

STUDIO DI FILIERA DEL BANCO SCOLASTICO MONOPOSTO



Autori:

Valentina Fantin, Flavia Frisone, Caterina Rinaldi (ENEA)

Alessandra Cecchini (Manifaktura S.r.l.)

Luigia Petti, Ioannis Arzoumanidis (Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara)

Data di redazione: Gennaio 2023

Revisione critica interna: Flavio Scrucca (ENEA)

Progetto Arcadia - approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA per l'uso efficiente delle risorse

Linea di intervento 2: Realizzazione della Banca Dati Italiana LCA

Azione 5: Analisi e raccolta dati per la costruzione della Banca Dati

Sommario

1	Sintesi.....	5
2	Scopo del documento	5
3	Studio di filiera del banco monoposto	6
3.1	Gruppo di lavoro.....	6
3.2	Ambito di applicazione dello studio.....	7
3.2.1	Funzione del sistema, unità funzionale e flusso di riferimento	7
3.2.2	Descrizione del processo produttivo e confini del sistema.....	8
3.2.3	Assunzioni e giudizi di valore.....	13
3.2.4	Gestione della multifunzionalità.....	13
3.2.5	Informazioni ambientali aggiuntive	14
3.2.6	Revisione critica.....	14
3.2.7	Modellizzazione e metodologia di analisi degli impatti	15
3.3	Modellazione dei dataset della filiera.....	15
3.4	Analisi di inventario	15
3.4.1	Assunzioni utilizzate nello studio.....	16
3.4.2	Descrizione e documentazione processi unitari	17
3.4.3	Sviluppo dei dataset	26
3.5	Valutazione degli impatti ambientali	26
3.5.1	Caratterizzazione	27
3.5.2	Normalizzazione	28
3.5.3	Pesatura	29
3.5.4	Analisi di sensibilità	29
3.6	Interpretazione dei risultati	31
3.6.1	Categorie di impatto rilevanti.....	31
3.6.2	Fasi del ciclo di vita e processi rilevanti	31
3.6.3	Flussi elementari rilevanti	34
3.7	Conclusioni	35
4	Bibliografia	37

Indice delle tabelle

Tabella 1. Gruppo di lavoro per lo studio LCA di filiera del banco monoposto.....	6
Tabella 2. Unità funzionale del banco monoposto	7
Tabella 3. Percentuale delle diverse tipologie di trattamento per ogni frazione dei rifiuti urbani (ISPRA, 2020b).....	17
Tabella 4. Potenza nominale e tempo di lavorazione per ogni fase di lavorazione del banco monoposto.....	21
Tabella 5. Dati di input e output relativi alla produzione di 1 banco monoposto del peso di 12.60 kg	23
Tabella 6. Risultati di caratterizzazione relativi alla produzione di 1 banco monoposto: impatto totale, produzione acciaio, pannello truciolare, fogli laminati HPL, bordo faggio e produzione banco monoposto	27
Tabella 7. Risultati di normalizzazione relativi alla produzione di 1 banco monoposto: impatto totale, produzione acciaio, pannello truciolare, fogli laminati HPL, bordo faggio e produzione banco monoposto	28
Tabella 8. Risultati di pesatura relativi alla produzione di 1 banco monoposto: impatto totale, produzione acciaio, pannello truciolare, fogli laminati HPL, bordo faggio e produzione banco monoposto.....	29
Tabella 9. Risultati di caratterizzazione relativi al confronto tra Scenario base A e Scenario alternativo B.....	30
Tabella 10. Contributi percentuali dei vari processi alla produzione di 1 banco monoposto	33

Indice delle figure

Figura 1. Banco monoposto rappresentativo della media nazionale	8
Figura 2. Diagramma di flusso del banco monoposto per arredo scolastico	10
Figura 3. Confini del sistema del processo di produzione del banco monoposto medio rappresentativo della filiera dell'arredo scolastico destinato all'utilizzo nelle scuole.....	12
Figura 4. Contributi percentuali dei vari processi che costituiscono il ciclo di vita della alla produzione di 1 banco monoposto, per le categorie di impatto più rilevanti	34

Lista degli Acronimi

BOF	Basic Oxygen Furnace
CAM	Criteri Ambientali Minimi
CLP	Classification, Labelling and Packaging
COV	Composti Organici Volatili
EPD	Environmental Product Declarations
EVA	Ethylene Vinyl Acetate
HPL	High Pressure Laminate
LCA	Life Cycle Assessment

REACH	Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals
SVHC	Substances of Very High Concern
PCR	Product Category Rules
PVA	Polil Vinyl Acetate

1 Sintesi

Il presente report presenta i risultati di uno specifico studio di ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) applicato alla filiera dei mobili scolastici, ed in particolare ad un banco monoposto del peso di 12,60 kg. Il banco monoposto è utilizzato in ambito scolastico in particolare nelle aule, nelle sale comuni come biblioteche, sala studio, sala insegnanti, ecc. per scuole secondarie di primo e secondo grado.

Lo studio LCA è stato svolto adottando un approccio “cradle-to-gate”, ovvero considerando tutti i processi fino al “cancello aziendale”, senza includere la distribuzione del prodotto al cliente finale, e le successive fasi di uso e fine vita, utilizzando dati di qualità prevalentemente buona (dati primari raccolti presso le imprese coinvolte). L'unità funzionale è 1 banco monoposto con ripiano in legno truciolare grezzo, ricoperto da ambo i lati da fogli di laminati HPL (High Pressure Laminate) con bordo di faggio, e telaio in acciaio, del peso di 12,60 kg; le dimensioni del banco sono 50 cm* 70 cm* 76 cm (altezza), con funzione di scrittura e lettura per alunni scolastici, e con una durata media pari a 15 anni.

I risultati della categoria Climate Change, pari ad un totale di 18,50 kg CO₂ eq. /1 banco monoposto, di cui 15,80 kg CO₂ eq. associati alla produzione e al trasporto dei tubolari in acciaio, del pannello truciolare grezzo dei laminati HPL, e i restanti 2,70 kg CO₂ eq. associati alla produzione del banco monoposto.

In letteratura non esistono, a nostra conoscenza, studi LCA di prodotti analoghi al banco scolastico analizzato in questo report e non è perciò possibile effettuare un confronto tra i risultati ottenuti e quelli di letteratura. Anche le EPD pubblicate, provenienti da diversi Programme Operator, si riferiscono a scrivanie e tavoli costituiti da componenti differenti (es. scrivanie d'ufficio con telaio in acciaio e piano truciolare e un tavolo con telaio in acciaio e piano in legno, ecc.) e non è stato possibile reperire EPD di prodotti simili a quello studiato. Tuttavia, si può affermare che, nonostante queste rilevanti differenze, i risultati ottenuti risultano appartenenti allo stesso ordine di grandezza di quelli presenti in tali EPD. La fase di produzione dell'acciaio per i tubolari in acciaio è preponderante in tutte le categorie di impatto più significative, seguito dalla produzione del ripiano truciolare grezzo, dei due laminati HPL e dei relativi trasporti per giungere al cancello dell'azienda. Il trasporto di altri materiali ausiliari, la produzione dei gommini e delle viti, l'utilizzo della caldaia combinata e la gestione dei rifiuti contribuiscono in modo meno rilevante alle categorie di impatto più significative.

Si ringraziano le aziende Arreda La Scuola, Mobilferro S.r.l e Vastarredo S.r.l. per avere contribuito, con i dati forniti, al presente studio e allo sviluppo dei dataset per la banca dati di Arcadia.

2 Scopo del documento

Il seguente rapporto è stato realizzato all'interno del progetto Arcadia - approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA, finanziato dal PON Governance e Capacità Istituzionali 2014-2020, come output dell'Azione 5 “Analisi e raccolta dati per la costituzione della banca dati”. Questo rapporto rientra nella sotto-azione A5.3 “raccolta dati prodotto/servizio lungo il ciclo di vita ed elaborazione dei documenti” e rappresenta lo studio LCA della filiera dei mobili scolastici, in particolare del banco monoposto.

3 Studio di filiera del banco monoposto

3.1 Gruppo di lavoro

In Tabella 1. Gruppo di lavoro per lo studio LCA di filiera del banco monoposto è riportato il gruppo di lavoro che ha contribuito al presente studio.

Tabella 1. Gruppo di lavoro per lo studio LCA di filiera del banco monoposto

Nome	Ente/impresa	Tipologia	Sito web
Caterina Rinaldi (coordinatrice progetto Arcadia)	ENEA	Centro di ricerca	https://risorse.sostenibilita.enea.it/structure/rise e-mail: caterina.rinaldi@enea.it tel: 051-6098388
Valentina Fantin (responsabile studio filiera dei mobili scolastici)	ENEA	Centro di ricerca	https://risorse.sostenibilita.enea.it/structure/rise e-mail: valentina.fantin@enea.it tel: 051-6098532
Flavia Frisone	ENEA	Centro di Ricerca	e-mail: flavia.frisone@enea.it
Alessandra Cecchini	Manifaktura S.r.l.	Consulente	e-mail: a.cecchini@manifaktura2020.com tel: 0721-585252
Francesco Balducci	Manifaktura S.r.l.	Consulente	e-mail: a.cecchini@manifaktura2020.com tel: 0721-585252
Massimiliano Di Biase	Arreda La scuola	Impresa	e-mail: max@arredalascuola.it tel: 349-8208482
Alessandro Stella	Mobilferro S.r.l.	Impresa	e-mail: alessandro@mobilferro.org Tel. 0425701181
Luigia Petti	Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara	Università	e-mail: l.petti@unich.it
Ioannis Arzoumanidis	Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara	Università	e-mail: ioannis.arzoumanidis@unich.it
Emidio Salvatorelli	Vastarredo S.r.l.	Impresa	e-mail: emidio@salvatorelli.net

Le aziende, i consulenti e gli altri componenti del gruppo di lavoro hanno deciso di partecipare al progetto ARCADIA e fornire il loro contributo allo studio di filiera per lo sviluppo dei dataset relativi ai mobili scolastici sia ai fini della valutazione/miglioramento delle prestazioni ambientali dei propri prodotti, anche in ottica di un possibile ottenimento di etichette ambientali (EPD, Made Green in Italy, ...), che per ragioni di visibilità nella banca dati e in altre iniziative di disseminazione legate alla partecipazione al progetto.

3.2 Ambito di applicazione dello studio

3.2.1 Funzione del sistema, unità funzionale e flusso di riferimento

La funzione del sistema è la produzione di un banco monoposto rappresentativo della media nazionale destinata all'utilizzo nelle istituzioni scolastiche. Il banco deve essere conforme alle norme UNI EN 1729-1 (UNI EN, 2016a) e UNI EN 1729-2 (UNI EN, 2016b), che prevedono prove cicliche di durata dei banchi scolastici espresse in numero di cicli e prove di resistenza, di stabilità e di urto.

L'unità funzionale (Tabella 2) è 1 banco monoposto di dimensioni 70 cm*50 cm*76 cm (altezza), di peso 12,60 kg, con funzione di banco scolastico per alunni e durata media pari a 15 anni. Tale unità funzionale è ritenuta più idonea anche dalle aziende e dagli esperti di settore coinvolti nello studio di filiera ed è congruente, così come la durata media di 15 anni, con i documenti di settore esistenti, es. le Product Category Rules (PCR) for Seats del sistema Environdec (EPD International AB, 2022).

Il flusso di riferimento è rappresentato da 1 banco monoposto con telaio in acciaio e piano in truciolare con bordi di faggio.

Lo studio LCA è stato sviluppato in conformità alle norme ISO 14040-14044 (UNI EN, 2021a); UNI EN, 2021b), modellando il ciclo di vita dei prodotti in modo "attribuzionale", ovvero riproducendo la catena di fornitura esistente e utilizzando processi di background rappresentativi del mix di consumo del mercato medio (JRC, 2010).

Tabella 2. Unità funzionale del banco monoposto

Funzione fornita	Che cosa?	Banco monoposto per alunni scolastici
Quantità della funzione fornita	Quanto?	1 banco monoposto di peso 12,60 kg con telaio in acciaio e piano in truciolare con bordi di faggio
Il livello di qualità della funzione attesa	Quanto bene la funzione viene espletata (non sempre applicabile/definibile)	Il banco in questione risulta essere conforme alle norme di riferimento per l'utilizzo in ambiente scolastico UNI EN 1729-1 e UNI en 1729-2. Tali norme prendono in considerazione la sicurezza, la durabilità e la resistenza del prodotto. Inoltre il piano è costituito da un pannello truciolare riciclato che rispetta le principali norme di riferimento per quanto riguarda l'emissione di formaldeide del pannello (vedi CAM arredi allegato 1) e le norme di riferimento per le superfici (UNI 9300:2020 - Finiture per il legno - Determinazione della tendenza delle superfici a ritenere lo sporco; UNI EN 15186:2012 Mobili - Valutazione della resistenza delle superfici al graffio; UNI EN 15185:2011 Mobili - Valutazione della resistenza delle superfici all'abrasione; UNI EN 15187:2007 Mobili - Valutazione degli effetti dell'esposizione alla luce.)

