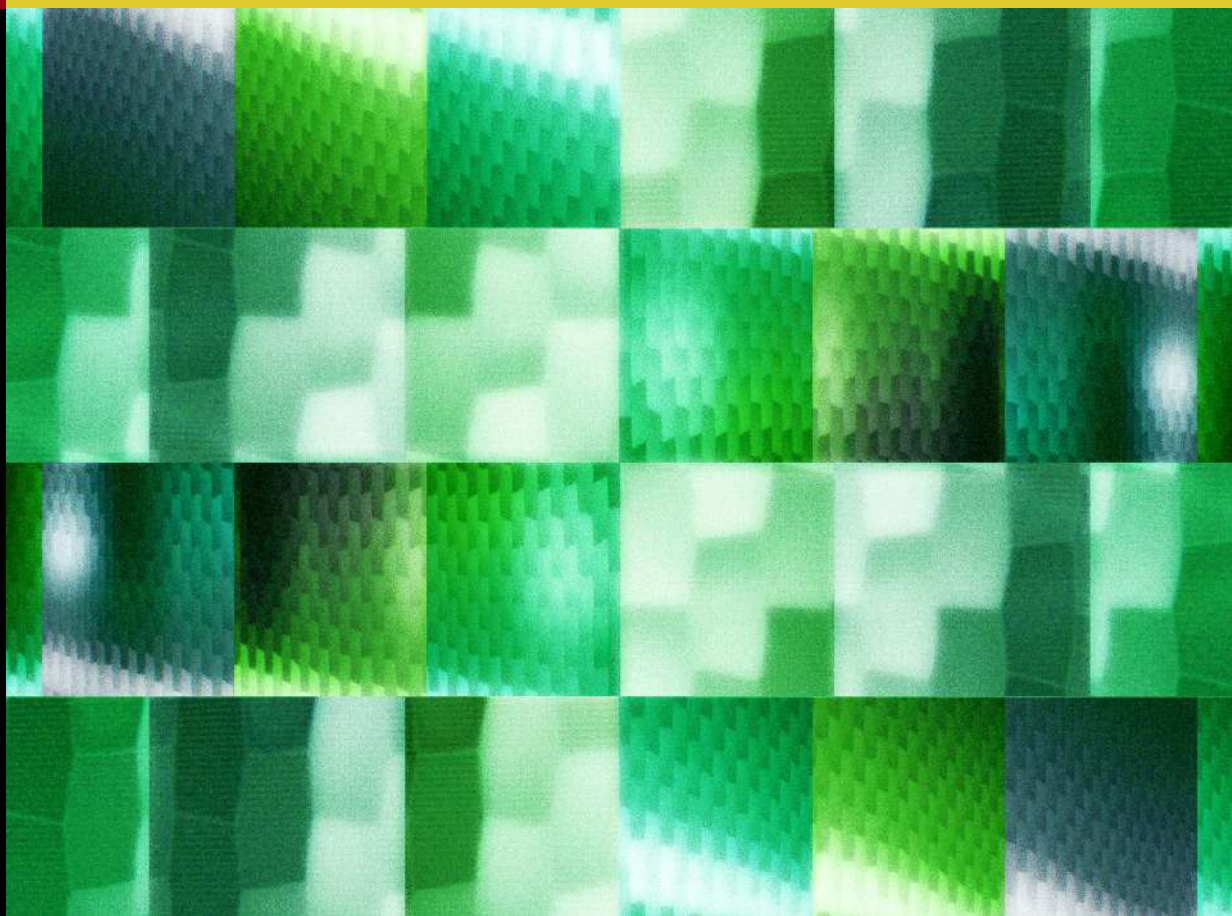
ebli
ente bilaterale

AMBIENTEITALIA
Istituto di Ricerche

Life Cycle Assessment tra prodotti tessili e prodotti monouso

Tovagliato del settore turistico/alberghiero



ebli
ente bilaterale

AMBIENTEITALIA
Istituto di Ricerche

Life Cycle Assessment tra prodotti tessili e prodotti monouso

Tovagliato del settore turistico/alberghiero

© EBLI - Ente Bilaterale del Sistema Industriale Integrato di Servizi Tessili e Medici Affini

viale Pasteur, 8 – 00144 Roma
tel. e fax 06/5903439
info@eblinazionale.it
www.eblinazionale.it

Ebli è un'associazione fra:

Il Progetto è stato realizzato per conto dell'Ebli
da Ambiente Italia - Istituto di Ricerche
Responsabile Area Certificazione Prodotto: Andrea Moretto
Ricercatori Area Sistemi di Gestione e Certificazione di Prodotto:
Simona Canzanelli, Anna Geotti e Romeo Pavanello.
www.ambienteitalia.it

Un particolare ringraziamento va alla dottoressa Daniela Passione che ha coordinato le iniziative e alla dottoressa Caterina Vaiuso che ha collaborato alla loro realizzazione.

Progetto grafico e impaginazione: www.studiograficoagostini.com

L'EBLI è titolare dei diritti di riproduzione, memorizzazione, adattamento, totali o parziali, con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche) del presente volume. È ammessa la riproduzione parziale per uso personale nei limiti di cui alla Legge 22 aprile 1941, n. 633 come modificata dalla Legge 18 agosto 2000, n. 248, con espressa citazione della fonte.

Roma, giugno 2010

Indice

1. Introduzione 7

1.1. Obiettivi dello studio 7

1.1.1. Motivazioni / 1.1.2. Applicazioni previste

1.2. Metodologia 8

1.2.1. Le fasi di una LCA

2. Campo di applicazione dello studio 11

2.1. Unità funzionale 11

2.2. Confini del sistema 12

2.3. Categorie di dati 13

2.4. Regole di allocazione 16

2.5. Categorie di impatto 16

3. Analisi di inventario 17

3.1. Procedimento per la raccolta dei dati 17

3.2. Descrizione del ciclo produttivo e delle unità di processo: prodotto tessile 17

3.2.1. Coltivazione e approvvigionamento del cotone / 3.2.2. Filatura del cotone / 3.2.3. Tessitura del cotone / 3.2.4. Nobilitazione del tessuto / 3.2.5. Imballaggio e distribuzione / 3.2.6. Uso e trasporto in lavanderia del prodotto / 3.2.7. Lavaggio presso le industrie di servizi tessili e medici affini / 3.2.8. Fine vita del prodotto tessile

3.3. Descrizione del ciclo produttivo e delle unità di processo: prodotto monouso 29

3.3.1. Coltivazione e approvvigionamento del legno / 3.3.2. Produzione della polpa da legno / 3.3.3. Produzione della polpa da carta di macero / 3.3.4. Produzione della bobina di carta e sua trasformazione / 3.3.5. Imballaggio e distribuzione / 3.3.6. Fine vita del prodotto cartaceo

4. Valutazione dell'impatto 35
4.1. Profilo Ambientale del prodotto tessile 37
4.2. Profilo Ambientale del prodotto cartaceo 38

5. Analisi del ciclo di vita 41
5.1. Prodotto tessile 41
5.1.1. Acidificazione / 5.1.2. Eutrofizzazione / 5.1.3. Effetto serra / 5.1.4. Assottigliamento dello strato di ozono / 5.1.5. Creazione ozono fotochimico
5.2. Prodotto cartaceo 49
5.2.1. Acidificazione / 5.2.2. Eutrofizzazione / 5.2.3. Effetto serra / 5.2.4. Assottigliamento dello strato di ozono / 5.2.5. Creazione ozono fotochimico
5.3. Confronto tra il ciclo di vita del prodotto tessile e del prodotto monouso 56
5.3.1. Risultati del confronto sull'intero ciclo di vita / 5.3.2. Risultati del confronto su ciascuna fase del ciclo di vita

6. Analisi di sensibilità 65
6.1. Confronto tra il prodotto tessile, il prodotto cartaceo e un prodotto cartaceo completamente riciclato e riciclabile 65
6.2. Influenza del numero di lavaggi sul ciclo di vita del prodotto tessile 65
6.3. Influenza della grammatura per il prodotto cartaceo 72
6.4. Confronto tra il prodotto tessile 100% cotone e due prodotti in mischia intima di cotone e poliestere (risp. 65%-35% e 80%-20%) 74
6.5. Scenario peggiore di confronto tra i prodotti oggetto dello studio 76
6.6. Scenario di smaltimento a discarica per il prodotto tessile 78

7. Considerazioni finali e proposte di miglioramento 81

8. Riferimenti 83

9. Appendice 85
9.1. Risultati dei test microbiologici e chimici condotti sui tovagliati riutilizzabili e monouso 85
9.2. Processi di Simapro 88
9.3. Fattori di caratterizzazione 92

1. Introduzione

Il presente documento costituisce la relazione conclusiva dello studio di LCA finalizzato al confronto tra un tovagliato riutilizzabile in tessuto e un tovagliato in carta monouso per il settore alberghiero e ristorazione.

Lo studio è stato commissionato da EBLI e condotto da Ambiente Italia srl.

Lo studio è stato condotto in conformità alle prescrizioni della norma internazionale ISO 14040.

- ***ISO 14040:2006*** *Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Principi e quadro di riferimento*
- ***ISO 14044: 2006:*** *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and Guidelines*

1.1. Obiettivi dello studio

1.1.1. Motivazioni

Lo studio è finalizzato alla valutazione della prestazione ambientale nell'intero ciclo di vita (acquisizione delle materie prime, produzione dei semilavorati e prodotti finiti, distribuzione, utilizzo e fine vita) di un tessuto riutilizzabile per il settore alberghiero/ristorazione comparato con un equivalente prodotto monouso in carta.

La valutazione comparativa è tesa a mettere in luce i diversi impatti ambientali legati all'utilizzo del prodotto monouso rispetto al prodotto riutilizzabile, con particolare riferimento alle modalità di riuso garantite da un lavaggio del prodotto tessile effettuato su scala industriale e con impianti di abbattimento degli inquinanti all'avanguardia.

1.1.2. Applicazioni previste

Le applicazioni previste per un LCA comparativo sono:

- informazione chiara e trasparente sui prodotti e sui servizi comparati in modo da influenzare le successive scelte di acquisto;

- predisposizione di strategie di comunicazione ambientale (trasparenti, credibili, oggettive e confrontabili) all'esterno del settore rivolte ai vari stakeholders (mercato, organi amministrativi e legislativi, gruppi di interesse, etc.).

1.2. Metodologia

Lo studio rappresenta un'applicazione della metodologia della **Valutazione del Ciclo di Vita** (Life Cycle Assessment – **LCA**) eseguito secondo le norme ISO 14040.

"L'LCA tratta gli aspetti ambientali e i potenziali impatti ambientali[1] (per esempio l'uso delle risorse e le conseguenze ambientali dei rilasci) lungo tutto il ciclo di vita del prodotto, dall'acquisizione delle materie prime attraverso la fabbricazione e l'utilizzo, fino al trattamento di fine vita, riciclaggio e allo smaltimento finale (cioè dalla culla alla tomba)"[2].

Per giungere ai risultati qui riportati, Ambiente Italia ha utilizzato **SimaPro 7.1,** uno dei software applicativi più diffusi per la valutazione del ciclo di vita di prodotto e, in mancanza di dati specifici, ha usufruito dei più recenti database riguardanti la produzione dei materiali, i trasporti ed i sistemi energetici.

1.2.1. Le fasi di una LCA

Sono quattro le fasi principali che caratterizzano una LCA:

- Definizione degli **obiettivi** dello studio, dei **confini** del sistema e dell'unità funzionale[3].
- **Analisi di inventario** – ossia la quantificazione dei flussi di materia e di energia lungo l'arco dell'intero ciclo di vita del prodotto in esame.
- **Analisi di impatto ambientale** – in questa fase i flussi di sostanze e di energia individuati durante l'ecoinventario vengono ordinati, classificati ed aggregati con opportuni pesi in diverse categorie di impatto ambientale, anche detti ***indicatori aggregati di impatto***, quali ad esempio, l'effetto serra, l'acidificazione dell'aria, l'eutrofizzazione delle acque.
- **Interpretazione dei risultati** – realizzata sulla base delle assunzioni metodologiche adottate, in questa fase si valutano i risultati dell'ecoinventario e dell'ana-

[1] I "potenziali impatti ambientali" sono espressioni relative, in quanto correlate all'unità funzionale di un sistema di prodotto.

[2] UNI EN ISO 14040 – 2006, Introduzione.

[3] La norma UNI EN ISO 14040:2006 definisce l'unità funzionale quale la "Prestazione quantificata di un sistema di prodotto da utilizzare come unità di riferimento".

lisi di impatto ambientale, anche mediante opportune considerazioni ed analisi aggiuntive.

L'impostazione della presente relazione ha cercato di seguire le quattro fasi dello studio di LCA.

2. Campo di applicazione dello studio

Nei seguenti paragrafi sarà descritto il campo di applicazione dello studio: la produzione, l'uso ed il fine vita del prodotto riutilizzabile in tessuto e di quello monouso in carta.

2.1. Unità funzionale

Il prodotto oggetto dell'analisi e del confronto è il tovagliato, termine commerciale che definisce il set standard di preparazione dei tavoli utilizzato nel settore alberghiero e della ristorazione e composto di una tovaglia, un coprimacchia e quattro tovaglioli. Al fine di ovviare al problema del formato, differente secondo le richieste dei clienti, è stata scelta come unità funzionale il metro quadrato (1 mq) per confrontare i due prodotti.

Per il prodotto riutilizzabile, è stato considerato un tessuto composto al 100% di cotone e del peso di 192 gr/mq.

Alle industrie di servizi tessili e medici affini che hanno preso parte al progetto, è stato chiesto di indicare quale fosse il numero di cicli che normalmente un tovagliato in tessuto riesce a sostenere senza perdere le sue caratteristiche funzionali. Secondo tale riscontro, la fase d'uso di un singolo prodotto tessile è stata considerata pari a 125 cicli di lavaggio prima di essere smaltito. Poiché si tratta di un dato medio e vista l'importanza di questa fase nell'intero ciclo di vita, si è eseguita un'analisi di sensibilità per approfondire l'influenza che il numero di cicli ha sull'impatto totale del prodotto tessile. Il confronto ha valutato un numero di lavaggi inferiore (75 e 100) e superiore (150 e 175) al dato medio di riferimento. Si veda il capitolo 6 per maggiori dettagli.

Per il prodotto monouso, inizialmente si era scelto un prodotto del tipo tissue composto al 100% in carta e del peso di 60 gr/mq. In seguito, si é riscontrato che i prodotti del tipo tissue disponibili sul mercato presentano un ampio intervallo di grammature (da 20 fino a 180 gr/mq) e pertanto si è ritenuto più corretto scegliere come riferimento per il prodotto monouso un valore di 100 gr/mq che rappresenta un valore medio di grammatura.

La fase d'uso del prodotto monouso è pari a un singolo utilizzo.

TABELLA 2.1 – UNITÀ FUNZIONALE E CARATTERISTICHE TECNICHE DEI PRODOTTI CONSIDERATI NELLO STUDIO

	Composizione	Peso (g)	Superficie (mq)	Cicli (n.)
Prodotto Tessile	Tessuto 100% cotone	192	1	125
Prodotto Monouso	Carta tissue	100	1	1

Il prodotto tessile considerato presenta le seguenti caratteristiche:

- composizione: 100% cotone
- armatura: raso da 5
- titolo ordito/trama: Ne 32/2
- numero di fili per unità di lunghezza: 29 fili/cm, 25 batture/cm
- massa areica: 192 g/m2

Il prodotto in carta considerato in questo studio è del tipo "tissue paper".

Nel capitolo 6 sono riportate ulteriori analisi di sensibilità:

- confronto tra il prodotto tessile, il prodotto cartaceo e un prodotto cartaceo completamente riciclato e riciclabile,
- influenza della grammatura per il prodotto cartaceo,
- confronto tra il prodotto tessile 100% cotone e due prodotti in mischia intima di cotone e poliestere (risp. 65%-35% e 80%-20%),
- scenario peggiore di confronto tra i prodotti oggetto dello studio,
- scenario di smaltimento a discarica per il prodotto tessile.

2.2. Confini del sistema

I confini del sistema del ciclo di vita del prodotto tessile comprendono le fasi di:

- coltivazione ed approvvigionamento del cotone,
- filatura del cotone,
- tessitura del filato,
- nobilitazione del tessuto,
- imballaggio e distribuzione del prodotto,
- uso e trasporti presso le industrie di servizi tessili e medici affini,
- lavaggio presso le industrie di servizi tessili e medici affini,
- fine vita.

Sono, inoltre, inclusi tutti i trasporti richiesti dal ciclo produttivo.

I confini del sistema del ciclo di vita del prodotto monouso comprendono le fasi di:

- coltivazione ed approvvigionamento del legno,
- produzione della polpa di cellulosa e da carta di macero,
- produzione della bobina di carta,
- trasformazione della carta in tovagliato,
- imballaggio e distribuzione del prodotto,
- fine vita.

Anche nell'analisi del prodotto in carta, sono inclusi tutti i trasporti richiesti dal ciclo produttivo.

Sono stati inoltre conteggiati i flussi di rifiuti prodotti nell'intero ciclo di vita.

Le fasi considerate nello studio sono riportate nelle figure seguenti.

FIGURA 2.1 – IL CICLO DI VITA DEL PRODOTTO TESSILE

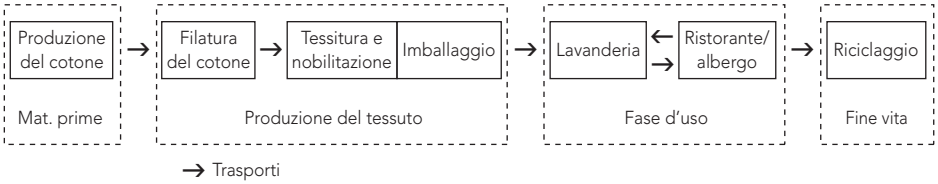
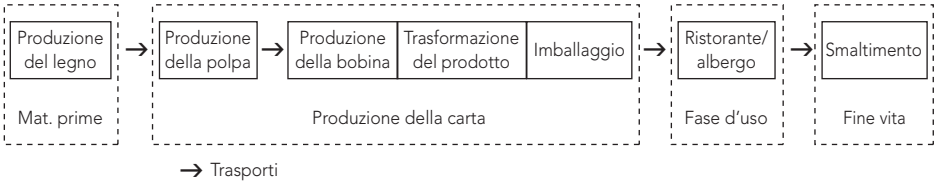


FIGURA 2.2 – IL CICLO DI VITA DEL PRODOTTO IN CARTA



2.3. Categorie di dati

L'analisi di inventario è stata condotta utilizzando in prevalenza dati specifici[1], provenienti da diverse fonti.

[1] La classificazione in *dati specifici* o *dati generici* è stata fatta seguendo le indicazioni presenti in "General Program Instructions for EPD" ove per dati specifici s'intendono quelli ottenuti dal sito produttivo mentre per dati generici s'intendono sia quelli selezionati, cioè provenienti da database, sia altri dati generici, provenienti da letteratura. Questa classificazione rispetta i requisiti della qualità dei dati espressi dalla Norma UNI ISO 14040.

In particolare, per il prodotto tessile si sono utilizzati dati provenienti dalle seguenti fonti:

- aziende coinvolte nel progetto per quanto concerne la produzione (Gastaldi Spa e Masa Spa) e la fase d'uso (Lavarent srl, L.I.P. Lavanderia Industriale Pollein srl e Tiziana industria noleggio tessile srl);
- banche dati internazionali (Ecoinvent) e dati di letteratura (BREF[2]) per quanto concerne i dati relativi alla coltivazione del cotone, ai trasporti, alla produzione di energia elettrica e termica, alle materie prime, agli additivi e ausiliari del processo produttivo.

Nella tabella seguente sono riportate le fonti dei dati di tutte le fasi comprese nei confini del sistema in studio.

TABELLA 2.2 – FONTE DEI DATI PER FASE DI CICLO VITA DEL PRODOTTO TESSILE

Fase del ciclo di vita	Materiali e processi	Categorie di dati	Fonte	Anno
Produzione cotone	Coltivazione	Dati generici selezionati	Ecoinvent	2007
	Trasporti	Dati generici selezionati	Ecoinvent	2007
Lavorazione cotone	Filatura	Dati specifici	Gastaldi SpA	2007
	Trasporti	Dati generici selezionati	Ecoinvent	2007
Produzione tovagliato	Tessitura	Dati specifici	Gastaldi SpA e Masa SpA	2006 e 2007
	Nobilitazione	Dati specifici	Gastaldi SpA e Masa SpA	2006, 2007 e 2008
	Trasporti	Dati generici selezionati	Ecoinvent	2007
Fase d'uso	Lavanderie industriali	Dati specifici	Lavarent srl, L.I.P. srl e Tiziana srl	2006 e 2007
	Distribuzione	Dati specifici	Lavarent srl, L.I.P. srl e Tiziana srl	2006 e 2007
	Trasporti	Dati generici selezionati	Ecoinvent	2007
Fine vita	Scenario di smaltimento	Dati specifici	Lavarent srl, L.I.P. srl e Tiziana srl	2007

[2] Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry, July 2003.

Per il prodotto monouso in particolare si è fatto uso delle seguenti fonti di dati:

- aziende coinvolte in progetti precedentemente svolti da Ambiente Italia per quanto concerne l'approvvigionamento del legno (LCA – cicli produttivi della carta);
- bilanci ambientali disponibili in rete per quanto concerne la produzione della polpa, la produzione e trasformazione della carta (Gruppo Cartiere Lucchese)
- banche dati internazionali (Ecoinvent) e dati di letteratura (BREF[3]) per quanto concerne i dati relativi alla coltivazione del legno, ai trasporti, alla produzione di energia elettrica e termica, alle materie prime, agli additivi e ausiliari al processo produttivo, oltre alla produzione della polpa e alla produzione e trasformazione della carta.

TABELLA 2.3 – FONTE DEI DATI PER FASE DI CICLO VITA DEL PRODOTTO MONOUSO

Fase del ciclo di vita	Materiali e processi	Categorie di dati	Fonte	Anno
Produzione legno	Coltivazione	Dati generici selezionati	Ecoinvent	2007
	Trasporti	Dati generici selezionati	Ecoinvent	2007
Produzione polpa	Produzione	Dati generici selezionati	LCA cartiera italiana	2004 e 2005
	Trasporti	Dati generici selezionati	Ecoinvent	2007
Produzione carta	Produzione	Dati generici	Bilancio ambientale Cartiera Lucchese	2004-2007
	Trasformazione	Dati generici	Bilancio ambientale Cartiera Lucchese	2004-2007
Produzione tovagliato	Produzione	Dati generici	Bilancio ambientale Cartiera Lucchese	2004-2007
Fine vita	Scenario di smaltimento	Dati generici	Assocarta, Comieco	2007

Per lo scenario di fine vita del prodotto carta si è fatto uso dei dati contenuti nella pubblicazione "Il riciclo ecoefficiente", ed. Ambiente, 2008, ricavati dai dati di Assocarta e Comieco.

[3] Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry, December 2001.

I dati impiegati sono stati ritenuti validi in base ai seguenti principi:

- periodo temporale di riferimento,
- attendibilità scientifica della fonte,
- riconoscimento a livello internazionale delle banche dati[4] impiegate nel caso di assenza di fonti primarie,
- rappresentatività geografica.

2.4. Regole di allocazione

Per allocazione s'intende la "ripartizione dei flussi in ingresso o in uscita di un processo o di un sistema di prodotto tra il sistema di prodotto allo studio o uno e diversi altri sistemi di prodotto[5]".

Per quanto riguarda i dati specifici e alcuni dati generici selezionati (non da banca dati), la regola di allocazione per il calcolo degli input e degli output è stata eseguita in funzione della massa e su base annua.

Per quanto riguarda gli altri dati generici selezionati (da banche dati), si sono mantenute le allocazioni presenti nelle banche dati.

2.5. Categorie di impatto

Le categorie di impatto ambientale potenziale considerate in questo studio sono le seguenti:

- Potenziale effetto serra (kg CO_2 eq.),
- Potenziale distruzione dello strato di ozono (g CFC eq.),
- Potenziale di acidificazione (mol H^+),
- Potenziale di eutrofizzazione (kg O_2),
- Potenziale di formazione di ossidanti fotochimici (kg ethene eq.).

Cui si sono aggiunte le categorie d'impatto che si riferiscono a:

- Uso di risorse Rinnovabili e Non rinnovabili (Con e Senza contenuto energetico)
- Rifiuti (pericolosi e non pericolosi)

Maggiori dettagli riguardanti le singole categorie sono riportate nel capitolo "Analisi del ciclo di vita".

[4] Le banche dati scelte sono conformi alle richieste della Norma UNI ISO 14040:06.
[5] Norma UNI ISO 14044:2006.

3. Analisi di inventario

L'inventario del ciclo di vita di un prodotto consiste nella quantificazione dei flussi di materie ed energia in ingresso ed in uscita dai confini del sistema analizzato.

3.1. Procedimento per la raccolta dei dati

Per quanto riguarda il prodotto tessile, i dati sono stati raccolti tramite la compilazione di apposite schede fornite da Ambiente Italia alle aziende coinvolte nel progetto. I dati sono stati esaminati insieme ai responsabili tecnici delle aziende coinvolte mediante visita presso gli stabilimenti produttivi.

Per quanto riguarda il prodotto monouso, è stato impossibile ottenere informazioni direttamente da aziende produttrici e associazioni di categoria e pertanto è stata condotta una ricerca di dati di letteratura: in particolare si è fatto uso dei BREF (Best available techniques REFerence), di database internazionali (Ecoinvent), di studi di LCA precedentemente condotti da Ambiente Italia (LCA[1] di una cartiera italiana) e dei bilanci ambientali (Gruppo Cartiere Lucchese).

