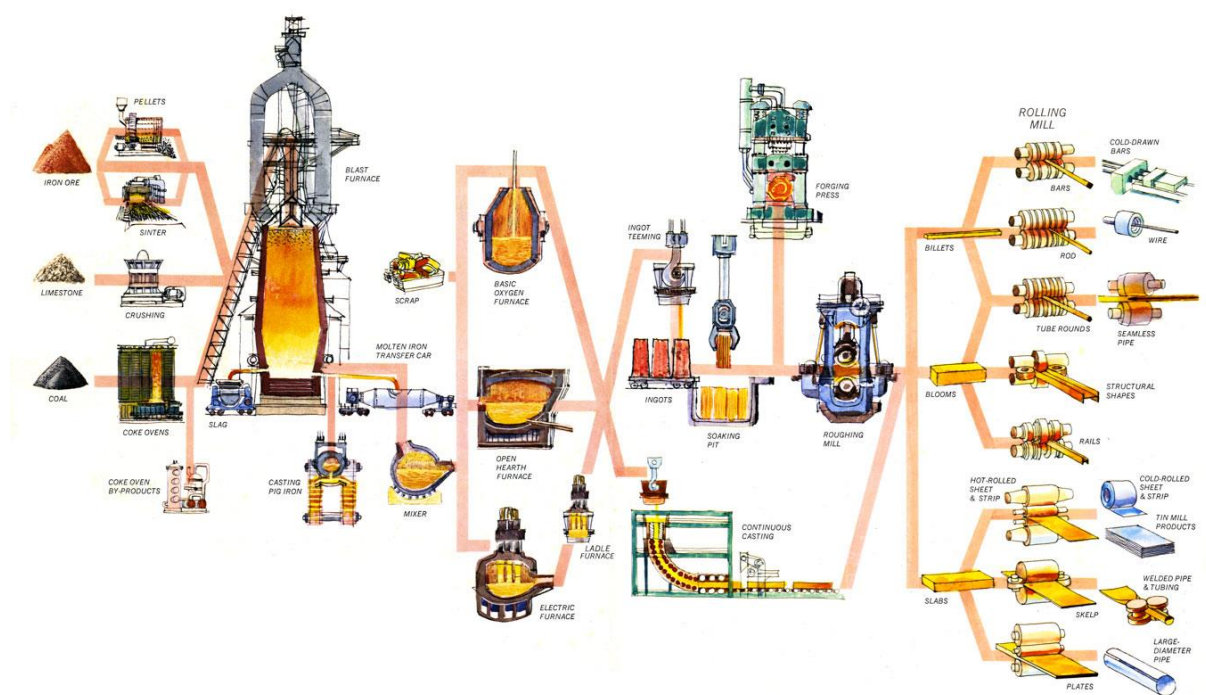
Per l'acciaio, il processo parte dalla fornitura di materia prima, che può essere materiale vergine (ferro e carbonio sottoforma di minerali) oppure di

scarto (acciaio riciclato, proveniente dalla discarica). Tali materiali sono trasformati in acciaio in un macchinario chiamato altoforno, il quale li fonde ad elevate temperature (circa 2000°C) per produrre ghisa, che ha un contenuto di carbonio di circa il 3%.

Ottenuta la ghisa, il carbonio deve essere ridotto sotto la soglia del 2,11% (per avere l'acciaio) tramite insufflazione di ossigeno in un forno separato. Dopo aver ottenuto l'acciaio (eventualmente legato ad altri elementi) si effettua la colata continua che produce un semilavorato a sezione rettangolare (spesso chiamato bramma), che viene quindi lavorato in continuo tramite laminazione per raggiungere lo spessore adeguato.

Al termine di questa fase, il blocco continuo è tagliato nella lunghezza desiderata e di qui in poi si procede come nell'industria di prodotto: il pezzo subisce lavorazioni meccaniche come la forgiatura o la tornitura, per raggiungere la forma definitiva.

Nella figura (3.3) è riassunto graficamente l'intero processo produttivo, dalla materia prima al prodotto finito nelle varie forme.



https://steelmuseum.org/steelmaking_exhibit_2016/steelmaking_process.cfm (3.3)

Come si evince dalla sequenza di operazioni illustrata, la gestione della sostenibilità è più focalizzata rispetto all'industria di prodotto: la principale problematica per l'acciaio è il riciclo dei materiali usati, come dimostra il sempre più comune utilizzo di forni ad arco elettrico al posto degli altiforni, i quali riescono a fondere l'acciaio usato a temperature inferiori a quelle usate nell'altoforno, oltre ad utilizzare energia elettrica al posto del carbone (che alimenta l'altoforno, il quale necessita sia di alte temperature dalla sua combustione che di carbonio per il processo stesso che ospita).

Il lavoro [14] analizza, per vari materiali (tra cui l'acciaio), l'implementazione di strategie dell'economia circolare (in particolare, delle R strategies) nell'intero ciclo di vita del materiale.

Tra gli strumenti di fondamentale importanza nell'industria di processo c'è il cruscotto di indicatori (KPI), che permette di tenere sotto controllo tutti i parametri fisici e tecnici delle varie operazioni: la temperatura della ghisa nell'altoforno, la quantità di carbonio all'uscita dall'insufflazione, lo spessore della bramma al completamento della solidificazione del materiale, ecc... Anche l'industria 4.0 gioca un ruolo fondamentale nella produzione dell'acciaio, in quanto tutte le operazioni sono automatizzate e producono un grande quantitativo di dati, il che rende strumenti come la robotica o il cloud computing e big data di grande importanza strategica. Tutte queste opzioni permettono di aumentare l'efficienza dei processi e ridurre gli sprechi, con conseguente incremento di sostenibilità della produzione.

3.4 - Industria progetto (costruzioni)

Le industrie di progetto sono quei settori economici che lavorano su prodotti singoli, spesso di altissima complessità, le cui lavorazioni richiedono un team di persone con compiti diversi che convergono per raggiungere un obiettivo unitario.

Il settore delle costruzioni di edifici residenziali, commerciali ed industriali è una industria di progetto, poiché il prodotto su cui lavora ha una elevata complessità, è unico e richiede molte categorie differenti di lavoratori (ingegneri, architetti, designers, muratori, elettricisti, idraulici, ecc...), le quali lavorano a livelli diversi di dettaglio per l'obiettivo unico che è la costruzione dell'edificio.

Rispetto alle industrie di prodotto e di processo, le possibilità di miglioramento in ambito sostenibilità sono contenute, in quanto nelle

industrie di progetto il fattore umano è l'elemento principale, mentre i processi produttivi sono ridotti al minimo (o comunque fanno parte di altre industrie, come per esempio la produzione di armature del cemento che è parte dell'industria dell'acciaio, la quale fornisce i prodotti già pronti all'industria delle costruzioni).

