

STUDIO DI FILIERA ACCIAIO PER COSTRUZIONI IN CARPENTERIA METALLICA



Autori: **Flavio Scrucca¹, Francesca Ceruti², Marta Maria Sesana³, Simona Maura Martelli⁴, Caterina Rinaldi²**

¹ Sezione di Supporto al coordinamento delle attività sull'Economia Circolare (SEC), ENEA

² Laboratorio Valorizzazione delle Risorse nei Sistemi Produttivi e Territoriali (RISE), ENEA

³ Università degli Studi di Brescia - Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e di Matematica

⁴ Fondazione Promozione Acciaio

Revisione critica esterna: Ecoinnovazione S.r.l.

Data di redazione: Settembre 2023

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.....	6
2	Scopo del documento	9
3	Descrizione della filiera.....	9
3.1	L'acciaio ed il suo impiego nel settore delle costruzioni.....	9
3.2	Impatto socio-economico della filiera	11
3.3	Impatti ambientali e strumenti di sostenibilità	13
3.3.1	Principali impatti della filiera e principali strumenti di sostenibilità per le imprese.....	14
3.3.2	Principali etichettature e certificazioni ambientali legate alla filiera dell'acciaio per carpenteria metallica	14
4	Gruppo di lavoro.....	17
4.1	Prodotti lunghi in acciaio per carpenteria metallica individuati per lo studio	19
5	Ambito di applicazione dello studio	21
5.1	Funzione del sistema, unità funzionale e flusso di riferimento.....	21
5.2	Confini del sistema	22
5.3	Assunzioni e giudizi di valore.....	24
5.4	Gestione della multifunzionalità	25
5.5	Revisione critica.....	25
5.6	Modellizzazione e metodologia di analisi degli impatti	25
5.7	Informazioni ambientali aggiuntive.....	25
6	Modellazione dei dataset della filiera	27
7	Analisi di inventario	27
7.1	Assunzioni utilizzate nello studio	27
7.2	Descrizione e documentazione processi unitari.....	30
7.3	Sviluppo dei datasets.....	34
8	Valutazione degli impatti ambientali.....	35
8.1	Caratterizzazione	35
8.2	Normalizzazione	37
8.3	Pesatura.....	40
8.4	Analisi di sensitività	42
9	Interpretazione dei risultati	45

9.1	Categorie di impatto rilevanti.....	45
9.2	Fasi del ciclo di vita e processi rilevanti.....	47
9.3	Flussi elementari rilevanti	50
10	Conclusioni.....	52
11	Bibliografia	56

Lista delle Figure

Figura 1 - Flussi import-export di prodotti in acciaio - Fonte: EUROFER (2023)	12
Figura 2- Valore aggiunto in EU (2022) - Fonte: EUROFER (2023) su dati Eurostat	12
Figura 3. Tassi di occupazione della filiera acciaio in EU - Fonte: EUROFER (2023)	13
Figura 4. Foto di esempio di travi e profili angolari dell'azienda Duferco.....	19
Figura 5. Fasi del processo produttivo di travi e profili angolari dell'azienda Duferco	19
Figura 6 – Profili cavi, quadri e rettangoli a freddo (SGM) dell'azienda Arvedi Tubi Acciaio	20
Figura 7 – Profili cavi, quadri e rettangoli normalizzati (HFS) dell'azienda Arvedi Tubi Acciaio	20
Figura 8. Confini del sistema travi e angolari	23
Figura 9. Confini del sistema profili cavi (quadri e rettangolari)	24
Figura 10. Travi e angolari - Normalizzazione: contributi percentuali dei diversi processi.....	38
Figura 11. Profili cavi, quadri e rettangolari - Normalizzazione: contributi percentuali dei diversi processi..	39
Figura 12. Travi e angolari - Pesatura: contributo delle categorie al punteggio totale.....	41
Figura 13. Profili cavi, quadri e rettangolari - Pesatura: contributo delle categorie al punteggio totale	42
Figura 14. Travi e angolari - Individuazione delle categorie di impatto rilevanti	46
Figura 15. Profili cavi, quadri e rettangolari - Individuazione delle categorie di impatto rilevanti.....	47
Figura 16. Travi e angolari - Unità di processo rilevanti	49
Figura 17. Profili cavi, quadri e rettangolari - Unità di processo rilevanti.....	50

Lista delle Tabelle

Tabella 1. Gruppo di lavoro dello studio di filiera	17
Tabella 2. Definizione unità funzionale	22
Tabella 3. Moduli inclusi nello studio in relazione alle fasi del ciclo di vita dell'edificio.....	23
Tabella 4. Dati di inventario utilizzati per lo studio di travi e angolari (UF: 1 kg).....	30
Tabella 5. Dati di inventario utilizzati per lo studio dei profili cavi (quadri e rettangolari) (UF: 1 kg)	33
Tabella 6. Travi e angolari - Caratterizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg).....	36
Tabella 7. Profili cavi, quadri e rettangolari - Caratterizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg). 37	37
Tabella 8. Travi e angolari - Normalizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg)	38
Tabella 9. Profili cavi, quadri e rettangolari - Normalizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg)..	39
Tabella 10. Travi e angolari - Pesatura: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg)	40
Tabella 11. Profili cavi, quadri e rettangolari - Pesatura: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg)	41
Tabella 12. Travi e angolari – Analisi di sensitività (UF: 1 kg).....	43
Tabella 13. Profili cavi, quadri e rettangolari – Analisi di sensitività (UF: 1 kg).....	44
Tabella 14. Travi e angolari - Individuazione fasi e processi rilevanti	48
Tabella 15. Profili cavi, quadri e rettangolari - Individuazione fasi e processi rilevanti	49

Lista degli Acronimi

AIA	Autorizzazione Integrata Ambientale
BAT	Best Available Techniques
CAM	Criteri Ambientali Minimi
EF	Environmental Footprint
EPD	Environmental Product Declaration
EUROFER	European Steel Association
FPA	Fondazione Promozione Acciaio
GdL	Gruppo di Lavoro
IPCC	Prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment
PCR	Regole di categoria di prodotto
UF	Unità Funzionale
UNI	Ente Italiano di Normazione

1 Sintesi

Il presente report riguarda la filiera dell'acciaio destinato alla realizzazione di costruzioni in carpenteria metallica e ne fornisce una descrizione a livello generale, delle sue caratteristiche peculiari, dei prodotti lunghi rappresentativi al suo interno e delle principali tipologie di impatto (sia ambientale che socio-economico) che la contraddistinguono.

Il Gruppo di Lavoro (GdL) costituito ai fini dello svolgimento del presente studio di filiera vede la partecipazione del mondo dell'Università e della Ricerca (ENEA e Università degli Studi Di Brescia), delle imprese della filiera (Arvedi Tubi Acciaio S.p.A. e Duferco Travi e Profilati S.p.A.), nonché di esperti dell'Ente No Profit, istituito nel 2005, che opera quale Ente Culturale per lo sviluppo delle costruzioni e delle infrastrutture in acciaio in Italia (Fondazione Promozione Acciaio - FPA).

All'interno del documento sono presentati i risultati di uno specifico studio di ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) applicato alla filiera delle costruzioni in carpenteria metallica prendendo in considerazione diversi prodotti lunghi (travi, profili angolari e profili cavi) rappresentativi del contesto produttivo nazionale.

Tali prodotti sono stati selezionati dal GdL in quanto ritenuti rilevanti per la filiera dell'acciaio destinato alla realizzazione di costruzioni in carpenteria metallica.

Nello specifico, i prodotti dell'azienda Duferco Travi e Profilati, oggetto dello studio, sono travi ed angolari con vari profili fabbricati da rottame proveniente da riciclo.

L'ampiezza della gamma qualitativa e dimensionale è in grado di soddisfare le esigenze di diversi settori: sono prodotte infatti travi HE, IPN, IPE, UB, UC, UPN, HP shapes e W shapes di diverse dimensioni e in qualità differenti, come S235 JR, S235 J0, S235 J2, S275 JR, S275 J0, S275 J2, S355 JR, S355 J0, S355 J2, S355 K2. Ad oggi i semiprodotto in acciaio forniti dall'acciaieria di San Zeno, vengono laminati negli impianti di Giammoro e Pallanzeno dove si realizzano travi di diversa forma, dimensione e qualità. Già entro il mese di novembre dell'anno 2023 entrerà a pieno regime il nuovo laminatoio di San Zeno, un impianto all'avanguardia pronto per funzionare ad energia rinnovabile.

L'ampiezza della gamma qualitativa e dimensionale dei prodotti lunghi è in grado di soddisfare le esigenze di diversi settori, tra i quali l'automotive, l'edilizia, infrastrutture e grandi opere, carpenteria e barriere autostradali. Secondo la destinazione d'uso specifica possono essere realizzate in qualità, marche d'acciaio e finiture differenti.

Relativamente all'azienda Arvedi Tubi Acciaio, invece, i prodotti oggetto dello studio riguardano:

- sezioni quadrate e rettangolare per impieghi strutturali formate a freddo;

- sezioni quadrate e rettangolare per impieghi strutturali finite a caldo.

I tubi strutturali Arvedi sono prodotti a lunghezza commerciale o con lunghezza personalizzata, con estremità lisce; opzionalmente i profili possono essere scordonati internamente. La gamma dei profili Arvedi Tubi Acciaio è realizzata nei gradi d'acciaio previsti dalle norme di riferimento. Oltre a quanto sotto riportato Arvedi produce tubi strutturali con dimensioni, tolleranze e gradi acciaio speciali, in accordo a disegni e specifiche del cliente.

Lo studio LCA, svolto in conformità alle norme ISO 14040-14044, è stato sviluppato sulla base di dati forniti direttamente dalle due aziende coinvolte nel GdL, con un approccio “dalla culla al cancello”, ovvero considerando i prodotti finiti disponibili al cancello aziendale e non le fasi di distribuzione, uso e fine vita. L'unità funzionale utilizzata è 1 kg di prodotto per entrambe le tipologie di prodotti presi in considerazione.

Ai fini della valutazione del ciclo di vita di travi e profili angolari i dati alla base dello studio sono stati raccolti in maniera tale da essere indicativi di un prodotto medio rappresentativo dei diversi profili con cui vengono realizzati i prodotti finiti (HE, IPE, IPN, ...) e delle relative differenti caratteristiche dimensionali. Analogamente, ai fini della valutazione dei profili cavi (a sezione quadrata e rettangolare), si è proceduto alla definizione di un prodotto medio rappresentativo delle diverse tipologie di profili cavi (SGM e HFS) realizzate. Non si sono riscontrate particolari carenze di dati in fase di costruzione dell'inventario e la modellazione del sistema è stata eseguita facendo ricorso esclusivamente a dati primari sito-specifici di qualità buona o molto buona.

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

- il ciclo di vita di travi e angolari risulta avere effetti rilevanti in termini di impatto sulle categorie *Particulate matter*, *Ecotoxicity*, *freshwater* e *Resource use, fossils* nonché, con valori di impatto leggermente inferiori, sulle categorie *Eutrophication*, *freshwater*, *Climate Change* e *Human toxicity, cancer*. I profili cavi, invece, risultano particolarmente impattanti per la categoria *Human toxicity, cancer* e, a seguire, per le categorie *Ecotoxicity*, *freshwater* e *Eutrophication, freshwater*;
- in termini di fasi del ciclo di vita, la più significativa in termini di impatto è risultata essere la fase UPSTREAM, per tutte le categorie rilevanti individuate per i profili cavi (quadri e rettangolari) e anche per molte delle categorie di impatto identificate come più rilevanti nel caso di travi e profili angolari;

- le unità di processo elementari più rilevanti in termini di impatto per la maggior parte delle categorie nel caso di travi e angolari sono risultate essere la produzione di ghisa (fase UPSTREAM), l'energia elettrica e i trasporti (fase CORE), mentre per i profili cavi sono la produzione di acciaio da altoforno e di acciaio da forno elettrico (fase UPSTREAM) le unità di processo più rilevanti;
- i flussi più rilevanti in termini di emissioni in aria per entrambi i prodotti considerati sono le emissioni di Anidride Carbonica e Metano di origine fossile (categoria *Climate Change*), mentre le emissioni di particolato fine risultano particolarmente significative per travi e angolari (categoria *Particulate matter*) e le emissioni di Benzo(a)pirene il flusso più rilevante per i profili cavi (categoria *Human toxicity, cancer*);
- i flussi elementari più significativi in termini di emissioni in acqua per le categorie individuate come rilevanti, per entrambi i prodotti considerati, sono costituiti dalle emissioni di Alluminio e Cloruri (categoria *Ecotoxicity, freshwater*), di Cromo VI (categoria *Human toxicity, cancer*) e di fosfati (categoria *Eutrophication, freshwater*);
- il flusso elementare più rilevante in termini di emissioni al suolo per entrambi i prodotti considerati è rappresentato dalle emissioni di Alluminio (categoria *Ecotoxicity, freshwater*);
- per travi e angolari, *Gas, natural, Coal hard, Oil, crude* e *Uranium* sono emersi come flussi in assoluto più rilevanti in termini di risorse (categoria *Resource use, fossils*).

Facendo riferimento alla categoria di impatto *Climate Change*, ovvero all'effetto in termini di contributo al cambiamento climatico espresso come emissioni di CO₂ equivalente, i risultati dello studio hanno evidenziato un impatto pari a 0,93 kgCO₂eq/kg per travi e angolari e un impatto pari a 1,6 kgCO₂eq/kg per i profili cavi e tali valori di impatto risultano essere sostanzialmente in linea sia con i risultati delle EPD ottenute dalle aziende coinvolte nello studio che con quelli di altri report tecnici e pubblicazioni scientifiche.

Nell'ambito dello studio è stata svolta anche un'analisi di sensitività, focalizzando l'attenzione su alcuni input significativi (emersi anche come unità di processo particolarmente rilevanti in termini di impatto) per i prodotti oggetto di studio, ovvero energia elettrica per travi e angolari e materia prima acciaio per i profili cavi.

Tale analisi di sensitività ha mostrato in maniera chiara che, per travi e angolari, l'utilizzo di energia elettrica da fonti rinnovabili consente di ottenere riduzioni apprezzabili dell'impatto nella maggior parte delle categorie, sia nel caso di un approvvigionamento "misto" (50% da rete elettrica

nazionale e 50% da fonti rinnovabili) che nel caso di utilizzo del 100% di energia elettrica certificata da fonti rinnovabili. Per i profili cavi, rispetto allo scenario di base dello studio di filiera caratterizzato dall'utilizzo di un 58% di acciaio da altoforno e di un 48% di acciaio da forno elettrico, in uno scenario in cui la produzione avviene a partire da un mix 50-50 delle due tipologie di acciaio si registrano riduzioni degli impatti tutt'altro che trascurabili, che diventano ancora più rilevanti nel caso di una produzione basata su un 30% di acciaio da altoforno e un 70% di acciaio da forno elettrico.

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 della filiera dell'acciaio per costruzioni in carpenteria metallica.

3 Descrizione della filiera

3.1 L'acciaio ed il suo impiego nel settore delle costruzioni.

L'acciaio è una lega di ferro-carbonio e, grazie alle sue caratteristiche di resistenza, rigidità, durabilità e duttilità, è di gran lunga il metallo più impiegato nel mondo. Con una ridotta presenza di beni sostituti, i volumi di produzione possono essere considerati un indicatore dello stato dell'economia di un Paese.

L'acciaio trova applicazione nel settore delle costruzioni principalmente in strutture metalliche, armature nelle strutture in calcestruzzo, rivestimenti, coperture ed infissi.

Le costruzioni in carpenteria metallica si distinguono in tre principali categorie:

- **Strutture metalliche in carpenteria pesante:** costruzioni realizzate con struttura portante in profili laminati a caldo, con tamponamenti, copertura e solai interamente a secco (senza getti in opera) o in sezione mista acciaio e calcestruzzo gettato in opera;
- **Strutture metalliche in carpenteria leggera (Light Steel Frame):** costruzioni realizzate con struttura in profili sottili sagomati a freddo in acciaio CFS (Cold Formed Steel), particolarmente indicata per costruzioni interamente a secco;

- **Strutture composte acciaio-calcestruzzo:** costruzioni realizzate con struttura composta da profili laminati in acciaio ed elementi in calcestruzzo armato, con lo scopo di sfruttare al meglio le prestazioni di entrambi i materiali.

Le costruzioni a secco in acciaio, a differenza dei processi costruttivi del secolo scorso “ad umido”, costituiscono sistemi integrati di componenti, sia strutturali che complementari prelaborati. Il cantiere diventa il sito ove comporre, nel più breve tempo possibile e secondo modalità prefigurate e semplificate, componenti edilizi altamente competitivi, preassemblati in officina dove vengono garantiti, attraverso Norme europee, controlli, collaudi e standard qualitativi precisi, in totale favore della sicurezza del costruito. Sono così inoltre ridotti i rischi dovuti a fattori e condizioni ambientali tipici della costruzione in opera.

Il sistema costruttivo a secco si fonda sull’industrializzazione dei processi e sulla costruzione off-site che, in quanto tale, prevede che i componenti vengano fabbricati tutti in stabilimento con precisione e controllo della produzione. Ciò consente di avere certezza dei tempi e dei costi di realizzazione.

I sistemi costruttivi a secco sono vantaggiosi anche dal punto di vista del risparmio energetico, in quanto riescono, per le caratteristiche di produzione e installazione, a coniugare elementi costruttivi intrinseci e materiali per l’isolamento termico e acustico, oltre che predisposizioni integrate per l’impiantistica [1].

Ulteriori vantaggi del sistema a secco sono le maggiori rese derivanti dall’impiego di risorse e maggiori possibilità di riuso dei componenti e di riciclo completo del materiale. Diversi studi in letteratura hanno evidenziato come le soluzioni in carpenteria metallica, sia in edifici nuovi che esistenti, rappresentino una valida soluzione per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione grazie alle loro potenzialità e ai loro vantaggi rispetto alle soluzioni tradizionali [2]. Gli aspetti "secco" e "leggero", sembrano rispondere a tutte le esigenze dell'abitare moderno, dal design al comfort, inserendosi nell'ambiente con un ingombro ridotto [3].

Le strutture in acciaio sono diventate infatti uno dei principali concorrenti dei sistemi costruttivi tradizionali. L'uso ottimizzato dei materiali, la leggerezza e il risparmio di tempo nella fase di costruzione mostrano il potenziale di questa tecnologia per ridurre l'impatto ambientale. Il sistema costruttivo in carpenteria metallica si basa sull'ottimizzazione della forma a favore della leggerezza, facilitando così le fasi di trasporto e costruzione. Inoltre, la possibilità di preassemblare i profili in

pannelli e volumi offre vantaggi in termini di tempi di costruzione, ed essendo un sistema di costruzione a secco, ha anche un grande potenziale di circolarità e riciclabilità [3].

Il Gruppo di Lavoro ha identificato diversi prodotti in acciaio su base sia tecnico-scientifica (profili conformi alla legislazione ed alle normative europee ed italiane vigenti in grado di garantire prestazioni adeguate alla realizzazione di costruzioni in carpenteria metallica) che di mercato, privilegiando i prodotti lunghi più rappresentativi del contesto produttivo nazionale.

