POLITECNICO DI MILANO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Sezione Ambientale

Gruppo di ricerca AWARE - *Assessment on WAste and REsources*

Analisi del ciclo di vita del libro scolastico in modalità mista di tipo B

Committente: Zanichelli editore S.p.A.

A cura di:

Prof. Mario Grosso, Prof. Lucia Rigamonti (responsabili scientifici del progetto), Ing. Camilla Tua (collaboratrice del gruppo di ricerca) e Ing. Giulia Cavenago (assegnista di ricerca)

Relazione numero 858.2202.10.01

17 Gennaio 2021

Sommario

Premessa **3**

1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio **4**

1.1 Oggetto dello studio e definizione degli obiettivi 4

1.2 Definizione dell'unità funzionale 5

1.3 Descrizione del sistema e definizione dei relativi confini 5

1.4 Scenario analizzato e analisi di sensibilità 7

1.5 Indicatori ambientali analizzati 7

1.6 Qualità dei dati 9

1.7 Approccio per la modellizzazione del fine vita dei rifiuti generati dal sistema 9

2. Analisi di inventario **11**

2.1 Creazione del prototipo del libro di testo in redazione 11

2.2 Ciclo di vita del libro cartaceo 11

2.2.1 Realizzazione del libro 12

2.2.2 Trasporto del libro stampato al magazzino della casa editrice 15

2.2.3 Stoccaggio del libro in magazzino 15

2.2.4 Distribuzione del libro all'utente finale 16

2.2.5 Fine vita del libro cartaceo 18

2.3 Ciclo di vita dell'e-book 19

2.3.1 Creazione dell'e-book e del sito 19

2.3.2 Trasferimento del materiale digitale all'utente 19

2.3.3 Apprendimento sull'e-book 20

3. Risultati dell'analisi LCA e loro interpretazione **22**

3.1 Impatti ambientali dello scenario attuale per il libro ministeriale di tipo b 22

3.1.1 Impatti del ciclo di vita del libro cartaceo 23

3.2 Impatti dello scenario di sensibilità (uso estremo del digitale) 26

3.3 Confronto degli impatti tra il libro scolastico ministeriale di tipo b e di tipo c 28

3.4 Approfondimento su alcune categorie di impatto 32

Conclusioni dello studio e raccomandazioni **34**

Bibliografia **37**

Appendice A - Impatti ambientali potenziali per singola fase della filiera del libro b Zanichelli 39

Appendice B - Impatti ambientali aggregati della filiera Zanichelli (dopo normalizzazione e pesatura) **41**

Premessa

Il settore dell'editoria scolastica, tradizionalmente basato sull'esclusiva produzione di libri cartacei, si è da tempo impegnato verso la progressiva digitalizzazione, commercializzando prevalentemente libri in modalità mista (cosiddetta di tipo b), corredati di un manuale digitale e di contenuti digitali integrativi.

Coerentemente con l'importante percorso in materia di sostenibilità avviato dall'azienda, nel giugno 2021 Zanichelli ha incaricato il gruppo di ricerca AWARE (*Assessment on WAste and REsources*) del Politecnico di Milano di svolgere una valutazione quantitativa degli impatti ambientali associati all'intera filiera produttiva, distributiva e d'uso del proprio libro scolastico medio di tipo b (vedi Figura 1).

La valutazione è stata condotta attraverso la metodologia del ciclo di vita (in inglese *Life Cycle Assessment*, LCA) che rappresenta uno degli strumenti più riconosciuti e oggettivi per il supporto all'attuazione di interventi che garantiscano uno sviluppo sostenibile da un punto di vista ambientale. Tale metodologia, infatti, si contraddistingue per l'approccio innovativo adottato, che non si focalizza sulle singole fasi di un sistema, ma ne fornisce una valutazione globale, secondo un approccio definito "dalla culla alla tomba" ossia che valuta gli impatti ambientali di un processo/servizio dall'estrazione delle materie prime fino al loro ritorno in ambiente sotto forma di emissione o rifiuto.

L'analisi è stata condotta seguendo i principi e le linee guida definiti dalle norme ISO di riferimento (ISO 14040 e ISO 14044) e, per quanto riguarda la fase specifica di valutazione degli impatti, la recente linea guida europea PEF (Product Environmental Footprint) sull'impronta ambientale dei prodotti (European Commission, 2013; Zampori e Pant, 2019).

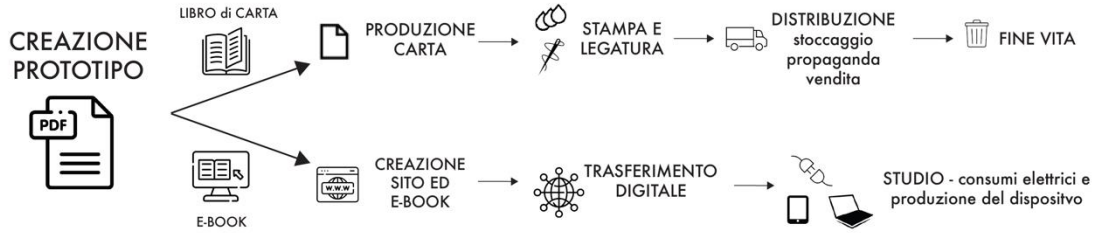


Figura 1. *Rappresentazione della filiera produttiva, distributiva e d'uso del libro scolastico medio Zanichelli di tipologia mista b.*

1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio

Nel presente capitolo sono chiariti gli obiettivi principali dello studio e il relativo campo di applicazione (definizione dell'unità funzionale e dei confini del sistema, descrizione degli scenari studiati, elenco e descrizione degli indicatori ambientali analizzati e indicazione in merito alla qualità dei dati utilizzati).

1.1 Oggetto dello studio e definizione degli obiettivi

In accordo con l'allegato 1 del Decreto Ministeriale n.781 del 27 marzo 2013, si definisce libro scolastico in modalità mista di tipo b "*un libro di testo in versione cartacea e digitale accompagnato da contenuti digitali integrativi*". Nell'anno 2019, con riferimento alle scuole secondarie, il gruppo editoriale Zanichelli (complessivo di tre case editrici) ha commercializzato oltre 8,7 milioni di copie di tale prodotto, 86% delle quali vendute agli studenti e 14% distribuite come copie saggio ai docenti in fase di propaganda (Tabella 1).

Tabella 1. *Copie di libri di testo in modalità mista di tipo b distribuite dalle 3 case editrici del gruppo Zanichelli nell'anno 2019, ripartite tra copie vendute (copie per lo studente) e copie saggio (copie per il docente).*

Casa editrice	Copie vendute (studente)	Copie saggio (docente)	Totale copie
Zanichelli	5.519.778	780.840	6.300.618 (*72%*)
Loescher Editore*	1.260.378	297.196	1.557.574 (*18%*)
Edizioni Atlas	707.429	141.020	848.449 (*10%*)
Totale	7.487.585 (*86%*)	1.219.056 (*14%*)	8.706.641

* I dati includono solo i libri prodotti dalla casa editrice. Si escludono quindi i libri prodotti da editori stranieri (CLE International, Cambridge University Press, Helbling e Hueber Verlag) e dall'editore italiano Alfa Edizioni, per i quali Loescher si occupa della sola fase di distribuzione sul territorio italiano (trasporto presso il proprio magazzino, stoccaggio in magazzino e consegna al cliente).

Il libro scolastico medio Zanichelli di tipo b si compone dei seguenti elementi:

- volume del peso di 860 grammi, caratterizzato da 400 pagine (200 fogli stampati fronte/retro);
- e-book multimediale che contiene tutte le pagine del libro oltre che esercizi interattivi, video e animazioni. Dai dati forniti dal gruppo Zanichelli risulta che attualmente l'apprendimento su digitale è un'opzione poco praticata, in quanto un utente medio consulta solo un ottavo del materiale effettivamente disponibile (0,16 GB/anno/e-book) e vi dedica solo il 5% del tempo complessivo di studio.

Lo studio LCA effettuato dal gruppo di ricerca AWARE si propone di valutare gli impatti ambientali associati al suddetto prodotto editoriale in accordo con i seguenti obiettivi:

- scattare una prima fotografia conoscitiva dei carichi ambientali del libro scolastico medio Zanichelli, sia in termini di impatti complessivi che di contributi delle diverse fasi;
- individuare i margini di miglioramento nella filiera per indirizzare le strategie di sostenibilità ambientale di Zanichelli nel breve-medio periodo;
- valutare la variazione degli impatti ambientali della parte digitale del prodotto esaminato (e-book). Questo sia perché l'uso del digitale è in forte espansione, sia perché i carichi ambientali

a esso associati sono fortemente influenzati dalle modalità d'uso da parte dell'utente, in questo differenziandosi fortemente dal prodotto cartaceo.

1.2 Definizione dell'unità funzionale

Coerentemente con le norme ISO, l'Unità Funzionale (UF) di uno studio LCA rappresenta l'unità di misura rispetto a cui associare i flussi in entrata e in uscita e quindi calcolare gli impatti potenziali del sistema studiato. Nel presente studio l'unità funzionale adottata, definita in accordo con gli aspetti riportati in Figura 2, è *l'apprendimento di una materia per un anno tramite un libro scolastico di tipo b medio Zanichelli secondo le modalità d'uso attuali del digitale*. In tale anno scolastico si suppone che l'utente consulti il libro scolastico, tra versione cartacea e digitale, per 60 ore/anno in accordo con le seguenti ipotesi:

- uno studente medio di scuola secondaria in Italia studia 2,5 h/giorno (sondaggio su 5.000 partecipanti; SKUOLA.net, 2018), per 6 giorni alla settimana, per 35 settimane scolastiche. Il tempo complessivo di apprendimento è quindi di 525 ore/anno, ritenuto valido anche per la preparazione di un docente;
- il numero di libri consultati in un anno da un utente è pari a 9, calcolato come media pesata tra il numero medio di libri di uno studente (10 libri), che rappresenta l'86% delle copie vendute, e di un docente (2 libri), che rappresenta il rimanente 14% delle copie.

COSA *(funzione fornita)*	Utilizzo di un libro ministeriale di tipo b commercializzato dalla casa editrice Zanichelli
QUANTO *(quantitativo fornito dalla funzione)*	1 libro ministeriale di tipo b
IN CHE MODO *(modalità d'uso)*	Consultazione per 60 h/anno, distribuite tra libro cartaceo ed e-book
PER QUANTO TEMPO *(durata del prodotto)*	Un anno scolastico

Figura 2. *Definizione dell'unità funzionale del presente studio LCA.*

1.3 Descrizione del sistema e definizione dei relativi confini

La filiera editoriale Zanichelli prevede innanzitutto la creazione del prototipo del libro scolastico su computer a partire dalle idee degli autori.

Una volta realizzato il prototipo, il ciclo di vita del libro cartaceo inizia all'interno della cartiera dove viene prodotta la carta patinata vergine e prosegue presso l'azienda grafica che si occupa della stampa e della legatura del libro fornito dalla produzione Zanichelli. Il processo di stampa adottato è di tipo off-set, opportunamente ripartito tra stampa piana (67% delle copie nel 2019) e stampa roto-offset o rotativa (33%). La stampa rotativa, caratterizzata da tirature maggiori (fino a 70.000 copie), si differenzia fondamentalmente dalla piana per l'uso di bobine di carta che consentono la stampa nello stesso momento su entrambi i lati del foglio, garantendo al termine del processo un prodotto già finito. Alla stampa segue la legatura, generalmente effettuata in brossura cucita (cucitura al centro dei fascicoli dello stampato, detti in linguaggio tecnico «segnature», e successiva incollatura).

Il prodotto editoriale finito viene consegnato alla casa editrice che lo stocca all'interno dei propri magazzini. Da qui viene consegnato, attraverso appositi sistemi di logistica, ai distributori e ai clienti finali (studenti e docenti).

La logistica distributiva dei prodotti Zanichelli è legata alle attività peculiari del settore scolastico (propaganda, adozione e vendita dei libri):

- nei mesi da gennaio a maggio, si presentano i testi ai docenti con lo scopo di ottenerne l'adozione per le proprie classi (copie saggio). La logistica si incarica di spedire i volumi dal magazzino centrale verso le filiali e le agenzie di propaganda regionali; da qui una rete di agenti consegna le copie presso i plessi scolastici con i propri veicoli;
- a partire da maggio e, con intensità diversa, fino a ottobre, Zanichelli rifornisce per la campagna di vendita i punti di distribuzione (Grande Distribuzione Organizzata - GDO, magazzini Amazon e singole librerie), presso o dai quali avviene il ritiro da parte del cliente o la consegna a domicilio.

La copia cartacea viene quindi utilizzata dallo studente o dal docente e, al termine della vita utile, conferita nel rifiuto urbano.

Nella filiera del libro digitale è invece prevista la creazione dell'e-book, a partire dai file PDF e multimediali del prototipo, e del relativo sito, lo stoccaggio su data center, il trasferimento del prodotto per via digitale dal data center all'utente e successivamente la sua consultazione tramite un dispositivo elettronico (secondo modalità offline dopo lo scaricamento oppure in modalità on-line).

La Figura 3 riporta i confini del sistema Zanichelli che è stato modellizzato includendo tutte le fasi indicate eccetto quelle tratteggiate, ossia:

- la consegna del file del prototipo all'ufficio produzione e alla divisione media digitali;
- la richiesta di elementi accessori usati durante la fase di studio sia sul cartaceo che sul digitale (luce, sedia, tavolo, evidenziatore, …), che vengono utilizzati anche per altre funzioni o con impatto irrisorio. Il dispositivo elettronico non è stato considerato un elemento accessorio;
- lo stoccaggio dell'e-book su data center (costruzione dell'infrastruttura, consumo di energia elettrica per lo stoccaggio e di acqua per il raffrescamento), escluso per la mancanza di dati sufficientemente rappresentativi.

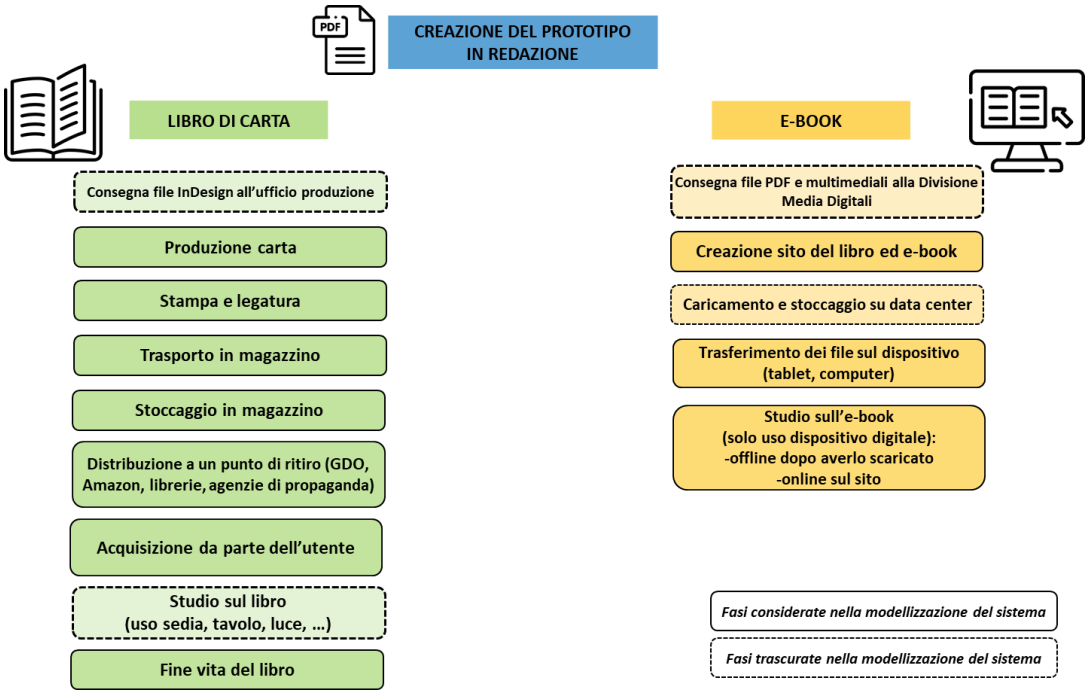


Figura 3. *Confini del sistema per la filiera produttiva, distributiva e d'uso del libro ministeriale di tipo b del gruppo editoriale Zanichelli.*

1.4 Scenario analizzato e analisi di sensibilità

Come detto, il presente studio analizza le prestazioni ambientali della filiera produttiva, distributiva e d'uso di un libro medio scolastico Zanichelli di tipo b. In relazione alla fase d'uso, il libro viene visionato complessivamente per 60 ore/anno tra copia cartacea e digitale. Se il ciclo di vita della copia cartacea prevede impatti fissi indipendenti dalle modalità di utilizzo dell'utente (è stato trascurato l'uso di luce, tavolo e altri elementi accessori), lo stesso non si può dire per l'apprendimento su digitale per cui l'impatto è influenzato dalla quantità di materiale digitale trasferita all'utente (in termini di Gigabyte) e dal numero di ore di apprendimento effettuato sul dispositivo elettronico.
Nello scenario attuale, secondo dati del gruppo Zanichelli, l'apprendimento su digitale è un'opzione poco praticata, in quanto un utente medio consulta solo un ottavo del materiale caricato su data center (0,16 GB/anno/libro) dedicandovi il 5% del tempo complessivo di studio ossia 3 ore/anno (ipotesi dello studio).
In una specifica analisi di sensibilità è stata analizzata la variazione degli impatti del libro Zanichelli di tipo b nel caso in cui l'opzione digitale venga sfruttata al massimo delle sue potenzialità, ossia l'utente preveda il trasferimento di tutto il materiale digitale (1,28 GB/anno/libro) studiando esclusivamente su dispositivo elettronico, pur avendo a disposizione una copia cartacea. Le caratteristiche dei due scenari analizzati (scenario attuale e scenario di sensibilità) sono riportate in Tabella 2. Questo tipo di approccio consente di valutare gli impatti minimi e massimi del libro ministeriale di tipo b medio commercializzato da Zanichelli al variare delle condizioni di utilizzo dell'e-book.

