POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura – Costruzione Città

Tesi di Laurea Magistrale

LA PRODUZIONE DI UN TAVOLO IN LEGNO MASSELLO CON TECNICHE TRADIZIONALI: ANALISI DEL PROCESSO E PANORAMICA SUI PRODOTTI A BASE LEGNO.

Relatore
Ch. prof. Andrea Bocco

Candidato
Salvatore Satta
Matricola
208330

LA PRODUZIONE DI UN TAVOLO IN LEGNO MASSELLO CON TECNICHE TRADIZIONALI: ANALISI DEL PROCESSO E PANORAMICA SUI PRODOTTI A BASE LEGNO.

Da sempre, la figura dell'artigiano che plasma la materia lignea con il proprio lavoro, ovvero il falegname, viene percepita dalla società come colui che produce o riproduce diversi oggetti, dal perlinato al pavimento, dall'arredamento al serramento, ecc. Il concetto stesso di artigiano prescinde dalla produzione in serie, propria delle industrie, le quali si affidano a parametri *standard*, che rendono ripetibili le operazioni di un processo.

A causa di fenomeni ambientali (es. l'effetto serra) o economici (come l'abbattimento dei costi di produzione), nasce la necessità di trattare il legno e i suoi prodotti in maniera tale da ridurre il più possibile le emissioni di CO_2 e gli scarti di lavorazione. Questi ultimi, da cui non si può prescindere in qualsiasi processo produttivo che riguardi il materiale in questione, rappresentano una componente significativa rispetto al lordo; le prime, invece, sono proporzionali all'energia utilizzata durante tale processo.

Uno strumento che permette di monitorare emissioni e scarti è rappresentato da una sapiente progettazione, la quale consideri le quantità e le caratteristiche geometriche del materiale di cui si necessita; ciò dà vita a una figura intermedia, quella dell'artigiano consapevole, la quale è in grado di riprodurre qualsiasi oggetto, progettato da se stesso o non, avvalendosi comunque delle sue abilità manuali (le proprie *skills*) piuttosto che dell'uso di macchine a controllo numerico, le quali restituirebbero un prodotto privo di vita.

Per ottimizzare un processo produttivo può essere svolta una valutazione di ciclo di vita (LCA, o Life Cycle Assessment); tale analisi, a seconda dei processi e delle metodologie adottate, risulta utile per conoscere

quali processi siano più o meno impattanti sull'ambiente, fornendo indicazioni su come rendere più eco-efficiente il processo globale.

Inoltre, la LCA risulta fondamentale per stilare una EPD (*Environmental Product Declaration*), data la natura oggettiva dei dati ricavati. L'EPD, tradotta in italiano con "Dichiarazione Ambientale di Prodotto", rappresenta uno strumento per comunicare informazioni oggettive, credibili e confrontabili, per quanto concerne le prestazioni ambientali di prodotti e servizi.

Nel primo capitolo si descrive sinteticamente la LCA, le sue fasi e le metodologie utilizzabili.

Nel secondo capitolo si espone un caso pratico di campagna raccolta dati. Tali informazioni preliminari si riferiscono al processo produttivo di un tavolo in legno massello e risultano fondamentali per impostare un'eventuale valutazione di ciclo di vita di quest'ultimo.

Nel terzo capitolo si è proceduto esponendo una panoramica (ordinata seguendo il criterio della quantità di percentuale lignea contenuta) dei prodotti a base legno con i quali è possibile sostituire in parte il massello nella produzione del sopracitato tavolo, a discapito dell'ambiente e della salubrità.

CAPITOLO PRIMO

Life Cycle Assessment (LCA): FASI E CAMPI DI APPLICAZIONE

LCA è l'acronimo di *Life Cycle Assessment* (in italiano: Valutazione del Ciclo di Vita); rappresenta un valido strumento per analizzare l'impatto ambientale di un prodotto, di un'attività o di un processo.

Una LCA permette di sviscerare la complessità dell'intero ciclo di vita, fornendo la possibilità di individuare quali sono le fasi maggiormente impattanti e che necessitano di interventi; questo perché studia nel dettaglio ogni aspetto relativo a ciascun componente del prodotto. La LCA, quindi, può essere considerata una guida per il miglioramento dei prodotti esistenti e per la creazione di nuovi. Inoltre, i risultati della LCA possono essere adoperati al fine di confrontare prodotti simili, oppure diversi, ma con la medesima funzione, per richiedere certificazioni ambientali e per comunicare la prestazione ambientale del prodotto.

1. Aspetti pratici e normativi

La norma UNI EN ISO 14040:2006 (da ora in poi ci si riferirà ad essa semplicemente con "norma ISO 14040" ai fini di rendere più fluida la consultazione) definisce la LCA come una

> "[…] compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto."[1]

[1] G. BALDO, M. MARINO, S. ROSSI (2008), *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi,* Milano, Edizioni Ambiente, p. 61.

Applicare a un sistema industriale una valutazione del ciclo di vita volge lo sguardo all'efficienza del sistema in oggetto, a favore della salute dell'ambiente e dell'uomo e, altresì, verso il risparmio di risorse. La teoria si basa sulla definizione di "sistema industriale", qualificato dalla norma ISO come sistema di prodotti.

Una LCA può essere intesa come "analisi di processo" o come "analisi di prodotto".

Tale distinzione è fondamentale per non confondere l'analisi di ciclo di vita dei processi con un'analisi di ciclo di vita dei prodotti.

A tal proposito, bisogna fare chiarezza sulla differenza tra "sistema industriale", con cui si intende un insieme di procedure e la cui funzione principale è la produzione di beni utili, e il "sistema ambiente", con il quale è connesso e scambia input e output, pur rimanendo separato da esso da confini fisici. In questo caso, per ambiente si intende tutto ciò che non sta all'interno del sistema industriale oggetto di studio e non l'ambiente naturale.

Seguendo tale impostazione si può affermare che sui problemi di risparmio delle risorse intervengano gli input del sistema, mentre i problemi legati all'inquinamento siano influenzati dagli output.

Una LCA descrive la funzione del sistema che genera il prodotto e non il prodotto stesso; per elaborare un buono studio di LCA è fondamentale effettuare due operazioni chiave, ovvero definire la funzione del sistema industriale e i suoi confini.

Il modello che si utilizza è sempre una semplificazione della realtà: il motivo risiede nell'incompleta rappresentazione delle interazioni con l'ambiente, includendo solo quelle più significative.

Questa metodologia, dato che include la sfera della produzione, quella della distribuzione nonché quella dell'utilizzazione, risulta in teoria adatta per studiare, da altri punti di vista, l'interazione tra l'azienda, il consumatore e l'ambiente.

[Al giorno d'oggi] la struttura di una LCA, descritta dalla norma ISO 14040, risulta riassumibile in quattro momenti principali:

1. Definizione degli scopi e degli obiettivi: in questa fase vengono definiti le finalità dello studio, l'unità funzionale, i confini del sistema oggetto di studio, il fabbisogno e l'affidabilità dei dati, nonché gli assunti e i limiti;
2. Analisi di inventario: in tale fase si studia il ciclo di vita del processo o dell'attività; la sua finalità è quella di ricostruire il percorso attraverso il quale il fluire dell'energia e dei materiali permette al sistema produttivo di funzionare attraverso tutti i processi di trasformazione e trasporto;
3. Analisi degli impatti: nella terza fase lo studio si focalizza sull'impatto ambientale di cui il processo o l'attività è responsabile. Questa fase ha come obiettivo quello di mettere in evidenza l'entità delle modificazioni, avvenute in seguito ai rilasci in ambiente e ai consumi di risorse calcolati nell'inventario; è qui che avviene il passaggio dal dato oggettivo, ottenuto nella fase precedente, al giudizio sul grado di pericolosità per l'ambiente;
4. Interpretazione e miglioramento: questa fase conclusiva della valutazione di ciclo di vita ha l'obiettivo di produrre dei cambiamenti al fine di ridurre l'impatto ambientale procurato dai processi o dalle attività oggetto di studio, ricercando, attraverso una valutazione iterativa, solo le azioni attuabili che non peggiorino lo stato attuale. Questa fase di analisi rappresenta il punto di riferimento per il progetto di un nuovo prodotto o per gli interventi su un processo di produzione esistente; è facile intuire che, alla base di una buona campagna di valutazione, sia fondamentale un'appropriata disponibilità di dati e di informazioni necessarie allo sviluppo dei calcoli, potendo di volta in volta, revisionare quelli effettuati in precedenza, e procedendo

contestualmente con l'aggiornamento.

In sede di convegni e seminari si discute spesso di *steamlining*, altrimenti detta "LCA semplificata". La *steamlining* propone un corollario per velocizzare gli studi di LCA semplificando il sistema oggetto di studio; in tal senso

> "tale ottimizzazione, se intesa principalmente, in termini di tempo disponibile, è allora da intendersi come un utilizzo iniziale delle informazioni immediatamente disponibili ("LCA spedita") e di una successiva revisione nel momento in cui le informazioni mancanti diverranno disponibili."[2]

Al fine di gestire la mole di dati è necessario munirsi di strumenti informatici.

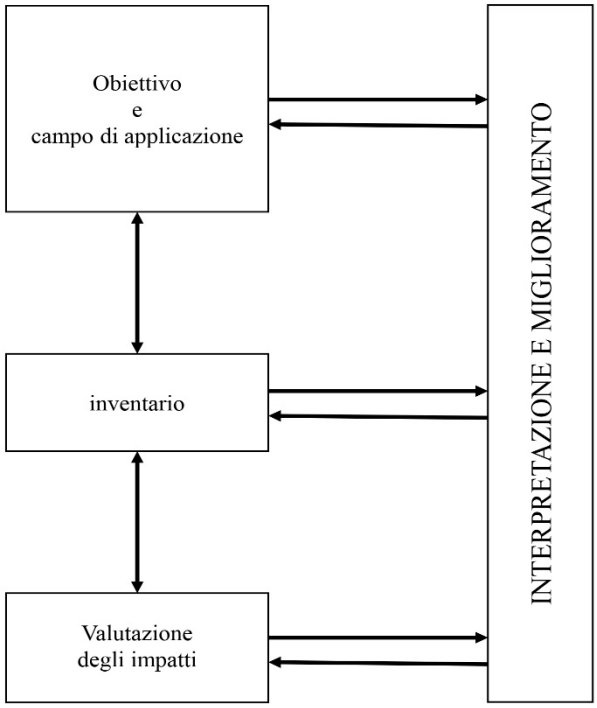

Fig.1 – Schema sulle fasi di una LCA.

1.1. Definizione degli scopi e degli obiettivi:

[2] *Ibidem* p. 63.