3.2. Descrizione del ciclo produttivo e delle unità di processo: prodotto tessile

Si entra ora nel dettaglio dello studio analizzando, per ogni fase, i flussi di risorse ed energie in entrata e in uscita e le assunzioni relative alla loro quantificazione.

[1] Studio sottoposto a verifica da parte di ente terzo accreditato secondo lo schema International EPD System.

I valori di input (materie prime, consumi energetici, ecc.) e di output (emissioni, rifiuti, ecc.) di ciascuna fase del ciclo di vita, dove non indicato diversamente, sono stati calcolati come il valore medio tra i dati ottenuti da tutte le fonti, siano essi specifici del sito o da letteratura. Il dato utilizzato nel modello di SimaPro è evidenziato in grassetto nelle relative tabelle.

Tali dati sono riportati nei singoli paragrafi tramite tabelle riassuntive e si riferiscono ad 1 kg di prodotto finale di ciascuna fase.

Anche il tovagliato finito ha unità funzionale pari a 1 kg che corrisponde a una superficie di 5,21 mq.

Infine, per quanto riguarda il calcolo della distanza di trasporto delle materie prime e semilavorati, si è calcolata sia la distanza dell'andata, a carico pieno, che del ritorno, a carico vuoto, se il viaggio è fatto dall'origine alla destinazione senza consegne intermedie. Nel caso in cui la consegna sia rivolta a più destinatari, si è calcolata solo la distanza di competenza tra l'origine e la destinazione intermedia riferita al ciclo produttivo in esame, tralasciando i trasporti di prodotti legati ad altri cicli produttivi.

3.2.1. Coltivazione e approvvigionamento del cotone

Per la fase di approvvigionamento della materia prima sono state utilizzate le informazioni contenute nella banca dati internazionale Ecoinvent[2], i cui dati si riferiscono alla coltivazione e raccolta del cotone nei Paesi che a livello mondiale sono i principali produttori[3], cioè gli Stati Uniti e la Cina.

La fase di coltivazione e approvvigionamento comprende alcuni processi tra cui quelli principali sono: la semina, il controllo delle erbacce e degli infestanti, la fertilizzazione, l'irrigazione, la raccolta e la pulitura del cotone.

L'unità funzionale (output) è pari a 1 kg di cotone raccolto, e si è considerato che 0,5 kg siano di produzione americana e 0,5 kg di produzione cinese.

Si è supposto che il cotone sia trasportato con un imballaggio in plastica del peso di 500 gr per ogni 500 kg di materiale.

Poiché i due processi presentano differenti tecniche di coltivazione, nella tabella seguente sono riportati solo i dati specifici per input e output che trovano corrispondenza in entrambe le fasi.

[2] Nemecek T., Kägi T., Blaser S. (2007) Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Ecoinvent report version 2.0.

Althaus H.J., Dinkel F., Werner F. (2007) Life Cycle Inventories of Renewable Materials. Final report ecoinvent Data v2.0.

[3] Ministero dell'Agricoltura Statunitense, dati aggiornati al 2009, http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx.

TABELLA 3.1 – FASE DI COLTIVAZIONE DEL COTONE: ALCUNI DATI DI INPUT E OUTPUT RIFERITI A 1 KG DI COTONE LAVORATO

Coltivazione e raccolta	U.M.	Ecoinvent	
		USA	Cina
Input			
Ammoniaca liquida	kg	0,06	0,10
Applicazione di prodotti per protezione piante	ha	0,02	0,02
Cloruro di potassio	kg	0,10	0,12
CO2, in aria	kg	1,48	1,65
Composti organo-fosforici	g	1,35	0,47
Confezionamento in balle	p	0,01	0,01
Energia in biomassa	MJ	16,99	18,56
Fertilizzazione	m2	33,77	23,18
Glisofato	g	1,19	2,32
Irrigazione	m3	0,00	0,14
Lavorazione del terreno con frangizolle	m2	45,02	7,73
Nitrato di ammonio	kg	0,03	0,05
Occupazione di terreno agricolo	m2a	11,26	7,73
Pesticidi	g	0,68	2,32
Semina	m2	11,26	7,73
Trasporti	tkm	0,03	0,24
Urea	kg	0,02	0,05
Output			
Emissioni in aria			
Ammoniaca	g	7,20	20,74
Protossido di azoto	g	3,07	5,13
NOx	g	0,64	1,08
Emissioni in acqua			
Nitrati	g	31,41	88,40
Fosfati in corsi d'acqua	g	2,95	0,39
Fosfati in falda	g	0,08	0,12
Fosforo	g	2,18	0,39
Emissioni nel suolo			
Cromo	g	0,00	0,09
Cyfluthrin (insetticida)	g	0,01	0,08
Dicofol (pesticida)	g	0,00	0,08
Fluometuron (pesticida)	g	0,06	0,23
Glisofato	g	1,19	0,23
Imidacloprid (insetticida)	g	0,00	0,08
Erbicida	g	0,09	0,14
Prometryn (erbicida)	g	0,09	0,23

3.2.2. Filatura del cotone

La filatura è l'insieme delle operazioni che permettono di disporre una massa di fibre tessili (fiocco) inizialmente disordinata, in un'unità di grande lunghezza (filato). La fase di filatura comprende alcuni processi tra cui: la pulitura del fiocco, la cardatura e la filatura.

Per la fase di filatura del cotone sono stati utilizzati i dati specifici ricevuti dall'azienda indiana da cui l'Azienda A ottiene il filato. I dati si riferiscono agli anni 2005, 2006 e 2007 e sono stati raffrontati con le informazioni presenti nella banca dati Ecoinvent e nel documento Bref.

L'unità funzionale (output) è pari a 1 kg di cotone filato ottenuto da 1,22 kg di cotone grezzo (input), valore scelto tenendo conto del bilancio di massa.

Il consumo di acqua è stato calcolato come valore medio tra quanto indicato dall'Azienda A nel 2005 e i valori indicati dal Bref, poiché vi è un'incongruenza tra i dati che si riferiscono agli anni 2006-2007 e il resto dei valori. Pertanto il valore scelto è di 188 litri/kg al posto del valore medio calcolato sui dati di tutte le fonti (113 litri/kg).

L'imballaggio è composto, secondo i dati forniti dalla ditta indiana, da un pallet di 21 kg che trasporta il filato avvolto su coni di carta a sua volta contenuto in scatole di cartone perforate. Il peso complessivo della carta è di 10 kg mentre la quantità di cotone trasportato da tale imballaggio è di 1000 kg.

Si è ipotizzato che il trasporto del cotone, dalla piantagione all'azienda, avvenga tramite camion di capacità pari a 3,5-16 ton per un totale di 200 km, senza consegne intermedie.

Nella tabella seguente sono riportati i dati specifici per input e output della fase considerata.

TABELLA 3.2 – FASE DI FILATURA DEL COTONE: DATI DI INPUT E OUTPUT RIFERITI A 1 KG DI COTONE FILATO

Filatura	U.M.	Azienda A			Bref		Ecoinvent	Val. medio
		2005	2006	2007	Val. min.	Val. max		
			Input					
Cotone grezzo	kg	1,10	1,12	1,14	1,00	1,00	1,00	1,22
Consumi en. elettrica	kWh	1,47	6,88	7,77	2,04	2,04	8,50	5,30
Consumi termici	MJ	0,00	2,81	1,97	32,46	32,46	0,00	12,40
Consumi energetici totali	MJ eq	13,97	68,15	75,83	51,46	0,00	80,75	58,00
Consumi acqua	litri	250,00	0,00	0,00	100,00	215,00	0,00	113,00
			Output					
Rifiuti di cotone	kg	0,02	0,30	0,33	0,00	0,00	0,00	0,20

3.2.3. Tessitura del cotone

La fase di tessitura comprende alcuni processi tra cui: l'orditura, la roccatura e la tessitura.

Si è fatto uso dei dati specifici ricevuti dall'Azienda A (anni 2005, 2006 e 2007), dall'Azienda B (anno 2007) e dall'Azienda C (terzista dall'Azienda B, anno 2007). Inoltre sono stati considerati i dati di letteratura dedotti dal Bref.

L'unità funzionale (output) è pari a 1 kg di tessuto jacquard[4] ottenuto a partire da 1,012 kg di filo di cotone (input), valore scelto tenendo conto del bilancio di massa.

I dati raccolti indicano che lo scarto di produzione è compreso tra lo 0% e il 7%, in particolare i rifiuti da fibre tessili grezze (CER 040221) sono circa 8 gr/kg mentre i rifiuti da fibre tessili lavorate (CER 040222) sono circa 4 gr/kg, entrambi destinati al riciclo.

Altri rifiuti riscontrati in questa fase sono dovuti agli imballaggi: in carta e cartone (CER 150101) circa di 26 gr/kg, in ferro e acciaio (CER 17045) circa di 11 gr/kg e in materiali misti (CER 150106) circa di 33 gr/kg. I primi due sono riciclati mentre l'ultimo è destinato alla discarica.

Infine c'è un ridotto consumo di olio per macchinari di circa 1 gr/kg che è avviato a trattamento.

Si è assunto che il trasporto del filo di cotone dal porto indiano a quello italiano (Genova) avvenga tramite nave transoceanica per un tragitto di 6000 km, senza conteggiare il tragitto di ritorno poiché si suppone che la nave effettui altre consegne appartenenti a cicli produttivi differenti. Per quanto riguarda il trasporto su gomma, si è assunto che avvenga con camion di capacità pari a 3,5-16 ton per un tragitto totale di 400 km, ripartito in parti uguali tra la distanza dall'azienda di filatura fino al porto di partenza e dal porto di arrivo fino alle aziende di tessitura.

Nella tabella 3.3 sono riportati i dati specifici per input e output della fase considerata.

3.2.4. Nobilitazione del tessuto

La fase di nobilitazione comprende alcuni processi tra cui: il bruciapelo, il candeggio, il mercerizzo (trattamento con soda caustica per aumentare la brillantezza, l'idrofilia e la resa del colore), il rameuse (particolare asciugatura per ottenere diversi effetti come per es. l'antipiega, l'antistatica, l'antimacchia, ecc.), la calandratura (passaggio su uno o due cilindri in genere per ammorbidire il tessuto), la faldatura (operazione di stenditura di più strati di tessuto) e la tintura.

[4] Tessuto ottenuto intersecando tra loro i fili di ordito e quelli di trama utilizzando un telaio Jacquard che prende tale nome dal suo inventore.

TABELLA 3.3 – FASE DI TESSITURA DEL COTONE: DATI DI INPUT E OUTPUT RIFERITI A 1 KG DI TESSUTO

Tessitura	U.M.	Azienda A			Azienda B	Azienda C	Bref		Val. medio
		2005	2006	2007	2007	2007	Val. min	Val. max	
				Input					
Filato di cotone	Kg	1,04	1,07	1,07	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01
Consumi en. elettrica	kWh	0,44	2,51	1,62	1,87	1,48	0,50	1,50	1,42
Consumi energetici	MJ eq	4,16	23,80	15,37	17,72	14,11	4,75	14,25	13,45
				Output					
Rifiuti da fibre tessili	g	3,10	7,40	6,02	14,39	0,00	0,00	0,00	12,00
Rifiuti carta e cartone	g	0,00	24,61	27,17	0,00	24,86	0,00	0,00	26,00
Rifiuti mat. misti	g	27,10	39,67	33,52	0,00	0,00	0,00	0,00	33,00
Rifiuti ferro e acciaio	g	5,10	23,77	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00

Sono stati utilizzati i dati specifici forniti dall'Azienda A (anni 2005, 2006, 2007 e 2008[5]), dall'Azienda D (terzista dall'Azienda B, anni 2006 e 2007) e dall'Azienda E (terzista dall'Azienda B, anni 2006 e 2007) oltre alle informazioni prelevate dalle banche dati Ecoinvent e dal Bref.

L'unità funzionale (output) è pari a 1 kg di tessuto nobilitato da 1 kg di tessuto jacquard (input).

Gli additivi al processo sono stati suddivisi in base alla loro funzione nelle seguenti categorie: ammorbidenti, disperdenti, scivolanti, detergenti, stabilizzanti, equalizzanti e antiriducenti. Inoltre è stato possibile separare dal totale degli additivi le seguenti sostanze chimiche: soda caustica, sodio idrosolfito, acido acetico, cloruro di Sodio, soda Solvay, acqua ossigenata e solfato di sodio.

Gli ausiliari utilizzati nella fase di nobilitazione del tessuto sono numerosi e di varia natura. Alcune delle funzioni riscontrate sono state: alcalinizzante, antifilmante, antischiuma, antistatico, di aumento dell'idrofilità, candeggiante ottico, complessante, deossigenante, anti-incrostante, detergente per macchinari, disareante, emulsionante, imbibente, neutralizzante, polielettrolita, resina auto catalizzata, riducente ad alto potere, sale per riduzione, sale per tintura, saponante e sbozzimante.

[5] I dati relativi al 2008 si riferiscono solo alla produzione totale e al consumo totale di coloranti, additivi e ausiliari.

Tali sostanze sono state ricondotte ai loro componenti principali, quando è stato possibile ottenere le schede tecnica e di sicurezza, altrimenti alle sostanze chimiche più assimilabili, in mancanza di informazioni dettagliate sulla loro composizione.

I coloranti (indanthrene e reattivi) sono stati considerati in un'unica categoria a causa della difficoltà di modellizzare le sostanze chimiche costituenti.

Il consumo di acqua, rilevato dai dati forniti dalle aziende coinvolte, è molto simile al valore del processo della banca dati Ecoinvent: il valore medio riscontrato corrisponde a 123 litri per kg di prodotto nobilitato nel primo caso, mentre a 138 litri/kg nel secondo caso.

I dati di letteratura dei Bref presentano dei valori di consumo specifico d'acqua che sono leggermente inferiori rispetto a quelli sopra citati in quanto si riferiscono a tecniche differenziate di tintura del filo (reattiva, diretta e idanthrene). Si è ritenuto corretto scegliere come valore di riferimento quello medio tra i dati rilevati presso le aziende e quello di Ecoinvent.

Le emissioni in acqua presentano dati specifici molto simili nel caso del parametro BOD[6] mentre per i COD[7] e per il materiale sospeso si nota una certa discrepanza di valori.

Altre sostanze presenti sono i tensioattivi, il fosforo totale, i nitrati e AOX[8] (da Bref).

Nelle emissioni in aria, le sostanze riscontrate maggiormente sono polveri, CO e NO_x mentre altre sostanze come formaldeide, alcali totali e urea sono presenti solo per alcune fonti di dati e pertanto non sono state considerate.

I rifiuti da fibre tessili lavorate (CER 040222) sono circa 3 gr/kg mentre i rifiuti da imballaggi in carta e cartone (CER 150101) sono circa di 18 gr/kg, in plastica (CER 150102) sono circa di 6 gr/kg, in ferro e acciaio (CER 17045) sono circa di 7 gr/kg e in materiali misti (CER 150106) sono circa di 23 gr/kg. A parte quest'ultimo rifiuto che è smaltito in discarica, gli altri sono recuperati.

Nella tabella 3.4 sono riportati i dati specifici per input e output della fase considerata.

3.2.5. Imballaggio e distribuzione

Per l'imballaggio del prodotto finito si è preso a riferimento quello dell'Azienda A mentre per quanto riguarda il consumo di energia elettrica della macchina imballatrice si è preso il valore medio dei consumi dell'Azienda A (anno 2005) e dell'Azienda B (anno 2007).

[6] BOD: Domanda biochimica di ossigeno.
[7] COD: Domanda Chimica di Ossigeno.
[8] AOX: Alogeni organici assorbibili.

TABELLA 3.4 – FASE DI NOBILITAZIONE DEL TESSUTO: DATI DI INPUT E OUTPUT RIFERITI A 1 KG DI TESSUTO JACQUARD

Nobilitazione	U.M.	Azienda A				Azienda D		Azienda E	Bref		Ecoinvent	Val. medio
		2005	2006	2007	2008	2006	2007	2007	Val. min.	Val. max		
					Input							
Tessuto jacquard	kg	1,00	1,11	1,11	nd	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,002
Consumi metano	MJ	42,48	31,04	33,89	nd	36,48	37,74	30,10	13,00	16,00	30,55	30,15
Consumi en. elettrica	kWh	1,13	2,07	2,80	nd	2,36	2,12	0,82	0,80	1,10	1,11	1,69
Consumi energetici tot	MJ eq	53,17	50,72	60,46	nd	58,89	57,92	37,88	20,60	26,45	41,09	46,16
Consumi acqua	litri	167,11	139,56	170,05	nd	83,23	83,23	135,59	60,00	150,00	138,00	131
Ammorbidenti	gr	0,00	11,20	17,91	16,46	22,71	22,88	0,00	0,00	0,00	0,00	15,19
Scivolanti Tessili	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	4,07	4,32	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40
Disperdenti Tessili	gr	5,20	6,86	10,10	11,17	15,30	15,35	0,00	0,00	0,00	0,00	9,14
Coloranti	gr	5,30	1,15	1,62	1,96	37,26	37,11	0,00	0,00	0,00	0,00	12,06
Detergenti	gr	7,70	10,62	27,36	27,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,46
Equalizzanti	gr	4,10	3,09	4,60	5,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,41
Stabilizzanti	gr	2,80	25,16	27,57	32,18	0,00	0,00	5,48	0,00	0,00	0,00	13,31
Antiriducenti	gr	16,70	13,96	15,77	17,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,17
Soda Caustica	gr	1264,00	456,68	556,43	935,38	491,97	488,25	656,23	0,00	0,00	0,00	692,71
Sodio Idrosolfito	gr	40,00	7,94	9,86	11,63	21,86	21,35	0,00	0,00	0,00	0,00	16,09
Acido Acetico	gr	50,00	48,50	77,62	42,36	11,41	11,15	12,63	0,00	0,00	0,00	36,24
Cloruro di Sodio	gr	0,00	43,48	49,21	64,86	288,55	299,27	0,00	0,00	0,00	0,55	184,63
Soda Solvay	gr	0,00	2,76	2,27	3,67	86,56	89,78	0,00	0,00	0,00	0,00	30,84
Acqua ossigenata	gr	98,40	211,15	232,76	296,63	0,00	0,00	102,43	0,00	0,00	0,00	134,48
Solfato di sodio	gr	100,00	7,32	9,20	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,88
Ausiliari	gr	0,00	94,00	103,00	147,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,00
					Output							
Emissioni in aria												
CO	gr	2,09	0,00	1,27	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	1,45
NO2	gr	2,57	0,00	1,65	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43
Polveri	gr	0,20	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
Emissioni in acqua												
COD	gr	42,11	71,48	90,63	0,00	42,69	42,78	0,00	0,00	0,00	0,00	56,42
BOD	gr	0,00	0,00	26,29	0,00	21,49	21,53	25,76	0,00	0,00	0,00	23,77
Materiale sospeso	gr	25,89	0,00	32,88	0,00	6,48	6,50	13,29	0,00	0,00	0,00	17,94
Nitriti	gr	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Nitrati	gr	1,80	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99
Fosforo totale	gr	0,45	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44
Rifiuti												
Rifiuti da fibre tessili lavorate	gr	0,00	1,88	2,23	0,00	3,28	3,93	0,00	0,00	0,00	0,00	2,83
Rifiuti carta e cartone	gr	3,60	12,53	20,12	0,00	15,96	22,12	8,67	0,00	0,00	0,00	13,83
Rifiuti plastica	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	3,28	0,90	0,00	0,00	0,00	3,98
Rifiuti mat. misti	gr	27,10	20,21	24,83	0,00	0,00	0,00	15,35	0,00	0,00	0,00	21,87
Rifiuti ferro e acciaio	gr	5,10	12,11	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,54

TABELLA 3.5 – FASE DI NOBILITAZIONE DEL TESSUTO: AUSILIARI UTILIZZATI

Nobilitazione	U.M.	Azienda A			Val. medio
		2006	2007	2008	
Ausiliari					
Acido acetico	gr	2,85	4,71	3,35	3,64
Acido solforico	gr	22,14	13,74	29,28	21,72
Bicarbonato di ammonio	gr	0,29	0,22	0,27	0,26
Carbonato di sodio	gr	2,76	2,27	3,67	2,90
Cloruro di ferro	gr	0,00	0,00	5,22	1,74
Detergente	gr	19,48	34,06	34,19	29,24
EDTA	gr	0,59	0,82	1,20	0,87
Etanolo	gr	0,90	0,99	1,90	1,26
Fatty alchool	gr	0,00	0,00	0,16	0,05
Idrossido di sodio	gr	0,00	0,00	0,35	0,12
Perborato di sodio	gr	8,36	10,47	13,56	10,80
Persolfato di sodio	gr	15,26	19,06	25,49	19,94
Prodotti chimici inorganici	gr	1,93	1,39	2,24	1,85
Prodotti chimici organici	gr	0,96	0,82	0,84	0,87
Prodotti siliconici	gr	16,21	11,03	13,36	13,54
Resina melaminica	gr	0,39	0,13	0,17	0,23
Silicato di sodio	gr	2,28	3,56	5,71	3,85
Solfato di sodio	gr	0,00	0,00	5,71	1,90
Urea	gr	0,00	0,00	0,13	0,04

Per trasportare 1 kg di prodotto finito servono circa 37 gr di cartone, circa 4 gr di sacchetto di plastica, circa 2 gr di film protettivo e circa 3 gr di pallet. Il consumo elettrico è circa 0,03 kWh per kg di prodotto imballato.

Si riportano a titolo di esempio alcune foto del prodotto imballato dall'Azienda B.

FIGURA 3.1 – IMBALLAGGIO DEL PRODOTTO FINITO DELL'AZIENDA B

Per quanto riguarda la distribuzione del prodotto, si è presa come riferimento la distanza media che separa le aziende produttrici dalle industrie di servizi tessili e medici affini. Tali distanze sono tra loro comparabili e si è assunto pertanto che il trasporto del prodotto finito avvenga su un percorso complessivo di circa 254 km. Il mezzo ha una capacità di 3,5-16 ton.

3.2.6. Uso e trasporto in lavanderia del prodotto

Per la fase di uso del tovagliato e trasporto dal cliente alla lavanderia, è stata utilizzata una distanza media (servizio reso in un intorno di 300 km), prendendo come riferimento per gli automezzi utilizzati i dati specifici ricevuti dall'Azienda F (anni 2006 e 2007).

Il trasporto avviene tramite camion di capacità pari a 3,5-16 ton per un tragitto totale di 600 km, senza consegne intermedie.

Il prodotto è trasportato con gabbie in acciaio di proprietà delle industrie di servizi tessili e medici affini. Si è presa a riferimento la gabbia in uso presso l'Azienda F che pesa circa 35 kg e ha una capacità di 150 kg. Si è supposto che la vita media di una gabbia sia di circa 10 anni e che il peso sia ripartito ugualmente tra l'acciaio della struttura e il materiale plastico che definisce le pareti di contenimento della gabbia stessa.

Si riporta a titolo di esempio una foto di una gabbia da trasporto simile a quella utilizzata dall'Azienda F e in possesso dell'Azienda B.

FIGURA 3.2 – GABBIA IN ACCIAIO PER IL TRASPORTO DEL PRODOTTO FINITO

3.2.7. Lavaggio presso le industrie di servizi tessili e medici affini

La fase di lavaggio comprende i processi di: cernita del materiale sporco, lavaggio, asciugatura, stiratura, piegatura e imballaggio.

I dati specifici sono stati forniti dall'Azienda F (anni 2006 e 2007), dall'Azienda G (anni 2006 e 2007) e dall'Azienda H (anni 2006 e 2007).

L'unità funzionale (output) è pari a 1 kg di tessuto lavato, stirato, imballato e pronto per essere consegnato al cliente.

Gli additivi al processo sono stati suddivisi in base alla loro funzione nelle seguenti categorie: detergente, candeggiante, disinfettante, amido, acido formico, sodio ipoclorito, ammorbidente, acqua ossigenata, sequestrante, acido acetico, bisolfito di sodio, soda caustica e acido solforico.

Nella tabella 3.6 sono riportati i dati specifici per input e output della fase considerata.

L'imballaggio è rappresentato da un film plastico che avvolge un certo numero di prodotti in funzione delle richieste del cliente.