Nonostante ciò, alcuni ambiti di sostenibilità connessi alle industrie di progetto sono comunque importanti: è il caso della sostenibilità sociale, ossia del corretto inquadramento professionale dei lavoratori che si dedicano alla lavorazione e del rispetto dei vincoli comunitari (soprattutto per quanto concerne la pratica di costruzioni abusive). Anche la sostenibilità dei materiali edilizi è un tema di crescente importanza: lo sviluppo di innovative soluzioni per il cemento, come ad esempio il calcestruzzo green (che permette sia di effettuare un riciclo di materiali inerti da demolizione che una riduzione di emissioni di CO₂ e di consumo di materiali vergini).

Lo studio [15] mette in relazione l'industria dell'acciaio con quella delle costruzioni: esso fornisce delle linee guida su come implementare l'economia circolare nel settore delle costruzioni tramite il riuso diretto (cioè senza ulteriori lavorazioni) delle strutture in acciaio ottenute da edifici demoliti.

3.5 - Applicazioni profumeria

3.5.1 - Introduzione e concetti fondamentali

Come ulteriore esempio applicativo della circular economy, si analizza il ruolo della profumeria: benché sia un ambito avulso dalla tipica produzione industriale, è uno dei settori in più forte espansione nella società contemporanea (con tassi di crescita che variano tra il 10% ed il 50%, in base al settore specifico di profumeria considerato), nonché una sintesi di molti processi e mercati dell'industria. In particolare, le tre tipologie di produzione già trattate (processo, prodotto e progetto) sono tutte presenti nella profumeria.

Nello sviluppo di un profumo, che può essere visto al pari di qualsiasi altro prodotto industriale, si segue una catena di processi più o meno standardizzati, benché la componente creativa sia di fondamentale importanza per tale bene.

Anzitutto, un profumo è sviluppato da un esperto, cosiddetto "naso", il quale segue una serie di indicazioni puntuali fornite dal marchio (o "brand") che ne commissiona lo sviluppo, come ad esempio la tipologia ("famiglia") olfattiva o l'uso di alcuni materiali particolari (spesso i nasi sono sotto contratto con case essenziera, le quali sviluppano molecole ed aromatici proprietari, che vengono forniti ai nasi per lo sviluppo dei profumi).

Dopo aver sviluppato molteplici formule alternative, e in seguito alla scelta da parte di un board/panel della formula migliore, si procede a mettere in produzione il profumo: tale step è quello tipico dei prodotti in serie, in cui vari componenti vengono assemblati insieme per produrre un pezzo finito (nel caso dei profumi, i componenti di una ipotetica distinta base sarebbero la bottiglia, il packaging esterno, l'alcool ed il concentrato, ossia la miscela di aromatici che compone il vero e proprio profumo).

Come visto, si possono distinguere tutte e tre le tipologie di produzione: la produzione di aromatici e molecole si basa su una produzione per processo, in cui a partire da piante, resine, fiori ed altri elementi naturali o sintetici, si ottiene un liquido finale in cui è indistinguibile una parte dal tutto, mentre la produzione dei profumi è una classica produzione in serie, ed infine lo sviluppo del profumo da parte del naso e del board del brand che lo commissiona è una produzione su progetto (spesso, la formula di un profumo è di proprietà della casa essenziera, che prende anche parte a scelte artistiche con il naso, anche se tecnicamente non è possibile "brevettare" una formula secondo la legislazione attuale).

3.5.2 - Relazione tra marketing e sostenibilità nella profumeria

Una delle classificazioni più utilizzate per separare le tipologie di profumi è la seguente:

- profumi commerciali (di solito disponibili comunemente in molte profumerie),
- profumi artistici (o di nicchia, che hanno minore disponibilità e prezzo relativamente superiore, oltre ad una tipica qualità migliore),
- profumi vintage (prodotti fuori produzione o prodotti almeno un decennio fa, ricoprono una fetta piccolissima del mercato globale dei profumi e non sono di interesse nella trattazione seguente, essendo per definizione dei prodotti non "producibili").

Essendo il profumo un prodotto tipicamente costoso, non essenziale e la cui scelta da parte dei clienti finali segue criteri prevalentemente emozionali (in modo simile, ad esempio, ai gioielli o ai viaggi), si evidenzia come il marketing giochi un ruolo fondamentale nella percezione dei clienti: è comune, soprattutto per i profumi artistici, vedere campagne pubblicitarie che assomigliano più al marketing di prodotti di alto lusso (supercars, orologi, alta moda, ecc...) piuttosto che ad accessori, mentre i profumi commerciali seguono una logica più incline a quella dei prodotti di largo consumo.

Tale separazione è importante per capire quali logiche commerciali e quali prospettive di sostenibilità si hanno per entrambi i segmenti da considerare: lo sviluppo di un profumo dall'idea al prodotto finito è, infatti, pervaso dai concetti di sostenibilità, sia a scopo commerciale che di esigenza legislativa.

L'ente regolatorio dei profumi si chiama IFRA (International Fragrance Regulation Agency), che decide a cadenza annuale quali molecole o aromatici possano o meno essere usati nei profumi (oltre che altri prodotti di bellezza), ed in quale percentuale sul volume del prodotto finito: tra i vari motivi di ritiro ("ban") o riduzione ("restriction") di un materiale c'è proprio una questione di sostenibilità, poiché alle continue analisi effettuate potrebbe risultare che un materiale ha effetti negativi sul pianeta o su un certo ecosistema (è il caso dello ylang ylang, ad esempio, la cui legislazione è andata crescendo dopo che il principale paese produttore, il Madagascar, ha visto mettere in atto dalle case essenziere europee numerose tecniche di coltivazione che danneggiavano l'ecosistema dell'isola). Lo studio [16], ad esempio, valuta vari materiali tramite analisi LCA e altri innovativi strumenti di chimica "green": si considerano sia le rese che i vari metodi di estrazione possibili.

Oltre a questo aspetto legislativo, di basso interesse per i marchi, l'utilizzo della sostenibilità come chiave di marketing è fondamentale per influenzare la percezione dei clienti verso il prodotto: un esempio eclatante è l'implementazione dei "refill", ossia delle ricariche, e l'indicazione della percentuale di elementi naturali nel prodotto.

La sostenibilità come marketing gioca un ruolo prevalentemente psicologico, in quanto, ad esempio, la quantità di profumo venduto come ricarica è molto inferiore rispetto ai "primi flaconi", e la percentuale di

naturali utilizzati nel prodotto non considera solo il "concentrato", ossia la miscela di molecole aromatiche ed oli, ma anche lo stesso alcool di diluizione (percentuali tipiche di alcool in volume sono 80/85% nei profumi moderni), che essendo ottenuto tramite metodi naturali (ad esempio, dalla fermentazione del grano o di altri cereali) può essere indicato legalmente come elemento naturale, benché la comune percezione del cliente su cosa sia naturale si riferisca solamente al profumo, ossia strettamente il "concentrato" (escludendo quindi l'alcool).