Innanzitutto, per poter svolgere una LCA, è necessario stabilire gli obiettivi e gli scopi che si vogliono perseguire.

> "Gli obiettivi e gli scopi di una LCA devono essere definiti con chiarezza ed essere coerenti con l'applicazione prevista. L'obiettivo di una LCA deve stabilire senza ambiguità quali siano l'applicazione prevista, le motivazioni che inducono a realizzare lo studio e il tipo di pubblico a cui è destinato, cioè a quali persone si intendono comunicare i risultati dello studio". [3]

In generale, uno studio LCA può avere finalità di "ricerca e sviluppo", *green marketing*, supporto nei sistemi di gestione ambientale (al fine di migliorare la filiera produttiva) e di *ecodesign*. La finalità dello studio influenza le scelte e le ipotesi di lavoro.

1.1.2. Definizione di Sistema

Il "sistema" rappresenta un qualsiasi insieme di dispositivi con una determinata funzione, che realizzano una o più precise operazioni industriali. Esso è separato dal sistema ambiente per mezzo di confini fisici e intrattiene con esso rapporti di scambio di input e output.

Per effettuare un inventario di ciclo di vita di un sistema reale, altrimenti detto "dalla culla alla culla" (poiché comprende tra gli output solo sostanze reflue), sarà necessario innanzitutto definire le prime operazioni che lo compongono. Queste prenderanno il nome di "operazioni unitarie" e ognuna di esse riceverà i propri input dalle operazioni unitarie a monte, fornendo i propri output a quelle seguenti, secondo lo schema di produzione stabilito.

È possibile, quando lo studio lo richiede, considerare le singole operazioni unitarie come indipendenti, questo perché non sempre si devono analizzare sistemi globali, ma solo parte di essi, detti anche sottosistemi

[3] *Ibidem* p. 65.

produttivi; l'analisi di un singolo sottosistema viene definito "ecobilancio". Si può, infine, affermare che una LCA è un insieme di ecobilanci collegati opportunamente fra loro.

1.1.3. Unità funzionale

A questo punto si procede effettuando la seconda operazione preliminare. A tal proposito sarà necessario definire un'unità di misura di riferimento, detta "unità funzionale", con la quale è possibile trattare ed esporre sia i dati sia le informazioni di una LCA.

> "L'unità funzionale costituisce una misura della prestazione del flusso in uscita funzionale del sistema prodotto. Lo scopo principale dell'unità funzionale è di fornire un riferimento a cui legare i flussi in entrata e in uscita. Questo riferimento è necessario per consentire la comparabilità dei risultati di una LCA. Tale comparabilità è particolarmente critica quando si valutano sistemi differenti, perché ci si deve assicurare che i confronti siano fatti su una base analoga. Un sistema può avere un gran numero di funzioni possibili e la funzione scelta per lo studio dipende dall'obiettivo e dal campo di applicazione. La corrispondente unità funzionale deve essere definita e misurabile".[4] (Norma ISO 14040)

La scelta dell'unità è arbitraria ed è legata allo scopo per cui i sottosistemi e il sistema globale sono stati progettati. Potendo essere interpretata anche come un indice delle prestazioni svolte dal sistema, essa deve essere scelta per rappresentare il rendimento, energetico e ambientale, di un processo produttivo; ciò non sarebbe possibile utilizzando le unità di misura convenzionali.

[4] *Ibidem* p. 69.

La norma introduce inoltre il concetto di *reference flow*, ovvero flusso di riferimento, il quale rappresenta la quantità di bene o di servizio necessario per ottenere l'unità funzionale scelta.

1.1.4. Confini del Sistema

Definire i limiti del sistema significa determinare le unità di processo utili alla valutazione, esplicitandole tramite un elenco al fine di evitare, ad esempio, di porre a confronto sistemi solo apparentemente paragonabili.

La prima delimitazione dei confini del sistema considera criteri sia geografici sia tecnologici, includendo solo gli ambienti fisici e i processi produttivi ritenuti utili per l'analisi considerata. Sarà comunque possibile apportare delle modifiche a tali confini, tra le quali includere o escludere componenti.

È ricorrente la limitazione all'analisi di un "sottosistema" del processo produttivo, ad esempio "dalla culla all'uscita dallo stabilimento", oppure "dall'uscita dallo stabilimento alla tomba"; nel primo caso, dove l'analisi si interrompe alla fine della produzione, si parla di ecoprofilo (*ecoprofile*).

L'obiettivo iniziale di una LCA è ricostruire a ritroso tutte le filiere produttive del sistema oggetto di studio, arrivando fino all'estrazione delle materie prime, e descrivendo il tutto nella maniera più dettagliata possibile; questo permette di tenere conto di errori dovuti a particolari unità di processo.

In tale ottica, risulta fondamentale considerare come vincolo, nella scelta dei confini dell'analisi, il periodo di riferimento: una volta raccolti i dati in un tempo definito, essi si potrebbero riferire a una situazione media di funzionamento del sistema o, diversamente, ad un sistema che impiega tecnologie di ultima generazione.

Nella fase di *impact assessment* vengono nuovamente considerati i confini del sistema, i quali vengono caratterizzati sia da una sfera di influenza (globale, regionale e locale) sia da parametri di standardizzazione; questi ultimi sono tempo-dipendenti.

Tali informazioni, infine, vengono raggruppate nel cosiddetto "campo di applicazione dello studio", considerando l'intersezione della sfera energetica con quella ambientale, non considerando mai la sfera economica, e di conseguenza non dando rilievo all'aspetto economico; al fine di poter analizzare i tre aspetti congiuntamente, sarà necessario scrivere un codice che riesca a descrivere grandezze fisiche energetiche, ambientali ed economiche correlate fra loro.

1.1.5. Requisiti di qualità dei dati e affidabilità dei dati

Le modalità di raccolta e selezione dei dati verranno trattate nel paragrafo successivo, dedicato all'analisi di inventario. Risulta comunque necessario accennare alla necessità di impostare una procedura interna di qualificazione delle informazioni a disposizione di chi vuole effettuare uno studio LCA.

> "Sia nel caso in cui un analista LCA sia dotato di uno strumento di calcolo software che include una base dati da cui attingere le informazioni, sia nel caso si abbiano a disposizione banche dati che possono essere adoperate come sorgente di informazioni da inserire nel proprio modello di calcolo, è strategicamente importante poter qualificare la rappresentatività statistica del dato, la sua origine e tutti gli elementi necessari a una sua riproducibilità. Le attività portate avanti dal Joint Research Centre (JRC) di Ispra nel lavoro di ricerca recentemente commissionato al Cesisp prevedono di sviluppare, infatti, una modalità di revisione degli studi LCA in modo che si possano adottare accorgimenti puntuali per verificare la qualità e affidabilità delle informazioni utilizzate."[5]

[5] *Ibidem* p. 73.

2. *Analisi di inventario del ciclo di vita (LCI)*

L'analisi di inventario costituisce la parte più importante dello studio; in tale fase, infatti, si costruisce un modello analogo a quello reale, che sia in grado di rappresentare tutte le relazioni e gli scambi tra le singole operazioni della catena produttiva (e "distruttiva").

2.1. Modalità di raccolta delle informazioni

Poiché un inventario di ciclo di vita deve risultare affidabile, esso deve essere redatto utilizzando un codice chiaro e inequivocabile: solo in questo modo risultati di diversi inventari di ciclo di vita possono essere paragonabili, in quanto ottenuti sulla base di un'unica modalità di costruzione del modello.

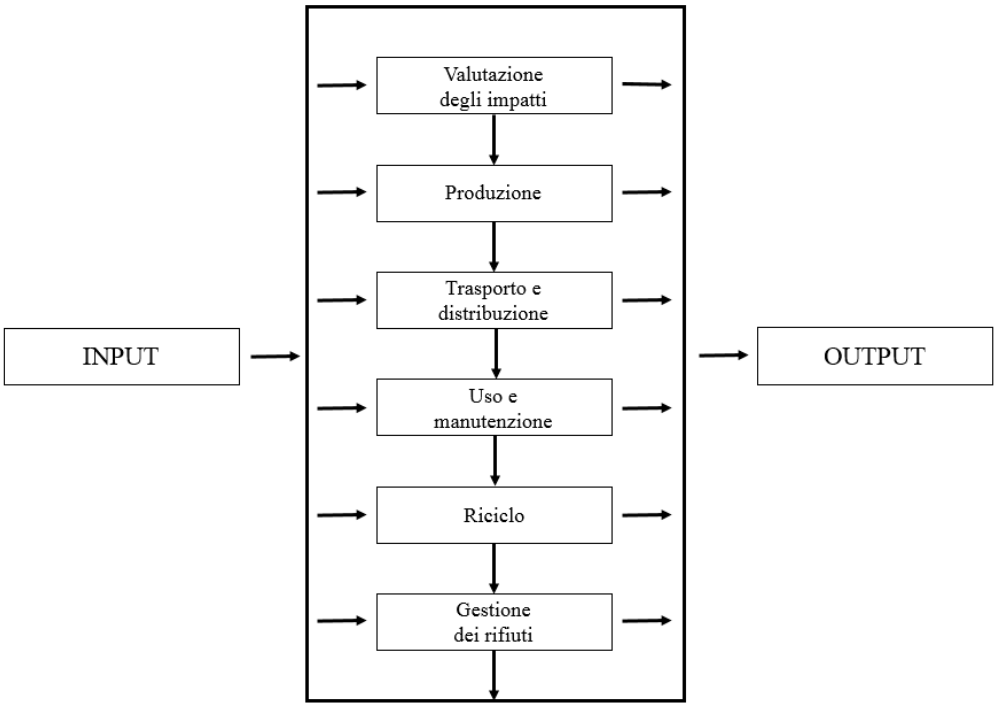

Fig.2 – Analisi di inventario mediante i processi fondamentali di un sistema generico indagato.

Ogni processo scambia una quota di input e output con il sistema ambiente e con i processi adiacenti, non fornendo però, in questa fase di

analisi, valutazioni o giudizi su di essi, ovvero le loro ripercussioni sull'ambiente.

Dati i numerosi, e diversi fra loro, settori industriali, è doveroso adottare ogni accorgimento al fine di rendere lo studio il più affidabile possibile; per fare ciò, si procede, per prima cosa, costruendo un diagramma di flusso, opportunamente dettagliato, contenente tutte le operazioni che costituiscono il sistema considerato. Per quanto riguarda i processi produttivi più comuni, gran parte delle informazioni di dettaglio può essere estrapolata dalla letteratura tecnica. Questo è sufficiente per acquisire consapevolezza delle operazioni fondamentali del processo, al fine di poter discutere con gli operatori designati all'impianto di produzione.