3.2 Impatto socio-economico della filiera

Nel 2022 l'UE ha importato 28,9 milioni di tonnellate di prodotti siderurgici finiti, specialmente dalla Turchia, con oltre 4 milioni di tonnellate [4] e, nel corso dello stesso anno, l'UE ha inoltre esportato 16,6 milioni di tonnellate di prodotti siderurgici finiti, specialmente verso la Turchia con quasi due milioni di tonnellate [4]. Il dettaglio dei flussi viene illustrato in Figura 1.

Sempre secondo i dati resi disponibili da EUROFER [4], l'industria dell'acciaio in Europa nel 2022 occupa oltre i 2,5 milioni di persone con un valore aggiunto¹ creato di circa 143 miliardi di Euro. Tale valore porta l'industria dell'acciaio ad essere la terza in Europa per valore aggiunto, dietro solo a bevande e settore della carta (Figura 2).

Con riferimento alla situazione italiana, invece, EUROFER [4] stima che l'Italia sia il secondo Paese europeo per numero di addetti (10.1% degli addetti di tutta Europa) dove 52 persone ogni 100.000 lavorano nel settore acciaio Figura 3).

A tale riguardo, si evidenzia che l'Italia è il secondo produttore di acciaio in Europa e l'undicesimo nel mondo: nel 2022 nel nostro Paese sono state prodotte quasi 22 milioni di tonnellate di acciaio. Di queste, l'85% è acciaio da riciclo, prodotto cioè dalla rifusione di rottami ferrosi realizzata nei forni elettrici ad arco (EAF – Electric Arc Furnace). La siderurgia italiana è prima in UE per efficienza energetica con valori di consumo specifico inferiori del 38% rispetto alla media europea. Le emissioni specifiche dirette di CO₂ della siderurgia italiana si sono ridotte di circa il 60% dal 1999 al 2020. Oltre il 35% degli investimenti nel settore è rivolto al miglioramento delle performance ambientali e della sicurezza e salute sui luoghi di lavoro. Strategico è il sostegno alla produzione di acciaio secondario, eccellenza produttiva nazionale, che ha saputo riconfigurare il settore, mantenendo e consolidando il ruolo produttivo nazionale sulla base dei principi dell'economia circolare.

¹ Per Valore aggiunto si intende il saldo tra la produzione ed i consumi intermedi, in cui la produzione è valutata a prezzi base, cioè al netto delle imposte sui prodotti e al lordo dei contributi ai prodotti (Fonte: ISTAT)

Figura 1 - Flussi import-export di prodotti in acciaio - Fonte: EUROFER (2023)

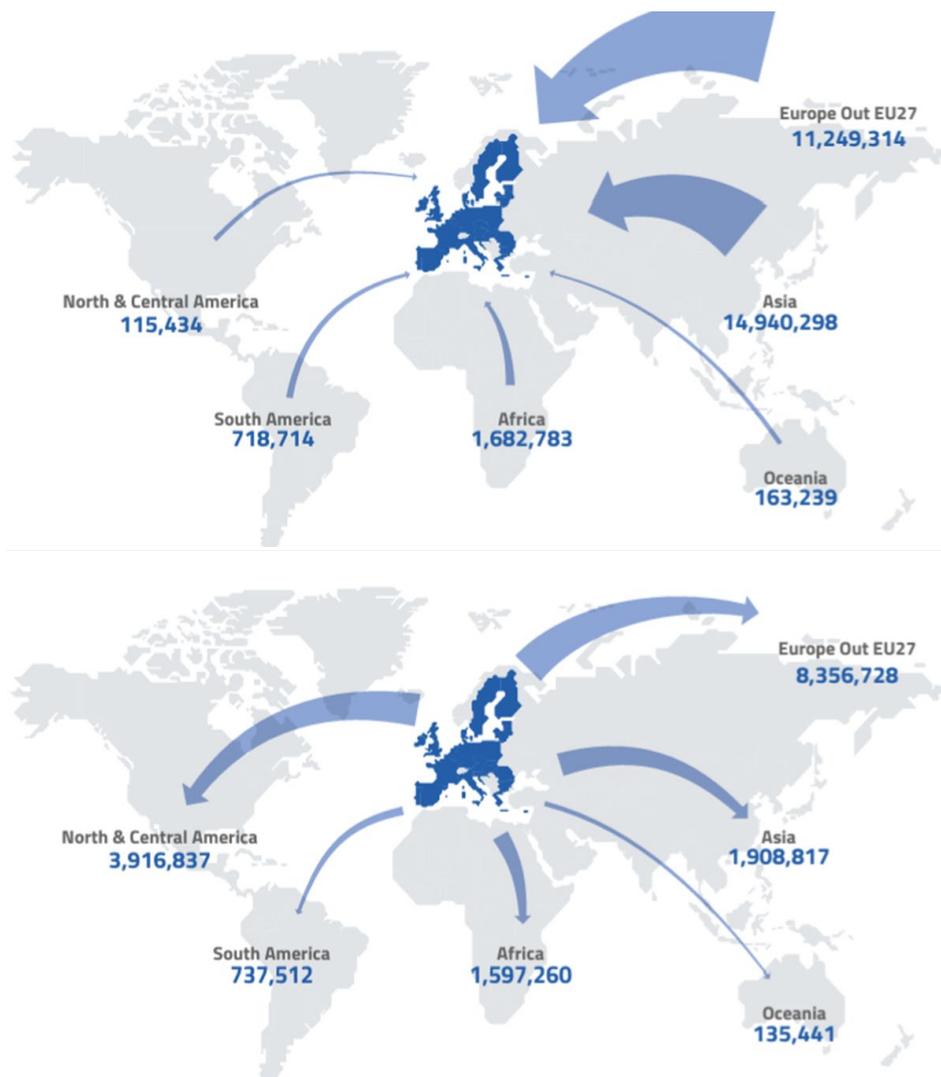


Figura 2- Valore aggiunto in EU (2022) - Fonte: EUROFER (2023) su dati Eurostat

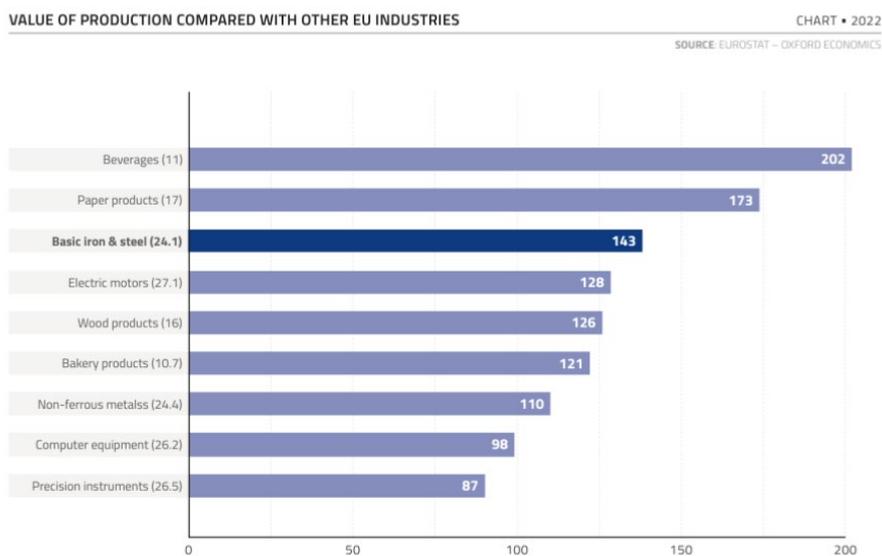
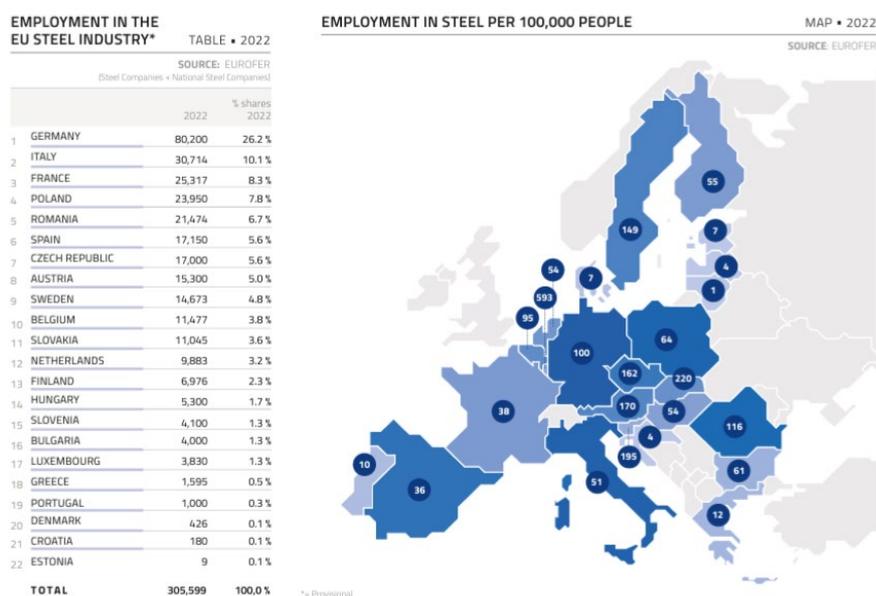


Figura 3. Tassi di occupazione della filiera acciaio in EU - Fonte: EUROFER (2023)



3.3 Impatti ambientali e strumenti di sostenibilità

Secondo le analisi della Commissione Europea il settore delle costruzioni (edifici residenziali e non, strutture ingegneristiche e servizi commerciali correlati) è responsabile del 40% della domanda di energia primaria nell'Unione Europea e del 36% delle emissioni di gas serra². In Italia il settore residenziale contribuisce per il 27,9% alla domanda di energia e per il 24,2% alle emissioni climalteranti³.

Secondo i dati di EUROFER [4], l'acciaio viene impiegato per la maggior parte nell'industria delle costruzioni e delle infrastrutture (37%), con il consumo mensile di oltre 6 milioni di tonnellate, in aumento del 1,23% nel corso dell'ultimo anno (2022vs2021).

È facile immaginare come il potenziale abbattimento di emissioni climalteranti, così come richiesto dalla Commissione Europea in virtù dell'Accordo di Parigi, passi quindi dal settore dell'acciaio. L'acciaio può essere considerato una risorsa permanente in quanto completamente riciclabile. Infatti, al termine della vita utile di un'opera l'acciaio dismesso può essere facilmente riciclato fino al 99% grazie all'agevole separazione dagli altri componenti edilizi, ottenendo così un nuovo materiale di prima scelta, mentre la parte restante (1%) viene recuperata come inerte per uso stradale [5]. L'acciaio è riciclato senza alcuna perdita di qualità dal momento che i legami metallici vengono ripristinati durante la fase di ri-solidificazione. Inoltre, diversamente da altri

² https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en

³ <https://www.legambiente.it/comunicati-stampa/decarbonizzare-le-costruzioni-la-nuova-sfida-del-settore-edilizio/#:~:text=Secondo%20la%20Commissione%20europea%2C%20il,%2C%25%20alle%20emissioni%20climalteranti.>

materiali da costruzione, l'acciaio prodotto dal riciclo di materiale ferroso avrà le stesse proprietà meccaniche di quello di origine anche dopo più operazioni di riciclo.

3.3.1 Principali impatti della filiera e principali strumenti di sostenibilità per le imprese

Oltre ai vantaggi legati alla riduzione dei rischi dovuti a fattori e condizioni ambientali tipici delle costruzioni ad umido (on-site) la pre-lavorazione dei prodotti in acciaio nei centri servizio e nelle officine di carpenteria metallica, la facilità di assemblaggio in opera e conseguente riduzione delle tempistiche del cantiere e degli impatti generati dalle varie attività, la leggerezza delle strutture che limita il consumo di suolo necessitando di ridotte opere di fondazione, le soluzioni strutturali in carpenterie metalliche aumentano la durabilità di un'opera. L'acciaio, tra i materiali da costruzione, è in assoluto il più durevole e la vita utile delle strutture in acciaio può tranquillamente superare i 50 anni, in alcuni casi anche il secolo, evitando di ricorrere a ripetuti e costosi cicli di manutenzione, il che evita lo sperpero inutile di risorse economiche e ambientali. La scelta consapevole di questi accorgimenti, già in fase di progettazione, per gli edifici e le infrastrutture, si traduce in sicurezza, riduzione dei costi di manutenzione e di gestione ed uso sostenibile delle risorse naturali.

Inoltre, le aziende siderurgiche italiane hanno promosso numerose iniziative ed attività nell'ottica di implementare e potenziare la siderurgia verde con la riduzione dei prelievi specifici di acqua di oltre il 14% per gli impianti di produzione di acciaio da forno elettrico negli ultimi 9 anni [5]. Inoltre, in termini di risparmio idrico, con la diffusione dei sistemi di raffreddamento con ricircolo, negli ultimi anni è stato raggiunto un reimpiego delle acque fino al 98% ed una riduzione di 2,7 m³ di acqua prelevata per tonnellata di acciaio prodotto dal 2010 ad oggi. Anche la produzione di rifiuti si è ridotta nell'ultimo decennio con un calo di oltre il 25% dal 2010 ad oggi. [5]. Inoltre, le concentrazioni specifiche di polveri totali sospese (PTS) da parte degli impianti produttivi di acciaio a forno elettrico si sono ridotte di oltre 60% nell'ultimo decennio.

3.3.2 Principali etichettature e certificazioni ambientali legate alla filiera dell'acciaio per carpenteria metallica

Con il tasso di riciclo dell'acciaio pari all'85% l'Italia fa registrare il più alto livello all'interno dell'Unione Europea, grazie alla preponderante diffusione del forno elettrico e agli importanti investimenti che i produttori siderurgici hanno compiuto nell'adozione delle migliori tecniche disponibili (BAT) e dei sistemi di gestione ambientale certificati ISO 14001 [6], oltre che nella certificazione ambientale dei loro prodotti, una fra tutte, l'EPD. Nel corso degli anni si è visto il costante aumento del numero di aziende certificate ISO 14001 e, sulla base di dati Federacciai [7]

secondo cui il 100% degli associati si è dotato di tale certificazione, è possibile stimare che oltre il 90% delle acciaierie nazionali è dotato di un Sistema di Gestione Ambientale certificato ISO 14001.

Da menzionare poi è la nuova prassi di riferimento sulla sostenibilità ambientale dei prodotti e dei servizi per le costruzioni pubblicata nel 2021: la UNI EN 15804:2021 [8] che sostituisce la UNI EN 15804:2019. Elaborata dalla commissione dell'UNI – Prodotti, processi e sistemi per l'organismo edilizio – la nuova prassi di riferimento “Sostenibilità delle costruzioni – Dichiarazioni ambientali di prodotto – Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto” fornisce regole quadro per categoria di prodotto (PCR) per l'elaborazione di dichiarazioni ambientali di tipo III per ogni tipo di prodotto e servizio per le costruzioni. Per quanto riguarda le EPD di servizi per le costruzioni, si applicano regole e requisiti identici a quelli dei prodotti. Il processo di normazione è stato condotto in conformità alla UNI EN ISO 14025 [9]. I contenuti della EPD sono espressi in una forma che ne consente la aggregazione (addizione) in modo da fornire una informazione completa per l'utilizzo nell'edificio e in altre costruzioni. La UNI EN 15804:2021 non indica le procedure di aggregazione dei dati a scala di edificio né descrive le regole per l'utilizzo dell'EPD nella valutazione della sostenibilità dell'edificio ma tratta una serie di indicatori di impatto ambientale quantificabili, predefiniti.

A livello europeo EUROFER continua ad essere attiva nel lavoro di standardizzazione dell'edilizia sostenibile della normativa tecnica TC 350, in particolare sui progetti di standard per la valutazione degli edifici, nonché nello sviluppo di regole di categoria di prodotto complementari (PCR) per le dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD), comprese le strutture in acciaio e alluminio secondo la normativa tecnica TC 135. Le EPD sono ampiamente utilizzate nel settore delle costruzioni, soprattutto per eseguire LCA di edifici o per confrontare diversi prodotti funzionalmente equivalenti (secondo la norma EN 15804), e sono infatti ormai divenute parte della comune prassi delle aziende della filiera delle costruzioni in carpenteria metallica. Tali dichiarazioni Ambientali di Prodotto descrivono infatti in dettaglio gli effetti ambientali dei prodotti per l'edilizia sulla base di una valutazione del ciclo di vita (LCA), e sono fondamentali per le certificazioni di edifici sostenibili come LEED, BREEAM, DGNB, BNB o HQE e sono ora introdotte nelle normative nazionali per l'edilizia in alcuni Stati Membri europei. Per i produttori, le EPD evidenziano inoltre il potenziale di ottimizzazione nel corso del ciclo di vita del prodotto, al fine di ottimizzare le risorse e ridurre gli impatti, con il risultato di costruzioni a basso impatto ambientale e con un ciclo di vita economicamente vantaggioso.

3.3.2.1 CAM (Criteri Ambientali Minimi) e prodotti in acciaio per carpenteria metallica

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) sono requisiti ambientali definiti dal Piano d’Azione Nazionale sul Green Public Procurement (PAN GPP) per le varie fasi del processo di acquisto da parte delle Pubbliche Amministrazioni nei vari settori, fra cui l’edilizia, al fine del raggiungimento di determinati obiettivi ambientali. Tali obiettivi possono essere raggiunti attraverso una serie di azioni quali la riduzione dei consumi energetici e dei rifiuti, la riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti e l’impiego di materiali e prodotti provenienti dal riciclo. Secondo l’art. 34 del Codice degli Appalti, la progettazione per i lavori di ristrutturazione, nuova costruzione e manutenzione per le opere pubbliche deve essere basata sui Criteri Ambientali Minimi. Questi criteri sono volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo l’intero ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato. I CAM vengono disciplinati con decreti emanati dal Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica. L’ultimo aggiornamento che definisce i CAM in materia di edilizia è stato pubblicato con il Decreto 23 giugno 2022 - Criteri Ambientali Minimi per l’affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di interventi edilizi - il quale stabilisce che, per ciascun materiale da costruzione, deve essere rispettato un determinato contenuto minimo di riciclato, attestato da una valida certificazione ambientale.

Grazie alle alte percentuali di riciclato certificate dalle dichiarazioni ambientali di prodotto, le forniture dei prodotti in acciaio soddisfano pienamente i requisiti definiti dai CAM. Infatti, in base ai processi termici e alle tecniche di laminazione, è altresì possibile ottenere acciai con migliori caratteristiche in termini di resistenza (es. gli acciai ad alto limite di snervamento), duttilità, resilienza a basse temperature, saldabilità (es. acciai a grana fine) e resistenza migliorata alla corrosione (es. acciai autopatinabili).

Inoltre, la completa riciclabilità dell’acciaio si adegua perfettamente ai requisiti richiesti dai CAM in materia di opere pubbliche, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi ambientali da parte delle Pubbliche Amministrazioni, in linea con le politiche adottate dai Paesi Europei.

Negli ultimi anni, in Italia, i produttori siderurgici hanno compiuto grandi investimenti in campo ambientale ottenendo le certificazioni di prodotto attestanti il contenuto minimo di riciclato. Per le opere in carpenteria metallica i CAM prevedono un contenuto minimo di acciaio pari al:

- 75% per acciai non legati da forno elettrico ad uso strutturale e 65% per acciai ad uso non strutturale;
- 60% per acciai legati da forno elettrico;
- 12% per acciai da ciclo integrale.

4 Gruppo di lavoro

In Tabella 1 è riportato il Gruppo di Lavoro (GdL) che ha contribuito al presente studio.