Un altro caso di errata comprensione da parte del cliente riguarda la maggiore sostenibilità di aromatici naturali (visti anche come più sicuri per l'utilizzo): le molecole di sintesi sono generalmente più sostenibili, in quanto ottenute spesso da scarti o da materie prime di minor impatto ambientale, e solitamente più sicure per l'applicazione (gli oli essenziali contengono decine o centinaia di molecole, che variano tra lotti diversi, rendendo un'omologazione più difficile per i test di sicurezza).

Un'ottima fonte di informazioni a riguardo è lo studio [17], in cui viene condotta un'analisi sperimentale su vari soggetti che valutano "alla cieca" alcune fragranze (ci si riferisce qui, con il termine "fragranze", agli aromatici) di origine naturale e sintetica: il risultato mostra che non esiste, nella percezione umana, alcuna differenza tra elementi naturali e sintetici, con ovvie ripercussioni sulla formulazione di fragranze (in altri termini, un profumo può essere percepito come naturale anche se è completamente sintetico, il che permette di ricreare in modo artificiale aromatici di bassa sostenibilità con metodi più sostenibili).

Il caso più famoso di materiale sintetico che apporta notevoli miglioramenti rispetto all'equivalente naturale è l'Ambroxan (sviluppato nel 1950 da Firmenich, ma entrato in tendenza solamente a inizi Duemila per ragioni dovute alle preferenze da parte dei clienti), molecola ambrata utilizzata come fissativo e replacer sintetico della costosa, rara e decisamente meno sostenibile ambra grigia, ottenuta dal capodoglio: l'Ambroxan è ottenuto, in genere, dalla salvia sclarea, ed ha un costo di circa 0,5€ al grammo (contro i 30€ al grammo dell'ambra grigia, più variabile essendo un prodotto naturale).

3.5.3 - La produzione di agarwood ed olio di oudh

Un esempio molto comune di produzione di materie prime per la profumeria, che riguarda non solo la sostenibilità ambientale ma anche quella sociale, è il caso dell'agarwood, o legno di oudh: esso è una resina vegetale, ed è il materiale naturale più costoso nel mondo della profumeria. La domanda da parte della profumeria è aumentata esponenzialmente negli anni '10 di questo secolo dopo l'introduzione sul mercato di varie fragranze che contenevano tale resina esotica.

L'agarwood si ottiene da alberi del genere *Aquilaria* (principalmente, ma in misura minore anche *Gyrinops*) che sono infettati da muffe nella parte del durame (la sezione più interna del tronco). A seguito dell'attacco di muffe, il legno sviluppa delle pseudo-resine, dalla consistenza legnosa ma di colore nero: si tratta dell'agarwood, una materia utilizzata fin dall'antichità come incenso (viene bruciato tipicamente nei rituali spirituali da varie religioni asiatiche).

L'immagine (3.4) illustra degli alberi della specie *Aquilaria* nel loro ambiente naturale.



<https://iberchem.com/ingredient-profile-agarwood-oud/> (3.4)

La figura seguente (3.5) mostra, invece, una sezione del tronco appena tagliato. Si evidenziano, in tale immagine, due parti ben distinte della sezione: una parte scura (l'agarwood vero e proprio) ed una parte chiara (detta buoya, o oudh bianco, poco odorante, deve essere separato manualmente dalla parte scura in quanto di basso pregio rispetto all'agarwood).



<https://dadvanceagarwoodsolutions.com/malaysia-famous-agarwood-oil/>

(3.5)

La figura (3.6) illustra, quindi, l'agarwood separato dal buoya: tale legno è utilizzato per fumigare gli ambienti nelle comunità Mediorientali oppure per distillare il pregiato olio di oudh, raffigurato nella successiva figura (3.7).



<https://www.sacredperfume.com/product/agarwood-chips-natural/>

(3.6)



<https://oudhrafan.com/products/vintage-a-grade-hindi-oud-oil?variant=42105165250781> (3.7)

Per poter sviluppare agarwood, gli alberi devono avere un'età minima di 10/15 anni (dipendente dalla sotto-specie dell'albero, ad esempio Aq. Agallocha, Aq. Sinensis, Aq. Crassna, ecc...), e impiegano non meno di 5 anni per raggiungere la piena maturazione della resina (che quindi può essere estratta per impieghi di profumeria). A seguito della raccolta dell'agarwood, si ottiene l'olio essenziale tramite distillazione in acqua o estrazione in CO2 supercritica (processo caratteristico della produzione cinese).

Nella figura (3.8) è raffigurato l'impianto di distillazione (con tecnica hydro): il meccanismo di funzionamento è molto simile all'impianto di produzione di energia elettrica tramite vapore (solamente con un circuito "aperto").

Tra le varie parti dell'impianto si notano la fornace (in basso, dove si carica il legno per la combustione, tipicamente lo stesso buoya dell'Aquilaria scartato in precedenza), il serbatoio di materiale (in argilla, dove è contenuta l'acqua e l'agarwood da distillare), la colonna di acciaio in cui fluiscono i vapori uscenti dal serbatoio ed il collettore (in alto a destra, in acciaio), che raccoglie il vapore per condensarlo. Dalla condensazione si ottengono due fasi distinte: l'olio di oudh e l'idrosol, che contiene le molecole idrosolubili estratte dal vapore. Nell'immagine (3.9) è presente un ingrandimento del collettore (qui in vetro), che mostra chiaramente le due

fasi separate (l'oudh è il liquido marrone in alto, essendo l'olio meno denso dell'acqua).



<https://indicanaoud.com/pages/about-indicana-oud> (3.8)



<https://www.ensaroud.com/blog/what-is-agarwood-oud-oil/> (3.9)

Gli alberi del genere *Aquilaria* crescono solo in Asia (regioni tipiche sono l'India e la Cambogia, ma anche Myanmar, Malesia, Cina, Borneo e Indonesia sono importanti produttori): essendo tutti paesi in cui la legislazione è carente ed i diritti umani minori rispetto ai paesi occidentali, il mercato dell'agarwood rimane poco regolamentato, malgrado l'elevatissima richiesta da parte delle case essenziere occidentali.

Nell'immagine (3.10) è illustrato gran parte dell'areale degli alberi di *Aquilaria* (in verde scuro), comprendente varie regioni dall'India a Papua Nuova Guinea.



<https://indicanaoud.com/blogs/oud-info/what-is-oud-learn-about-agarwood-and-agar-oil> (3.10)

Il materiale di qualità migliore è quello selvaggio (ottenuto cioè senza interferenza umana da alberi della foresta), ma è possibile la coltivazione della pianta, che viene opportunamente inoculata (puntellata di chiodi metallici imbevuti di sostanze che permettono lo sviluppo della resina) per l'estrazione dell'agarwood. Per indicazione, l'olio di oudh selvaggio ha un prezzo di circa 100€ al grammo, mentre quello di piantagione può scendere anche fino a 30€ al grammo (il secondo materiale più costoso è tipicamente la rosa, il cui olio essenziale è di circa 25/30€ al grammo).