> "In questa fase occorre porsi i seguenti obiettivi principali:
>
> - determinare il grado di dettaglio cui arriva la struttura di misurazione dell'impianto, poiché da questo dipende la precisione a cui può essere spinta l'intera analisi;
> - verificare che il diagramma di flusso predisposto corrisponda al processo reale." [6]

I dati utilizzati nella fase di inventario andrebbero rilevati direttamente sul campo (in questo caso si parla di *primary data*), diversamente, se non risulta possibile accedere a fonti dirette o ci si vuole riferire a informazioni rappresentative territoriali, ci si servirà di dati derivati dalla letteratura o da banche dati appositamente realizzate (analogamente, in questo caso si parla di *secondary data*). Quando si utilizzano dei *secondary data* bisogna sempre citare la fonte. Nel secondo caso ricadono, tra l'altro, le informazioni relative all'industria energetica del Paese in cui si svolge l'analisi.

Riguardo al periodo di riferimento per la raccolta dei dati, qualora si stia valutando l'intera attività di una azienda, è consigliabile sceglierlo di

[6] *Ibidem* p. 96.

almeno 12 mesi, in maniera da farlo coincidere con quello del suo bilancio economico.

Le banche dati rendono facilmente disponibili le informazioni, ma sono parecchi i problemi legati all'attendibilità delle fonti e alla loro corretta interpretazione. Al giorno d'oggi, è diffuso l'uso di banche dati condivise e raggiungibili rapidamente (come la European Reference Life Cycle Data System, ELCD), in cui la ricerca del dato è molto più semplice e le fonti sono rintracciabili.

È fondamentale che, oltre ad una banca dati affidabile, si abbia a disposizione uno strumento di calcolo in grado di creare il modello analogo del sistema in esame.

2.2. Il problema dell'allocazione

Gli input e gli output di un determinato sistema fanno riferimento a esso e non ai prodotti; in questo senso, un sistema industriale è da intendere come l'insieme dei dispositivi che realizzano una o più operazioni aventi una funzione specifica. Perciò la sua attività può essere sintetizzata nel prodotto utile che esso genera.

Una delle prime operazioni da compiere in una LCA, dato che la maggior parte dei sistemi industriali oltre a produrre prodotti principali ne realizza altri, detti co-prodotti o sottoprodotti, è quella di dividere il sistema oggetto di studio in sottosistemi. Ognuno di essi produce o utilizza un singolo prodotto; tali sottosistemi, se riaggregati, devono permettere di ottenere un sistema di caratteristiche uguali a quelle del sistema di partenza.

È necessario che gli input e gli output del sistema globale vengano assegnati correttamente ai vari sottosistemi. Per fare ciò si procede con un'operazione di allocazione (*allocation* o *partitioning*), la quale consiste

nell'associare i carichi energetici e ambientali ai diversi co-prodotti e sottoprodotti di un processo.

Così facendo, cioè descrivendo l'attività del sistema attraverso indici energetici e ambientali, si è in grado di svolgere lo studio di sistemi complessi.

In tal senso, le vie più comuni per l'allocazione sono quella economica, basata su parametri non ritenuti scientificamente corretti, e quella sulla base di grandezze fisiche (più diffusa e affidabile), la quale utilizza le caratteristiche fisiche dei prodotti, come ad esempio la massa.

Un problema rilevante, legato all'allocazione, è assegnare il giusto carico energetico e ambientale a un materiale riciclato che entra come materia prima in un nuovo sistema produttivo (in questo caso si parla di "riciclo aperto"). Infine, si può completare l'impostazione del problema dell'allocazione effettuando valutazioni sull'effetto ambientale evitato e sull'eventuale utilizzo di grandezze economiche. Nella fattispecie, un co-prodotto rimpiazza un altro prodotto, eliminandone di fatto la produzione; tale operazione permette di minimizzare gli impatti rispetto alla produzione del prodotto vergine.

Si può quindi concludere che:

- in fase di interpretazione dei risultati è sempre opportuno specificare quale sia stata la procedura di allocazione scelta per ottenere i valori numerici; questo risulta fondamentale al fine di rendere gli studi trasparenti, ripetibili e confrontabili con altri;
- si può effettuare una valutazione approfondita del metodo di allocazione solo se si è in grado di conoscere con precisione il processo in questione (oggetto di valutazione). Diversamente, è meglio affidarsi al metodo di allocazione per massa.

2.3. La gestione del "fine vita"

Lo studio di un ciclo di vita non può prescindere dal fare valutazioni in merito agli impatti ambientali derivati dalla gestione di materiali arrivati alla fine della loro vita.

Qualora si voglia includere nella valutazione anche la gestione dei materiali a fine vita, sarà opportuno distinguere se si tratti degli scarti di processo oppure del prodotto oggetto dello studio. Se da un lato ogni soggetto della filiera è diretto responsabile e può esercitare un buon controllo sulla gestione dei propri scarti di processo, dall'altro la possibilità di controllare la gestione a fine vita sui prodotti considerati dipende dalla conoscenza di tutti i processi.

I sistemi di gestione dei rifiuti spesso permettono di avviare a recupero dei materiali oppure di produrre dei flussi di energia. Questi "sottoprodotti" complicano la valutazione del sistema in quanto è necessario quantificare i benefici (ambientali) generati da tali flussi e paragonarli con i carichi ambientali associati al trattamento del materiale in ingresso.

Un bene che è giunto al termine della sua vita utile, dopo la raccolta, può prendere tre diverse strade:

- Il recupero di materia. In tal caso bisogna distinguere tra il riuso, cioè il riutilizzo dello stesso prodotto dopo un eventuale trattamento di ricondizionamento, e il riciclo, che permette il recupero del materiale contenuto nel prodotto arrivato a fine vita con lo scopo di fabbricare lo stesso o un altro prodotto;
- Il recupero di energia. Questa strada comporta la termovalorizzazione, la quale permette la produzione di energia elettrica e/o termica recuperando l'energia feedstock (cioè l'energia di un materiale potenzialmente combustibile) presente all'interno di materiali di

scarto, i quali possono essere selezionati al fine di massimizzare l'efficienza energetica (come ad esempio il CDR, combustibile da rifiuto);

- Lo smaltimento in discarica. Qui confluiscono i materiali che non sono stati collocati nei processi sopra descritti. In alcuni casi, esso comporta la possibilità di un parziale recupero di tipo energetico, attraverso la combustione del biogas prodotto.

L'aspetto più interessante dal punto di vista metodologico è quello che riguarda la quantificazione degli aspetti positivi associati al recupero di alcune tipologie di rifiuti. A tal proposito si fa menzione di alcune delle più diffuse metodologie:

- Impatti evitati. A riciclo aperto, essa si adopera per valutare i benefici del recupero di materia o di energia;
- Emissioni di CO_2 da fonte biologica;
- Valorizzazione dell'energia feedstock, consigliabile quando si ha la necessità di recuperare un materiale di scarto caratterizzato dalla possibilità di scegliere tra il recupero di materia o di energia, ossia un materiale che possegga un determinato "potere calorifico".

2.4. I risultati dell'inventory

I risultati di un inventario di ciclo di vita sono normalmente presentati in sei principali categorie:

1. Materie prime;
2. Combustibili primari;
3. Feedstock;
4. Rifiuti solidi;
5. Emissioni in aria;

6. Emissioni in acqua.

È possibile inoltre creare due gruppi: quello dei “risultati energetici” e quello dei “risultati ambientali”; al primo appartengono le categorie 2 e 3, mentre le categorie 1, 4, 5 e 6 fanno parte del secondo.

3. *Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA*)

Questa fase dell’LCA ha come obiettivi fondamentali:

1) l’imputazione dei consumi e delle emissioni, ottenuti nella fase di analisi di inventario, a specifiche categorie di impatto (riferibili a effetti ambientali conosciuti);
2) la quantificazione, per mezzo di opportuni metodi di caratterizzazione, dell’entità del contributo complessivo che il processo o il prodotto ha nei confronti degli effetti considerati.

Secondo quanto previsto dalle ISO 14040 e 14044, una LCIA si compone di alcuni elementi obbligatori (*mandatory elements*), i quali convertono i risultati di inventario in opportuni indicatori; questi ultimi possono essere utilizzati direttamente o, in alternativa, come base per successive valutazioni (opzionali).

LCIA

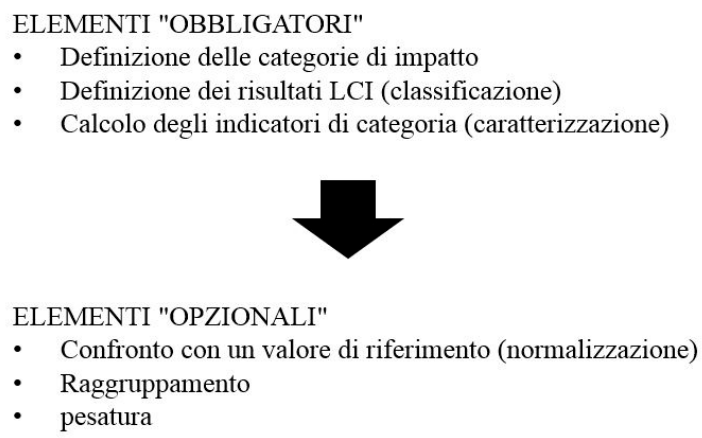

Fig.3 Le fasi principali di una LCIA

"Affinché uno studio sia conforme alle indicazioni delle norme ISO, è obbligatorio completare:

- La selezione degli effetti ambientali da considerare, oltre che degli indicatori ambientali che li rappresentano;
- L'assegnazione dei risultati della fase di LCI agli effetti ambientali scelti ("classificazione");
- Il calcolo degli indicatori di categoria ("caratterizzazione").

Risulta non vincolante la definizione del criterio di valutazione da adottare, e cioè il criterio in base al quale collegare i risultati ottenuti ai corrispondenti giudizi di valore sulla maggior o minor gravità dell'impatto. È invece opzionale:

- Il confronto degli indicatori ambientali calcolati con dei valori di riferimento ("normalizzazione");
- La determinazione e il confronto dell'importanza dei singoli effetti ambientali ("pesatura")." [7]

3.1. La scelta degli effetti ambientali

Come primo passo della LCIA, bisogna effettuare la scelta degli effetti ambientali (o categorie di impatto) sui quali si baserà l'analisi.