Tabella 1. Gruppo di lavoro dello studio di filiera

Nome	Ente/ impresa	Tipologia	Sito web	
Caterina Rinaldi (coordinatrice progetto Arcadia)	ENEA	Centro di ricerca	www.enea.it	https://risorse.sostenibilita.enea.it/structure/rise caterina.rinaldi@enea.it tel: 051-6098388
Flavio Scrucca (responsabile studio di filiera)	ENEA	Centro di ricerca	www.enea.it	https://sostenibilita.enea.it/structure/sec flavio.scrucca@enea.it tel: +39 0831 201 592
Francesca Ceruti	ENEA	Centro di ricerca	www.enea.it	https://sostenibilita.enea.it/structure/rise francesca.ceruti@enea.it
Marta Maria Sesana	Università degli Studi di Brescia	Università	www.unibs.it	marta.sesana@unibs.it tel: +39 030 371 1241
Simona Maura Martelli	Fondazione Promozione Acciaio (FPA)	Ente no profit	www.promozione acciaio.it	https://www.promozioneacciaio.it/progettare-e-costruire-green/ segreteria@fpacciaio.it tel: +39 0286313020
Giuseppe Guerrini	Duferco Travi e Profilati	Azienda di filiera	https://www.dufercotp.com/	Responsabile Sicurezza, ambiente e norme gestionali g.guerrini@dufercotp.com tel: +39 0302169470
Chiara Brunozzi	Duferco Travi e Profilati	Azienda di filiera	https://www.dufercotp.com/	Norme gestionali c.brunozzi@dufercotp.com
Carla Cornolò	Arvedi Tubi Acciaio	Azienda di filiera	https://www.arvedi.it/ata/	carla.cornolo@arvedi.it tel: +39 0372 409-910
Matteo Piemonti	Arvedi Tubi Acciaio	Azienda di filiera	https://www.arvedi.it/ata/	matteo.piemonti@arvedi.it tel: +39 0372 409-910
Alessandra Zamagni	Ecoinnovazioni s.r.l.	Impresa (revisore)	https://ecoinnovazione.it/	a.zamagni@ecoinnovazione.it
Nicola Ferrara	Ecoinnovazioni s.r.l.	Impresa (revisore)	https://ecoinnovazione.it/	n.ferrara@ecoinnovazione.it

I principali obiettivi che hanno spinto le imprese e gli altri componenti del GdL a partecipare allo sviluppo dei datasets e al progetto sono di seguito elencati:

- interesse generale della filiera al tema del Life cycle thinking sia per motivi tecnico innovativi di sviluppo che di richiesta del mercato;
- obiettivi aziendali di miglioramento delle prestazioni ambientali dei prodotti, supporto all'eco-progettazione, partendo dallo studio LCA effettuato nel progetto e dalle competenze acquisite;

- supporto di Enti di ricerca/università (ENEA, UNIBS) e della Fondazione Promozione Acciaio per lo sviluppo e la successiva disseminazione e formazione sul tema per i diversi operatori ed attori della filiera costruttiva;
- interesse per la tematica della sostenibilità in relazione alle procedure di calcolo e di certificazione oltre che di etichette ambientali basate sul ciclo di vita a cui la banca dati darà supporto per quanto riguarda la diffusione nel settore;
- attivazione di maggiore consapevolezza sul tema, sugli strumenti disponibili e sul corretto linguaggio e normativa da utilizzare per colmare eventuali dubbi o carenze della pratica quotidiana;
- promuovere attivamente un approccio circolare al mondo delle costruzioni in Italia, per la riduzione dell'impatto ambientale del costruito, con particolare attenzione alla filiera dei materiali, alla loro trasformazione e ciclo di vita; contribuire in modo significativo alla definizione di politiche e strategie che favoriscono la sostenibilità nel settore delle costruzioni, in linea con gli obiettivi di decarbonizzazione europea, aumentando la consapevolezza e la conoscenza sui prodotti in acciaio, sulle costruzioni in carpenteria metallica (industrializzate ed off-site), per ridurre l'impatto del costruito, realizzando edifici durevoli, tecnologicamente avanzati ed architettonicamente pregevoli;
- attraverso la condivisione delle migliori pratiche, sostenere un'attività di diffusione della cultura della sostenibilità in edilizia tra i cittadini, le imprese, gli investitori e le Amministrazioni Pubbliche ai diversi livelli, come riferimento per definire ed implementare politiche per la sostenibilità;
- fornire informazioni chiare sul tema della sostenibilità del settore delle costruzioni al fine di incentivare il confronto, lo scambio e la creazione di una community di persone che condividono gli stessi valori e si fanno promotori del cambiamento;
- sostenere la ricerca e lo sviluppo di tecnologie che consentono di ridurre le emissioni di carbonio legate alla produzione ed all'utilizzo dei materiali da costruzione;
- supportare la circolarità dei materiali: l'industria siderurgica nazionale può svolgere un ruolo chiave nella promozione dell'economia circolare in quanto incentiva la produzione e l'utilizzo di prodotti che provengono dal riciclo e a loro volta riciclabili.

4.1 Prodotti lunghi in acciaio per carpenteria metallica individuati per lo studio

Il GdL ha identificato i seguenti prodotti lunghi in acciaio: travi, angolari e profili cavi. Questi sono infatti impiegati per la realizzazione di strutture a telaio mediante elementi lineari verticali (colonne) e orizzontali (travi) e di strutture reticolari (capriate, travi reticolari, tralicci) tipicamente per costruzioni in carpenteria pesante e strutture composte.

Maggiori informazioni in merito ai prodotti lunghi in acciaio sono disponibili in diversi documenti, tra cui quelli messi a disposizione da Fondazione Promozione Acciaio⁴ per Travi, Laminati mercantili (fra cui gli angolari), profili cavi nonché riguardanti la tracciabilità dei prodotti in acciaio per carpenteria metallica secondo le NTC 2018 e il CPR305/2011⁵.

Nel dettaglio lo studio per i prodotti dell'azienda Duferco Travi e Profilati è stato condotto su travi ed angolari con vari profili, fabbricati da rottame proveniente da riciclo, come rappresentati in Figura 4, il cui processo dall'acciaieria al laminatoio è stato schematizzato in Figura 3.

Figura 4. Foto di esempio di travi e profili angolari dell'azienda Duferco

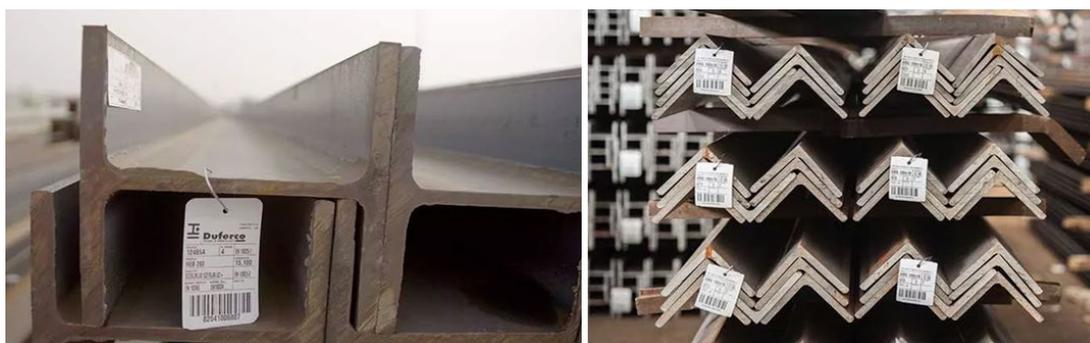
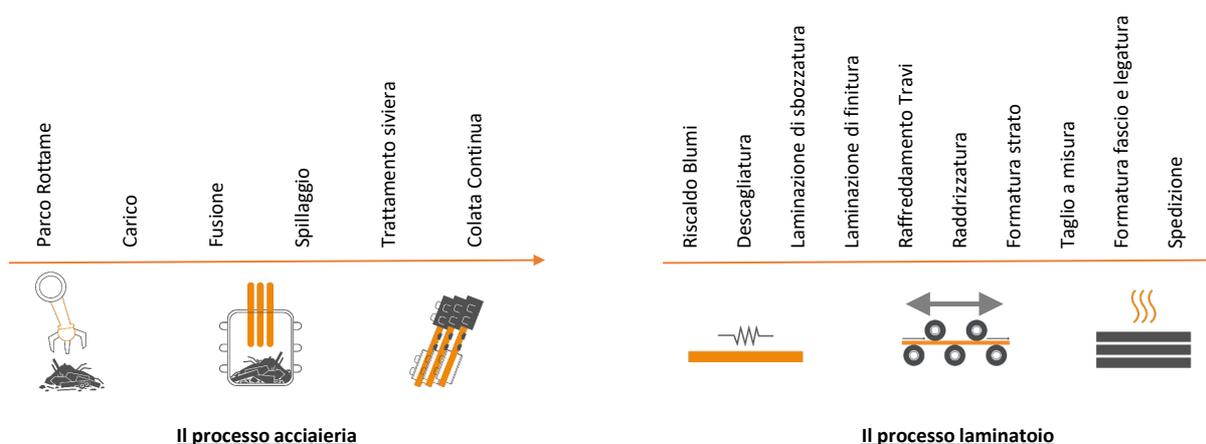


Figura 5. Fasi del processo produttivo di travi e profili angolari dell'azienda Duferco



⁴ <https://www.promozioneacciaio.it/prodotti-e-sistemi-protettivi/?anchor=anchor-01-00>

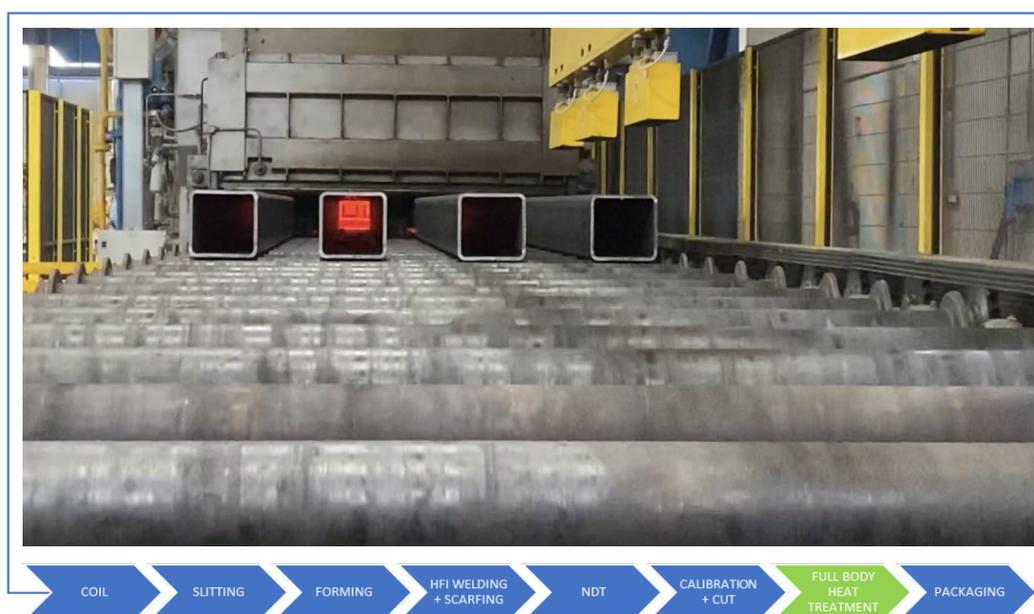
⁵ <https://www.promozioneacciaio.it/UserFiles/File/pdf/pubblicazioni/La%20tracciabilit%C3%A0%20dei%20prodotti%20in%20acciaio.pdf>

Lo studio per i prodotti Arvedi Tubi Acciaio, come anticipato nella sezione precedente, ha riguardato invece i profili cavi nelle sezioni quadrate e rettangolari per impieghi strutturali, sia formati a freddo (Figura 6) che finiti a caldo (Figura 7).

Figura 6 – Profili cavi, quadri e rettangoli a freddo (SGM) dell’azienda Arvedi Tubi Acciaio



Figura 7 – Profili cavi, quadri e rettangoli normalizzati (HFS) dell’azienda Arvedi Tubi Acciaio



Nel dettaglio, i profili a freddo sono saldati ad induzione ad alta frequenza e sono prodotti nei formati metrici europei in accordo alle norme EN 10219-1/2/3 e nei formati americani (“imperial sizes”) secondo la norma ASTM A500. Le forniture dei profili strutturali sono accompagnate da

certificato di prova secondo EN10204, sono certificati CE (licenza n. CE 1608 CPR P064) e coperti da dichiarazione di prestazione in accordo alla direttiva UE 305/2011.

Per quanto riguarda invece i profili finiti a caldo saldati ad induzione ad alta frequenza, questi sono prodotti nei formati metrici europei in accordo alle norme EN 10210-1/2/3. Le forniture dei profili strutturali a caldo sono accompagnate da certificato di prova secondo EN10204, sono certificati CE (licenza n. CE 1608 CPR P063) e coperti da dichiarazione di prestazione in accordo alla direttiva UE 305/2011.

5 Ambito di applicazione dello studio

Il presente studio riguarda l'acciaio destinato alla realizzazione di costruzioni in carpenteria metallica e, in particolare, tra i vari prodotti di interesse della filiera analizza:

- **travi e angolari** realizzati con acciai non legati per impieghi strutturali conformi alle specifiche tecniche di fornitura indicate dalla Norma europea armonizzata UNI EN 10025 [10];
- **profili cavi (a sezione quadrata e rettangolare)** per impieghi strutturali conformi alle specifiche tecniche di fornitura delle Norme europee armonizzate UNI EN 10219 per profilati cavi formati a freddo [11] e UNI EN 10210 per profilati cavi formati a caldo [12].

I dati alla base dello studio sono stati forniti direttamente dalle due aziende coinvolte nel gruppo di lavoro. Lo studio LCA è stato sviluppato in conformità alle norme ISO 14040-14044 ([13], [14]), 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 [15].

5.1 Funzione del sistema, unità funzionale e flusso di riferimento

L'unità funzionale (UF) adottata ai fini dello studio è **1 kg di prodotto**, per entrambe le tipologie di prodotti presi in considerazione. Tale scelta dell'UF risulta essere in totale accordo alle normative tecniche e ai documenti metodologici di riferimento ([9], [16]) e particolarmente utile a rappresentare adeguatamente le applicazioni tipiche dei prodotti analizzati.

I dettagli relativi alla UF scelta sono sintetizzati in Tabella 2.

Tabella 2. Definizione unità funzionale

TRAVI E ANGOLARI		
Aspetti chiave	Dettagli da chiarire	Definizione UF dello studio
<i>Funzione fornita</i>	<i>Che cosa?</i>	Travi e angolari per impieghi strutturali
<i>La quantità della funzione fornita</i>	<i>Quanto?</i>	1 kg di travi e angolari
<i>Il livello di qualità della funzione atteso</i>	<i>Quanto bene la funzione viene espletata? (Non sempre applicabile/definibile)</i>	Caratteristiche tecniche conformi alla UNI EN 10025
<i>La durata del prodotto</i>	<i>Per quanto tempo la funzione è espletata? (Non sempre applicabile/definibile)</i>	Non applicabile
PROFILI CAVI		
Aspetti chiave	Dettagli da chiarire	Definizione UF dello studio
<i>Funzione fornita</i>	<i>Che cosa?</i>	Profili cavi a sezione quadrata e rettangolare
<i>La quantità della funzione fornita</i>	<i>Quanto?</i>	1 kg di profili cavi
<i>Il livello di qualità della funzione atteso</i>	<i>Quanto bene la funzione viene espletata? (Non sempre applicabile/definibile)</i>	Caratteristiche tecniche conformi alle UNI EN 10219 e 10210
<i>La durata del prodotto</i>	<i>Per quanto tempo la funzione è espletata? (Non sempre applicabile/definibile)</i>	Non applicabile

5.2 Confini del sistema

In accordo alle PCR di riferimento per i prodotti da costruzione [16], e come indicato nella EN 15804 [8], lo studio LCA svolto è di tipo “dalla culla al cancello” e riguarda obbligatoriamente i Moduli A1-A3 della fase produttiva (Tabella 3). Le operazioni di trasporto verso il sito di utilizzo dei prodotti finiti sono state escluse dai confini del sistema. Le distanze in gioco, infatti possono variare anche significativamente da caso a caso e il calcolo una distanza media rappresentativa non è di facile realizzazione. Tale scelta, inoltre, è ritenuta particolarmente funzionale alla creazione di dataset utilizzabili dall’utente finale a livello generale, andando ad inserire a parte i dettagli relativi alle operazioni di trasporto del proprio caso studio.

In Figura 8 e Figura 9 sono riportati i diagrammi di flusso relativi a diversi prodotti considerati nello studio LCA, con l’individuazione dei processi delle fasi UPSTREAM e CORE.