La durata del prodotto	Per quanto tempo la funzione è espletata?	La durata minima può essere stimata in 15 anni
-------------------------------	---	--

3.2.2 Descrizione del processo produttivo e confini del sistema

Il banco monoposto considerato per lo studio LCA si compone di un telaio in acciaio che sorregge un ripiano in legno (Figura 1). Il telaio in acciaio è composto da quattro tubolari in acciaio opportunamente tagliati che costituiscono i piedi del banco a loro volta saldati a quattro semiovali in acciaio, anch'essi tagliati su misura, per realizzare una struttura rettangolare (telaietto) di supporto alla struttura in legno; il ripiano in legno, costituito da un piano truciolare grezzo al quale vengono incollati sulla parte superiore e inferiore due fogli di laminati HPL (High Pressure Laminate) e bordato per tutto il perimetro con listelli di faggio, è assemblato al telaio attraverso sei viti in acciaio e infine quattro gommini vengono incassati ai piedini del telaio per garantire la funzione antiscivolo. I tubolari che compongono i piedi del banco sono realizzati con acciaio del tipo E 220 + CR2S2 conformi alla normativa europea EN 10305 (UNI EN, 2016c) (tubi saldati longitudinalmente di acciaio al carbonio non legato per applicazioni di precisione). Il codice E220 indica il grado di acciaio, con relativa composizione chimica e caratteristiche meccaniche; il codice CR2 indica che il tubolare non è adatto a trattamento termico dopo saldatura e il codice S2 indica che il tubolare è stato realizzato da nastro laminato a caldo decapato. I semiovali in acciaio che compongono il telaietto sono realizzati con acciaio del tipo E 220 + CR2S3 anch'essi conformi alla normativa europea EN 10305 (UNI EN, 2016c) in cui il codice S3 indica che la barra semiovale è stata realizzata da nastro laminato a freddo. Il pannello truciolare grezzo che compone il ripiano del banco è di tipo P2 conforme alla normativa EN 312:2010 (UNI EN, 2010a) dove la sigla P2 si riferisce ai pannelli per utilizzo interno come componente non strutturale in ambiente secco. I fogli di laminato HPL che rivestono il piano del banco nella parte superiore e inferiore sono conformi agli standard UNI EN 438 (UNI EN, 2016d) e ISO 4586 (UNI EN ISO, 2015). Il bordo che contorna perimetralmente il piano truciolare è realizzato con listelli di faggio essiccato ad una percentuale di umidità < 15%.



Figura 1. Banco monoposto rappresentativo della media nazionale

Il processo produttivo del banco monoposto è composto da due sotto processi (lavorazione dell'acciaio e lavorazione del legno) che avvengono in contemporanea all'interno delle aziende

coinvolte nello studio di filiera, seguendo due linee di produzione differenti all'interno dello stesso stabilimento; secondo le seguenti fasi (Figura 2):

1) Lavorazione dell'acciaio:

- **Sezionatura dei tubolari e semiovali di acciaio:** in azienda giungono i tubolari e semiovali in acciaio che sono opportunamente sezionati da una macchina da taglio per acciaio in modo da ottenere, rispettivamente, i piedi del banco e le traversine per realizzare il telaio di supporto al piano in legno.
- **Saldatura:** durante questa fase i tubolari in acciaio vengono saldati alle traversine in quattro punti in modo tale da ottenere il telaio grezzo del banco.
- **Verniciatura** dei telai: tale fase racchiude altri sotto processi come si evince dal diagramma di flusso di produzione (Figura 2):
 - ✓ **Pretrattamento:** i telai grezzi sono appesi ad una catenaria che in automatico, ad una velocità costante di 1,5 m/min circa, conduce i telai all'interno di un tunnel di prelavaggio con liquido fosfosgrassante che rimuove le impurità dal metallo (costituite da residui di polvere metalliche e olii di lavorazione in seguito al taglio e alla saldatura che il telaio ha subito precedentemente).
 - ✓ **Asciugatura in forno:** i telai, sempre appesi alla catenaria, proseguono all'interno di un forno per il tempo necessario alla completa asciugatura delle superfici trattate con il liquido fosfosgrassante.
 - ✓ **Verniciatura:** i telai sono verniciati con polveri epossidiche che li ricoprono interamente attraverso l'utilizzo di pistole elettrostatiche automatiche all'interno di opportune cabine di verniciatura. La quantità di vernice in esubero è ricircolata e riutilizzata per i telai successivi.
 - ✓ **Polimerizzazione:** i telai ricoperti da polveri epossidiche entrano nuovamente nel forno per la fase di polimerizzazione, che avviene ad una temperatura di circa 200°C consentendo la solidificazione della vernice precedentemente applicata. Alla fine di questa operazione i telai, una volta verniciati, procedono sulla catenaria fino ad arrivare nella zona di pallettizzazione dove sono sganciati e trasportati in magazzino tramite muletti elettrici.

2) Lavorazione del legno:

- **Sezionatura dei pannelli truciolari:** in azienda giungono i pannelli di truciolare che sono opportunamente tagliati dalla macchina sezionatrice del legno per ottenere il piano truciolare grezzo del banco.
- **Sezionatura dei fogli di laminato HPL:** in azienda giungono i fogli di laminato HPL che a loro volta sono opportunamente tagliati con macchina sezionatrice secondo le stesse dimensioni del piano truciolare per il banco.
- **Incollaggio dei laminati HPL al piano truciolare:** durante questa fase i due fogli di laminato HPL sono incollati sulla parte superiore e inferiore del piano truciolare grezzo, ottenendo il piano del banco che sarà pronto per la fase successiva.
- **Incollaggio bordo in faggio:** in questa fase i listelli di faggio di altezza pari allo spessore del piano truciolare comprensivo di laminati HPL (circa 2 cm) sono incollati per l'intero perimetro del piano del banco.

- **Bordatura bordo in faggio:** in questa fase una macchina detta di “scorciatura/ bordatura” rifila il bordo del piano in legno del banco eliminando la parte di listelli in faggio in eccesso, residuo della fase precedente e, nello stesso tempo, smussa gli angoli del piano per arrotondarli secondo quanto indicato dalla normativa.
- **Assemblaggio:** in questa fase il telaio in acciaio è assemblato al piano di legno del banco attraverso l'avvitamento di sei viti e l'inserimento di quattro gommini antiscivolo ai piedi del telaio, il prodotto finito è pronto per essere distribuito. Non è utilizzato alcun tipo di imballaggio finale, in quanto i banchi possono essere facilmente impilati e caricati manualmente sui mezzi di trasporto.

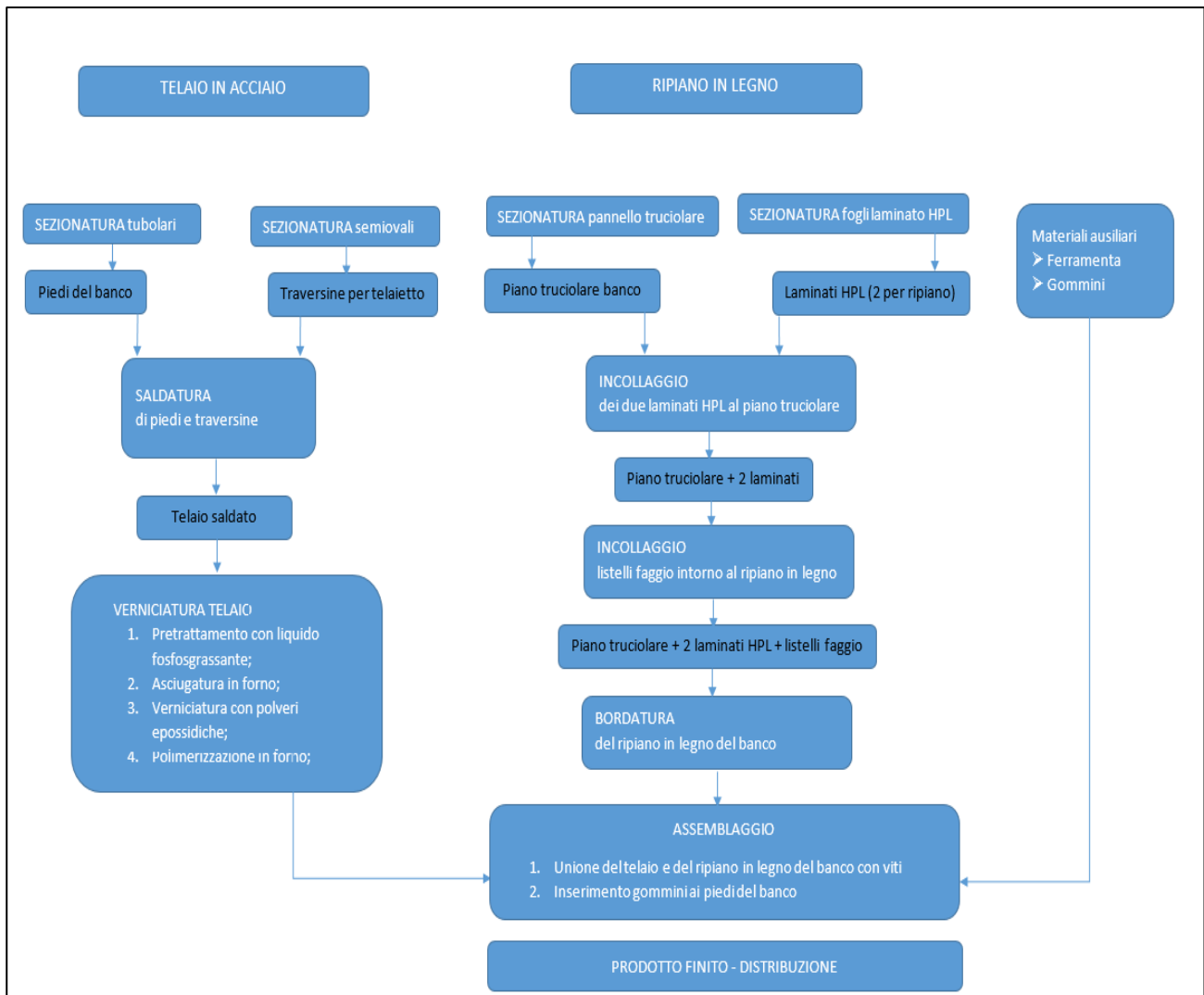


Figura 2. Diagramma di flusso del banco monoposto per arredo scolastico

Ai fini dello studio LCA di filiera si è adottato un approccio “cradle-to-gate”, ovvero un approccio che considera tutti i processi fino al “cancello aziendale”, escludendo la distribuzione del prodotto al cliente finale, e le successive fasi di uso e fine vita (ad es. eventuali ulteriori lavorazioni/trattamenti eseguiti presso il cliente finale e il processo di riuso/riciclo/smaltimento del banco monoposto). Tale scelta dei confini del sistema, che vanno dalla fase di approvvigionamento dei componenti necessari alla produzione del banco monoposto, fino alla fase di assemblaggio (il prodotto finale non viene imballato), pronto per essere distribuito al cliente finale, è ritenuta

rilevante per le attività delle aziende di produzione del banco medio rappresentativo della filiera dell'arredo scolastico.

In dettaglio, i confini del sistema includono le seguenti fasi e processi (Figura 3):

- **Produzione** dell'acciaio, del pannello truciolare grezzo, dei fogli laminati HPL, dei listelli per il bordo in faggio e loro trasporto all'azienda che produce il banco monoposto finito;
- **Produzione e assemblaggio** del banco monoposto, che include i seguenti processi:
 - ✓ **Taglio** dei tubolari e semiovali in acciaio, che comprende i consumi di materie ausiliarie (olio emulsionato da taglio) con relativi imballaggi, di acqua e di energia per la macchina da taglio;
 - ✓ **Saldatura** dei tubolari e semiovali in acciaio, che comprende i consumi di filo di saldatura con relativi imballaggi e di energia per la saldatrice;
 - ✓ **Pretrattamento chimico** del telaio del banco, che comprende i consumi di liquido fosfosgrassante con relativi imballaggi, di acqua e di energia elettrica per movimentare la catenaria a cui sono appesi i telai;
 - ✓ **Asciugatura** del telaio, che include i consumi di combustibile (gas naturale) per il forno e di energia elettrica per movimentare la catenaria;
 - ✓ **Verniciatura** del telaio in acciaio con polvere epossidica e polimerizzazione della stessa attraverso un secondo passaggio in forno, che comprende il consumo di vernice con relativi imballaggi, di energia elettrica per le pistole elettrostatiche e di combustibili (gas naturale) per il forno;
 - ✓ **Sezionatura** del pannello truciolare grezzo, che comprende i consumi di energia della macchina sezionatrice del legno;
 - ✓ **Sezionatura** dei fogli laminati HPL, che comprende i consumi di energia della macchina sezionatrice per fogli laminati HPL;
 - ✓ **Incollaggio** dei fogli laminati HPL al piano truciolare su entrambe le facce del piano, che comprende i consumi di colla con relativi imballaggi, di energia per la fase di incollaggio e di acqua per il risciacquo dei macchinari a fine turno;
 - ✓ **Incollaggio** dei listelli di faggio intorno al bordo perimetrale del piano di legno del banco, che comprende i consumi di colla con relativi imballaggi e di energia per la fase di incollaggio;
 - ✓ **Bordatura** del piano in legno del banco, che comprende il consumo di energia della macchina smussatrice;
 - ✓ **Assemblaggio** del piano in legno con il telaio in acciaio, che comprende il consumo di: energia elettrica, materiali (viti e gommini) con relativi imballaggi;
- La **movimentazione** dei banchi monoposto, che comprende il consumo di energia

elettrica per i muletti;

- La produzione dei **rifiuti**, il loro trasporto e trattamento finale;
- Le **emissioni in aria** relative alla combustione di gas naturale nel forno e quelle provenienti dai camini delle cappe delle cabine di verniciatura e del tunnel di fosfosgrassaggio (in cui si incanalano tutti i vapori in seguito al processo di pretrattamento).

È esclusa dai confini del sistema la produzione di macchinari ed infrastrutture (e relativi rifiuti di manutenzione), con l'eccezione di quelli già contenuti nei dataset di Ecoinvent utilizzati per modellare i dati di background. Tale scelta è congruente con quanto stabilito dalle "PCR for furniture, except seats and mattresses" (EPD International AB, 2022).

La fase di produzione dell'acciaio, del pannello truciolare grezzo, dei fogli di laminato HPL e dei listelli di bordo faggio non sono gestite direttamente dalle aziende coinvolte nel GdL e sono state modellate con appositi dataset di Ecoinvent.