Il calcolo degli indicatori finali risente in modo sensibile delle condizioni al contorno, ovvero delle ipotesi fatte, della qualità dei dati utilizzati e del grado di conoscenza scientifica dei fenomeni di trasmissione degli inquinanti e dei relativi impatti, come del resto in tutte le applicazioni ove si utilizzi un modello di calcolo con il fine di elaborare dati. Poiché la

[7] *Ibidem* p. 170.

qualità dei dati e la precisione delle ipotesi sono argomenti che valgono in generale in tutte le elaborazioni di tipo numerico, esistono delle incertezze legate alla trasmissione degli inquinanti e alla quantificazione degli impatti.

> "Le maggiori incertezze risiedono nei fattori di caratterizzazione dei diversi reflui immessi nell'ambiente: impiegando fattori riconosciuti a livello internazionale, si limita sensibilmente la componente di soggettività. Il ricorso a fattori di caratterizzazione, la cui valenza scientifica è accertata, permette infatti di definire un indice oggettivo. Questa scientificità è insita nella buona conoscenza dei fenomeni che stanno alla base della dinamica degli inquinanti all'origine dei fenomeni quali effetto serra ed effetti sull'ozono stratosferico."[8]

3.2. Classificazione

La classificazione consiste, dal lato pratico, nell'organizzare i dati dell'inventario [l'individuazione delle categorie di impatto che si intende prendere in considerazione è stata effettuata nel passaggio precedente].

Ciò significa assegnare i valori di tutte le emissioni (gassose, liquide e solide) provocate direttamente e indirettamente dalle operazioni considerate nelle varie categorie di impatto.

3.3. Caratterizzazione

Una volta completata la classificazione dei diversi impatti causati dal processo, ci si può servire dei metodi di caratterizzazione per determinare il contributo delle singole emissioni in modo conforme e quantitativo. Così facendo sarà possibile esprimere, quantitativamente e con l'opportuna unità di misura, il contributo fornito dall'operazione in esame ad ogni categoria; più precisamente, questa fase permette di determinare i valori relativi agli "indicatori di categoria" (definiti in precedenza per ogni singolo effetto considerato).

---

[8] *Ibidem* p. 172.

In conclusione, elaborando i risultati della LCI per mezzo di operazioni di raggruppamento e classificazione, è possibile rappresentare con valori numerici l'impatto: esso, vagliato in un rapporto causa-effetto, viene identificato come una causa potenziale. Talvolta questo termine (impatto), a causa di una sua sopravvalutazione nell'uso corrente, viene confuso con l'effetto che può provocare.

3.4. Normalizzazione e pesatura

Nelle applicazioni di una metodologia riguardante l'analisi di ciclo di vita, è apparsa auspicabile l'opportunità di formulare i risultati della fase di valutazione attraverso parametri numerici equivalenti, atti a rappresentare in modo quantitativo e sintetico gli effetti ambientali del sistema preso in considerazione.

È quindi importante "normalizzare" i risultati ottenuti con l'operazione di classificazione, ovvero elaborarli in modo da ottenere indici sintetici (con cui valutare, nel complesso, il sistema oggetto di studio).

I metodi di normalizzazione sono diversi (ognuno fa riferimento a speciali parametri) e rendono realizzabile l'aggregazione dei risultati (relativamente alle diverse categorie di impatto) menzionati in precedenza.

Si ottengono così profili ambientali sintetici e particolarmente adatti a operazioni di confronto tra diversi sistemi produttivi di produzione.

3.4.1. Principali metodi di normalizzazione dei risultati

Se per le fasi di "classificazione" e di "caratterizzazione" gli studiosi di LCA concordano sul metodo da utilizzare (in quanto sono le uniche fasi obbligatorie ai sensi della norma ISO 14040), questo non può dirsi per la fase che riguarda la normalizzazione e la pesatura dei risultati: i metodi, per

svolgere tale fase, sovente si basano su criteri politici o etici che non hanno nessuna validità scientifica.

> "Molti metodi permettono ai risultati della categoria di impatto di essere confrontati con un valore di riferimento. Ciò significa che la categoria di impatto è divisa a seconda del riferimento. Questo può essere scelto, a seconda dei casi, ma in generale si adotta il carico medio annuale, in una nazione o in un continente, diviso per il numero degli abitanti.
> Alcuni metodi permettono la pesatura tra diverse categorie d'impatto. Ciò significa che i risultati delle categorie di impatto sono moltiplicati per dei fattori di peso, e sono fra loro addizionati per ottenere un valore globale.[9]

Le diverse metodologie [inerenti questa fase] possono essere raggruppate in cinque approcci:

I. APPROCCIO MANDATARIO (PROXY APPROACH)

L'approccio mandatario si basa sulla descrizione dell'impatto ambientale. Per questa rappresentazione si utilizzano misure quantitative (o dei parametri) come lo spostamento di materiali o il consumo di energia associato a un sistema di produzione.

> "Si tratta di una scelta arbitraria che fornisce una visione parziale del profilo ambientale di un sistema. La scelta dei parametri significativi deve essere effettuata in accordo con gli obiettivi dell'analisi, rivelandosi utile nel caso in cui lo studio di ciclo di vita sia stato condotto con la finalità di valutare esclusivamente uno specifico impatto. In caso contrario, la categoria scelta sarà difficilmente rappresentativa."[10]

II. MONETIZZAZIONE (MONETARISATION)

L'approccio della monetizzazione si basa su un'analisi dell'ambiente da un punto di vista economico. Si distinguono due metodi:

[9] www.dichep.unige.it
[10] *Ibidem* p. 177.

- *environmental control costs* - il valore economico dell'ambiente: prende in considerazione le spese necessarie per il controllo dei danni ambientali;
- *environmental damage costs* - la volontà di pagamento: prende in considerazione il costo per la prevenzione degli impatti ambientali previsti con lo studio della LCA (tra i metodi per misurarli emerge il metodo svedese EPS).

III. DISTANZA DALL'OBIETTIVO (DISTANCE TO TARGET)

In questo approccio, per formulazione dei coefficienti di pesatura, sono prese in considerazione le preferenze sociali; queste si basano su gli standard o su gli obiettivi legislativi nazionali e internazionali inerenti alla qualità ambientale.

> "Ad esempio, se la concentrazione di un inquinante nell'ambiente è 1,1 mg/m^3 e lo standard è di 1 mg/m^3, il peso da attribuire a questo impatto è 10%, in quanto la concentrazione supera del 10% l'obiettivo previsto."[11]

IV. VALUTAZIONE DI ESPERTI (PANEL APPROACH)

Un gruppo di esperti, giudicato in grado di valutare l'importanza delle categorie d'impatto, calcola i coefficienti di pesatura. Sono diversi i metodi, attinenti alle scienze sociali, con i quali si possono condurre tali valutazioni, così come sono diversi i criteri che determinano la scelta del gruppo di persone (gruppo di esperti o di consumatori, gruppo governativo, ecc.) così da riflettere le opinioni scientifiche e sociali più rilevanti.

V. APPROCCIO TECNOLOGICO (TECHNOLOGY APPROACH)

Questo approccio ha come scopo quello di abbattere le emissioni

[11] *Ibidem* p. 177.

nell'ambiente, basandosi sull'utilizzo di tecnologie conosciute.

4. *Interpretazione e miglioramento*

La LCA può essere adoperata per svariati scopi: miglioramento dei processi; innovazione dei prodotti permettersi al passo con gli standard della produzione sostenibile; sviluppo di strategie di politica e comunicazione ambientale.

La scelta (o miglioramento della produzione), tra le alternative applicabili al sistema produttivo, per massimizzare l'efficienza energetico-ambientale, richiede uno sforzo organizzativo e progettuale non indifferente.

Solitamente, in questa fase è possibile individuare e apportare modifiche puntuali, oppure svolgere azioni per riprogettare l'intero sistema. Lo scopo ultimo è la ricerca di una maggiore eco-efficienza.

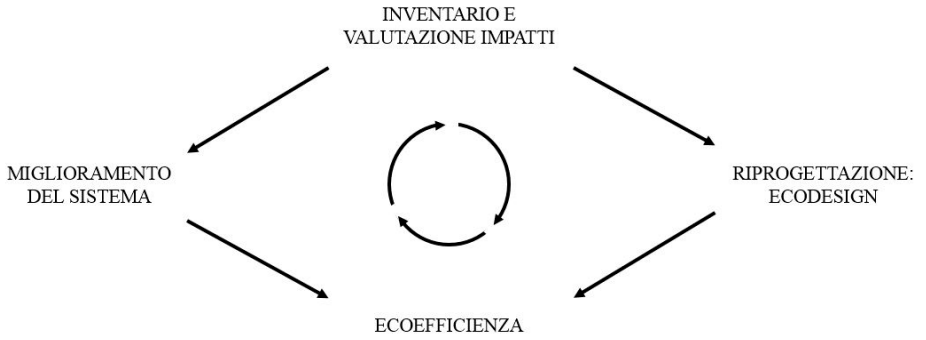

Fig.4 La fase di Interpretazione e Miglioramento utilizzata in abbinamento con le altre fasi di una LCA ha lo scopo di aumentare l'eco-efficienza.

"La norma ISO 14040 definisce questa quarta fase di una LCA come il momento in cui realizzare una valida correlazione tra i risultati dell'analisi di inventario e di quella degli impatti, per proporre utili raccomandazioni in conformità con gli scopi e gli obiettivi dello studio. In effetti, la norma ha classificato questa fase con il solo termine *Interpretation*, ampliando

sostanzialmente il campo di azione di ciò che veniva definita, nel linguaggio SETAC, *Improvement*." [12]

Come indicato da Gian Luca Baldo[13], si è deciso di definire "interpretazione e miglioramento" la quarta fase di una LCA componendo le due metodologie (quella ISO 14040 e quella SETAC del Congresso del Vermont del 1990).

Poiché non si può fare affidamento su alcun codice per mettere in atto tale fase, l'esperienza di un progettista, congiuntamente alle competenze del *Life Cycle Engineer*, costituisce la base per impostare gli studi di fattibilità di eventuali cambiamenti.

Nella definizione dell'obiettivo dell'interpretazione, la norma ISO 14044, ribadisce che solamente una chiara, comprensibile e completa presentazione dei risultati delle fasi precedenti è in grado di fornire indicazioni utili a impostare i possibili miglioramenti del sistema in esame.

"In particolare, la norma indica le seguenti fasi operative:

- Identificazione degli aspetti principali evidenziati dai risultati delle fasi precedenti;
- Controllo ulteriore tramite analisi di sensibilità;
- Conclusioni evidenziando i limiti, raccomandazioni.

Oltre quindi ai risultati di inventario e quelli di valutazione degli impatti, in questa fase è opportuno soppesare il contributo delle diverse fasi del processo in esame identificandone le aree di intervento e miglioramento.[14]

Ciò risulta vero in determinati settori (es. beni di consumo, *packaging*), dove risulta altresì determinante l'analisi della fase di produzione, ma il più delle

[12] *Ibidem* p. 187.