Tabella 3. Moduli inclusi nello studio in relazione alle fasi del ciclo di vita dell'edificio

CICLO DI VITA DELL'EDIFICIO														INFORMAZIONI SUPPLEMENTARI		
Fase di Produzione			Fase di Costruzione		Fase di Uso							Fase di Fine Vita		Vantaggi e carichi oltre i confini del sistema		
Materie Prime	Trasporto	Produzione	Trasporto	Installazione	Uso	Manutenzione	Riparazione	Sostituzione	Ricondizionamento	Energia della fase d'uso	Consumo di acqua della fase d'uso	Demolizione	Trasporto	Processamento Rifiuti	Dismissione	Potenziale Riuso, Recupero e Riciclo
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 8. Confini del sistema travi e angolari

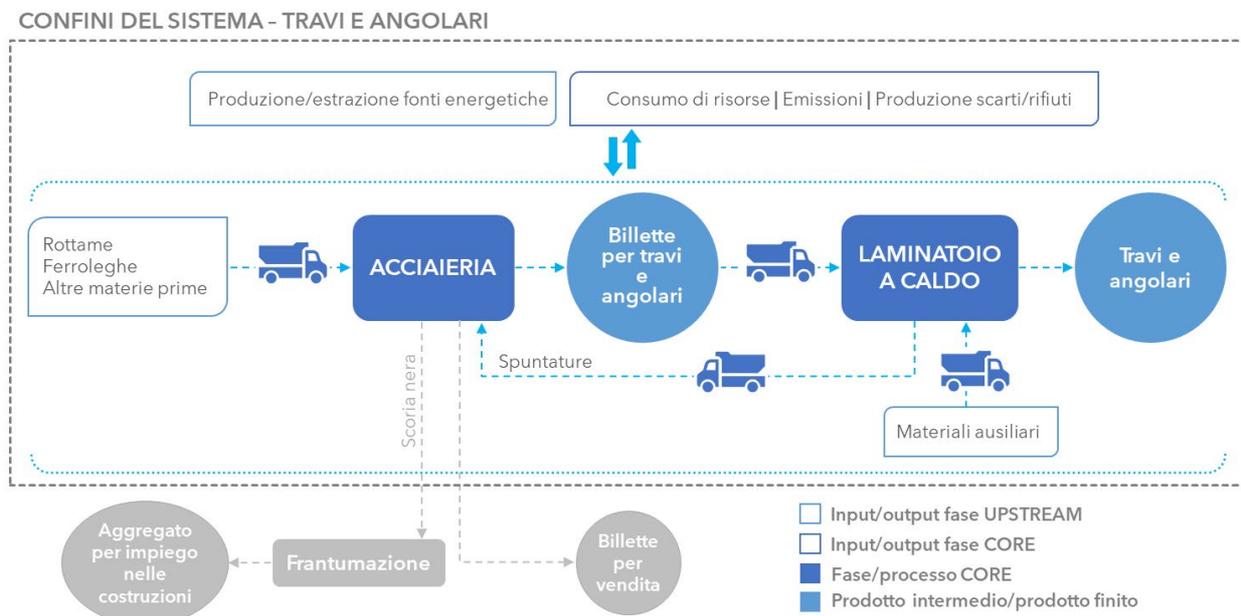
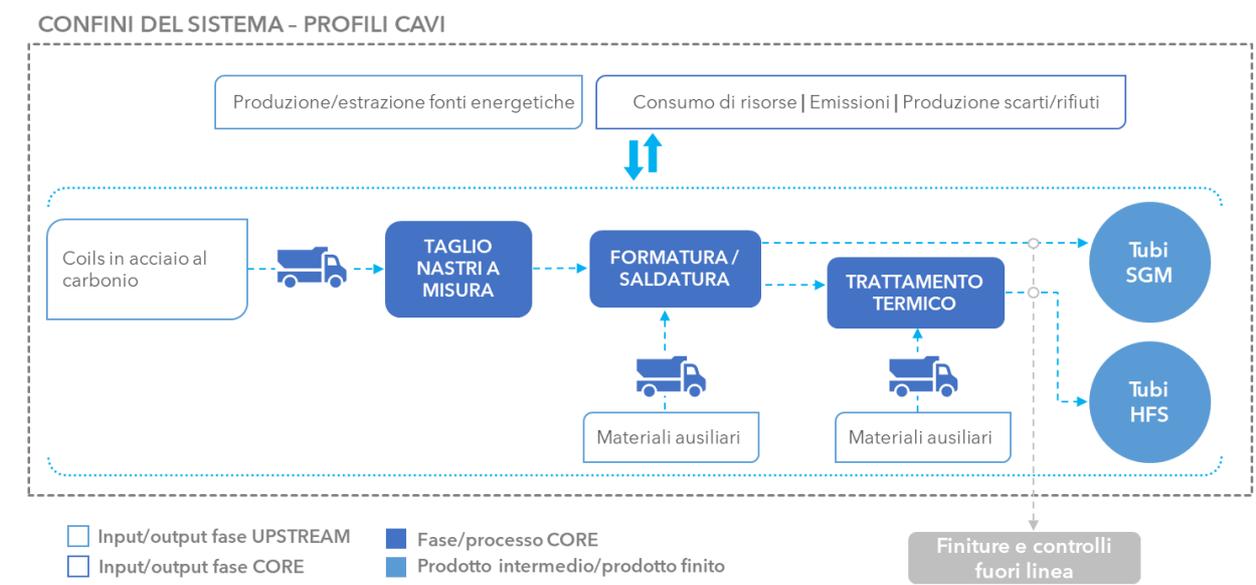


Figura 9. Confini del sistema profili cavi (quadri e rettangolari)



5.3 Assunzioni e giudizi di valore

La modellazione del sistema è stata eseguita facendo ricorso esclusivamente a dati primari sito-specifici, raccolti direttamente dalle aziende coinvolte nel Gruppo di Lavoro nell’ambito della collaborazione alle attività di progetto.

I dati di inventario relativi alle quantità fisiche di materiali impiegati nei diversi processi sono stati forniti conformemente ai requisiti di qualità e completezza richiesti ai fini dello studio LCA e sono da ritenersi ragionevolmente rappresentativi della filiera oggetto di studio.

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:

- molto buona l’affidabilità dei dati (tutti i dati sono stati misurati e 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);
- buona la rappresentatività geografica dei dati (i dati riferiti a luoghi diversi da quello indicato nello studio di filiera, su base di giudizio esperto, sono del tutto rappresentativi del luogo geografico);
- molto buona la rappresentatività tecnologica dei dati (i dati descrivono in modo dettagliato la tecnologia attualmente presente sul mercato per la filiera di riferimento).

5.4 Gestione della multifunzionalità

Non sono stati individuati problemi di multifunzionalità per i prodotti oggetto di analisi nel presente studio di filiera. I dati alla base dello studio sono stati raccolti principalmente al livello di dettaglio del singolo prodotto oggetto di studio. Laddove ciò non è stato possibile si è ricorso ad opportune procedure di allocazione per la gestione delle “multifunzionalità interne” al processo produttivo, utilizzando a tale scopo informazioni di tipo primario fornite direttamente dalle aziende coinvolte nello studio.

5.5 Revisione critica

Il presente studio di filiera ed il relativo modello LCA nel software SimaPro sono stati sottoposti a revisione di parte terza, prevista all'interno del progetto Arcadia, al fine di verificare e validare la completezza e conformità alle norme ISO dell'analisi, nonché la consistenza, l'affidabilità e la tracciabilità di informazioni e dati utilizzati.

Il revisore (personale esterno, esperto di LCA e non coinvolto nello studio) ha verificato e validato lo studio LCA (inclusi i dati raccolti, calcolati e stimati e il modello LCA), il rapporto tecnico e i dataset, arrivando a formulare un giudizio critico sulla qualità del lavoro. La verifica ha assicurato la conformità dello studio LCA alle norme ISO 14040-44, mentre la validazione è servita a garantire la consistenza, l'affidabilità e la tracciabilità delle informazioni e dei dati contenuti nello studio, nonché la correttezza dei calcoli eseguiti.

5.6 Modellizzazione e metodologia di analisi degli impatti

È stato scelto di utilizzare come metodo di valutazione degli impatti il metodo EF 3.0 [17], che costituisce il metodo di valutazione dell'iniziativa della Commissione Europea sull'impronta ambientale [18] e che comprende caratterizzazione, normalizzazione e ponderazione.

Per lo svolgimento dello studio è stato utilizzato il software SimaPro versione 9 [19] contenente la banca dati commercialeecoinvent 3 [20], da cui sono stati selezionati tutti i dataset utilizzati nella modellazione, oltre a quelli della Banca Dati Italiana LCA del progetto Arcadia.

5.7 Informazioni ambientali aggiuntive

La produzione dei prodotti in acciaio è caratterizzata da una significativa rilevanza in merito a vari aspetti ambientali e diversi sono gli impatti non direttamente valutabili attraverso la metodologia LCA. Tra questi, quello sicuramente più rilevante è quello legato alle emissioni in aria. Tali emissioni sono associate a diverse fasi del processo produttivo e possono derivare da sorgenti

sia puntuali che diffuse (frantumazione dei rottami, carica dei forni, fusione in forno, ecc.) e assumono particolare rilevanza per la presenza di sostanze come polveri, metalli pesanti, diossine, idrocarburi policiclici aromatici e ossidi di azoto, che possono avere effetti significativi a livello locale e in termini di salute umana [21].

Strettamente legato a quello delle emissioni in aria è il problema della contaminazione dei suoli. Diversi inquinanti, quali ad esempio diossine e furani, infatti, a seguito dell'immissione in atmosfera si depositano sul suolo, e vi rimangono per lunghi periodi prima di essere degradati o trasportati dall'acqua. Tali inquinanti particolarmente stabili e persistenti nel suolo, risultano tossici per l'uomo, gli animali e l'ambiente, anche in concentrazioni molto basse, a causa della loro tendenza al bioaccumulo e alla bioconcentrazione [22].

Altro aspetto rilevante non del tutto valutabile tramite LCA è quello dei consumi idrici e della contaminazione delle acque impiegate all'interno del processo produttivo, essendo l'acqua utilizzata in grandi quantità per le operazioni di raffreddamento, sia di tipo indiretto (forni, laminatoi, lingottiere, ...) che diretto (spray colata continua, raffreddamento diretto dei laminatoi, ...). Il problema dei consumi di questa preziosa risorsa risulta essere di norma adeguatamente affrontato grazie all'utilizzo di sistemi di raffreddamento che prevedono il ricircolo dell'acqua per molti cicli prima che la stessa sia avviata allo scarico [23], nonché l'impiego anche di acque meteoriche (opportunamente raccolte e trattate) a tale scopo, ma ciò evidentemente non attenua il problema della contaminazione.

Infine, anche quello delle emissioni acustiche associate a particolari fasi del processo produttivo e alla movimentazione dei mezzi pesanti, rappresenta un aspetto ambientale tutt'altro che trascurabile della produzione dei prodotti in acciaio che non può essere adeguatamente valutato attraverso l'LCA.

Gli impianti di produzione dell'acciaio sono tuttavia soggetti alla normativa AIA-IPPC ([24], [25]), che mira al conseguimento di un elevato livello di protezione dell'ambiente e che prevede la gestione dei diversi aspetti ambientali (emissioni in atmosfera, scarichi idrici, produzione di rifiuti, consumo di risorse, rumore, ecc.) in maniera integrata e non come singoli aspetti separati. Gli impianti di produzione dei prodotti in acciaio sono quindi soggetti alla definizione di specifici limiti di emissione in merito alle diverse matrici ambientali, nonché al monitoraggio costante delle emissioni (sia in continuo che in discontinuo con opportune frequenze) ai fini della verifica del rispetto degli stessi limiti. È inoltre assicurato che tali impianti adottino le soluzioni tecniche (impiantistiche, gestionali e di controllo) più avanzate ed economicamente e tecnicamente

utilizzabili nell'ambito del pertinente comparto industriale, dal momento che la normativa prevede che le condizioni di autorizzazione per l'esercizio siano basate sulle migliori tecniche disponibili (BAT, Best Available Techniques).

6 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. I dataset che saranno creati a partire dal presente studio di filiera sono relativi alla produzione dei prodotti, senza includere la fase di DOWNSTREAM (trasporti dei prodotti finiti alla destinazione finale di uso, uso e trattamento a fine vita degli stessi). Sono invece incluse, come parte della fase CORE, 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 specifici dei diversi prodotti.

Le operazioni di trasporto del prodotto finito verso i centri servizio e il sito di installazione sono comunque oggetto di valutazione del presente studio ai fini di una analisi di sensitività mirata a valutarne il relativo effetto sui risultati complessivi di impatto.

7 Analisi di inventario

Ai fini della raccolta dei dati primari presso le aziende sono state utilizzate delle specifiche schede su fogli di calcolo Microsoft Excel, discusse e condivise con le aziende al fine di attuare le modalità operative più opportune di raccolta delle informazioni.

Non sono state riscontrate particolari carenze di dati in fase di costruzione dell'inventario.

Dal momento che la fornitura dei dati primari utilizzati per lo studio è avvenuta nell'ambito di specifici accordi di riservatezza e, pertanto, tutti i relativi dettagli sono da considerarsi riservati e confidenziali, l'inventario (Tabella 4 e Tabella 5) è riportato in forma quanto più aggregata possibile, compatibilmente con le necessità di trasparenza e replicabilità dello studio LCA.

7.1 Assunzioni utilizzate nello studio

Per la valutazione di travi ed angolari i dati sono stati raccolti in maniera tale da essere indicativi di un prodotto medio rappresentativo dei diversi profili con cui vengono realizzati i prodotti finiti (HE, IPE, IPN, ...) e delle relative differenti caratteristiche dimensionali. Analogamente, ai fini della

valutazione dei profili cavi (a sezione quadrata e rettangolare), si è proceduto alla definizione di un prodotto medio come media pesata delle quantità delle diverse tipologie di profili cavi (SGM e HFS) realizzate.

Ai fini della modellazione dei consumi energetici, aspetto particolarmente rilevante del ciclo produttivo dei diversi prodotti, è stato considerato l'approvvigionamento di energia elettrica esclusivamente dalla rete nazionale, secondo un approccio di tipo "conservativo" che non contempla il possibile utilizzo di energia autoprodotta in loco da impianti a fonti rinnovabili di proprietà delle aziende ed è quindi tale da rappresentare la situazione caratterizzata dall'impatto ambientale maggiore.

Le emissioni dirette (in aria e acqua) associate alla produzione dei vari prodotti considerati sono state valutate sulla base dei risultati degli autocontrolli periodici svolti dalle aziende e resi disponibili in forma di flussi in massa di ciascun output monitorato, nonché desunte dalle dichiarazioni ETS prodotte dalle stesse aziende (laddove richiesto tale adempimento). Nella costruzione del modello di calcolo all'interno del software, per le emissioni dirette è stata selezionata l'opzione "unspecified" per il sottocompartimento di riferimento in quanto, a seguito di una verifica preliminare, è risultata essere la scelta cautelativa, ovvero la scelta a cui è associato l'impatto maggiore.

La modellazione dei processi di trasporto è stata eseguita sulla base delle quantità fisiche (peso trasportato) e delle distanze percorse, ritenute anch'esse rappresentative delle diverse operazioni della filiera.

Per la modellazione delle operazioni di trattamento dei rifiuti è stato utilizzato l'approccio generale stabilito ai fini delle dichiarazioni ambientali di prodotto dell'International EPD System [26], secondo cui il produttore dei rifiuti è ritenuto responsabile degli impatti ambientali associati fino al punto in cui essi hanno valore economico negativo (ovvero, fino a quando essi cessano di essere qualificati come rifiuti). Secondo tale approccio, ai materiali destinati a riciclo sono stati attribuiti i processi di raccolta, trasporto e selezione, escludendo i successivi trattamenti per la produzione di materiale riciclato e i benefici ambientali derivanti dal suo utilizzo (i processi successivi alla cessazione di qualifica come rifiuto sono attribuiti ai sistemi prodotto che utilizzano il materiale riciclato).

Le procedure di raccolta dati hanno previsto l'acquisizione delle informazioni al livello di dettaglio del singolo prodotto oggetto di studio, per la quasi totalità dei dati utilizzati. Laddove non è stato possibile operare a tale livello di dettaglio (ad es. disponibilità delle informazioni in termini di produzione complessiva della singola linea o fase del processo produttivo) si è ricorso ad

opportune procedure di allocazione su base massa, utilizzando a tale scopo informazioni di tipo primario fornite direttamente dalle aziende coinvolte nello studio.

Per la stima dei dati di inventario in termini di flussi di massa per gli input in forma non solida, si è fatto ricorso ai dati relativi agli stessi input che è stato possibile reperire da schede tecniche liberamente accessibili on-line. In particolare:

- per la stima del flusso di massa di Argon tecnico, si è fatto riferimento al fattore di conversione di 1,636 kg/m³ [27];
- per la stima del flusso di massa di Ossigeno tecnico, si è fatto riferimento al fattore di conversione di 1,311 kg/m³ [28];
- per la conversione in flusso di massa del gasolio, si è fatto riferimento al valore medio di densità pari a 0,835 kg/l [29].

In fase di costruzione dei modelli all'interno del software SimaPro per i diversi prodotti analizzati, tutti i flussi per cui non è stato possibile individuare uno specifico dataset all'interno di ecoinvent e aventi un contributo in termini di massa non rilevante (<0,005%), sono stati esclusi. Nel dettaglio, tali esclusioni hanno riguardato solo tubi quadrati e rettangolari e, nel complesso, gli input esclusi sono stati inferiori allo 0,002% in massa dei flussi totali di input.

Sono state inoltre adottate le seguenti assunzioni specifiche in fase di costruzione dei modelli SimaPro:

- tornitura di ferro e acciaio preridotto (HBI), input utilizzati per la produzione di travi e angolari, sono stati assimilati al rottame di ferro ed approssimati con il dataset *Iron scrap, unsorted (GLO)| iron scrap, unsorted, Recycled Content | Cut-off, U*;
- i polimeri in input per la produzione di travi e angolari, in assenza di informazioni specifiche di dettaglio, sono stati considerati come glicole etilenico per analogia con i dataset relativi all'acciaio presenti all'interno della banca dati ecoinvent e approssimati con il dataset *Ethylene glycol (RER)| production | Cut-off, U*;
- la ferrolega Ferrovanadio utilizzata per la produzione di travi e angolari è stata assimilata al Ferrocromo ed approssimata con il dataset *Ferrocromium, high-carbon, 68% Cr (GLO)| production | Cut-off, U*;
- i rifiuti acquosi e le emulsioni risultanti dalla produzione di travi e angolari sono state assimilate ad emulsioni di scarto di altri processi ed approssimate con il dataset *Waste emulsion paint {Europe without Switzerland}| market for waste emulsion paint | Cut-off, U*;

7.2 Descrizione e documentazione processi unitari

Nelle seguenti Tabella 4 e Tabella 5 sono riportati tutti i flussi/processi coinvolti nel ciclo di vita dei prodotti oggetto di studio, nonché tutti i dati relativi ai processi unitari utilizzati nello studio di filiera e l'identificazione della banca dati e dei relativi dataset di riferimento.

Tutti i dati sono riferiti alle UF definite per i diversi prodotti analizzati e sono costituiti esclusivamente da dati primari forniti dalle aziende coinvolte nello studio di filiera.