Tabella 2. *Scenari analizzati nello studio in relazione alle diverse modalità d'uso dell'e-book.*

Scenario	Modalità di uso del digitale	
	GB/anno/libro	Ore di studio
Scenario attuale uso ridotto del digitale	0,16	3 h/anno (5% apprendimento)
Scenario di sensibilità uso estremo del digitale	1,28	60 h/anno (100% apprendimento)

Infine, nello studio è stato effettuato un confronto tra gli impatti ambientali del ciclo di vita del libro ministeriale di tipo b nello scenario d'uso attuale e quelli del ciclo di vita del libro ministeriale di tipo c, libro di testo in sola versione digitale accompagnato da contenuti digitali integrativi (Decreto Ministeriale n. 781, 2013). Anche in questo confronto l'unità funzionale adottata è *l'apprendimento di una materia su un libro scolastico per un anno (60 ore/anno)*. Questa analisi si ritiene utile per comprendere se sia ambientalmente sostenibile spingere in futuro verso l'apprendimento in sola modalità digitale rispetto alla situazione attuale mista dell'editoria scolastica. Nel confronto, le caratteristiche dell'e-book sono state mantenute inalterate tra le due tipologie di libri.

1.5 Indicatori ambientali analizzati

L'analisi è stata condotta con l'ausilio del software SimaPro 9.2, che ha agevolato lo sviluppo di un modello virtuale degli scambi di materia ed energia nella filiera analizzata e la quantificazione delle rispettive prestazioni ambientali.
Per la valutazione, sono state considerate 15 categorie di impatto, delle quali 8 sull'ambiente naturale, 3 sulla salute umana e 4 sull'esaurimento di risorse, con l'intento di includere il più ampio spettro di

problematiche potenzialmente causate dal sistema in analisi (Tabella 3). Gli indicatori associati a queste categorie di impatto e i relativi modelli di caratterizzazione utilizzati per il loro calcolo sono quelli proposti nel metodo *Environmental Footprint (EF)*, versione 3.0 recentemente sviluppato per la Commissione Europea dal Joint Research Centre (Fazio et al., 2018). La fase di normalizzazione e di pesatura proposte dallo stesso metodo sono state applicate per identificare le categorie di impatto più rilevanti per il sistema in esame e sulle quali potrà quindi essere focalizzata la comunicazione esterna dei risultati dello studio.

Tabella 3. *Categorie di impatto con i relativi indicatori e modelli di caratterizzazione per il metodo EF, versione 3.0 (Fazio et al., 2018). Legenda: celle in verde = categorie di impatto sull'ambiente; celle in rosso = categorie di impatto sulla salute umana; celle in giallo = categorie di impatto sul consumo di risorse.*

Categoria di impatto	**Indicatore di riferimento**	**Modello di caratterizzazione e fonte**
Cambiamento climatico (CC)	Incremento della forzante radioattiva infrarossa (kg CO_2 eq.)	Modello basato sui potenziali di riscaldamento globale in 100 anni; IPCC (2013)
Assottigliamento dello strato di ozono (AO)	Incremento dell'assottigliamento dello strato di ozono stratosferico (kg CFC-11 eq.)	Modello EDIP basato sui potenziali di riduzione dello strato di ozono in un arco temporale infinito WMO (2014)
Formazione di ozono fotochimico (FO)	Aumento della concentrazione troposferica di ozono (kg COVNM eq.)	Modello LOTOS-EUROS come applicato in ReCiPe 2008 Van Zelm et al. (2008)
Assunzione di materiale particolato (AP)	Effetti sulla salute umana dovuti all'esposizione al particolato $PM_{2,5}$ (incidenza di malattia)	Modello PM come raccomandato in UNEP 2016 (Fantke et al., 2016)
Tossicità umana, non cancerogena (TU_{NC})	Unità tossica comparativa per l'uomo (CTUh)	Modello USEtox® 2.1 (Rosenbaum et al., 2008)
Tossicità umana, cancerogena (TU_C)		
Eutrofizzazione in acqua dolce (ED)	Frazione di nutrienti che raggiunge le acque dolci (kg P eq.)	Modello EUTREND come applicato in ReCiPe 2008 (Struijs et al., 2009)
Eutrofizzazione marina (EM)	Frazione di nutrienti che raggiunge le acque marine (kg N eq.)	
Acidificazione (A)	Superamento accumulato del carico critico (moli H^+ eq.)	Modello di superamento accumulato Seppälä et al. (2006) Posch et al. (2008)
Eutrofizzazione terrestre (ET)	Superamento accumulato del carico critico (moli N eq.)	
Ecotossicità delle acque dolci (EC)	Unità tossica comparativa per gli ecosistemi (CTUe)	Modello USEtox (Rosenbaum et al., 2008) Escluse emissioni LT
Consumo di suolo (CS)	Indice di qualità del suolo (Pt)	LANCA (come in Bos et al., 2016)
Consumo di risorse idriche (CA)	Potenziale di privazione (m^3 acqua eq.)	Modello AWARE come applicato in UNEP (2016)

Categoria di impatto	Indicatore di riferimento	Modello di caratterizzazione e fonte
Consumo di risorse - vettori energetici (CR_E)	Impoverimento risorse abiotiche, combustibili fossili (MJ)	Modello CML 2002 (Guinée et al., 2002 e van Oers et al., 2002)
Consumo di risorse - minerali e metalli (CR_M)	Impoverimento risorse abiotiche, riserve ultime (kg Sb eq.)	

1.6 Qualità dei dati

Il sistema in analisi (in termini tecnici definito come *foreground system*) è stato prevalentemente descritto con dati primari raccolti presso le tre case editrici del gruppo Zanichelli nell'anno 2019, considerando le loro percentuali di mercato (riportate in Tabella 1) per effettuarne una media pesata. Le principali limitazioni dello studio in termini di dati utilizzati sono così riassumibili:

- la fase di stampa e di legatura del libro cartaceo è stata modellizzata in accordo con i dati primari di due stamperie (una rappresentativa del processo a stampa piana e una del processo a stampa rotativa), aziende che nell'anno 2019 hanno gestito complessivamente il 35% delle copie distribuite dal Gruppo Zanichelli. In un eventuale approfondimento dello studio sarà opportuno allargare il numero di aziende grafiche da contattare per il reperimento dei dati di inventario;
- la fase di produzione della carta necessaria per la realizzazione del libro cartaceo è stata modellizzata con dati medi europei di produzione della carta patinata vergine (Suhr et al., 2015), considerando un processo produttivo basato su cartiera non integrata, l'unico per cui fossero disponibili informazioni recenti e rappresentative;
- i consumi di energia elettrica legati al trasferimento dell'e-book all'utente derivano da dati di letteratura. Lo studio di riferimento è relativo al contesto svedese per l'anno 2010 (Malmodin et al., 2014) ed è stato utilizzato per la valutazione degli impatti ambientali del libro digitale anche in altri lavori sul tema (ad esempio Achachlouei et al., 2015); è tuttavia molto probabile che il consumo di elettricità sia sovrastimato per il contesto attuale. Malmodin et al. (2014) sottolineano, infatti, che la quantità di dati trasmessi è aumentata significativamente di anno in anno dal 2010, mentre contestualmente i consumi energetici hanno subito una variazione più lenta; i consumi specifici (kWh/GB) indicati da Malmodin et al. (relativi all'anno 2010) potrebbero quindi essere sovrastimati per l'anno di riferimento dello studio Zanichelli (2019).

I processi di *background* (produzione di energia elettrica, produzione degli imballaggi,…) sono stati modellizzati invece in accordo con specifici dataset della banca dati LCA internazionale ecoinvent (versione 3.6). La scelta dei dataset di tale banca è stata effettuata considerando, in ordine di priorità, il contesto geografico italiano/europeo/svizzero/mondiale. Le ipotesi di modellizzazione e i dati di inventario per ciascuna fase del sistema sono dettagliatamente descritti nel Capitolo 2.

1.7 Approccio per la modellizzazione del fine vita dei rifiuti generati dal sistema

Quando si svolge un'analisi del ciclo di vita sul prodotto, ci si trova spesso ad affrontare problemi legati alla modellizzazione del fine vita del prodotto stesso (libro) e di tutti gli altri rifiuti generati lungo l'intera filiera. Nel presente studio è stato preso come riferimento l'approccio modellistico del

Sistema Internazionale *Environmental Product Declaration* (EPD®). Coerentemente con le relative *General Programme Instructions* (2019), basate sull'approccio "*chi inquina paga*", l'analisi è stata impostata come segue:

- per la quota parte di libro/altri rifiuti destinati a riciclo a fine vita, alla filiera Zanichelli si associano solo gli impatti relativi alla raccolta del rifiuto e al suo conferimento al primo impianto di selezione; non vengono quindi inclusi né i carichi ambientali del processo di riciclo, né i benefici dello stesso, legati al risparmio di materie prime vergini e di energia;
- per la quota parte di libro/altri rifiuti destinati a incenerimento a fine vita, si conteggiano nella filiera i carichi ambientali del processo di combustione (consumo di reagenti chimici, di risorsa idrica, di combustibile ausiliario, emissioni dirette in aria e trattamento di fine vita dei residui liquidi e solidi), mentre sono esclusi i carichi e i benefici ambientali associati al recupero di energia elettrica e termica dalla combustione, così come quelli derivanti dall'eventuale recupero di materiali dai residui solidi (ad esempio la frazione minerale dalle scorie);
- i carichi ambientali della quota parte di libro/altri rifiuti destinati allo smaltimento in discarica sono tutti associati al sistema che li ha generati (filiera Zanichelli).

La Figura 4 riporta uno schema di modellizzazione delle diverse opzioni di fine vita di un rifiuto prodotto nella filiera Zanichelli, in accordo con l'approccio modellistico del Sistema Internazionale EPD.

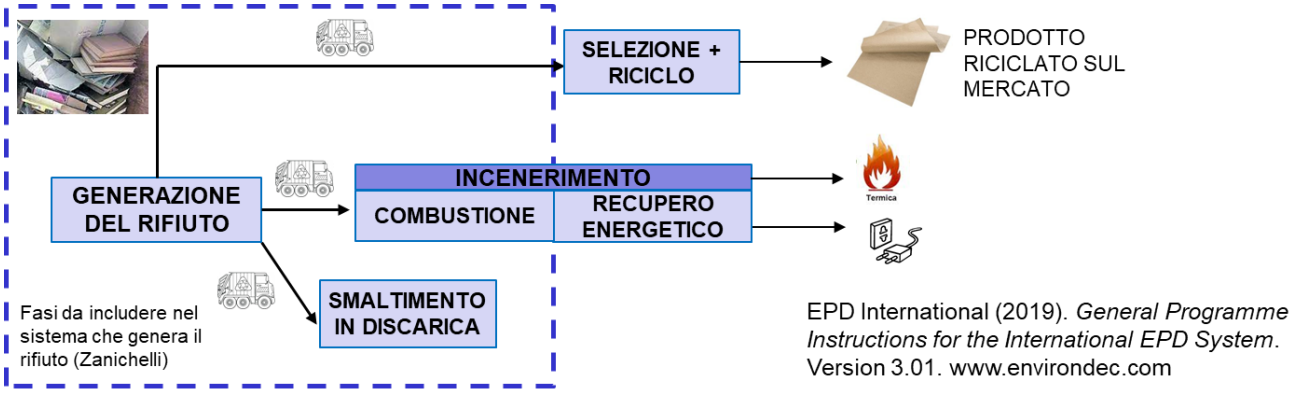


Figura 4. *Schema di modellizzazione delle diverse opzioni di fine vita di un rifiuto in accordo con l'approccio modellistico del Sistema Internazionale EPD.*

2. Analisi di inventario

Nei paragrafi che seguono si riporta l'inventario (dati utilizzati, relative fonti e principali ipotesi di modellizzazione) associato alle principali fasi coinvolte nel processo di redazione del prototipo, nel ciclo di vita del libro cartaceo e nel ciclo di vita del relativo e-book.

2.1 Creazione del prototipo del libro di testo in redazione

Per la creazione del prototipo in redazione sono stati considerati il consumo di elettricità e il consumo di carta, in accordo con i valori e le ipotesi di calcolo indicate in Tabella 4. In relazione alla richiesta di energia elettrica, si segnala che il consumo è sovrastimato poiché include non solo il consumo elettrico dei PC e dei dispositivi accessori necessari per l'effettiva elaborazione del prototipo, ma anche i consumi energetici associati alla manodopera (consumo di aria condizionata, di luce, ecc.), solitamente non inclusi in un'analisi LCA di prodotto. Non è stato tuttavia possibile effettuare una separazione di tale contributo.
Per quanto concerne il consumo di carta, è stata inclusa la produzione di carta da stampa d'ufficio vergine, la fase di stampa delle bozze (consumi di energia elettrica e di inchiostro di una stampante laser) e il fine vita dei fogli dopo l'uso secondo le modalità tipiche di gestione degli imballaggi cellulosici nel contesto medio italiano (87,3% riciclo, 7,5% recupero energetico e 5,2% discarica; Comieco, 2021).

Tabella 4. *Consumi di elettricità e di carta associati alla fase di redazione del prototipo di un libro di testo ministeriale b e relativa modalità di calcolo.*

Richiesta	Valore/UF	Modalità di calcolo
Energia elettrica	0,41 kWh	Dato medio delle tre case editrici calcolato in accordo con la rispettiva percentuale di mercato (72% Zanichelli, 18% Loescher e 10% Atlas). Per ciascuna casa editrice è stata eseguita la seguente procedura di calcolo: - acquisizione del consumo elettrico complessivo dell'anno 2019 della relativa sede; - calcolo del corrispondente consumo elettrico del solo dipartimento redazionale nell'anno 2019 (calcolo lineare sulla base del numero di dipendenti complessivi della sede e del solo dipartimento di interesse); - calcolo del consumo di elettricità per singolo codice ISBN, in accordo con il numero di codici prodotti internamente dalla redazione della casa editrice nell'anno 2019; - calcolo del consumo di elettricità per copia distribuita, sapendo che mediamente a un codice scolastico corrisponde la distribuzione di 1500 copie
Carta	4,3 grammi	- la preparazione di un prototipo di libro scolastico richiede in media 3,2 giri di bozze; - ogni giro di bozza comporta la stampa di 200 fogli A3, di grammatura pari a 80 g/m^2 (10 grammi/foglio); - a ogni prototipo è stata associata la distribuzione di 1500 copie

2.2 Ciclo di vita del libro cartaceo

In Figura 5 si riassumono i principali dati di inventario associati alla filiera del libro cartaceo. Le relative modalità di calcolo per singola fase sono riportate nei sotto-paragrafi che seguono.

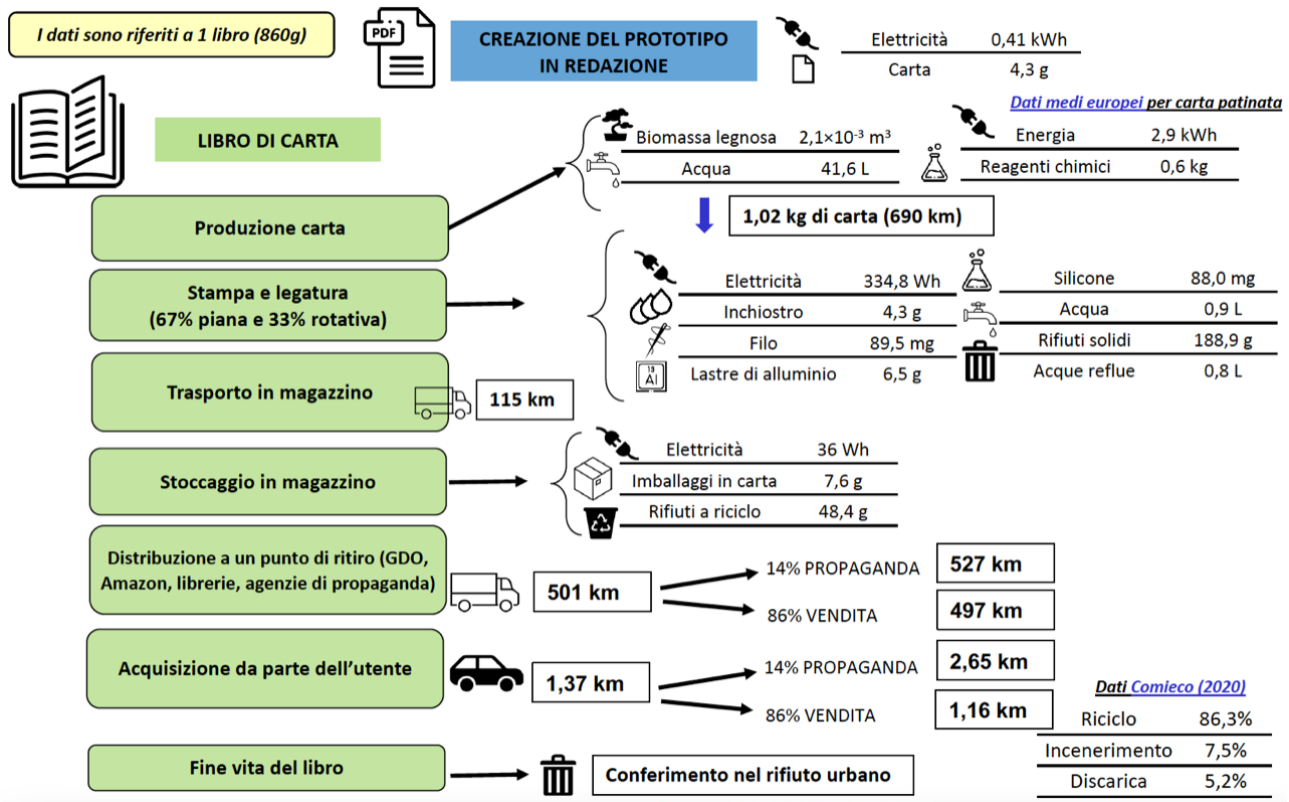


Figura 5. *Principali dati di inventario associati alle diverse fasi del ciclo di vita di un libro cartaceo medio (860 grammi, 400 pagine).*