[13] docente di Valutazione di Impatto Ambientale e Analisi del Ciclo di Vita e di Economia delle Fonti di Energia presso la Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino

[14] *Ibidem* p. 188.

volte gli scenari di fine vita costituiscono un'opzione capace di generare risultati stravolti.

Perciò, al fine di decidere se procedere o meno ad ulteriori approfondimenti, si può considerare la fase di interpretazione, mirata a focalizzare i contributi dei diversi componenti, come uno strumento di valutazione.

> "Nel caso in cui si debba procedere a una vera e propria rivisitazione del progetto, la funzione di progettazione deve contribuire alla stesura delle indicazioni e raccomandazioni. L'approccio è nuovamente di tipo iterativo, nel senso che ogni passo sviluppato durante questa fase deve essere riesaminato in un'ottica LCA: in questo modo, lo spettro delle possibili soluzioni viene valutato e classificato a seconda dei rendimenti energetici e ambientali di ciclo di vita e correlato ai classici indici economici e prestazionali." [15]

La fase di interpretazione può essere condotta sia su tutti che solo su una parte degli indicatori ambientali propri di una LCA, anche in ragione dei parametri sui quali l'azienda intende concentrare le proprie attività interne.

Un'analisi delle azioni strategiche potrà portare all'elaborazione di un indicatore specifico da tenere sotto controllo; esso potrà costituire nel tempo un parametro su cui focalizzare l'attenzione nell'attività di monitoraggio (revisione periodica).

[15] *Ibidem* p. 188.

CAPITOLO SECONDO

CASO STUDIO: TAVOLO IN LEGNO MASSELLO

2. Il diagramma di flusso e i processi unitari: caso applicativo

Per spiegare come si mette in pratica una valutazione di ciclo di vita è necessario adottare un caso concreto, nella fattispecie un prodotto.

Si è scelto di studiare un tavolo in legno massello, più precisamente in rovere, un'essenza classificata come legno duro, che risulta apprezzato per le ottime proprietà meccaniche oltreché per l'aspetto.

Innanzitutto si deve costruire un diagramma di flusso, ossia un elenco ordinato dei processi unitari necessari per produrre il tavolo. Questi rappresentano le fasi di lavorazione dell'intero processo, in cui avvengono scambi di input e output tra il sistema industriale e quello ambiente. Gli elaborati grafici e i tabulati sono riportati in allegato (allegato A – schemi di taglio, allegato B – dati preliminari). Inoltre, per rendere significativo lo studio dei processi con cui si ottengono prodotti e scarti di lavorazione, si è ipotizzata una produzione annua di 120 tavoli.

Il processo di produzione del tavolo può essere rappresentato come segue:

1. estrazione della materia prima (abbattimento);
2. prelavorazione (sramatura);
3. trasporto della materia prima dal sito di estrazione alla segheria;
4. segagione tavole;
5. essiccazione;
6. impilamento tavole;
7. stoccaggio tronchi ricomposti;

8. trasporto dalla segheria al laboratorio;
9. rifilatura, sezionatura e troncatura;
10. piallatura a filo e a spessore;
11. dimensionamento elementi struttura e piano;
12. bloccaggio elementi piano;
13. fresatura domino elementi struttura e piano;
14. incollaggio liste in teste piano;
15. lavorazione giunti a farfalla con squadratrice;
16. fresatura piano per ricavare sedi traverse e incastri a farfalla;
17. incollaggio giunti a farfalla in incastri piano;
18. piallatura piano;
19. levigatura struttura e piano;
20. assemblaggio traverse struttura piano;
21. incollaggio struttura e piano;
22. oliatura tavolo.

2.1. L'estrazione della materia prima e la prelavorazione (01-02)

Il legname che l'artigiano Zanini ha deciso di adoperare per realizzare il tavolo proviene dalle zone circostanti Boves (un Comune facente parte della Comunità Montana delle Alpi del Mare). È stato ipotizzato che il tronco possegga, in media, un diametro di 48 centimetri.

La prima operazione, ossia l'estrazione della materia prima, viene effettuata dal boscaiolo: a patto che venga svolto con criterio, il suo lavoro risulta fondamentale per uno sviluppo controllato dei boschi, in quanto crea spazio per il rinnovo delle piante, innescando un processo che dà giovamento sia alla flora che alla fauna.

Gli alberi vengono abbattuti durante l'inverno, essendo il miglior periodo dell'anno, poiché le funzioni vitali dell'albero sono rallentate e la

linfa è ridotta al minimo. Inoltre in primavera l'albero origina, appena sotto al cambio, un anello di crescita poroso, il quale permette appunto lo scorrimento della linfa. Se si tagliasse l'albero in questo periodo, la corteccia si staccherebbe facilmente e il legno sarebbe più soggetto a marcescenza o all'invasione di insetti. Quando l'albero sviluppa le fronde, esso dà origine a un anello di crescita denso di lignina chiamato anello duro, che serve a sostenere il maggiore peso dei rami. La tradizione individua un periodo ottimale per abbattere un albero, ossia quello di luna calante d'inverno.

Il taglio (abbattimento) viene effettuato a mano (per mezzo di una motosega), oppure tramite l'utilizzo di macchinari quali trattori muniti di strumenti da taglio.

Per ovvie ragioni di trasporto la pianta, solitamente prima o dopo il taglio, viene sottoposta al procedimento di sramatura (processo 2), cioè alla rimozione dei rami.

2.2. Dall'arrivo in segheria allo stoccaggio post- essiccazione (03-07)

In passato, il trasporto in segheria avveniva tramite l'uso di slitte a trazione animale, mentre oggigiorno si adoperano i trattori.

Nello specifico, le prime lavorazioni del tronco sramato avvengono nella Segheria Cavallo di Boves. Esse possono essere identificate come le operazioni che trasformano il tronco in tavole essiccate, aventi spessore dato.

Al giorno d'oggi, il macchinario utilizzato per la segagione (processo di produzione 4) è la sega a nastro. Prima dell'avvento delle macchine moderne, i tronchi venivano tagliati per mezzo di seghe a gattuccio o, piuttosto raramente, di seghe circolari, azionate da mulini ad acqua.

Come accennato in precedenza, questa operazione permette di ottenere delle tavole come semilavorati.

Il tronco è segato con il metodo del taglio netto, anche detto taglio tondo, il quale consente di ottenere tavole producendo il minimo scarto di lavorazione. Esso consiste nel sezionare longitudinalmente il tronco mantenendo i piani di sezione paralleli fra essi.

Si assume che la potenza del macchinario (la sega a nastro) sia pari a 35 kW, e il tempo del suo utilizzo sia di circa 15 minuti. Tuttavia bisogna tenere in considerazione il tempo necessario per posizionare il materiale e per tarare la macchina, il quale è stimato nell'ordine di ulteriori 15 minuti, per un totale di 30 minuti al fine di eseguire il "processo unitario 4".

Il processo 5 consiste nel far stagionare le tavole. Tradizionalmente l'essiccazione avveniva all'aria, sotto una copertura, senza l'utilizzo di forni che ne accelerassero il processo. Il tempo di essiccazione all'aria dipende dall'essenza che deve subire il trattamento; nel caso indagato si utilizza legno di rovere, per il quale è previsto un tempo di stagionatura pari a un anno ogni 2,5 cm di spessore delle tavole. Nella pratica dell'essiccazione artificiale, che si è andata a consolidare con il diffondersi dei forni, si prevede comunque che i semilavorati in rovere debbano subire una stagionatura naturale di circa sei mesi per le tavole da 5 cm e di circa un anno per quella da 8 cm, per poi essere essiccati per circa due mesi.

Per la movimentazione delle tavole (dal processo 6 al 7) si utilizza un muletto industriale, con il quale esse vengono:

- sistemate in un piazzale e steccate, cioè impilate l'una sull'altra, utilizzando spessori di pioppo o della stessa essenza delle tavole con sezione di 20x20 mm. In tal modo vengono garantiti la ventilazione e la prevenzione contro la formazione di muffe o funghi, che potrebbero innescare la decomposizione del semilavorato. È sempre necessario

ricomporre e stoccare i tronchi sezionati, al fine di ottenere maggiore omogeneità di prodotto appartenente alla stessa *boule* e preservare i semilavorati da eventuali agenti esterni dannosi;

- coperte da lamiere o, più opportunamente, spostate all'interno di un capannone.

Dopo queste fasi non sono previsti ulteriori trattamenti.

Il valore economico del legname decuplica una volta ultimato il processo di essiccazione.

2.3. Dal trasporto dei semilavorati in laboratorio al prodotto finito (08-22)

Il tavolo oggetto di studio viene realizzato nel laboratorio del signor Andrea Zanini, dottore in filosofia che ha scelto di trasformare una passione tramandata da generazioni nel proprio lavoro. È doveroso inoltre citare gli architetti Nadia Battaglio e Lorenzo Serra, Studio Ellisse, autori del progetto del tavolo.

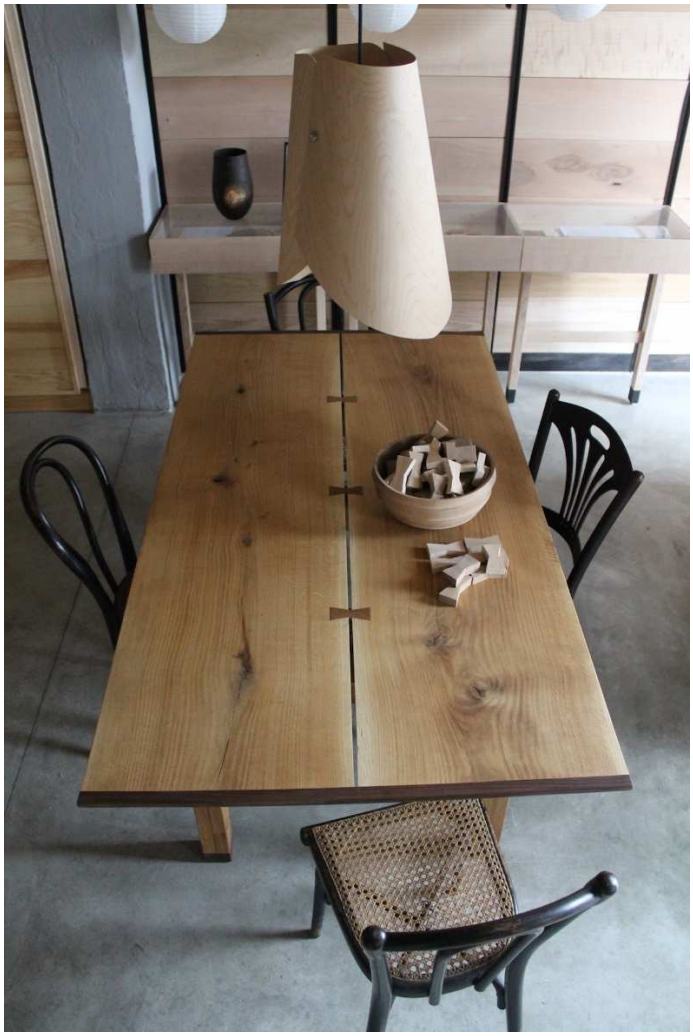

Fig.5 Il tavolo oggetto di studio.