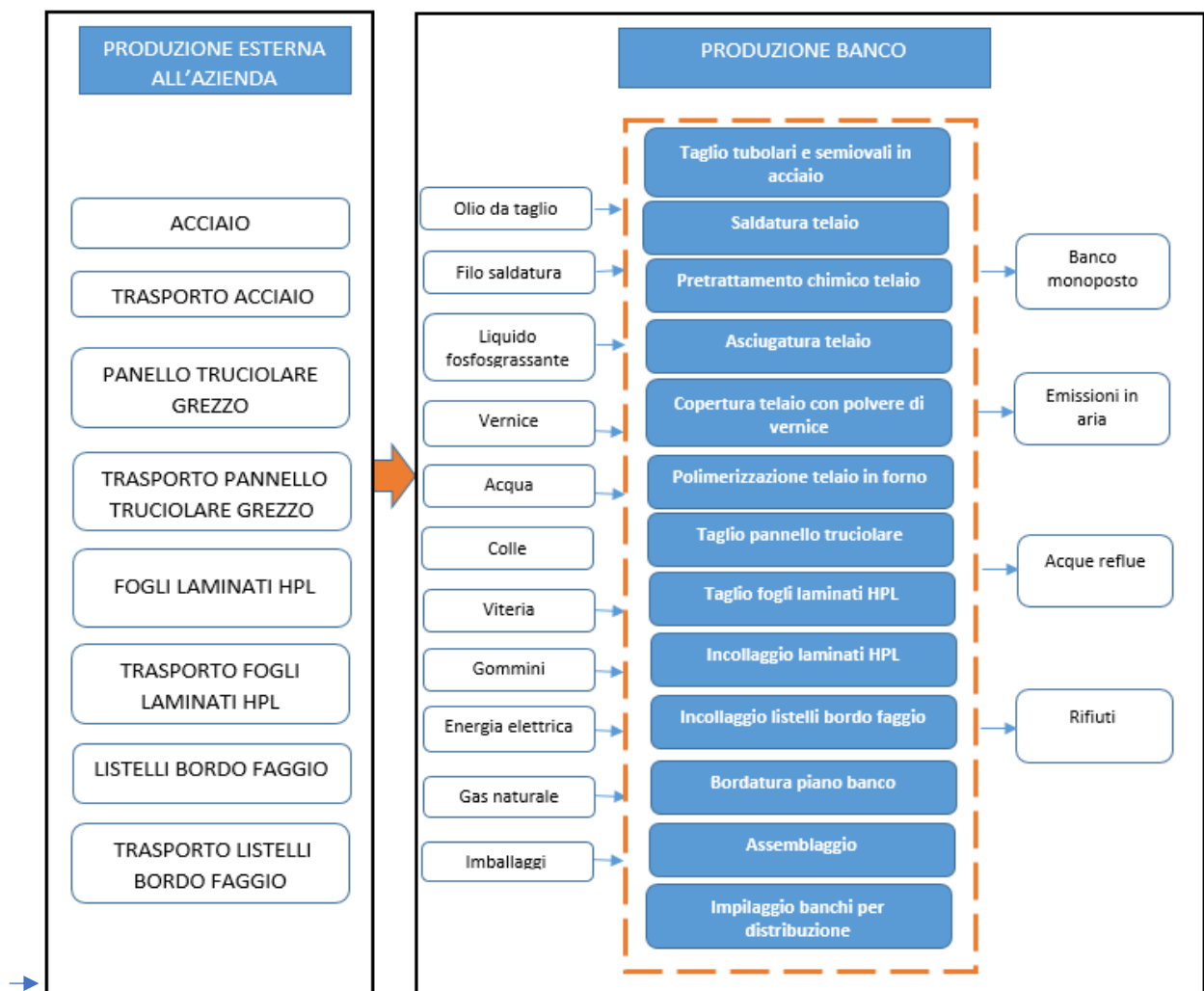


Figura 3. Confini del sistema del processo di produzione del banco monoposto medio rappresentativo della filiera dell'arredo scolastico destinato all'utilizzo nelle scuole

3.2.3 Assunzioni e giudizi di valore

La modellazione del sistema analizzato è stata eseguita facendo ricorso a dati primari disponibili a livello di filiera, raccolti presso due aziende coinvolte nel GdL, e riferiti alla produzione del banco monoposto per l'anno 2021, rappresentativi della filiera italiana di questa tipologia di banco e delle tecnologie (tipologie di macchinari, attrezzature, ecc.) in essa impiegate. All'interno del GdL si sono infatti selezionate aziende il cui processo produttivo e le cui tecnologie sono state considerate rappresentative di una situazione media italiana relativa alla produzione del banco monoposto per utilizzo scolastico.

I dati di inventario relativi ai diversi processi presenti all'interno dei confini del sistema sono dunque da ritenersi ragionevolmente rappresentativi della filiera oggetto di studio.

La modellazione dei processi di trasporto è stata eseguita sulla base delle quantità fisiche (peso trasportato) e delle distanze medie rappresentative del trasporto fino alle aziende produttrici dei banchi monoposto, desunte da dati caratteristici derivanti dalle imprese coinvolte nello studio di filiera.

Nel complesso, con riferimento alle indicazioni contenute nel report interno di progetto "Metodologia per gli studi di filiera della Banca Dati italiana LCA" (versione di novembre 2021), la qualità dei dati utilizzati nello studio è ritenuta buona e, in particolare, si ritiene:

- buona l'affidabilità dei dati (i dati sono stati per la maggior parte misurati; nei casi in cui essi siano stati calcolati o provengano da letteratura, sono stati tutti controllati da esperti);
- molto buona la rappresentatività temporale dei dati (nessun dato si riferisce a un periodo antecedente di 3 anni lo studio di filiera);
- molto buona la rappresentatività geografica dei dati (il processo descritto è rappresentativo del luogo geografico indicato negli studi di filiera);
- molto buona la rappresentatività tecnologica dei dati (il processo descrive in modo dettagliato la tecnologia attualmente presente sul mercato, includendo tutti i flussi di materia ed energia in input e output).

3.2.4 Gestione della multifunzionalità

Durante la produzione del banco monoposto in entrambe le aziende si realizzano contemporaneamente altri prodotti di arredo scolastico (banchi, armadietti, cattedre, ecc.), che costituiscono coprodotti della filiera produttiva. Laddove possibile, si è deciso di evitare di applicare procedure di allocazione per attribuire i flussi di input e output tra il prodotto principale (banco monoposto) e i coprodotti, attraverso un incremento del livello di dettaglio del modello, ovvero suddividendo un processo multifunzione in singole unità di processo monofunzionali, così da individuare quelle effettivamente di interesse. Nei casi in cui ciò non è stato possibile, si è deciso di applicare un'allocazione su base fisica considerando il numero dei banchi monoposto prodotti annualmente rispetto al numero totale di banchi e altri coprodotti.

In dettaglio, per la parte riguardante la lavorazione del telaio in acciaio, i consumi di materiali e i relativi imballaggi e rifiuti, laddove non fossero disponibili misure dirette, sono stati attribuiti alla produzione del solo banco monoposto considerando il numero totale di pezzi (per banchi e altri prodotti che richiedano un telaio) tagliati, saldati e verniciati annualmente. Per quanto riguarda la lavorazione del ripiano in legno, i consumi di materiali e i relativi imballaggi e rifiuti, laddove non fossero disponibili misure dirette, sono stati attribuiti alla produzione del solo banco monoposto

considerando il numero di ripiani in legno tagliati e incollati annualmente. I dati riferiti ai consumi energetici e di combustibili e le emissioni in atmosfera per la lavorazione del telaio in acciaio sono stati attribuiti al banco monoposto considerando le potenze nominali dei macchinari, il numero di banchi prodotti in un'ora o in un giorno e i rispettivi tempi di lavorazione; per la lavorazione del ripiano in legno i dati riferiti ai consumi energetici sono stati attribuiti al banco monoposto considerando le potenze nominali dei macchinari, il numero di pezzi (piano truciolari, laminati, listelli di faggio) per banchi prodotti in un'ora o in un giorno e i rispettivi tempi di lavorazione. Infine, per la fase di assemblaggio e di movimentazione del banco, il consumo energetico è stato attribuito al banco monoposto considerando il numero di banchi assemblati annualmente rispetto al numero totale dei prodotti aziendali (banchi e coprodotti) assemblati in un anno.

3.2.5 Informazioni ambientali aggiuntive

Le emissioni di polveri derivanti dal processo di verniciatura, seppur inserite nello studio, non sono incluse nella fase di valutazione degli impatti in quanto non esistono appositi fattori di caratterizzazione nelle categorie di impatto del metodo PEF 3.0. Tuttavia, secondo ISPRA, 2006, la verniciatura industriale a polvere è stata riconosciuta tra le Migliori Tecniche Disponibili (MTD) tra le verniciature industriali. Essa, infatti, è in linea con una politica di ecosostenibilità determinata dalla mancata emissione di solventi nelle acque di scarico e dal recupero totale delle polveri utilizzate nelle lavorazioni, evitando la dispersione di sostanze nocive dannose sia per l'uomo sia per l'ambiente.

Per verniciatura industriale a polvere s'intende l'insieme dei sottoprocessi descritti nel diagramma di flusso al par. 3.2.2 ovvero pretrattamento con liquido fosfosgrassante, asciugatura in forno, verniciatura a polvere in cabine attraverso l'utilizzo di pistole elettrostatiche automatiche e successiva polimerizzazione della stessa tramite ulteriore passaggio in forno. Tra i vantaggi ambientali dell'uso delle vernici in polvere, ISPRA (2006) afferma che in questa tecnologia di rivestimento le polveri in esubero vengono continuamente riciclate dalle apposite apparecchiature per essere reimmesse nel ciclo di produzione evitando sprechi e riducendo al minimo la dispersione di polveri nell'ambiente. Inoltre, tale tipo di verniciatura non genera reflui né emissioni di COV (Composti Organici Volatili) in quanto, applicata tramite lo spruzzo assistito elettrostaticamente, non richiede una ripresa di particelle di vernice di overspray tramite l'acqua e quindi non è necessario il riprocessamento dei reflui acquosi e può essere evitato l'uso di additivi (come agenti di coagulazione), conducendo ad ulteriori vantaggi dal punto di vista ambientale e di uso delle risorse.

In ogni caso, le aziende che hanno fornito i dati per lo studio di filiera possiedono opportuni sistemi di aspirazione e filtrazione che rispettano le normative di riferimento e i relativi limiti di emissione, consentendo di captare e filtrare adeguatamente i flussi gassosi rilasciati in atmosfera, senza particolari ripercussioni a livello ambientale.

3.2.6 Revisione critica

Il presente studio di filiera ed il relativo modello LCA nel software SimaPro sono stati messi a disposizione per la revisione di parte terza, prevista all'interno del progetto Arcadia.

3.2.7 Modellizzazione e metodologia di analisi degli impatti

In conformità con la metodologia di Arcadia, il metodo di valutazione degli impatti utilizzato è EF 3.0 (Zampori e Pant, 2019), che costituisce il metodo di valutazione dell'iniziativa della Commissione Europea sull'impronta ambientale (Commissione Europea, 2017) e che comprende caratterizzazione, normalizzazione e ponderazione. Per le fasi di normalizzazione e ponderazione si sono considerate solamente le categorie di impatto per le quali sono presenti fattori di normalizzazione e ponderazione (si veda par. 3.5 per i risultati).

Per lo svolgimento dello studio è stato utilizzato il software SimaPro versione 9 (SimaPro) contenente la banca dati commerciale Ecoinvent 3.7.1 (Wernet et al., 2016), da cui sono stati selezionati tutti i dataset utilizzati nella modellazione e riguardanti i dati di background. In un'ottica di rappresentatività geografica, temporale e tecnologica dei processi di banca dati utilizzati si è fatto riferimento a tecnologie medie globali e ai più recenti dati disponibili nel database Ecoinvent 3.7.1.

3.3 Modellazione dei dataset della filiera

Il modello scelto per la creazione dei dataset per la banca dati di Arcadia è di tipo "attribuzionale", ovvero un modello che riproduce la catena di fornitura del prodotto oggetto di analisi utilizzando dati ed eventuali processi di background rappresentativi di una situazione media del mercato di riferimento. Il dataset sviluppato per lo studio di filiera è quello relativo al banco monoposto medio italiano, giudicato insieme al GdL come rappresentativo della filiera produttiva nazionale e delle relative tecnologie, e contiene al proprio interno tutti i dati e i flussi di input e output necessari alla costruzione dello stesso. Il dataset è relativo alla sola fase di produzione e non include tutti i trasporti del prodotto finito alla sua destinazione finale di uso.

Sono, invece, in linea generale incluse le operazioni di trasporto relative alla fase di produzione. Questa scelta è legata alle finalità di utilizzo della banca dati di Arcadia da parte di possibili utenti, che potranno associare ai dataset trasporti e/o utilizzi specifici del banco monoposto rappresentativo della filiera dell'arredo scolastico destinato all'utilizzo nelle scuole.

3.4 Analisi di inventario

Ai fini della raccolta dei dati primari presso le aziende coinvolte nel GdL, a seguito di un'attenta analisi della filiera e di confronti interni al GdL, sono state messe a punto delle specifiche schede in grado di semplificare e sistematizzare la raccolta stessa. Tali schede di raccolta dati, predisposte su fogli di calcolo Microsoft Excel, sono dunque state condivise con le aziende e contestualmente è stata avviata una formazione "on the job" ai tecnici/referenti dell'impresa riguardante la metodologia LCA e le modalità operative per effettuare la raccolta dei dati lungo la filiera. Ulteriori informazioni e dati primari sono stati poi raccolti attraverso riunioni telefoniche o via web dedicate e attraverso la predisposizione di questionari in formato word. Tale procedura ha permesso di effettuare una raccolta dati molto dettagliata relativa alla produzione di banchi monoposto delle aziende coinvolte, permettendo di quantificare tutti i flussi in input e output relativi al processo produttivo.