2.2.1 Realizzazione del libro

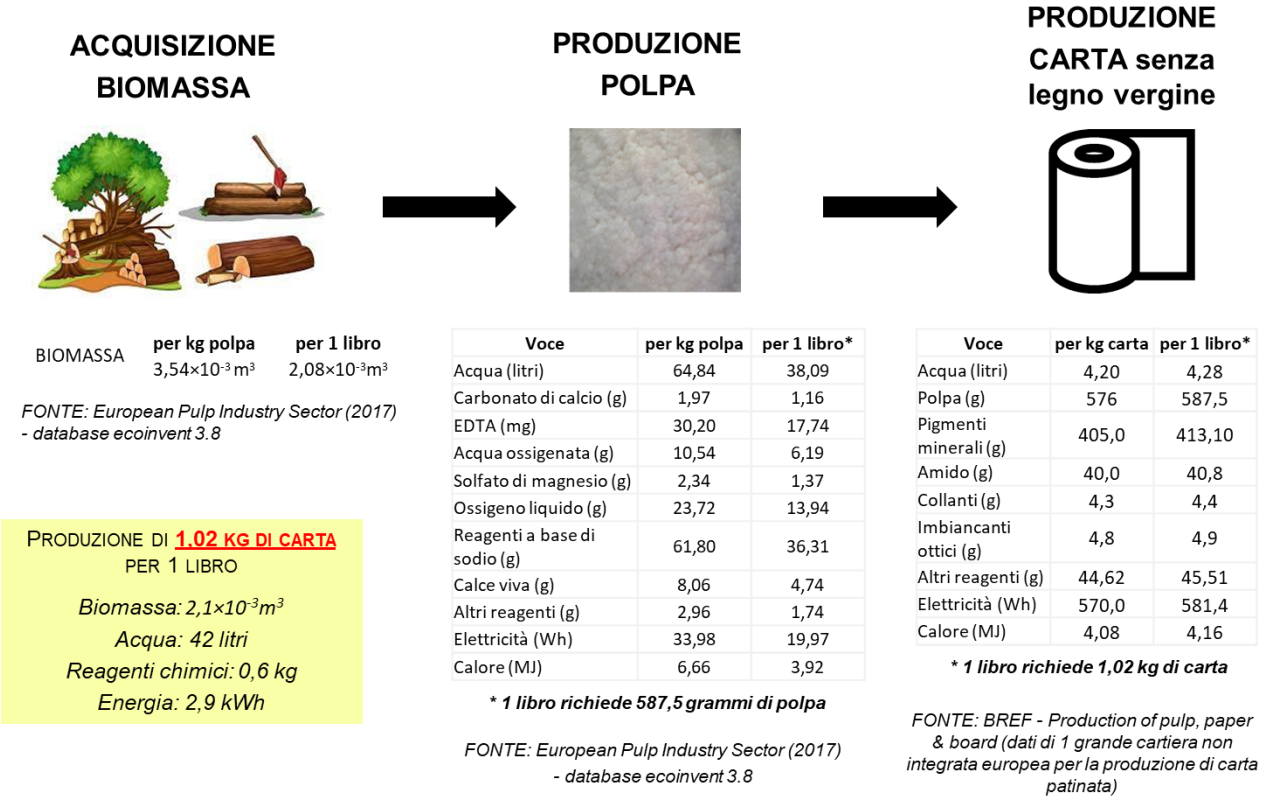
La realizzazione del libro cartaceo prevede innanzitutto una prima fase di produzione della carta per le pagine interne e per la copertina e successivamente una fase di stampa (piana nel 67% dei casi e rotativa nel rimanente 33% secondo dati del 2019) che si conclude con la legatura del prodotto finito. La modellizzazione delle due fasi è avvenuta con dati di inventario primari, raccolti presso due aziende grafiche nell'area bolognese (una per la stampa piana e una per la rotativa) disponibili a fornire i dati richiesti compatibilmente con le tempistiche previste per lo svolgimento dello studio. Tali aziende rappresentano il 35% delle copie complessivamente stampate nel 2019.
In un eventuale approfondimento dello studio sarà opportuno incrementare il numero di aziende grafiche da contattare per il reperimento dei dati di inventario.

<u>Produzione della carta</u>

In accordo con i dati primari acquisiti presso le due aziende grafiche consultate, la produzione di un libro cartaceo medio richiede 1,02 kg di carta, valore inclusivo di tutti gli scarti del processo di stampa e legatura e della carta necessaria per la copertina. La carta richiesta è di tipologia patinata opaca, generalmente vergine in quanto la carta riciclata presenta delle problematiche a livello cromatico, non consentendo di ottenere una visione ottimale delle immagini.
Non essendo stato possibile contattare direttamente le cartiere fornitrici per Zanichelli, il processo produttivo della tipologia di carta indicata è stato modellizzato in accordo con dati di letteratura relativi ad una cartiera non integrata media europea. Le due fonti di riferimento sono state:

- dati dell'*European Pulp Industry Sector Association* dell'anno 2017 disponibili nel database ecoinvent (versione 3.6) per la produzione della pasta al solfato sbiancata a partire dalla biomassa legnosa;
- dati del documento *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board* (Suhr et al. 2015), relativi alla produzione di carta patinata senza legno a partire dalla pasta al solfato in una grande cartiera europea non integrata.

La Figura 6 riassume i dati di inventario utilizzati.



Voce	per kg polpa	per 1 libro*
Acqua (litri)	64,84	38,09
Carbonato di calcio (g)	1,97	1,16
EDTA (mg)	30,20	17,74
Acqua ossigenata (g)	10,54	6,19
Solfato di magnesio (g)	2,34	1,37
Ossigeno liquido (g)	23,72	13,94
Reagenti a base di sodio (g)	61,80	36,31
Calce viva (g)	8,06	4,74
Altri reagenti (g)	2,96	1,74
Elettricità (Wh)	33,98	19,97
Calore (MJ)	6,66	3,92

** 1 libro richiede 587,5 grammi di polpa*

Voce	per kg carta	per 1 libro*
Acqua (litri)	4,20	4,28
Polpa (g)	576	587,5
Pigmenti minerali (g)	405,0	413,10
Amido (g)	40,0	40,8
Collanti (g)	4,3	4,4
Imbiancanti ottici (g)	4,8	4,9
Altri reagenti (g)	44,62	45,51
Elettricità (Wh)	570,0	581,4
Calore (MJ)	4,08	4,16

** 1 libro richiede 1,02 kg di carta*

Figura 6. *Principali dati di inventario associati alla produzione di carta patinata opaca vergine richiesta per la realizzazione di 1 libro scolastico e relative fonti.*

Fase di stampa e legatura

In Tabella 5 si riassumono i dati di inventario acquisiti per il processo di stampa e legatura del libro scolastico medio (consumo di carta e agenti chimici con la relativa distanza di approvvigionamento, consumi idrici ed energetici e produzione di rifiuti solidi e reflui). Per ciascuna voce di inventario, sono stati acquisiti due valori, uno rappresentativo del processo a stampa piana e uno per il processo rotativo, espressi per kg di prodotto editoriale finito, e ne è stata effettuata una media pesata in accordo con la quantità di copie stampate con i due processi nel 2019 (67% piana e 33% rotativa). Il valore finale si riferisce a una copia cartacea del peso medio di 860 grammi.
Dall'analisi dei dati di inventario, emerge che, a parità di prodotto stampato, i consumi del processo a stampa piana sono maggiori, in quanto questo processo è caratterizzato da tirature inferiori rispetto alla stampa rotativa. Rispetto alla stampa piana, tuttavia, il processo rotativo prevede un consumo aggiuntivo di gas metano per la presenza di un forno di asciugatura dell'inchiostro (T=150°C) e un consumo di silicone per la bagnatura della carta successivamente a tale fase di essiccazione. Si

sottolinea, infine, che il fornitore di riferimento per la modalità di stampa piana è fortemente impegnato in un percorso di sostenibilità ambientale del proprio processo e, a tale proposito, ha installato un impianto fotovoltaico proprietario tramite cui soddisfa il 21% del proprio fabbisogno energetico.

Tabella 5. *Dati di inventario associati alla produzione di 1 kg di libro cartaceo finito per il processo di stampa piana e per quello di stampa rotativa, in accordo con le informazioni acquisite da due aziende grafiche. La terza colonna in tabella riporta il valore adottato nello studio per la produzione di 1 libro Zanichelli (860 grammi).*

Consumo di materiali	**Valori per 1 kg di libro rilegato**		**Valori per libro medio Zanichelli (860 g)**
	Piana (67%)	**Rotativa (33%)**	
Carta patinata vergine (pagine + copertina) *	1,22 kg 414 km su strada**	1,13 kg 1249 km su strada	1,02 kg 689 km su strada
Inchiostro	6,23 g 300 km su strada***	2,49 g 720 km su strada	4,30 g 439 km su strada
Solventi lavaggio (a base di idrocarburi)	1,24 g 300 km su strada	0,25 g 250 km su strada	0,79 g 284 km su strada
Vernice acrilica	2,74 g 300 km su strada	Non previsto	1,58 g 201 km su strada
Silicone (polidimetilsilossano)	Non previsto	0,31 g 600 km su strada	0,10 g 198 km su strada
Lastre di alluminio vergine	11,2 g 100 km su strada 10.000 km via nave	0,28 g 100 km su strada 10.000 km via nave	6,53 g 100 km su strada 10.000 km via nave
Filo (70% poliestere e 30% cotone)	148,07 mg 825 km su strada	15,37 mg 100 km su strada	89,68 586 km su strada
Colla (etilene vinil acetato)	3,04 g 1290 km su strada	Non previsto	1,75 g 864 km su strada
Consumi energetici ed idrici	**Piana (67%)**	**Rotativa (33%)**	**Valori per libro medio Zanichelli (860 g)**
Elettricità	540,78 Wh (21% da fotovoltaico, 79% da rete)	37,93 Wh (100% da rete)	322,36 Wh (20% da fotovoltaico, 80% da rete)
Gas metano	Non previsto	3,93 litri	1,12 litri
Acqua da pozzo	0,59 litri	1,96 litri	0,90 litri
Rifiuti	**Piana (67%)**	**Rotativa (33%)**	**Valori per libro medio Zanichelli (860 g)**
Imballaggi e rifiuti assimilabili a urbani	251,11 g - riciclo 1,48 g - incenerimento	142,41 g - riciclo 0,23 g- incenerimento	185,11 g riciclo 0,92 g incenerimento
Scarti di inchiostro non pericolosi	1,20 grammi - incenerimento	Non previsto	0,69 g - incenerimento
Rifiuti pericolosi (scarti di inchiostro e solventi)	4,83 g - incenerimento	1,06 g - incenerimento	3,08 g - incenerimento
Acque reflue	0,59 litri	1,30 litri	0,71 litri

* Le pagine interne del libro presentano una grammatura di 70 g/m^2, mentre la copertina di 250 g/m^2. La copertina è plastificata per mezzo di un film in polipropilene bi-orientato dal peso irrisorio (2,5 g/copertina).

** L'approvvigionamento di carta si ipotizza avvenga con autocarri di medie dimensioni (16-32 t), secondo il mix Euro nazionale dell'anno 2019 (Euro ≤ 3: 69,5%; Euro 4: 5,0%; Euro 5: 14,2%; Euro 6: 11,3%; Automobile Club d'Italia - ACI, 2020).

*** Il trasporto dell'inchiostro e di tutti gli altri materiali indicati si ipotizza avvenga con un veicolo commerciale leggero.

2.2.2 Trasporto del libro stampato al magazzino della casa editrice

Il gruppo Zanichelli si serve di molteplici aziende grafiche, la maggior parte delle quali locali, per ovvie ragioni logistiche. La distanza media di trasporto del prodotto editoriale finito dalla stamperia/legatoria al magazzino risulta di 115 km. Tale valore è stato ricavato reperendo, per ogni casa editrice, la lista delle stamperie e delle legatorie di riferimento e la rispettiva quantità di copie prodotta nell'anno 2019, valore rispetto a cui è stata effettuata la media pesata delle singole distanze. Laddove la fase di stampa e di legatura è avvenuta in stabilimenti differenti, è stata ricavata la distanza tra la stamperia e la legatoria sommandola a quella tra la legatoria e il magazzino di riferimento.
Il 17% dei chilometri è stato percorso con mezzi di piccola taglia (di capacità di 3.5-7.5 tonnellate) trattandosi di viaggi di percorrenza inferiore ai 20 km, mentre il rimanente 83% con autocarri di grandi dimensioni (capacità superiore a 32 tonnellate). Il mix Euro adottato per i mezzi indicati è quello medio nazionale indicato da Automobile Club D'Italia per l'anno 2019 (mezzi di piccola taglia: Euro ≤ 3: 81,4%; Euro 4: 6,6%; Euro 5: 6,9%; Euro 6: 5,1% / mezzi di grande taglia: Euro ≤ 3: 82,1%; Euro 4: 7,0%; Euro 5: 6,2%; Euro 6: 4,7%) (ACI, 2020).

2.2.3 Stoccaggio del libro in magazzino

Per la fase di stoccaggio in magazzino, sono stati acquisiti dati primari dai due magazzini del gruppo editoriale: il magazzino Zanichelli, a cui da luglio 2021 si appoggia anche la casa editrice Atlas (Quarto Inferiore, BO), e il magazzino di Loescher Editore (Rivoli, TO).
In accordo con le informazioni acquisite, lo stoccaggio dei libri in magazzino e la successiva preparazione per la distribuzione comporta i seguenti carichi ambientali:

- un consumo di energia elettrica dalla rete nazionale pari a 36 Wh/libro;
- la produzione e l'approvvigionamento di imballaggi in cartone (scatole, carton-pallet e pacchi) in quantità pari a 7,6 grammi/libro (Tabella 6). Tali imballaggi in cartone sono depositati su bancali di legno, il cui peso allocato al singolo libro è trascurabile (1,1 g/libro) in quanto il calcolo tiene conto del fatto che tali bancali sono riutilizzati mediamente per 20 volte (Conai, 2017);
- la generazione di rifiuti assimilabili agli urbani, in prevalenza carta da macero (Tabella 7). Tali rifiuti sono tutti inviati a un vicino impianto di riciclo, eccetto per quelli con codice CER (Catalogo Europeo dei Rifiuti) 150106 il cui destino finale è l'incenerimento con recupero energetico.

Tabella 6. *Modalità di pallettizzazione dei libri scolastici nei due magazzini del gruppo editoriale Zanichelli e relativo calcolo del quantitativo di imballaggio in cartone richiesto (dati anno 2019).*

Tipologia di bancale	**Quantità di imballaggio in cartone (g/libro)**				
	Magazzino Quarto Inferiore (82% copie)		**Magazzino Rivoli (18% copie)**		**Valore studio LCA**
Solo bancale	45%	Non previsto uso di carta	54,2%	Non previsto uso di carta	7,6 g cartone/libro
Scatole + bancale	49%	12,6 g scatola/libro	45,5%	24,8 g scatola/libro	
Carton-pallet + bancale	6%	10 g cartone/libro	0%	-	
Pacchi + bancale	0%	-	0,3%	41,4 g pacco/libro	

Tabella 7. *Rifiuti prodotti dalla fase di stoccaggio in magazzino del libro cartaceo nei due magazzini del gruppo editoriale e relativo destino (dati anno 2019).*

Codice CER rifiuto	Quantità rifiuto (g/libro)			Destino
	Magazzino Quarto Inferiore (82% copie)	Magazzino Rivoli (18% copie)	Valore studio LCA	
150106 (imballaggi in materiale misto)	4,2	1,1	3,7	Incenerimento - 46 km
150101+200101 (carta)	47,9	25,1	43,8	Riciclo - 31 km*
150103 (imballaggi in legno)	0,9	Non disp.	0,9**	Riciclo - 23 km*

* In accordo con l'approccio di modellizzazione EPD (Paragrafo 1.7), per i rifiuti avviati a riciclo è stato modellizzato il solo trasporto al primo impianto di selezione.

** In assenza del dato per il magazzino di Rivoli, è stato assunto come rappresentativo il dato del magazzino di Quarto.

2.2.4 Distribuzione del libro all'utente finale

Distribuzione al docente (fase di propaganda)

La distribuzione dei libri ai docenti (14% delle copie distribuite), effettuata tramite propaganda, prevede il conferimento del libro dapprima alle singole filiali Zanichelli/agenzie di propaganda regionali e successivamente la consegna con auto da parte degli agenti presso i singoli plessi scolastici (Figura 7).

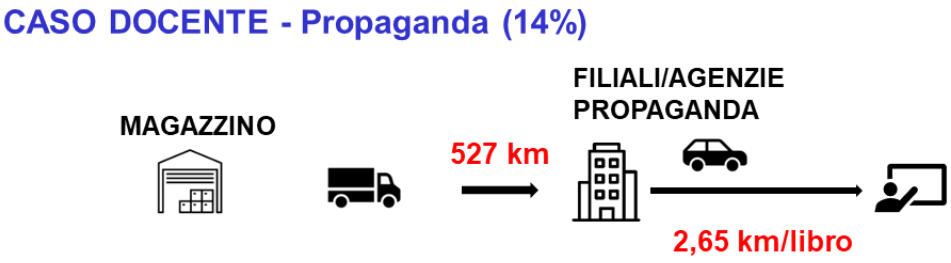


Figura 7. *Modalità di distribuzione del libro scolastico cartaceo in fase di propaganda.*

Per il primo tragitto (magazzino-filiale/agenzia), è prevista una percorrenza media di 527 km calcolata in accordo con i dati primari delle tre case editrici che hanno fornito i recapiti delle diverse filiali/agenzie di riferimento e la relativa quantità di copie conferita nel 2019, dato rispetto a cui è stata effettuata la media pesata delle singole distanze. Il tragitto è percorso con autocarri di grandi dimensioni (> di 32 tonnellate), modellizzato in accordo con il mix Euro nazionale di tali mezzi (ACI, 2020).

Per il tragitto successivo, è stata invece assunta una percorrenza con auto di 2,65 km/libro, calcolata a partire dai km annuali percorsi dagli agenti interni del gruppo editoriale nell'anno 2019 e dalla quantità di copie saggio distribuita dai medesimi nello stesso anno. Il dato di percorrenza degli agenti interni è stato ritenuto valido anche per la rete esternalizzata di agenti di cui si serve il gruppo Zanichelli, in relazione alle quale non è stato possibile acquisire dati primari.