Dapprima, si è proceduto a estrapolare e catalogare, per tipo e dimensione, tutti gli elementi che costituiscono il tavolo. L'identificazione del numero delle parti e delle loro dimensioni viene riportata in allegato (distinta degli elementi costruttivi). Costruita una distinta dei pezzi utili per replicare il prodotto, viene redatto un progetto in cui essi vengono ricavati dal semilavorato, seguendo criteri quali l'efficienza e lo scarto minimo di lavorazione, e adottando un approccio che tenga conto di tecniche di lavorazione diffuse e standardizzate. Nel progetto in esame, i piedi, le liste in testa al piano e i giunti a farfalla sono realizzati in noce; poiché si vuole studiare una linea di produzione reale, si assume che questi elementi, ricavati

nel processo produttivo per realizzare un tavolo in noce, siano adoperati complementarmente al rovere (il quale invece fornirà gli elementi per la produzione di quello in noce).

Il passo successivo consiste nel prevedere il numero delle tavole e le loro caratteristiche geometriche (primo fra tutti lo spessore).

Le tavole sono prelevate dalla parte centrale del tronco; tale scelta è giustificata da criteri quali:

- l'uso del numero minimo di semilavorati, con conseguente minore utilizzo di energia;
- la larghezza della sezione trasversale e la lunghezza ammissibili. Esse definiscono le misure minime sotto le quali, viste le caratteristiche dimensionali degli elementi costituenti il tavolo, si dovrebbe adoperare un maggior numero di tavole o effettuare ulteriori lavorazioni, a discapito dell'efficienza del processo globale e del suo impatto ambientale.

In seguito alla redazione di un progetto di taglio, con il quale si ottengono gli elementi del tavolo, è necessario l'utilizzo di tre tavole, due delle quali spesse 50 mm e lunghe 200 cm, e una, ricavata dalla parte centrale del tronco, avente spessore 80 mm e lunghezza 300 cm.

Per quanto riguarda il traporto dei semilavorati dalla segheria, il signor Zanini si occupa di ritirare personalmente il materiale e di portarlo in laboratorio per mezzo di furgone con cassone, percorrendo circa 80 km per tratta.

A seguito del trasporto in laboratorio, viene effettuata una serie ordinata di operazioni:

9. La prima fase di lavorazione è rappresentata dalla rifilatura,

sezionatura e troncatura delle tavole, cioè dalla correzione dei bordi dei semilavorati, al fine di ottenere tavole rifilate e in "squadra" (cioè con le facce adiacenti che formano un angolo retto interno), eliminando la corteccia e l'alburno dalle tavole. Per fare ciò, si utilizzano sia una squadratrice sia una sega circolare portatile, ed è con tale procedimento che si ottiene la quantità più significativa di scarti dal grezzo; essa viene utilizzata per produrre cippato;

10. Il secondo sotto-processo unitario è rappresentato dalla piallatura a filo e a spessore delle tavole; esso permette di ottenere coppie di superfici fra esse parallele, asportando il materiale in eccesso e riducendo lo spessore di circa 1 cm per tavola. Non sono da intendere, tra gli scarti, i trucioli post-piallatura (dato che sono "scarti di dimensionamento", recuperati adoperando la bricchettatrice), i quali poi vengono utilizzati per il riscaldamento del laboratorio;
11. A questa segue la fase inerente il dimensionamento dei singoli elementi della struttura portante del tavolo e del piano. Le lavorazioni che la riguardano vengono eseguite avvalendosi della squadratrice, conservando così gli angoli retti ottenuti in precedenza; esse consistono nel tagliare materiale fino ad arrivare alle dimensioni precise da progetto. Il materiale residuo di modeste dimensioni, non usato per il prodotto in corso, si considera come scarto di lavorazione riutilizzabile, o meglio come semilavorato su cui si è già iniziato a lavorare e che può essere inserito in prodotti futuri.
12. Successivamente, le componenti del piano vengono sistemate nella configurazione finale e bloccate mediante l'uso di distanziali e morsetti.
13. Il quinto sotto-processo unitario è quello relativo alla fresatura di tutti i componenti, al fine di ottenere gli incastri nei quali verranno inseriti i tasselli domino (tasselli di nuova generazione, utili affinché

sia vincolata la rotazione di due elementi sul loro asse di giunzione).

Fig.6 Tassello domino.

14. Si procede poi con il serraggio delle liste in noce in entrambe le "teste" del piano, per mezzo di tasselli domino e colla vinilica B3 priva di sostanze nocive, di solventi e, soprattutto, di formaldeide. Nel tavolo in esame vengono utilizzati 22 tasselli domino, 18 da 10x24x48 mm e 4 da 8x20x40 mm (per giuntare le liste in noce alle teste del piano).
15. In questa fase si preparano le giunzioni a farfalla mediante l'utilizzo della squadratrice; per questa operazione si richiede una buona precisione da parte dell'operatore.

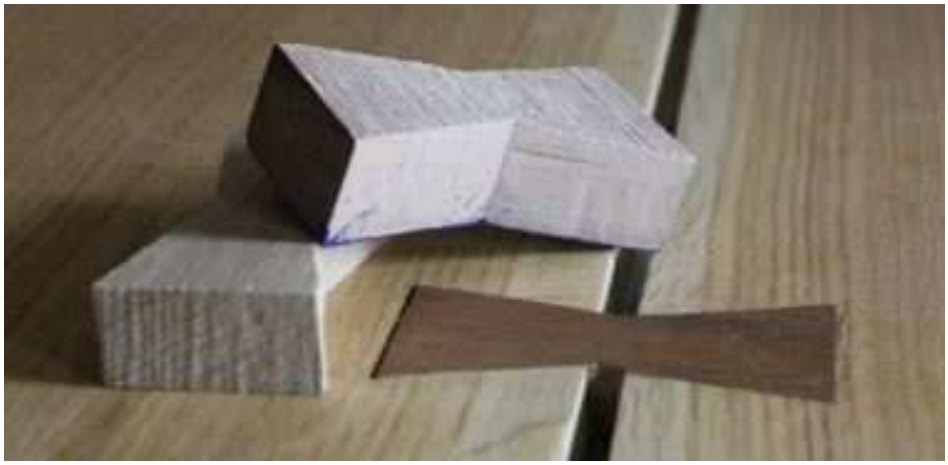

Fig.7 Giunti a farfalla.

16. Il sotto-processo 16 ha come scopo quello di ricavare, per mezzo di una elettro-fresatrice, le sedi delle traverse che lo sorreggeranno, nonché gli incastri a farfalla dei giunti precedentemente lavorati.
17. A questo punto si procede con l'incollaggio, sempre con colla vinilica, dei giunti a farfalla nelle relative sedi ricavate dal piano, e attendere il tempo utile per l'asciugatura.
18. Questa fase consente di eliminare il materiale in eccesso dei giunti a farfalla e consiste nella piallatura a spessore dei giunti, fino a ottenere una superficie unica tra piano e giunti.
19. Nel quart'ultimo passaggio si adopera la levigatrice la quale, per mezzo della carta vetrata che gira nei rulli, rende impercettibile la presenza di disomogeneità in tutti gli elementi ottenuti con le lavorazioni sopra citate. Essa, essendo alimentata da un compressore ad aria, che si ricarica di tanto in tanto, deve essere considerata in azione per ¼ del tempo costituente l'intera fase.
20. In questa fase si procede a giuntare le coppie di elementi che costituiscono le "traverse struttura piano" (parti superiore ed inferiore) con 3 viti ciascuna (dimensioni 6x60 mm), utilizzando 9 viti in totale.
21. Questo sotto-processo consiste nell'incollaggio di tutti gli elementi,

al fine di ottenere un unico prodotto assemblato: il tavolo. Si prevede, prima di incollare inoltre, di giuntare, . È necessario attendere 24 ore per ottenere la completa essiccazione della colla.

22. Quest'ultima operazione, detta "oliatura", consta di tre momenti: il primo, in cui si tratta il prodotto con una cera, affinché vengano occlusi eventuali pori presenti dopo la levigatura; il secondo, durante il quale si impregnano le superfici del tavolo con un "aggrappante" composto da cera e olio, e il terzo (ed ultimo), nel quale si stende un olio tonalizzante e nutriente, con lo scopo di far emergere le venature dello stesso. I prodotti utilizzati nel processo di "oliatura" sono esenti da derivati sintetici e non contengono sostanze tossiche o nocive.

Risulta indispensabile, al fine di considerare tutti i macchinari adoperati nel processo globale, tenere in considerazione che essi, di norma, vengono azionati in concomitanza di aspiratori adeguati allo stoccaggio di scarti e parti più piccole (come ad esempio polvere e schegge). Gli aspiratori utilizzati per il caso studio appena descritto sono due, i quali si differenziano per dimensione e potenza.

2.4. Dal possibile riciclo allo smaltimento

La normativa italiana in materia di gestione dei rifiuti, ovvero il D.lgs 152/06 (denominato "Testo Unico Ambientale"), determina che il legno, qualora non possa essere trattato per renderlo riciclabile o i trattamenti non siano economicamente sostenibili, in fase di smaltimento ricade nella categoria dei rifiuti speciali. Anche il legno che subisce trattamenti con sostanze che compromettono la sua riciclabilità, come ad esempio colle, olii o vernici sintetici, a prescindere dalla loro quantità, non può essere considerato un rifiuto riciclabile.

Diversamente, se il prodotto del legno è frutto di processi che coinvolgono una parte delle sopracitate sostanze, come ad esempio l'utilizzo puntuale della colla vinilica, la porzione di legno che non è stata compromessa dal legante può essere riciclata (separata dallo scarto contaminato con mezzi meccanici). Così facendo si ottiene un'aliquota di sostanza lignea fruibile, che diversamente andrebbe persa.

Dalla ricostruzione del processo è scaturito che, utilizzando 19329 kg annui di legno massello (quantità adeguata alla produzione di 120 tavoli), lo scarto di lavorazione riciclabile risulta pari a 8471 kg/anno, mentre quello riutilizzabile è di 1508 kg all'anno.