Non si sono utilizzati dati secondari per la costruzione dello studio LCA di filiera in quanto non è stato possibile reperire dati di letteratura e/o settore relativi alla produzione di banchi monoposto, nonostante un'attenta analisi della letteratura esistente attraverso l'utilizzo delle banche dati bibliografiche (Scopus, Google Scholar, Science Direct). Anche le EPD pubblicate, provenienti da

diversi Programme Operator, si riferiscono a prodotti simili al prodotto oggetto del presente studio ma con funzione diversa (scrivanie per ufficio e non banchi scolastici); inoltre tali prodotti sono costituiti da componenti differenti (es. scrivanie d'ufficio con telaio in acciaio e piano truciolare e un tavolo con telaio in acciaio e piano in legno ,ecc.) e in ogni caso non contengono dati di inventario utili per lo studio di filiera del banco monoposto.

I dati provenienti dalle aziende coinvolte dal GdL sono stati comunque considerati, dopo un'attenta consultazione coi membri del GdL stesso, rappresentativi a livello tecnologico della situazione italiana relativa alla produzione del banco scolastico monoposto, e sulla base di essi si è costruito il dataset di filiera.

I dati primari direttamente raccolti si riferiscono a due imprese: una direttamente coinvolta nel GdL (dati raccolti da ENEA) che produce banchi, sedie, armadietti, cattedre per un quantitativo totale medio di banchi monoposto pari a 75.000 nel 2021, e una indirettamente coinvolta tramite l'Università degli studi di Chieti-Pescara (che ha raccolto i dati, i quali sono poi stati attentamente analizzati da ENEA) che produce attaccapanni, banchi, sedie, armadietti, cattedre, lavagne, tavoli, sgabelli per un quantitativo medio di banchi monoposto pari a 37.000 nel 2021.

3.4.1 Assunzioni utilizzate nello studio

Nello studio di filiera sono state effettuate le seguenti assunzioni:

- In accordo con il GdL e con le aziende coinvolte nello studio, si è considerato, per la produzione del telaio del banco, un acciaio primario (carbonio non legato) realizzato in un forno con tecnologia Basic Oxygen Furnace (BOF) come indicato nella scheda tecnica fornita dalle imprese. Tale tipologia di acciaio è conforme alla norma europea EN 10305 (UNI EN, 2016c), che specifica i requisiti per i tubi saldati di acciaio al carbonio non legato per applicazioni di precisione.
- Per ciascun processo della lavorazione il GdL ha concordato di utilizzare il dato calcolato come media quantitativa dei dati forniti dalle due aziende nel caso in cui essi risultassero confrontabili per ordine di grandezza, in termini di affidabilità e di trasparenza; laddove non è stato possibile utilizzare la media, si è scelto di considerare il dato dell'azienda che risultasse verificato e validato dagli esperti di settore.
- In accordo con il GdL, per il consumo di materiali e relativi imballaggi durante il processo di saldatura e per il consumo di energia necessario per tale lavorazione, si sono considerati solamente i dati provenienti da una delle due aziende, in quanto la seconda azienda realizza questa fase produttiva esternamente presso terzi e non ha potuto raccogliere i relativi dati primari.
- Per tutti i consumi energetici relativi alla produzione del banco monoposto, in accordo con il GdL, si sono utilizzati solamente i dati di un'azienda, in quanto verificati e validati dagli esperti di settore.
- Il potere calorifico del gas naturale è stato considerato pari a $8430 \text{ kcal/m}^3 = 35,3 \text{ MJ/m}^3$ (ISPRA, 2020a).
- Gli scenari di smaltimento dei rifiuti di plastica e carta sono stati costruiti in base alle informazioni presenti in ISPRA (2020b) come per la sedia monoscaocca curvata in faggio, attribuendo a ciascun materiale una percentuale di recupero energetico, riciclo e discarica (Tabella 3).

Tabella 3. Percentuale delle diverse tipologie di trattamento per ogni frazione dei rifiuti urbani (ISPRA, 2020b)

Materiale	% rifiuto in DISCARICA	% rifiuto RICICLATO	% rifiuto a RECUPERO ENERGETICO
Acciaio	17,8%	82,2%	0,0%
Alluminio	23,9%	70,0%	6,1%
Carta	11,6%	80,8%	7,6%
Legno	34,8%	63,1%	2,1%
Plastica	10,1%	45,5%	44,4%
Vetro	22,7%	77,3%	0,0%

- Per modellare il trattamento dei rifiuti, si è utilizzato l'approccio del General Programme Instructions dell'International EPD System (EPD International AB, 2021): il produttore dei rifiuti è ritenuto responsabile degli impatti ambientali degli stessi fino al punto in cui essi hanno valore economico negativo (ovvero fino a quando essi cessano di essere qualificati come rifiuti). In pratica, per i materiali destinati a riciclo, si sono inseriti nello studio i processi di raccolta, trasporto e selezione, escludendo quindi i trattamenti successivi per produrre materiale riciclato/secondario e gli eventuali benefici derivanti dall'uso del materiale secondario prodotto. In tal caso, i processi che avvengono dopo la cessazione di qualifica di rifiuto sono attribuiti ai sistemi prodotto che utilizzano il materiale riciclato. Per l'incenerimento con recupero energetico, si sono inclusi nello studio i processi di raccolta, pretrattamento e incenerimento, escludendo quindi i benefici dell'uso dell'energia prodotta. Per il trattamento in discarica, si sono incluse le operazioni di trattamento in discarica dei rifiuti, la cattura e la combustione del metano prodotto, escludendo tuttavia i benefici derivanti dalla produzione e uso dell'energia.
- Per quanto riguarda i trasporti, si sono utilizzate distanze medie calcolate rispetto alle distanze reali fornite dalle due aziende.

Nel complesso non vi sono da segnalare importanti carenze di dati in quanto presso entrambe le aziende è stata effettuata una dettagliata raccolta dati. In ogni caso, laddove i dati misurati non fossero disponibili per entrambe le aziende (es. per lo stoccaggio di liquido fosfosgrassante in cisternette di plastica e per la colla per laminati HPL ai piani truciolari grezzi), si è proceduto, in collaborazione con il GdL e le aziende stesse, a stimare i quantitativi mancanti.

Descrizione e documentazione processi unitari

Tabella 5 Nella Tabella 5 è riportata una breve descrizione di tutti i processi/flussi coinvolti nel ciclo di vita del prodotto oggetto di studio e tutti i dati relativi ai processi unitari utilizzati nello studio di filiera, con una chiara identificazione della banca dati (e relativi dataset) di riferimento.

Tabella 5 i dati di Tabella 5 sono riferiti alla produzione di un banco monoposto e riportano un insieme di dati primari forniti dalle aziende e dati stimati insieme agli esperti di settore e alle aziende coinvolte nel GdL. Nei paragrafi successivi è indicata la documentazione relativa alle procedure di calcolo effettuate e ad alcune assunzioni che si sono rese necessarie per il calcolo dei dati di input e output relativi ad un banco monoposto rappresentativo della filiera dei mobili scolastici (Tabella 5).

3.4.1.1 Telaio in acciaio

Il telaio in acciaio del banco è costituito da quattro piedi opportunamente tagliati che si congiungono attraverso quattro punti di saldatura all'estremità di quattro traversine, ottenendo

così la struttura portante del piano in legno del banco; il telaio grezzo sarà poi sottoposto alla fase della verniciatura e infine assemblato al ripiano in legno del banco. In dettaglio, le quattro gambe del telaio di lunghezza pari a 73,5 cm sono ricavate attraverso quattro tagli di un tubolare in acciaio del tipo EN 10305 -3 E220 + CR2S2. Le traverse hanno dimensioni uguali a due a due nel rispetto della larghezza e profondità del piano in legno del banco e si ricavano tramite quattro tagli di una barra semiovale in acciaio del tipo EN 10305 -3 E220 + CR2S3(2016a).

Per quanto riguarda la produzione dell'acciaio, si è deciso di utilizzare il dataset *Steel, unalloyed {RER}| steel production, converter, unalloyed | Cut-off, U* sia nel rispetto della tecnologia di produzione dell'acciaio utilizzata dall'azienda, ovvero Basic Oxygen Furnace (BOF), che per il tipo di acciaio utilizzato conforme alla norma europea EN 10305-3 E220 + CR2 S2 (2016a), che specifica i requisiti per i tubi saldati di acciaio al carbonio non legato per applicazioni di precisione (tali dati sono stati rilevati dalla scheda tecnica fornita dalle aziende). Per acciaio non legato s'intende una lega di ferro e carbonio con un quantitativo di altri elementi quali manganese, silicio, fosforo, zolfo, ecc. in percentuali minime nel rispetto della normativa UNI EN 10020 (UNI EN, 2001b) che risponde alla composizione chimica del grado di acciaio utilizzato dall'azienda (E 220) (in tale acciaio non è contenuto cromo). Il dataset scelto è stato quindi giudicato come il più rappresentativo sia della tipologia di acciaio utilizzato per il telaio della seduta sia della tecnologia con cui esso è prodotto.

Per quanto riguarda il consumo di acciaio, il GdL ha assunto il valore medio dei quantitativi utilizzati da ciascuna azienda coinvolta nello studio. Considerando che in entrambe le aziende si realizzano telai anche per altri coprodotti, il consumo di energia per ciascun banco è stato calcolato in funzione della potenza nominale della macchina da taglio, del tempo di lavorazione giornaliero della macchina e del numero di telai prodotti al giorno. In accordo con il GdL, si è considerato che le barre di acciaio arrivino in azienda senza alcun imballo.

La quantità di olio da taglio utilizzata durante il taglio dei tubolari e delle traversine e la quantità di acqua di rete per emulsionare l'olio da taglio sono state calcolate a partire dal consumo annuale considerando il numero totale di telai per banchi e altri coprodotti prodotti annualmente. Inoltre, si è considerato che l'imballaggio dell'olio da taglio sia costituito da una tanica in plastica (polipropilene).

Il consumo del filo di saldatura per il telaio del banco è stato calcolato sulla base di misure dirette dell'azienda che realizza questa fase del processo all'interno dello stabilimento; per la produzione del filo di saldatura, si è utilizzata la scheda tecnica fornita dall'azienda, secondo cui il filo è composto per il 97% da ferro, per l'1,6% da manganese e per l'1,4% da silicio. Si è infine considerato che il filo di saldatura sia imballato in un fusto di cartone trasportato per 90 km (dati primari forniti dall'azienda). Infine le emissioni in aria (dati primari forniti dall'azienda) durante la fase di saldatura sono state stimate considerando quelle in uscita dai camini delle cappe sovrastanti le operazioni di saldatura (dati primari) e stimando il numero di telai per banchi prodotti in un'ora.

3.4.1.2 *Liquido fosfosgrassante, vernice e loro imballaggio*

Per il liquido fosfosgrassante, utilizzato per ripulire il telaio da eventuali residui dopo il taglio e la saldatura, si è utilizzato, in accordo con il GdL, il quantitativo medio fornito dalle due aziende (dati primari). La produzione del liquido fosfosgrassante è stata modellata sulla base della scheda tecnica fornita dalle aziende; in dettaglio, si è considerato che esso sia costituito per l'8,5% da acido fosforico, per l'1,5% da sodio cumensulfonato, per l'1,5% da potassio cumensulfonato, e per il

restante 88,5% da acqua di rete. Il potassio cumensulfonato è stato assimilato al sodio cumensulfonato in quanto i dataset di background presenti in Ecoinvent per la produzione di sostanze chimiche non permettono di distinguere tra queste due tipologie di sostanze. Tale assunzione è supportata dal fatto che sodio e potassio sono entrambi metalli alcalini e appartengono allo stesso gruppo della tavola periodica. Per questo motivo, essi hanno caratteristiche di reattività simile e, pertanto, si può assumere che, legando un composto sulfonato con sodio o con potassio, si ottengano comportamenti e reattività simili.

Il consumo di liquido fosfosgrassante per la produzione del banco è stato calcolato da ciascuna azienda a partire dal consumo totale aziendale e dal numero di telai verniciati annualmente. Si è considerato che il liquido fosfosgrassante sia contenuto in una cisterna di plastica (materiale considerato: HDPE) della capacità di 1000 litri e del peso vuoto di 60 kg, secondo quanto indicato da una delle due aziende.

Il consumo di vernice epossidica è stato mediato sulla base di misure dirette fornite dalle aziende. Per la produzione di tale vernice si è considerato il dataset *Electrostatic paint {GLO} | market for | Cut-off, U* in quanto esso contiene alcuni componenti (benzene e resina epossidica) che sono presenti anche nella vernice epossidica utilizzata dalle aziende coinvolte nello studio di filiera (tali informazioni derivano dalla scheda tecnica della vernice epossidica fornita dalle stesse aziende); inoltre la verniciatura dei telai avviene con pistole elettrostatiche così come indicato nella descrizione della tecnologia rappresentata dal dataset. Si è infine considerato (dati primari) che la vernice sia contenuta in un sacco di polipropilene e che tale sacco sia contenuto in una scatola di cartone: i pesi di tali imballaggi sono stati forniti dalle aziende.

3.4.1.3 Piano in legno del banco

Il piano in legno del banco, di dimensioni medie pari a 70 cm di lunghezza x 50 cm di larghezza e 2 cm di spessore, è composto da un piano truciolare grezzo delle dimensioni di 50cm x 70cm x 1,85 cm (dati primari medi tra le due aziende) al quale sono incollati (uno sulla parte superiore e uno sulla parte inferiore) due laminati HPL delle dimensioni 50cm x 70 cm x 0,07cm (dati primari medi tra le due aziende), e una bordatura di listelli di faggio dell'altezza di 2,3 cm (dato primario medio delle due aziende) lungo tutto il perimetro del piano di 240 cm (somma dei lati del piano in legno). In dettaglio, il piano truciolare scelto per il banco monoposto è di tipo P2 nel rispetto della normativa UNI EN 312:2010 (UNI EN, 2010a): la sigla P2 si riferisce ai pannelli per utilizzo interno come componente non strutturale in ambiente secco. Il consumo energetico per la sezionatura è stato calcolato in funzione della potenza nominale della macchina da taglio e dei pezzi prodotti in un'ora per il banco.