Tabella 4. Dati di inventario utilizzati per lo studio di travi e angolari (UF: 1 kg)

Flussi/processi in input	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento	Banca dati
Materie prime e altri materiali	1,14E+00	kg	Iron scrap, unsorted (GLO) iron scrap, unsorted, Recycled Content Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	8,71E-02	kg	Pig iron (RoW) pig iron production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	1,51E-03	kg	Aluminium, primary, ingot. {IAI Area, EU27 & EFTA} production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	1,87E-03	kg	Anode, for metal electrolysis (RER) production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	1,31E-03	kg	Argon, liquid (RER) production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	3,45E-06	kg	Calcium carbide, technical grade {RER} production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	2,49E-03	kg	Ferromanganese, high-coal, 74.5% Mn (RER) production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	1,19E-02	kg	Ferrosilicon {ROW} production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	1,73E-04	kg	Ferrochromium, high-carbon, 68% Cr (GLO) production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	2,92E-03	kg	Bauxite {GLO} bauxite mine operation Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	2,95E-04	kg	Lubricating oil {RER} market for lubricating Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	5,43E-02	kg	Oxygen, liquid {RER} market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	5,94E-02	kg	Quicklime, in pieces, loose {RoW} market for quicklime, in pieces, loose Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
7,06E-03	kg	Refractory, basic, packed (GLO) market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7	

	4,56E-04	kg	Silica sand (GLO) market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	5,17E-05	kg	Graphite (RER) production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	1,24E-03	kg	Ethylene glycol (RER) production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	1,13E-04	kg	Chemical, inorganic {GLO} production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
Risorse	9,36E-04	kg	Water, cooling, unspecified natural origin, IT	Ecoinvent 3.7
	6,65E-01	kWh	Electricity, high voltage (IT) market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	5,04E-02	m ³	Natural gas, high pressure (IT/ market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	9,55E-03	kg	Hard coal (Europe, without Russia and Turkey) hard coal mine operation and hard coal preparation Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	1,08E-03	kg	diesel {Europe without Switzerland} diesel production, petroleum refinery operation Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
Trasporti	1,89E+03	kg*km	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro4 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	8,83E+00	kg*km	Transport, freight, sea, container ship {GLO} market for transport, freight, sea, container ship Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	2,91E+02	kg*km	Transport, freight train {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	1,56E+01	kg*km	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro4 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
Flussi/processi in output	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento	Banca dati / sottocompartimento
Travi e angolari	1,00E+00	kg	-	-
Emissioni dirette in aria	9,15E-02	kg	Carbon dioxide, fossil	Unspecified
	4,90E-06	kg	Particulates > 2.5 µm, and < 10 µm	Unspecified

	3,34E-06	kg	Carbon monoxide	Unspecified
	3,33E-04	kg	Nitrogen oxides	Unspecified
	1,31E-08	kg	Arsenic	Unspecified
	1,64E-09	kg	Cadmium	Unspecified
	4,36E-09	kg	Chromium	Unspecified
	2,98E-08	kg	Copper	Unspecified
	3,84E-08	kg	Nickel	Unspecified
	2,05E-08	kg	Lead	Unspecified
	6,15E-08	kg	Zinc	Unspecified
	3,13E-14	kg	Dioxins (TEQ)	Unspecified
Emissioni dirette in acqua	1,25E-06	kg	Solids, Inorganic	Unspecified
	2,54E-09	kg	Aluminium	Unspecified
	1,37E-07	kg	Phosphorus, total, IT	Unspecified
	6,52E-09	kg	Nickel	Unspecified
	2,75E-11	kg	Lead	Unspecified
	8,40E-09	kg	Zinc	Unspecified
	2,05E-05	kg	Chloride	Unspecified
	3,27E-06	kg	Nitrogen	Unspecified
	3,57E-10	kg	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Unspecified
	6,17E-08	kg	Fluoride	Unspecified
	2,13E-05	kg	Sulfate	Unspecified
Rifiuti	9,91E-02	kg	Electric arc furnace slag {RER} electric arc furnace slag to market for electric arc furnace slag, for recovery Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	2,09E-04	kg	Sludge from steel rolling {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	4,51E-03	kg	Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland} market for hazardous waste, for incineration Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	2,69E-04	kg	Waste emulsion paint {Europe without Switzerland} market for waste emulsion paint Cut-off, U	Ecoinvent 3.7

Tabella 5. Dati di inventario utilizzati per lo studio dei profili cavi (quadri e rettangolari) (UF: 1 kg)

Flussi/processi in input	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento	Banca dati
Materie prime e altri materiali	6,20E-01	kg	Steel, low-alloyed {RER} steel production, converter, low-alloyed Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	4,53E-01	kg	Steel, low-alloyed {Europe without Switzerland and Austria} steel production, electric, low-alloyed Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	9,88E-07	kg	Argon, liquid {RER} production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	1,06E-04	kg	Lubricating oil {RER} production Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	1,56E-03	kg	Steel, chromium steel 18/8 {RER} steel production, electric, chromium steel 18/8 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	5,53E-05	kg	Pig iron {RoW} market for pig iron Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	7,16E-08	kg	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	Ecoinvent 3.7
	7,16E-08	kg	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/RER U	Ecoinvent 3.7
Risorse	6,25E-04	kg	Tap water {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	4,83E-02	kWh	Electricity, medium voltage {IT} market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	5,94E-04	m ³	Natural gas, high pressure {IT} market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
Trasporti	1,62E+03	kg*km	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro4 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	2,39E+01	kg*km	Transport, freight, sea, container ship {GLO} market for transport, freight, sea, container ship Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	2,02E+02	kg*km	Transport, freight train {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	5,53E-02	kg*km	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro4 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
Flussi/processi in output	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento	Banca dati / sottocompartimento
Profili cavi	1,00E+00	kg	-	-

Emissioni dirette in aria	9,49E-07	kg	Particulates	Unspecified
	8,36E-09	kg	Heavy metals, unspecified	Unspecified
	2,09E-11	kg	Polycyclic organic matter, unspecified	Unspecified
	9,12E-07	kg	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	Unspecified
Emissioni dirette in acqua	3,16E-09	kg	COD (Chemical Oxygen Demand), IT	Unspecified
	1,27E-09	kg	BOD5 (Biological Oxygen Demand), IT	Unspecified
	6,96E-11	kg	Ammonium, ion	Unspecified
	1,04E-07	kg	Chloride	Unspecified
	1,58E-13	kg	Cadmium	Unspecified
	6,33E-13	kg	Chromium	Unspecified
	1,31E-10	kg	Iron	Unspecified
	3,16E-12	kg	Nickel	Unspecified
	4,24E-11	kg	Zinc	Unspecified
	7,59E-12	kg	Lead	Unspecified
	3,80E-12	kg	Copper	Unspecified
	1,58E-10	kg	Hydrocarbons, unspecified	Unspecified
	1,27E-09	kg	Solids, inorganic	Unspecified
Rifiuti	4,55E-07	kg	Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland} market for hazardous waste, for incineration Cut-off, U	Ecoinvent 3.7
	2,76E-07	kg	Waste plastic, mixture {RoW} treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration Cut-off, U	Ecoinvent 3.7

7.3 Sviluppo dei datasets

I dataset sviluppati a seguito del presente studio in quanto di interesse generale per la filiera dell'acciaio per costruzioni in carpenteria metallica e per i possibili utenti della banca dati, basati su dati solidi di tipo primario caratterizzati da una rappresentatività molto buona, fanno riferimento ai seguenti processi:

- Billette in acciaio per travi e angolari;
- Travi e angolari in acciaio;
- Profili cavi, quadri e rettangolari in acciaio;

- Profili cavi, quadri e rettangolari in acciaio con trattamento termico.

8 Valutazione degli impatti ambientali

Secondo le indicazioni della Norma ISO 14040, 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 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 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 le operazioni di normalizzazione, raggruppamento e ponderazione (pesatura).

Ai fini del presente studio LCA di filiera è stato utilizzato utilizzare il metodo valutazione degli impatti il metodo EF 3.0 [17] e i risultati delle fasi appena descritte in riferimento al prodotto oggetto di studio sono riportati nei paragrafi successivi.

Si evidenzia che i risultati ottenuti dalla fase di normalizzazione, che riflettono gli oneri imputabili ai prodotti oggetto di studio rispetto all'unità di riferimento, sono adimensionali e, nell'ambito dello specifico metodo di calcolo degli impatti, i fattori di normalizzazione sono espressi pro capite sulla base di un valore globale.

8.1 Caratterizzazione

In Tabella 6 e Tabella 7 sono riportati i risultati della fase di normalizzazione per ciascuna categoria di impatto, sia complessivi che per fasi del ciclo di vita (UPSTREAM, CORE), per i diversi prodotti analizzati.

Tabella 6. Travi e angolari - Caratterizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg)

Categoria di impatto		Unità di misura	UPSTREAM	CORE	TOT
1	Climate change	kg CO2 eq	3,91E-01	5,42E-01	9,33E-01
2	Ozone depletion	kg CFC11 eq	4,95E-08	7,48E-08	1,24E-07
3	Ionising radiation	kBq U-235 eq	4,66E-02	4,64E-02	9,30E-02
4	Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1,35E-03	1,68E-03	3,03E-03
5	Particulate matter	disease inc.	1,01E-07	1,74E-08	1,18E-07
6	Human toxicity, non-cancer	CTUh	5,35E-09	3,07E-09	8,42E-09
7	Human toxicity, cancer	CTUh	1,84E-09	5,33E-11	1,90E-09
8	Acidification	mol H+ eq	1,42E-03	2,22E-03	3,64E-03
9	Eutrophication, freshwater	kg P eq	1,59E-04	6,89E-05	2,28E-04
10	Eutrophication, marine	kg N eq	2,89E-04	5,88E-04	8,76E-04
11	Eutrophication, terrestrial	mol N eq	2,81E-03	6,45E-03	9,25E-03
12	Ecotoxicity, freshwater	CTUe	5,98E+00	2,68E+00	8,66E+00
13	Land use	Pt	7,28E-01	5,38E-01	1,27E+00
14	Water use	m3 depriv.	8,09E-02	1,94E-01	2,75E-01
15	Resource use, fossils	MJ	6,58E+00	6,52E+00	1,31E+01
16	Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	2,24E-07	8,89E-09	2,33E-07
17	Climate change - Fossil	kg CO2 eq	3,90E-01	5,38E-01	9,27E-01
18	Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	7,70E-04	3,79E-03	4,56E-03
19	Climate change - Land use and LU change	kg CO2 eq	6,22E-04	3,82E-05	6,60E-04
20	Human toxicity, non-cancer - organics	CTUh	9,18E-11	1,04E-10	1,96E-10
21	Human toxicity, non-cancer - inorganics	CTUh	3,41E-09	6,73E-10	4,09E-09
22	Human toxicity, non-cancer - metals	CTUh	1,91E-09	2,33E-09	4,23E-09
23	Human toxicity, cancer - organics	CTUh	1,11E-09	2,15E-11	1,13E-09
24	Human toxicity, cancer - inorganics	CTUh	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
25	Human toxicity, cancer - metals	CTUh	7,33E-10	3,18E-11	7,65E-10
26	Ecotoxicity, freshwater - organics	CTUe	1,03E-01	1,54E-01	2,57E-01
27	Ecotoxicity, freshwater - inorganics	CTUe	5,24E-01	6,99E-01	1,22E+00
28	Ecotoxicity, freshwater - metals	CTUe	5,35E+00	1,82E+00	7,18E+00

Tabella 7. Profili cavi, quadri e rettangolari - Caratterizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg)

Categoria di impatto		Unità di misura	UPSTREAM	CORE	TOT
1	Climate change	kg CO2 eq	1,55E+00	4,28E-02	1,60E+00
2	Ozone depletion	kg CFC11 eq	7,07E-08	7,16E-09	7,78E-08
3	Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,21E-01	4,97E-03	1,26E-01
4	Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	6,31E-03	4,56E-04	6,77E-03
5	Particulate matter	disease inc.	1,10E-07	1,22E-09	1,12E-07
6	Human toxicity, non-cancer	CTUh	3,49E-08	1,94E-10	3,50E-08
7	Human toxicity, cancer	CTUh	2,05E-08	5,00E-12	2,05E-08
8	Acidification	mol H+ eq	6,37E-03	6,44E-04	7,02E-03
9	Eutrophication, freshwater	kg P eq	7,71E-04	6,79E-06	7,78E-04
10	Eutrophication, marine	kg N eq	1,42E-03	1,60E-04	1,58E-03
11	Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,43E-02	1,77E-03	1,61E-02
12	Ecotoxicity, freshwater	CTUe	3,34E+01	2,16E-01	3,36E+01
13	Land use	Pt	4,25E+00	4,35E-02	4,29E+00
14	Water use	m3 depriv.	3,52E-01	1,12E-02	3,64E-01
15	Resource use, fossils	MJ	1,66E+01	6,18E-01	1,72E+01
16	Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	1,71E-05	5,41E-10	1,71E-05
17	Climate change - Fossil	kg CO2 eq	1,55E+00	4,25E-02	1,59E+00
18	Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	1,77E-03	2,84E-04	2,05E-03
19	Climate change - Land use and LU change	kg CO2 eq	6,60E-04	6,92E-06	6,67E-04
20	Human toxicity, non-cancer - organics	CTUh	7,23E-10	5,61E-12	7,29E-10
21	Human toxicity, non-cancer - inorganics	CTUh	1,81E-08	6,28E-11	1,82E-08
22	Human toxicity, non-cancer - metals	CTUh	1,62E-08	1,29E-10	1,64E-08
23	Human toxicity, cancer - organics	CTUh	4,89E-09	1,54E-12	4,89E-09
24	Human toxicity, cancer - inorganics	CTUh	0,00E+00	1,17E-24	1,17E-24
25	Human toxicity, cancer - metals	CTUh	1,56E-08	3,46E-12	1,56E-08
26	Ecotoxicity, freshwater - organics	CTUe	4,02E-01	1,81E-02	4,20E-01
27	Ecotoxicity, freshwater - inorganics	CTUe	1,86E+00	5,79E-02	1,92E+00
28	Ecotoxicity, freshwater - metals	CTUe	3,12E+01	1,40E-01	3,13E+01

8.2 Normalizzazione

In Tabella 8 e Tabella 9 sono riportati i risultati della fase di normalizzazione per ciascuna categoria di impatto, sia complessivi che per fasi del ciclo di vita (UPSTREAM, CORE), per i diversi prodotti analizzati, mentre in Figura 10 e Figura 11 è inoltre possibile osservare i diversi contributi, in termini di processi, all'impatto totale per tale fase di valutazione. Si evidenzia che sono state escluse dalle tabelle e dalla figura le categorie di impatto caratterizzate dall'assenza di fattori di normalizzazione all'interno del metodo LCIA adottato.

Tabella 8. Travi e angolari - Normalizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg)

Categoria di impatto		Unità di misura	UPSTREAM	CORE	TOT
1	Climate change	-	4,83E-05	6,69E-05	1,15E-04
2	Ozone depletion	-	9,23E-07	1,39E-06	2,32E-06
3	Ionising radiation	-	1,10E-05	1,10E-05	2,20E-05
4	Photochemical ozone formation	-	3,32E-05	4,15E-05	7,47E-05
5	Particulate matter	-	1,70E-04	2,93E-05	1,99E-04
6	Human toxicity, non-cancer	-	2,33E-05	1,34E-05	3,66E-05
7	Human toxicity, cancer	-	1,09E-04	3,15E-06	1,12E-04
8	Acidification	-	2,55E-05	4,00E-05	6,56E-05
9	Eutrophication, freshwater	-	9,90E-05	4,29E-05	1,42E-04
10	Eutrophication, marine	-	1,48E-05	3,01E-05	4,48E-05
11	Eutrophication, terrestrial	-	1,59E-05	3,65E-05	5,24E-05
12	Ecotoxicity, freshwater	-	1,40E-04	6,27E-05	2,03E-04
13	Land use	-	8,88E-07	6,56E-07	1,54E-06
14	Water use	-	7,06E-06	1,69E-05	2,40E-05
15	Resource use, fossils	-	1,01E-04	1,00E-04	2,02E-04
16	Resource use, minerals and metals	-	3,52E-06	1,40E-07	3,66E-06

Figura 10. Travi e angolari - Normalizzazione: contributi percentuali dei diversi processi

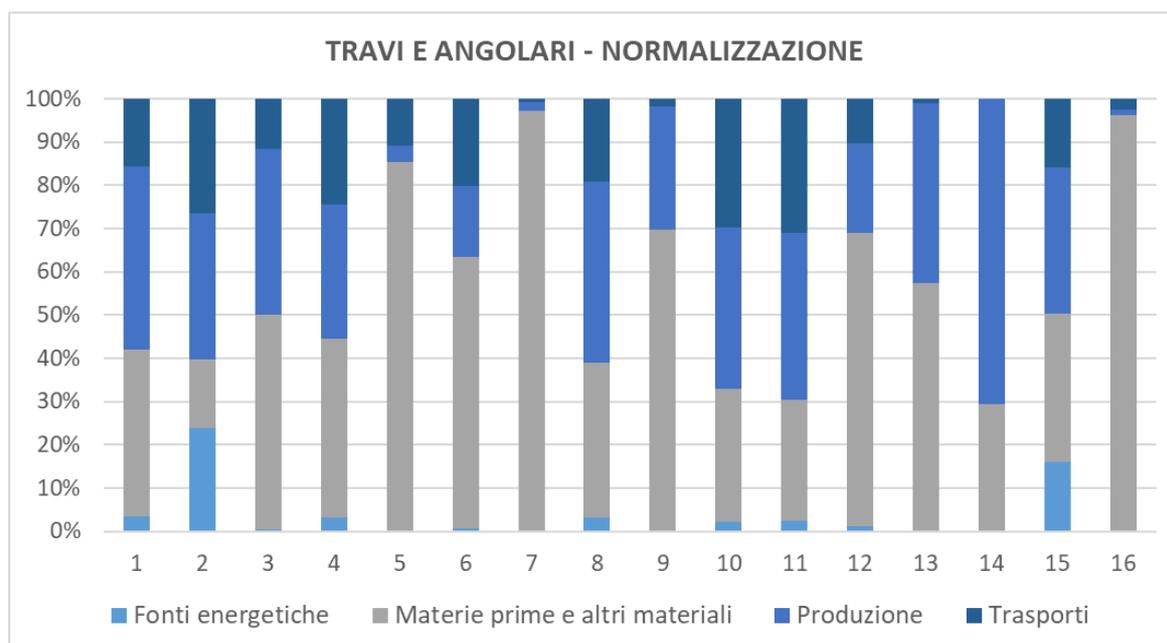
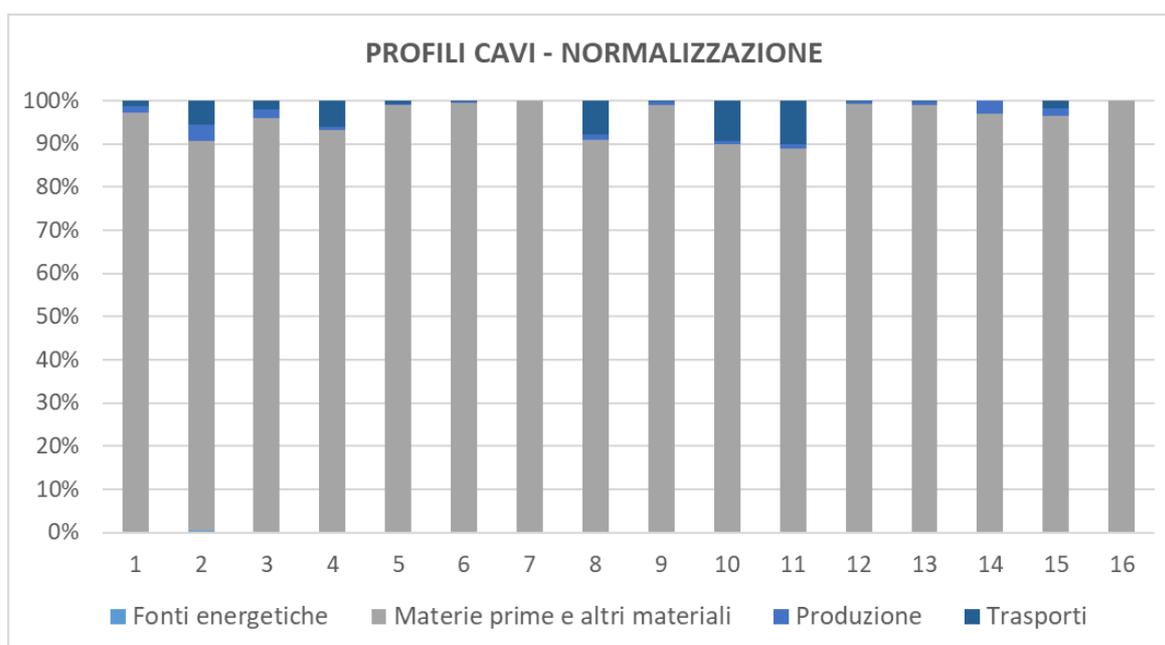


Tabella 9. Profili cavi, quadri e rettangolari - Normalizzazione: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg)

Categoria di impatto		Unità di misura	UPSTREAM	CORE	TOT
1	Climate change	-	1,92E-04	5,28E-06	1,97E-04
2	Ozone depletion	-	1,32E-06	1,34E-07	1,45E-06
3	Ionising radiation	-	2,87E-05	1,18E-06	2,99E-05
4	Photochemical ozone formation	-	1,55E-04	1,12E-05	1,67E-04
5	Particulate matter	-	1,85E-04	2,05E-06	1,88E-04
6	Human toxicity, non-cancer	-	1,52E-04	8,45E-07	1,53E-04
7	Human toxicity, cancer	-	1,21E-03	2,96E-07	1,21E-03
8	Acidification	-	1,15E-04	1,16E-05	1,26E-04
9	Eutrophication, freshwater	-	4,80E-04	4,23E-06	4,84E-04
10	Eutrophication, marine	-	7,28E-05	8,17E-06	8,10E-05
11	Eutrophication, terrestrial	-	8,09E-05	9,99E-06	9,09E-05
12	Ecotoxicity, freshwater	-	7,83E-04	5,06E-06	7,88E-04
13	Land use	-	5,18E-06	5,31E-08	5,24E-06
14	Water use	-	3,07E-05	9,78E-07	3,17E-05
15	Resource use, fossils	-	2,55E-04	9,50E-06	2,65E-04
16	Resource use, minerals and metals	-	2,69E-04	8,49E-09	2,69E-04

Figura 11. Profili cavi, quadri e rettangolari - Normalizzazione: contributi percentuali dei diversi processi



8.3 Pesatura

In Tabella 10 e Tabella 11 sono riportati i risultati della fase di pesatura per ciascuna categoria di impatto, sia complessivi che per fasi del ciclo di vita (UPSTREAM, CORE), per i diversi prodotti analizzati, mentre in Figura 12 e Figura 13 è possibile osservare i diversi contributi all'impatto totale per tale fase di valutazione. Si evidenzia che sono state escluse dalle tabelle e dalla figura le categorie di impatto caratterizzate dall'assenza di fattori di pesatura all'interno del metodo LCIA adottato.