CAPITOLO TERZO

PANORAMICA SUL LEGNO PER ARREDO: DAL MASSELLO AI PRODOTTI A BASE LEGNO

3. *Introduzione*

Al giorno d'oggi l'industria del legno, producendo sia tavole sia prodotti a base legno, offre la possibilità ad un artigiano di realizzare il proprio prodotto perseguendo la qualità ambita per l'opera; ferma restando la necessità di adeguare le diverse fasi che si susseguono, di volta in volta, ai limiti imposti dalla natura del materiale scelto.

I prodotti a base legno, il più delle volte, sono realizzati con gli scarti di lavorazione dei processi produttivi qualitativamente superiori; essi vengono miscelati con un legante, solitamente una colla, per ottenere semilavorati con caratteristiche geometriche e/o meccaniche altrimenti impossibili.

In questo capitolo si intende proporre una gamma dei materiali a base legno, più o meno "ecologici", con i quali un artigiano può realizzare un tavolo. Per stilare una lista, sono state prese delle EPD di riferimento (fornite in allegato): si è proceduto analizzando i processi con i quali si ottengono i prodotti e classificando i semilavorati in base all'invasività dei processi. Tale classifica risulta coerente con il valore economico decrescente che, via via, assume il prodotto nella posizione successiva rispetto al valore del precedente.

È doveroso aggiungere che nessun prodotto finito, a meno di quelli giuntati a secco, e comunque privi di alcun trattamento con sostanze sintetiche (lacche, olii, ecc.), soddisfa un criterio importante come quello del riciclo post-utilizzo. Tale problema ambientale ha fatto riflettere anche su un quesito

diverso, legato alle esalazioni tossiche che queste sostanze liberano negli ambienti in cui giacciono per diversi anni; in questo senso, il tavolo oggetto di studio, essendo costituito di elementi in legno massello giuntati con colla e tasselli domino, pur essendo trattato con olii e cere naturali, soddisfa il solo criterio della salubrità ma non quello del riciclo.

3.2. Il legno massello

Per quanto riguarda la produzione dei semilavorati di maggior valore economico, ossia le tavole in legno massiccio, è stata appositamente redatta un parte del secondo capitolo (paragrafo 2.2), dedicato al progetto di un tavolo in rovere.

Fig.8 Boules di legno massello.

Bisogna precisare che la differenza principale risiede nella materia prima utilizzata (nel primo caso legno massello al 100%, nel secondo invece parti di bassa qualità e scarti di lavorazione del legno). Tuttavia, anche le lavorazioni che subiscono i semilavorati (per esempio l'immersione in acqua bollente e la successiva sfogliatura, fasi del processo produttivo del compensato multistrato, la riduzione in chip, adoperata nella produzione dei pannelli in truciolare, ecc.) risultano differenti a seconda del caso, arrivando addirittura a sciogliere il legame tra le fibre del legno, come nel caso del trattamento con vapore ad alta temperatura e sotto pressione del legno, necessario per produrre pannelli in MDF.

3.3. Il legno impiallacciato

Il legno impiallacciato è stato diffuso per diminuire l'utilizzo di legno massello, cioè per ridurre i costi di produzione industriale; si tratta di un derivato del legno, indubbiamente meno pregiato del legno massiccio, "foderato" con legno qualitativamente superiore su una o più superfici a vista, al fine di ottenere, apparentemente, il medesimo aspetto di essenze quali rovere, noce, palissandro, ecc.

Fig.9 Tranciati per impiallacciatura.

Riguardo alla colla, la quantità necessaria per l'impiallacciatura è di 130-140 g/m^2. La più diffusa per questa operazione è a base di urea e di formaldeide ad attivazione termica, cioè che indurisce con il calore; si presenta come una polvere biancastra, che va diluita in acqua (5 kg di acqua

per 10 kg di colla) e successivamente miscelata per mezzo di un mescolatore meccanico. Avendo premura di colorarlo, per adattarlo meglio al colore del legno, e risultando quindi gradevole alla vista, il legante può essere steso con uno spandi-colla, il quale consente di risparmiare fino al 30% del tempo, con una pennellessa (il tradizionale pennello) o, in alternativa, con una spatola dentata. Per placcare il tranciato si adopera una pressa a caldo, un macchinario munito di due piani orizzontali a facce parallele, che raggiungono temperature fino a 90-100 °C e anche oltre (riscaldate ad acqua, a olio, o con l'ausilio di resistenze elettriche); quello superiore risulta fisso, mentre quello inferiore è mobile, sorretto e azionato dalla spinta di pistoni idraulici, con lo scopo di comprimere qualunque cosa venga messa fra essi.

La colla, come già detto, contiene formaldeide, le cui emissioni non devono superare i limiti imposti dalla norma EN 120, cioè di 0,1 ppm (0,124 mg/m^3) per i leganti appartenenti alla classe E1. È perciò indispensabile confinare la formaldeide all'interno del pannello, solitamente incollando dei tranciati di essenze nobili sulle facce con maggiore superficie, nonché applicando bordi precollati della stessa essenza o, in alternativa, materiale plastico appositamente concepito per questo scopo.

Fig.10 Rotolo di bordo precollato in rovere.

Questi semilavorati vengono prodotti in pannelli da ditte specializzate, per poi essere dimensionati e rivestiti dagli artigiani o dalle falegnamerie industriali che eseguono questo tipo di lavorazione.

3.3.1. Pannello in listellare

I pannelli in legno listellare prendono il nome da listelli che, affiancati ed incollati fra loro, vengono chiusi da due pannelli in compensato e con le fibre orientate trasversalmente rispetto ad essi. Come i pannelli in multistrato, nascono dall'esigenza di disporre di piani consistenti come il legno massello, ma senza possederne i difetti; infatti il semilavorato in listellare, a differenza del massello, essendo composto di righetti (generalmente di pioppo, più raramente di abete), oltre a trattenere con facilità le viti, conserva un ottimo comportamento a flessione in senso longitudinale. Queste caratteristiche permettono di realizzare mobili più pregiati di quelli costruiti in pannelli di truciolare o MDF, garantendo comunque stabilità.

I pannelli sono raggruppabili in 3 categorie, in base al numero di strati in listellare:

- 1 fila (da 15 a 30 mm);
- 2 file (da 35 a 50 mm), con in mezzo uno sfogliato di pioppo disposto trasversalmente;
- 3 file (fino a 60 mm), con la fila centrale orientata perpendicolarmente rispetto a quelle esterne.

Oltreché con due fogli di pioppo, le anime fatte di righetti posso essere rivestite con due fogli sottili in MDF. In tal caso, essi vengono separati dalla parte centrale per mezzo di uno sfogliato di pioppo disposto trasversalmente, il quale prende il nome di "camicia". Le superfici in MDF, a loro volta, possono essere rivestite con due fogli di laminato o, in alternativa, dal solo foglio di carta superficiale, diventando così dei pannelli nobilitati.

Per questo semilavorato non sono state reperite informazioni riguardanti le percentuali, per 1 m^3, dei materiali utilizzati per la produzione. È possibile, tuttavia, fare delle considerazioni significative riguardo al pannello in legno listellare:

- Possedendo un'anima in legno massello, risulta più ecologico degli altri prodotti a base legno. Questo significa che esso è composto da una percentuale di legno non inferiore all'80% (valore minimo riscontrato negli altri prodotti a base legno);
- Sapendo che l'anima di listellare va sempre placcata con altri semilavorati derivanti dall'industria del legno, come ad esempio i pannelli in MDF, e che quindi richiede l'utilizzo di presse a caldo e di colle termo-indurenti (come quelle a base di urea-formaldeide), si può affermare che il pannello in listellare ricade nella categoria dei rifiuti speciali.

3.3.2. Pannello in (compensato) multistrato

Il termine *compensato* si riferisce al prodotto a base legno che si ottiene "sfogliando" il tronco e ricomponendo i fogli, in numero dispari e con un minimo di 5. Essi vengono orientati con le fibre incrociate, e incollati. Qualora i piallacci vadano posti su entrambi i lati, e con orientamento longitudinale delle fibre, il compensato multistrato dovrà essere preventivamente scelto con orientamento trasversale delle stesse. Le essenze che si utilizzano più frequentemente sono pioppo, betulla, faggio e abete. Tra la scortecciatura e la "sfogliatura", il tronco passa del tempo immerso in acqua bollente. Occorre precisare che il legante da adoperare dipende dall'utilizzo finale del pannello: se al coperto e in ambienti non umidi, sarà sufficiente una colla a base di urea-formaldeide, se invece deve garantire una certa tenuta alla pioggia e all'umidità, bisognerà utilizzare una colla a base di resine fenoliche o melamminiche.

Fig. 11 Pannello in legno listellare.

Il compensato multistrato con spessore compreso tra i 10 e i 44 mm si compone dei seguenti elementi, espressi in percentuale (per 1 m^3):

- Massa lignea (sfogliati a vene incrociate) – circa 80%. Per la produzione della massa lignea si utilizza solo legno fresco;
- Colla UMF – circa 20%. È una resina melamminica a base di: resina di urea-formaldeide (33%), resina melamminica di urea-formaldeide (33%), acqua (17%) e farina di grano (17%); essa ricade nella classe 2 della norma UNI EN 636-2, soddisfacendo i requisiti imposti per esercizio in ambienti piuttosto umidi. Si secca durante la fase di pressatura poiché possiede la caratteristica di essere termoindurente, ossia di indurire una volta portata a temperature medio-alte.

3.3.3. Pannello in truciolare

Il pannello truciolare nasce negli anni ’50 ed è detto tale perché costituito da trucioli, i quali a loro volta vengono ricavati per mezzo di una chippatrice; tale macchinario permette di ridurre in *chip*, cioè in parti di piccole dimensioni, quegli scarti della produzione di tavole o di altri semilavorati qualitativamente più apprezzabili, le quali saranno poi macinate in scaglie. Tali scarti sono identificabili in sciaveri, ramaglie, tondelli rimanenti dalle operazioni di sfogliatura dei tronchi per produrre i compensati, vecchi pallet, da avanzi di qualunque operazione precedente, ecc.

Le scaglie vengono essiccate, fino ad avere un contenuto di umidità residua pari al 2-3%, e passate in un vaglio, al fine di ottenere gli elementi della dimensione necessaria separati da segatura e altri residui.

I trucioli vengono imbevuti della sopracitata colla termoindurente e stesi su un nastro di formatura, così da avere un pannello di larghezza definita.

Il composto viene passato poi sotto una pressa a rullo, la quale compatta e irrigidisce il pannello; in seguito si procede rifilando i bordi delle lastre ottenute, e raffreddando le stesse in refrigeratori radiali.