Il GdL ha concordato di non considerare l'imballo relativo ai pannelli truciolari in quanto in entrambe le aziende i pannelli sono consegnati privi di imballo.

I laminati HPL (High Pressure Laminate) sono costituiti da strati di materiale di fibra cellulosica (carta Kraft) impregnati con resine fenoliche e melamminiche. La produzione del laminato HPL è stata modellata sulla base delle specifiche tecniche dichiarate dall'EPD relativa a "PRINT HPL (High Pressure Laminate) Thin" pubblicata su EPDItaly (ABET LAMINATI S.p.A., 2021) con numero di registrazione: EPDITALY0064 che fa riferimento a laminati HPL di spessore che vanno tra i $0,6 \leq s \leq 1 \pm 0,10$ mm e di densità $\geq 1,35$ g/cm³ secondo la normativa UNI EN 438 (UNI EN, 2016d). In dettaglio, si è considerato che esso sia costituito in media per il 65,54% da carta Kraft, per il 10,68 % da resina

melamminica e per il 23,78 % da resina fenolica (ABET LAMINATI S.p.A., 2021). Per ogni banco si necessita di due piani di laminato HPL e, in accordo con il GdL, si è considerata la media dei quantitativi forniti direttamente dalle aziende coinvolte. Per quanto riguarda il consumo energetico per il taglio dei laminati HPL, esso è stato calcolato in funzione della potenza nominale della macchina da taglio e del numero di laminati prodotti in un'ora per il solo banco. In accordo con il GdL, l'imballo in cui sono contenuti i laminati non è stato considerato perché ritenuto trascurabile. Per quanto riguarda la bordatura in faggio, in azienda giungono listelli di faggio che una volta incollati ai quattro lati del piano truciolare sono rifilati dalla macchina di bordatura. Il consumo dei listelli in faggio è stato calcolato sulla base dei dati primari forniti dalle aziende, ed assumendo una densità media di circa 680 kg/m^3 (sulla base dei dati presenti in FederlegnoArredo (2014)). Poiché la produzione del listello di faggio non è presente in Ecoinvent, si è deciso, in accordo con il GdL, di utilizzare il dataset *"Sawnwood, lath, hardwood, dried (u=10%), planed {Europe without Switzerland} market for sawnwood, lath, hardwood, dried (u=10%), planed | Cut-off, U"*: esso infatti riguarda listelli di legno di latifoglie (tra cui il faggio) piallati per lungo con umidità pari al 10% e di spessore maggiori di 6 mm. I consumi energetici per la smussatura sono stati calcolati in funzione della potenza nominale della macchina e del numero di piani di banco rifilati in un'ora (misura diretta riferita dalle aziende). I listelli di bordo faggio giungono in azienda imballati con un film di LDPE di peso trascurabile che il GdL ha concordato di non considerare.

Infine, per quanto riguarda le fasi d'incollaggio dei listelli di faggio, si sono considerate le medie dei quantitativi di colle e di energia fornite dalle due aziende, mentre per le fasi di incollaggio dei laminati HPL si sono considerati i quantitativi di colle ed energia di una sola azienda in quanto verificati e validati dagli esperti di settore. La colla utilizzata per l'incollaggio dei listelli di bordo faggio è di tipo EVA (Etilene-Vinil-Acetato) in forma granulare, ovvero un adesivo di tipo non strutturale secondo la normativa UNI EN 204 (UNI EN, 2001a) costituito da copolimeri di etilene-vinil-acetato; la colla utilizzata per l'incollaggio dei laminati HPL è un adesivo a base di polivinilacetato (PVA) in dispersione acquosa conforme alla normativa EN 204-D3 (UNI EN, 2001a) (in cui la sigla D3 indica la classe di durabilità), più conosciuta come colla vinilica.

Per modellare la produzione della colla EVA si è utilizzato il dataset *"Ethylene vinyl acetate copolymer[RER] market for ethylene vinyl acetate copolymer | Cut-off, U"*, in quanto rispondente alle caratteristiche sia chimiche che fisiche (forma granulosa) provenienti dalle schede tecniche fornite dall'azienda.

Per la colla PVA (Polil Vinil Acetate) o colla vinilica si è utilizzato il dataset *"Vinil acetate[GLO] market for/Cut – off, U"* diluito in acqua al 50%, secondo quanto riscontrato in letteratura per le colle viniliche (Benelli et al., 2013).

I consumi energetici per l'incollaggio di entrambe le fasi sono stati calcolati in funzione della potenza nominale di ciascuna macchina e del numero di laminati e listelli di faggio incollati in un'ora. Per l'imballaggio della colla per laminati HPL, si è assunto, in accordo con le aziende, che esso sia della stessa tipologia di quello del liquido fosfosgrassante, ovvero una cisterna di plastica (materiale considerato: HDPE) della capacità di 1000 litri e del peso vuoto di 60 kg; per la colla EVA si è utilizzato un imballo di cartone del peso di 0,4 kg che contiene 25 kg di colla (dato misurato dalle aziende).

3.4.1.4 Energia elettrica e combustibili

Per quanto riguarda i consumi di energia elettrica, si sono considerati quelli per le seguenti fasi della produzione del banco: il taglio dei tubolari e dei semiovali di acciaio; la saldatura; la movimentazione della catenaria; la verniciatura; la sezionatura del pannello truciolare grezzo; la sezionatura dei fogli di laminato HPL ; l'incollaggio dei laminati HPL al piano truciolare; l'incollaggio dei listelli di faggio; la bordatura; l'assemblaggio del telaio al piano in legno del banco; i muletti elettrici per la movimentazione dei banchi finiti. Il consumo è stato calcolato a partire dalla potenza nominale dei macchinari, il tempo di lavorazione giornaliero, e il numero totale di banchi prodotti giornalmente o all'ora o il numero totale di prodotti aziendali (banchi e altri coprodotti) realizzati giornalmente o all'ora (dati relativi ad una sola delle due aziende, in quanto la seconda azienda non ha potuto reperire i dati) (Tabella 4).

Per le fasi di asciugatura dei telai prima della verniciatura e di polimerizzazione della vernice in forno, si è considerata una caldaia alimentata a gas naturale; il consumo del combustibile è stato ottenuto a partire dal consumo di gas naturale giornaliero e dal quantitativo (dati primari forniti da una sola azienda) del numero di banchi prodotti giornalmente.

Tabella 4. Potenza nominale e tempo di lavorazione per ogni fase di lavorazione del banco monoposto

Fase di lavorazione	Potenza nominale in KW	Tempo di lavorazione (h)
Taglio barre in acciaio	14	8
Taglio semiovali in acciaio	14	8
Saldatura	5	8
Pre-verniciatura (catenaria)	10	8
Verniciatura	33	8
Sezionatura pannello truciolare grezzo	9	1
Sezionatura laminati HPL	6	1
Incollaggio laminati HPL	1,5	1
Incollaggio listelli di faggio	33	1
Contornatura	5,5	1
Assemblaggio	18	8
Movimentazione (muletti)	9,3	4

3.4.1.5 Acqua per lavaggi

In accordo col GdL e con le aziende coinvolte, si è considerato che l'acqua utilizzata per i lavaggi a fine turno dei macchinari provenga da acqua di rete. Per calcolare la quantità di acqua utilizzata durante la fase relativa alla lavorazione dell'acciaio (acqua per emulsionare l'olio durante il taglio e risciacquo con liquido fosfosgrassante), si è considerato il consumo annuale di un'azienda e il numero totale di telai verniciati annualmente dalla stessa (dati primari forniti da una sola delle due aziende). Non è stato possibile mediare il dato in quanto la seconda azienda non è stata in grado di fornire i dati.

3.4.1.6 Viti e gommini e loro imballaggio

Per quanto riguarda i materiali di finitura (viti in acciaio e gommini) che concorrono alla produzione del prodotto nella fase dell'assemblaggio, si sono utilizzati dati primari forniti dalle aziende. Nel

dettaglio, si è assunto un valore medio di 6 viti in acciaio e 4 gommini (materiale considerato: polietilene ad alta densità). Per l'imballaggio delle viti si è considerato che esse siano contenute in scatole di cartone contenute a loro volta in una scatola di cartone più grande (dati primari forniti dalle aziende); per i gommini si è considerato che siano contenuti in un sacchetto di polipropilene (dati primari forniti dalle aziende).

3.4.1.7 Emissioni in aria

Per quanto riguarda le emissioni dirette in aria, i dati sono stati raccolti presso una sola azienda e si sono considerate, in accordo col GdL, quelle rilevate ai camini delle cappe sovrastanti le operazioni di lavaggio con liquido fosfosgrassante e verniciatura (dati primari forniti dall'azienda). Poiché per il processo di verniciatura sono presenti due cabine, si è concordato, in accordo col GdL, di considerare un valore di emissione medio tra i due camini. Per calcolare queste emissioni si sono considerate le emissioni orarie e il numero di banchi prodotti in un'ora (dati primari forniti dall'azienda).

Le sostanze emesse in aria dalla combustione di gas naturale nella caldaia sono state considerate essere quelle presenti nel dataset di Ecoinvent, in quanto esso contiene una lista di sostanze più esaustiva rispetto alle emissioni misurate che sono state fornite dall'impresa.

3.4.1.8 Rifiuti

Per quanto riguarda i rifiuti di plastica e carta, si sono considerati i trattamenti di fine vita degli imballaggi dei materiali utilizzati nel processo produttivo (filo di saldatura, olio da taglio, liquido fosfosgrassante, vernice epossidica, colle, viti, gommini). Gli scenari di fine vita sono stati modellati secondo le assunzioni indicate al par.3.4.1, escludendo i benefici dell'energia prodotta durante il processo di termovalorizzazione e i benefici ottenuti dal riciclo dei materiali (carta, plastica).

Per quanto riguarda i rifiuti legnosi determinati dagli scarti di lavorazione del legno (pannelli truciolari grezzi e listelli di faggio per bordare il banco), si è utilizzata la media dei quantitativi forniti dalle aziende.

Il trattamento di fine vita degli scarti ferrosi derivanti dal taglio dei tubolari in acciaio non è stato considerato in quanto essi sono venduti dalle aziende e assumono quindi un valore economico positivo (in accordo con quanto descritto al par.3.4.1).

Si è considerato, in accordo con il GdL e con le aziende coinvolte, che le acque utilizzate per i lavaggi dei macchinari dopo l'applicazione del liquido fosfosgrassante, per emulsionare l'olio da taglio e per la pulizia di fine turno di macchinari per l'incollaggio dei laminati HPL al piano truciolare, siano smaltite in fogna o in appositi centri di smaltimento. La quantità di acqua smaltita è stata considerata pari alla quantità utilizzata per i lavaggi, per l'emulsione dell'olio da taglio e per i lavaggi a fine turno (dati primari forniti dalle aziende).

3.4.1.9 Trasporti

Per il trasporto dei tubolari in acciaio, pannello truciolare grezzo, fogli laminati HPL e listelli per il bordo in faggio si è considerato un mezzo di portata media 24 tonnellate per distanze medie rispettivamente di 200 km, 300 km, 500 km e 850 km (medie dei dati primari forniti dalle aziende relativi alle distanze tra di loro e i propri fornitori).

Per i trasporti dei materiali e degli imballaggi, si sono utilizzati mezzi di trasporto della stessa portata media (5 tonnellate), considerando le seguenti distanze medie ottenute da dati primari:

- Trasporto dell'olio da taglio e del relativo imballaggio: 80 km;
- Trasporto del filo di saldatura e del relativo imballaggio: 90 km;
- Trasporto del liquido fosfosgrassante e del relativo imballaggio: 100 km;
- Trasporto della vernice e del relativo imballaggio: 300 km;
- Trasporto della colla per i laminati HPL –truciolare e del relativo imballaggio: 150 km;
- Trasporto della colla per il bordo in faggio e del relativo imballaggio: 400 km;
- Trasporto delle viti e del relativo imballaggio: 80 km;
- Trasporto dei gommini e del relativo imballaggio: 400 km;
- Trasporto dei rifiuti (plastica e carta degli imballaggi): 50 km;
- Trasporto dell'acqua reflua derivante dai lavaggi dei macchinari: 44 km;
- Trasporto degli scarti in legno: 100 km;

Non essendo disponibili dati primari sulla tipologia di mezzi utilizzati, si è ipotizzato che essi siano tutti Euro 5.