I viaggi degli agenti interni (51% delle copie distribuite) sono stati effettuati con il seguente mix veicolare: 9% auto ibride[1] e 91% auto diesel (mezzi di medie dimensioni, di cui 3% Euro 5 e 97% Euro 6). Per i rimanenti viaggi effettuati da agenti esterni (49% delle copie), sono state considerate le caratteristiche del parco veicolare medio nazionale (ACI, 2020).

Distribuzione allo studente (fase di vendita)

Come visibile in Figura 8, nell'anno 2019, la consegna dei libri agli studenti (86% delle copie) è stata effettuata attraverso tre canali di vendita: le singole librerie (49%), la Grande Distribuzione Organizzata - GDO (30%) e Amazon (21%).
La prima parte del tragitto distributivo, effettuata con mezzi di grandi dimensioni (maggiori di 32 t), prevede il conferimento del libro ai seguenti punti di ritiro: punti vendita della GDO (previo passaggio da un grossista), magazzini Amazon e singole librerie (previo eventuale passaggio dai grossisti).
Nel 2019, la percorrenza media è risultata di 497 km, distanza calcolata in accordo con i dati primari delle tre case editrici che hanno fornito i recapiti dei diversi punti di consegna e la relativa quantità di copie associata, valore rispetto al quale è stata effettuata una media pesata delle singole distanze.
L'acquisizione successiva da parte dello studente è stata modellizzata in modo differente a seconda del canale di vendita:

- ritiro presso le librerie. Per tale canale di vendita, si è assunto che il cliente percorra complessivamente 5,7 km[2] (Politecnico di Milano, 2019), per effettuare l'acquisto di 5 libri (metà dei libri richiesti per un anno scolastico). L'85% dei viaggi è stato supposto effettuato con auto, secondo il mix veicolare nazionale del 2019 (ACI, 2020), mentre il rimanente 15% è stato supposto effettuato a piedi (The International EPD® System, 2017[3]).
- Ritiro presso la GDO. Tale modalità di ritiro è stata descritta in maniera analoga al ritiro presso le singole librerie, eccetto che in questo caso si è considerato che il cliente si rechi presso il punto vendita per svolgere due funzioni (effettuare la spesa e ritirare i cinque libri) rispetto a cui sono ripartiti i carichi ambientali del viaggio complessivo in auto;
- consegna da parte di Amazon. Tale modalità prevede la consegna con corriere (furgoncino da 3.5 - 7.5 tonnellate) percorrendo 2,6 km per singolo ordine (Politecnico di Milano, 2019).

[1] Il trasporto con auto ibride è stato modellizzato come trasporto con auto elettrica, in assenza di un dataset ecoinvent specifico per tali mezzi.
[2] Il valore scaturisce dalle seguenti assunzioni dello studio del Politecnico di Milano: acquisto in area urbana (83% della popolazione nazionale) con percorrenza di 4 km e acquisto in area extraurbana (17% della popolazione) con percorrenza di 14 km.
[3] In tale fonte, si riportano le modalità di acquisto di un fardello di acqua minerale. Tale prodotto è stato ritenuto rappresentativo per l'acquisto di merce pesante (come i libri) per cui il trasporto a piedi non risulta sempre agevole.

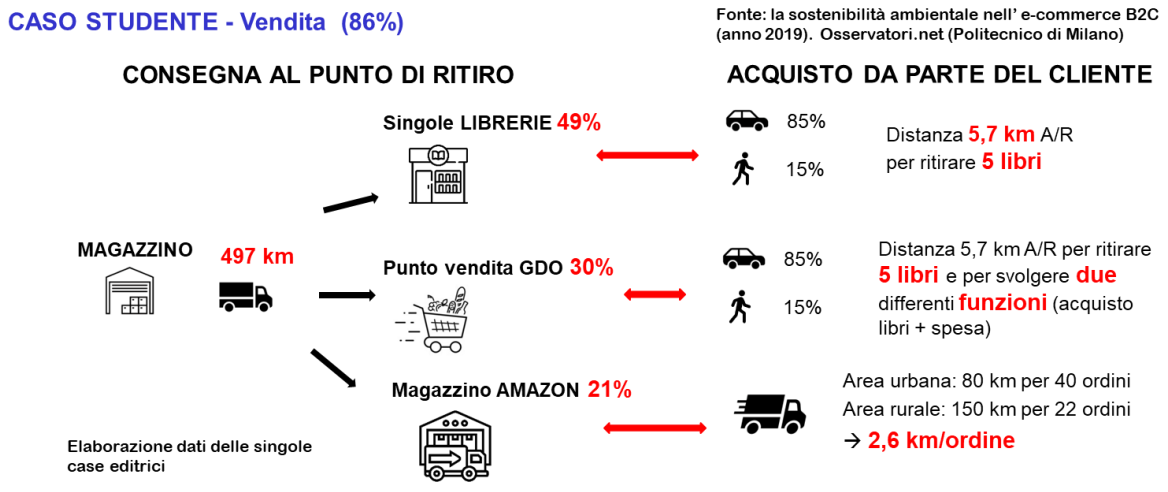


Figura 8. *Modalità di distribuzione del libro scolastico cartaceo in fase di vendita allo studente.*

2.2.5 Fine vita del libro cartaceo

Dopo la fase d'uso del libro (esclusa dai confini del sistema), è stato modellizzato il conferimento del libro nella raccolta domestica del rifiuto e il successivo trattamento coerentemente con l'attuale modalità di gestione dei rifiuti da imballaggio in carta e cartone in Italia (Comieco, 2021):

- 87,3% riciclo di materia (riciclo della carta);
- 7,5% incenerimento;
- 5,2% smaltimento in discarica.

In accordo con l'approccio EPD adottato (Paragrafo 1.7), basato sul concetto "*chi inquina paga*", l'analisi è stata impostata come segue:

- alla quota parte di libro destinato a riciclo, sono stati associati solo gli impatti relativi alla raccolta del rifiuto e al suo conferimento al primo impianto di selezione della carta; i carichi e i benefici ambientali del riciclo non sono attribuiti al sistema che ha generato il libro (gruppo Zanichelli) ma saranno attribuiti al sistema che utilizzerà la carta riciclata a partire dal libro per realizzare un nuovo prodotto da immettere sul mercato. A questo secondo sistema sono attribuiti anche i carichi del trattamento della copertina del libro (30 grammi) che è rivestita di un leggero film plastico (a base di polipropilene) che deve essere separato tramite flottazione dalla carta da macero da avviare a riciclo;
- alla quota parte di libro destinato a incenerimento, si attribuiscono al sistema Zanichelli i carichi ambientali del processo di combustione del rifiuto, mentre sono esclusi i carichi e i benefici derivanti dal recupero di energia elettrica e termica e dal recupero di materiale dalle scorie di processo (frazione minerale);
- i carichi del processo di smaltimento in discarica sono associati interamente al gruppo Zanichelli che genera il rifiuto.

In un'eventuale futura analisi più approfondita, potranno essere valutati gli impatti ambientali del libro cartaceo nel caso in cui venga riutilizzato da un altro utente prima di essere inviato a fine vita. Il riutilizzo prevederebbe dei carichi ambientali aggiuntivi legati alla consegna del libro ai centri di riuso, ma al contempo comporterebbe dei benefici ambientali per la ripartizione degli impatti della fase di realizzazione del libro e della sua distribuzione su più utilizzatori.

2.3 Ciclo di vita dell'e-book

In Figura 9 si riassumono i principali dati di inventario associati alla filiera dell'e-book. Le relative modalità di calcolo per singola fase sono riportate nei sotto-paragrafi che seguono.

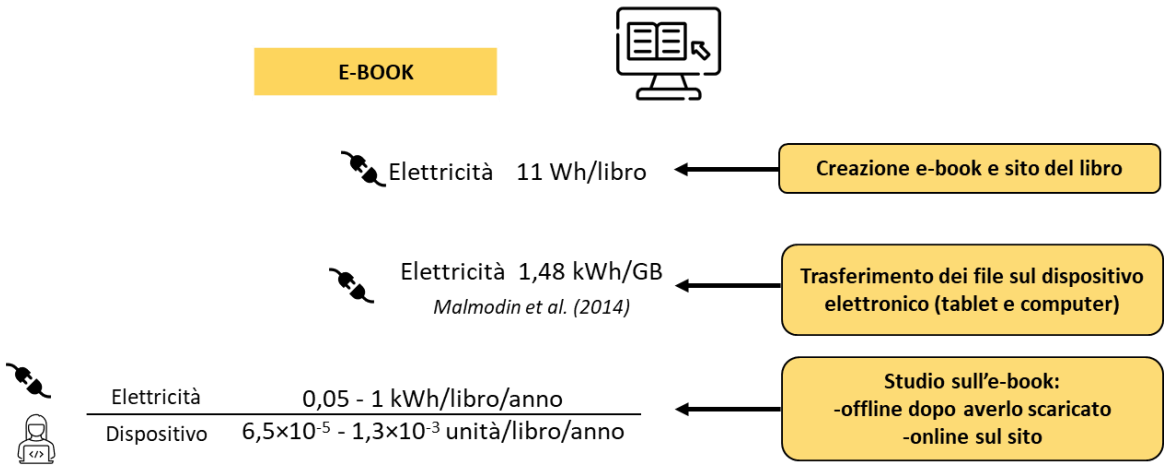


Figura 9. *Principali dati di inventario associati alle diverse fasi del ciclo di vita dell'e-book.*

2.3.1 Creazione dell'e-book e del sito

La fase di produzione di un libro digitale consiste nella creazione dell'e-book e del relativo sito per gli utenti a partire dai file PDF e dai contenuti multimediali forniti dalla redazione. Per tale fase è stato conteggiato il consumo di energia elettrica (11 Wh/libro) richiesto dal dipartimento Divisione Media Digitale della casa editrice Zanichelli, in accordo con le modalità di calcolo indicate in Tabella 8. Il dato è stato ritenuto valido anche per le altre due case editrici.

Tabella 8. *Modalità di calcolo dei consumi di elettricità associati alla fase di creazione dell'e-book e del relativo sito.*

Richiesta	Valore/libro	Modalità di calcolo
Energia elettrica	11 Wh	- acquisizione del consumo elettrico complessivo dell'anno 2019 della sede di Zanichelli; - calcolo del corrispondente consumo elettrico del solo dipartimento Divisione Media Digitale nell'anno 2019 (calcolo lineare sulla base del numero di dipendenti complessivi della sede e del solo dipartimento di interesse); - calcolo del consumo di elettricità per e-book, in accordo con il numero di e-book prodotti internamente dalla casa editrice nell'anno 2019 (1400); - calcolo del consumo di elettricità per copia distribuita, sapendo che mediamente a 1 e-book corrisponde il trasferimento di 341 copie digitali

2.3.2 Trasferimento del materiale digitale all'utente

Il gruppo Zanichelli ha costruito la sua struttura digitale completamente in cloud, appoggiandosi a data center in Irlanda e in Germania. Il dato di consumo elettrico specifico per il trasferimento del materiale dai data center all'utente deriva da un recente studio di letteratura (Malmodin et al., 2014), riferito al contesto svedese. Come visibile in Tabella 9, tale studio fornisce il consumo elettrico per Gigabyte (GB) trasferito (1,48 kWh/GB), suddiviso tra: invio dal data center, trasporto su scala geografica, trasporto via rete di accesso e funzionamento delle apparecchiature presso l'utente

(modem e router). A ciascuna fase in elenco è stato associato uno specifico mix elettrico sulla base della localizzazione geografica del data center (Irlanda e Germania) e dell'utente (Italia).
In accordo con tali consumi specifici, lo scenario attuale, che prevede il trasferimento di 0,16 GB/anno/libro (Tabella 10), comporta un consumo annuale di 240 Wh/anno/libro, mentre lo scenario di sensibilità comporta un consumo di 1,89 kWh/anno/libro (trasferimento di 1,28 GB).

Tabella 9. *Consumo specifico di energia elettrica per la fase di trasferimento del materiale dal data center all'utente (Malmodin et al.,2014) e indicazione del mix elettrico adottato nelle diverse fasi coinvolte*.

Fase analizzata	Consumo specifico (kWh/GB)	Mix elettrico
Invio data center	1	50% mix medio Germania, 25% mix medio Irlanda, 25% impianto eolico in Irlanda*
Rete di trasporto	0,1	Mix medio Europa
Rete di accesso	0,08	Mix medio Italia
Apparecchiature utente (router e modem)	0,3	

* Il fornitore del servizio afferma che 50% dell'energia richiesta dal proprio data center in Irlanda è prodotta tramite un impianto eolico proprietario.

Tabella 10. *Modalità di calcolo della dimensione (Gigabyte) del materiale digitale di un e-book annualmente trasferito al singolo utente a partire dai dati primari forniti dalla casa editrice Zanichelli*.

Dati primari di trasferimento dell'e-book	Valore anno 2019
Consumo di banda complessivo per trasferimento e-book del gruppo Zanichelli (C_T)	80.000 Gigabyte/mese (consumo supposto costante nei 12 mesi)
Numero di utenti iscritti a cui è associato tale consumo (N_U)	1.200.000 utenti
Numero medio di e-book scaricato da un utente (N_{E-B})	2,5 e-book/utente
Consumo annuale di banda associato al trasferimento di un e-book/utente	C_T*12 mesi/($N_U \times N_{E-B}$) = 0,32 GB/anno/e-book
Percentuale di e-book scaricata rispetto alle copie cartacee vendute dalla casa editrice Zanichelli	50%

2.3.3 Apprendimento sull'e-book

In accordo con dati primari acquisiti, l'apprendimento di un utente medio Zanichelli avviene per il 61% dei casi tramite tablet e nel rimanente 39% attraverso Personal Computer (PC). L'uso del PC è stato ripartito tra laptop (27%) e computer fisso (12%), in accordo con dati nazionali in merito alla presenza di tali dispositivi nelle case degli italiani (Il Sole 24 Ore, 2018).
Come visibile in Figura 10, per modellizzare l'impatto di questa fase, è stato innanzitutto valutato, tramite amperometro, il consumo medio orario di elettricità del dispositivo elettronico che risulta di 17 Wh (media pesata sulle tre tipologie).
È stata poi inclusa la fase di produzione dell'apparecchio, considerando che il dispositivo, nell'arco della sua vita utile, non viene acquistato solamente per l'apprendimento scolastico ma anche per altre funzioni. In particolare, la formula adottata per il calcolo del carico ambientale di ciascun dispositivo per la sola funzione di studio è la seguente:

$$Impatto\ totale\ \times \left(\frac{Ore\ annuali\ di\ apprendimento\ su\ libro\ scolastico\ di\ tipo\ b}{Vita\ utile\ dispositivo\ \times 365\ \frac{giorni}{anno}\ \times 24\ \frac{ore}{giorno}}\right)$$

Nell'applicazione di tale formula, sono state utilizzate le statistiche 2021 relative alla vita utile di ciascun dispositivo elettronico fornite da un portale web tedesco (Statista, 2021). I dati di inventario associati alla produzione di ciascun dispositivo (estrazione delle materie prime, relativa lavorazione e assemblaggio) e al suo trasporto in Italia sono derivati dalla banca dati ecoinvent, facendo riferimento alla versione 3.8 che ha previsto un significativo aggiornamento dei dataset relativi alla produzione dei prodotti elettronici (sito di riferimento disponibile qui).

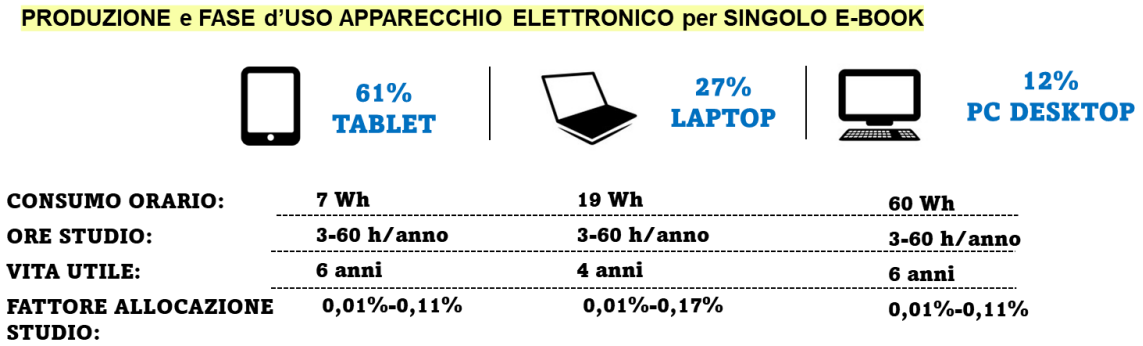


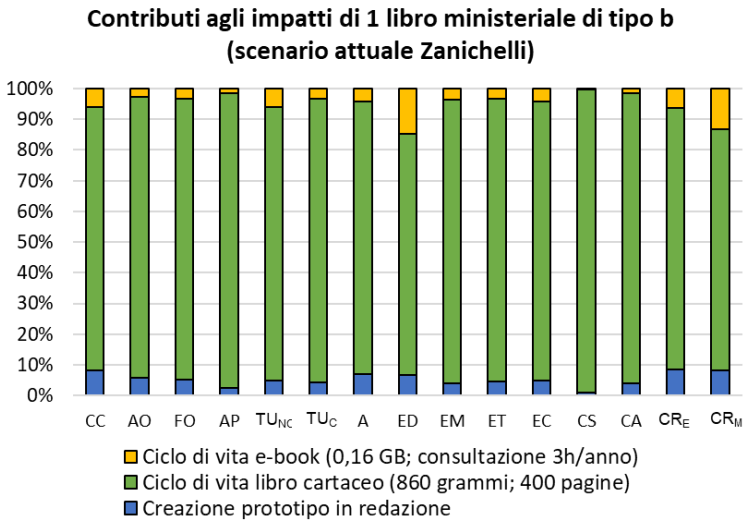
Figura 10. *Caratteristiche del dispositivo elettronico utilizzato per l'apprendimento su un e-book scolastico in termini di consumi elettrici e di vita utile. Le ore di studio sul dispositivo sono pari a 3 ore/anno per lo scenario attuale e a 60 ore anno per lo scenario di sensibilità.*

3. Risultati dell'analisi LCA e loro interpretazione

Il presente capitolo riporta i risultati dell'analisi LCA effettuata per la filiera produttiva, distributiva e d'uso di un libro ministeriale di tipo b medio commercializzato dal gruppo editoriale Zanichelli, in accordo con le ipotesi descritte nei precedenti capitoli.