Fig.12 Pannello in legno multistrato.

Il passaggio successivo è costituito dalla sabbiatura delle facce con la superficie maggiore, al fine di ridurre le parti di materiale in eccesso.
Infine i pannelli sono stoccati in grandi pile e distanziati da listelli per permettere la ventilazione, nonché opportunamente coperti e protetti dagli agenti esterni.

Fig.13 Pannello in legno truciolare.

Il truciolare grezzo con spessore compreso tra i 2,5 e i 40 mm, il quale possiede una densità media pari a 660 kg/m³ una volta pressato, si compone dei seguenti elementi, espressi in percentuale (per 1 m³):

- Massa lignea – circa 84-86%. Per la produzione della massa lignea si utilizza solo il legno fresco, meglio se costituito da avanzi di segheria (le essenze sono il pino e l'abete rosso). Circa il 30% del legno grezzo viene riciclato e può essere utilizzato nella produzione dei pannelli;
- Colla UF – circa 8-10%. È un legante che si unisce alle scaglie e si secca durante la fase di pressatura poiché possiede la caratteristica di essere termoindurente, ossia di indurire una volta portato ad alte

temperature e schiacciato. Viene detta anche resina a base di urea e formaldeide (la formaldeide appartiene alla classe E1 secondo la norma EN 120, come precedentemente detto);

- Acqua – circa 4-7%;
- Emulsione di paraffina – meno dell'1%. Questa emulsione consente, una volta addizionata alla formulazione, che durante la fase di incollaggio il composto risulti idrofobo, migliorando così la resistenza all'umidità.

3.3.4. Pannello in MDF

Questo pannello giunge sul mercato italiano alla fine degli anni '70, rappresentando l'evoluzione del pannello di truciolare; è infatti un pannello di particelle, solo che in questo caso, alla riduzione in *chip* segue una fase di vapore ad alta temperatura e sotto pressione, al fine di sciogliere i legami tra le particelle del legno. Dopo tali operazioni, il tutto viene trasferito negli sfibratori (macchinari che trasformano il legno in una pasta, la quale viene addizionata generalmente con colle a base di urea-formaldeide) e quindi i pannelli vengono prodotti con lo stesso procedimento dei truciolari.

Questa prodotto differisce dal legno massello poiché non possiede una direzione delle fibre orientata; perciò il pannello in MDF può considerarsi lavorabile in tutte le direzioni, superando i limiti del legno massello, il quale spesso subisce scheggiature. Il legno sfibrato viene poi essiccato fino a un tenore di umidità residua pari al 2-3%.

Le fibre essiccate vengono imbevute della sopracitata colla termoindurente e stese su un nastro di formatura, così da avere un pannello di larghezza definita. Il composto viene passato poi sotto la pressa a rullo, che lo irrigidisce e lo compatta; successivamente si procede tagliando i bordi in profili regolari, e raffreddando il prodotto, opportunamente tagliato, in refrigeratori radiali. Vengono in seguito sabbiate le facce con la superficie

maggiore, al fine di rendere il materiale liscio. A questo punto i pannelli vanno stoccati in pile di grandi dimensioni e su spessori di legno adeguati alla ventilazione, nonché opportunamente coperti e protetti dagli agenti esterni.

Questo semilavorato, a differenza degli altri prodotti, non possiede alcun senso di sviluppo delle fibre, perciò risulta lavorabile in qualunque direzione, nello stesso modo e con il medesimo risultato. Dopo questa precisazione, è opportuno sapere che entrambe le superfici più ampie, come per i pannelli di truciolare, dopo la fase di riposo vengono levigate per ottenere gli spessori desiderati.

Fig.14 Pannello di fibra a media densità (MDF)

Il truciolare grezzo con spessore compreso tra i 8 e i 40 mm, il quale possiede una densità media di 720 kg/m³ una volta pressato, si compone dei seguenti elementi, espressi in percentuale (per 1 m³):

- Massa lignea (wood chips) – circa 82%. Per la produzione della massa lignea si utilizza solo il legno fresco, meglio se costituito da avanzi di segheria, di essenze quali il pino e l'abete rosso;
- Colla UMF – circa 11%. È una resina melamminica a base di formaldeide che si unisce alla miscela e si secca durante la fase di

pressatura poiché è termoindurente, ossia indurisce una volta portato a temperature medio-alte;

- Acqua – circa 5-7%;
- Emulsione di paraffina – meno dell'1%. Questa emulsione permette, una volta addizionata alla formulazione, di proteggere il pannello, facendo risultare il composto idrofobo durante la fase di incollaggio.

CONCLUSIONI

Dalla valutazione dei processi unitari inerenti ciascun semilavorato, ne scaturisce che il processo per ottenere tavole in legno massello è, fra tutti, quello che produce una maggiore percentuale di scarti di lavorazione. Questi scarti, sono da intendere riciclabili poiché vanno a rappresentare un'aliquota significativa di materiale utilizzato nella produzione dei prodotti a base legno. Di contro, gli stessi, dal listellare al compensato multistrato, dal truciolare al pannello in fibra di legno a media densità, mettono in evidenza, al fronte di elevate emissioni di CO_2, uno scarto di lavorazione pressoché nullo; inoltre, per produrre questi semilavorati, vengono utilizzate colle o resine a base di formaldeide (ritenuto uno dei principali inquinanti degli ambienti interni).

In merito alle precedenti considerazioni, si conclude che solo la scelta delle tavole in legno massello, potendo prescindere dall'aspetto economico (il quale suggerirebbe una preferenza per i pannelli), permette di realizzare prodotti in parte o interamente riciclabili, purché essi non subiscano alcun trattamento con sostanze sintetiche. Dunque, se nella pratica della gestione dei rifiuti si separassero meccanicamente le porzioni di legno riciclabili da quelle contaminate (come ad esempio un giunto realizzato con colla vinilica), le prime andrebbero ad incrementare l'aliquota di materiale riciclabile precedentemente citata, mentre le seconde quella dei rifiuti speciali.

Se nella realizzazione di un prodotto in legno massello si utilizzano prodotti industriali, quali viti e bulloni, essi influiscono in maniera negativa, andando a sommare le emissioni di CO_2 prodotte per generarli a quelle relative alla produzione della sola parte di legno.

La consapevolezza di voler ridurre i fattori di rischio per l'ambiente e riciclare la maggior quantità di legno possibile indirizza alla scelta di

realizzare un prodotto mediante l'utilizzo di tavole in legno massello, giuntate principalmente a secco (oppure, se necessario, per mezzo di colle o resine non a base di formaldeide), ed eseguendo solo processi che non compromettano la riciclabilità del legno, come trattamenti con olii e cere naturali.

BIBLIOGRAFIA

G. Baldo, M. Marino, S. Rossi. 2008. *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi.* Milano : Edizioni Ambiente, 2008.

Nutsch, W. 2006. *Manuale tecnico del legno. Guida pratica per l'edilizia e gli interni.* Napoli : Sistemi Editoriali, 2006.

SITOGRAFIA

Collanti Concorde. *www.collanticoncorde.it.* [Online] [Riportato: 10 12 2018.] http://www.collanticoncorde.it/prodotti_spec.php?macrocateg=1&id=1&lingua=1.

Cosmob. *www.cosmob.it.* [Online] [Riportato: 06 12 2018.] http://www.cosmob.it/2016/03/16/formaldeide-aggiornamento-normativo/.

Costruiamoimobili. *http://costruiamoimobili.blogspot.com.* [Online] [Riportato: 23 10 2018.] http://costruiamoimobili.blogspot.com.

Egger. *www.egger.com.* [Online] [Riportato: 02 01 2019.] https://www.egger.com/shop/it_IT/support/downloads.

Legnopan. *www.legnopan.com.* [Online] [Riportato: 06 01 2019.] http://www.legnopan.com.

Panguaneta plywood. *www.panguanetaplywood.com.* [Online] [Riportato: 20 01 2018.] https://www.panguanetaplywood.com/it/certificazioni/category/36-dichiarazione-ambientale-di-prodotto-epd.

Wikipedia. *www.wikipedia.org.* [Online] [Riportato: 15 11 2018.] https://it.wikipedia.org/wiki/Life_Cycle_Assessment.

https://www.utensileriaonline.it/media/Bindan-P.pdf

http://www.sodept.com/wp-content/uploads/2014/12/13-Essiccazione-e-stagionatura-del-legno.pdf

IMMAGINI

Fig. 1 - **G. Baldo, M. Marino, S. Rossi. 2008.** *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi.* Milano : Edizioni Ambiente, 2008.

Fig. 2 - **G. Baldo, M. Marino, S. Rossi. 2008.** *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi.* Milano : Edizioni Ambiente, 2008.

Fig. 3 - **G. Baldo, M. Marino, S. Rossi. 2008.** *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi.* Milano : Edizioni Ambiente, 2008.

Fig. 4 - **G. Baldo, M. Marino, S. Rossi. 2008.** *Analisi del ciclo di vita LCA: gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi.* Milano : Edizioni Ambiente, 2008.

Fig. 5 – Ricevuta dall'artigiano Zanini

Fig. 6 - https://www.shopmancini.com/it/accessori-per-utensili/1539-tasselli-faggio-per-festool-domino-df500.html

Fig. 7 - Ricevuta dall'artigiano Zanini

Fig. 8 - http://www.montecastellodivibio.gov.it/life/piandoro-legnami

Fig. 9 - http://www.langolodeltranciato.it/tranciati.htm#images-1

Fig. 10 - http://www.bordiinlegno.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/0/1/01-rovere-europeo-3_5.jpg

Fig. 11 - http://crippasnc.it/wp-content/uploads/2014/03/listellare-e1485187286265.jpg

Fig. 12 - http://www.amorelegnami.it/images/Forniture/Pannelli_in_legno_multistrato_pioppo_amore_legnami.jpg

Fig. 13 - http://crippasnc.it/wp-content/uploads/2014/03/truciolare.jpg

Fig 14

https://www.finsa.com/cs/Satellite?idiomaNav=en_IR&c=CP_Producto_C&pagename=FN_CatalogoProductos/CP_Producto_C/CP_PTProductoDetalle&rendermode=preview&cid=1426700751694

ALLEGEATI

Tavola 1

Tavola 2

Tavola 3

Tavola 4

Tavola 5

Tavola 6

Tavola 7

Tavola 8

Tavola 9

Tavola 10

Tavola 11

EPD LEGNO MASSICCIO

EPD PANNELLO LEGNO MULTISTRATO

EPD PANNELLO LEGNO TRUCIOLARE

EPD PANNELLO LEGNO MDF

TABULATI DATI PRELIMINARI