FIGURA 3.3 – FASE DI CERNITA E SMISTAMENTO DEL TESSUTO SPORCO (DELL'AZIENDA F)

FIGURA 3.4 – FASE DI ASCIUGATURA, STIRATURA E PIEGATURA (DELL'AZIENDA F)

TABELLA 3.6 – FASE DI LAVAGGIO DEL TESSUTO: DATI DI INPUT E OUTPUT RIFERITI A 1 KG DI TESSUTO

Lavaggio industriale	U.M.	Azienda F		Azienda G		Azienda H		Val. medio
		2006	2007	2006	2007	2006	2007	
				Input				
Acido acetico	gr	0,00	0,00	2,40	2,40	3,58	4,69	2,18
Acido Formico	gr	1,40	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47
Acido solforico	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,39	0,13
Acqua ossigenata	gr	0,00	0,00	2,50	2,50	2,21	2,14	1,56
Additivo	gr	0,00	0,00	8,60	8,60	0,00	0,00	2,87
Amido	gr	13,50	13,50	0,00	0,00	2,29	3,21	5,42
Ammorbidente	gr	0,00	0,00	2,10	2,10	1,75	1,75	1,28
Bisolfito di sodio	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	3,01	5,00	1,34
Candeggiante	gr	27,60	27,60	76,62	79,41	33,98	42,81	48,00
Detergente	gr	17,20	17,20	5,50	5,50	8,00	7,00	10,07
Soda caustica	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,21	0,10
Acqua	litri	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Consumi metano	MJ	8,44	8,49	7,24	7,19	8,15	7,90	7,90
Consumi en. elettrica	kWh	0,19	0,20	0,22	0,22	0,38	0,37	0,26
Consumi energetici tot	MJ eq	10,20	10,38	9,36	9,28	11,71	11,45	10,40
				Output				
Rifiuti cartone	gr	3,16	3,29	0,71	0,98	0,94	0,95	1,67
Rifiuti plastica	gr	0,59	0,39	1,81	2,22	0,00	0,00	1,25
Rifiuti misti	gr	0,50	0,01	0,00	0,00	12,49	12,67	6,42
Stracci	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75	3,80	3,77
Rifiuti filacci	gr	9,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,40
Emissioni in aria								
CO2	gr	31,46	31,46	0,00	0,00	0,00	0,00	31,46
SOx	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	2,47	1,80	2,14
NOx	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,08	0,09
Polveri	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,08	0,07
Emissioni in acqua								
BOD	gr	8,65	4,82	0,00	0,00	0,00	0,00	6,73
COD	gr	4,01	8,98	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25
Materiale sospeso	mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	2,00	1,00
Fosforo totale	mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,03
Ammoniaca	mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01

3.2.8. Fine vita del prodotto tessile

Tramite apposita scheda di raccolta dati, è stato chiesto alle industrie di servizi tessili e medici affini di indicare quale fosse il fine vita dei tessuti non più commerciabili. Per tutte e tre le lavanderie coinvolte nel progetto, il fine vita del tovagliato è quello del recupero e riutilizzo presso altre attività (aziende di pulizie, officine meccaniche, settore dell'antiquariato, carrozzerie, falegnamerie, ecc.) che

FIGURA 3.5 – FASE D'IMBALLAGGIO DEL TESSUTO DA INVIARE AL CLIENTE (DELL'AZIENDA F)

non rientrano nei confini del sistema considerato. L'impatto relativo al fine vita è pertanto rappresentato solamente dal trasporto del prodotto tessile dalla lavanderia fino al successivo utilizzatore. Tale distanza è stata supposta complessivamente pari a 20 km così come tutti gli altri processi di riciclaggio di rifiuti considerati.

3.3. Descrizione del ciclo produttivo e delle unità di processo: prodotto monouso

Allo stesso modo del prodotto tessile, si è analizzato per ogni fase del ciclo di vita del prodotto monouso i flussi di risorse ed energia in entrata e in uscita e le assunzioni relative alla loro quantificazione.

I valori di input (materie prime, consumi energetici, ecc.) e di output (emissioni, rifiuti, ecc.) di ciascuna fase del ciclo di vita, dove non indicato diversamente, sono stati calcolati come il valore medio tra i dati ottenuti da tutte le fonti, siano essi specifici del sito o da letteratura.

Tali dati sono riportati nei singoli paragrafi tramite tabelle riassuntive e si riferiscono ad 1 kg di prodotto finale di ciascuna fase.

Anche il tovagliato finito ha unità funzionale pari a 1 kg che corrisponde a una superficie di 10 mq.

Infine, per quanto riguarda il calcolo della distanza di trasporto delle materie prime e semilavorati, si è calcolata sia la distanza dell'andata, a carico pieno, che del ritorno, a carico vuoto, se il viaggio è fatto dall'origine alla destinazione senza consegne intermedie. Nel caso in cui la consegna sia rivolta a più destinatari, si è calcolata solo la distanza di competenza tra l'origine e la destinazione intermedia riferita al ciclo produttivo in esame, tralasciando i trasporti di prodotti legati ad altri cicli produttivi.

3.3.1. Coltivazione e approvvigionamento del legno

La fase di coltivazione ed approvvigionamento del legno comprende i processi di: crescita del legno, taglio dell'albero, asportazione della corteccia, segatura in pezzi e trasporto.

Si è fatto uso di un processo del database Ecoinvent la cui unità funzionale (output) è pari a 1 m^3 di legno e il consumo di energia per le lavorazioni è pari a 28 MJ/m^3. Per esprimere l'unità funzionale in peso si è scelto un valore di densità del legno pari a 500 kg/m^3.

Tale processo è il risultato di un'allocazione di massa con un altro processo della banca dati che considera i residui di legno da taglio come un coprodotto. Pertanto l'impatto ambientale legato alla coltivazione e approvvigionamento del legno è disgiunto da quello del coprodotto e per questo motivo gli scarti di legno non sono stati considerati.

Nella tabella seguente sono riportati i dati specifici per input e output della fase considerata.

TABELLA 3.7 – FASE DI APPROVVIGIONAMENTO DEL LEGNO: DATI DI INPUT E OUTPUT RIFERITI A 1 M3 DI LEGNO GREZZO

Approvvigionamento legno	U.M.	Ecoinvent
Input		
Legno soffice con corteccia, umidità=70%, in foresta	m3	1
Combustibile diesel	MJ	28,06
Olio lubrificante	kg	0,03
Output		
Legno soffice senza corteccia, umidità=70%, in foresta	m3	1

3.3.2. Produzione della polpa da legno

La fase di produzione della polpa comprende alcuni processi tra cui: la separazione delle fibre (sfibratura sia meccanica sia chimica), il lavaggio e l'imbianchimento della pasta.

I dati di processo della polpa sono stati ricavati dallo studio del ciclo di vita effettuato per una cartiera italiana (2004 e 2005), dal database Ecoinvent e dal Bref. Le aziende che produzione la polpa per il modello in questione si trovano prevalentemente in Sud America.

L'unità funzionale (output) è pari a 1 kg di polpa da 2,11 kg di legno (input).

Si è ipotizzato che il trasporto dalla segheria all'impianto avvenga tramite camion di capacità pari a 3,5-16 ton per un tragitto totale di 400 km, senza consegne intermedie.

Nella tabella 3.8 sono riportati i dati specifici per input e output della fase considerata.

TABELLA 3.8 – DATI INPUT/OUTPUT PER FASE DI PRODUZIONE DELLA POLPA RIFERITI AD 1 KG DI POLPA

Produzione polpa	U.M.	Azienda A 2005	Azienda B 2004	Azienda C 2005	Azienda D 2005	Azienda E 2005	Bref min	Bref max	Eco-invent	Val. medio
				Input						
Legno	kg	3,26	2,13	1,73	1,73	1,78	2,00	3,30	2,12	2,11
Acqua ossigenata	kg	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,03	0,03	0,02
Idrossido di sodio	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,04	0,04
Silicato di sodio	kg	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Clorato di sodio	kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,04
Calcare	kg	0,03	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04
Consumi en. elettrica	kWh	0,62	0,05	0,00	0,03	0,01	0,76	0,76	0,14	0,24
Consumi termici	MJ	23,08	38,82	2,68	3,07	3,17	14,4	14,4	13,5	14,10
Consumi en. totali	MJeq	28,95	39,28	2,68	3,31	3,27	21,62	21,62	14,83	12,43
Consumi acqua	litri	47,73	80,91	33,10	33,1	34,18	30	110,00	132	62,63
				Output						
Emissioni in acqua										
Materiale sospeso	g	0,00	0,00	3,79	0,20	10,00	0,00	5,10	0,00	4,77
BOD	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	40,00	4,21	14,80
COD	g	33,61	33,73	24,82	14,17	14,64	4,00	90,00	53,40	33,55
AOX come Cl-	g	0,48	0,45	0,26	0,12	0,01	0,20	2,00	0,20	0,47
Fosforo totale	g	0,09	0,17	0,04	0,04	0,05	5,00	90,00	0,04	11,93
Solfati	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,50	23,50
Nitriti	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	0,51
Emissioni in aria										
Polveri	g	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	3,00	0,00	1,63
CO2	g	520,00	154,50	215,70	178,10	149,40	0,00	0,00	0,00	243,53
SOx	g	2,96	0,05	0,68	0,83	0,01	0,04	4,00	2,45	1,38
NOx	g	3,30	4,18	1,61	2,01	0,34	0,85	2,60	1,43	2,04
Rifiuti										
Rifiuti solidi	kg	0,05	0,00	0,04	0,13	0,13	0,02	0,02	0,00	0,08

3.3.3. Produzione della polpa da carta di macero

La fase di produzione di polpa da carta di macero comprende i processi di: raccolta della carta (pre e post-consumo), cernita, eliminazione dei materiali non cartacei, separazione delle fibre, disinchiostrazione, lavaggio, trasporto all'azienda cartaria. Si è fatto uso dei dati ricavati dal Bref.

L'unità funzionale (output) è pari a 1 kg di polpa a partire da 1,51 kg di carta da macero (input).

Nella tabella 3.9 sono riportati i dati specifici per input e output della fase considerata.

TABELLA 3.9 – DATI INPUT/OUTPUT PER FASE DI PRODUZIONE DELLA POLPA RIFERITI AD 1 KG DI POLPA DA MACERO

Produzione polpa da carta di macero	U.M.	Bref min	Bref max	Val. medio
		Input		
Carta di recupero	kg	1,01	2,00	1,51
Acqua ossigenata	kg	0,01	0,03	0,02
Sapone	kg	0,00	0,01	0,01
Idrossido di sodio	kg	0,01	0,01	0,01
Silicato di sodio	kg	0,01	0,02	0,01
Dithionite	kg	0,00	0,01	0,01
Acido solforico	kg	0,00	0,00	0,00
Consumi acqua	kg	8,00	16,00	12,00
Consumo energia termica	MJ	0,65	1,10	0,88
Consumo energia elettrica	kWh	0,40	0,50	0,45
		Output		
Emissioni in acqua				
COD	g	20,80	56,00	38,40
Materiale sospeso	g	1,60	3,20	2,40
AOX	g	0,01	0,02	0,01
Rifiuti				
Rifiuti solidi	kg	0,50	0,60	0,55

3.3.4. Produzione della bobina di carta e sua trasformazione

La fase di produzione e trasformazione della carta comprende alcuni processi tra cui: la composizione della ricetta (polpa di cellulosa, acqua, cariche e scarti), la raffinazione, la formatura della carta, la pressatura, l'essiccatura, il trattamento di rivestimento superficiale, la creazione delle bobine e il taglio nel formato desiderato.

Si è fatto uso dei dati ricavati dal Rapporto Ambientale del Gruppo Cartiera Lucchese (2004-2007), dal database Ecoinvent e dal Bref.

L'unità funzionale (output) è pari a 1 kg di prodotto cartaceo da 0,92 kg di polpa di legno e 0,18 kg di polpa da carta di macero (input).

Le aziende cui i dati si riferiscono, producono la bobina di carta e la trasformano in un prodotto finito senza passaggi intermedi. Si è supposto inoltre che il semilavorato sia trasportato dal Canada pertanto è stato conteggiato un trasporto su nave di circa 8000 km e un trasporto su gomma complessivo di circa 300 km.

Nella tabella 3.10 sono riportati i dati specifici per input e output della fase considerata.

La trasformazione della carta, da bobina a prodotto finito, subisce successive lavorazioni (ad esempio il taglio in diversi formati, la colorazione, lo stampaggio, ecc.) che non sono state approfondite separatamente per mancanza di dati. I consumi energetici riportati sono però onnicomprensivi della produzione della bobi-

TABELLA 3.10 – DATI INPUT/OUTPUT PER FASE DI PRODUZIONE DELLA BOBINA E TRASFORMAZIONE IN PRODOTTO FINITO RIFERITI AD 1 KG DI CARTA

Produzione bobina	U.M.	Azienda A 2004	Azienda A 2005	Azienda A 2006	Azienda A 2007	Azienda B 2004	Azienda B 2005	Azienda B 2006	Azienda B 2007	Bref min	Bref max	Val. medio
						Input						
Polpa di legno	kg	0,71	0,72	0,75	0,94	0,34	1,10	1,09	1,11	1,01	1,02	0,92
Polpa da macero	kg	0,87	0,78	0,67	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
Resine	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	80,00	40,00
Amido	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	15,00
Pigmenti coloranti	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	1,00
Additivi	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	10,00
Consumi energia elettrica	kWh	0,58	0,52	0,48	0,49	1,18	1,13	0,88	0,98	1,00	3,00	1,15
Consumi termici	MJ	13,55	12,45	10,69	12,88	6,96	6,69	5,22	6,11	5,00	25,00	7,47
Consumi energetici totali	MJ eq	19,08	17,40	15,26	17,52	18,18	17,46	13,62	15,37	14,50	53,50	20,19
Consumi acqua	litri	18,29	17,13	15,90	16,68	12,11	11,01	9,06	10,06	7,00	100,00	21,72
						Output						
Emissioni in acqua												
Materiale sospeso	mg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	3,00	2,00
BOD	mg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,00	2,00	1,50
COD	mg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	6,00	4,00
AOX	mg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5,00	15,00	10,00
Nitriti	mg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	0,10	0,05
Fosforo tot	mg	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	0,03	0,02
Emissioni in aria												
CO	gr	0,10	0,10	0,30	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
CO2	gr	771,99	709,28	609,23	733,90	427,35	412,00	316,66	375,99	300,00	1800,00	621,89
SOx	gr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	10,00	1,68
NOx	gr	1,09	0,75	0,41	0,82	0,44	0,42	0,33	0,40	0,50	5,00	1,04
Rifiuti												
Rifiuti inerti	kg	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,33
Fanghi di cartiera	kg	0,61	0,53	0,41	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44

na e delle successive trasformazioni. Tenendo conto inoltre che non si dispone di dati riguardanti gli additivi utilizzati nelle fasi di finitura del prodotto, si ritiene che l'impatto ambientale potenziale di questa fase sia sottostimato.

3.3.5. Imballaggio e distribuzione

Per l'imballaggio del prodotto monouso non si dispone di dati specifici ma si è effettuata una ricerca in internet al fine di prendere a riferimento l'imballaggio di tali prodotti.

Si è considerato un imballaggio costituito da: una busta di materiale plastico contenente fino a 100 prodotti, una scatola di cartone contenente fino a cinque buste e un pallet che trasporta fino a 10 cartoni. Il peso dei materiali è stato scelto rispettivamente di 20 gr, 2 kg e 15 kg.

Per quanto riguarda la distanza tra la cartiera e i suoi clienti, si è considerato uno scenario di distribuzione virtuale in mancanza di dati specifici. Tale scenario prevede che le forniture verso i grossisti siano effettuate con mezzi di capacità di 3,5-16 ton per una distanza fino a 100 km mentre, dal grossista al ristorante/albergo, le forniture avvengano con mezzi di capacità inferiore a 3,5 ton per una distanza entro i 30 km.

3.3.6. Fine vita del prodotto cartaceo

Il fine vita del prodotto cartaceo è stato considerato secondo il seguente scenario:

- materiale inviato a riciclo pari al 47% del totale;
- materiale smaltito in discarica pari al 20% del totale;
- materiale destinato all'incenerimento pari al 33% del totale.

Lo scenario deriva dall'elaborazione dei dati 2007 di Assocarta, Comieco e APAT.

4. Valutazione dell'impatto

Lo scopo della valutazione d'impatto (Life Cycle Impact Assessment – LCIA) è quello di evidenziare l'entità delle modifiche ambientali che si generano a seguito dei rilasci nell'ambiente e del consumo di risorse provocati dall'attività produttiva.

In questa fase si realizza il passaggio dal dato oggettivo calcolato durante la fase di Inventario al giudizio di pericolosità ambientale, con l'obiettivo di scoprire dove e come intervenire per ottenere una minimizzazione dell'impatto dovuto ai vari processi.

L'obiettivo fondamentale consiste, dunque, nell'imputare i consumi e le emissioni ottenuti nella fase d'inventario a specifiche categorie d'impatto.

Quelle considerate nel presente studio sono:

- **Consumo di risorse**: il conteggio della quantità di risorse energetiche e non energetiche complessivamente utilizzate nell'intero ciclo di vita dei prodotti. Si dividono inoltre in rinnovabili e non rinnovabili.

- **Effetto serra**: è causato dalla presenza in atmosfera di gas tali da assorbire la radiazione infrarossa emessa dalla terra provocando un incremento della temperatura. Il gas serra di origine antropica che genera maggiori preoccupazioni è la CO2. Il metodo di caratterizzazione degli impatti delle sostanze ad effetto serra si basa su quanto dichiarato dal'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) che utilizza come indicatore d'impatto i kg di CO2 equivalente rispetto ad un orizzonte temporale di 100 anni (GWP 100 years, Global Warming Potential). Il GWP è basato su una scala relativa che confronta il gas considerato con un'uguale massa di CO2, il cui GWP è per definizione pari a 1.

- **Assottigliamento della fascia di ozono**: l'ozono è il gas presente nella stratosfera che ha la funzione di proteggere la terra dai raggi ultravioletti emessi dal sole. La rottura delle molecole di ozono causa un buco nello strato protettivo e ciò avviene a causa di alcuni composti instabili, come CFC e HCFC, che raggiunta la stratosfera sono rotti dai raggi ultravioletti liberando il cloro che at-

tacca l'ozono. Il metodo di caratterizzazione degli impatti delle sostanze nocive all'ozono si basa su quanto dichiarato dal World Metereological Organisation (WMO) che utilizza come indicatore d'impatto i kg di CFC-11 equivalente (ODP, Ozone Deplemention Potential). L'ODP è basato su una scala relativa che confronta il gas considerato con un'uguale massa di CFC-11, il cui ODP è per definizione pari a 1.

- **Acidificazione**: l'indicatore di acidificazione è legato alle emissioni in aria di particolari sostanze acidificanti, quali ossidi di azoto e ossidi di zolfo, che provocano l'abbassamento del pH dei laghi, foreste, oceani. Il metodo di caratterizzazione degli impatti dell'acidificazione si basa su quanto dichiarato dal Centro Scienze Ambientali di Leiden, NL (CML) che utilizza come indicatore d'impatto i kg di SO2 equivalente (AP, Acidification Potential). L'AP è basato su una scala relativa che confronta la sostanza considerata con un'uguale massa di SO2 equivalente, il cui AP è per definizione pari a 1.

- **Eutrofizzazione**: indica una condizione di ricchezza di sostanze nutritive in un dato ambiente, nello specifico una sovrabbondanza di nitrati e fosfati in un ambiente acquatico, che determina la proliferazione di alghe microscopiche e, a loro volta, una maggiore attività batterica; il conseguente abbassamento di ossigeno nelle acque superficiali e nel suolo provoca un degrado dell'ambiente divenuto asfittico che porta, alla lunga, alla morte dei pesci. Il metodo di caratterizzazione degli impatti dell'eutrofizzazione si basa su quanto dichiarato dal Centro Scienze Ambientali di Leiden, NL (CML) che utilizza come indicatore d'impatto i kg di PO_4^{3-} equivalente (NP, Nutrification Potential). L'NP è basato su una scala relativa che confronta la sostanza considerata con un'uguale massa di PO_4^{3-} equivalente, il cui NP è per definizione pari a 1.

- **Formazione di smog fotochimico**: è un fenomeno tipico delle ore di punta delle grandi città, molto accentuato nel periodo estivo, quando le radiazioni solari fanno reagire gli idrocarburi incombusti e gli ossidi di azoto presenti nei fumi di scarico, formando ozono nocivo per la salute. Il metodo di caratterizzazione degli impatti dello smog fotochimico si basa su quanto dichiarato dal United Nations Economic Commision for Europe (UNECE) che utilizza come indicatore d'impatto i kg di C2H4 equivalente POCP (Photochemical Ozone Creation Potential). Il POCP è basato su una scala relativa che confronta la sostanza considerata con un'uguale massa di C2H4 equivalente, il cui POCP è per definizione pari a 1.

- **Rifiuti**: identificati dal codice CER (Codice Europeo dei Rifiuti) e suddivisi in pericolosi e non pericolosi.

Per determinare in modo omogeneo e comparabile il contributo delle singole emissioni catalogate nelle varie categorie d'impatto, è stato scelto il metodo di va-

lutazione EPD (Environmental Product Declaration), recentemente aggiornato (Febbraio 2008) ed utilizzato per la definizione della dichiarazione ambientale di prodotto, secondo la norma ISO 14025. Il metodo EPD è stato scelto perché utilizza fattori di caratterizzazione, delle categorie suddette, secondo i più recenti studi internazionali sull'ambiente.

In appendice sono riportati i fattori di caratterizzazione specifici per categorie d'impatto e sostanza.

4.1. Profilo Ambientale del prodotto tessile

Si riportano le principali sostanze consumate ed emesse nel ciclo di vita del prodotto tessile.

TABELLA 4.1 – PRINCIPALI EMISSIONI IN ATMOSFERA GENERATE DURANTE IL CICLO DI VITA DI 1 KG DI PRODOTTO TESSILE

Sostanza	U.M.	Quantità
Inerti per infrastrutture	kg	5,27
Petrolio	kg	2,61
Antracite	kg	2,11
Anidride carbonica	kg	1,32
Lignite	kg	0,81
Cloruro di sodio	kg	0,80
Ferro	kg	0,50
Calcite,	kg	0,39
Argilla	kg	0,12
Cloruro di potassio	kg	0,06
Solfato di sodio	kg	0,03
Nickel	kg	0,02
Solfato di bario	kg	0,02

TABELLA 4.2 – PRINCIPALI RISORSE CONSUMATE DURANTE IL CICLO DI VITA DI 1 KG DI PRODOTTO TESSILE

Sostanza	U.M.	Quantità
Anidride carbonica	kg	38,96
Metano	kg	0,11
Ossidi di azoto	kg	0,08
Ossidi di zolfo	kg	0,05
Diossido di zolfo	kg	0,05
Monossido di carbonio	kg	0,04
NMVOC (composti organici volatili non contenenti metano)	kg	0,01
Polveri	Kg	0,01

TABELLA 4.3 – PRINCIPALI EMISSIONI AL SUOLO GENERATE DURANTE IL CICLO DI VITA DI 1 KG DI PRODOTTO TESSILE

Sostanza	U.M.	Quantità
Cloruri	kg	0,78
BOD5 (domanda biologica di ossigeno)	kg	0,21
COD (richiesta chimica di ossigeno)	kg	0,21
Ione di sodio	kg	0,10
Solfati	kg	0,09
TOC (carbonio organico totale[1])	kg	0,09
DOC (carbonio disciolto totale[2])	kg	0,09
Silicio	kg	0,06
Ione di calcio	kg	0,04
Nitrati	kg	0,03

TABELLA 4.4 – PRINCIPALI EMISSIONI IN ACQUA GENERATE DURANTE IL CICLO DI VITA DI 1 KG DI PRODOTTO TESSILE

Sostanza	U.M.	Quantità
Cloruri	gr	17,65
Oli, non specificati	gr	6,92
Calcio	gr	0,47
Ferro	gr	0,43
Carbonio	gr	0,32
Sodio	gr	0,22
Glifosato (erbicida)	gr	0,19
Alluminio	gr	0,10

4.2. Profilo Ambientale del prodotto cartaceo

Si riportano nelle seguenti tabelle le principali sostanze consumate ed emesse nell'intero ciclo di vita del prodotto cartaceo.

[1] TOC è una misura della quantità di carbonio legato in un composto organico ed è spesso utilizzato come indicatore non-specifico della qualità delle acque o nell'analisi dei fumi risultanti dai processi di combustione come indice del livello di completezza della combustione stessa.

[2] DOC è una fase in cui si presenta il TOC e rappresenta la frazione organica di carbonio che passa attraverso una membrana filtrante da 0,45 µm.

TABELLA 4.5 – PRINCIPALI RISORSE CONSUMATE DURANTE IL CICLO DI VITA DI 1 KG DI PRODOTTO CARTACEO

Sostanza	U.M.	Quantità
Anidride carbonica	kg	41,00
Inerti per infrastruttura	kg	11,21
Antracite	kg	3,24
Petrolio	kg	2,79
Lignite	kg	1,79
Cloruro di sodio	kg	1,07
Calcite	kg	1,03
Ferro	kg	0,32
Argilla	kg	0,18
Fluorite	kg	0,05
Ossido di titanio	kg	0,03
Barite	kg	0,03
Solfato di sodio	kg	0,02

TABELLA 4.6 – PRINCIPALI EMISSIONI IN ATMOSFERA GENERATE DURANTE IL CICLO DI VITA DI 1 KG DI PRODOTTO CARTACEO

Sostanza	U.M.	Quantità
Anidride carbonica	kg	60,04
Metano	kg	0,40
Ossidi di azoto	kg	0,12
Diossido di zolfo	kg	0,11
Monossido di carbonio	kg	0,06
Idrogeno	kg	0,03
NMVOC (composti organici volatili non metanici)	kg	0,03
Polveri	Kg	0,03

TABELLA 4.7 – PRINCIPALI EMISSIONI IN ACQUA GENERATE DURANTE IL CICLO DI VITA DI 1 KG DI PRODOTTO CARTACEO

Sostanza	U.M.	Quantità
COD (richiesta chimica di ossigeno)	kg	0,95
Solfati	kg	0,44
TOC (carbonio organico totale)	kg	0,37
DOC (carbonio disciolto totale)	kg	0,37
BOD5 (domanda biologica di ossigeno)	kg	0,31
Nitrati	kg	0,28
Ione di calcio	kg	0,27
Cloruri	kg	0,24
Ione di sodio	kg	0,95

TABELLA 4.8 – PRINCIPALI EMISSIONI AL SUOLO GENERATE DURANTE IL CICLO DI VITA DI 1 KG DI PRODOTTO CARTACEO

Sostanza	U.M.	Quantità
Cloruri	gr	14,65
Oli non specificati	gr	10,92
Calcio	gr	0,58
Ferro	gr	0,58
Carbonio	gr	0,46
Sodio	gr	0,29
Alluminio	gr	0,13

5. Analisi del ciclo di vita

In uno studio di LCA, l'analisi dei contributi ha lo scopo di evidenziare le criticità ambientali del ciclo di vita in esame, vale a dire le fasi che contribuiscono in misura maggiore agli impatti ambientali complessivi. Il fine ultimo di tale analisi è l'individuazione delle fasi sulle quali deve essere posta maggiore attenzione, dove, cioè, un miglioramento del profilo ambientale rappresenta effettivamente un sensibile miglioramento sull'intero ciclo di vita.