L'agarwood selvaggio viene raccolto in maniera prevalentemente illegale da bracconieri che pattugliano le foreste, spesso inesplorate, alla ricerca di materiale da raccogliere (molti Stati hanno pene severe contro tali individui, ma spesso rimangono inapplicate). La produzione di agarwood selvaggio è evidentemente non sostenibile, in quanto comporta il deturpamento delle foreste (peraltro protette da trattati internazionali) e della biodiversità, nonché la riduzione delle riserve di tali alberi, alcuni dei quali hanno anche secoli di vita.

Visti i tempi lunghi per il processo di coltivazione, ed il minore valore economico dell'agarwood di piantagione rispetto a quello selvaggio, la coltivazione artificiale rimane prerogativa di grandi gruppi economici, che detengono quindi molto potere contrattuale nei confronti dei lavoratori, dei clienti e perfino degli Stati in cui ha luogo l'attività economica (che, come detto, sono principalmente poveri e/o corrotti).

A ragione di ciò, la produzione artificiale di olio di oudh è anch'essa poco sostenibile: intere foreste vengono disboscate per far posto ad alberi di Aquilaria. Inoltre, molte persone (essendo un processo altamente "labour-intensive") vengono sfruttate per produrre tale resina: sia per piantare gli alberi, che per puntellare il durame, raccogliere la resina, separare la resina dal legno inerte (non odorante), separare i pezzi di resina per qualità, distillare l'olio, ecc... Ne deriva che la sostenibilità della produzione di agarwood è molto bassa in qualsiasi ambito si consideri (sociale, ambientale, e spesso anche economica essendo un investimento rischioso a livello finanziario).

Nella figura (3.11) è illustrata una delle tante possibili pratiche per sviluppare artificialmente l'agarwood negli alberi di Aquilaria coltivati: si esegue un foro fino al durame, che permette di sviluppare le muffe necessarie all'agarwood.



<https://tramtue.vn/blogs/story-of-agarwood/what-is-artificial-agarwood-advantages-and-disadvantages-of-creation> (3.11)

Per ovviare a tale carenza, si citano tre esempi notevoli di soluzione:

- La coltivazione simbiotica della provincia di Assam (India), in cui l'albero di Aquilaria viene utilizzato come "shadow tree" (ossia per fare ombra) nelle piantagioni di tè, di cui tale regione è ricca. Ne consegue che la formazione di agarwood non è influenzata dalle attività umane, ma

avviene naturalmente come nel caso dell'oudh selvaggio (si parla, in gergo, di "backyard wild", ossia materiale tecnicamente selvaggio ma cresciuto su alberi piantati dall'uomo), quindi senza alcun deturpamento ambientale degli ecosistemi. Tale soluzione è particolarmente creativa poichè permette di ottenere agarwood (che, come detto, è un materiale particolarmente prestigioso) sostanzialmente come materiale di "scarto", o comunque come sottoprodotto delle piantagioni di té. Lo studio [18] tratta, tra gli altri, questo argomento.

- La convenzione CITES (convenzione internazionale sulle specie in via di estinzione), che ha stabilito delle norme per la produzione sostenibile dell'agarwood. Inizialmente applicato solo nel Laos, l'ente regolatore ha bandito nel 2022 la coltivazione della resina a seguito di pratiche scorrette da parte del Paese. Ciò nonostante, per svariati anni la produzione del Laos, benchè non particolarmente qualitativa, ha approvvigionato in maniera sostenibile numerose case essenziere europee. Ulteriori informazioni sul lavoro di CITES per l'agarwood possono essere trovate in [19], che contiene anche preziose informazioni sulla coltivazione dell'Aquilaria e sui metodi per ottimizzare (e quindi rendere più sostenibile) l'ottenimento dell'agarwood. Tale lavoro è uno dei lavori periodici realizzati dall'organizzazione per rendere più trasparente la produzione di agarwood.
- Le molecole di sintesi che servono come "replacers" sintetici dell'agarwood naturale. Ampia ricerca è stata fatta da parte delle case essenziere per giungere ad un replacer il più possibile realistico e sostenibile: l'esempio principe è Black Agar Givco (della casa Givaudan), utilizzato abbondantemente come sostituto della costosa resina.

3.5.4 - Applicazione della circular economy alla profumeria

L'applicazione degli strumenti della circular economy alla profumeria è varia, in quanto ci sono molteplici aspetti connessi alla sostenibilità. Anzitutto, le 4R sono tutte incluse in tale mercato:

- il reuse ed il recycle sono entrambi collegati al marketing verso i clienti, in quanto i refill dei profumi (reuse) ed il riciclo del flacone (recycle) sono visti come elementi ad alto valore aggiunto dai consumatori (cosiddetti "driver di mercato");
- il refurbishment è connesso all'attività di riformulazione dei profumi, ovvero l'atto di prendere una formula già utilizzata in passato ed

aggiornarla per il mercato moderno (dovuto all'evoluzione nella legislazione connessa alle materie utilizzabili, ai gusti di mercato, etc...);

- il remanufacturing è ampiamente utilizzato nella produzione di aromatici e molecole, in quanto le materie prime (fiori, piante, resine ed altro) vengono spesso utilizzati per molteplici processi "a cascata", in cui la prima estrazione è quella più ricercata (da cui si ricavano le molecole più costose dalla materia prima), mentre gli steps successivi permettono di ottenere prodotti di minor valore economico ma comunque utilizzabili dall'industria profumiera (è il caso dell'ylang ylang, che ha numerose sotto-estrazioni successive, o frazioni, in modo analogo alla raffinazione del petrolio).

Il riciclo e riutilizzo (recycle e reuse secondo le R strategies) dei flaconi o bottiglie di profumi è un argomento strettamente legato all'economia di tale settore.

In origine, i flaconi dei profumi erano bottiglie in vetro (o, più spesso, cristallo) con un tappo anch'esso in vetro che veniva utilizzato come applicatore del liquido contenuto nella bottiglia (il quale era molto più concentrato rispetto alle formulazioni attuali, cioè con meno etanolo nella formula, permettendo un utilizzo più simile ad un olio che ad una moderna eau de parfum). Nell'immagine (3.12) è raffigurata una bottiglia vintage Lalique.



<https://antique-collecting.co.uk/2022/02/24/sweet-success-for-150-lalique-perfume-bottles/> (3.12)

L'evoluzione del flacone ha seguito, principalmente, un'esigenza di portabilità del profumo, nonché una migliore funzionalità del prodotto: il vecchio flacone in bottiglia, non avendo un vaporizzatore, era meno pratico

per l'uso (i vaporizzatori a nappa sono un falso storico, essendo tale strumento relegato ad "accessorio" aggiuntivo per un ristretto numero di profumi, spesso prodotti su misura in maniera artigianale, ma mai commercializzato insieme a profumi in serie), inoltre il tappo non ermetico rendeva il prodotto non trasportabile. La figura precedente rende evidenti tali limiti di flessibilità rispetto ai flaconi moderni.