3.1 Impatti ambientali dello scenario attuale per il libro ministeriale di tipo b

La Figura 11 riporta il valore dei 15 indicatori di impatto ambientale riferito al ciclo di vita di un libro scolastico di tipo b commercializzato dal gruppo editoriale Zanichelli secondo lo scenario attuale di utilizzo dell'e-book (scaricamento di 0,16 GB/anno e studio sul digitale per 3 ore/anno, corrispondenti al 5% del tempo complessivo di apprendimento). In Figura 11 è riportata anche l'analisi dei contributi agli impatti per le principali fasi del ciclo di vita del prodotto (redazione del prototipo, ciclo di vita del libro cartaceo e ciclo di vita dell'e-book). Gli impatti in valore assoluto associati alle singole fasi della filiera sono disponibili in Appendice A (Tabella A.1).



Categoria	Unità di misura	Scenario Attuale
CC	kg CO_2 eq./UF	2,23
AO	kg CFC11 eq./UF	$4{,}17\times10^{-7}$
FO	kg COVNM eq./UF	$7{,}77\times10^{-3}$
AP	inc. malattia/UF	$1{,}39\times10^{-7}$
TU_{NC}	CTUh/UF	$2{,}69\times10^{-8}$
TU_C	CTUh/UF	$1{,}48\times10^{-9}$
A	moli H^+ eq./UF	0,01
ED	kg P eq./UF	$6{,}90\times10^{-4}$
EM	kg N eq./UF	$3{,}24\times10^{-3}$
ET	moli N eq./UF	0,03
EC	CTUe/UF	45,86
CS	Pt/UF	143,35
CA	m^3/UF	2,31
CR_E	MJ/UF	31,54
CR_M	kg Sb eq./UF	$1{,}98\times10^{-5}$

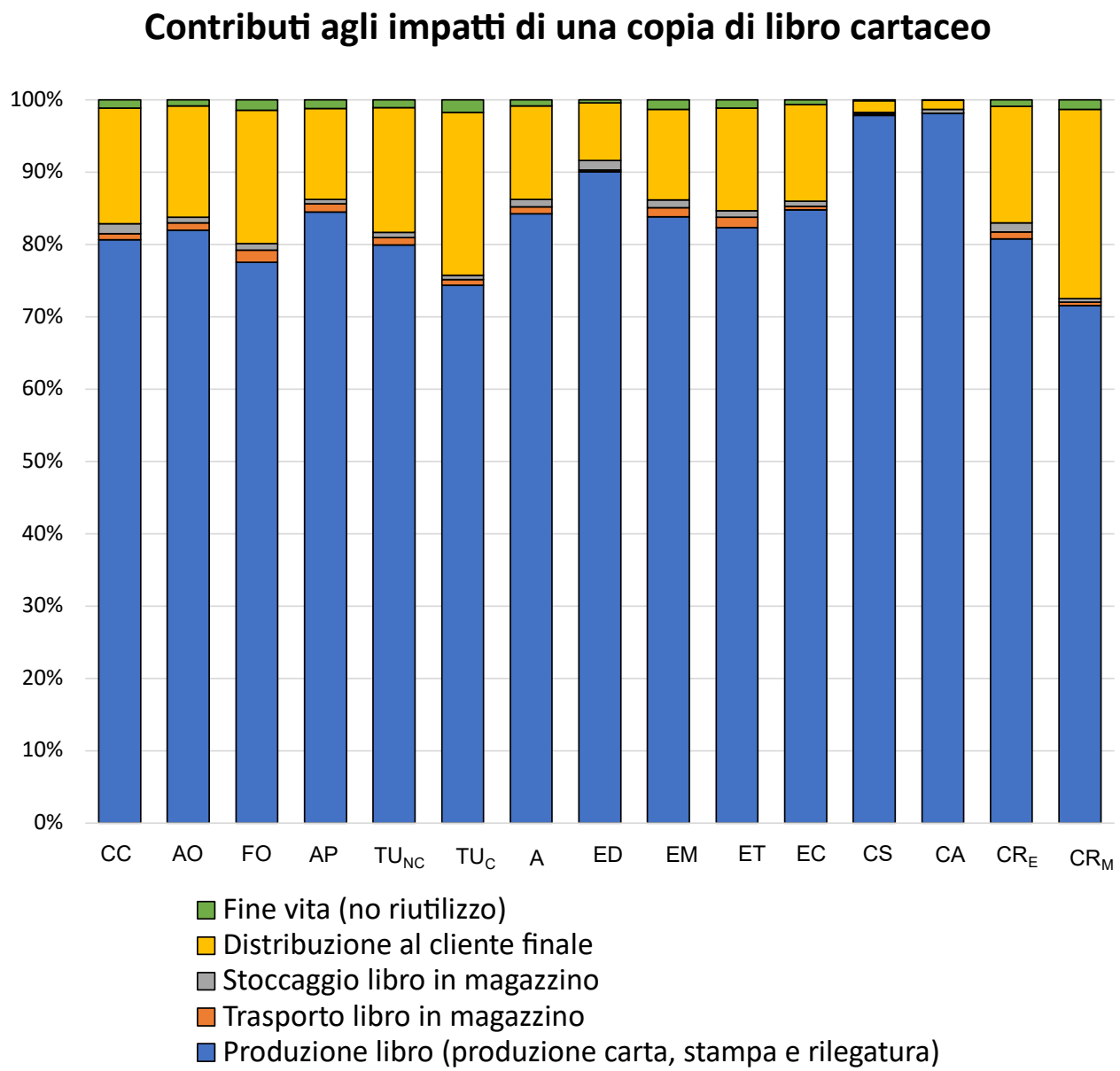
Figura 11. *Impatti ambientali associati al ciclo di vita di 1 libro ministeriale di tipo b commercializzato dal gruppo editoriale Zanichelli secondo lo scenario d'uso attuale (anno 2019) con la relativa analisi dei contributi. Legenda: CC=cambiamento climatico; AO=assottigliamento dello strato di ozono; FO=formazione di ozono fotochimico; AP=assunzione di particolato; TU=tossicità umana; A=acidificazione; ED=eutrofizzazione in acqua dolce; EM=eutrofizzazione marina; ET=eutrofizzazione terrestre; EC=ecotossicità acquatica; CS=consumo di suolo; CA=consumo di risorse idriche;* CR_E*=consumo di risorse energetiche fossili;* CR_M*=consumo di risorse, minerali e metalli.*

Dall'analisi dei contributi, emerge che gli impatti ambientali del prodotto sono dominati dal ciclo di vita del libro cartaceo, con un contributo percentuale all'impatto totale superiore al 78% in tutte le categorie analizzate. Attualmente le potenzialità dell'e-book associato alla copia cartacea sono poco sfruttate e di conseguenza il carico ambientale del prodotto digitale è ridotto. Il contributo del ciclo di vita dell'e-book è generalmente inferiore al 10% e raggiunge il 15% e il 13% dell'impatto complessivo rispettivamente nelle categorie *eutrofizzazione in acqua dolce* (ED) e *consumo di risorse minerali e metalli* (CR_M). Un discorso simile vale per la fase di creazione del prototipo in redazione che presenta un contributo massimo del 9% nella categoria di impatto *consumo di risorse energetiche*

fossili. Il paragrafo che segue fornisce un approfondimento dei carichi ambientali associati al ciclo di vita del libro cartaceo.

3.1.1 Impatti del ciclo di vita del libro cartaceo

Focalizzandosi sui soli impatti ambientali della copia di libro cartaceo (Figura 12), emerge che i carichi di tale prodotto editoriale sono principalmente riconducibili alla fase di realizzazione del libro (contributo superiore al 72% in tutte le categorie di impatto). La fase di distribuzione al cliente (propaganda e vendita) invece, sebbene preveda una percorrenza di trasporto del libro per circa 500 km, fornisce un carico più contenuto, con un contributo superiore al 20% dell'impatto in due sole categorie (*tossicità umana cancerogena* - TU_C e *consumo di risorse, minerali e metalli* - CR_M). Le altre fasi del ciclo di vita (trasporto libro in magazzino, stoccaggio libro in magazzino e fine vita del libro) presentano un contributo irrilevante.



Categoria	Unità di misura	Valore
CC	kg CO_2 eq./UF	1,91
AO	kg CFC11 eq./UF	$3{,}82\times10^{-7}$
FO	kg COVNM eq./UF	$7{,}09\times10^{-3}$
AP	inc. malattia/UF	$1{,}33\times10^{-7}$
TU_{NC}	CTUh/UF	$2{,}40\times10^{-8}$
TU_C	CTUh/UF	$1{,}37\times10^{-9}$
A	moli H^+ eq./UF	$1{,}05\times10^{-2}$
ED	kg P eq./UF	$5{,}42\times10^{-4}$
EM	kg N eq./UF	$3{,}00\times10^{-3}$
ET	moli N eq./UF	$2{,}86\times10^{-2}$
EC	CTUe/UF	41,65
CS	Pt/UF	141,65
CA	m^3/UF	2,18
CR_E	MJ/UF	26,85
CR_M	kg Sb eq./UF	$1{,}55\times10^{-5}$

Figura 12. *Impatti ambientali associati al ciclo di vita di 1 libro cartaceo commercializzato dal gruppo editoriale Zanichelli (400 pagine e 860 grammi).*

Nella fase realizzativa del libro, i maggiori carichi ambientali sono associati al processo produttivo della carta (Figura 13.A), la cui richiesta si attesta intorno a 1 kg di carta/libro (valore inclusivo degli scarti del processo di stampa e di legatura). Al momento il libro scolastico medio Zanichelli necessita di carta patinata senza legno, 100% vergine, prodotta tramite un processo produttivo che, secondo i dati medi europei (Suhr et al., 2015), è impattante principalmente per i consumi energetici (2,9 kWh/libro), per il consumo di reagenti chimici (0,6 kg/libro) e per la richiesta di materia prima legnosa (questo ultimo aspetto rilevante solo per l'indicatore *consumo di suolo - CS*).
I carichi del successivo processo di stampa e legatoria (Figura 13.B) risultano più contenuti ma comunque non trascurabili, soprattutto nelle categorie di impatto *assottigliamento dello strato di ozono (AO)*, *formazione fotochimica di ozono (FO)* e *tossicità umana cancerogena (TU_C)* e *non cancerogena (TU_{NC})* per i seguenti motivi:

- categoria di impatto AO: il carico ambientale è principalmente riconducibile al consumo di silicone (polidimetilsilossano), pari a 90 mg/libro, richiesto nel processo di stampa rotativa;
- categoria di impatto FO: l'impatto maggiore è associato alla fase di approvvigionamento della carta che, dai dati forniti, risulta reperita a circa 700 km di distanza;
- categorie di impatto TU_C e TU_{NC}: il carico ambientale più importante è riconducibile alla produzione delle lastre di stampa realizzate in alluminio primario (smaltimento dei fanghi rossi dal processo di raffinazione della bauxite).

In relazione al processo di stampa e legatura, si sottolinea, inoltre, come la scelta di fornitori energeticamente sostenibili (quale il fornitore per la stampa piana preso come riferimento nello studio e dotato di un proprio impianto fotovoltaico) sia molto importante in un'ottica ambientale traducendosi in un contenimento dei carichi associati ai consumi energetici del processo.

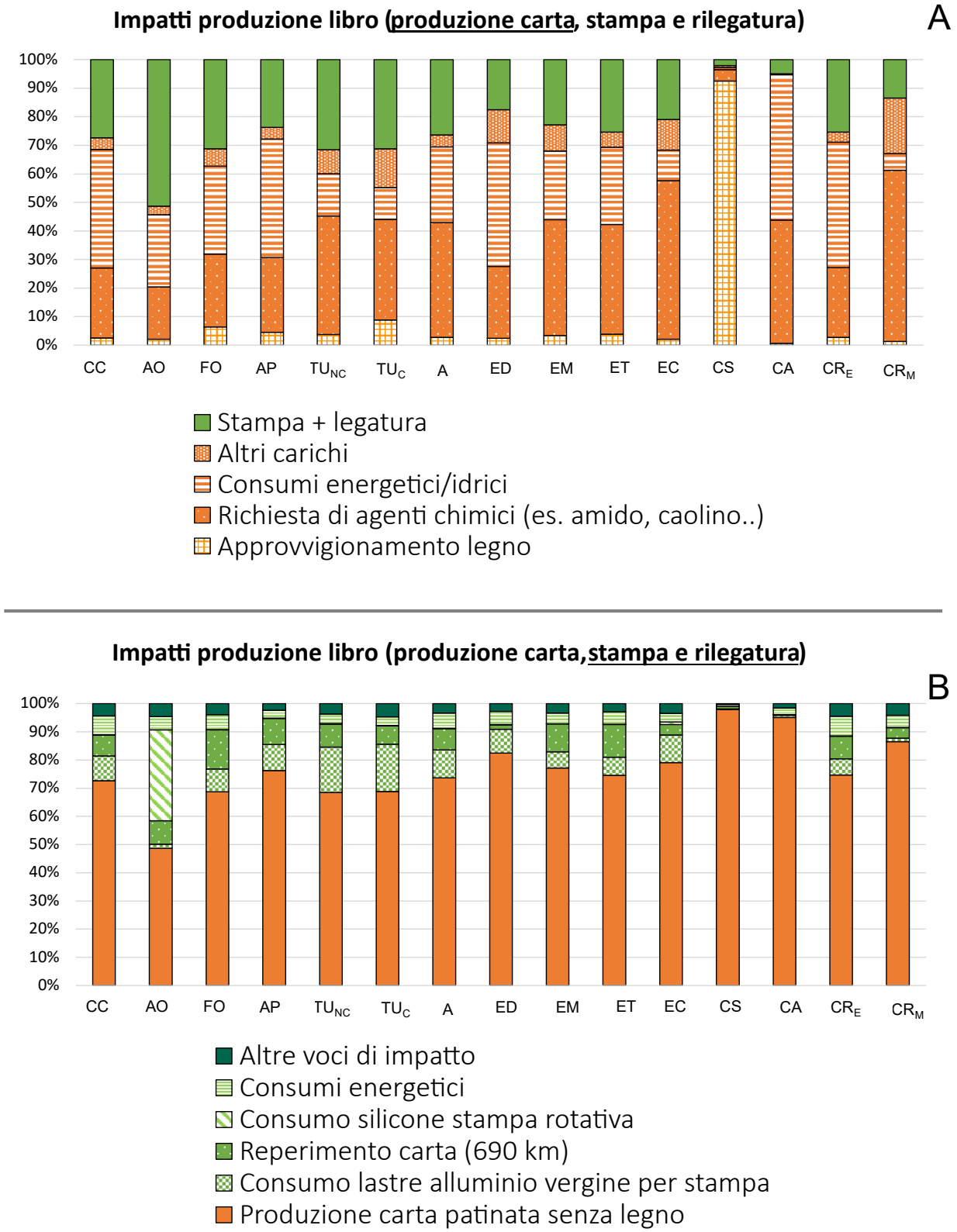


Figura 13. *Contributi agli impatti associati alla fase di realizzazione della copia cartacea del libro. Figura A: focus sui contributi del processo di produzione della carta. Figura B: focus sui contributi del processo di stampa e legatura.*

3.2 Impatti dello scenario di sensibilità (uso estremo del digitale)

L'uso dell'e-book associato al libro di testo medio Zanichelli al momento è ridotto ai minimi termini e di conseguenza anche i carichi ambientali del suo ciclo di vita sono contenuti (Figura 11). È bene sottolineare, tuttavia, che gli impatti del prodotto digitale si possono suddividere in tre fasi, di cui due strettamente dipendenti dalle modalità d'uso dell'utente (Figura 14):

- impatti legati alla fase di produzione dell'e-book e del relativo sito (impatti fissi);
- impatti legati al trasferimento dei contenuti digitali, linearmente dipendenti dalla quantità di Gigabyte effettivamente trasferita;
- impatti legati alla fase di apprendimento su digitale (ripartiti tra consumo di elettricità del dispositivo elettronico e relativa produzione). Tali impatti dipendono linearmente dalle ore di apprendimento annuali effettuate dall'utente su dispositivo elettronico.

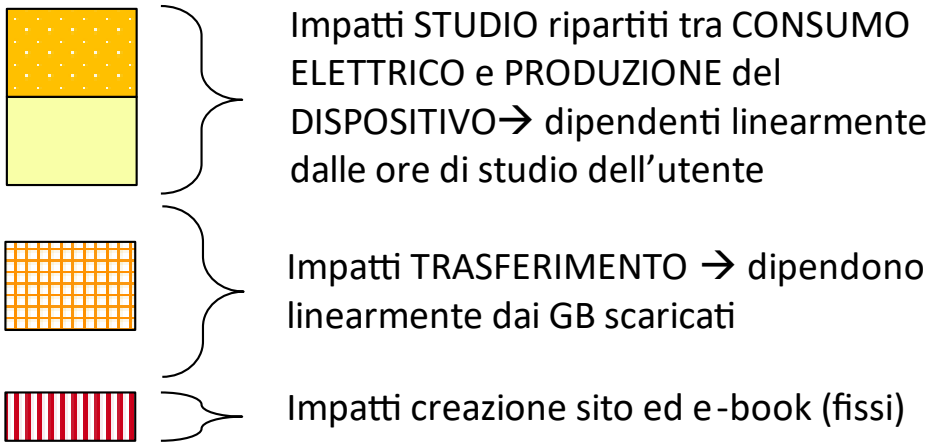


Figura 14. *Fasi principali del ciclo di vita dell'e-book e relativa dipendenza dal comportamento dell'utente.*

In accordo con tali presupposti, nell'analisi di sensibilità è stata valutata la variazione degli impatti ambientali del libro ministeriale di tipo b nel caso di massimo sfruttamento del digitale da parte dell'utente, considerando quindi lo scaricamento di tutto l'e-book (1,28 GB/anno) e l'apprendimento sul solo materiale digitale per 60 h/anno, nonostante la presenza della copia cartacea. In Tabella 11 si riporta il valore degli indicatori di impatto per lo scenario di sensibilità descritto e il relativo aumento di impatto rispetto allo scenario attuale. Gli impatti in valore assoluto associati alle singole fasi del ciclo di vita per lo scenario di sensibilità sono disponibili in Appendice A (Tabella A.2).