5.1. Prodotto tessile

Per quanto riguarda il ciclo di vita del prodotto tessile, utilizzato per un numero di cicli pari a 125, si nota come la fase d'uso del lavaggio industriale è quella che contribuisce maggiormente alle categorie d'impatto ambientale rispettivamente per l'81,8% nell'acidificazione, per il 69,1% nell'eutrofizzazione, per l'88,5% nell'effetto serra, per il 94,4% nell'assottigliamento dello strato d'ozono e per il 91,7% nella creazione dello smog fotochimico.

5.1.1. Acidificazione

Le sostanze che contribuiscono maggiormente all'acidificazione sono:

- Diossido di zolfo (SO2) in aria per il 35,3%, dovuto all'attività delle lavanderie. Di questa fase, i processi maggiormente impattanti sono per il 21,5% il trasporto a mezzo camion, per il 14,7% il consumo di energia elettrica e per il 7,7% la produzione di energia termica da combustione del metano.
- Ossidi di zolfo (SOx) in aria per il 33,5%, di cui il 29,5% dovuto al consumo di energia elettrica da rete italiana, il 21,6% dovuto al consumo di energia elettrica da rete indiana (filatura del cotone), il 10,6% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano e il 10,4% dovuto al trasporto a mezzo camion.
- Ossidi di azoto (NOx) in aria per il 26,5%, di cui il 53,9% dovuto al trasporto a mezzo camion, l'11,5% dovuto al consumo di energia elettrica da rete ita-

liana e l'11,2% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano.

- Ammoniaca (NH4) in aria per il 4,7%, di cui il 59,1% dovuto alla fase di coltivazione e raccolta del cotone cinese, il 20,7% dovuto alla fase di coltivazione e raccolta del cotone americano e l'8,75% dovuto alla produzione di detergente.

Le fasi del ciclo di vita, della sola produzione, che contribuiscono maggiormente all'acidificazione sono:

- Coltivazione del cotone per il 25%,
- Filatura del cotone per il 58%,
- Tessitura del cotone per il 5%,
- Nobilitazione per il 12%,
- Imballaggio per lo 0,26%.

Il punto di pareggio tra l'impatto della sola produzione e quello dovuto alla fase d'uso (industrie di servizi tessili e medici affini) del prodotto tessile si ottiene per un numero di cicli pari a 28, cioè il servizio fornito dalle industrie di servizi tessili e medici affini (prelievo del tovagliato, lavaggio/confezionamento e trasporto al cliente) per 28 cicli ha lo stesso impatto della produzione di un tovagliato tessile.

5.1.2. Eutrofizzazione

Le sostanze che contribuiscono maggiormente all'eutrofizzazione sono:

- Ossidi di azoto (NOx) in aria per il 50,1%, di cui il 53,9% dovuto al trasporto a mezzo camion, l'11,5% dovuto al consumo di energia elettrica da rete italiana e l'11,2% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano.
- Domanda Chimica di Ossigeno (COD) in acqua per il 14,3%, di cui quello prodotto dall'attività delle lavanderie contribuisce per il 60%, quello dovuto al trasporto su gomma per il 10,7%, quello dovuto alla fase di nobilitazione del tessuto per il 8,34% e quello dovuto allo smaltimento in discarica degli imballaggi misti per il 8%.
- Nitrati (NO3-) in acqua per l'10,4%, di cui quello prodotto nella fase di coltivazione del cotone cinese contribuisce per il 50,2%, quello prodotto nella fase di coltivazione del cotone americano contribuisce per il 17,9%, quello per la produzione del detergente per il 16% e quello per la produzione dell'amido per il 12,5%.
- Fosfati in acqua per l'9,07%, di cui quello prodotto nella fase di coltivazione del cotone americana contribuisce per il 42%, quello prodotto nella fase di coltivazione del cotone cinese contribuisce per il 24,6%, quello prodotto nella fase di produzione dell'acciaio contribuisce per l'8,89% e quello dovuto alla produzione dei composti chimici inorganici contribuisce per il 5,38%.

FIGURA 5.1 – ANALISI DEI CONTRIBUTI ALLA CATEGORIA D'IMPATTO "ACIDIFICAZIONE" (ESCLUSI I PROCESSI CON IMPATTO INFERIORE AL 10% DEL TOTALE)

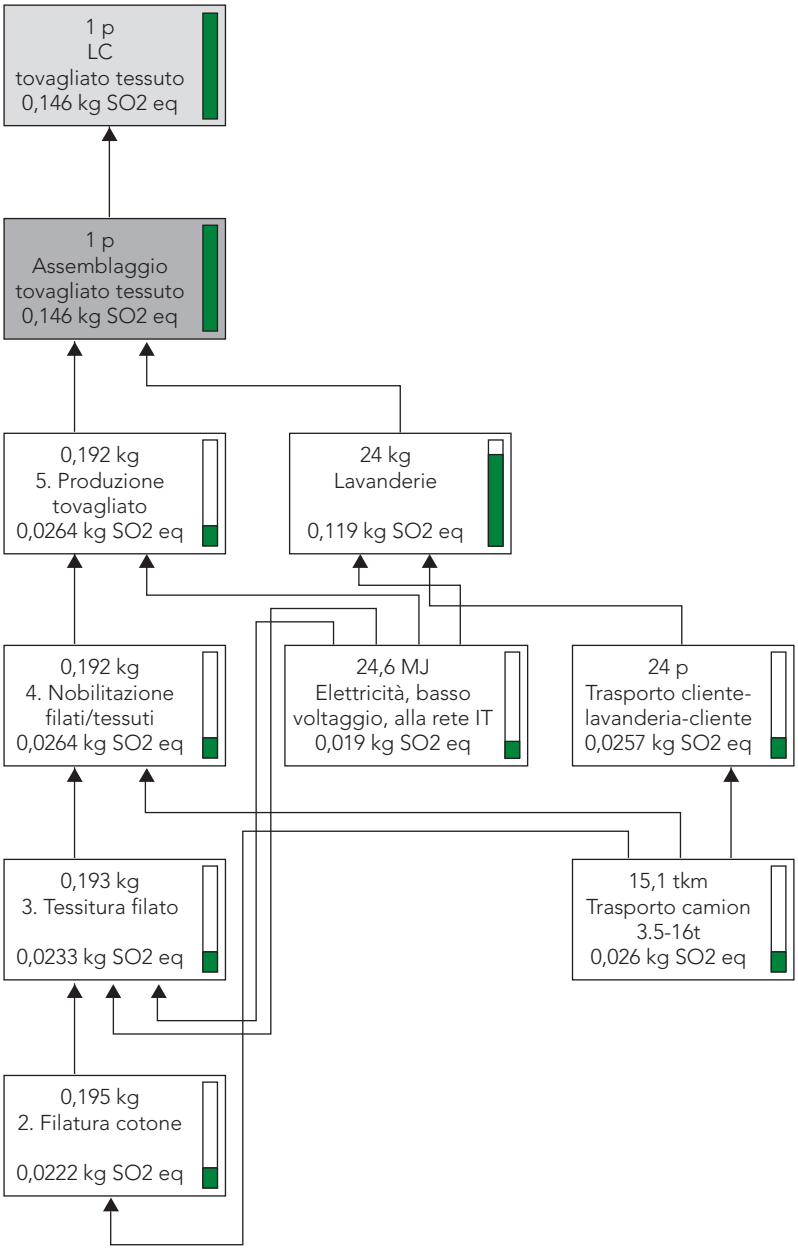
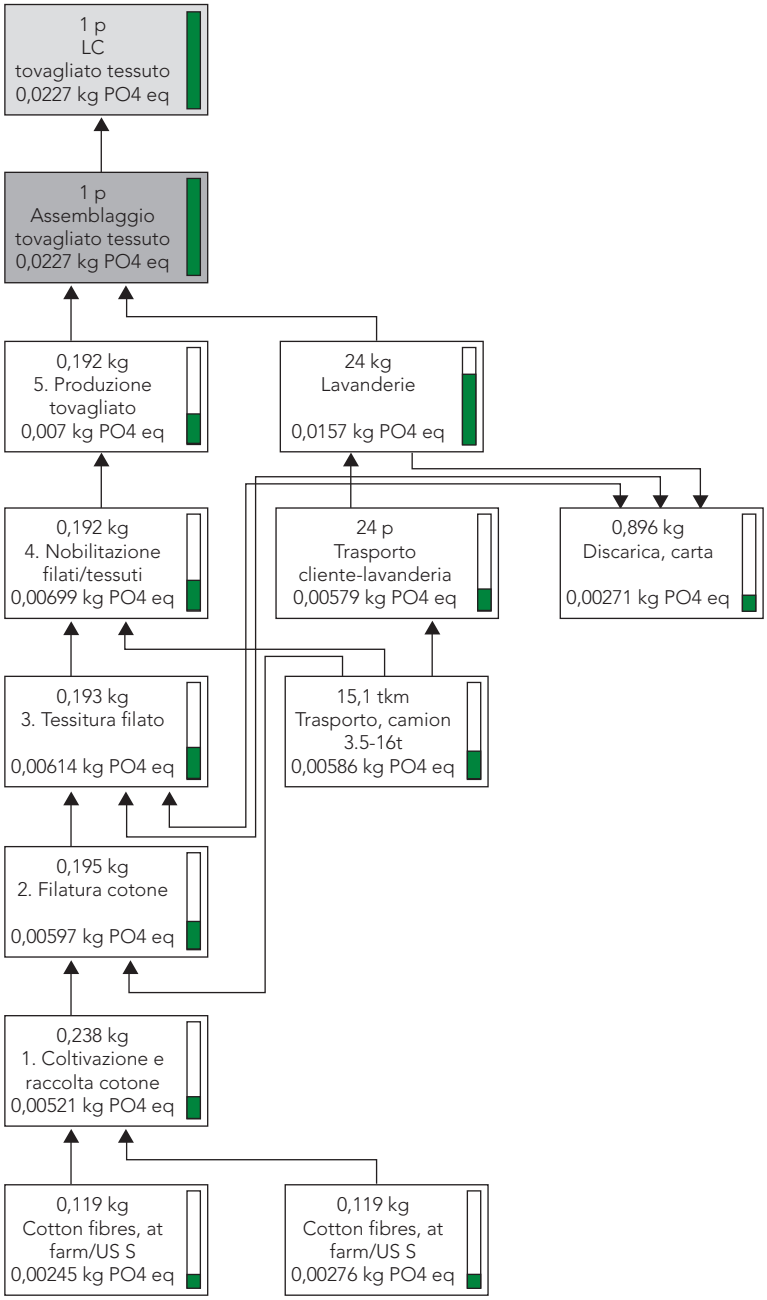


FIGURA 5.2 – ANALISI DEI CONTRIBUTI ALLA CATEGORIA D'IMPATTO "EUTROFIZZAZIONE" (ESCLUSI I PROCESSI CON IMPATTO INFERIORE AL 10% DEL TOTALE)



Le fasi del ciclo di vita, della sola produzione, che contribuiscono maggiormente all'eutrofizzazione sono:

- Coltivazione del cotone per il 71%,
- Filatura del cotone per il 12%,
- Tessitura del cotone per il 3%,
- Nobilitazione per il 14%,
- Imballaggio per lo 0,25%.

Il punto di pareggio tra l'impatto della produzione e della fase d'uso del prodotto tessile si ottiene per un numero di cicli pari a 56.

5.1.3. Effetto serra

Le sostanze che contribuiscono maggiormente al riscaldamento globale sono:

- Anidride carbonica (CO2) per l'88,5%, di cui per il 48% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano, per il 17,4% dovuto al trasporto a mezzo camion e per il 15,2% dovuto al consumo di energia elettrica italiana.
- Metano (CH4) di origine fossile per il 5,19%, di cui per il 47,3% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano, per il 12,6% dovuto al consumo di energia elettrica indiana e per il 9,23% dovuto al consumo di energia elettrica italiana.
- Protossido di azoto (N2O) per l'1,94%, di cui per l'35,9% dovuto alla coltivazione del cotone cinese e per il 21,1% dovuto alla coltivazione del cotone americano.

Le fasi del ciclo di vita, della sola produzione, che contribuiscono maggiormente all'effetto serra sono:

- Coltivazione del cotone per il 16%,
- Filatura del cotone per il 49%,
- Tessitura del cotone per il 7%,
- Nobilitazione per il 27%,
- Imballaggio per l'1%.

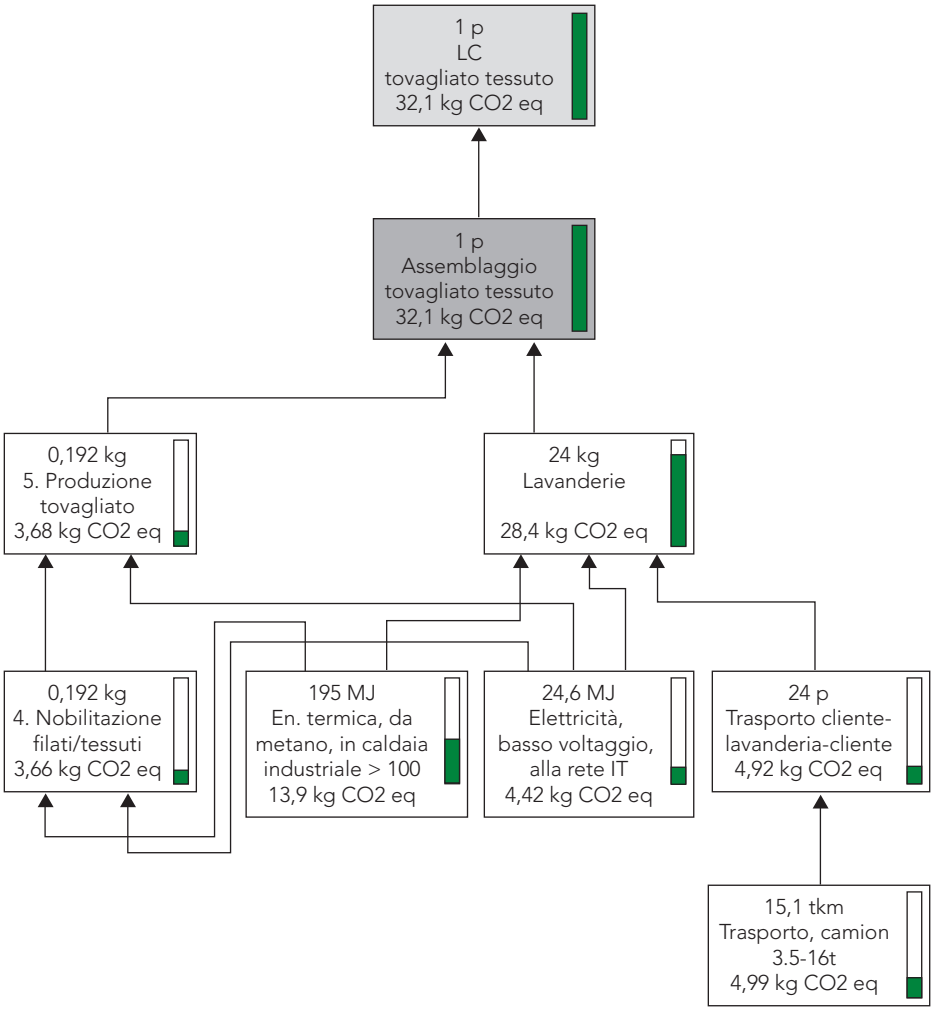
Il punto di pareggio tra l'impatto della produzione e quello della fase d'uso (industrie di servizi tessili e medici affini) del prodotto tessile si ottiene per un numero di cicli pari a 16, cioè il servizio fornito dalle industrie di servizi tessili e medici affini (prelievo del tovagliato, lavaggio/confezionamento e trasporto al cliente) per 16 cicli ha lo stesso impatto della produzione di un tovagliato tessile.

5.1.4. Assottigliamento dello strato di ozono

Le sostanze che contribuiscono maggiormente al riscaldamento globale sono:

- Halon 1211 (bromoclorodifluorometano) per il 75,3%, di cui per l'83,1% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano e per il 10,2% dovuto al consumo di energia elettrica italiana.

FIGURA 5.3 – ANALISI DEI CONTRIBUTI ALLA CATEGORIA D'IMPATTO "EFFETTO SERRA" (ESCLUSI I PROCESSI CON IMPATTO INFERIORE AL 10% DEL TOTALE



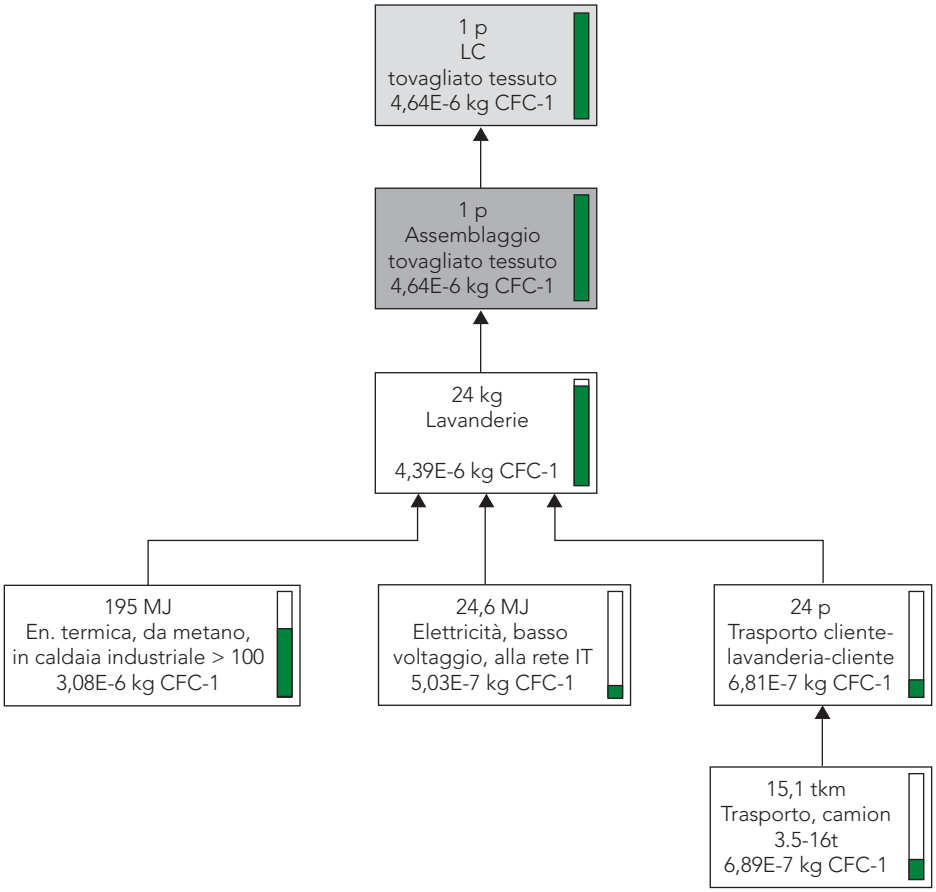
- Halon 1301 (bromotrifluorometano) per il 19,6%, di cui per il 72,4% dovuto al trasporto a mezzo camion e per l'11,4% dovuto al consumo di energia elettrica italiana.
- HCFC-22 (clorodifluorometano) per il 4,1% di cui per l'81,7% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano e per l'11,2% dovuto al consumo di energia elettrica italiana.

Le fasi del ciclo di vita, della sola produzione, che contribuiscono maggiormente all'assottigliamento dello strato d'ozono sono:

- Coltivazione del cotone per il 15%,
- Filatura del cotone per il 15%,
- Tessitura del cotone per il 11%,
- Nobilitazione per il 58%,
- Imballaggio per l'1%.

Il punto di pareggio tra l'impatto della produzione e quello della fase d'uso (industrie di servizi tessili e medici affini) del prodotto tessile si ottiene per un nume-

FIGURA 5.4 – ANALISI DEI CONTRIBUTI ALLA CATEGORIA D'IMPATTO "ASSOTTIGLIAMENTO DELLO STRATO DI OZONO" (ESCLUSI I PROCESSI CON IMPATTO INFERIORE AL 10% DEL TOTALE



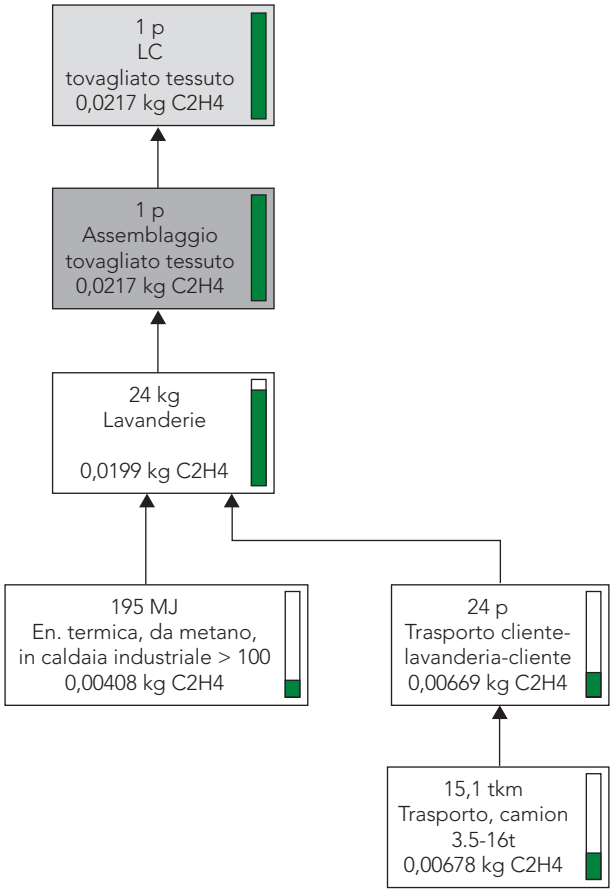
ro di cicli pari a 7, cioè il servizio fornito dalle industrie di servizi tessili e medici affini (prelievo del tovagliato, lavaggio/confezionamento e trasporto al cliente) per 7 cicli ha lo stesso impatto della produzione di un tovagliato tessile.

5.1.5. Creazione ozono fotochimico

Le sostanze che contribuiscono maggiormente al riscaldamento globale sono:

- NMVOC (composti organici volatili non contenenti metano) in aria per il 66%, di cui per il 41,3% dovuto al trasporto a mezzo camion, per il 23,2% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano.

FIGURA 5.5 – ANALISI DEI CONTRIBUTI ALLA CATEGORIA D'IMPATTO "CREAZIONE OZONO FOTOCHIMICO" (ESCLUSI I PROCESSI CON IMPATTO INFERIORE AL 10% DEL TOTALE)



- Ossido di zolfo (SOx) in aria per l'11,4%, da attribuire all'attività delle lavanderie. In particolare per il 68,1% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano e per il 15,5% dovuto al trasporto a mezzo camion.
- Diossido di zolfo (SO2) per il 10,8%, di cui per il 29,5% dovuto al consumo di energia elettrica italiana e per il 21,6% dovuto al consumo di energia elettrica indiana.

Le fasi del ciclo di vita, della sola produzione, che contribuiscono maggiormente alla creazione dell'ozono fotochimico sono:
- Coltivazione del cotone per il 20%,
- Filatura del cotone per il 43%,
- Tessitura del cotone per il 9%,
- Nobilitazione per il 27%,
- Imballaggio per l'1%.

Il punto di pareggio tra l'impatto della produzione e quello della fase d'uso (industrie di servizi tessili e medici affini) del prodotto tessile si ottiene per un numero di cicli pari a 11, cioè il servizio fornito dalle industrie di servizi tessili e medici affini (prelievo del tovagliato, lavaggio/confezionamento e trasporto al cliente) per 11 cicli ha lo stesso impatto della produzione di un tovagliato tessile.

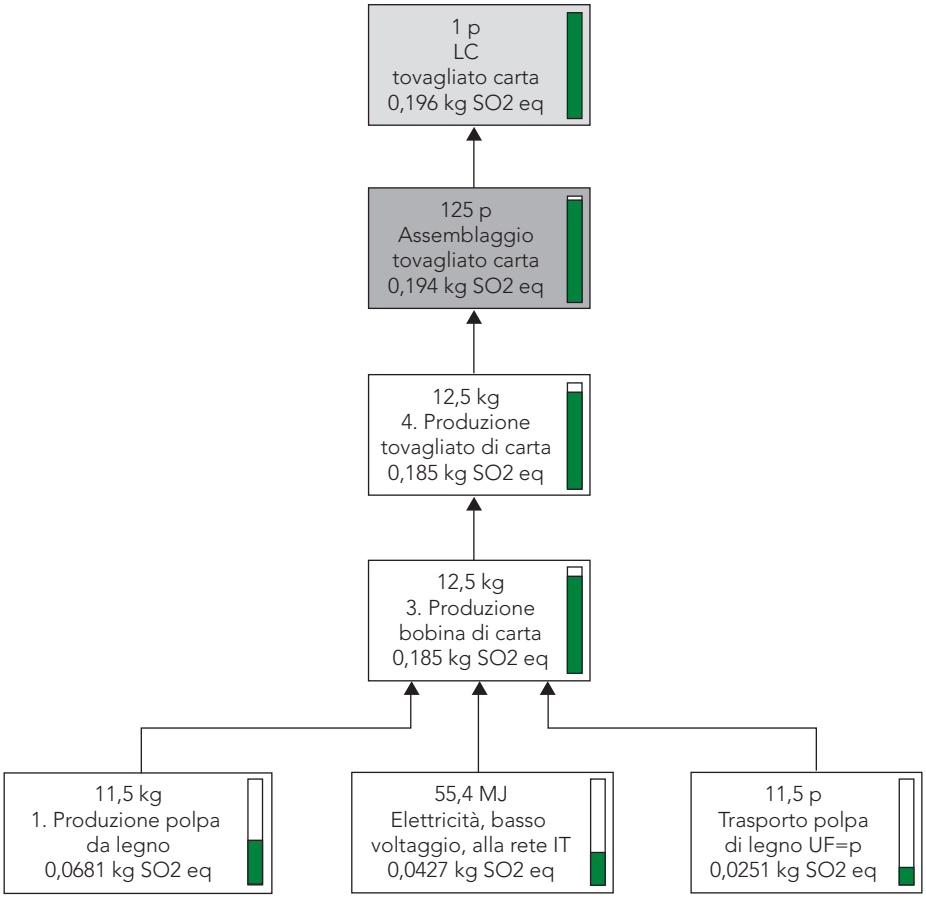
5.2. Prodotto cartaceo

5.2.1. Acidificazione

Le sostanze che contribuiscono maggiormente all'acidificazione sono:
- Diossido di zolfo (SOx) in aria per il 56%, di cui per il 29,6% dovuto al consumo di energia elettrica da rete italiana, per il 19,2% dovuto alla produzione della bobina di carta e per l'11,4% dovuto al trasporto a mezzo nave.
- Ossidi di azoto (NOx) in aria per il 31,5%, di cui per il 19,5% dovuto alla produzione della polpa da legno, per il 16,7% dovuto al consumo di energia elettrica da rete italiana, per l'11% dovuto al trasporto a mezzo camion e per il 11% dovuto al trasporto a mezzo nave.
- Ossidi di azoto (SO2) in aria per l'8,09%, dovuto alla produzione della polpa da legno.