Solo a partire dal Secondo Dopoguerra, in particolare dagli Anni '70, si è iniziato ad implementare un vaporizzatore crimpato (cioè sigillato tramite un apposito macchinario al tappo del flacone), che permetteva una tenuta ermetica del liquido contenuto all'interno: ciò ha permesso di rendere il profumo un accessorio "da borsetta", di più facile applicazione e con quantitativi maggiori di etanolo (e quindi di ridurre il costo di produzione, essendo gli aromatici molto più costosi dell'alcool).

Tale evoluzione cruciale ha permesso ai profumi di diventare un prodotto di massa, con costi ridotti e facilmente accessibile anche alle fasce meno abbienti della popolazione. Essendo, però, avvenuta in un periodo storico in cui la sostenibilità era un argomento marginale, se non addirittura trascurato del tutto, si evidenzia come la sostenibilità si sia ridotta rispetto ai flaconi vintage: oltre ad utilizzare componenti di materiali diversi (plastica, metallo e vetro, rispetto al solo vetro della bottiglia vintage), la giunzione permanente tra bottiglia e vaporizzatore ha reso tali prodotti non riciclabili e non ricaricabili.

La figura (3.13) illustra un moderno flacone di profumo: si nota la crimpatura sul collo della bottiglia, che rende il flacone non riutilizzabile. Lo strumento in orizzontale a lato delle bottiglie è il cosiddetto "collo di crimpaggio", con cui viene crimpato il vaporizzatore tramite pressaggio idraulico.



https://www.3mbco.com/capping-machines/manual-crimping-machine_44.html (3.13)

In tempi più recenti, con l'esigenza, da una parte, di rendere più sostenibile la pratica produttiva e, dall'altra, di incrementare le vendite in un mercato ormai saturo, si è implementato il concetto di "refill", ossia la ricarica dei profumi: il flacone è stato, quindi, riadattato a tale scopo, utilizzando un vaporizzatore con giunzione filettata (a vite). Tale innovazione permette di svitare il vaporizzatore e separarlo dalla bottiglia, permettendo sia di ricaricare il profumo (risparmiando di produrre un'ulteriore bottiglia) che di riciclare a fine vita la bottiglia di vetro (il vaporizzatore non è, comunque, riciclabile, essendo composto da molti sotto-elementi in materiali diversi).

La figura (3.14) illustra la differenza tra collo filettato (a sinistra) e liscio (a destra, utilizzato per il crimpaggio).



<https://www.newhigh.com/blogs/news/threaded-vs-crimped> (3.14)

Lo studio [20] riporta alcune analisi LCA effettuate per confrontare la sostenibilità dei flaconi riutilizzabili con quelli ad uso singolo: in particolare, si nota come le bottiglie in vetro riutilizzabili, quali quelle utilizzate per i profumi, riescono a ridurre i grammi di CO₂ equivalenti (dovuti alla produzione del vetro) del 40% già dal primo riutilizzo rispetto alle bottiglie ad uso singolo (crimpate), e tale miglioramento è il più alto tra tutti i possibili materiali e formati presi in analisi dal testo. Inoltre, utilizzi multipli riducono ulteriormente le emissioni, fino ad un massimo dell'85% (già con 5 utilizzi si riduce ad un terzo l'emissione di CO₂ equivalente sull'intero ciclo di vita del prodotto).

Oltre alle 4R, anche i tools secondari possono trovare facile applicazione alla profumeria. Il più concreto tra gli strumenti è il metodo LCA, in quanto effettuare un Life Cycle Assessment permette di ricavare informazioni di sostenibilità sull'intero processo, dalla coltivazione della materia prima al riciclo dei flaconi, nonché numerose informazioni connesse all'efficienza

dei sistemi produttivi (si sottolinea come ci siano sostanzialmente due elementi da valutare, cioè la produzione degli aromatici e la produzione del "prodotto profumo", ovvero tutto ciò che è connesso alla coltivazione, movimentazione ed estrazione delle materie prime e tutto ciò che è connesso all'imbottigliamento, spedizione e vendita delle bottiglie di profumo).

Una materia prima che è ampiamente oggetto di analisi per quanto riguarda le pratiche di produzione sostenibile, con relativa implementazione della circular economy, è la rosa: essendo un fiore fragile, deve essere estratta dove viene coltivata, ed inoltre ha una resa bassissima (pari a circa 0,02%, cioè per estrarre 1 grammo di olio essenziale sono necessari circa 3,5 chili di fiori, ovvero circa 30 fiori per ogni goccia).

La rosa subisce numerose estrazioni successive (utilizzando cioè il concetto del remanufacturing): viene utilizzata prima per estrarne il prezioso olio essenziale (anche detto otto), quindi ridotta in concreta con estrazione in solvente (tipicamente si utilizzano solventi apolari, ad esempio l'esano), poi da tale concreta si estrae l'assoluta tramite lavaggio in etanolo e si utilizza la parte rimanente come materiale solido per profumare saponi ed altri prodotti a costo ridotto.

Lo studio [21] si occupa di analizzare le opportunità di una coltivazione sostenibile di rosa damascena in Bulgaria (il principale paese coltivatore di tale materiale): i risultati mostrano che implementare le biomasse (di scarto, al termine dei processi estrattivi) permette di aumentare i guadagni per le imprese che coltivano rose, nonché ovviamente aumentare la sostenibilità dell'intero ciclo produttivo poiché ci si avvicina ai concetti dell'economia circolare (riciclo di materiale di scarto).

In particolare, produrre biomasse dal materiale di scarto ha un elevato costo iniziale (dovuto agli investimenti sui macchinari), ma essendo il costo manuale per raccogliere rose molto alto, conviene investire il più possibile su un utilizzo totale della materia prima (aumentando, cioè, il ritorno per ettaro coltivato), piuttosto che ingrandire la coltivazione: i dati di un'impresa modello mostrano come coltivare meno e sfruttare di più il materiale ottenuto possa addirittura permettere di passare da profitti negativi ad un ROS (return on sales) del 30%.