Tabella 10. Travi e angolari - Pesatura: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg)

Categoria di impatto		Unità di misura	UPSTREAM	CORE	TOT
1	Climate change	Pt	1,02E-05	1,41E-05	2,43E-05
2	Ozone depletion	Pt	5,82E-08	8,80E-08	1,46E-07
3	Ionising radiation	Pt	5,53E-07	5,51E-07	1,10E-06
4	Photochemical ozone formation	Pt	1,59E-06	1,98E-06	3,57E-06
5	Particulate matter	Pt	1,52E-05	2,63E-06	1,78E-05
6	Human toxicity, non-cancer	Pt	4,28E-07	2,46E-07	6,74E-07
7	Human toxicity, cancer	Pt	2,33E-06	6,72E-08	2,39E-06
8	Acidification	Pt	1,58E-06	2,48E-06	4,06E-06
9	Eutrophication, freshwater	Pt	2,77E-06	1,20E-06	3,97E-06
10	Eutrophication, marine	Pt	4,37E-07	8,90E-07	1,33E-06
11	Eutrophication, terrestrial	Pt	5,89E-07	1,35E-06	1,94E-06
12	Ecotoxicity, freshwater	Pt	2,69E-06	1,20E-06	3,89E-06
13	Land use	Pt	7,05E-08	5,21E-08	1,23E-07
14	Water use	Pt	6,00E-07	1,44E-06	2,04E-06
15	Resource use, fossils	Pt	8,42E-06	8,35E-06	1,68E-05
16	Resource use, minerals and metals	Pt	2,66E-07	1,05E-08	2,76E-07

Figura 12. Travi e angolari - Pesatura: contributo delle categorie al punteggio totale

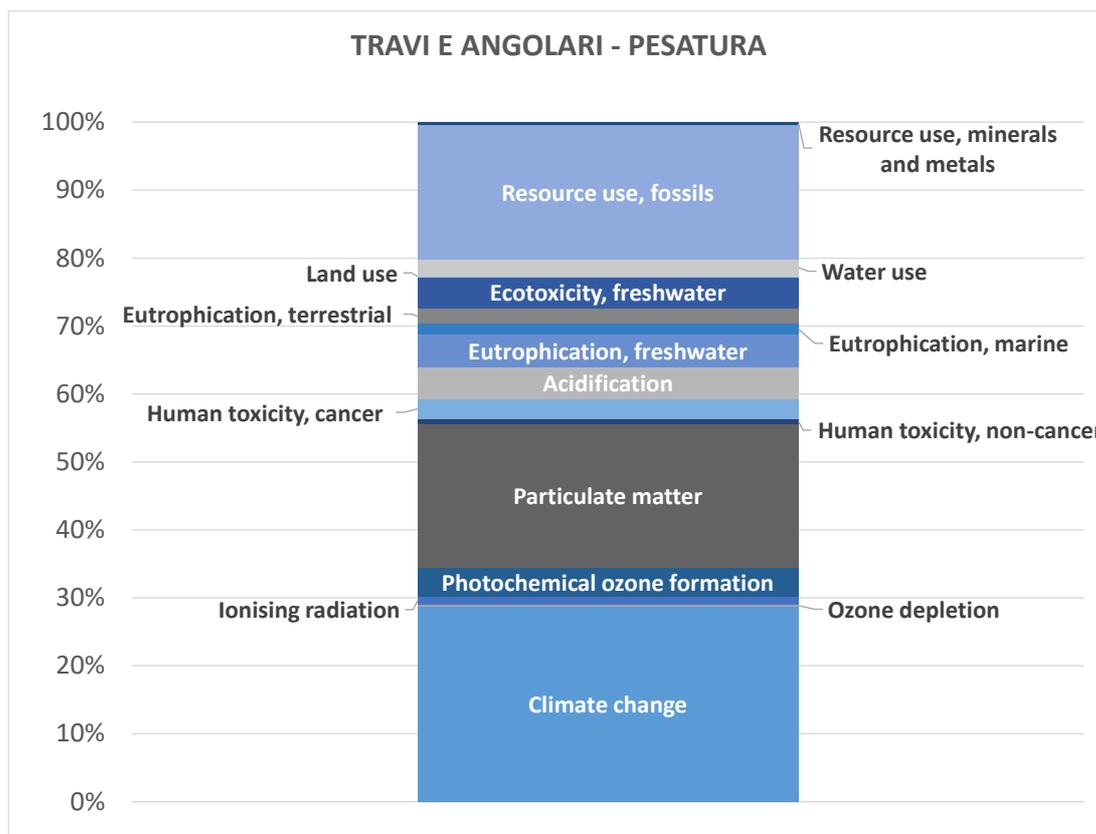
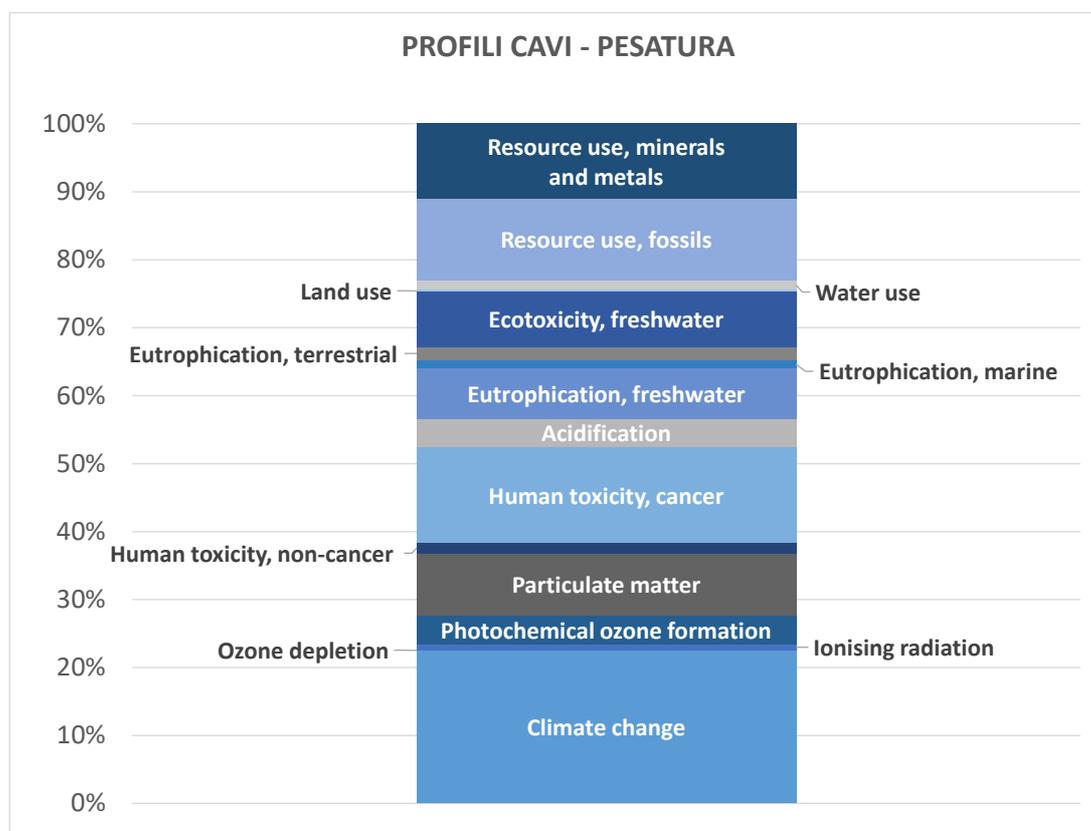


Tabella 11. Profili cavi, quadri e rettangolari - Pesatura: impatto per fasi del ciclo di vita (UF: 1 kg)

Categoria di impatto		Unità di misura	UPSTREAM	CORE	TOT
1	Climate change	Pt	4,04E-05	1,11E-06	4,15E-05
2	Ozone depletion	Pt	8,31E-08	8,43E-09	9,15E-08
3	Ionising radiation	Pt	1,44E-06	5,91E-08	1,50E-06
4	Photochemical ozone formation	Pt	7,43E-06	5,37E-07	7,97E-06
5	Particulate matter	Pt	1,66E-05	1,83E-07	1,68E-05
6	Human toxicity, non-cancer	Pt	2,79E-06	1,56E-08	2,81E-06
7	Human toxicity, cancer	Pt	2,58E-05	6,30E-09	2,58E-05
8	Acidification	Pt	7,11E-06	7,19E-07	7,83E-06
9	Eutrophication, freshwater	Pt	1,34E-05	1,18E-07	1,36E-05
10	Eutrophication, marine	Pt	2,16E-06	2,42E-07	2,40E-06
11	Eutrophication, terrestrial	Pt	3,00E-06	3,71E-07	3,37E-06
12	Ecotoxicity, freshwater	Pt	1,50E-05	9,72E-08	1,51E-05
13	Land use	Pt	4,11E-07	4,21E-09	4,16E-07
14	Water use	Pt	2,62E-06	8,33E-08	2,70E-06
15	Resource use, fossils	Pt	2,12E-05	7,91E-07	2,20E-05
16	Resource use, minerals and metals	Pt	2,03E-05	6,41E-10	2,03E-05

Figura 13. Profili cavi, quadri e rettangolari - Pesatura: contributo delle categorie al punteggio totale



8.4 Analisi di sensitività

Scopo dell'analisi di sensitività è quello di valutare gli effetti prodotti da variazioni nelle "variabili in ingresso", ovvero da variazioni dei flussi in input al modello LCA, sulla/e "variabile/i risposta", ovvero sui risultati dello studio LCA stesso. Oltre che per stimare quanto la variazione di uno o più parametri incide sullo studio e sul singolo prodotto/processo, in particolare quando vi sia incertezza su quello/i specifico/i parametro/i, tale analisi è anche svolta al fine di determinare quantitativamente la variazione di impatto associata a possibili scenari alternativi alla situazione di riferimento. In questo caso, ovvero nell'eventualità di una "analisi per scenari", l'attenzione è preferibilmente posta su input significativi del sistema oggetto di studio su cui sia ragionevolmente possibile intervenire, così da ottenere delle indicazioni sugli effetti di alternative realmente implementabili.

Nell'ambito del presente studio, l'analisi di sensitività è stata focalizzata sull'energia elettrica per travi e angolari e sulla materia prima acciaio per i profili cavi, in quanto rappresentano input significativi, ragionevolmente e abbastanza semplicemente "modificabili" rispetto ad altri input.

In particolare, per **travi e angolari** sono stati considerati due scenari alternativi a quello di base utilizzato per lo studio di filiera, costruiti considerando l'utilizzo di energia elettrica da fonti rinnovabili come di seguito dettagliato:

- Scenario S1: 50% energia elettrica da rete + 50% di energia elettrica certificata da fonti rinnovabili;
- Scenario S2: 100% di energia elettrica certificata da fonti rinnovabili.

Per i **profili cavi, quadri e rettangolari**, invece, rispetto allo scenario di base utilizzato per lo studio di filiera caratterizzato da un utilizzo di un 58% di acciaio da altoforno e di un 48% di acciaio da forno elettrico, essendo la prima tipologia di materia prima molto più impattante della seconda, sono stati considerati due scenari alternativi costruiti come di seguito dettagliato:

- Scenario S3: 50% acciaio da altoforno + 50% acciaio da forno elettrico;
- Scenario S4: 30% acciaio da altoforno + 70% acciaio da forno elettrico.

I risultati dell'analisi di sensitività sono riportati in Tabella 12 e Tabella 13.

Tabella 12. Travi e angolari – Analisi di sensitività (UF: 1 kg)

Categoria di impatto		Unità di misura	Studio di filiera	S1	Var. % S1	S2	Var. % S2
1	Climate change	kg CO2 eq	3,91E-01	8,08E-01	+86,6%	6,63E-01	-29,0%
2	Ozone depletion	kg CFC11 eq	4,95E-08	1,02E-07	-17,8%	8,20E-08	-34,0%
3	Ionising radiation	kBq U-235 eq	4,66E-02	7,60E-02	-18,3%	5,85E-02	-37,1%
4	Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1,35E-03	2,80E-03	-7,7%	2,51E-03	-17,2%
5	Particulate matter	disease inc.	1,01E-07	1,17E-07	-1,0%	1,15E-07	-2,5%
6	Human toxicity, non-cancer	CTUh	5,35E-09	1,55E-08	+84,2%	1,50E-08	+77,7%
7	Human toxicity, cancer	CTUh	1,84E-09	3,93E-09	+107,0%	3,92E-09	+106,3%
8	Acidification	mol H+ eq	1,42E-03	3,09E-03	-15,3%	2,47E-03	-32,2%
9	Eutrophication, freshwater	kg P eq	1,59E-04	2,10E-04	-7,9%	1,79E-04	-21,4%
10	Eutrophication, marine	kg N eq	2,89E-04	8,03E-04	-8,3%	7,10E-04	-18,9%
11	Eutrophication, terrestrial	mol N eq	2,81E-03	8,48E-03	-8,4%	7,48E-03	-19,2%
12	Ecotoxicity, freshwater	CTUe	5,98E+00	8,65E+00	-0,003%	8,02E+00	-7,4%
13	Land use	Pt	7,28E-01	1,24E+00	-2,3%	1,13E+00	-10,5%
14	Water use	m3 depriv.	8,09E-02	2,08E-01	-24,4%	1,40E-01	-49,3%
15	Resource use, fossils	MJ	6,58E+00	1,08E+01	-17,5%	8,62E+00	-34,2%
16	Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	2,24E-07	2,63E-07	+13,0%	2,62E-07	+12,6%
17	Climate change - Fossil	kg CO2 eq	3,90E-01	8,04E-01	-13,3%	6,61E-01	-28,8%
18	Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	7,70E-04	2,98E-03	-34,6%	1,38E-03	-69,8%

19	Climate change - Land use and LU change	kg CO2 eq	6,22E-04	6,59E-04	-0,1%	6,52E-04	-1,1%
20	Human toxicity, non-cancer - organics	CTUh	9,18E-11	1,77E-10	-9,8%	1,56E-10	-20,4%
21	Human toxicity, non-cancer - inorganics	CTUh	3,41E-09	4,00E-09	-2,1%	3,87E-09	-5,4%
22	Human toxicity, non-cancer - metals	CTUh	1,91E-09	1,14E-08	+169,4%	1,10E-08	+159,8%
23	Human toxicity, cancer - organics	CTUh	1,11E-09	1,13E-09	-0,4%	1,12E-09	-1,0%
24	Human toxicity, cancer - inorganics	CTUh	0,00E+00	0,00E+00	-	0,00E+00	-
25	Human toxicity, cancer - metals	CTUh	7,33E-10	2,80E-09	+366,3%	2,79E-09	+265,5%
26	Ecotoxicity, freshwater - organics	CTUe	1,03E-01	2,50E-01	-2,7%	2,39E-01	-6,9%
27	Ecotoxicity, freshwater - inorganics	CTUe	5,24E-01	1,21E+00	-1,2%	1,11E+00	-9,3%
28	Ecotoxicity, freshwater - metals	CTUe	5,35E+00	7,19E+00	+0,3%	6,67E+00	-7,0%

Tabella 13. Profili cavi, quadri e rettangolari – Analisi di sensitività (UF: 1 kg)

Categoria di impatto		Unità di misura	Studio di filiera	S3	Var. % S3	S4	Var. % S4
1	Climate change	kg CO2 eq	1,55E+00	1,47E+00	-8,2%	1,13E+00	-29,3%
2	Ozone depletion	kg CFC11 eq	7,07E-08	7,30E-08	-6,2%	6,05E-08	-22,2%
3	Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,21E-01	1,31E-01	+4,2%	1,45E-01	+15,0%
4	Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	6,31E-03	6,14E-03	-9,4%	4,50E-03	-33,5%
5	Particulate matter	disease inc.	1,10E-07	1,04E-07	-7,1%	8,33E-08	-25,4%
6	Human toxicity, non-cancer	CTUh	3,49E-08	3,21E-08	-8,3%	2,46E-08	-29,7%
7	Human toxicity, cancer	CTUh	2,05E-08	2,16E-08	+5,6%	2,46E-08	+20,1%
8	Acidification	mol H+ eq	6,37E-03	6,51E-03	-7,2%	5,20E-03	-25,8%
9	Eutrophication, freshwater	kg P eq	7,71E-04	7,22E-04	-7,2%	5,77E-04	-25,9%
10	Eutrophication, marine	kg N eq	1,42E-03	1,47E-03	-7,3%	1,17E-03	-26,1%
11	Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,43E-02	1,49E-02	-7,3%	1,19E-02	-26,2%
12	Ecotoxicity, freshwater	CTUe	3,34E+01	3,03E+01	-9,9%	2,17E+01	-35,4%
13	Land use	Pt	4,25E+00	3,86E+00	-10,1%	2,75E+00	-36,0%
14	Water use	m3 depriv.	3,52E-01	3,56E-01	-2,2%	3,35E-01	-7,9%
15	Resource use, fossils	MJ	1,66E+01	1,61E+01	-6,5%	1,32E+01	-23,4%
16	Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	1,71E-05	1,49E-05	-12,9%	9,21E-06	-46,3%
17	Climate change - Fossil	kg CO2 eq	1,55E+00	1,46E+00	-8,2%	1,13E+00	-29,3%
18	Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	1,77E-03	2,07E-03	+0,5%	2,09E-03	+1,9%
19	Climate change - Land use and LU change	kg CO2 eq	6,60E-04	6,65E-04	-0,3%	6,59E-04	-1,2%
20	Human toxicity, non-cancer - organics	CTUh	7,23E-10	6,45E-10	-11,5%	4,28E-10	-41,3%

21	Human toxicity, non-cancer - inorganics	CTUh	1,81E-08	1,60E-08	-12,1%	1,03E-08	-43,5%
22	Human toxicity, non-cancer - metals	CTUh	1,62E-08	1,57E-08	-3,9%	1,41E-08	-14,0%
23	Human toxicity, cancer - organics	CTUh	4,89E-09	4,26E-09	-12,9%	2,64E-09	-46,1%
24	Human toxicity, cancer - inorganics	CTUh	0,00E+00	1,17E-24	0,0%	1,17E-24	0,0%
25	Human toxicity, cancer - metals	CTUh	1,56E-08	1,74E-08	+11,4%	2,20E-08	+40,8%
26	Ecotoxicity, freshwater - organics	CTUe	4,02E-01	4,05E-01	-3,7%	3,64E-01	-13,3%
27	Ecotoxicity, freshwater - inorganics	CTUe	1,86E+00	1,74E+00	-9,1%	1,29E+00	-32,8%
28	Ecotoxicity, freshwater - metals	CTUe	3,12E+01	2,82E+01	-10,0%	2,01E+01	-35,8%