Le fasi del ciclo di vita che contribuiscono maggiormente all'acidificazione sono:
- Produzione della polpa per il 50% (di cui 33% da legno vergine e 17% da macero),
- Produzione della bobina di carta per il 49%,
- Imballaggio per l'1%.

FIGURA 5.6 – ANALISI DEI CONTRIBUTI ALLA CATEGORIA D'IMPATTO "ACIDIFICAZIONE" (ESCLUSI I PROCESSI CON IMPATTO INFERIORE AL 10% DEL TOTALE)



5.2.2. Eutrofizzazione

Le sostanze che contribuiscono maggiormente all'eutrofizzazione sono:

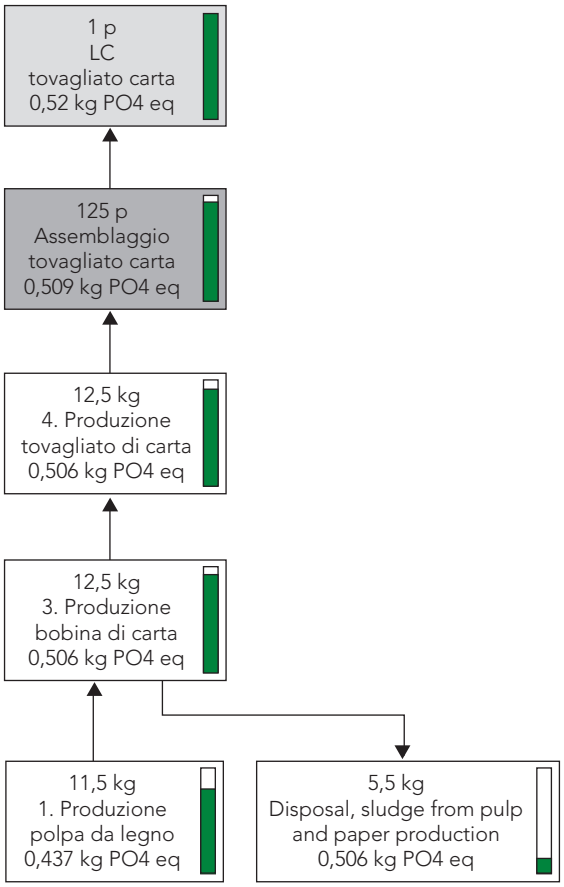
- Fosforo totale (P-tot) in acqua per l'80,7%, dovuto alla produzione della polpa da legno.
- Nitrati (NO3-) in acqua per il 5,46%, di cui per il 96,5% prodotto dallo smaltimento dei fanghi da cartiera.
- Ione ammoniaca (NH4+), in acqua per il 4,9%, di cui per il 99,7% prodotto dallo smaltimento dei fanghi da cartiera.

- Domanda Chimica di Ossigeno (COD) in acqua per il 4,02%, di cui per il 2,65% dovuto alla produzione del prodotto cartaceo (61,7% dovuto alla produzione della polpa da legno) e per il restante 1,37% dovuto al suo smaltimento (83,6% dovuto al conferimento in discarica).

Le fasi del ciclo di vita che contribuiscono maggiormente all'eutrofizzazione sono:

- Produzione della polpa per l'88% (di cui 85% da legno vergine e 3% da macero),
- Produzione della bobina di carta per il 12%,
- Imballaggio per lo 0,13%.

FIGURA 5.7 – ANALISI DEI CONTRIBUTI ALLA CATEGORIA D'IMPATTO "EUTROFIZZAZIONE" (ESCLUSI I PROCESSI CON IMPATTO INFERIORE AL 10% DEL TOTALE)



5.2.3. Effetto serra

Le sostanze che contribuiscono maggiormente al riscaldamento globale sono:

- Anidride carbonica (CO2) di origine fossile per il 55,3%, di cui per il 44,6% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano e per il 24,1% dovuto al consumo di energia elettrica italiana.
- Anidride carbonica (CO2) di origine biogenica per il 15,2%, di cui per il 3% dovuto alla produzione del tovagliato mentre per il 12,2% dovuto allo smaltimento dello stesso, in particolare per l'89,5% dovuto all'incenerimento e al 10,5% dovuto alla discarica.
- Anidride carbonica (CO2) per il 15% di cui per il 73,5% dovuto alla produzione della bobina di carta mentre per il 26,5% dovuto alla produzione della polpa da legno.
- Metano (CH4) di origine biogenica per il 10,9%, di cui per il 6,55% dovuto alla produzione del prodotto cartaceo (per il 99,2% dovuto allo smaltimento dei fanghi da cartiera) e per il restante 4,36% dovuto allo smaltimento in discarica della carta.

Le fasi del ciclo di vita che contribuiscono maggiormente all'effetto serra sono:

- Produzione della polpa per il 47% (di cui 34% da legno vergine e 13% da macero),
- Produzione della bobina di carta per il 51%,
- Imballaggio per il 2%.

5.2.4. Assottigliamento dello strato di ozono

Le sostanze che contribuiscono maggiormente al riscaldamento globale sono:

- Halon 1211 (bromoclorodifluorometano) per il 76,8%, di cui per il 76% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano e per il 16,8% dovuto al consumo di energia elettrica italiana.
- Halon 1301 (bromotrifluorometano) per il 16,4%, di cui per il 34,8% dovuto al trasporto a mezzo camion e per il 22% dovuto al consumo di energia elettrica italiana.
- HCFC-22 (clorodifluorometano) per il 4,2% di cui per il 74% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano e per il 17,3% dovuto al consumo di energia elettrica italiana.

Le fasi del ciclo di vita che contribuiscono maggiormente all'assottigliamento dello strato d'ozono sono:

- Produzione della polpa per il 56% (di cui 44%da legno vergine e 12% da macero),
- Produzione della bobina di carta per il 43%,
- Imballaggio per l'1%.

FIGURA 5.8 – ANALISI DEI CONTRIBUTI ALLA CATEGORIA D'IMPATTO "EFFETTO SERRA" (ESCLUSI I PROCESSI CON IMPATTO INFERIORE AL 10% DEL TOTALE)

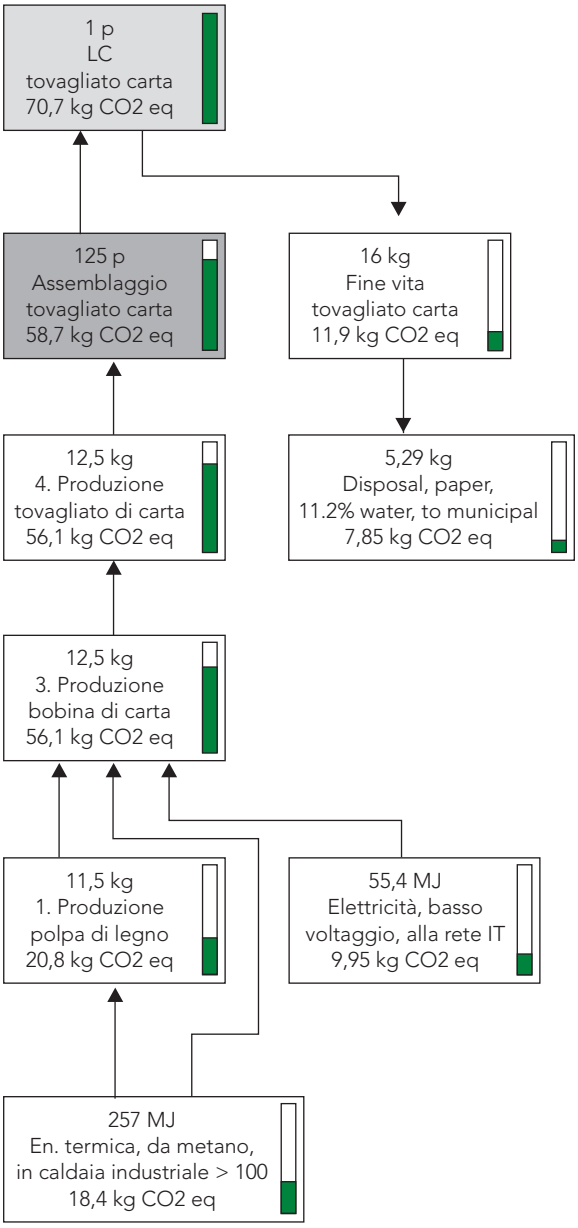
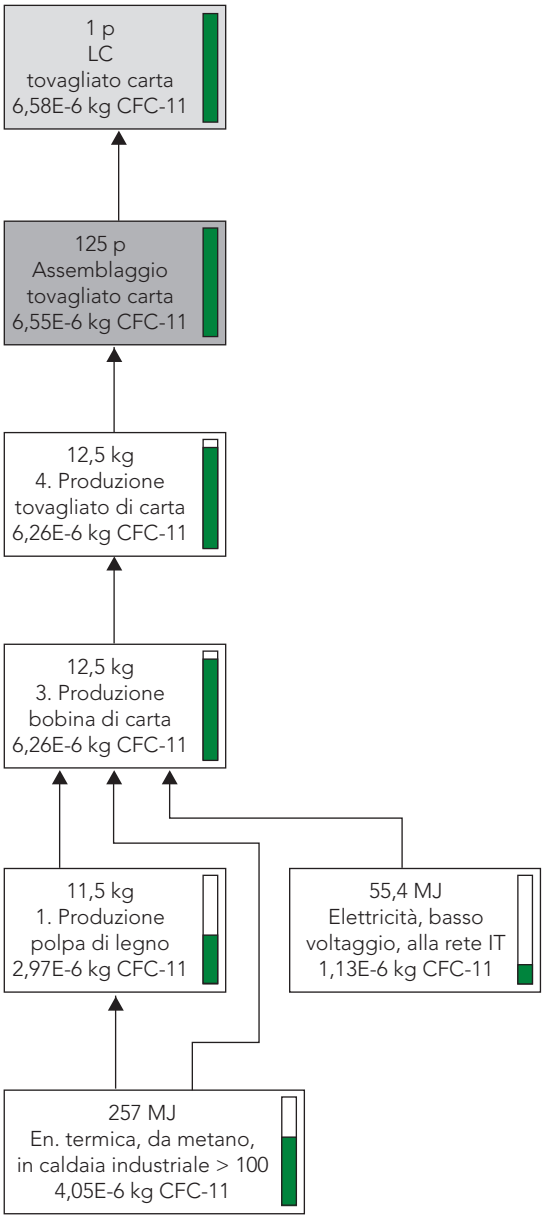


FIGURA 5.9 – ANALISI DEI CONTRIBUTI ALLA CATEGORIA D'IMPATTO "ASSOTTIGLIAMENTO DELLO STRATO DI OZONO" (ESCLUSI I PROCESSI CON IMPATTO INFERIORE AL 10% DEL TOTALE)

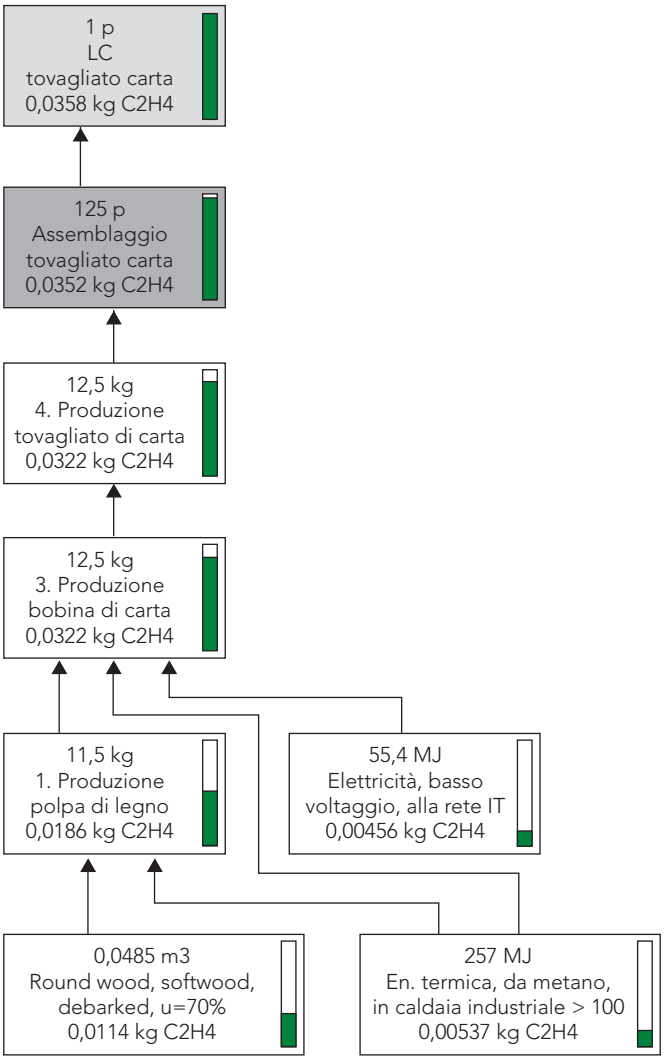


5.2.5. Creazione ozono fotochimico

Le sostanze che contribuiscono maggiormente al riscaldamento globale sono:

- NMVOC (composti organici volatili non contenenti metano) per il 73,7%, di cui per il 41% dovuto all'approvvigionamento del legno da foresta, per il

FIGURA 5.10 – ANALISI DEI CONTRIBUTI ALLA CATEGORIA D'IMPATTO "CREAZIONE OZONO FOTOCHIMICO" (ESCLUSI I PROCESSI CON IMPATTO INFERIORE AL 10% DEL TOTALE)



16,9% dovuto alla produzione di energia termica da combustione del metano e per il 10,2% dovuto al consumo di energia elettrica italiana.

- Diossido di zolfo (SO2) per il 14,7%, di cui per il 29,6% dovuto al consumo di energia elettrica italiana, per il 19,2% dovuto alla produzione della bobina di carta e per l'11,4% dovuto al trasporto a mezzo nave.
- Monossido di carbonio (CO) fossile per il 4,23%, di cui per il 45,3% dovuto all'approvvigionamento del legno da foresta e per l'8,92% dovuto al trasporto a mezzo furgone.

Le fasi del ciclo di vita che contribuiscono maggiormente alla creazione dell'ozono fotochimico sono:

- Produzione della polpa per il 67% (di cui 50% da legno vergine e 17% da macero),
- Produzione della bobina di carta per il 31%,
- Imballaggio per il 2%.

5.3. Confronto tra il ciclo di vita del prodotto tessile e del prodotto monouso

5.3.1. Risultati del confronto sull'intero ciclo di vita

I dati si riferiscono a un prodotto tessile riutilizzato per un numero di lavaggi pari a 125 e a un prodotto cartaceo monouso utilizzato singolarmente per 125 volte.

TABELLA 5.10 – CONFRONTO TRA GLI IMPATTI AMBIENTALI DEL CICLO DI VITA DEL PRODOTTO TESSILE E DI QUELLO CARTACEO (IN GRASSETTO GLI IMPATTI MINORI)

Categoria d'impatto	U.M.	LC tovagliato in tessuto	LC tovagliato in carta
Risorse non rinnovabili, senza contenuto energetico	kg	7,12	14,01
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	536,57	750,03
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	kg	11,25	15,79
Risorse rinnovabili, senza contenuto energetico, compreso il consumo di acqua	kg	56.264,60	118.853,62
Risorse rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	29,61	481,97
Consumo d'acqua	litri	56.263,09	118.787,67
Riscaldamento globale	kg CO2 eq	30,94	70,68
Impoverimento dello strato di ozono	mg CFC-11 eq	4,64	6,58
Ossidazione fotochimica (smog)	kg C2H4	0,02	0,04
Acidificazione del terreno	kg SO2 eq	0,15	0,20
Eutrofizzazione delle acque	kg PO4—- eq	0,02	0,52
Rifiuti solidi, non pericolosi	kg	0,61	12,52
Rifiuti solidi, pericolosi	gr	0,19	0,00
Rifiuti solidi, riciclati	kg	0,40	2,78

Come detto in precedenza, la fase di trasformazione della carta da bobina a prodotto finito non è stata approfondita per mancanza di dati, in particolare quelli riguardanti gli additivi utilizzati nella fase di finitura del prodotto cartaceo, mentre i consumi energetici sono inclusi nella fase di produzione della bobina. Per tali motivi si ritiene che l'impatto ambientale potenziale di questa fase sia sottostimato.

Nella tabella 5.10 e figure sottostanti, si trova il risultato del confronto fra gli impatti ambientali del ciclo di vita del prodotto tessile, indicato nei diagrammi dalla singola striatura diagonale, e quello monouso in carta, indicato nei diagrammi dalla doppia striatura diagonale, secondo le categorie d'impatto selezionate nel presente studio.

I rifiuti solidi non pericolosi del prodotto tessile derivano da alcune fasi del ciclo di vita (filatura, tessitura, nobilitazione e lavanderia industriale) mentre quelli pericolosi derivano dallo smaltimento in discarica di rifiuti derivanti dalla fase di tessitura. Si fa notare come il prodotto tessile ricicla il 65% dei rifiuti non pericolosi mentre il prodotto cartaceo ne ricicla il 22%.

FIGURA 5.11 – CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL TESSUTO E QUELLO DEL PRODOTTO CARTACEO ESPRESSO IN FUNZIONE DEL CONSUMO DI RISORSE

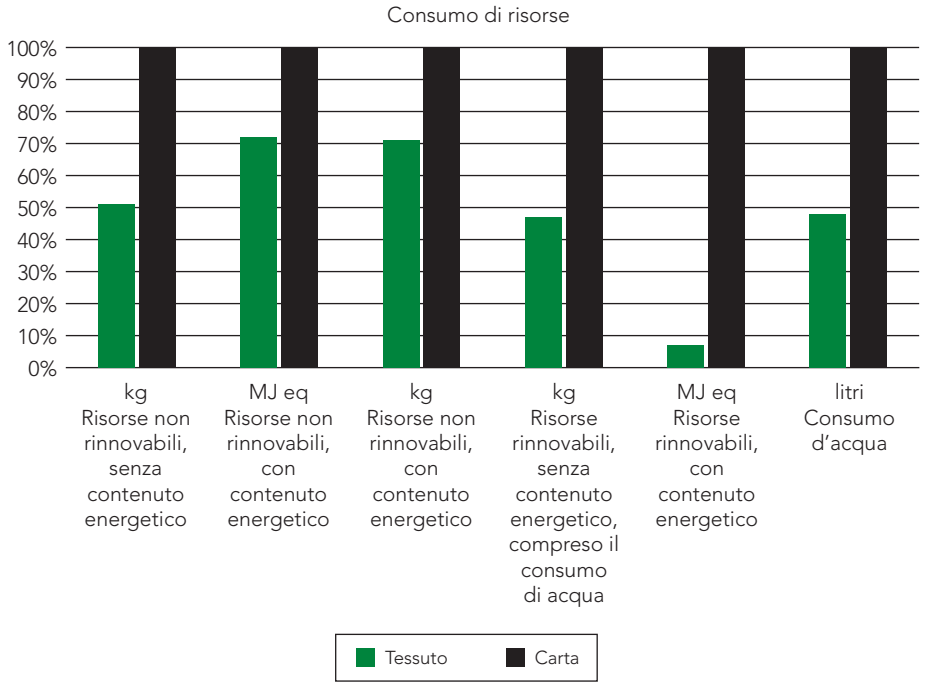


FIGURA 5.12 – CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL TESSUTO E QUELLO DEL PRODOTTO CARTACEO ESPRESSO IN FUNZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE POTENZIALE

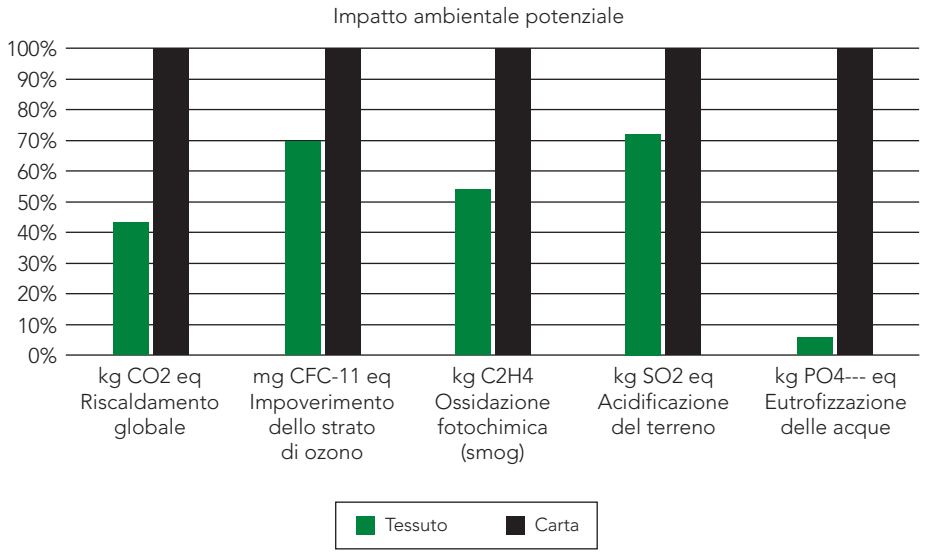


FIGURA 5.13 – CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA TESSUTO E PRODOTTO CARTACEO IN FUNZIONE DEI RIFIUTI PRODOTTI

5.3.2. Risultati del confronto su ciascuna fase del ciclo di vita

Di seguito si riportano i risultati del confronto tra i prodotti oggetto dello studio, evidenziando le singole fasi del ciclo di vita: approvvigionamento delle materie prime, produzione, fase d'uso e fine vita. Il valore maggiore del prodotto tessile, per la categoria delle risorse rinnovabili senza contenuto energetico, è dovuto al consumo d'acqua d'irrigazione, in particolare per l'82,5% da coltivazione cinese mentre per il 17,5% da coltivazione americana.

Il valore maggiore del prodotto tessile, per la categoria acidificazione, è dovuto all'emissione in aria di ammoniaca per il 71,6%, di ossidi di azoto per il 14,9% e anidride solforosa per il 13,6%.

Il valore maggiore del prodotto tessile, per la categoria eutrofizzazione, è dovuto all'emissione di nitrati in acqua per il 27,3%, di fosfati in acqua per il 23,2% e ammoniaca in aria per il 22,9%.

Il valore del prodotto tessile, per i rifiuti pericolosi, è dovuto allo smaltimento in discarica degli imballaggi contenenti sostanze pericolose.