Nello studio [22], invece, si analizza un LCA relativo alla produzione di olio essenziale di rosmarino, per valutare l'emissione di carbonio (CO₂) ed il

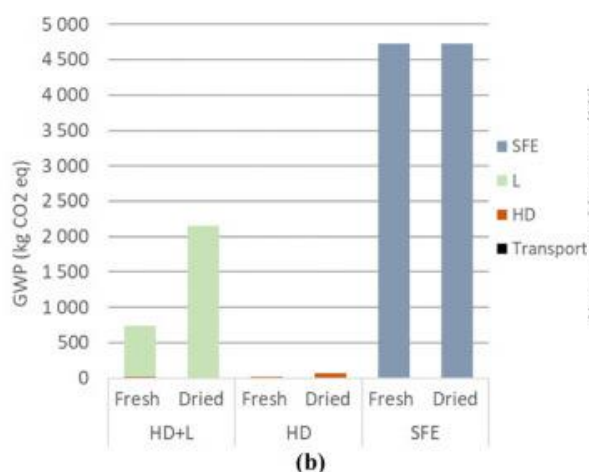
consumo energetico dalla coltivazione della materia prima all'estrazione dell'aromatico: in particolare, si analizzano tre casi, cioè l'estrazione in CO₂ supercritica (SFE), la distillazione in acqua (idrodistillazione) e la combinazione di idrodistillazione e liofilizzazione per ottenimento multiplo dell'olio essenziale.

Come è lecito aspettarsi, i risultati del testo mostrano la prima opzione come la più energivora, dato che il processo utilizzato per creare e mantenere la superfluidità della CO₂ richiede molta energia, mentre il processo ibrido si colloca a metà degli altri due.

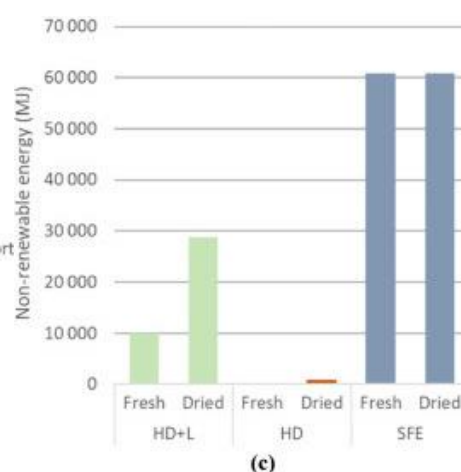
Il Global Warming Potential (GWP), connesso all'emissione di CO₂ equivalente nel processo, è maggiore per l'estrazione SFE e minore per l'idrodistillazione, che è da considerarsi come il metodo prediletto per estrarre tale olio essenziale (in altre parole, i vantaggi di resa del metodo ibrido non compensano l'energia richiesta e l'aumento delle emissioni rispetto all'idrodistillazione semplice).

Per ogni grammo di alfa-pinene (molecola chiave di tale olio essenziale), i valori di kg CO₂ equivalente sono circa 4500 per la SFE, variabili in base alla quantità d'acqua per il processo ibrido (circa 2000 per il materiale secco e 700 per quello fresco) e quasi nulli per l'idrodistillazione.

Nelle immagini (3.15) e (3.16) sono illustrati, rispettivamente, l'energia consumata ed il GWP dei tre metodi descritti, in relazione ad 1 grammo di alfa-pinene.



(immagini tratte da [22]) (3.15)



(3.16)

Utilizzare la quantità di alfa-pinene al posto della quantità di olio essenziale permette di rendere il confronto più generale, poiché ogni metodo ne estrae un quantitativo diverso (come detto, è proprio tale molecola quella che caratterizza l'odore dell'olio essenziale di rosmarino): questo metodo è comune nel confronto tra fonti diverse di aromatici (metodi di estrazione diversi, regioni diverse, piante cresciute in maniera diversa, ecc...), in quanto spesso un aromatico naturale è caratterizzato da una (o comunque poche) molecole, benché lo spettro completo di un aromatico possa contenere fino a 500 molecole diverse.

3.5.5 - Sviluppo di un profumo secondo l'economia circolare

Come detto, il profumo può essere considerato come un prodotto di massa (sia i profumi commerciali che di nicchia hanno volumi di produzione tali da giustificare una produzione in serie): in quanto bene di consumo, è possibile applicare all'intero processo di sviluppo e produzione le numerose teorie della sostenibilità, e della circular economy, elencate in precedenza, per ottenere quanto più possibile un prodotto sostenibile.

Anzitutto, lo sviluppo del profumo da parte del naso dovrebbe utilizzare, per quanto possibile, aromatici di derivazione sostenibile, per consentire che l'impronta ecologica delle coltivazioni ed estrazioni sia limitata.

Un esempio di ciò sono gli aromatici Jungle Essence sviluppati da MANE, azienda leader nel settore degli aromatici sostenibili: la tecnologia consiste nell'effettuare un'estrazione in-loco di un particolare aromatico (ad esempio, inserendo delle bacche di pepe in un apposito macchinario portatile), che serve poi ad ottenere lo spettro (insieme delle molecole) di tale aromatico, per poi sintetizzare in laboratorio in grandi volumi una ricostruzione di tale materiale: ciò permette di ridurre notevolmente l'impronta ecologica e sociale delle coltivazioni, in quanto la ricostruzione sintetica si basa su molecole tipicamente ottenute da sotto-prodotti di scarto (come ad esempio il già citato Ambroxan dalla salvia sclarea), e quindi più sostenibili.

Nella figura (3.17) è rappresentato lo strumento portatile, con il serbatoio in basso (che contiene la materia prima, in tal caso pepe di Timur) e l'estrattore a vapore in alto (che raccoglie anche l'aromatico estratto, in tal caso olio essenziale).



<https://www.mane.com/innovation/jungle-essence> (3.17)

Un altro accorgimento fondamentale per la sostenibilità durante lo sviluppo di un profumo sono le considerazioni sulla variabilità degli aromatici tra profumi diversi: essendo, spesso, necessario sviluppare molteplici profumi per l'intera linea del marchio (di solito, tra 5 e 10 profumi diversi), è buona norma per il profumiere utilizzare una base comune tra i vari profumi, il che permette sia di ridurre i costi, approfittando delle economie di scala (in quanto è possibile ordinare quantitativi maggiori di uno stesso aromatico), ma anche di ridurre lo sfruttamento di risorse naturali (poiché sono necessari meno aromatici diversi per produrre un profumo).

Sviluppata la formula per un determinato profumo, si procede a produrre il prodotto: in tale fase, è necessario ridurre al massimo il consumo di risorse, anche in vista delle fasi successive.

Buone pratiche di produzione consistono nell'utilizzare una bottiglia in vetro filettato (che è quindi ricaricabile), utilizzare un packaging sostenibile (ad esempio, in cartone), sviluppare processi produttivi che permettano di ottimizzare l'utilizzo delle materie prime durante l'estrazione degli aromatici (è il caso dell'esempio già citato della rosa, che può fornire numerosi aromatici diversi) e, se possibile, ridurre l'impatto sulle comunità locali (sia in termini di diritti dei lavoratori che di sfruttamento del suolo). L'uso

dell'Industria 4.0 e dei KPI per monitorare i processi produttivi sono essenziali per poter produrre in modo sostenibile, sia per la produzione di aromatici che per l'imbottigliamento dei profumi.

Da non sottovalutare, inoltre, il ruolo che svolge la logistica nella produzione di un profumo: le materie prime sono coltivate in ogni Paese del mondo, e sarebbe buona norma estrarre l'aromatico in-locò (per evitare di dover trasportare la materia prima, che essendo molto più voluminosa inquina di più nel trasporto).