Tabella 5. Dati di input e output relativi alla produzione di 1 banco monoposto del peso di 12.60 kg

Flussi/processi in input	Valore	U.M	Dataset di riferimento	Banca dati
Tubolari di acciaio per il telaio	6,39E+00	kg	<i>Steel, unalloyed {RER} steel production, converter, unalloyed / Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Trasporto tubolari in acciaio, pannelli di truciolare grezzo, fogli di laminato HPL e listelli di faggio	3,40E+03	kgkm	<i>Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Olio da taglio	1,37E-04	kg	<i>Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Imballo in plastica per olio da taglio, liquido fosfosgrassante e colla PVA	3,39E-03	kg	<i>Polyethylene, high density, granulate {RER} production Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Trasporto olio da taglio, filo saldatura, colla PVA con imballaggi	6,40E+00	kgkm	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Acqua per olio da taglio	1,71E-03	kg	<i>Tap water {RER} market group for Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Energia elettrica per il taglio dei tubolari in acciaio, saldatura, pre-verniciatura, verniciatura, taglio piano truciolare, taglio del laminato HPL (2), contornatura, incollaggio laminati HPL, incollaggio	1,60E+00	KWh	<i>Electricity, medium voltage {IT} market for Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1

listelli di faggio, assemblaggio e movimentazione banchi finiti				
Ferro per il filo di saldatura	2,31E-02	kg	<i>Iron pellet {GLO} market for Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Manganese per il filo di saldatura	3,81E-04	kg	<i>Manganese {GLO} market for Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Silicio per il filo di saldatura	3,33E-04	kg	<i>Silicone product {RoW} market for silicone product Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Imballi in cartone del filo di saldatura, vernice telaio, colla EVA e viti	4,07E-03	kg	<i>Corrugated board box {RER} market for corrugated board box Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Acido fosforico del liquido fosfosgrassante	4,40E-04	kg	<i>Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO} market for Cut-off, U;</i>	Ecoinvent 3.7.1
Sodio cumensulfonato e potassio cumensulfonato del liquido fosfosgrassante	1,55E-04	kg	<i>Sodium cumenesulphonate {GLO} market for sodium cumenesulphonate Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Acqua del liquido fosfosgrassante	4,58E-03	kg	<i>Tap water {RER} market group for Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Trasporto di liquido fosfosgrassante, vernice, colla EVA, viti e gommini con imballaggi	5,74E+01	kgkm	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro4 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Acqua per lavaggi per lavorazione acciaio	6,29E-02	kg	<i>Tap water {RER} market group for Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Gas naturale	1,77E+01	MJ	<i>Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler modulating >100kW</i>	Ecoinvent 3.7.1
Vernice epossidica	7,25E-02	kg	<i>Electrostatic paint {GLO} market for Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Imballo in plastica della vernice e dei gommini	1,01E-03	kg	<i>Polypropylene, granulate {GLO} market for Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Piano truciolare grezzo	6,63E-03	m ³	<i>particleboard, uncoated {RER} market for particleboard, uncoated Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Carta Kraft per piano laminato HPL	7,47E-01	kg	<i>kraft paper {RER} kraft paper production Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Resina melamminica per piano laminato HPL	1,22E-01	kg	<i>Melamine formaldehyde resin {RER} market for melamine formaldehyde resin Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Resina fenolica per piano laminato HPL	2,71E-01	kg	<i>Phenolic resin {RER} market for phenolic resin Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1

Colla PVA per incollaggio laminati HPL	2,50E-02	kg	<i>Vinil acetate[GLO] market for Cut – off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Acqua per miscelare colla EVA per laminati HPL	2,50 E-02	kg	<i>Tap water {RER} market group for Cut-off, U</i>	
Acqua per lavaggio lavorazione legno	1,00 E-02	kg	<i>Tap water {RER} market group for Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Listelli di faggio	3,31E-04	m ³	<i>Sawnwood, lath, hardwood, dried (u=10%), planed {Europe without Switzerland} market for sawnwood, lath, hardwood, dried (u=10%), planed Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Colla EVA	4,58E-03	kg	<i>Ethylene vinyl acetate copolymer {RER} market for ethylene vinyl acetate copolymer Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Viti in acciaio	1,16E-01	kg	<i>Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Gommini in plastica	5,70E-02	kg	<i>Polyethylene, high density, granulate {RER} production Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Trasporto rifiuti cartone e plastica	4,23E-01	kgkm	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Trasporto rifiuti legnosi	2,73E+01	kgkm	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Trasporto acque reflue dai lavaggi	2,77E+00	kgkm	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Flussi/processi in output	Valore	U.M	Dataset di riferimento	Banca dati
Banco monoposto	1,26E+01	kg	-	-
Emissioni in aria di polveri durante la saldatura, pre-verniciatura e verniciatura	5,24E-04	kg	-	-
Emissioni in aria di fosfati durante la pre-verniciatura	8,15E-05	kg	-	-
Rifiuti legnosi	2,73E-01	kg	<i>Wood chipping, industrial residual wood, stationary electric chipper {RER} processing Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1
Acque reflue dai lavaggi per acciaio	6,29E-02	l	<i>Wastewater, average {Europe without Switzerland} market for wastewater, average Cut-off, U</i>	Ecoinvent 3.7.1

Acque reflue dall'uso di olio da taglio	1,71E-03	l	Wastewater, average {Europe without Switzerland} market for wastewater, average Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1
Acque reflue dai lavaggi per lavorazione piano banco (incollaggio)	1,00E-02	l	Wastewater, average {Europe without Switzerland} market for wastewater, average Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1
Rifiuti di plastica a discarica	4,44E-04	kg	Waste plastic, mixture {RoW} treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1
Rifiuti di plastica a riciclo	2,00E-03	kg	Waste polyethylene terephthalate, for recycling, sorted {Europe without Switzerland} market for waste polyethylene terephthalate, for recycling, sorted Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1
Rifiuti di plastica a recupero energetico	1,95E-03	kg	Waste plastic, mixture {RoW} treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1
Rifiuti di carta a discarica	4,72E-04	kg	Waste paperboard {RoW} treatment of sanitary landfill Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1
Rifiuti di carta a riciclo	3,29E-03	kg	Waste paper, sorted {Europe without Switzerland} treatment of waste paper, unsorted, sorting Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1
Rifiuti di carta a recupero energetico	3,09E-04	kg	Waste paperboard {RoW} treatment of municipal incineration Cut-off, U	Ecoinvent 3.7.1

3.4.2 Sviluppo dei dataset

A seguito del presente studio è stato sviluppato il dataset “Banco scolastico monoposto, alla produzione”. Esso è di interesse generale per la filiera dei mobili scolastici per i possibili utenti della banca dati ed è basato su dati solidi caratterizzati da una rappresentatività molto buona, sia primari che secondari.

3.5 Valutazione degli impatti ambientali

Secondo le indicazioni della Norma ISO 14040 (UNI EN ISO, 2021a), la fase di valutazione degli impatti ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni ambientali che si generano a seguito dei rilasci nell'ambiente e del consumo di risorse provocati dal sistema di prodotto in esame. Tale fase consiste quindi nell'imputare i consumi e le emissioni a specifiche categorie di impatto, riferibili ad effetti ambientali conosciuti, e nel quantificare l'entità del contributo che il processo arreca agli effetti considerati.

La valutazione degli impatti in accordo alla ISO 14040 (UNI EN ISO, 2021a) si articola nelle seguenti fasi obbligatorie:

- Classificazione: assegnazione dei dati raccolti nell'inventario ad una o più categorie d'impatto ambientale selezionate;
- Caratterizzazione: calcolo dei risultati di ogni indicatore di categoria, è determinato il contributo relativo di ogni sostanza emessa o risorsa usata;
- Valutazione vera e propria dell'impatto.

Come fasi opzionali della valutazione degli impatti di ciclo di vita, sono invece indicate dalla ISO 14040 (UNI EN ISO, 2021a) le operazioni di normalizzazione, raggruppamento e ponderazione (pesatura).

Ai fini del presente studio LCA di filiera è stato utilizzato il metodo di valutazione degli impatti EF 3.0 (Zampori e Pant., 2019) e i risultati delle fasi appena descritte sono riportate nei paragrafi successivi.

3.5.1 Caratterizzazione

In Tabella 6 sono indicati i risultati di caratterizzazione relativi alla produzione di 1 banco monoposto (del peso di 12,60 kg) suddivisi tra risultati totali, risultati relativi alla fase di produzione e trasporto delle barre di acciaio, del pannello truciolare grezzo, dei fogli di laminato HPL, dei listelli di faggio e alla fase di produzione del banco monoposto all'interno dello stabilimento produttivo.

Tabella 6. Risultati di caratterizzazione relativi alla produzione di 1 banco monoposto: impatto totale, produzione acciaio, pannello truciolare, fogli laminati HPL, bordo faggio e produzione banco monoposto

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Produzione acciaio, truciolare, laminato HPL, listelli di faggio	Produzione banco monoposto
Climate change	kg CO ₂ eq	1,85E+01	1,58E+01	2,70E+00
Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,42E-06	1,07E-06	3,52E-07
Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,09E+00	9,38E-01	1,48E-01
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	8,34E-02	7,79E-02	5,51E-03
Particulate matter	disease inc.	1,12E-06	1,06E-06	5,80E-08
Human toxicity, non-cancer	CTUh	3,22E-07	3,01E-07	2,11E-08
Human toxicity, cancer	CTUh	1,03E-07	9,97E-08	3,74E-09
Acidification	mol H ⁺ eq	7,49E-02	6,67E-02	8,19E-03
Eutrophication, freshwater	kg P eq	8,16E-03	7,75E-03	4,11E-04
Eutrophication, marine	kg N eq	1,83E-02	1,67E-02	1,54E-03
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,93E-01	1,78E-01	1,59E-02
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	4,01E+02	3,73E+02	2,73E+01
Land use	Pt	4,04E+02	3,98E+02	5,22E+00
Water use	m ³ depriv.	6,46E+00	5,75E+00	7,07E-01
Resource use, fossils	MJ	2,47E+02	2,02E+02	4,51E+01
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	7,12E-05	6,30E-05	8,20E-06
Climate change - Fossil	kg CO ₂ eq	1,85E+01	1,58E+01	2,69E+00
Climate change - Biogenic	kg CO ₂ eq	3,82E-02	2,63E-02	1,19E-02
Climate change - Land use and LU change	kg CO ₂ eq	1,01E-02	9,45E-03	6,41E-04
Human toxicity, non-cancer - organics	CTUh	8,59E-09	7,78E-09	8,05E-10
Human toxicity, non-cancer - inorganics	CTUh	2,19E-07	2,09E-07	9,60E-09

Human toxicity, non-cancer - metals	CTUh	1,00E-07	8,95E-08	1,10E-08
Human toxicity, cancer - organics	CTUh	7,98E-08	7,92E-08	6,07E-10
Human toxicity, cancer - inorganics	CTUh	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Human toxicity, cancer – metals	CTUh	2,36E-08	2,05E-08	3,13E-09
Ecotoxicity, freshwater - organics	CTUe	2,08E+01	2,01E+01	6,68E-01
Ecotoxicity, freshwater - inorganics	CTUe	3,14E+01	2,63E+01	5,04E+00
Ecotoxicity, freshwater - metals	CTUe	3,49E+02	3,27E+02	2,16E+01

3.5.2 Normalizzazione

In Tabella 7 sono indicati i risultati di normalizzazione relativi alla produzione di 1 banco monoposto (del peso di 12,60 kg) suddivisi tra risultati totali, risultati relativi alla fase di produzione e trasporto delle barre di acciaio, del pannello truciolare grezzo, dei fogli di laminato HPL, dei listelli di faggio e alla fase di produzione del banco monoposto all'interno dello stabilimento produttivo. Come indicato al par. 3.2.7, si sono considerate solamente le categorie di impatto per le quali sono presenti fattori di normalizzazione nel metodo di valutazione degli impatti EF 3.0.

Tabella 7. Risultati di normalizzazione relativi alla produzione di 1 banco monoposto: impatto totale, produzione acciaio, pannello truciolare, fogli laminati HPL, bordo faggio e produzione banco monoposto

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Produzione acciaio, truciolare, laminato HPL, bordo e faggio	Produzione banco monoposto
Climate change	-	2,29E-03	1,95E-03	3,34E-04
Ozone depletion	-	2,65E-05	1,99E-05	6,57E-06
Ionising radiation	-	2,57E-04	2,22E-04	3,50E-05
Photochemical ozone formation	-	2,05E-03	1,92E-03	1,36E-04
Particulate matter	-	1,89E-03	1,79E-03	9,74E-05
Human toxicity, non-cancer	-	1,40E-03	1,31E-03	9,18E-05
Human toxicity, cancer	-	6,12E-03	5,90E-03	2,21E-04
Acidification	-	1,35E-03	1,20E-03	1,47E-04
Eutrophication, freshwater	-	5,08E-03	4,82E-03	2,56E-04
Eutrophication, marine	-	9,35E-04	8,56E-04	7,90E-05
Eutrophication, terrestrial	-	1,09E-03	1,00E-03	8,98E-05
Ecotoxicity, freshwater	-	9,39E-03	8,75E-03	6,40E-04
Land use	-	4,92E-04	4,86E-04	6,36E-06
Water use	-	5,63E-04	5,02E-04	6,16E-05
Resource use, fossils	-	3,80E-03	3,10E-03	6,93E-04
Resource use, minerals and metals	-	1,12E-03	9,90E-04	1,29E-04

3.5.3 Pesatura

In Tabella 8 sono indicati i risultati di pesatura relativi alla produzione di 1 banco monoposto (del peso di 12,60 kg) suddivisi tra risultati totali, risultati relativi alla fase di produzione e trasporto delle barre di acciaio, alla fase di produzione e trasporto del pannello truciolare grezzo, alla fase di produzione e trasporto dei fogli di laminato HPL, alla fase di produzione e trasporto dei listelli di faggio e alla fase di produzione del banco monoposto all'interno dello stabilimento produttivo. Come indicato al par. 3.2.7, si sono considerate solamente le categorie di impatto per le quali sono presenti fattori di normalizzazione nel metodo di valutazione degli impatti EF 3.0.