Dal confronto tra i due scenari (attuale e di sensibilità) emerge chiaramente che le modalità d'uso del digitale influenzano significativamente le prestazioni ambientali del libro misto di tipo b, soprattutto nelle categorie di impatto *cambiamento climatico (CC), tossicità umana non cancerogena (TU_{NC}), eutrofizzazione in acqua dolce (ED), ecotossicità acquatica (EC), consumo di risorse energetiche fossili (CR_E) e consumo di risorse minerali e metalli (CR_M).* In tali categorie, l'uso estremo del digitale comporterebbe un aumento complessivo degli impatti del libro di tipo b rispetto allo scenario attuale superiore al 50% e che raggiunge il 127% nella categoria di impatto di *eutrofizzazione in acqua dolce* e il 229% nella categoria *consumo di risorse, minerali e metalli* (Tabella 11).

Tabella 11. *Valore degli indicatori di impatto ambientale per unità funzionale in riferimento al ciclo di vita del libro ministeriale di tipo b nello scenario attuale (uso ridotto del digitale) e nello scenario di sensibilità (uso estremo del digitale). La Tabella riporta anche la variazione di impatto tra i due scenari calcolata come: (IMPATTO sensibilità - IMPATTO attuale) / IMPATTO attuale) * 100. Variazioni di impatto inferiori al 10% sono ritenute non significative.*

Categoria di impatto	Unità di misura	IMPATTI LIBRO b		Variazione di impatto rispetto allo scenario attuale
		Scenario attuale	Scenario sensibilità	
CC	kg CO_2 eq.	2,23	3,55	+59%
AO	kg CFC-11 eq.	$4,17\times10^{-7}$	$5,33\times10^{-7}$	+28%
FO	kg COVNM eq.	$7,77\times10^{-3}$	$1,06\times10^{-2}$	+36%
AP	Incidenza di malattia	$1,39\times10^{-7}$	$1,66\times10^{-7}$	+19%
TU_{NC}	CTUh	$2,69\times10^{-8}$	4,92×10-8	+82%
TU_C	CTUh	$1,48\times10^{-9}$	$2,05\times10^{-9}$	+39%
A	moli H^+ eq.	0,01	0,02	+46%
ED	kg P eq.	$6,90\times10^{-4}$	$1,57\times10^{-3}$	+127%
EM	kg N eq.	$3,24\times10^{-3}$	$4,48\times10^{-3}$	+38%
ET	moli N eq.	0,03	0,04	+34%
EC	CTUe	45,86	70,00	+53%
CS	Pt	143,35	147,78	+3%
CA	m^3 acqua	2,31	2,71	+17%
CR_E	MJ	31,54	50,16	+59%
CR_M	kg Sb eq.	$1,98\times10^{-5}$	$6,51\times10^{-5}$	+229%

Dall'analisi dei contributi dello scenario di sensibilità (Figura 15) emerge che il contributo del ciclo di vita dell'e-book, nelle condizioni di massimo sfruttamento del digitale, supera il 40% dell'impatto del libro ministeriale di tipo b in cinque categorie a causa delle seguenti motivazioni:

- categorie CC/ED e CR_E: impatti del digitale principalmente associati al consumo di elettricità per il trasferimento del file e per la successiva consultazione su dispositivo elettronico;
- TU_{NC} e CR_M: impatti del digitale prevalentemente legati alla produzione del dispositivo elettronico, in particolare alla produzione dello schermo a cristalli liquidi (TU_{NC}) e dei circuiti stampati (CR_M). Si specifica che questo risultato si ottiene nonostante gli impatti del dispositivo elettronico siano stati allocati su più funzioni e non esclusivamente alla fase di apprendimento.

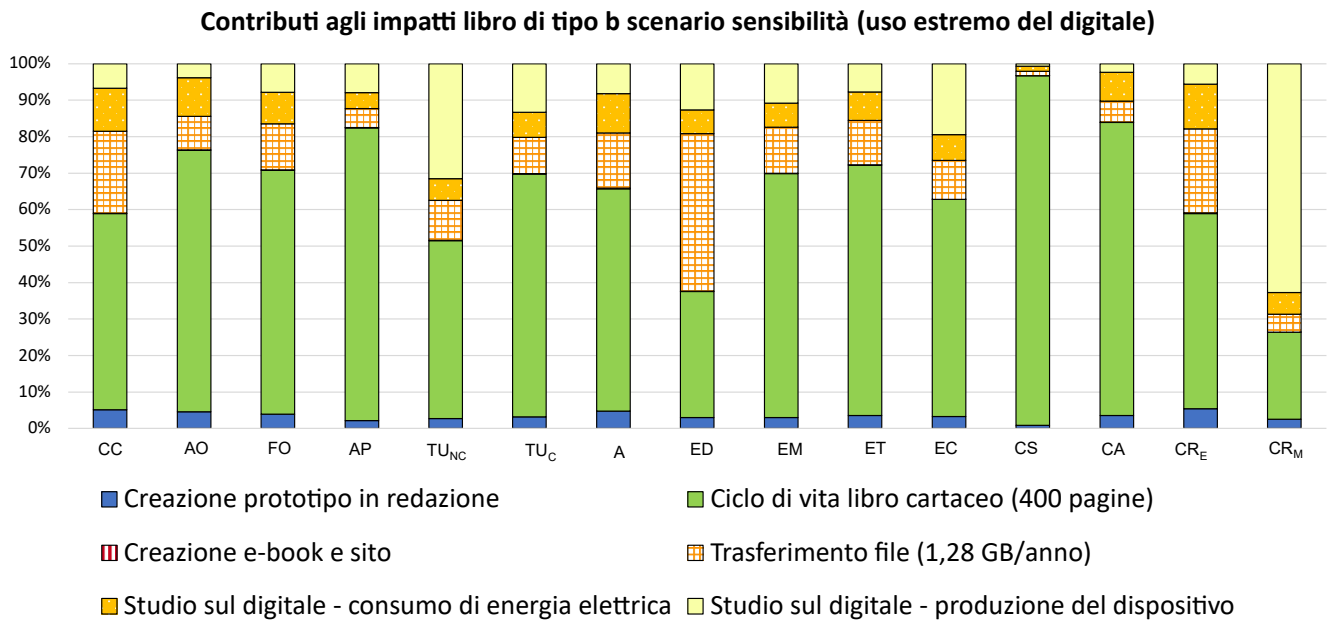


Figura 15. *Contributi agli impatti per lo scenario di sensibilità (uso estremo del digitale) con focus sul ciclo di vita dell'e-book.*

3.3 Confronto degli impatti tra il libro scolastico ministeriale di tipo b e di tipo c

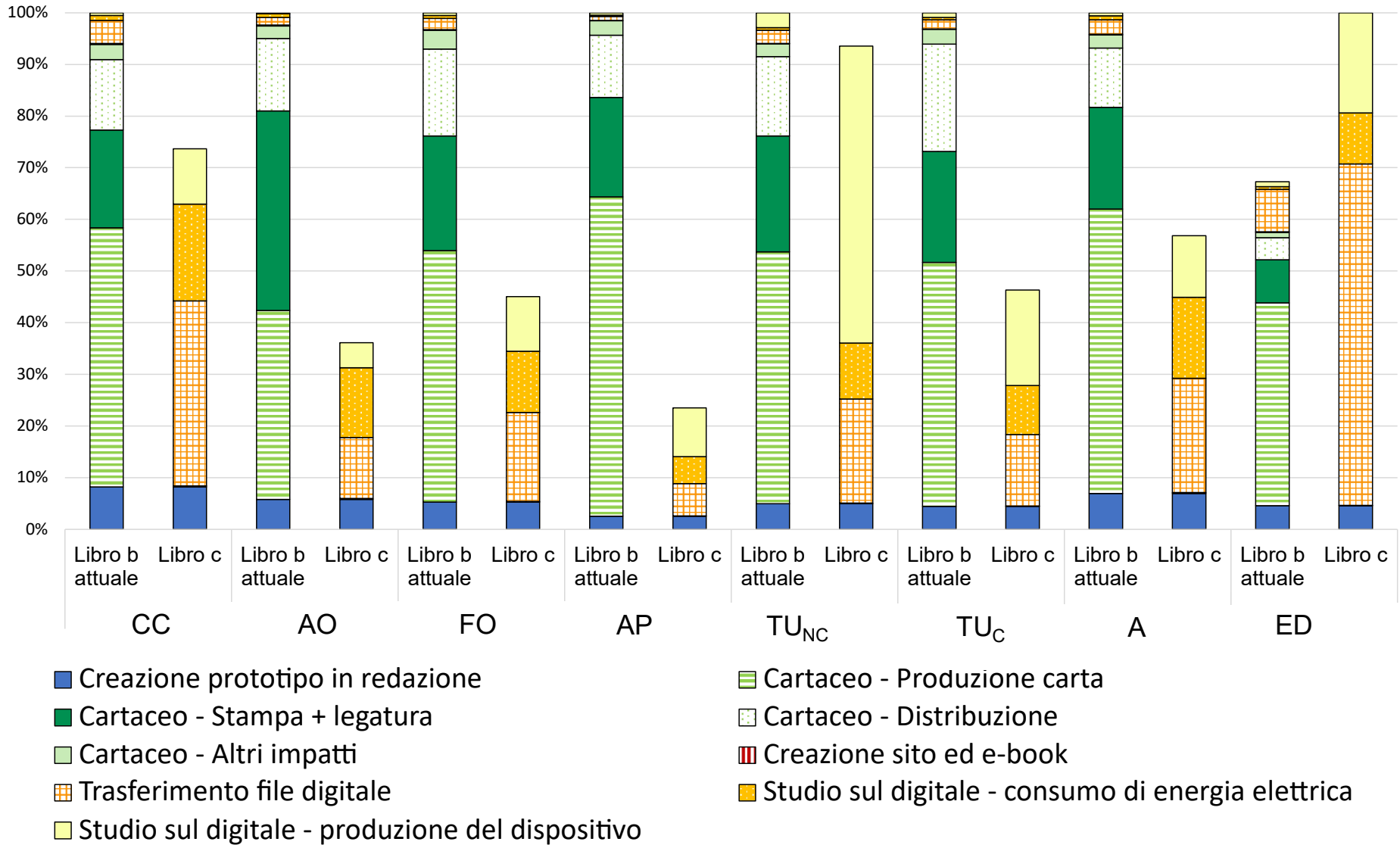
Una volta acquisita la consapevolezza degli impatti del digitale, è stato effettuato un confronto tra il ciclo di vita del libro ministeriale di tipo b nello scenario attuale (uso ridotto del digitale) e il libro ministeriale di tipo c, libro di testo in sola versione digitale. In tale confronto, le caratteristiche dell'e-book sono state mantenute inalterate tra le due tipologie di libri, supponendo che l'utente che usufruisce del libro di tipo c scarichi tutto il materiale (1,28 GB/anno) e lo consulti per 60 ore/anno, non avendo a disposizione una copia cartacea.

Come visibile in Tabella 12, gli impatti generati dal libro ministeriale c sono minori di quelli determinati dal libro misto b (scenario attuale) in 12 su 15 categorie di impatto, con riduzioni comprese tra il -26% (categorie *cambiamento climatico* - *CC* e *consumo di risorse energetiche fossili* - CR_E) e il -96% (categoria *consumo di suolo*). Nella sola categoria di impatto *tossicità umana non cancerogena* (TU_{NC}) gli impatti dei due libri sono confrontabili, mentre in due categorie di impatto (*eutrofizzazione in acqua dolce* - *ED* e *consumo di risorse, minerali e metalli* - CR_M) il libro ministeriale di tipo c presenta prestazioni significativamente peggiori. La Figura 16 riporta il confronto dell'analisi dei contributi delle due tipologie di prodotti editoriali.

Tabella 12. *Valore degli indicatori di impatto ambientale per unità funzionale in riferimento al ciclo di vita del libro ministeriale di tipo b (scenario attuale) e al ciclo di vita del libro c. La Tabella riporta anche la variazione di impatto tra i due scenari calcolata come: (IMPATTO libro c - IMPATTO libro b) / IMPATTO libro b) * 100. Variazioni di impatto inferiori al 10% sono ritenute non significative.*

Categoria di impatto	**Unità di misura**	**IMPATTI LIBRO**		**Variazione di impatto del libro c rispetto al libro b (scenario attuale)**
		Libro b scenario attuale	**Libro c**	
CC	kg CO_2 eq.	2,23	1,64	-26%
AO	kg CFC-11 eq.	$4{,}17\times10^{-7}$	$1{,}51\times10^{-7}$	-64%
FO	kg COVNM eq.	$7{,}77\times10^{-3}$	$3{,}50\times10^{-3}$	-55%
AP	Incidenza di malattia	$1{,}39\times10^{-7}$	$3{,}28\times10^{-8}$	-76%
TU_{NC}	CTUh	$2{,}69\times10^{-8}$	$2{,}52\times10^{-8}$	-6%
TU_C	CTUh	$1{,}48\times10^{-9}$	$6{,}86\times10^{-10}$	-54%
A	moli H^+ eq.	0,01	$6{,}72\times10^{-3}$	-43%
ED	kg P eq.	$6{,}90\times10^{-4}$	$1{,}02\times10^{-3}$	+49%
EM	kg N eq.	$3{,}24\times10^{-3}$	$1{,}48\times10^{-3}$	-54%
ET	moli N eq.	0,03	$1{,}30\times10^{-2}$	-58%
EC	CTUe	45,86	28,34	-38%
CS	Pt	143,35	6,13	-96%
CA	m^3 acqua	2,31	$5{,}33\times10^{-1}$	-77%
CR_E	MJ	31,54	23,31	-26%
CR_M	kg Sb eq.	$1{,}98\times10^{-5}$	$4{,}96\times10^{-5}$	+150%

A


100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
Libro b attuale
Libro c
CC
AO
FO
AP
TU$_{NC}$
TU$_{C}$
A
ED
Creazione prototipo in redazione
Cartaceo - Stampa + legatura
Cartaceo - Altri impatti
Trasferimento file digitale
Studio sul digitale - produzione del dispositivo
Cartaceo - Produzione carta
Cartaceo - Distribuzione
Creazione sito ed e-book
Studio sul digitale - consumo di energia elettrica

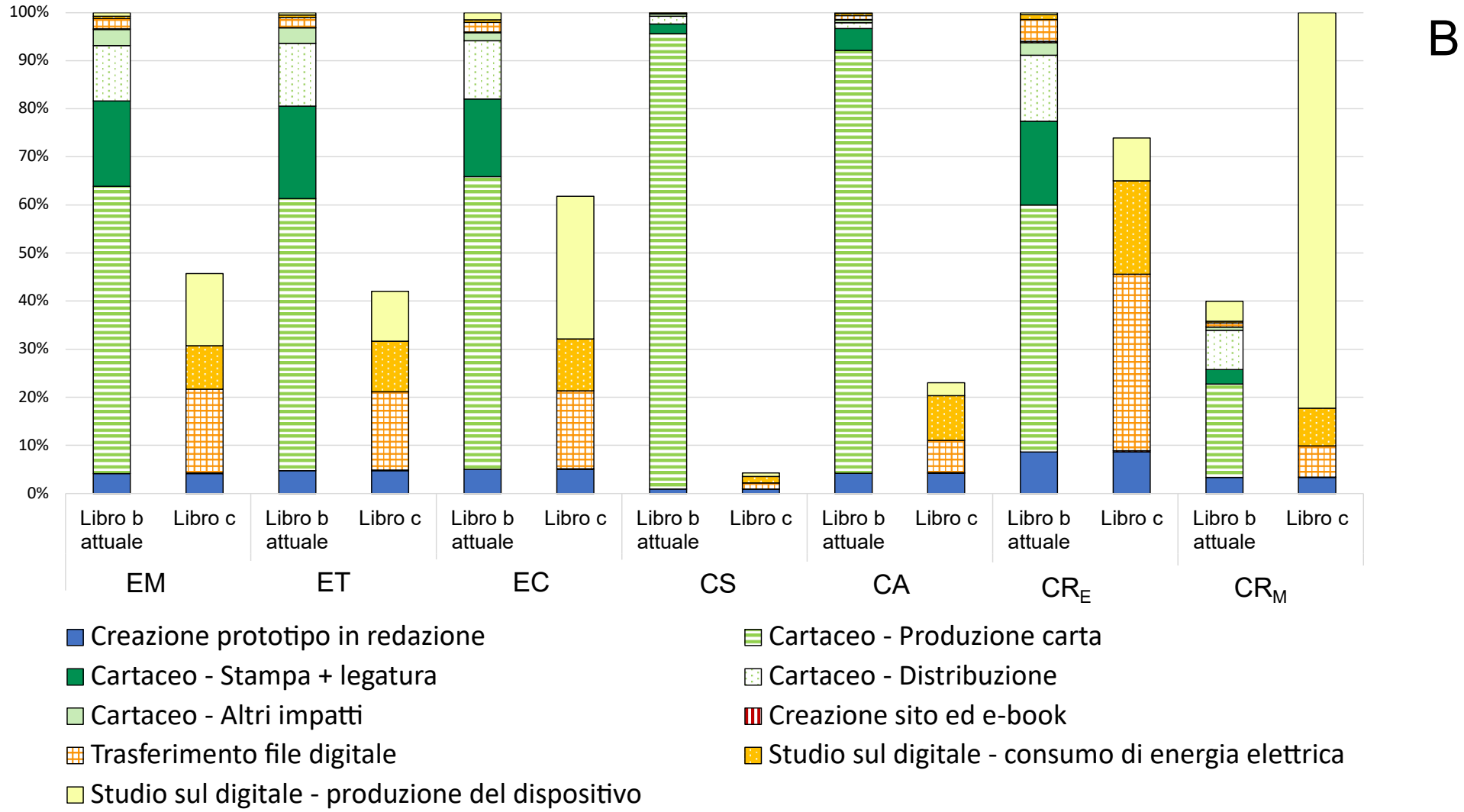


Figura 16. *Confronto dell'analisi dei contributi per lo scenario attuale legato al libro ministeriale di tipo b e lo scenario associato al ciclo di vita del libro c (in sola modalità digitale). Figura A: focus sui contributi delle categorie CC, AO, FO, AP, TU_{NC}, TU_C, A, ED. Figura B: focus sui contributi delle categorie EM, ET, EC, CS, CA, CR_E, CR_M.*

3.4 Approfondimento su alcune categorie di impatto

Al fine della pubblicazione dello studio su ampia scala, il Gruppo Zanichelli ha espresso la necessità di selezionare, tra le 15 categorie di impatto, quelle che fossero sia di semplice comprensione per un pubblico eterogeneo che significative in termini di impatti generati dal prodotto editoriale in esame.
In accordo con tale richiesta, il gruppo di lavoro ha selezionato le categorie di impatto *cambiamento climatico* (CC), *assunzione di materiale particolato* (AP) e *consumo di risorse, minerali e metalli* (CR_M) coerentemente con le seguenti motivazioni:

- sono tra le categorie con maggiore impatto ambientale in riferimento ai risultati normalizzati e pesati (riportati per esteso nell'Appendice B) in accordo con le più recenti indicazioni della Commissione Europea (Fazio et al., 2018);
- sono categorie che coprono tutte le aree di impatto (ambiente naturale, salute umana e consumo di risorse);
- si tratta di categorie che fanno riferimento a problematiche ambientali abbastanza note ad un pubblico eterogeneo;
- sono categorie che registrano dei comportamenti differenti in termini di impatto in relazione alle modalità d'uso del digitale.