Nell'immagine (3.18) è raffigurata la coltivazione di ylang ylang nelle Isole Comoros da parte dell'azienda Givaudan, una delle più longeve realtà tra le case essenziere (fondata a fine Ottocento in Svizzera): è da vari decenni che tale azienda sostiene le comunità locali per coltivare ed estrarre questa materia prima, fornendo un essenziale supporto ai cittadini dell'isola tropicale.



<https://www.givaudan-foundation.org/projects/comoros-ylang> (3.18)

Inoltre, essendo i profumi inscatolati spediti in molteplici Paesi diversi, ottimizzare la logistica è fondamentale per ridurre l'impronta ecologica

(grammi di CO2 equivalente) del trasporto: tale considerazione è cruciale nello stabilire dove collocare i siti produttivi ed i magazzini dei prodotti finiti.

Una volta venduto il prodotto finito al cliente, per incrementare la sostenibilità del post-utilizzo è possibile offrire un supporto (ad esempio, uno sconto) in cambio di prodotti utilizzati da parte dei clienti, come ad esempio le bottiglie crimpate, che riduce gli sprechi produttivi, in quanto le bottiglie vengono riciclate da aziende specializzate.

Un esempio concreto di marchio che segue in modo completo tutte le linee guida dell'economia circolare è Essential Parfums, fondato da Géraldine Archambault nel 2018: esso si colloca nel settore dei profumi di nicchia, benchè il pricing sia più simile a quello dei profumi commerciali (circa 90€ per 100 ml, in confronto ad una media che è quasi il doppio per altri profumi di nicchia, a pari quantità di prodotto).

La strategia del brand consiste nell'offrire un profumo che sia sostenibile sull'intera filiera del prodotto: il profumo è composto da materie prime di origine sostenibile, ottenute da comunità locali che sono ben retribuite (per avere, quindi, anche una sostenibilità sociale), ed è contenuto in un flacone ricaricabile (le ricariche sono fornite in bottiglie di alluminio, per incentivare ancora di più la riciclabilità delle confezioni). A sua volta, il flacone è inserito in un packaging di cartone, riciclato e completamente riciclabile.

Tutto ciò permette di avere una proposta coerente nei confronti dei clienti, i quali possono verificare personalmente il "commitment" del marchio nei confronti della sostenibilità: è, infatti, un elemento fondamentale quando si parla di sostenibilità avere una credibilità nei confronti del mercato, nel senso di affrontare il tema in maniera totale e non semplicemente di facciata, come nel caso del cosiddetto "greenwashing".

In figura (3.19) è illustrata un'immagine di un prodotto del brand con la sua confezione. Si nota l'indicazione di "90% naturale" sulla confezione: anche considerando l'etanolo nella percentuale, tale valore rimane di molto superiore alla media del settore.



<https://www.essentialparfums.com/en/our-commitments> (3.19)

Si sottolinea come il ricorso ad una sostenibilità concreta (e non solo percepita, cioè come leva di marketing verso il cliente) sia fonte di un notevole vantaggio competitivo per il marchio, il quale può permettersi di vendere un prodotto comparabile a quello della concorrenza ma a prezzi notevolmente inferiori (come detto, a circa la metà del prezzo medio).

Il netto successo del brand, che propone profumi ideati da alcuni tra i più grandi nasi contemporanei (Bruno Jovanovic o Quentin Bisch, per citarne alcuni), è dimostrato dalla notevole crescita economica del marchio e dalla sempre più ampia distribuzione nei negozi: solo in Italia ci sono circa 100 negozi che propongono profumi di Essential Parfums (secondo dati del marchio) ed oltre 500 nel mondo. Il profumo “Bois Impérial” (Quentin Bisch) di tale marchio è tra i best-sellers di molteplici profumerie, a dimostrazione che anche con un approccio sostenibile è possibile competere con marchi meno sostenibili.

A seguito del successo di questo brand, capostipite della sostenibilità nel mondo della profumeria di nicchia, molti altri marchi hanno iniziato ad implementare soluzioni più sostenibili per i loro prodotti, comportandosi da cosiddetti “follower di innovazione”: si citano, ad esempio, i marchi Naomi Goodsir (packaging in cartone e flacone filettato), Hiram Green (tappo in legno e packaging in cartone) oppure Andy Tauer (packaging in cartone e materie prime più sostenibili).

5 - CONCLUSIONI

Come visto, la sostenibilità è un concetto complesso nelle sue applicazioni industriali, e ci sono notevoli aspetti da considerare quando si parla di questo argomento.

Anzitutto, è stato analizzato il percorso storico della sostenibilità, e come si sia giunti ad un approccio circolare (da cui "circular economy") alla produzione industriale. A sua volta, la circular economy è sia un golden standard, ossia un elemento imprescindibile per poter innovare in azienda, sia un oggetto di marketing, spesso utilizzato più come forma che come sostanza: bisogna, quindi, utilizzare un approccio metodico all'economia circolare, che faccia uso di strumenti standardizzati e ben collaudati.

Tali strumenti sono sostanzialmente di due tipi: quelli che permettono di descrivere i sistemi analizzati (ossia le 4R, reuse, recycle, remanufacture, refurbish), consentendo di delineare un percorso di analisi, e quelli che permettono di misurare ed agire sui sistemi (ovvero i KPI, la customer assessment, il LCA, ecc...), che consentono di agire sui sistemi e misurare gli effetti di tali azioni nel tempo.

Tra le tante possibilità di applicazione, sono stati presi in esame alcuni esempi significativi, come il settore dell'automotive, dell'acciaio e delle costruzioni, che hanno messo in evidenza la multidisciplinarietà dell'approccio alla sostenibilità fornito dalla circular economy: non essendo relegato a sistemi specifici, ma avendo un'applicabilità generale, lo strumento risulta molto potente. L'ulteriore esempio applicativo della profumeria dimostra come, in linea di massima, si possa analizzare praticamente ogni sistema produttivo con tali strumenti.

Come visto, la sostenibilità è uno dei temi più importanti nelle moderne società, e gli strumenti dell'economia circolare sono uno dei tanti modi per mettere in pratica tale argomento: ulteriori sviluppi possono riguardare le moderne tecnologie dell'Industria 5.0, in particolare l'intelligenza artificiale, ad oggi agli albori ma che offre interessanti prospettive per l'aumento di sostenibilità dei sistemi produttivi, come ad esempio un più preciso controllo della produzione ed una integrazione tra sistemi diversi (ad esempio, aziende o macchinari differenti potrebbero avere codici di comunicazione differente, che grazie all'utilizzo dell'intelligenza artificiale possono essere ricondotti ad un linguaggio comune).