FIGURA 5.14 – APPROVVIGIONAMENTO DELLE MATERIE PRIME: CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL TESSUTO E QUELLO DEL PRODOTTO CARTACEO ESPRESSO IN FUNZIONE DEL CONSUMO DI RISORSE

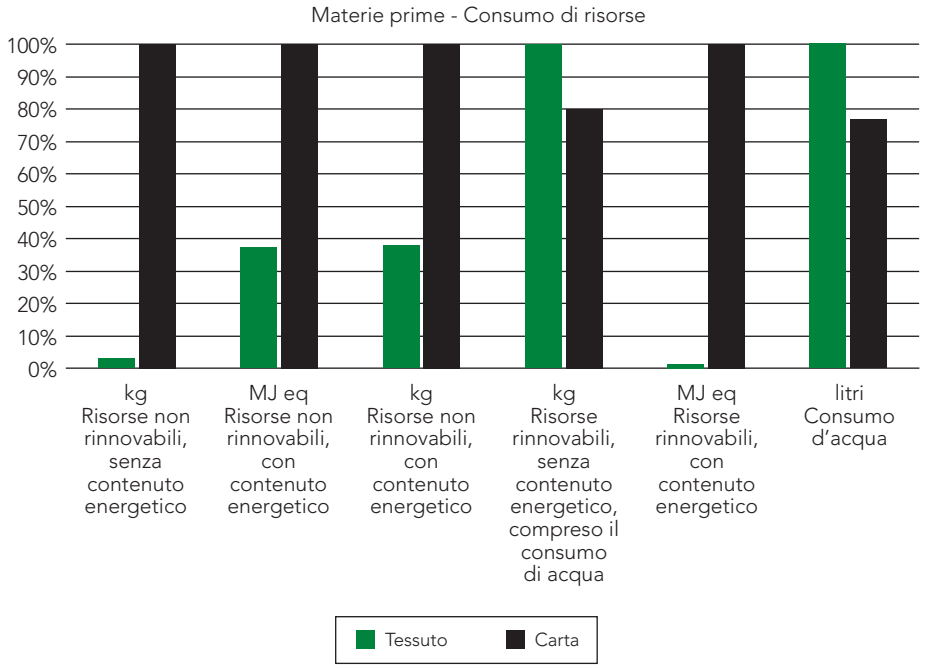


FIGURA 5.15 – APPROVVIGIONAMENTO DELLE MATERIE PRIME: CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL TESSUTO E QUELLO DEL PRODOTTO CARTACEO ESPRESSO IN FUNZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE POTENZIALE

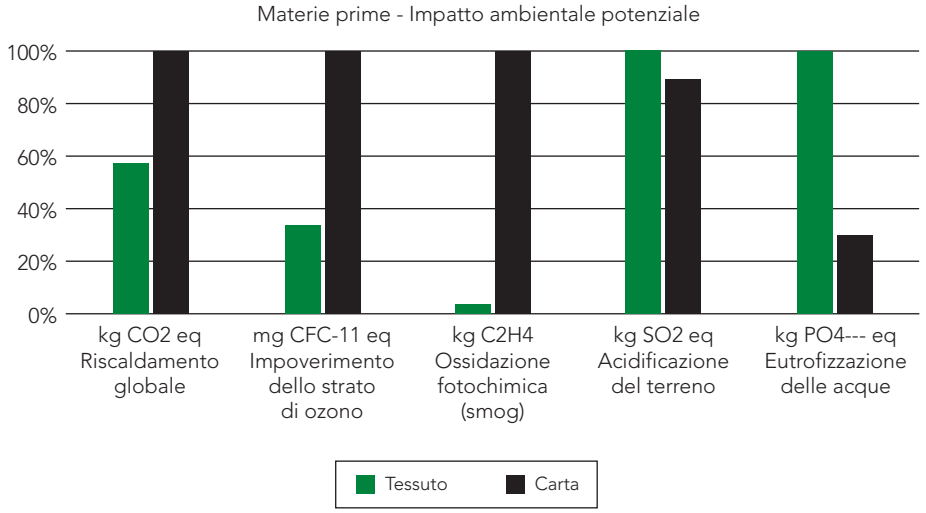


FIGURA 5.16 – APPROVVIGIONAMENTO DELLE MATERIE PRIME: CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL TESSUTO E QUELLO DEL PRODOTTO CARTACEO ESPRESSO IN FUNZIONE DEI RIFIUTI PRODOTTI

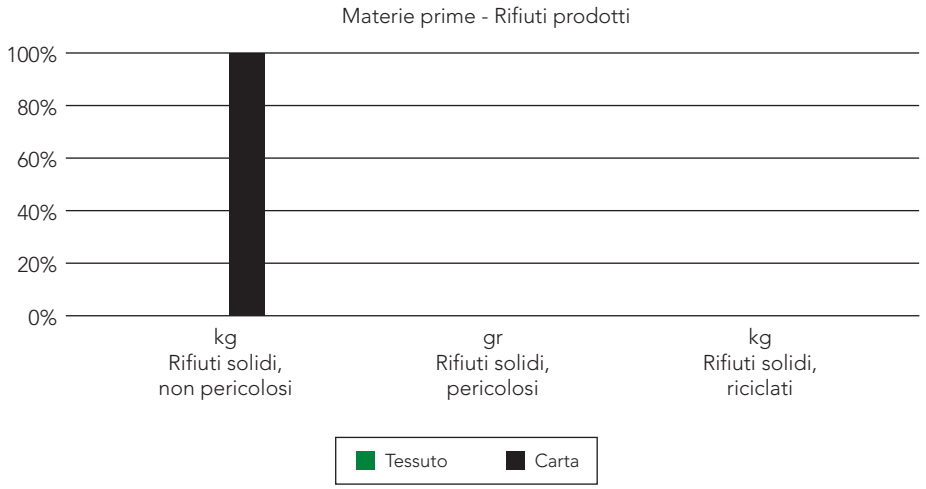


FIGURA 5.17 – PRODUZIONE DEL TOVAGLIATO: CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL TESSUTO E QUELLO DEL PRODOTTO CARTACEO ESPRESSO IN FUNZIONE DEL CONSUMO DI RISORSE

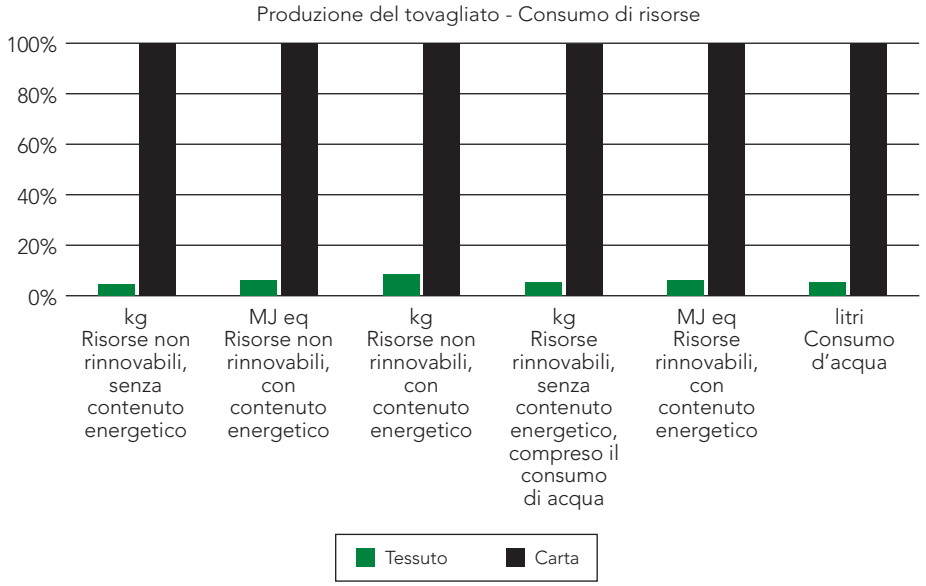


FIGURA 5.18 – PRODUZIONE DEL TOVAGLIATO: CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL TESSUTO E QUELLO DEL PRODOTTO CARTACEO ESPRESSO IN FUNZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE POTENZIALE

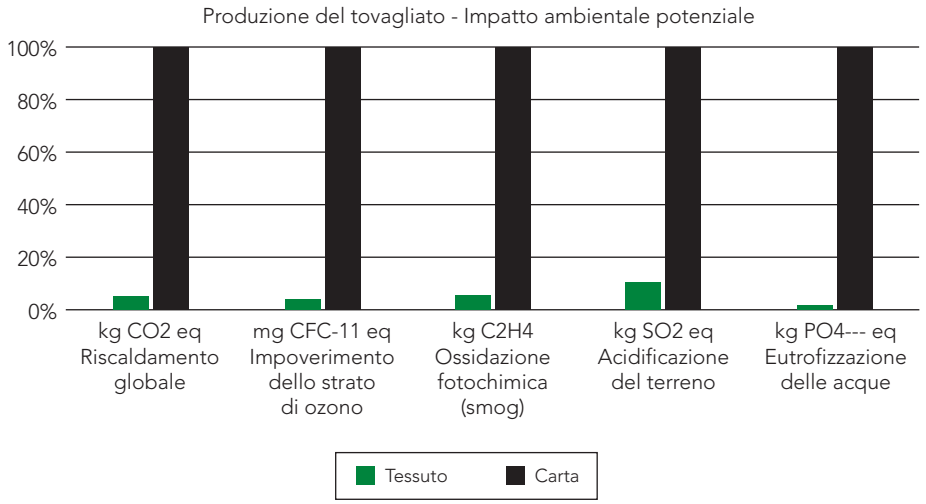


FIGURA 5.19 – PRODUZIONE DEL TOVAGLIATO: CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL TESSUTO E QUELLO DEL PRODOTTO CARTACEO ESPRESSO IN FUNZIONE DEI RIFIUTI PRODOTTI

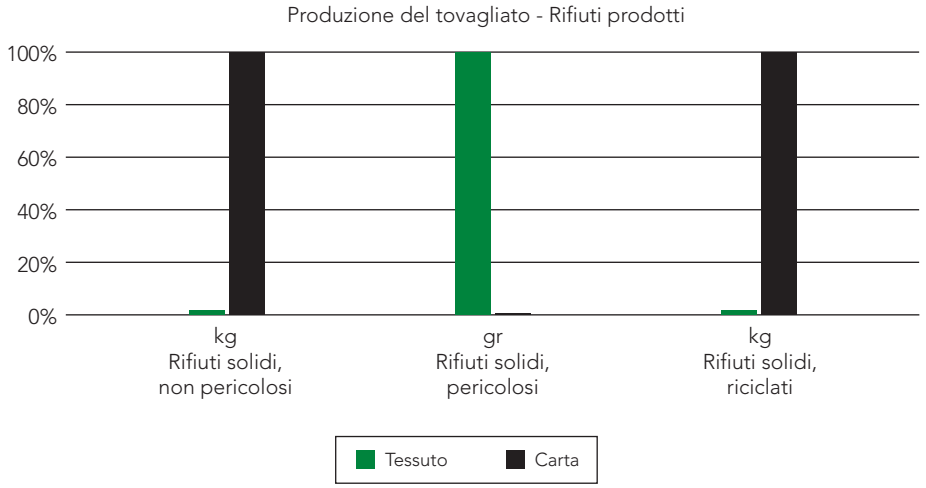
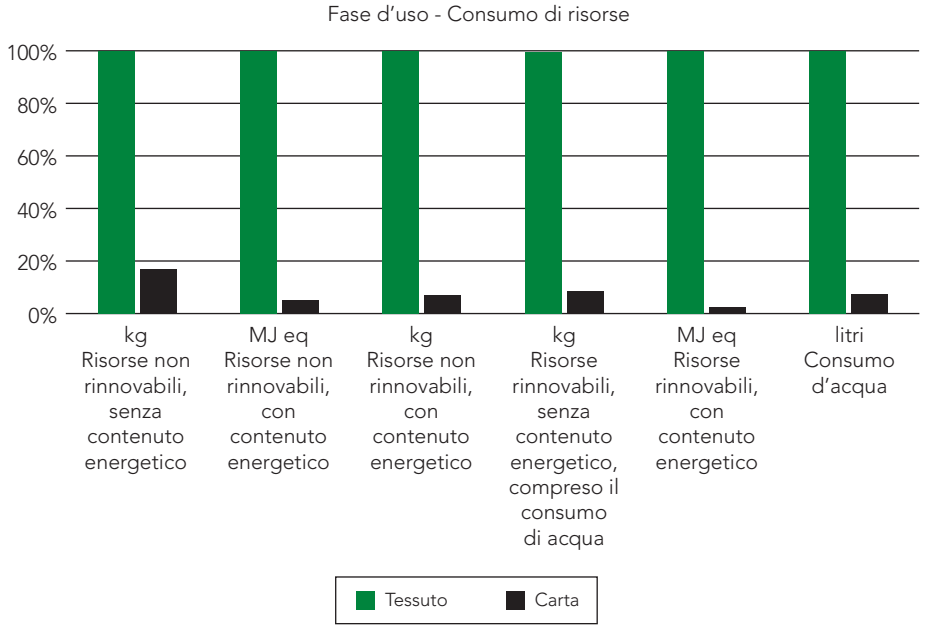


FIGURA 5.20 – FASE D'USO: CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL TESSUTO E QUELLO DEL PRODOTTO CARTACEO ESPRESSO IN FUNZIONE DEL CONSUMO DI RISORSE



Si ricorda che la fase d'uso del prodotto tessile corrisponde al lavaggio industriale e al trasporto tra il cliente e la lavanderia mentre quella del prodotto monouso corrisponde al solo trasporto dal fornitore al cliente.

Per lo stesso motivo riportato sopra, si spiega la differenza di valori della figura 5.21.

FIGURA 5.21 – FASE D'USO: CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL TESSUTO E QUELLO DEL PRODOTTO CARTACEO ESPRESSO IN FUNZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE POTENZIALE

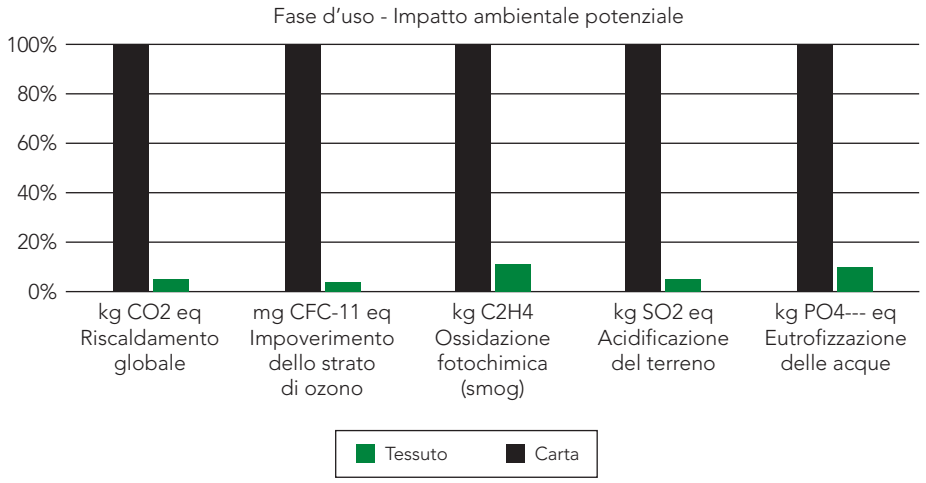
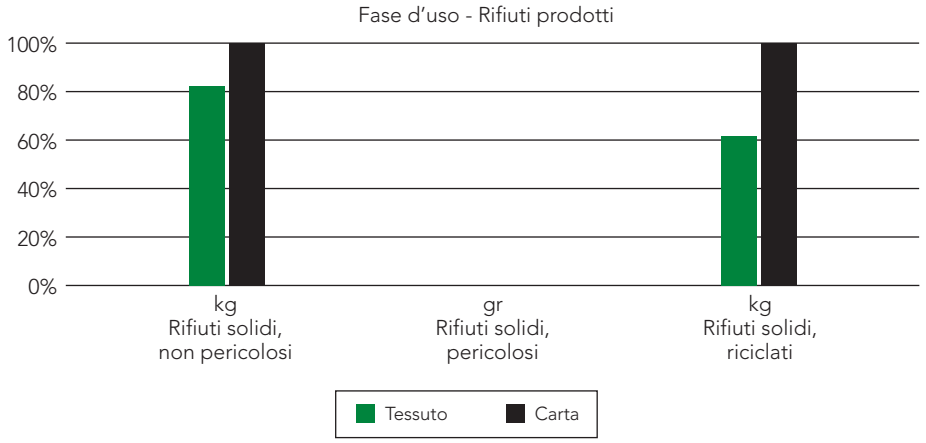


FIGURA 5.22 – FASE D'USO: CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL TESSUTO E QUELLO DEL PRODOTTO CARTACEO ESPRESSO IN FUNZIONE DEI RIFIUTI PRODOTTI



Il prodotto tessile non produce rifiuti pericolosi durante la sua fase d'uso (industrie di servizi tessili e medici affini) in quanto quelli prodotti sono non pericolosi e quasi completamente riciclati.

6. Analisi di sensibilità

Le analisi di sensibilità[1] servono a mettere in luce l'entità della dipendenza tra uno o più parametri variabili e il sistema oggetto dello studio.

6.1. Confronto tra il prodotto tessile, il prodotto cartaceo e un prodotto cartaceo completamente riciclato e riciclabile

Oltre ai prodotti oggetto di questo studio, si è considerato un prodotto cartaceo con un minor impatto ambientale dovuto all'uso di sola carta da macero come materia prima e nell'ipotesi che a fine vita sia completamente riciclato. Il numero di tovagliati monouso utilizzati per il confronto è sempre pari a 125.

Dai risultati appare evidente che il prodotto tessile ha un impatto ambientale globalmente inferiore rispetto ai prodotti cartacei.

6.2. Influenza del numero di lavaggi sul ciclo di vita del prodotto tessile

Modificando il numero di cicli di lavaggio, che il prodotto tessile sostiene prima di essere smaltito, si è valutato come varia l'impatto ambientale in funzione della fase d'uso. I cicli considerati sono rispettivamente pari a 75, 100, 125 (dato di partenza), 150 e 175 volte.

I risultati sono confrontati con un numero di utilizzi del tovagliato di carta rispettivamente pari a 75, 100, 125, 150 e 175.

Si nota come gli impatti variano in senso lineare all'aumentare del numero di cicli di lavaggio.

[1] Sensitivity Analysis: Procedura sistematica per stimare gli effetti sui risultati provocati dal metodo assunto o dai dati utilizzati (par. 3.31 ISO 14040).

TABELLA 6.1 – PROFILI AMBIENTALI A CONFRONTO TRA IL PRODOTTO TESSILE,QUELLO CARTACEO E UN ALTRO PRODOTTO CARTACEO COMPLETAMENTE RICICLATO E RICICLABILE (IN GRASSETTO GLI IMPATTI MINORI)

Categoria d'impatto	U.M.	LC tovagliato in carta		LC tovagliato in tessuto
		prodotto base	100% riciclato	prodotto base
Risorse non rinnovabili, senza contenuto energetico	kg	13,98	8,10	7,14
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	749,55	528,33	536,50
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	kg	15,78	11,31	11,24
Risorse rinnovabili, senza contenuto energetico, compreso il consumo di acqua	kg	118805,36	118966,43	56258,72
Risorse rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	481,96	39,43	29,61
Consumo d'acqua	litri	118739,41	118964,29	56257,21
Riscaldamento globale	kg CO2 eq	70,65	45,58	30,95
Impoverimento dello strato di ozono	gr CFC-11 eq	6,57	4,43	4,64
Ossidazione fotochimica (smog)	gr C2H4	0,04	0,02	0,02
Acidificazione del terreno	gr SO2 eq	0,20	0,16	0,15
Eutrofizzazione delle acque	gr PO4—- eq	0,52	0,09	0,02
Rifiuti solidi, non pericolosi	kg	12,52	18,35	0,61
Rifiuti solidi, pericolosi	gr	0,00	0,00	0,19
Rifiuti solidi, riciclati	kg	2,78	8,19	0,40

FIGURA 6.1 – CONSUMO DI RISORSE: CONFRONTO TRA IL PRODOTTO CARTACEO, IL PRODOTTO TESSILE E UN PRODOTTO CARTACEO COMPLETAMENTE RICICLATO E RICICLABILE

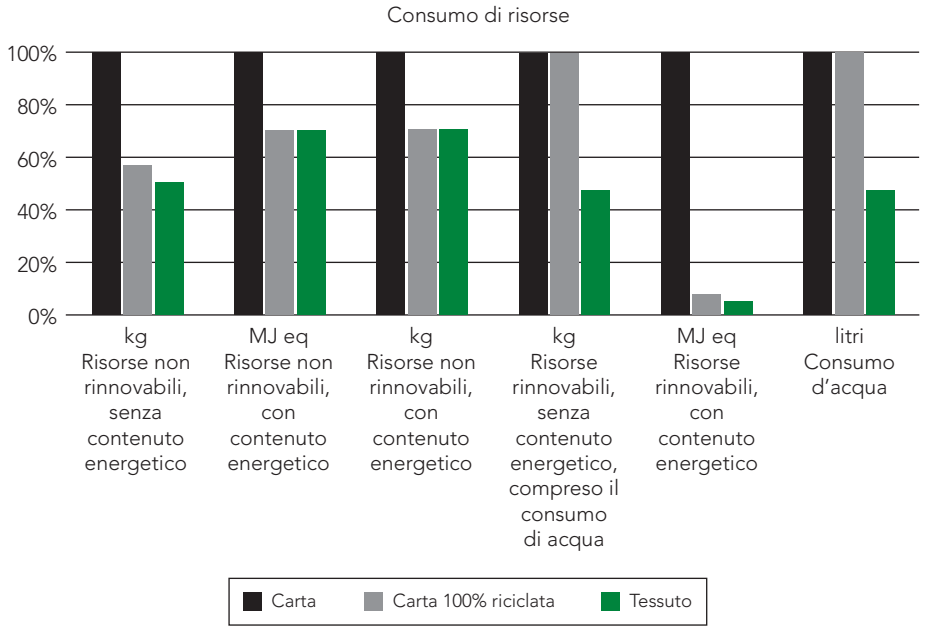


FIGURA 6.2 – IMPATTO AMBIENTALE POTENZIALE: CONFRONTO TRA IL PRODOTTO CARTACEO, IL PRODOTTO TESSILE E UN PRODOTTO CARTACEO COMPLETAMENTE RICICLATO E RICICLABILE

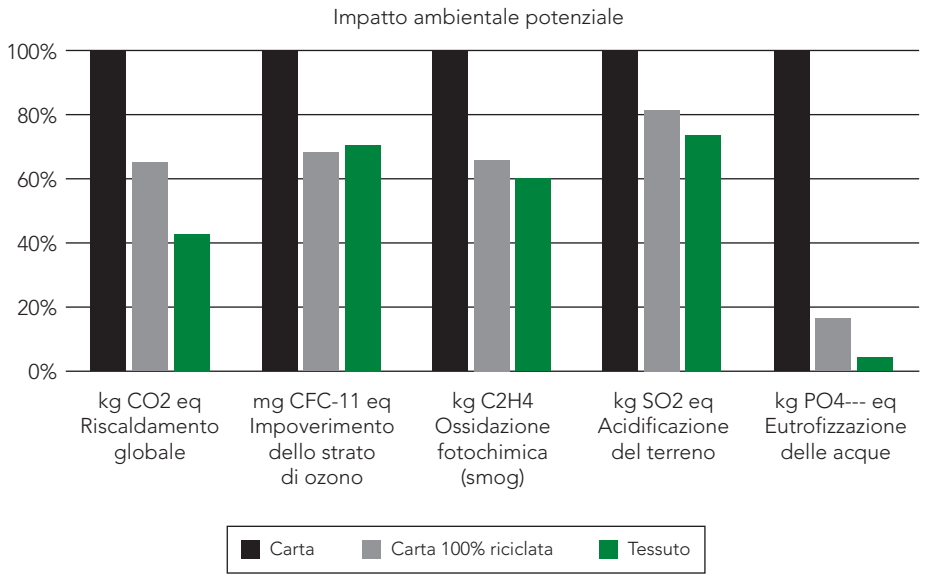


FIGURA 6.3 – RIFIUTI PRODOTTI: CONFRONTO TRA IL PRODOTTO CARTACEO, IL PRODOTTO TESSILE E UN PRODOTTO CARTACEO COMPLETAMENTE RICICLATO E RICICLABILE

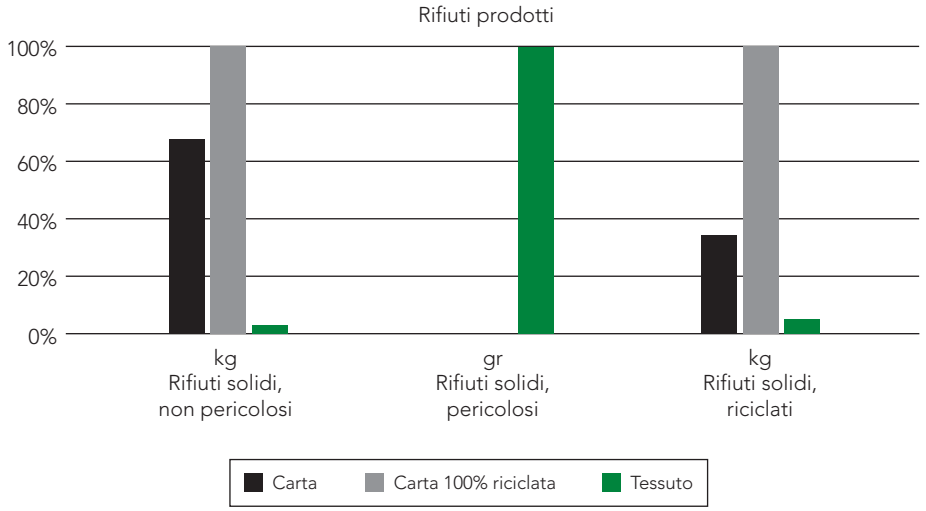


TABELLA 6.2 – INFLUENZA DELLA VARIAZIONE DEL NUMERO DI CICLI DELLA FASE D'USO SUL CICLO DI VITA DEL PRODOTTO TESSILE E DEL PRODOTTO CARTACEO (IN GRASSETTO I CONFRONTO)