9 Interpretazione dei risultati

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

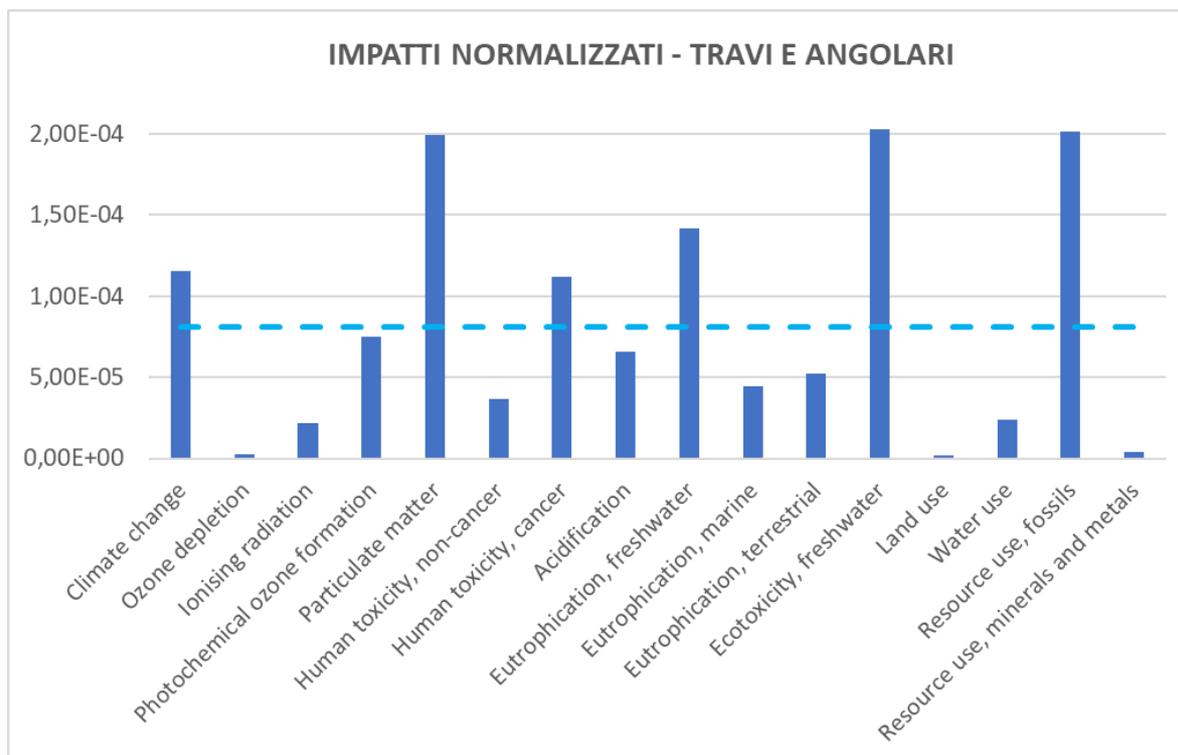
Le evidenze dell'interpretazione dei risultati del presente studio LCA di filiera, svolta in accordo alle indicazioni della ISO 14040, sono riportate nei paragrafi successivi.

9.1 Categorie di impatto rilevanti

L'analisi dei risultati derivanti dalla fase di normalizzazione per **travi e angolari** (Tabella 8 e grafico riassuntivo di Figura 14) mostra come le categorie di impatto in assoluto più rilevanti siano *Particulate matter*, *Ecotoxicity, freshwater* e *Resource use, fossils*, seguite dalle categorie *Eutrophication, freshwater*, *Climate Change* e *Human toxicity, cancer*, che presentano valori di impatto leggermente inferiori ma comunque significativamente maggiori rispetto alla media di tutti gli impatti normalizzati.

L'analisi dei risultati derivanti dalla fase di pesatura (Tabella 10) conferma le categorie *Particulate matter* e *Resource use, fossils* come più rilevanti in termini di impatto, anche se indica la categoria *Climate Change* come più significativa in assoluto in termini di impatto.

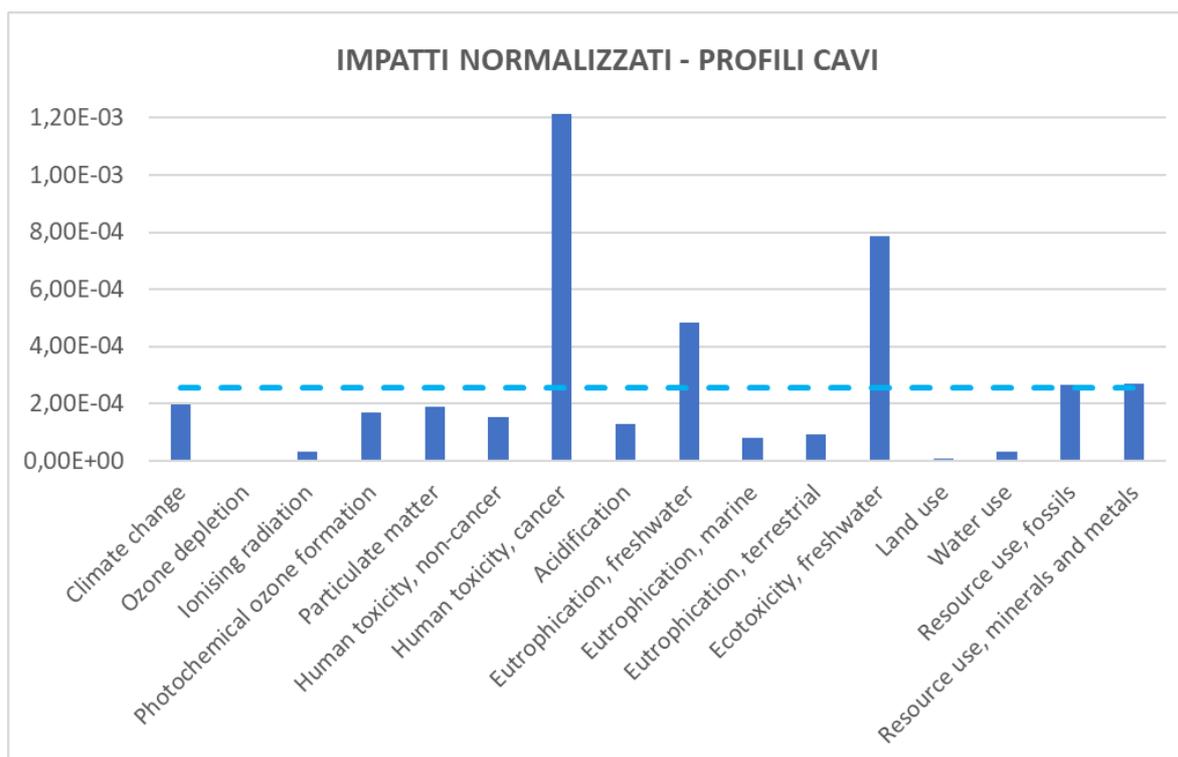
Figura 14. Travi e angolari - Individuazione delle categorie di impatto rilevanti



Per quanto riguarda i **profili cavi, quadri e rettangolari**, invece, l'analisi dei risultati derivanti dalla fase di normalizzazione (Tabella 9 e grafico riassuntivo di Figura 15) indica la categoria *Human toxicity, cancer* come la più significativa in assoluto in termini di impatto, seguita dalle categorie *Ecotoxicity, freshwater* e *Eutrophication, freshwater*, con valori di impatto inferiori ma comunque apprezzabilmente maggiori rispetto alla media di tutti gli impatti normalizzati.

L'analisi dei risultati derivanti dalla fase di pesatura (Tabella 11) conferma sostanzialmente questa situazione, con la categoria *Human toxicity, cancer* contraddistinta da un impatto superiore rispetto alla media degli impatti pesati, anche se indica la categoria *Climate Change* come più significativa in assoluto in termini di impatto.

Figura 15. Profili cavi, quadri e rettangolari - Individuazione delle categorie di impatto rilevanti



9.2 Fasi del ciclo di vita e processi rilevanti

In termini di fasi del ciclo di vita, vista la natura dei processi produttivi dei prodotti considerati, i risultati dell'analisi mostrano una situazione sensibilmente differente per travi e angolari e profili cavi.

Facendo riferimento ai risultati della fase di normalizzazione (Tabella 8), in particolare, nel caso di **travi e angolari** è possibile osservare come per molte delle categorie di impatto identificate come più rilevanti sia la fase UPSTREAM la più significativa in termini di impatto. Nel dettaglio, per le categorie *Human toxicity, cancer* e *Particulate matter* tale fase del ciclo di vita è responsabile della gran parte dell'impatto totale (rispettivamente, 97% e 85% circa), mentre per le categorie *Ecotoxicity, freshwater* e *Eutrophication, freshwater* il contributo è del 69-70% circa. Tali risultati sono dovuti principalmente alla produzione dei materiali utilizzati nel processo produttivo, che costituisce l'elemento più rilevante in termini di impatto sia all'interno della fase UPSTREAM (Tabella 14) che, come si può notare dal grafico di Figura 10, dell'intero ciclo di vita.

Diversa è invece la situazione relativa alle categorie *Resource use, fossils* e *Climate Change*, per cui il contributo della fase UPSTREAM risulta essere paragonabile a quello della fase CORE e, nel dettaglio, pari rispettivamente al 50% e 42% circa dell'impatto totale. Per queste categorie è possibile osservare come il processo di produzione dei materiali utilizzati e il processo di produzione

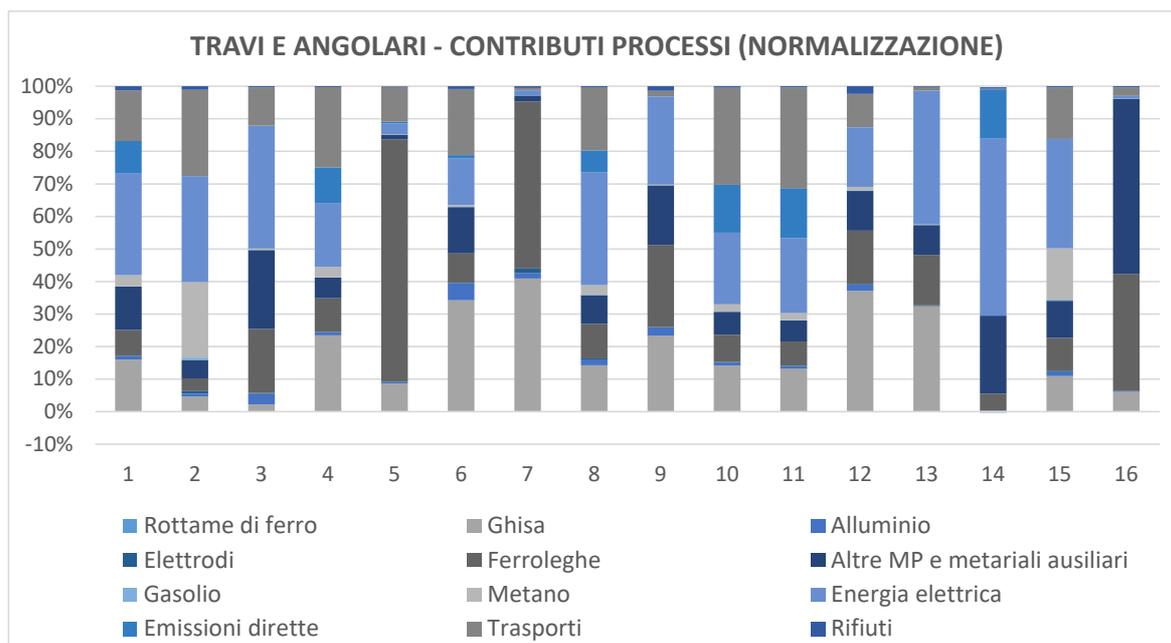
vero e proprio di travi e angolari abbiano contributi confrontabili e rappresentino i processi più rilevanti in termini di impatto, sia all'interno delle rispettive fasi UPSTREAM e CORE (Tabella 14) che, come si può notare dal grafico di Figura 10, dell'intero ciclo di vita.

Andando ulteriormente nel dettaglio, è possibile notare (Figura 16) come siano energia elettrica, ghisa e trasporti le unità di processo elementari più rilevanti in termini di impatto per la maggior parte delle categorie. Nel dettaglio, l'energia elettrica fornisce contributi principalmente variabili tra il 15-20% e il 30-35% circa del totale degli impatti di ciclo di vita, mentre il contributo di ghisa e trasporti all'impatto totale per le diverse categorie risulta essere principalmente variabile tra il 10-20% e il 30% circa. Tali processi, congiuntamente, con un contributo dell'ordine del 50-70% sono responsabili della maggior parte dell'impatto totale di ciclo di vita per le diverse categorie. Energia elettrica e trasporti, inoltre, forniscono insieme il principale contributo (75-99%) all'impatto della fase CORE per tutte le categorie.

Tabella 14. Travi e angolari - Individuazione fasi e processi rilevanti

Categoria di impatto	UPSTREAM		CORE	
	Fonti energetiche	Materie prime e altri materiali	Produzione	Trasporti
Climate change	3,4%	38,5%	42,4%	15,6%
Particulate matter	0,2%	85,1%	3,9%	10,8%
Human toxicity, cancer	0,0%	97,2%	2,1%	0,7%
Eutrophication, freshwater	0,2%	69,6%	28,5%	1,7%
Ecotoxicity, freshwater	1,2%	67,9%	20,7%	10,2%
Resource use, fossils	16,2%	34,1%	34,0%	15,8%

Figura 16. Travi e angolari - Unità di processo rilevanti



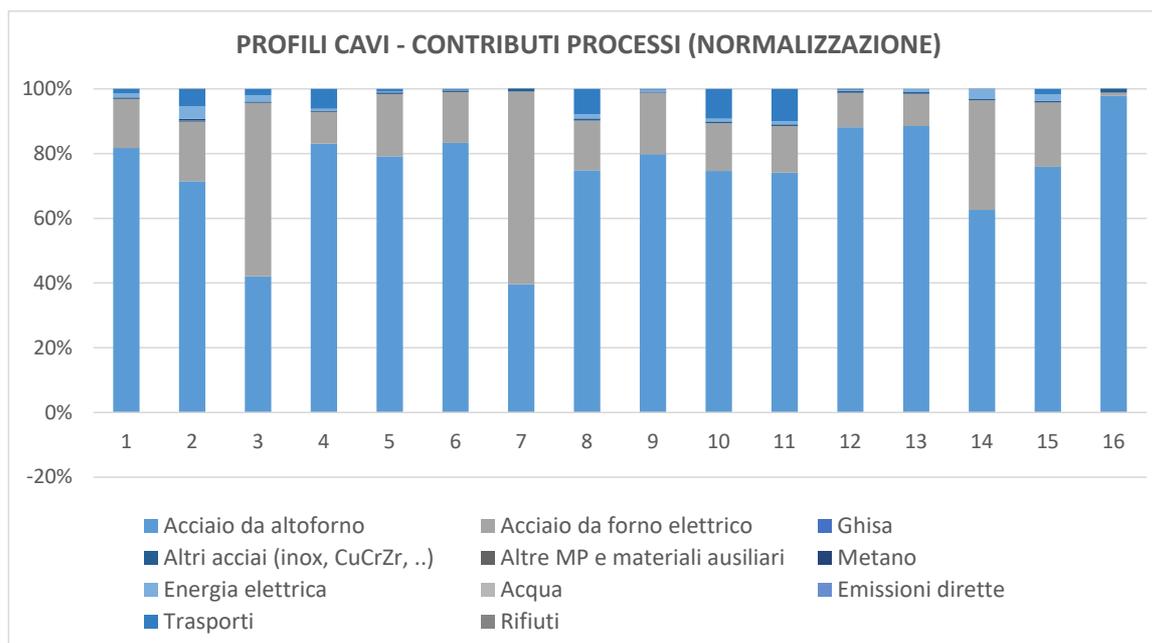
Per quanto riguarda i **profili cavi quadri e rettangolari**, come si può osservare in Tabella 9, la fase UPSTREAM rappresenta invece la fase più significativa in termini di impatto per tutte le categorie, con contributi agli impatti di ciclo di vita che vanno dal 89% al 99,99% circa del totale. Il processo in assoluto più rilevante risulta essere la produzione dei materiali utilizzati nel processo produttivo, sia all'interno della fase UPSTREAM (Tabella 15) che, come si può notare dal grafico di Figura 11, dell'intero ciclo di vita.

L'acciaio da altoforno rappresenta l'unità di processo in assoluto più rilevante, con contributi variabili dal 70% al 90% circa dell'impatto totale per la maggior parte delle categorie, seguito dall'acciaio da forno elettrico che fornisce invece contributi principalmente variabili tra il 10% e il 20% circa del totale degli impatti di ciclo di vita (Figura 17). Tali processi, congiuntamente, sono responsabili della quasi totalità dell'impatto associato alla fase UPSTREAM (contributo dell'ordine del 99% o superiore), nonché della maggior parte dell'impatto totale di ciclo di vita (contributo dal 85-95% fino al 99%) per le diverse categorie.

Tabella 15. Profili cavi, quadri e rettangolari - Individuazione fasi e processi rilevanti

Categoria di impatto	UPSTREAM		CORE	
	Fonti energetiche	Materie prime e altri materiali	Produzione	Trasporti
Climate change	0,02%	97,30%	1,33%	1,35%
Human toxicity, cancer	0,00003%	99,98%	0,01%	0,01%
Eutrophication, freshwater	0,0007%	99,13%	0,57%	0,30%
Ecotoxicity, freshwater	0,003%	99,35%	0,34%	0,30%

Figura 17. Profili cavi, quadri e rettangolari - Unità di processo rilevanti



9.3 Flussi elementari rilevanti

Pr quanto riguarda **travi e angolari**, per la categoria *Particulate matter*, il flusso elementare in assoluto più rilevante è costituito dall'emissione in aria di particolato fine (*Particulates < 2.5 μm*), che rappresenta il 93,7% dell'impatto totale ed è principalmente associato alla produzione di materie prime e altri materiali – in particolare ferroleghhe (73,7%) e ghisa (7,6%) – e al loro trasporto su strada (9%). Tale flusso non appartiene al “sistema di foreground”, ovvero alle emissioni di processo direttamente rilevate e inserite nel modello di calcolo (si ha infatti, per esse, un flusso in termini di *Particulates > 2.5 μm, and < 10 μm*). L'unico flusso del “sistema di foreground” che contribuisce in maniera non rilevante (0,45% circa) a questa categoria di impatto è costituito da *Nitrogen oxides*.