Per queste categorie di impatto, si riportano nelle Figure da 17 a 19 i valori di impatto totali e le analisi dei contributi per tre scenari legati al libro ministeriale di tipo b, definiti in relazione alle diverse modalità d'uso del digitale (uso ridotto, transizione ed estremo), e per uno scenario del libro scolastico in sola modalità digitale (libro di tipo c).
Nelle medesime Figure, per semplificare la comprensione degli impatti assoluti del sistema analizzato, compare anche un confronto con gli impatti legati a due azioni quotidiane (consumo di mele e trasporto con auto). Le fonti di tali impatti sono di seguito riportate ed è stato verificato che i modelli di caratterizzazione usati per il calcolo siano gli stessi del presente studio (Tabella 3):

- impatto del ciclo di vita di una mela - certificazione ambientale EPD Assomela (disponibile qui);
- impatto del trasporto in auto - dataset di ecoinvent 3.6 *Transport, passenger car, small size, petrol, EURO 3 {RER}*.

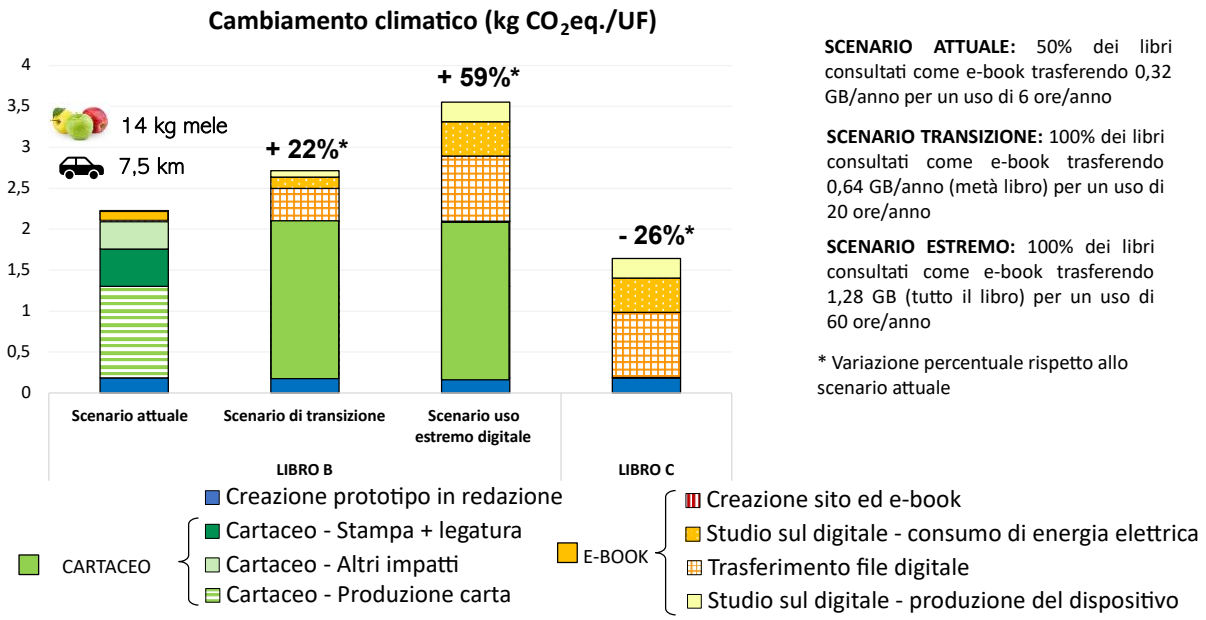


Figura 17. *Impatto totale e analisi dei contributi della categoria cambiamento climatico per tre scenari legati al libro ministeriale di tipo b (uso ridotto, transizione ed estremo del digitale) e di uno scenario del libro scolastico in sola modalità digitale (libro di tipo c).*

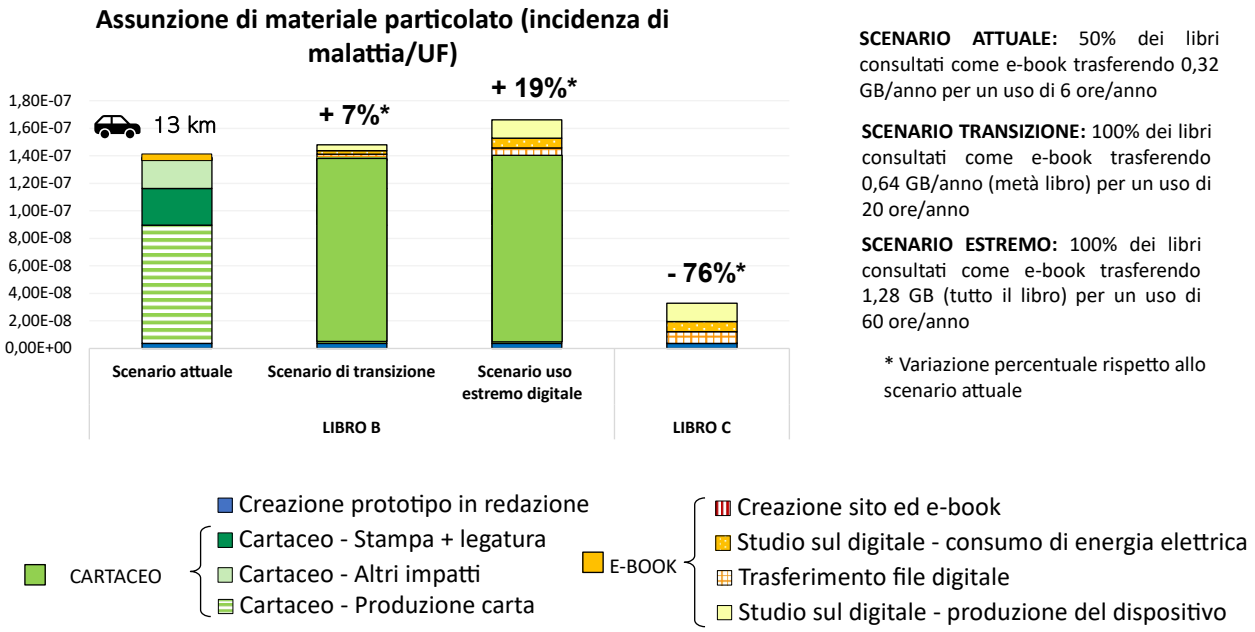


Figura 18. *Impatto totale e analisi dei contributi della categoria assunzione di materiale particolato per tre scenari legati al libro ministeriale di tipo b (uso ridotto, transizione ed estremo del digitale) e di uno scenario del libro scolastico in sola modalità digitale (libro di tipo c).*

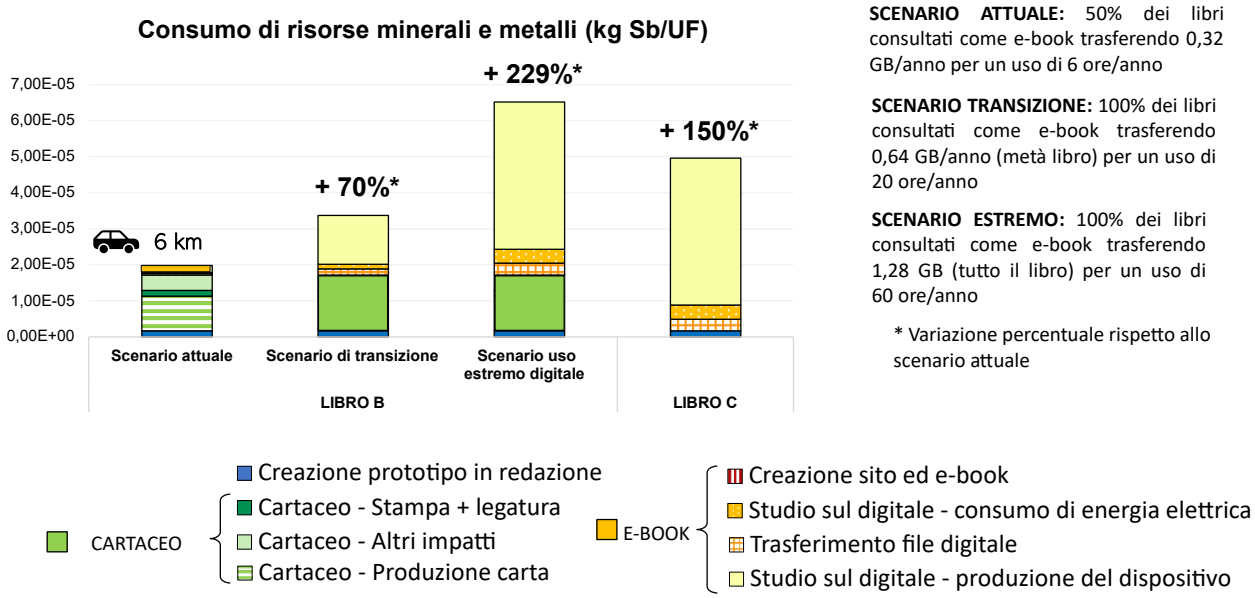


Figura 19. *Impatto totale e analisi dei contributi della categoria consumo di risorse, minerali e metalli per tre scenari legati al libro ministeriale di tipo b (uso ridotto, transizione ed estremo del digitale) e di uno scenario del libro scolastico in sola modalità digitale (libro di tipo c).*

Conclusioni dello studio e raccomandazioni

In questo studio è stata effettuata una valutazione quantitativa degli impatti ambientali associati all'intera filiera produttiva, distributiva e d'uso del libro scolastico medio di tipo b commercializzato dal gruppo editoriale Zanichelli e così composto:

- un volume cartaceo di 400 pagine caratterizzato da un peso di 860 grammi;
- un e-book multimediale contenente tutte le pagine del libro cartaceo, oltre che esercizi interattivi, video e animazioni.

Lo studio è stato svolto con l'obiettivo principale di scattare una prima fotografia conoscitiva dei carichi ambientali del prodotto editoriale Zanichelli, sia in termini di impatti complessivi che di contributi delle diverse fasi, funzionale a individuare i margini di miglioramento e definire strategie di sostenibilità ambientale nel breve-medio periodo. Particolare attenzione è stata posta sul prodotto digitale (e-book), sia perché in espansione, sia perché i carichi ambientali associati a esso sono fortemente influenzati dalle modalità d'uso da parte dell'utente, differenziandosi fortemente in questo dal prodotto cartaceo.

L'analisi degli impatti ha incluso tutte le fasi e i processi coinvolti nell'intero sistema produttivo, distributivo e d'uso del prodotto editoriale di riferimento. Per ciascuna fase, sono stati raccolti dati primari dal gruppo editoriale per l'anno 2019, successivamente completati con dati di letteratura recenti e relativi al contesto europeo.

La valutazione ambientale ha incluso 15 categorie di impatto, di cui 8 associate all'impatto sull'ambiente naturale, 3 all'impatto sulla salute umana e 4 all'impatto sull'esaurimento di risorse, con l'intento di includere il più ampio spettro di problematiche potenzialmente causate dal prodotto. Gli indicatori di impatto associati a queste categorie sono stati calcolati in accordo con il metodo di

caratterizzazione *Environmental Footprint* (Fazio et al., 2018), sviluppato e raccomandato dalla Commissione Europea.
I risultati dello studio mostrano che gli impatti ambientali del libro scolastico Zanichelli di tipo b nello scenario attuale d'uso del digitale (trasferimento di un ottavo del libro e 5% del tempo complessivo di apprendimento) sono principalmente associati al ciclo di vita del libro cartaceo, soprattutto alla sua fase realizzativa, prioritariamente per la produzione di carta patinata vergine (richiesta nella quantità di 1,02 kg per libro).
Attualmente le potenzialità dell'e-book sono poco sfruttate e di conseguenza il suo carico ambientale risulta ridotto, con un contributo sul ciclo di vita sempre inferiore al 15% dell'impatto totale del prodotto editoriale in tutte le 15 categorie. Gli impatti dell'e-book sono tuttavia strettamente dipendenti dalle modalità d'uso dell'utente, ossia dalla quantità di materiale effettivamente trasferito (in termini di Gigabyte) e dalle ore di studio dedicate all'apprendimento su dispositivo elettronico.
Utilizzando il digitale al massimo delle sue potenzialità (trasferimento di tutto il materiale e sua consultazione per il 100% del tempo dedicato allo studio) gli impatti complessivi del libro ministeriale di tipo b subiscono un aumento importante, oscillante tra il + 17% e il +229% a seconda della categoria di impatto osservata. Questo perché un e-book, pur non richiedendo un trasporto fisico su strada, deve essere comunque trasferito all'utente per via digitale con un conseguente consumo di energia elettrica (1,5 kWh/GB); la sua consultazione richiede, inoltre, l'uso di un dispositivo elettronico, la cui produzione, seppur allocata tra diverse funzioni, impatta significativamente in determinate categorie a causa dell'acquisizione di materie prime quali acciaio e metalli preziosi.
Acquisita la consapevolezza degli impatti ambientali dell'e-book, si è ritenuto rilevante comprendere tramite lo studio come varierebbero gli impatti dell'editoria scolastica se il mercato si spostasse dal prodotto misto (cartaceo + digitale) al prodotto nella sola versione digitale (libro ministeriale c).
Ipotizzando che il materiale digitale mantenga le stesse caratteristiche nei due prodotti, gli impatti generati dal libro ministeriale c sarebbero minori di quelli generati dal libro misto nello scenario attuale in 12 su 15 categorie di impatto, confrontabili in 1 categoria (*tossicità umana non cancerogena*) e maggiori in 2 categorie (*eutrofizzazione in acqua dolce* e *consumo di risorse, minerali e metalli*).

In termini di raccomandazioni, avendo rilevato che attualmente gran parte degli impatti del prodotto Zanichelli sono associati alla realizzazione del libro cartaceo, si suggerisce al gruppo editoriale di valutare la fattibilità tecnica ed economica delle seguenti soluzioni migliorative in termini di impatti ambientali:

- ridurre la richiesta di carta a parità di copie di libri prodotte (es. riduzione degli scarti prodotti nei processi di stampa e legatura, riduzione del formato del libro, riduzione della grammatura della carta e riduzione del peso della copertina);
- valutare l'utilizzo di tipologie di carta che possano potenzialmente essere ambientalmente più sostenibili;
- ridurre la distanza di approvvigionamento della carta (al momento pari a una media di 700 km) ed effettuare la scelta dei fornitori, sia in termini di cartiere che di aziende grafiche per la stampa, anche sulla base di criteri di sostenibilità ambientale (fornitori virtuosi in termini di mix energetico adottato e di uso dei reagenti chimici).

Per quanto riguarda invece il prodotto digitale, gran parte degli impatti sono legati al comportamento dell'utente, non direttamente controllabile dal gruppo Zanichelli. Tuttavia, la casa editrice potrebbe promuovere dei programmi educativi per gli studenti in modo da diffondere la consapevolezza dell'impatto ambientale "nascosto" legato all'uso del digitale tramite, ad esempio, la proposta di esercizi didattici in cui l'alunno possa valutare il proprio carico ambientale sulla base dei comportamenti adottati sia per lo studio che per l'uso generico dei dispositivi elettronici.
Oltre a queste strategie di medio e lungo termine, Zanichelli potrebbe attuare in parallelo delle politiche di compensazione variabili nel tempo per neutralizzare le emissioni residue inevitabili.

Da ultimo si sottolinea come lo studio svolto rappresenti la base per una certificazione di prodotto secondo le norme tecniche ISO 14020 e ISO 14025.