Categoria d'impatto	U.M.	LC – tessuto 75 cicli	LC - carta 75 prodotti monouso	LC - tessuto 100 cicli	LC - carta 100 prodotti monouso	LC - tessuto 125 cicli	LC - carta 125 prodotti monouso	LC - tessuto 150 cicli	LC - carta 150 prodotti monouso	LC - tessuto 175 cicli	LC - carta 175 prodotti monouso
Risorse non rinnovabili, senza contenuto energetico	kg	4,53	8,39	5,83	11,19	7,14	13,98	8,44	16,78	9,74	19,58
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	343,15	449,73	439,83	599,64	536,50	749,55	633,18	899,46	729,86	1049,37
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	kg	7,30	9,47	9,27	12,63	11,24	15,78	13,22	18,94	15,19	22,09
Risorse rinnovabili, senza contenuto energetico, compreso il consumo di acqua	kg	37056,82	71283,22	46657,77	95044,29	56258,72	118805,36	65859,67	142566,43	75460,62	166327,50
Risorse rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	20,52	289,18	25,06	385,57	29,61	481,96	34,15	578,36	38,69	674,75
Consumo d'acqua	litri	37055,72	71243,65	46656,47	94991,53	56257,21	118739,41	65857,96	142487,29	75458,70	166235,18
Riscaldamento globale	**kg CO2 eq**	**20,04**	**42,39**	**25,49**	**56,52**	**30,95**	**70,65**	**36,40**	**84,78**	**41,85**	**98,91**
Impoverimento dello strato di ozono	gr CFC-11 eq	2,89	3,94	3,77	5,26	4,64	6,57	5,52	7,89	6,40	9,20
Ossidazione fotochimica (smog)	gr C2H4	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05
Acidificazione	gr SO2 eq	0,10	0,12	0,12	0,16	0,15	0,20	0,17	0,24	0,19	0,27
Eutrofizzazione	gr PO4—- eq	0,02	0,31	0,02	0,42	0,02	0,52	0,02	0,62	0,03	0,73
Rifiuti solidi, non pericolosi	gr	0,39	7,51	0,50	10,01	0,61	12,52	0,72	15,02	0,82	17,52
Rifiuti solidi, pericolosi	gr	0,19	0,00	0,19	0,00	0,19	0,00	0,19	0,00	0,19	0,00
Rifiuti solidi, riciclati	gr	0,25	2,53	0,32	2,66	0,40	2,78	0,48	2,91	0,55	3,03

FIGURA 6.4 – CONSUMO DI RISORSE: CONFRONTO TRA IL PRODOTTO CARTACEO E IL PRODOTTO TESSILE PER UN NUMERO DI CICLI RISPETTIVAMENTE PARI A 75, 100, 125, 150 E 175

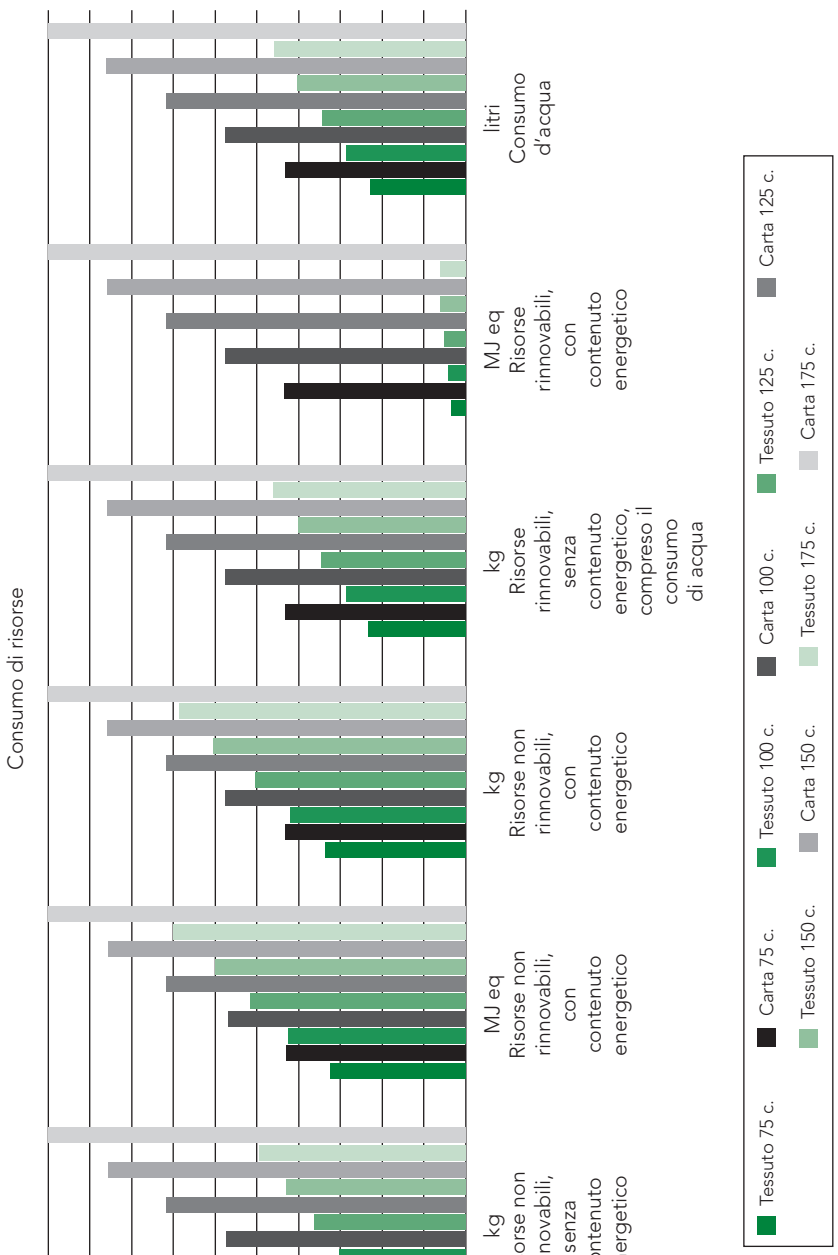
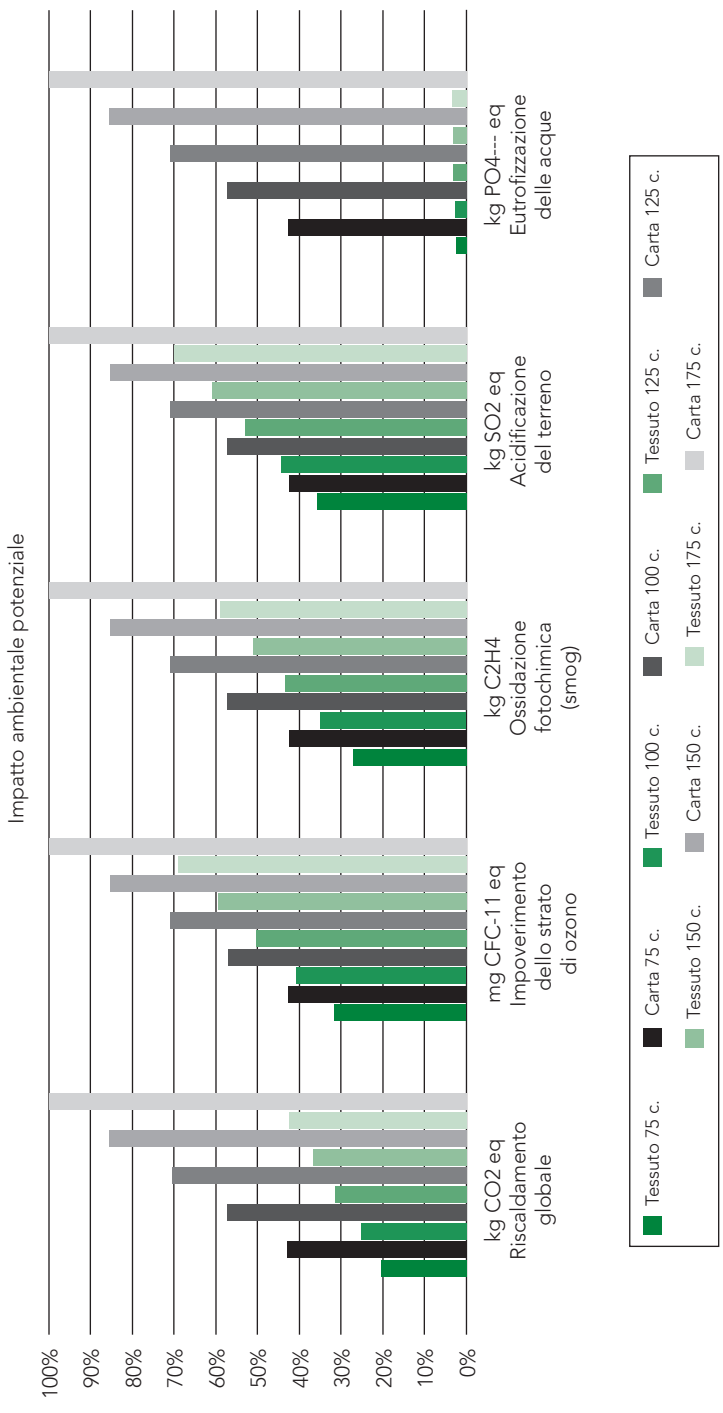


FIGURA 6.5 – IMPATTO AMBIENTALE POTENZIALE: CONFRONTO TRA IL PRODOTTO CARTACEO E IL PRODOTTO TESSILE PER UN NUMERO DI CICLI RISPETTIVAMENTE PARI A 75, 100, 125, 150 E 175



Osservando i valori assoluti e in percentuale, si possono trarre alcune considerazioni:

- per quanto riguarda il solo effetto serra, si nota come l'impatto di un prodotto tessile riutilizzato per 175 cicli corrisponde circa all'impatto di 75 prodotti cartacei monouso;
- per quanto riguarda il solo impoverimento dello strato d'ozono, si nota come l'impatto di un prodotto tessile riutilizzato per 100 cicli corrisponde circa all'impatto di 75 prodotti cartacei monouso;
- per quanto riguarda la sola ossidazione fotochimica, si nota come l'impatto di un prodotto tessile riutilizzato per 175 cicli corrisponde circa all'impatto di 100 prodotti cartacei monouso;
- per quanto riguarda la sola acidificazione, si nota come l'impatto di un prodotto tessile riutilizzato per 100 cicli corrisponde circa all'impatto di un prodotto cartaceo utilizzato 75 volte e anche l'impatto di un prodotto tessile riutilizzato per 175 cicli corrisponde circa all'impatto di 125 prodotti cartacei monouso.

Relativamente alla categoria di effetto serra, il punto di pareggio si raggiunge per un valore di 11 cicli, cioè l'impatto del prodotto tessile è uguale a quello del prodotto cartaceo, e quindi per un numero di cicli superiore a 11 (oppure per un utilizzo di prodotti cartacei superiori a 11) l'impatto di effetto serra del prodotto tessile è inferiore a quello della carta.

FIGURA 6.6 – PUNTO DI PAREGGIO PER LA CATEGORIA "EFFETTO SERRA" IN FUNZIONE DEL NUMERO DI CICLI OPERATIVI

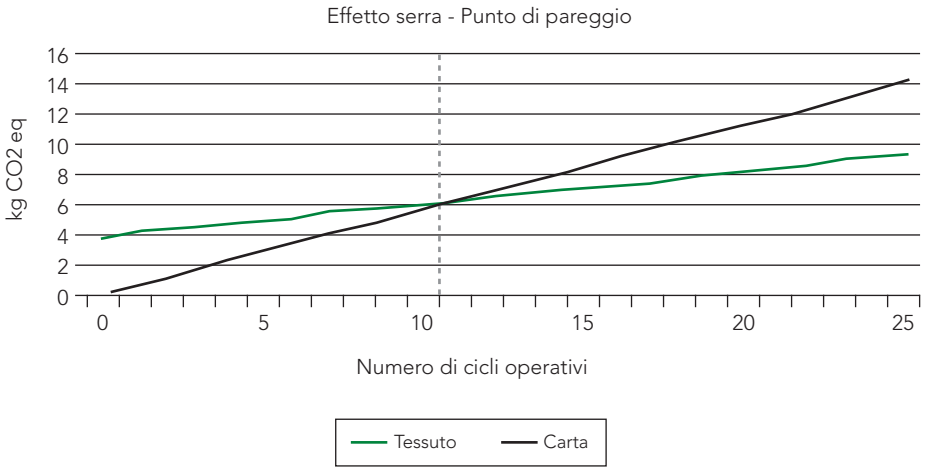
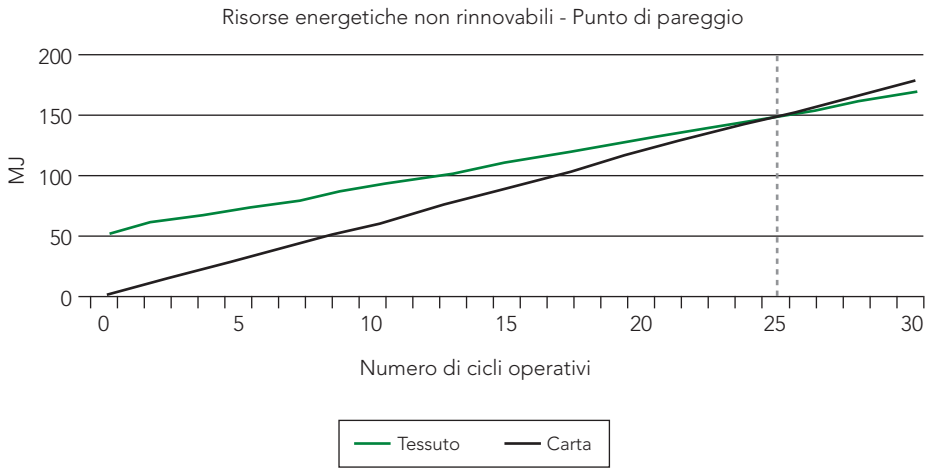


FIGURA 6.7 – PUNTO DI PAREGGIO PER LA CATEGORIA "RISORSE ENERGETICHE NON RINNOVABILI" IN FUNZIONE DEL NUMERO DI CICLI OPERATIVI



Relativamente alla sola categoria risorse energetiche non rinnovabili (MJ), il punto di pareggio si raggiunge attorno ad un valore di 25 cicli, cioè l'impatto del prodotto tessile è uguale a quello del prodotto cartaceo, e quindi per un numero di cicli superiore a 25 (oppure per un utilizzo di prodotti cartacei superiori a 25) il consumo energetico delle risorse non rinnovabili (MJ) del prodotto tessile è inferiore a quello della carta.

6.3. Influenza della grammatura per il prodotto cartaceo

Poiché si è notato come il mercato offre diverse soluzioni per la scelta del tovagliato in carta, si è posto a confronto lo stesso tipo di prodotto monouso ma con diversi valori di grammatura, rispettivamente pari a 70, 100 (valore di riferimento) e 130 gr/mq.

Si riporta il confronto con il prodotto tessile considerando un numero di cicli uguale per tutti i prodotti e pari a 125.

Relativamente alla categoria di effetto serra, il punto di pareggio tra l'impatto del prodotto tessile e quello cartaceo da 70 gr/mq si raggiunge per un valore di 20 cicli mentre il punto di pareggio tra l'impatto del prodotto tessile e quello cartaceo da 130 gr/mq si raggiunge per un valore di 7 cicli.

Relativamente alla categoria di risorse energetiche non rinnovabili, il punto di pareggio tra l'impatto del prodotto tessile e quello cartaceo da 70 gr/mq si rag-

TABELLA 6.3 – INFLUENZA DELLA GRAMMATURA SUL CICLO DI VITA DEL PRODOTTO CARTACEO

Categoria d'impatto	U.M.	LC tovagliato in carta			LC tovagliato
		70 gr/mq	100 gr/mq	130 gr/mq	in tessuto
Risorse non rinnovabili, senza contenuto energetico	kg	9,88	13,98	18,08	7,14
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	528,68	749,55	970,41	536,50
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	kg	11,14	15,78	20,43	11,24
Risorse rinnovabili, senza contenuto energetico, compreso il consumo di acqua	kg	83726,31	118805,36	153884,40	56258,72
Risorse rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	340,39	481,96	623,54	29,61
Consumo d'acqua	litri	83679,74	118739,41	153799,09	56257,21
Riscaldamento globale	kg CO2 eq	49,92	70,65	91,39	30,95
Impoverimento dello strato di ozono	mg CFC-11 eq	4,62	6,57	8,52	4,64
Ossidazione fotochimica (smog)	gr C2H4	0,03	0,04	0,05	0,02
Acidificazione del terreno	gr SO2 eq	0,14	0,20	0,25	0,15
Eutrofizzazione delle acque	gr PO4—- eq	0,36	0,52	0,68	0,02
Rifiuti solidi, non pericolosi	kg	8,76	12,52	16,27	0,61
Rifiuti solidi, pericolosi	gr	0,00	0,00	0,00	0,19
Rifiuti solidi, riciclati	kg	2,60	2,78	2,97	0,40

FIGURA 6.8 – CONSUMO DI RISORSE: CONFRONTO TRA IL PRODOTTO TESSILE DI RIFERIMENTO E IL PRODOTTO CARTACEO A DIFFERENTI GRAMMATURE (70, 100, 130 GR/MQ) PER UN NUMERO DI CICLI PARI A 125

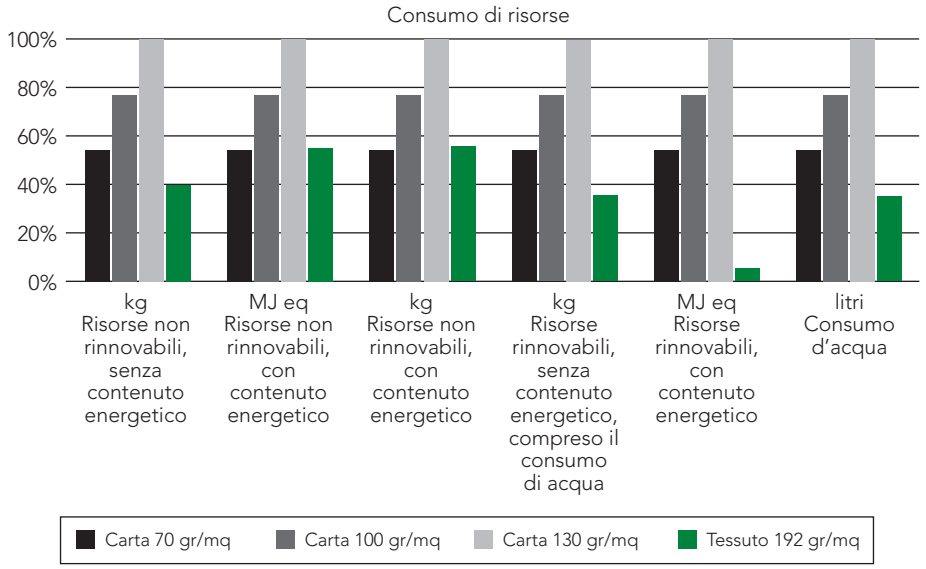
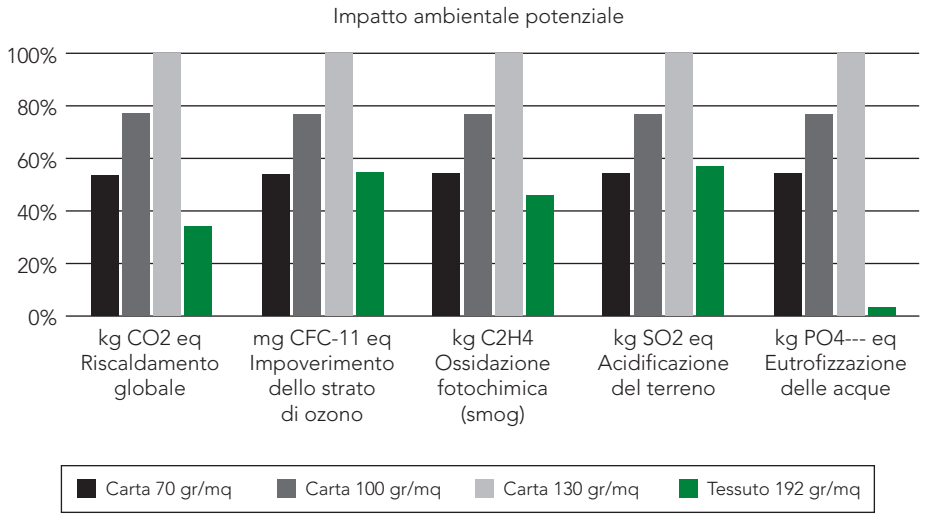


FIGURA 6.9 – IMPATTO AMBIENTALE POTENZIALE: CONFRONTO TRA IL PRODOTTO TESSILE DI RIFERIMENTO E IL PRODOTTO CARTACEO A DIFFERENTI GRAMMATURE (70, 100, 130 GR/MQ) PER UN NUMERO DI CICLI PARI A 125



giunge per un valore di 147 cicli mentre il punto di pareggio tra l'impatto del prodotto tessile e quello cartaceo da 130 gr/mq si raggiunge attorno ad un valore di 12 cicli.

6.4. Confronto tra il prodotto tessile 100% cotone e due prodotti in mischia intima di cotone e poliestere (risp. 65%-35% e 80%-20%)

Si è confrontato il prodotto tessile in 100% cotone con due prodotti in mischia intima, rispettivamente con percentuali di fibra di cotone e poliestere pari a 65%-35% e 80%-20%.

Un tessuto in mischia intima è ottenuto, come dice la parola, mischiando il tessuto di cotone con del poliestere nella fase di tessitura, ed è pertanto differente da un tessuto ottenuto dall'intreccio, nella fase di filatura, di un filo di cotone con uno di poliestere per costituire una nuova fibra.

Un tovagliato in mischia intima garantisce un maggior numero di lavaggi rispetto al tovagliato in cotone 100% ma richiede un processo produttivo con una doppia tintura.

Il modello, inserito in SimaPro, del processo di produzione della mischia intima è stato considerato uguale a quello del cotone, senza tener conto di eventuali

operazioni relative alla preparazione delle mischia intima (consumo energetico, additivi, ecc.) e conteggiando due volte l'operazione di tintura.

Si riporta il confronto con il prodotto cartaceo considerando un numero di cicli uguale per tutti i prodotti e pari a 125.

TABELLA 6.4 – CONFRONTO TRA IL CICLO DI VITA DEL PRODOTTO TESSILE 100% COTONE, DEI PRODOTTI IN MISCHIA INTIMA E DEL PRODOTTO CARTACEO (IN GRASSETTO L'IMPATTO MINORE)

Categoria d'impatto	U.M.	LC – tessuto 100% cotone	LC – tessuto mischia intima 65%-35%	LC – tessuto mischia intima 80%-20%	LC – carta
Risorse non rinnovabili, senza contenuto energetico	kg	7,14	7,33	7,36	13,98
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	536,50	558,16	556,42	749,55
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	kg	11,24	11,70	11,67	15,78
Risorse rinnovabili, senza contenuto energetico, compreso il consumo di acqua	kg	56258,72	58773,06	59032,73	118805,36
Risorse rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	29,61	29,14	29,77	481,96
Consumo d'acqua	litri	56257,21	58771,66	59031,26	118739,41
Riscaldamento globale	kg CO2 eq	30,95	31,82	31,85	70,65
Impoverimento dello strato di ozono	gr CFC-11 eq	4,64	4,77	4,78	6,57
Ossidazione fotochimica (smog)	gr C2H4	0,02	0,02	0,02	0,04
Acidificazione del terreno	gr SO2 eq	0,15	0,15	0,15	0,20
Eutrofizzazione delle acque	gr PO4—- eq	0,02	0,02	0,02	0,52
Rifiuti solidi, non pericolosi	kg	0,61	0,61	0,61	12,52
Rifiuti solidi, pericolosi	gr	0,19	0,55	0,40	0,00
Rifiuti solidi, riciclati	kg	0,40	0,40	0,40	2,78

Come si nota dalla tabella, non c'è un profilo ambientale nettamente migliore tra i prodotti riutilizzabili (cioè in tessuto puro o misto) messi a confronto. Tenendo conto che si è sottostimato il processo di produzione della mischia intima per mancanza di dati, si può attribuire, in prima approssimazione, al prodotto tessile 100% cotone il migliore profilo ambientale a parità di cicli operativi.

Se s'ipotizza che, a parità di peso specifico, il prodotto in mischia intima 80%-20% sopporta almeno il 20% in più di cicli operativi rispetto al prodotto tessile di riferimento (cotone 100%, 125 cicli), significa che mantiene inalterate le sue funzionalità per circa 150 cicli.

Per raggiungere tale numero di lavaggi si ha bisogno di 1,2 (+20%) prodotti tessili in 100% cotone e si verifica come gli impatti ambientali siano sostanzialmente simili.

Ciò significa che il punto di pareggio si ottiene tra 1,2 prodotti tessili in 100% cotone, che sopporta 125 cicli, e un prodotto in mischia intima,80%-20%, che sopporta 150 cicli.

TABELLA 6.5 – PUNTO DI PAREGGIO TRA IL PRODOTTO TESSILE 100% COTONE E UN PRODOTTO IN MISCHIA INTIMA, 80%-20%, CONFRONTATI CON IL PRODOTTO CARTACEO

Categoria d'impatto	U.M.	LC – cotone 100% quantità = 1,2 cicli = 125	LC – mischia intima 80%-20% quantità = 1 cicli = 150	LC – carta quantità = 1 cicli = 150
Risorse non rinnovabili, senza contenuto energetico	kg	8,56	8,66	16,78
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	643,81	653,10	899,46
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	kg	13,49	13,64	18,94
Risorse rinnovabili, senza contenuto energetico, compreso il consumo di acqua	kg	67510,46	68633,68	142566,43
Risorse rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	35,53	34,31	578,36
Consumo d'acqua	litri	67508,66	68632,00	142487,29
Riscaldamento globale	kg CO2 eq	37,13	37,30	84,78
Impoverimento dello strato di ozono	mg CFC-11 eq	5,57	5,65	7,89
Ossidazione fotochimica (smog)	kg C2H4	0,03	0,03	0,04
Acidificazione del terreno	kg SO2 eq	0,17	0,17	0,24
Eutrofizzazione delle acque	kg PO4—- eq	0,02	0,02	0,62
Rifiuti solidi, non pericolosi	kg	0,73	0,72	18,35
Rifiuti solidi, pericolosi	gr	0,23	4,30	0,00
Rifiuti solidi, riciclati	kg	0,48	0,48	8,19

6.5. Scenario peggiore di confronto tra i prodotti oggetto dello studio

Si è confrontato il tovagliato tessile, considerando lo scenario a maggiore impatto ambientale, con il prodotto cartaceo, considerando lo scenario a minor impatto ambientale. Dalle analisi di sensibilità precedentemente svolte, il prodotto con il peggior profilo ambientale tra quelli tessili può essere rappresentato dalla mischia intima 80%-20%[2], mentre il prodotto cartaceo a minor impatto ambien-

[2] Assunzione comunque valida solo in prima approssimazione in quanto necessità di ulteriori approfondimenti, come specificato in precedenza.