Sebbene ad oggi il concetto di sostenibilità sia declinato più come un aspetto di marketing che come un qualcosa di concreto (vedasi, a tal proposito, il neologismo “greenwashing”, comunemente usato per descrivere una finta sostenibilità aziendale utile al solo scopo di incrementare i guadagni), la produzione industriale del futuro non potrà prescindere dal considerare il benessere del pianeta e delle persone.

6 - BIBLIOGRAFIA

[1] Theofilos Tzanidis, Domitilla Magni, Veronica Scuotto, Adhane Maalaoui, "B2B green marketing strategies for European firms: Implications for people, planet and profit", *Industrial Marketing Management*, Volume 117 (February 2024)

[2] Valentina Rotondi, Alice Noris, Emanuele Carpanzano, "Understanding sustainability perceptions: Insights from textual analysis and a survey experiment", *World Development Sustainability*, Volume 5 (Dicembre 2024)

[3] Enrico Cagno, Sandra Naomi Morioka, Alessandra Neri, Erivaldo Lopes de Souza, "Understanding how circular economy practices and digital technologies are adopted and interrelated: A broad empirical study in the manufacturing sector", *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 216 (April 2025)

[4] Filippou K. Zisopoulos, Brian D. Fath, Bruno Meirelles de Oliveira, Susana Toboso-Chavero, Hugo D'Assenza-David, Vitor Miranda de Souza, Hao Huang, Șerban Scriciu, O. Grant Clark, Dominik Noll, Simron Singh, Alexandros Stefanakis, Graham Boyd, Daan Schraven, Martin de Jong, "Towards an ecological metaphor for regenerative circular economies", *Ecological Economics* (May 2025)

[5] Peter Hirsch, Christian Schempp, "Categorisation System for the Circular Economy", *European Commission* (March 2020)

[6] Muhammad Ishaq, Ibrahim Dincer, "Life cycle assessment of turning hydrogen sulfide recovered from sea waters into clean hydrogen", *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 216 (April 2025)

[7] Mehrbakhsh Nilashi, Rabab Ali Abumalloh, Ooi Keng-Boon, Garry Wei-Han Tan, Tat-Huei Cham, Eugene Cheng-Xi Aw, "Unlocking sustainable resource management: A comprehensive SWOT and thematic analysis of FinTech with a focus on mineral management", *Resources Policy*, Volume 92 (May 2024)

[8] M. Imran Khan, Tabassam Yasmeen, Mushtaq Khan, Noor Ul Hadi, Muhammad Asif, Muhammad Farooq, Sami G. Al-Ghamdi, "Integrating industry 4.0 for enhanced sustainability: Pathways and prospects", *Sustainable Production and Consumption*, Volume 54 (March 2025)

[9] Laura Monferdini, Letizia Tebaldi, Eleonora Bottani, “From Industry 4.0 to Industry 5.0: Opportunities, Challenges, and Future Perspectives in Logistics”, *Procedia Computer Science*, Volume 253 (2025)

[10] Iliana Papamichael, Irene Voukkali, Pantelitsa Loizia, Marinos Stylianou, Florentios Economou, Ioannis Vardopoulos, Eleftheria E. Klontza, Demetris F. Lekkas, Antonis A. Zorpas, “Measuring Circularity: Tools for monitoring a smooth transition to Circular Economy”, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, Volume 36 (December 2023)

[11] Xavier Font, Luisa Andreu, Anna S. Mattila, Joaquín Aldas-Manzano, “Sustainability information overload: Its effect on customers’ greenwashing perceptions, perceived value, and behavioral intentions”, *Journal of Hospitality and Tourism Management*, Volume 62 (March 2025)

[12] Annas Vijaya, Johanne Paula Sophia Meisterknecht, Linda Salma Angreani, Hendro Wicaksono, “Advancing sustainability in the automotive sector: A critical analysis of environmental, social, and governance (ESG) performance indicators”, *Cleaner Environmental Systems*, Volume 16 (March 2025)

[13] Hiromu Oda, Hiroki Noguchi, Masaaki Fuse, “Review of life cycle assessment for automobiles: A meta-analysis-based approach”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 159 (May 2022)

[14] Ana T. Lima, Gunvor M. Kirkelund, Zheng Lu, Ruichang Mao, Wolfgang Kunther, Carsten Rode, Simon Slabik, Annette Hafner, Husam Sameer, Hans H. Dürr, Martina Flörke, Benjamin H. Lowe, Davide Aloini, Pierluigi Zerbino, Sofia G. Simoes, “Mapping circular economy practices for steel, cement, glass, brick, insulation, and wood – A review for climate mitigation modeling”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 202 (September 2024)

[15] Sivaganesh Selvaraj, Tak-Ming Chan, “Recommendations for Implementing Circular Economy in Construction: Direct Reuse of Steel Structures”, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 214 (March 2024)

[16] Patricia Martz, T. V. Tony Phan, Jacques L'Haridon, Marie-Hélène Beausoleil, Kévin Lafaye, Yves Gérard, Cyril Gallardo, “Environmental profile of the production of fragrance ingredients used in cosmetic products:

comparative analysis of results obtained by life cycle assessment and the green chemistry-based eco-design tool GREEN MOTION”, Green Chem of the Royal Society of Chemistry, Volume 25 (July 2023)

[17] Freideriki Michailidou, Angela Bearth, Constantin Deilmann, Michael Siegrist, “Scent and sustainability: investigating consumer evaluations of biocatalysis and naturalness in fragrances”, Food Quality and Preference, Volume 111 (October 2023)

[18] S. Ali, M.A. Kashem, “An overview on Growth and Development of Agar Plant (*Aquilaria malaccensis* Roxb) Through Management Practices in Bangladesh”, International Journal of Research in Agriculture and Forestry, Volume 6, Issue 7 (2019)

[19] Ian D. Thompson, Teckwyn Lim, Maman Turjaman, “Expensive, Exploited and Endangered”, ITTO Technical Series, Volume 51 (October 2022)

[20] Patricia Megale Coelho, Blanca Corona, Ernst Worrell, “Reusable vs Single-Use Packaging: a review of environmental impacts”, ReLoop Platform and Zero Waste EU (November 2020)

[21] Mariyana Shishkova, Boryana Ivanova, Rositsa Beluhova-Uzunova, Adelina Harizanova, “Opportunities and challenges for sustainable production and processing of *Rosa damascena* in Bulgaria”, Industrial Crops and Products, Volume 186 (15 October 2022)

[22] Bruna Moura, Helena Monteiro, Teresa M. Mata, António A. Martins, “Life cycle energy and carbon emissions of essential oil extraction from Rosemary”, Energy Reports, Volume 8, Supplement 3 (June 2022)

7 - RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Prof. Eugenio Brusa e la Prof.ssa Chiara Gastaldi per il prezioso supporto che ha reso possibile questo elaborato, nonché per la possibilità di poter esprimere al meglio ed al massimo me stesso.

Ringrazio anche tutti coloro che hanno contribuito in maniera sincera al lungo percorso che mi ha portato fin qui.