Bibliografia

Achachlouei M.A., Moberg Å., Hochschorner E. (2015). *Life Cycle Assessment of a magazine, Part I: Tablet edition in emerging and mature states*. Journal of Industrial Ecology, 19 (4): 575-589. DOI: 10.1111/jiec.12227

Assomela, Associazione Italiana Produttori di Mele (2020). *Environmental Product Declaration Italian Apples*. Registration number S-P-00369. Disponibile online qui

Automobile Club d'Italia - ACI (2020). *Autoritratto 2019*. Disponibile online qui

Comieco - Consorzio Nazionale per il Recupero e il Riciclo degli Imballaggi a base Cellulosica (2021). *26° Rapporto - Raccolta, riciclo e recupero di carta e cartone*. *Dati anno 2020*. Disponibile online qui

Conai - Consorzio Nazionale Imballaggi (2017). *Indagine sulle pratiche di riutilizzo dei pallet in legno*. Disponibile online qui: http://www.conai.org/wp-content/uploads/2020/05/Relazione_Riutilizzo_pallet.pdf

European Commission, EC (2013). *Commission recommendation of 9 April 2013 on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations (2013/179/EU)*. Official Journal of the European Union L124/1

Fazio S., Biganzioli F., De Laurentiis V., Zampori L., Sala S., Diaconu E. (2018). *Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods. Version 2 from ILCD to EF 3.0*. JRC Technical Reports. ISBN 978-92-79-98584-3 Disponibile online: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/TR_SupportingCF_FINAL.pdf

Il Sole 24 Ore (2018). *Ci sono 4,3 milioni di italiani senza internet. Ecco chi sono i disconnessi?* Tecnologia Info Data. Disponibile online qui

International Organization for Standardization - ISO (2001). *Environmental labels and declarations - General principles.* (ISO 14020:2001+ Amd1:2002)

ISO (2006a). *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework* (ISO 14040:2006+ Amd1:2020)

ISO (2006b). *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines* (ISO 14044:2006+Amd1:2017+Amd2:2020)

ISO (2006c). *Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures* (ISO 14025:2006+Amd1:2010)

Malmodin J., Lundén D., Moberg Å, Andersson G., Nilsson M. (2014). *Life cycle assessment of ICT. Carbon Footprint and operational electricity use from the operator, national, and subscriber perspective in Sweden*. Journal of Industrial Ecology 18(6): 829-845. DOI: 10.1111/jiec.12145

Politecnico di Milano, Osservatorio eCommerce B2c (2019). *Report sulla sostenibilità ambientale nell'e-commerce B2C*. Disponibile qui

Statista (2021a). *Average lifespan (replacement cycle length of consumer tablets in the United States from 2018 to 2025*. Disponibile online qui

Statista (2021b). *Average lifetime of normal and robust notebooks regarding end users of U.S. companies (in months)*. Disponibile online qui

Statista (2021c). *Average lifespan (replacement cycle length) of consumer desktop PCs in the United States from 2018 to 2025*. Disponibile online qui

Suhr M., Klein G., Kourti I., Gonzalo M.R., Santonja G.G., Roudier S., Sancho L.D. (2015). *Best Available Techniques (BAT) reference document for the production of pulp, paper and board.* European commission, Joint Research Centre (JRC). ISBN: 978-92-79-48167-3. Disponibile online: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC95678

The International EPD® System (2017). *Bottled waters, not sweetened or flavoured, product category rules (PCR) 2010:11, version 3.0*.

The International EPD® System (2019). *General Programme Instructions. Versione 3.01*. Disponibile online qui

Zampori L. & Pant R (2019). *Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method*. Disponibile online: https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/suggestions-updating-product-environmental-footprint-pef-method

Appendice A - Impatti ambientali potenziali per singola fase della filiera del libro b Zanichelli

Tabella A.1. Impatti ambientali potenziali dello scenario attuale del ciclo di vita del libro ministeriale Zanichelli tipo b ripartiti tra le principali fasi coinvolte nella filiera. I valori sono forniti per unità funzionale. Trasferimento e-book: 0,16 GB/anno; studio sul digitale: 3 ore/anno.

Categoria di impatto	Unità di misura	Redazione prototipo	Ciclo di vita libro cartaceo					Ciclo di vita e-book			
			Produzione carta	Stampa + legatura	Magazzino	Distribuzione (propaganda + vendita)	Fine vita	Creazione e-book e sito	Trasferimento	Consumo elettrico dispositivo	Produzione dispositivo
CC	kg CO_2 eq.	0,18	1,12	0,42	$4{,}24\times10^{-2}$	0,30	$2{,}18\times10^{-2}$	$4{,}96\times10^{-3}$	0,10	0,021	0,012
AO	kg CFC11 eq.	$2{,}43\times10^{-8}$	$1{,}53\times10^{-7}$	$1{,}61\times10^{-7}$	$6{,}87\times10^{-9}$	$5{,}87\times10^{-8}$	$3{,}26\times10^{-9}$	$6{,}75\times10^{-10}$	$6{,}16\times10^{-9}$	$2{,}82\times10^{-9}$	$1{,}01\times10^{-9}$
FO	kg COVNM eq.	$4{,}14\times10^{-4}$	$3{,}78\times10^{-3}$	$1{,}72\times10^{-3}$	$1{,}80\times10^{-4}$	$1{,}31\times10^{-3}$	$1{,}00\times10^{-4}$	$1{,}06\times10^{-5}$	$1{,}67\times10^{-4}$	$4{,}59\times10^{-5}$	$4{,}13\times10^{-5}$
AP	inc. malattia	$3{,}58\times10^{-9}$	$8{,}60\times10^{-8}$	$2{,}67\times10^{-8}$	$2{,}33\times10^{-9}$	$1{,}68\times10^{-8}$	$1{,}56\times10^{-9}$	$7{,}66\times10^{-11}$	$1{,}09\times10^{-9}$	$3{,}65\times10^{-10}$	$6{,}56\times10^{-10}$
TU_{NC}	CTUh	$1{,}35\times10^{-9}$	$1{,}31\times10^{-8}$	$6{,}04\times10^{-9}$	$4{,}13\times10^{-10}$	$4{,}13\times10^{-9}$	$2{,}56\times10^{-10}$	$2{,}42\times10^{-11}$	$6{,}78\times10^{-10}$	$1{,}46\times10^{-10}$	$7{,}74\times10^{-10}$
TU_C	CTUh	$6{,}64\times10^{-11}$	$6{,}99\times10^{-10}$	$3{,}17\times10^{-10}$	$1{,}87\times10^{-11}$	$3{,}08\times10^{-10}$	$2{,}36\times10^{-11}$	$1{,}08\times10^{-12}$	$2{,}56\times10^{-11}$	$7{,}04\times10^{-12}$	$1{,}37\times10^{-11}$
A	moli H^+ eq.	$8{,}25\times10^{-4}$	$6{,}50\times10^{-3}$	$2{,}33\times10^{-3}$	$2{,}10\times10^{-4}$	$1{,}36\times10^{-3}$	$8{,}58\times10^{-5}$	$2{,}16\times10^{-5}$	$3{,}27\times10^{-4}$	$9{,}25\times10^{-5}$	$7{,}04\times10^{-5}$
ED	kg P eq.	$4{,}71\times10^{-5}$	$4{,}02\times10^{-4}$	$8{,}58\times10^{-5}$	$8{,}46\times10^{-6}$	$4{,}32\times10^{-5}$	$2{,}20\times10^{-6}$	$1{,}08\times10^{-6}$	$8{,}45\times10^{-5}$	$5{,}07\times10^{-6}$	$9{,}94\times10^{-6}$
EM	kg N eq.	$1{,}34\times10^{-4}$	$1{,}94\times10^{-3}$	$5{,}75\times10^{-4}$	$6{,}97\times10^{-5}$	$3{,}75\times10^{-4}$	$3{,}95\times10^{-5}$	$3{,}41\times10^{-6}$	$7{,}06\times10^{-5}$	$1{,}47\times10^{-5}$	$2{,}43\times10^{-5}$
ET	moli N eq.	$1{,}48\times10^{-3}$	$1{,}76\times10^{-2}$	$5{,}97\times10^{-3}$	$6{,}67\times10^{-4}$	$4{,}06\times10^{-3}$	$3{,}20\times10^{-4}$	$3{,}78\times10^{-5}$	$6{,}31\times10^{-4}$	$1{,}63\times10^{-4}$	$1{,}61\times10^{-4}$
EC	CTUe	2,30	27,92	7,40	$5{,}03\times10^{-1}$	5,57	$2{,}63\times10^{-1}$	$4{,}64\times10^{-2}$	0,93	0,25	0,68
CS	Pt	1,31	135,81	2,85	$5{,}63\times10^{-1}$	2,30	$1{,}39\times10^{-1}$	$1{,}27\times10^{-2}$	0,23	$9{,}85\times10^{-2}$	$5{,}22\times10^{-2}$
CA	m^3	0,10	2,03	0,10	$1{,}17\times10^{-2}$	$2{,}72\times10^{-2}$	$1{,}63\times10^{-3}$	$2{,}51\times10^{-3}$	$1{,}94\times10^{-2}$	$1{,}07\times10^{-2}$	$3{,}15\times10^{-3}$
CR_E	MJ	2,72	16,19	5,50	$5{,}97\times10^{-1}$	4,33	$2{,}32\times10^{-1}$	$7{,}36\times10^{-2}$	1,45	0,31	0,14
CR_M	kg Sb eq.	$1{,}66\times10^{-6}$	$9{,}61\times10^{-6}$	$1{,}49\times10^{-6}$	$1{,}45\times10^{-7}$	$4{,}06\times10^{-6}$	$2{,}05\times10^{-7}$	$1{,}02\times10^{-8}$	$4{,}05\times10^{-7}$	$1{,}93\times10^{-7}$	$2{,}04\times10^{-6}$

Tabella A.2. Impatti ambientali potenziali dello scenario di sensibilità del ciclo di vita del libro ministeriale Zanichelli tipo b ripartiti tra le principali fasi coinvolte nella filiera. I valori sono forniti per unità funzionale. Trasferimento e-book: 1,28 GB/anno; studio sul digitale: 60 ore/anno.

Categoria di impatto	Unità di misura	Redazione prototipo	Ciclo di vita libro cartaceo					Ciclo di vita e-book			
			Produzione carta	Stampa + legatura	Magazzino	Distribuzione (propaganda + vendita)	Fine vita	Creazione e-book e sito	Trasferimento	Consumo elettrico dispositivo	Produzione dispositivo
CC	kg CO_2 eq.	0,18	1,12	0,42	$4{,}24\times10^{-2}$	0,30	$2{,}18\times10^{-2}$	$4{,}96\times10^{-3}$	0,80	0,42	0,24
AO	kg CFC11 eq.	$2{,}43\times10^{-8}$	$1{,}53\times10^{-7}$	$1{,}61\times10^{-7}$	$6{,}87\times10^{-9}$	$5{,}87\times10^{-8}$	$3{,}26\times10^{-9}$	$6{,}75\times10^{-10}$	$4{,}93\times10^{-8}$	$5{,}64\times10^{-8}$	$2{,}03\times10^{-8}$
FO	kg COVNM eq.	$4{,}14\times10^{-4}$	$3{,}78\times10^{-3}$	$1{,}72\times10^{-3}$	$1{,}80\times10^{-4}$	$1{,}31\times10^{-3}$	$1{,}00\times10^{-4}$	$1{,}06\times10^{-5}$	$1{,}34\times10^{-3}$	$9{,}17\times10^{-4}$	$8{,}25\times10^{-4}$
AP	inc. malattia	$3{,}58\times10^{-9}$	$8{,}60\times10^{-8}$	$2{,}67\times10^{-8}$	$2{,}33\times10^{-9}$	$1{,}68\times10^{-8}$	$1{,}56\times10^{-9}$	$7{,}66\times10^{-11}$	$8{,}68\times10^{-9}$	$7{,}30\times10^{-9}$	$1{,}31\times10^{-8}$
TU_{NC}	CTUh	$1{,}35\times10^{-9}$	$1{,}31\times10^{-8}$	$6{,}04\times10^{-9}$	$4{,}13\times10^{-10}$	$4{,}13\times10^{-9}$	$2{,}56\times10^{-10}$	$2{,}42\times10^{-11}$	$5{,}42\times10^{-9}$	$2{,}91\times10^{-9}$	$1{,}55\times10^{-8}$
TU_C	CTUh	$6{,}64\times10^{-11}$	$6{,}99\times10^{-10}$	$3{,}17\times10^{-10}$	$1{,}87\times10^{-11}$	$3{,}08\times10^{-10}$	$2{,}36\times10^{-11}$	$1{,}08\times10^{-12}$	$2{,}05\times10^{-10}$	$1{,}41\times10^{-10}$	$2{,}73\times10^{-10}$
A	moli H^+ eq.	$8{,}25\times10^{-4}$	$6{,}50\times10^{-3}$	$2{,}33\times10^{-3}$	$2{,}10\times10^{-4}$	$1{,}36\times10^{-3}$	$8{,}58\times10^{-5}$	$2{,}16\times10^{-5}$	$2{,}61\times10^{-3}$	$1{,}85\times10^{-3}$	$1{,}41\times10^{-3}$
ED	kg P eq.	$4{,}71\times10^{-5}$	$4{,}02\times10^{-4}$	$8{,}58\times10^{-5}$	$8{,}46\times10^{-6}$	$4{,}32\times10^{-5}$	$2{,}20\times10^{-6}$	$1{,}08\times10^{-6}$	$6{,}76\times10^{-4}$	$1{,}01\times10^{-4}$	$1{,}99\times10^{-4}$
EM	kg N eq.	$1{,}34\times10^{-4}$	$1{,}94\times10^{-3}$	$5{,}75\times10^{-4}$	$6{,}97\times10^{-5}$	$3{,}75\times10^{-4}$	$3{,}95\times10^{-5}$	$3{,}41\times10^{-6}$	$5{,}64\times10^{-4}$	$2{,}95\times10^{-4}$	$4{,}85\times10^{-4}$
ET	moli N eq.	$1{,}48\times10^{-3}$	$1{,}76\times10^{-2}$	$5{,}97\times10^{-3}$	$6{,}67\times10^{-4}$	$4{,}06\times10^{-3}$	$3{,}20\times10^{-4}$	$3{,}78\times10^{-5}$	$5{,}05\times10^{-3}$	$3{,}27\times10^{-3}$	$3{,}21\times10^{-3}$
EC	CTUe	2,30	27,92	7,40	$5{,}03\times10^{-1}$	5,57	$2{,}63\times10^{-1}$	$4{,}64\times10^{-2}$	7,44	4,93	13,62
CS	Pt	1,31	135,81	2,85	$5{,}63\times10^{-1}$	2,30	$1{,}39\times10^{-1}$	$1{,}27\times10^{-2}$	1,80	1,97	1,04
CA	m^3	0,10	2,03	0,10	$1{,}17\times10^{-2}$	$2{,}72\times10^{-2}$	$1{,}63\times10^{-3}$	$2{,}51\times10^{-3}$	0,16	$2{,}15\times10^{-1}$	$6{,}30\times10^{-2}$
CR_E	MJ	2,72	16,19	5,50	$5{,}97\times10^{-1}$	4,33	$2{,}32\times10^{-1}$	$7{,}36\times10^{-2}$	11,58	6,15	2,79
CR_M	kg Sb eq.	$1{,}66\times10^{-6}$	$9{,}61\times10^{-6}$	$1{,}49\times10^{-6}$	$1{,}45\times10^{-7}$	$4{,}06\times10^{-6}$	$2{,}05\times10^{-7}$	$1{,}02\times10^{-8}$	$3{,}24\times10^{-6}$	$3{,}87\times10^{-6}$	$4{,}08\times10^{-5}$

Appendice B - Impatti ambientali aggregati della filiera Zanichelli (dopo normalizzazione e pesatura)

Tabella 4.10. Valore di impatto ambientale aggregato (dopo normalizzazione e pesatura) per la filiera del libro ministeriale di tipo b nello scenario attuale e di sensibilità e per la filiera del libro digitale di tipo c. I valori di impatto sono stati calcolati in accordo con i fattori di normalizzazione e di pesatura del metodo EF versione 3.0 (Fazio et al., 2018). La Tabella riporta il contributo all'impatto aggregato di ciascuna categoria, evidenziando in rosso quelle dove supera il 5%.

Categoria di impatto	**Impatti ciclo di vita del libro Zanichelli misto di tipo b (µPt/UF)**		**Impatti ciclo di vita del libro Zanichelli digitale libro c (µPt/UF)**
	Scenario attuale uso ridotto digitale	**Scenario di sensibilità uso estremo digitale**	
Cambiamento climatico - CC	**57,98 (23,5%)**	**92,34 (22,5%)**	**37,94 (21,3%)**
Assottigliamento strato d'ozono - AO	0,49 (0,2%)	0,63 (0,2%)	0,15 (0,1%)
Radiazioni ionizzanti - RI	2,33 (0,9%)	4,48 (1,1%)	2,40 (1,3%)
Formazione di ozono fotochimico - FO	9,15 (3,7%)	12,47 (3,0%)	3,64 (2,0%)
Assunzione di materiale particolato - AP	**20,93 (8,5%)**	**25,00 (6,1%)**	4,39 (2,5%)
Tossicità umana non cancerogena - TU_{NC}	2,16 (0,9%)	3,94 (1,0%)	1,91 (1,1%)
Tossicità umana cancerogena - TU_C	1,87 (0,8%)	2,59 (0,6%)	0,78 (0,4%)
Acidificazione - A	**13,19 (5,3%)**	**19,20 (4,7%)**	6,58 (3,7%)
Eutrofizzazione in acqua dolce - ED	12,02 (4,9%)	**27,30 (6,6%)**	**17,03 (9,6%)**
Eutrofizzazione marina - EM	4,91 (2,0%)	6,78 (1,7%)	2,04 (1,1%)
Eutrofizzazione terrestre - ET	6,52 (2,6%)	8,74 (2,1%)	2,43 (1,4%)
Ecotossicità acquatica - EC	**20,63 (8,3%)**	**31,49 (7,7%)**	**11,72 (6,6%)**
Consumo di suolo - CS	**13,89 (5,6%)**	14,32 (3,5%)	0,47 (0,3%)
Consumo di risorsa idrica - CA	**17,15 (6,9%)**	20,12 (4,9%)	3,23 (1,8%)
Consumo di risorse energetiche CR_E	**40,36 (16,3%)**	**64,19 (15,6%)**	**26,35 (14,8%)**
Consumo di risorse, minerali e metalli CR_M	**23,52 (9,5%)**	**77,27 (18,8%)**	**56,90 (32,8%)**
Totale	247,07 (100%)	410,83 (100%)	177,95