Per la categoria *Ecotoxicity, freshwater* sono invece le emissioni di Alluminio in aria e acqua i flussi più rilevanti, rispettivamente con il 44,7% e il 25,3% del totale dell'impatto, seguite dalle emissioni in acqua di Cloruri (11,8%) e dalle emissioni al suolo di Alluminio (3,9%). Le emissioni di Alluminio risultano essere principalmente associate alla produzione di ghisa e ferroleghhe, nonché al consumo di energia elettrica e ossigeno liquido, mentre per le emissioni di cloruro assume rilevanza significativa (oltre a ghisa, energia elettrica e ferroleghhe) anche il trasporto su strada. In termini di “sistema di foreground”, il contributo delle emissioni dirette di processo di Alluminio in acqua è dell'ordine dello 0,01% circa dell'impatto totale, mentre il contributo delle emissioni dirette di processo di Cloruri in acqua al totale di questa categoria è dell'ordine dello 0,04% circa. Tra i flussi

del “sistema di foreground”, si osserva poi un contributo all’impatto totale dell’ordine dello 0,01% per le emissioni in aria di Rame, mentre tutti gli altri flussi forniscono contributi inferiori allo 0,0005%.

All’interno della categoria *Resource use, fossils*, i flussi in assoluto più rilevanti in termini di risorse sono *Gas, natural* (40,4% dell’impatto totale), *Coal hard* (23,3% dell’impatto totale), *Oil, crude* (22,8% dell’impatto totale) e *Uranium* (10,5% dell’impatto totale). La produzione di ghisa e ferroleghie e il trasporto su strada dei materiali utilizzati nel processo produttivo, insieme al consumo di energia elettrica e gas naturale sono i principali responsabili di tali flussi. In questa categoria non sono presenti contributi diretti del “sistema di foreground” all’impatto.

Il 99,9% dell’impatto associato alla categoria *Eutrophication, freshwater*, deriva invece dalle emissioni in acqua di fosfati correlate principalmente alla produzione di ghisa (23,3%) e ferroleghie (25,3%) e al consumo di energia elettrica (27,1%) e ossigeno liquido (14,7%). Anche per questa categoria non sono presenti contributi diretti del “sistema di foreground” all’impatto

Per la categoria *Climate Change* sono invece le emissioni in aria di Anidride Carbonica e Metano di origine fossile a rappresentare i flussi più rilevanti, con un contributo rispettivamente pari al 89,3% e al 8,9% dell’impatto totale, associato prevalentemente a consumo di energia elettrica, trasporto su strada e produzione di ghisa (anche se assumono rilevanza le emissioni dirette di processo e la produzione di calce). Il contributo delle emissioni dirette di processo di Anidride Carbonica in aria, unico flusso del “sistema di foreground” con effetti su questa categoria, è dell’ordine del 9,8% circa dell’impatto totale.

All’interno della categoria *Human toxicity, cancer* il flusso in assoluto più rilevante (58,1% del totale dell’impatto) è costituito dalle emissioni in aria di Benzo(a)pirene correlate principalmente alla produzione di ghisa e ferroleghie, seguito dalle emissioni in acqua di Cromo VI dovute essenzialmente alla produzione di ferroleghie. In termini di “sistema di foreground”, le emissioni in aria di Nichel e Cromo rappresentano i flussi con un contributo minimo apprezzabile all’impatto totale e rispettivamente dell’ordine dello 0,04% e dello 0,02% (tutti gli altri flussi hanno contributi inferiori allo 0,03%).

Per quanto riguarda i **profili cavi, quadri e rettangolari**, per la categoria *Human toxicity, cancer*, i flussi più rilevanti sono costituiti dalle emissioni in acqua di Cromo VI (74,2% dell’impatto totale) e dalle emissioni in aria di Benzo(a)pirene (23,4% dell’impatto totale), dovute essenzialmente alla produzione della materia prima acciaio. Nel dettaglio, la produzione di acciaio da altoforno è responsabile del 15,2% dell’impatto associato alle emissioni in acqua di Cromo VI e del 23%

dell'impatto associato alle emissioni in aria di Benzo(a)pirene, mentre i contributi associati alla produzione dell'acciaio da forno elettrico sono rispettivamente del 58,9% e dello 0,3%. Il contributo dei flussi associati al "sistema di foreground" è praticamente trascurabile (complessivamente inferiore allo 0,0000003%).

Per la categoria *Ecotoxicity, freshwater* sono invece le emissioni di Alluminio in aria, acqua e suolo associate alla produzione dell'acciaio da altoforno e da forno elettrico utilizzati per la realizzazione dei profili i flussi più rilevanti in assoluto, rispettivamente con il 57%, 6,7% e 26,1% del totale dell'impatto. Il contributo dei flussi associati al "sistema di foreground" è praticamente trascurabile (complessivamente inferiore allo 0,0001%).

Il 99,9% dell'impatto associato alla categoria *Eutrophication, freshwater*, deriva invece dalle emissioni in acqua di fosfati correlate principalmente alla produzione di acciaio da altoforno (79,7%) e da forno elettrico (19%). In questa categoria non sono presenti contributi diretti del "sistema di foreground" all'impatto

Per la categoria *Climate Change* sono invece le emissioni in aria di Anidride Carbonica e Metano di origine fossile a rappresentare i flussi più rilevanti, con un contributo rispettivamente pari al 87,9% e al 9,7% dell'impatto totale, associato prevalentemente sempre alla produzione di acciaio da altoforno (71%) e da forno elettrico (14,1%). Il contributo dei flussi del "sistema di foreground", associato alle emissioni di Composti Organici Volatili in aria, è anch'esso trascurabile e dell'ordine dello 0,0002% dell'impatto totale della categoria.

10 Conclusioni

Nel presente report, a seguito di una descrizione della filiera dell'acciaio destinato alla realizzazione di costruzioni in carpenteria metallica, delle sue caratteristiche peculiari, dei prodotti lunghi rappresentativi al suo interno e delle principali tipologie di impatto (sia ambientale che socio-economico) che la contraddistinguono, sono presentati i risultati di uno specifico studio LCA relativo a travi e angolari e profili cavi a sezione quadrata e rettangolare.

Tali prodotti sono stati selezionati dal Gruppo di Lavoro (GdL), costituito da rappresentanti del mondo dell'Università e della Ricerca (ENEA e Università degli Studi Di Brescia), delle imprese della filiera (Arvedi Tubi Acciaio S.p.A. e Duferco Travi e Profilati S.p.A.), nonché di esperti di Enti culturali (Fondazione Promozione Acciaio - FPA).

Lo studio LCA è stato sviluppato in conformità alle norme ISO 14040-14044, sulla base di dati forniti direttamente dalle due aziende coinvolte nel GdL, con approccio "dalla culla al cancello" e

utilizzando come unità funzionale 1 kg di prodotto per entrambe le tipologie di prodotti presi in considerazione.

Per la valutazione di travi ed angolari i dati sono stati raccolti in maniera tale da essere indicativi di un prodotto medio rappresentativo dei diversi profili con cui vengono realizzati i prodotti finiti (HE, IPE, IPN, ...) e delle relative differenti caratteristiche dimensionali e, analogamente, ai fini della valutazione dei profili cavi si è proceduto alla definizione di un prodotto medio rappresentativo delle diverse tipologie di profili cavi (SGM e HFS) realizzate. Non si sono riscontrate particolari carenze di dati in fase di costruzione dell'inventario e la modellazione del sistema è stata eseguita facendo ricorso esclusivamente a dati primari sito-specifici di qualità buona o molto buona.

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

- per travi e angolari le categorie di impatto più rilevanti sono *Particulate matter*, *Ecotoxicity*, *freshwater* e *Resource use, fossils*, seguite con valori di impatto leggermente inferiori dalle categorie *Eutrophication, freshwater*, *Climate Change* e *Human toxicity, cancer*, mentre per profili cavi la categoria più significativa in assoluto in termini di impatto è *Human toxicity, cancer*, seguita dalle categorie *Ecotoxicity, freshwater* e *Eutrophication, freshwater*;
- la fase UPSTREAM rappresenta la fase del ciclo di vita più significativa in termini di impatto per tutte le categorie rilevanti nel caso di profili cavi e anche la fase più significativa per molte delle categorie di impatto identificate come più rilevanti nel caso di travi e angolari;
- per travi e angolari la produzione di ghisa (fase UPSTREAM), l'energia elettrica e i trasporti (fase CORE) costituiscono le unità di processo elementari più rilevanti in termini di impatto per la maggior parte delle categorie, mentre per profili cavi sono la produzione di acciaio da altoforno e di acciaio da forno elettrico (fase UPSTREAM) le unità di processo più rilevanti;
- in termini di emissioni in aria, le emissioni di Anidride Carbonica e Metano di origine fossile rappresentano i flussi più rilevanti per entrambi i prodotti considerati (categoria *Climate Change*), mentre le emissioni di particolato fine risultano particolarmente significative per travi e angolari (categoria *Particulate matter*) e le emissioni di Benzo(a)pirene il flusso più rilevante per i profili cavi (categoria *Human toxicity, cancer*);
- in termini di emissioni in acqua, i flussi elementari più significativi per le categorie individuate come rilevanti sono costituiti dalle emissioni di Alluminio e Cloruri (categoria *Ecotoxicity*,

freshwater), di Cromo VI (categoria *Human toxicity, cancer*) e di fosfati (categoria *Eutrophication, freshwater*) per i prodotti considerati;

- in termini di emissioni al suolo sono le emissioni di Alluminio il flusso elementare più rilevante per i prodotti considerati (categoria *Ecotoxicity, freshwater*);
- per travi e angolari, nella categoria *Resource use, fossils*, i flussi in assoluto più rilevanti in termini di risorse sono *Gas, natural, Coal hard, Oil, crude* e *Uranium*.

Facendo riferimento alla categoria *Climate Change*, che rappresenta una delle categorie di impatto più analizzate e conosciute, ovvero all'effetto in termini di contributo al cambiamento climatico espresso come emissioni di CO₂ equivalente, i risultati dello studio hanno evidenziato:

- un impatto complessivo pari a 0,93 kgCO₂eq/kg per travi e angolari, di cui 0,39 kgCO₂eq/kg associati alla fase UPSTREAM e 0,54 kgCO₂eq/kg alla fase CORE;
- un impatto complessivo pari a 1,6 kgCO₂eq/kg profili cavi, di cui 1,55 kgCO₂eq/kg associati alla fase UPSTREAM e 0,05 kgCO₂eq/kg alla fase CORE.

Tali valori, oltre che con i risultati delle EPD ottenute dalle aziende coinvolte nello studio, che indicano valori pari a 1,033 kgCO₂eq/kg per travi e angolari [30] e a 1,8 kgCO₂eq/kg profili cavi [31], risultano essere sostanzialmente in linea anche con il valore indicativo di 1,58 kgCO₂eq/kg fornito da World Steel Association (WSA rappresenta i produttori di acciaio, le associazioni nazionali e regionali dell'industria siderurgica e gli istituti di ricerca sull'acciaio a livello mondiale) per profili in acciaio [32] e con altri studi di letteratura ([33]-[38]) che forniscono valori nel range 0,74 - 2,3 kgCO₂eq/kg per la produzione di acciaio in diverse forme e modalità (incluso uno studio specifico per un'acciaieria italiana che indica il valore di 1,59 kgCO₂eq/kg per la produzione di lamiera in acciaio).

L'analisi di sensitività svolta focalizzando l'attenzione su alcuni input significativi per i prodotti oggetto di studio, emersi anche come unità di processo particolarmente rilevanti in termini di impatti di ciclo di vita, ovvero energia elettrica per travi e angolari e materia prima acciaio per profili cavi, ha mostrato in maniera chiara che:

- rispetto allo scenario di base dello studio di filiera in cui si ha l'utilizzo esclusivo di energia elettrica da rete, in uno scenario di approvvigionamento dell'energia elettrica per il 50% da rete e per il 50% da fonti rinnovabili si ottengono per travi e angolari riduzioni apprezzabili

- dell'impatto nella maggior parte delle categorie (principalmente tra il 5-10% e il 20% circa, con riduzioni massime del 25% e del 35% circa), che divengono ancora più significative in uno scenario in cui si ha l'utilizzo del 100% di energia elettrica certificata da fonti rinnovabili (principalmente tra il 30% e il 35% circa, con riduzioni massime del 50% e del 70% circa);
- rispetto allo scenario di base dello studio di filiera caratterizzato dall'utilizzo di un 58% di acciaio da altoforno e di un 48% di acciaio da forno elettrico, in uno scenario in cui profili cavi sono realizzati a partire da un mix 50-50 di acciaio prodotto nelle due diverse modalità si registrano riduzioni degli impatti tutt'altro che trascurabili (principalmente tra il 5% e il 10-12% circa), che diventano ancora più rilevanti nel caso di una produzione basata su un 30% di acciaio da altoforno e un 70% di acciaio da forno elettrico (principalmente tra il 20% e il 35% circa, con riduzioni massime del 46% circa).

A conclusione del presente studio è pertanto possibile affermare che, vista l'assenza di criticità particolari, nonché la natura e le caratteristiche di qualità dei dati utilizzati (dati primari sito-specifici di qualità molto buona per la maggior parte degli aspetti di rappresentatività e affidabilità), i risultati ottenuti (in linea anche con quelli di altri studi) possono essere considerati ragionevolmente rappresentativi delle prestazioni ambientali di ciclo di vita di travi e angolari e profili cavi prodotti nell'ambito della filiera nazionale dell'acciaio per costruzioni in carpenteria metallica. In ottica di miglioramento continuo dei processi produttivi e delle prestazioni ambientali all'interno della filiera dell'acciaio per costruzioni in carpenteria metallica, sulla base dei risultati del presente studio, è invece possibile affermare che un percorso orientato alla sostenibilità nell'approvvigionamento di materie prime e risorse energetiche costituisce un elemento chiave per la realizzazione di prodotti finiti a ridotto impatto.

11 Bibliografia

- [1]. Sesana M. M., Progettare e costruire edifici sostenibili con profili in acciaio sagomati a freddo: L'innovazione tecnologica delle soluzioni in Light Steel Frame per l'edilizia, Fondazione Promozione Acciaio - Dario Flaccovio Editore, Luglio 2022.
- [2]. Marrone G., Imperadori M., Sesana M. M., Life-cycle assessment of light steel frame buildings: A systematic literature review, Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems – Biondini & Frangopol (Eds) © 2023 The Author(s), ISBN 978-1-003-32302-0
- [3]. Sesana M. M., Net-zero and lightweight steel technologies for the construction sector: Overview and case studies in Italy, Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems – Biondini & Frangopol (Eds) © 2023 The Author(s), ISBN 978-1-003-32302-0
- [4]. The European Steel Association (EuroFER). European steel in figures, 2023. Disponibile online: https://www.eurofer.eu/assets/publications/brochures-booklets-and-factsheets/european-steel-in-figures-2023/FINAL_EUROFER_Steel-in-Figures_2023.pdf
- [5]. Fondazione Promozione Acciaio. La sostenibilità delle costruzioni in acciaio. Disponibile online: <https://www.promozioneacciaio.it/pubblicazioni/la-sostenibilita-delle-costruzioni-in-acciaio/>
- [6]. UNI EN ISO 14001:2015. Sistemi di gestione ambientale - Requisiti e guida per l'uso
- [7]. Federacciai. Rapporto di sostenibilità 2021. Disponibile online: <https://federacciai.it/rapporto-di-sostenibilita/>
- [8]. UNI EN 15804:2021. Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto
- [9]. UNI EN ISO 14025:2010. Etichette e dichiarazioni ambientali - Dichiarazioni ambientali di Tipo III - Principi e procedure
- [10]. UNI EN 10025-2:2019. Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali
- [11]. UNI EN 10219-1:2006. Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali di acciai non legati e a grano fine - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura
- [12]. UNI EN 10210-1:2006. Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grano fine per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche di fornitura
- [13]. UNI EN ISO 14040:2021. Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento.
- [14]. UNI EN ISO 14044:2018. Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida.
- [15]. Joint Research Centre, 2010. ILCD Handbook. General Guide for Life Cycle Assessment-Detailed Guidance
- [16]. International EPD® System Product Category Rules - Construction products and construction services
- [17]. 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.
- [18]. European Commission, PEFCR Guidance document, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3, December 2017
- [19]. SimaPro software <https://simapro.com/>
- [20]. 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>
- [21]. ARPA Valle d'Aosta, ARPA Umbria, ARPA Veneto. Progetto per la valutazione degli impatti sulla qualità dell'aria provocati dagli stabilimenti di produzione dell'acciaio. Disponibile online: <https://www.snpambiente.it/2018/04/03/limpatto-ambientale-delle-acciaierie-sulla-qualita-dellaria-2/>
- [22]. Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale. Diossine, Furani e Policlorobifenili - Indagine ambientale nella Regione Campania Quaderni - Laboratorio n. 1/2012. ISBN 978-88-448-0479-4
- [23]. Federacciai. Rapporto di sostenibilità 2021. Disponibile online: <https://federacciai.it/rapporto-di-sostenibilita/>
- [24]. Direttiva 2008/1/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 15 gennaio 2008, sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento
- [25]. DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152 Norme in materia ambientale
- [26]. General Programme Instructions for the International EPD® System, Version 4.0. 2021-03-29. Disponibile online: <https://www.environdec.com/resources/documentation#generalprogrammeinstructions>.
- [27]. Scheda tecnica: https://www.ecogasitalia.it/wp-content/uploads/2020/05/Argon_Tecnico-01.pdf
- [28]. Scheda tecnica: https://www.ecogasitalia.it/wp-content/uploads/2020/05/Ossigeno_Tecnico-01.pdf
- [29]. Scheda tecnica: https://oilproducts.eni.com/it_IT/prodotti/carburanti-e-combustibili/trazione/gasolio/gasolio-autotrazione

- [30]. Duferco travi e profilati. Environmental product declaration for steel beams and angles. <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/6da0da67-2fd8-4d03-4705-08db1f315c5e/Data>
- [31]. Arvedi Tubi Acciaio Spa. Environmental product declaration for steel structural circular, square and rectangular hollow sections. https://www.arvedi.it/fileadmin/user_upload/ata/schede/2023/EPD_rev2a.pdf
- [32]. World Steel Association. Life cycle inventory (LCI) study - 2020 data release. <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Life-cycle-inventory-LCI-study-2020-data-release.pdf>
- [33]. Suer J., Traverso M., Jäger N. Review of Life Cycle Assessments for Steel and Environmental Analysis of Future Steel Production Scenarios. *Sustainability* 2022, 14, 14131; doi:10.3390/su142114131.
- [34]. Norgate, T.E.; Jahanshahi, S.; Rankin, W.J. Assessing the environmental impact of metal production processes. *J. Clean. Prod.* 2007, 15, 838–848; doi:10.1016/j.jclepro.2006.06.018
- [35]. Burchart-Korol, D. Life cycle assessment of steel production in Poland: A case study. *J. Clean. Prod.* 2013, 54, 235–243; doi:10.1016/j.jclepro.2013.04.031
- [36]. Chisalita, D.-A.; Petrescu, L.; Cobden, P.; van Dijk, H.; Cormos, A.-M.; Cormos, C.-C. Assessing the environmental impact of an integrated steel mill with post-combustion CO₂ capture and storage using the LCA methodology. *J. Clean. Prod.* 2019, 211, 1015–1025; doi: 10.1016/j.jclepro.2018.11.256
- [37]. Backes, J.; Suer, J.; Pauliks, N.; Neugebauer, S.; Traverso, M. Life Cycle Assessment of an Integrated Steel Mill Using Primary Manufacturing Data: Actual Environmental Profile. *Sustainability* 2021, 13, 3443; doi: 10.3390/su13063443
- [38]. Renzulli P.A., Notarnicola B., Tassielli g., Arcese G., Di Capua R. Life Cycle Assessment of Steel Produced in an Italian Integrated Steel Mill. *Sustainability* 2016, 8, 719; doi:10.3390/su8080719