Tabella 8. Risultati di pesatura relativi alla produzione di 1 banco monoposto: impatto totale, produzione acciaio, pannello truciolare, fogli laminati HPL, bordo faggio e produzione banco monoposto

Categoria d'impatto	Unità	Totale	Produzione acciaio, truciolare, laminato HPL, bordo e faggio	Produzione banco monoposto
Totale	Pt	1,88E-03	1,68E-03	2,01E-04
Climate change	Pt	4,81E-04	4,11E-04	7,03E-05
Ozone depletion	Pt	1,67E-06	1,26E-06	4,15E-07
Ionising radiation	Pt	1,29E-05	1,11E-05	1,75E-06
Photochemical ozone formation	Pt	9,82E-05	9,17E-05	6,48E-06
Particulate matter	Pt	1,69E-04	1,60E-04	8,73E-06
Human toxicity, non-cancer	Pt	2,58E-05	2,41E-05	1,69E-06
Human toxicity, cancer	Pt	1,30E-04	1,26E-04	4,71E-06
Acidification	Pt	8,36E-05	7,45E-05	9,14E-06
Eutrophication, freshwater	Pt	1,42E-04	1,35E-04	7,16E-06
Eutrophication, marine	Pt	2,77E-05	2,53E-05	2,34E-06
Eutrophication, terrestrial	Pt	4,06E-05	3,73E-05	3,33E-06
Ecotoxicity, freshwater	Pt	1,80E-04	1,68E-04	1,23E-05
Land use	Pt	3,91E-05	3,86E-05	5,05E-07
Water use	Pt	4,79E-05	4,27E-05	5,24E-06
Resource use, fossils	Pt	3,16E-04	2,58E-04	5,77E-05
Resource use, minerals and metals	Pt	8,45E-05	7,47E-05	9,72E-06

3.5.4 Analisi di sensibilità

3.5.4.1 Trasporti

Poiché nello studio si è assunto, in mancanza di dati primari, che i mezzi di trasporto utilizzati per i trasporti dei vari materiali fossero tutti Euro 5, si è condotta una analisi di sensitività con l'obiettivo di valutare quanto tale assunzione influenzi i risultati finali. Si sono quindi utilizzati dataset differenti (Euro 3 invece che Euro 5) per la modellazione dei mezzi di trasporto utilizzati nello studio di filiera (trasporto di tubolari in acciaio, pannello truciolare grezzo, fogli laminati HPL, listelli di bordo faggio, materiali ausiliari, vernice, colle, imballaggi, rifiuti), adottando in particolare i seguenti dataset:

- *Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro3 {RER}| market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 | Cut-off, U*, invece del dataset *Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER}| market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 | Cut-off, U*
- *Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro3 {RER}| market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 | Cut-off, U* invece del dataset *Transport, freight, lorry 3.5-7.5*

metric ton, euro5 {RER}}/ market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 | Cutoff, U

I risultati della fase di caratterizzazione relativi al confronto tra la produzione di 1 banco monoposto utilizzando i mezzi di trasporto Euro 5 (Scenario base A) e i mezzi di trasporto Euro 3 (Scenario alternativo B) sono mostrati in Tabella 9. La tabella mostra inoltre la variazione percentuale tra gli impatti totali dello Scenario base (A) e quelli dello Scenario alternativo (B). Come si evince dai risultati, nelle categorie di impatto più rilevanti, solamente in Photochemical Ozone formation gli impatti totali dello scenario alternativo sono maggiori di una percentuale poco inferiore al 3% rispetto allo scenario base e per Particulate matter si riscontra un aumento percentuale di poco inferiore al 2%. In tutte le altre categorie di impatto significative la variazione percentuale oscilla dallo 0% allo 0,14 %: in tali categorie di impatto quindi la scelta dei mezzi euro 3 o euro 5 non conduce a variazioni.

Variazioni più importanti si registrano nelle categorie di impatto (non rilevanti) Eutrophication, terrestrial (+4,96%), Eutrophication, marine (+4,79%) e Human toxicity, non cancer- organics (+19,70%).

Tabella 9. Risultati di caratterizzazione relativi al confronto tra Scenario base A e Scenario alternativo B.

Categoria d'impatto	Unità	Impatto totale studio di filiera (Scenario base-Euro 5) (A)	Impatto totale con trasporti Euro3 (Scenario alternativo -Euro 3) (B)	Variazione percentuale (B-A/A)
Climate change	kg CO2 eq	1,85E+01	1,85E+01	0,00%
Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,42E-06	1,42E-06	0,09%
Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,09E+00	1,09E+00	0,03%
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	8,34E-02	8,58E-02	2,86%
Particulate matter	disease inc.	1,12E-06	1,14E-06	1,73%
Human toxicity, non-cancer	CTUh	3,22E-07	3,23E-07	0,53%
Human toxicity, cancer	CTUh	1,03E-07	1,04E-07	0,14%
Acidification	mol H+ eq	7,49E-02	7,66E-02	2,23%
Eutrophication, freshwater	kg P eq	8,16E-03	8,16E-03	0,00%
Eutrophication, marine	kg N eq	1,83E-02	1,92E-02	4,79%
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,93E-01	2,03E-01	4,96%
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	4,01E+02	4,01E+02	0,01%
Land use	Pt	4,04E+02	4,04E+02	0,00%
Water use	m3 depriv.	6,46E+00	6,46E+00	0,00%
Resource use, fossils	MJ	2,47E+02	2,47E+02	0,03%
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	7,12E-05	7,12E-05	0,00%
Climate change - Fossil	kg CO2 eq	1,85E+01	1,85E+01	0,00%
Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	3,82E-02	3,82E-02	0,00%
Climate change - Land use and LU change	kg CO2 eq	1,01E-02	1,01E-02	0,00%
Human toxicity, non-cancer - organics	CTUh	8,59E-09	1,03E-08	19,70%
Human toxicity, non-cancer - inorganics	CTUh	2,19E-07	2,19E-07	0,01%
Human toxicity, non-cancer - metals	CTUh	1,00E-07	1,00E-07	0,01%
Human toxicity, cancer - organics	CTUh	7,98E-08	8,00E-08	0,18%

Human toxicity, cancer - inorganics	CTUh	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Human toxicity, cancer - metals	CTUh	2,36E-08	2,36E-08	0,00%
Ecotoxicity, freshwater - organics	CTUe	2,08E+01	2,08E+01	0,05%
Ecotoxicity, freshwater - inorganics	CTUe	3,14E+01	3,14E+01	0,04%
Ecotoxicity, freshwater - metals	CTUe	3,49E+02	3,49E+02	0,01%

3.6 Interpretazione dei risultati

L'interpretazione di uno studio di ciclo di vita, svolta sulla base di una analisi critica dei risultati delle fasi precedenti, è finalizzata a comprendere la ragionevolezza del risultato finale di tutto l'impatto ambientale, trarre le conclusioni, spiegare le limitazioni dei risultati ottenuti, nonché fornire delle raccomandazioni sulla base degli stessi risultati.

Le evidenze dell'interpretazione dei risultati del presente studio LCA di filiera, svolta in accordo alle indicazioni della ISO 14040 (UNI EN ISO, 2021a), sono riportate nei paragrafi successivi.

3.6.1 Categorie di impatto rilevanti

L'analisi dei risultati derivanti dalla normalizzazione (Tabella 7) mostra come le categorie di impatto più rilevanti per la produzione di un banco monoposto rappresentativo della media italiana siano Ecotoxicity Freshwater (25% sul totale dei risultati di normalizzazione), Human toxicity, cancer (16%), Eutrophication, freshwater (13%), Resource use, fossils (10%), Climate Change (6%), Photochemical Ozone formation (5%) e Particulate matter (5%).

La rilevanza preponderante di tali categorie di impatto è dovuta ai consumi di materiali ed energia (elettricità, gas naturale) per la produzione e le lavorazioni dell'acciaio utilizzato per produrre il telaio del banco, per la produzione del pannello truciolare e dei laminati HPL.

L'analisi dei risultati derivanti dalla pesatura (Tabella 8) mostra come le categorie di impatto più rilevanti per la produzione di un banco monoposto siano Climate Change (25% sul totale dei risultati di pesatura), Resource use, fossils (17%), Ecotoxicity, freshwater (10%), Particulate matter (9%), Eutrophication, freshwater (8%), Human toxicity, cancer (7%) e Photochemical Ozone formation (5%).

3.6.2 Fasi del ciclo di vita e processi rilevanti

A livello di fasi del ciclo di vita, si può notare (Tabella 6, Tabella 7) come la fase di produzione dell'acciaio, del pannello truciolare grezzo e dei fogli di laminato HPL siano preponderanti in tutte le categorie di impatto più significative: il contributo di tale fase ammonta al 91,27 % per la categoria Ecotoxicity Freshwater, al 96,12 % in Human toxicity, cancer, al 78,08% in Resource use, fossils, al 94,4% in Eutrophication, freshwater, al 82,2% in Climate Change, al 90,20% in Photochemical Ozone formation e al 90,20% in Particulate matter.

Analizzando le categorie di impatto più significative e i processi principali che costituiscono il ciclo di vita della produzione del banco monoposto (Tabella 10 e Figura 4), si evidenzia come la produzione dei tubolari in acciaio per il telaio del banco contribuisca per tutte le categorie d'impatto per una percentuale che oscilla tra il 60% e il 67% tranne che per la categoria Resource use, fossils, in cui il contributo è pari al 45,03 %. Altri processi particolarmente rilevanti rispetto al totale dei risultati di caratterizzazione e normalizzazione, sono la produzione del piano truciolare grezzo e la produzione dei fogli laminati di HPL (per questo ultimo il contributo più elevato è rappresentato dalla carta kraft in essi contenuta). Il contributo del piano truciolare grezzo varia dal 9,32% per la

categoria Eutrophication, freshwater al 20,80% nella categoria Human toxicity, cancer; il contributo dei laminati HPL varia dal 9,63% nella categoria Human toxicity, cancer al 17,83% nella categoria Eutrophication, freshwater. Anche se non risultano particolarmente rilevanti in termini d'impatto ambientale, si riporta anche il contributo dei listelli di faggio in quanto appartenenti ai processi di pre-produzione (Upstream) che varia dallo 0,04% nella categoria Human toxicity, cancer allo 0,42% della categoria Photochemical Ozone formation. Per quanto riguarda i trasporti, gli impatti più rilevanti sono dovuti a quelli della fase di pre-produzione che oscillano tra lo 0,22% della categoria Human toxicity, cancer al 3,48% della categoria Particulate matter. La produzione dei gommini e delle viti fornisce un contributo che oscilla tra il 1,32% nella categoria Ecotoxicity, freshwater ed il 2,76% nella categoria Human toxicity, cancer. Il contributo associato al consumo di gas naturale per la produzione di energia termina ammonta al 6,65% in Climate Change e al 7,99% in Resource use, fossils, il consumo di energia elettrica contribuisce per una percentuale pari al 4,33% nella categoria Resource use, fossils, ed infine la vernice contribuisce per un valore inferiore al 3% in tutte le categorie di impatto più significative. Gli altri processi forniscono un contributo nullo o non significativo

Tabella 10. Contributi percentuali dei vari processi alla produzione di 1 banco monoposto

Categoria d'impatto	TOTAL E	Emissioni dirette in aria	Acciaio per telaio	Pannello truciolare grezzo	Fogli laminati HPL	Listelli di faggio	Olio da taglio, filo saldatura e liquido fosfosgrassante	Imballaggi	Trasporto acciaio, pannello truciolare, laminati HPL, listelli di faggio	Altri trasporti	Vernice	Acqua per lavaggi	Viti e gommoni	Colle	Energia elettrica	Energia termica	Gestione rifiuti
Climate change	100%	0,00%	60,30%	10,95%	10,95%	0,15%	0,04%	0,07%	3,05%	0,22%	1,67%	0,00%	1,58%	0,38%	3,90%	6,65%	0,05%
Photochemical ozone formation	100%	0,00%	62,18%	16,42%	11,61%	0,42%	0,06%	0,05%	2,77%	0,21%	1,56%	0,00%	1,32%	0,33%	1,85%	1,21%	0,01%
Particulate matter	100%	0,00%	63,06%	16,77%	10,37%	1,15%	0,09%	0,05%	3,48%	0,22%	1,73%	0,00%	1,59%	0,22%	0,99%	0,26%	0,01%
Human toxicity, cancer	100%	0,00%	65,70%	20,80%	9,63%	0,04%	0,12%	0,00%	0,22%	0,03%	0,40%	0,00%	2,76%	0,03%	0,15%	0,11%	0,00%
Eutrophication, freshwater	100%	0,00%	67,25%	9,32%	17,83%	0,09%	0,04%	0,04%	0,46%	0,06%	1,21%	0,00%	1,32%	0,23%	1,93%	0,18%	0,03%
Ecotoxicity, freshwater	100%	0,00%	64,52%	14,09%	12,66%	0,28%	0,17%	0,03%	1,63%	0,15%	2,55%	0,00%	1,64%	0,30%	1,68%	0,27%	0,02%
Resource use, fossils	100%	0,00%	45,03%	16,57%	16,48%	0,19%	0,03%	0,12%	3,46%	0,29%	2,27%	0,00%	2,41%	0,75%	4,33%	7,99%	0,02%

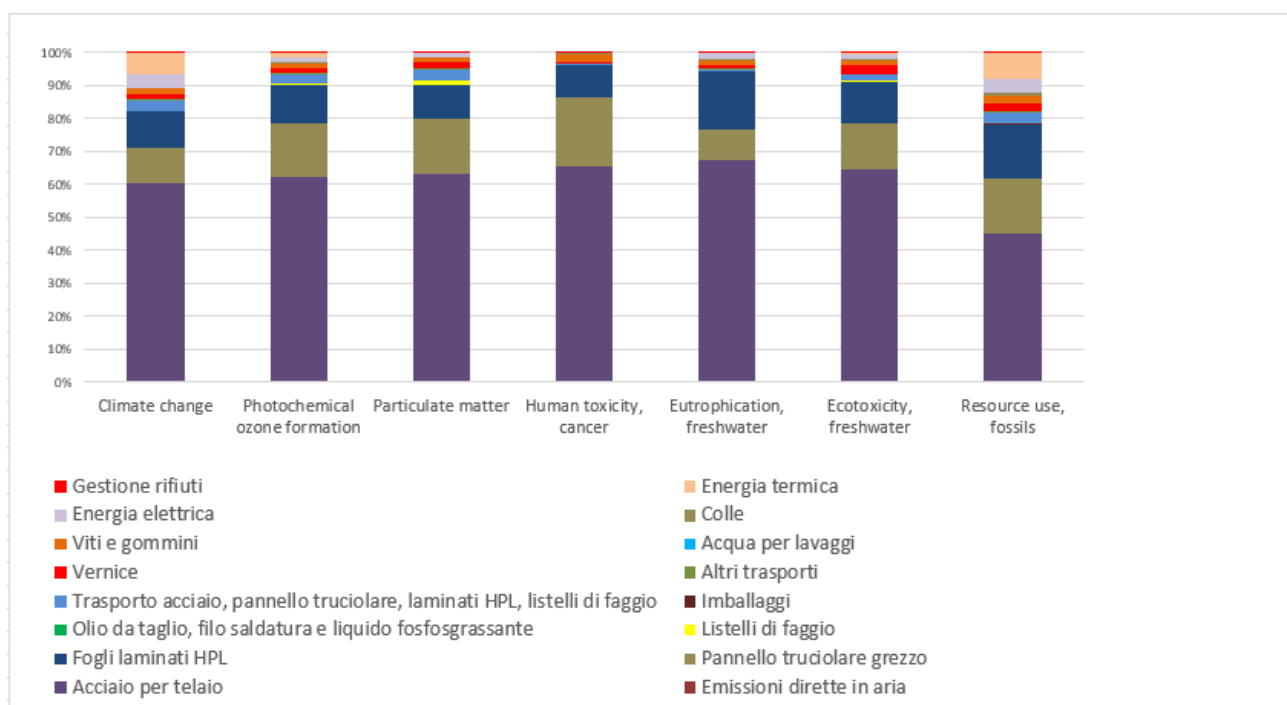


Figura 4. Contributi percentuali dei vari processi che costituiscono il ciclo di vita della alla produzione di 1 banco monoposto, per le categorie di impatto più rilevanti

3.6.3 Flussi elementari rilevanti

Nella categoria Ecotoxicity Freshwater, i flussi elementari più rilevanti nel ciclo di vita del banco monoposto sono quelli relativi alle emissioni di alluminio in aria, terreno e acqua (52%, 28% e 4% rispettivamente, rispetto al totale di questa categoria); esse sono correlate per la maggior parte (40%) alla produzione dell'acciaio non legato per il telaio e in maniera più contenuta ma significativa rispetto agli altri flussi per il pannello truciolare (4%) e per le resine melamminica e fenolica necessarie alla realizzazione dei laminati HPL (4% circa in totale). Nella categoria Human toxicity, cancer le emissioni in aria di benzopyrene e formaldeide (52% e 24% rispettivamente, rispetto al totale degli impatti in tale categoria) e le emissioni in acqua di cromo VI (21% rispetto al totale degli impatti) risultano i flussi elementari più significativi. Essi sono dovuti alla produzione di acciaio per i tubolari del telaio ed alla produzione del pannello truciolare grezzo. I flussi elementari relativi ai consumi delle seguenti materie prime: antracite, gas naturale; petrolio greggio; per la produzione dell'acciaio del telaio e per la produzione del pannello truciolare grezzo contribuiscono per il 40%, 30% e 20% rispettivamente, al totale della categoria Resource Use, fossils; le emissioni di fosfati in acqua durante la produzione dei tubolari in acciaio, del pannello truciolare e dei laminati HPL contribuiscono per il 99% alla categoria Eutrophication freshwater; le emissioni in aria di CO₂ fossile durante la produzione dell'acciaio, del pannello truciolare e dei laminati HPL contribuiscono per l'87% al totale degli impatti della categoria Climate Change. Nella categoria Photochemical Ozone formation i flussi più rilevanti sono le emissioni in aria di NO_x (48% sul totale di questa categoria), NMVOC (34%) e CO fossile (9%) derivanti dalla produzione dei tubolari in acciaio e del pannello truciolare grezzo; infine, per la categoria Particulate matter i flussi più rilevanti risultano l'emissione in aria di particolato <2,5 um (83%) per la produzione di acciaio e del pannello truciolare grezzo.

3.7 Conclusioni

Nel presente report sono presentati i risultati di uno specifico studio LCA applicati alla filiera dei mobili scolastici, ed in particolare al prodotto banco monoposto. Lo studio è stato svolto sulla base di dati relativi alla filiera italiana dei mobili scolastici, ricorrendo a dati primari disponibili a livello di filiera, raccolti presso le imprese coinvolte nel GdL. All'interno del GdL si sono selezionate aziende il cui processo produttivo e le cui tecnologie sono state considerate rappresentative di una situazione media italiana relativa alla produzione del banco monoposto. All'interno della filiera, in particolare, è stato preso in considerazione un banco monoposto con ripiano in legno truciolare grezzo ricoperto da ambo i lati da fogli di laminati HPL, contornato per tutto il bordo perimetrale da listelli di faggio con telaio in acciaio delle dimensioni di 50 cm* 70 cm* 76 cm e del peso di 12,60 kg. Il banco oggetto dello studio soddisfa le norme di tipo meccanico-prestazionale così come indicato secondo gli standard normativi di riferimento per questo tipo di prodotti come la UNI 1729-1 (UNI EN, 2016a) e UNI 1729-2 (UNI EN, 2016b). Esso è destinato all'uso in ambito scolastico in particolare nelle aule, sale comuni come biblioteche, sala studio, sala insegnanti, ecc. per scuole secondarie superiori di primo e secondo grado.

Lo studio LCA di filiera è stato svolto adottando un approccio "cradle-to-gate", ovvero un approccio che considera tutti i processi fino al "cancello aziendale", escludendo la distribuzione del prodotto al cliente finale, e le successive fasi di uso e fine vita (ad es. manutenzione della seduta e il processo di riuso/riciclo/smaltimento della seduta e dei suoi componenti). Tale scelta dei confini del sistema, che vanno dalla fase di produzione dell'acciaio, del pannello truciolare grezzo, dei laminati HPL e dei listelli di faggio per ottenere il banco monoposto fino alla fase di assemblaggio dello stesso finito e pronto per essere distribuito al cliente finale, è ritenuta rilevante per le attività delle aziende di produzione dei banchi monoposto scolastici.

Non vi sono da segnalare importanti carenze di dati in quanto è stata effettuata una dettagliata raccolta dati presso le aziende coinvolte nello studio di filiera. In ogni caso, laddove dati misurati non fossero disponibili presso le aziende, si è proceduto, in collaborazione con il GdL e le aziende, a stimare i quantitativi mancanti.

I risultati dello studio LCA, ottenuti tramite il metodo di valutazione degli impatti EF 3.0, che costituisce il metodo di valutazione sostenuto dall'iniziativa della Commissione Europea sull'impronta ambientale perché consente di ottenere un profilo di impatto completo a livello prodotto, indicano che:

- Le categorie di impatto più rilevanti per la produzione banco monoposto sono Ecotoxicity Freshwater, Human toxicity, cancer, Resource use, fossils, Eutrophication, freshwater, Climate Change, Photochemical Ozone formation e Particulate matter.
- La rilevanza preponderante di tali categorie di impatto è dovuta ai consumi di materiali ed energia (elettricità, gas naturale) per la produzione e le lavorazioni dell'acciaio utilizzato per produrre il telaio del banco, ai consumi di materiali ed energia per produrre il ripiano in legno del banco in particolare pannello truciolare grezzo e fogli di laminati HPL e ai relativi trasporti dei suddetti materiali.

- La fase di produzione dell'acciaio per i tubolari in acciaio è preponderante in tutte le categorie di impatto più significative, seguito dalla produzione del ripiano truciolare grezzo, dei due laminati HPL e dei relativi trasporti per giungere al cancello dell'azienda.
- Il trasporto di altri materiali ausiliari, la produzione dei gommini e delle viti, l'utilizzo della caldaia combinata e la gestione dei rifiuti contribuiscono in modo meno rilevante alle categorie di impatto più significative.
- Nel ciclo di vita del banco monoposto i flussi elementari più rilevanti sono i seguenti: emissioni di alluminio in aria, terreno e acqua correlati per la maggior parte alla produzione dell'acciaio per il telaio del banco e in maniera più contenuta ma significativa per il pannello truciolato e i laminati HPL; emissioni in aria di benzopyrene e formaldeide ed emissioni in acqua di cromo VI dovuti alla produzione dell'acciaio e del pannello truciolare; antracite, gas naturale e petrolio grezzo per la produzione dell'acciaio e per la produzione del pannello truciolare; emissioni di fosfati in acqua durante la produzione dei tubolari in acciaio, del pannello truciolare e dei laminati HPL; emissioni in aria di CO₂ fossile, NO_x, NMVOC e CO fossile durante la produzione dell'acciaio e del pannello; emissione in aria di particolato <2,5 µm per la produzione di acciaio e del pannello truciolare.

I risultati della categoria Climate Change, pari ad un totale di 18,50 kg CO₂ eq. / 1 banco monoposto, di cui 15,80 kg CO₂ eq. associati alla produzione e al trasporto dei tubolari in acciaio, del pannello truciolare grezzo dei laminati HPL, e i restanti 2,7 kg CO₂ eq. associati alla produzione del banco monoposto. Il confronto con i risultati di letteratura non è stato immediato né semplice, sia perché i dati disponibili si riferiscono a prodotti non direttamente riconducibili a banchi di scuola ma a scrivanie o tavoli d'ufficio costituiti da telaio in acciaio e piano truciolare in legno di dimensioni molto differenti rispetto al prodotto oggetto di studio, che a causa di differenze metodologiche tra i vari studi LCA presenti in letteratura. Nonostante le difficoltà incontrate, i risultati ottenuti nel presente studio sono dello stesso ordine di grandezza di quelli presenti in letteratura: infatti confrontando i risultati di LCA del banco monoposto oggetto di questo studio con quelli di EPD di prodotti simili ma costituiti da componenti diverse (es. scrivanie d'ufficio con telaio in acciaio e piano truciolare e un tavolo con telaio in acciaio e piano in legno, ecc.), provenienti da diversi Programme Operator, si riscontra che i risultati della categoria Climate Change hanno lo stesso ordine di grandezza.

I risultati sull'analisi di sensitività condotta sui trasporti (utilizzo di dataset relativi a mezzi Euro 3 invece che mezzi Euro 5) hanno evidenziato come la scelta del dataset per rappresentare il trasporto dei componenti, materiali e rifiuti inclusi nel ciclo di vita della produzione del banco monoposto abbia una incidenza non significativa sui risultati di impatto totali.

4 Bibliografia

ABET LAMINATI S.p.A., 2021. PRINT HPL (High Pressure Laminate) Thin Environmental Product Declaration. EPDItaly Registration Number: EPDITALY0064. Disponibile su: www.epditaly.it/epd/print-hpl-high-pressure-laminate-thin/

Benelli C., Bianchini R., Malavolti M., Salvini A., 2013. Sintesi e caratterizzazione di copolimeri per l'impiego in formulazioni a base acqua – Tesi per dottorato di ricerca – Università degli studi di Firenze. Rif.e398c38a-b2b7-179a-e053-3705fe0a4cff. Disponibile su: <https://core.ac.uk/download/pdf/14690686.pdf>

Commissione Europea, 2017. PEFCR Guidance document, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3, December 2017.

EPD international AB, 2021. General Programme Instructions for the International EPD® System, Version 4.0. 2021-03-29.

EPD International AB, 2022. Product Category Rules (PCR) for Seats. 2009:02. VERSION 3.0.2 DATE 2022-04-13. VALID UNTIL: 2024-04-17.

FederlegnoArredo, 2014. Il Legno massiccio. Materiale per un'edilizia sostenibile

ISPRA, 2006. Elementi per l'emanazione delle linee guida per l'identificazione delle migliori tecniche disponibili Disponibile su: <https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00008100/8193-lg-mtd-solventi27dicembre2006.pdf>

ISPRA, 2020a. Italian Greenhouse gas inventory 1990-2018. National Inventory Report 2020. Rapporti 318/2020. ISBN 978-88-448-0993-5.

ISPRA, 2020b. Rapporto Rifiuti Urbani edizione 2020. Rapporti 331/2020. ISBN 978-88-448-1030-6.

UNI EN, 2001a. UNI EN 204:2001. Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications.

UNI EN, 2001b. UNI EN 10020: - Definizione e classificazione dei tipi di acciaio - La norma definisce il termine "acciaio" e stabilisce: la classificazione in acciai non legati, acciai inossidabili ed altri acciai legati in base alla composizione chimica; la classificazione degli acciai non legati, degli acciai inossidabili e degli altri acciai legati in funzione delle principali classi di qualità

UNI EN, 2010a. UNI EN 312:2010 - Pannelli di particelle di legno – Specifiche

UNI EN, 2016a. UNI EN 1729-1- Mobili - Sedie e tavoli per istituzioni scolastiche - Parte 1: Dimensioni funzionali.

UNI EN, 2016b. UNI EN 1729-2: - Mobili - Sedie e tavoli per istituzioni scolastiche - Parte 2: Requisiti di sicurezza e metodi di prova.

UNI EN, 2016c. UNI EN 10305-3 -Tubi di acciaio per impieghi di precisione - Condizioni tecniche di fornitura - Parte 3: Tubi saldati calibrati a freddo

UNI EN, 2016d. UNI EN 438-2:2016 - Laminati decorativi ad alta pressione (HPL) - Fogli a base di resine termoindurenti (generalmente chiamati laminati) - Parte 2: Determinazione delle proprietà

UNI EN ISO, 2015. UNI EN ISO 4586-1:2015 - High-pressure decorative laminates (HPL, HPDL) — Sheets based on thermosetting resins (Usually called Laminates) — Part 1: Introduction and general information

UNI EN ISO, 2021a. UNI EN ISO 14040- Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento.

UNI EN ISO, 2021b. UNI EN ISO 14044 - Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida

Wernet B., Bauer G., Steubing C., Reinhard B., Moreno-Ruiz J., and Weidema E., 2016. “The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology,” Int. J. Life Cycle Assess. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>

Zampori, L. and Pant, R., Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method, EUR 29682 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-00654-1, doi:10.2760/424613, JRC115959.