FIGURA 6.10 – CONSUMO DI RISORSE: CONFRONTO TRA IL PRODOTTO TESSILE 100% COTONE, IL PRODOTTO IN MISCHIA INTIMA 80%-20% E IL PRODOTTO CARTACEO

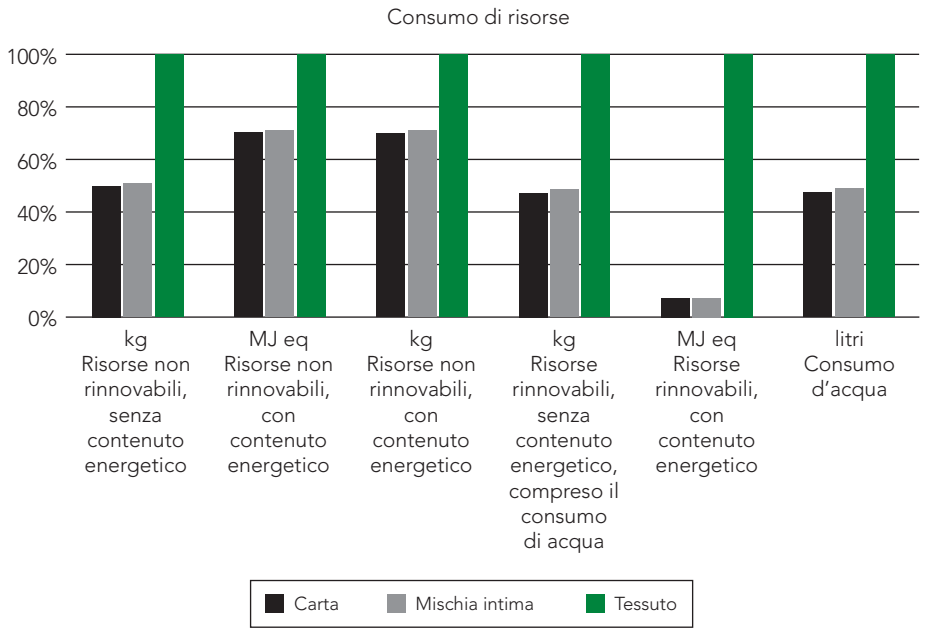
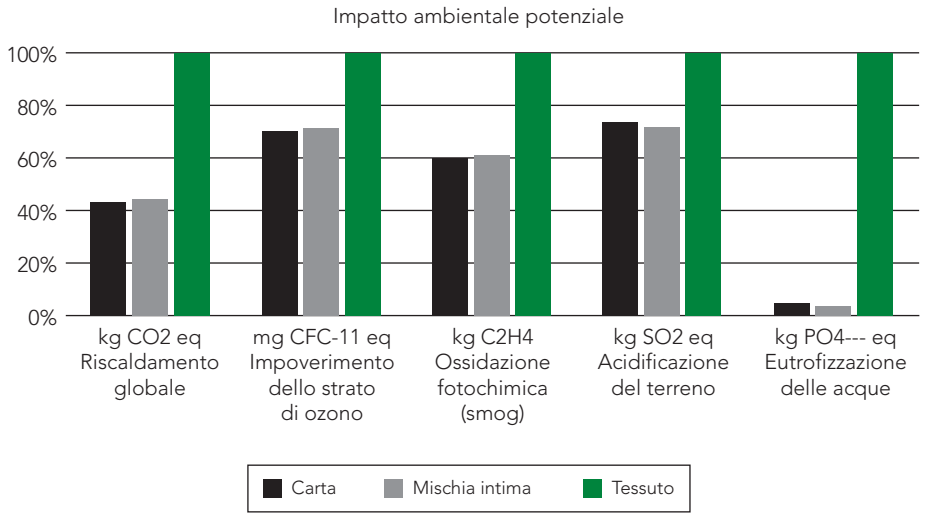


FIGURA 6.11 – IMPATTO AMBIENTALE POTENZIALE: CONFRONTO TRA IL PRODOTTO TESSILE 100% COTONE, IL PRODOTTO IN MISCHIA INTIMA 80%-20% E IL PRODOTTO CARTACEO



tale è quello che utilizza 100% di materia prima riciclata e che è completamente riciclato a fine vita. Si è considerato per entrambi il numero minore di cicli operativi pari a 75.

TABELLA 6.6 – SCENARIO PEGGIORE DI CONFRONTO PER IL PRODOTTO TESSILE (IN GRASSETTO IMPATTO MINORE)

Categoria d'impatto	U.M.	LC – mischia intima 80%-20%	LC – carta 100% riciclato
Risorse non rinnovabili, senza contenuto energetico	kg	4,75	4,86
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	363,07	317,00
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	kg	7,72	6,79
Risorse rinnovabili, senza contenuto energetico, compreso il consumo di acqua	kg	39830,82	71379,86
Risorse rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	20,68	23,66
Consumo d'acqua	litri	39829,77	71378,57
Riscaldamento globale	kg CO2 eq	20,95	27,35
Impoverimento dello strato di ozono	mg CFC-11 eq	3,02	2,66
Ossidazione fotochimica (smog)	kg C2H4	0,01	0,01
Acidificazione del terreno	kg SO2 eq	0,10	0,10
Eutrofizzazione delle acque	kg PO4—- eq	0,01	0,05
Rifiuti solidi, non pericolosi	kg	0,61	18,35
Rifiuti solidi, pericolosi	gr	0,40	0,00
Rifiuti solidi, riciclati	kg	0,40	8,19

Nonostante lo scenario penalizza le caratteristiche del prodotto tessile, poiché non ottimizza la fase d'uso e considera un prodotto cartaceo dal ridotto impatto ambientale, si nota come non ci sia una sostanziale differenza tra i due profili.

6.6. Scenario di smaltimento a discarica per il prodotto tessile

Lo scenario di smaltimento del prodotto tessile è stato ricostruito in funzione di quanto dichiarato dalle industrie di servizi tessili e medici affini, secondo cui il prodotto è riciclato presso altre attività una volta giunto alla fine del suo ciclo di vita. In queste condizioni e secondo quanto indicato dal metodo utilizzato (EPD), i benefici dovuti all'operazione di riciclaggio sono da conteggiarsi nel ciclo di vita successivo a quello oggetto di studio e che nasce una volta che il materiale riciclato è trattato o riutilizzato. Nei confini del sistema considerato, quindi, è stato con-

teggiato solo l'impatto dovuto al trasporto del prodotto dalla lavanderia al centro di recupero e riciclaggio oppure ad una attività terza.

Ipotizziamo invece uno scenario di smaltimento definitivo per il prodotto tessile che è rappresentato verosimilmente dalla discarica.

Si riporta di seguito il confronto tra il prodotto tessile e il prodotto cartaceo oggetto di questo studio, con numero di cicli operativi pari a 125.

TABELLA 6.7 – CONFRONTO TRA I PRODOTTI OGGETTO DELLO STUDIO CONSIDERANDO LO SCENARIO DI SMALTIMENTO BASE E IN DISCARICA PER IL PRODOTTO TESSILE

Categoria d'impatto	U.M.	LC tessuto sc. base	LC tessuto sc. discarica	LC carta
Risorse non rinnovabili, senza contenuto energetico	kg	7,12	10,01	13,98
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	536,57	543,73	749,55
Risorse non rinnovabili, con contenuto energetico	kg	11,25	11,41	15,78
Risorse rinnovabili, senza contenuto energetico, compreso il consumo di acqua	kg	56.264,60	56713,60	118805,36
Risorse rinnovabili, con contenuto energetico	MJ eq	29,61	29,69	481,96
Consumo d'acqua	litri	56.263,09	56712,10	118739,41
Riscaldamento globale	kg CO2 eq	30,94	31,27	70,65
Impoverimento dello strato di ozono	mg CFC-11 eq	4,64	4,71	6,57
Ossidazione fotochimica (smog)	kg C2H4	0,02	0,02	0,04
Acidificazione del terreno	kg SO2 eq	0,15	0,15	0,20
Eutrofizzazione delle acque	kg PO4—- eq	0,02	0,02	0,52
Rifiuti solidi, non pericolosi	kg	0,61	0,61	12,52
Rifiuti solidi, pericolosi	gr	0,19	0,19	0,00
Rifiuti solidi, riciclati	kg	0,40	0,40	2,78

7. Considerazioni finali e proposte di miglioramento

In base ai risultati ottenuti dal confronto tra il prodotto tessile e quello cartaceo e tenendo conto delle analisi di sensibilità, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- il prodotto tessile riutilizzabile evidenzia un profilo a minore impatto ambientale rispetto al prodotto cartaceo sia in funzione del numero di cicli della fase d'uso, sia in funzione della grammatura del prodotto monouso. Tale risultato è ulteriormente rimarcato dal fatto che il ciclo di vita del prodotto cartaceo presenta alcuni aspetti produttivi sottostimati e che richiederebbero successive indagini;
- variando le assunzioni che definiscono gli input e gli output del prodotto tessile riutilizzabile si ricava un profilo ambientale sensibilmente migliore di quello cartaceo monouso anche quando lo scenario è il peggiore per il prodotto tessile riutilizzabile;
- infine, anche nell'ipotesi di smaltimento del prodotto tessile interamente in discarica si ottiene complessivamente un risultato migliore rispetto al prodotto monouso (dove lo scenario di fine vita prevede un parziale recupero del prodotto cartaceo).

Per quanto riguarda i miglioramenti al ciclo di vita del prodotto tessile riutilizzabile, si nota che:

- le lavanderie rappresentano il "collo di bottiglia" dell'intero ciclo produttivo dovuto maggiormente al consumo di combustibili ed energia elettrica. Un miglioramento può scaturire dal minimizzare tali consumi a parità di efficienza produttiva (per es. effettuando un audit energetico e/o elettrico ai macchinari) ed eventualmente favorire l'utilizzo di fonti rinnovabili rispetto a quelle fossili (es. analizzare l'eventuale installazione di pannelli fotovoltaici, acquistare solo energia prodotta da fonti rinnovabili);
- un altro aspetto negativo, legato alla fase d'uso, è il trasporto da e verso il cliente. Un miglioramento può derivare dal ridurre le distanze dei tragitti oppure

prevedere l'acquisto di mezzi alimentati a metano, per le piccole consegne, e mezzi a basse emissioni (per es. Euro 4) per i tragitti di lunga distanza ed eventualmente favorire il trasporto su rotaia.

Infine si nota come il prodotto in mischia intima fornisce un impatto ambientale comparabile con quello del cotone 100%, anche se c'è da tener conto che si è sottostimato il processo di produzione e pertanto è corretto supporre, in prima approssimazione, che il suo profilo ambientale sia sensibilmente peggiore di quello del cotone 100%.

A suo favore, la mischia intima presenta la capacità di sopportare un numero di cicli di lavaggio maggiore e di garantire quindi una durata superiore al prodotto, fatto che si traduce in una sensibile riduzione dell'impatto totale sul ciclo di vita.

Per avere un beneficio ambientale dall'introduzione della mischia intima, si dovrebbe dimostrare che il numero di cicli che può sopportare è superiore del 20% alla durata funzionale del prodotto in 100% cotone.

8. Riferimenti

- ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and Framework,
- ISO 14044:2006: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and Guidelines,
- Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry, July 2003,
- Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry, December 2001,
- Reference Document on Best Available Techniques in the Production of Polymers, August 2007,
- Il riciclo ecoefficiente, Ed. Ambiente, 2008,
- Studio su consumi energetici della raccolta e della selezione di carta e cartone, Sintesi, Ambiente Italia e Comieco.

9. Appendice

9.1. Risultati dei test microbiologici e chimici condotti sui tovagliati riutilizzabili e monouso

Per completare l'analisi ambientale sono stati portati a termine alcuni test microbiologici e chimici sui tovagliati riutilizzabili e monouso per confrontare i livelli di contaminazione connessi alla fase d'uso.

I campioni di tovagliato riutilizzabile sono stati prelevati dalle tre industrie di servizi tessili e medici affini coinvolte nel progetto per un totale di dodici articoli analizzati, cioè un tovagliolo e un coprimacchia provenienti da ciascuna lavanderia prelevati dopo il primo e l'ultimo lavaggio.

I campioni di tovagliato monouso sono stati acquistati presso supermercati e analizzati come nuovi e dopo essere stati usati in una mensa aziendale, per un totale di dieci campioni (tre tovaglioli e due coprimacchia).

Le prove effettuate hanno valutato i seguenti aspetti: carica batterica totale, escherichia coli, lieviti e muffe, stafilococco coagulasi positivo, streptococco fecale, pH dell'estratto acquoso, coloranti azoici (liberanti ammine aromatiche), formaldeide, carrier cloro-organici, coloranti sensibilizzanti, coloranti cancerogeni, composti organici dello stagno, clorofenoli e metalli pesanti. I metodi utilizzati per le determinazioni sono riportati nei rapporti di prova.

Dall'analisi dei risultati microbiologici si è rilevato che tutti i campioni hanno bassi livelli di contaminazione. Su alcuni campioni si apprezzano differenze di due logaritmi fra il campione a inizio della fase d'uso e quello a fine uso. Per il prodotto riutilizzabile, l'aumento della contaminazione sul tessuto a fine della fase d'uso può essere spiegato con una maggiore difficoltà nella decontaminazione perché il tessuto è più usurato. Per il prodotto monouso, l'aumento della contaminazione microbica è fisiologico. In ogni caso le analisi microbiologiche non hanno rilevato la presenza di patogeni ma solo cariche batteriche totali indifferenziate e in alcuni casi lieviti e muffe.

Dall'analisi dei risultati chimici le due tipologie di prodotto hanno rilevato che i coloranti (azoici, sensibilizzanti e cancerogeni), i carrier e i clorofenoli non sono presenti in modo significativo. Invece, le due tipologie di tovagliato differiscono per il contenuto di formaldeide e per il pH dell'estratto acquoso. Per la formaldei-

de, la media dei valori dei prodotti monouso è circa sei volte superiore a quella riscontrata nei prodotti riutilizzabili (24 mg/kg contro 4 mg/kg). Il valore di 24 mg/kg è vicino al limite massimo consentito in Germania sui tessuti per bambini (30 mg/Kg). Si veda la seguente tabella per maggiori dettagli.

Per quanto riguarda il pH dell'estratto acquoso si possono rilevare delle differenze fra le due categorie di prodotto (per il riutilizzabile la media è di 6,7 mentre per il monouso è di 5,8) che attestano come il tovagliato riutilizzabile sia vicino alla neutralità mentre quello monouso generi estratti acquosi debolmente acidi.

Infine per i metalli pesanti le differenze fra le due tipologie non sono apprezzabili. Da segnalare un campione del tovagliato riutilizzabile (coprimacchia 3336) in cui è stata rilevata la presenza del piombo a fine della fase d'uso.

Si può concludere pertanto che, dal punto di vista delle indagini chimiche effettuate, i due tipi di tovagliato non differiscono in modo apprezzabile fra l'inizio e la fine della fase d'uso. Sono invece apprezzabili alcune differenze fra le due categorie di prodotto: il tovagliato monouso possiede livelli di formaldeide più elevati e un pH dell'estratto acquoso debolmente acido. Per quanto riguarda il tovagliato riutilizzabile, si è potuto verificare che, per una lavanderia industriale, l'origine della formaldeide potrebbe dipendere dall'uso di acido formico come additivo alla fase di lavaggio mentre per le altre lavanderie non si dispone di informazioni tali per rintracciarne l'origine.

TABELLA 9.1 – CONCENTRAZIONI DI FORMALDEIDE LIBERA ED ESTRAIBILE (ISO 14184-1) NEI TOVAGLIATI RIUTILIZZABILI E MONOUSO

Tovagliato riutilizzabile	Campione dopo primo lavaggio	Valore (mg/kg)	Campione dopo ultimo lavaggio	Valore (mg/kg)	Differenza
Azienda 1	Coprimacchia 3326	1,87	Coprimacchia 3334	1,46	-0,41
Azienda 1	Tovagliolo 3327	2,32	Tovagliolo 3335	3,81	1,49
Azienda 2	Coprimacchia 3328	0,46	Coprimacchia 3336	3,54	3,08
Azienda 2	Tovagliolo 3329	2,42	Tovagliolo 3337	4,47	2,05
Azienda 3	Coprimacchia 3330	4,78	Coprimacchia 3332	12,01	7,23
Azienda 3	Tovagliolo 3331	3,41	Tovagliolo 3333	8,22	4,81
	media	2,54	media	5,59	3,04
	media di tutti i valori	4,06			

Tovagliato monouso	Campione a inizio fase d'uso	Valore (mg/kg)	Campione a fine fase d'uso	Valore (mg/kg)	Differenza
Azienda 1	Coprimacchia 3511	12,5	Coprimacchia 3512	14,9	2,4
Azienda 1	Tovagliolo 3505	39,9	Tovagliolo 3506	41,9	2
Azienda 2	Coprimacchia 3513	14,3	Coprimacchia 3514	16,6	2,3
Azienda 2	Tovagliolo 3507	8,43	Tovagliolo 3508	10,8	2,37
Azienda 3	Tovagliolo 3509	35,6	Tovagliolo 3510	42,1	6,5
	media	22,15	media	25,26	3,11
	media di tutti i valori	23,70			

I risultati ottenuti dai test sono stati integrati nel modello di LCA solo nel caso della formaldeide poiché le altre categorie analizzate non presentano differenze apprezzabili tra i valori d'inizio e fine della fase d'uso e, nel caso del pH dell'estratto acquoso, la metodologia LCA non valuta tale aspetto. Si è ipotizzato che la formaldeide sia emessa nella fase di fine vita dei prodotti, che corrisponde al riciclaggio per i prodotti riutilizzabili e a un mix di riciclaggio, discarica e incenerimento per quelli monouso (si veda rispettivamente pag. 19 e pag. 23). La formaldeide è già conteggiata come emissione in aria nei processi della banca dati di smaltimento in discarica e tramite incenerimento, per cui è stata aggiunta come emissione in aria solo nei processi di riciclaggio supponendo che sia rilasciata una quantità media pari a 3,04 mg per kg di tovagliato.

Tale modifica comporta, nel processo di riciclaggio, un aumento per la sola categoria dello smog fotochimico di circa il 15% e pari a 160 mg di C_2H_4 per kg di tovagliato mentre, rispetto all'intero ciclo di vita dei prodotti, non comporta alcun aumento della categoria dello smog fotochimico; pertanto gli impatti ambientali del ciclo di vita del tovagliato riutilizzabile e di quello monouso restano quelli illustrati nei capitoli precedenti, anche nello scenario peggiore in cui l'emissione di formaldeide avvenga solo per il tovagliato riutilizzabile.

9.2. Processi di Simapro

TABELLA 9.2 – FASE DI COLTIVAZIONE DEL COTONE AMERICANO: DATI DI INPUT E OUTPUT RIFERITI A 1 KG DI COTONE FILATO

Coltivazione del cotone, USA	U.M.	Valore
Input		
Mulching/CH U	mq	11,255
Sowing/CH U	mq	11,255
Tillage, cultivating, chiselling/CH U	mq	11,255
Tillage, harrowing, by rotary harrow/CH U	mq	11,255
Tillage, harrowing, by spring tine harrow/CH U	mq	45,021
Application of plant protection products, by field sprayer/CH U	mq	155,930
Fertilising, by broadcaster/CH U	mq	33,766
Combine harvesting/CH U	mq	10,142
Baling/CH U	p*1000	13,503
Grain drying, high temperature/CH U	gr	0,103
Cotton seed, at regional storehouse/US U	gr	16,400
Ammonia, liquid, at regional storehouse/RER U	gr	56,047
Urea, as N, at regional storehouse/RER U	gr	19,386
Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U	gr	26,771
Diammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U	gr	62,950
Potassium chloride, as K2O, at regional storehouse/RER U	gr	100,550
Irrigating/US U	dm3	1,470
Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH U	gr	0,682

Coltivazione del cotone, USA	U.M.	Valore
Acetamide-anillide-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	0,039
Cyclic N-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	0,001
Phenoxy-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	0,036
Triazine-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	0,092
Benzo[thia]diazole-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	0,026
Nitrile-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	0,002
[sulfonyl]urea-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	0,062
Dicamba, at regional storehouse/CH U	gr	0,001
Bipyridylium-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	0,050
Diuron, at regional storehouse/CH U	gr	0,138
Organophosphorus-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	1,354
Glyphosate, at regional storehouse/CH U	gr	1,191
Linuron, at regional storehouse/CH U	gr	0,004
[thio]carbamate-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	0,005
Dinitroaniline-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	0,472
Pyretroid-compounds, at regional storehouse/CH U	gr	0,010
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	kgkm	33,017
Output		
Emissioni in aria		
Ammonia	gr	7,198
Carbon dioxide, fossil	gr	30,435
Nitrogen oxides	gr	0,644
Dinitrogen monoxide	gr	3,067
Sodium chlorate	gr	0,105
Emissioni in acqua		
Nitrate	gr	31,405
Phosphorus	gr	2,184
Phosphate	gr	2,952
Phosphate	gr	0,079
Cadmium, ion	kg	5,15E-10
Chromium, ion	kg	5,64E-08
Copper, ion	kg	4,2E-08
Lead	kg	1,06E-08
Nickel, ion	kg	3,88E-08
Zinc, ion	kg	5,79E-08
Cadmium, ion	kg	2,22E-11
Chromium, ion	kg	1,03E-08
Copper, ion	kg	1,56E-09
Lead	kg	6,72E-11
Zinc, ion	kg	7,96E-09
Emissioni al suolo		
Azoxystrobin	kg	1,61E-06
Carboxin	kg	7,53E-08
Etridiazole	kg	3,62E-06
Iprodion	kg	4,02E-07
Metalaxil	kg	1,41E-06
Quintozene	kg	1,73E-05

Coltivazione del cotone, USA	U.M.	Valore
2,4-D	kg	3,09E-05
Bromoxynil	kg	1,71E-06
Carfentrazone ethyl ester	kg	2,11E-06
Clomazone	kg	5,52E-07
Clethodim	kg	3,26E-07
Cyanazine	kg	1,56E-06
Dicamba	kg	5,02E-07
Diuron	gr	0,138
Disodium acid methane arsenate	kg	3,72E-06
Fluometuron	kg	6,19E-05
Glyphosate	gr	1,191
Lactofen	kg	3,77E-07
Linuron	kg	4,22E-06
Metolachlor	kg	3,92E-05
Monosodium acid methanearsonate	kg	9,07E-05
Norflurazon	kg	8,54E-07
Paraquat	kg	4,97E-05
Pendimethalin	gr	0,147
Prometryn	kg	9,06E-05
Pyrithiobac sodium salt	kg	9,64E-06
Thifensulfuron-methyl	kg	5,02E-07
Trifluralin	gr	0,325
Abamectin	kg	2,11E-07
Acephate	gr	0,201
Aldicarb	gr	0,156
Bifenthrin	kg	1,76E-07
Buprofezin	kg	8,03E-07
Carbofuran	kg	1,61E-06
Chlorpyrifos	kg	1,93E-05
Cyfluthrin	kg	5,42E-06
Cypermethrin	kg	9,94E-06
Deltamethrin	kg	3,01E-07
Dicofol	kg	2,44E-06
Dicrotophos	kg	6,63E-05
Dimethoate	kg	8,54E-07
Disulfoton	kg	1,51E-06
Endosulfan	kg	7,63E-06
Esfenvalerate	kg	3,01E-07
Fenpropathrin	kg	8,03E-07
Imidacloprid	kg	1,51E-06
Indoxacarb	kg	2,41E-06
Lambda-cyhalothrin	kg	3,31E-06
Malathion	gr	0,469
Methamidophos	kg	3,01E-07
Methomyl	kg	9,04E-07
Naled	kg	2,21E-06
Oxamyl	kg	9,64E-06
Parathion	kg	1,25E-05

Coltivazione del cotone, USA	U.M.	Valore
Permethrin	kg	1,76E-07
Oils, unspecified	kg	1,63E-06
Phorate	kg	2,61E-05
Profenofos	kg	1,39E-05
Propargite	kg	3,54E-06
Pyriproxyfen	kg	1,26E-07
Spinosad	kg	1,31E-06
Tebufenozide	kg	3,77E-07
Thiamethoxam	kg	3,51E-06
Tralomethrin	kg	3,01E-07
Arsenic	kg	2,46E-06
Cyclanilide	kg	1,44E-05
Dimethipin	kg	1E-06
Endothall	kg	2,01E-07
Ethephon	gr	0,552
Mepiquat chloride	kg	3,07E-05
Thidiazuron	kg	2,57E-05
Tribufos	gr	0,19
Cadmium	kg	1,55E-09
Chromium	kg	-4,2E-08
Copper	kg	-3,7E-08
Lead	kg	-8E-09
Nickel	kg	-3,3E-08
Zinc	kg	-2,5E-08

TABELLA 9.3 – FASE DI COLTIVAZIONE DEL COTONE CINESE: DATI DI INPUT E OUTPUT RIFERITI A 1 KG DI COTONE FILATO

Coltivazione del cotone, Cina	U.M.	Valore
Input		
Water, well, in ground	m3	5,044
Water, river	m3	1,772
Occupation, arable	m2a	7,727
Transformation, from arable	m2	7,727
Transformation, to arable	m2	7,727
Carbon dioxide, in air	kg	1,650
Energy, gross calorific value, in biomass	MJ	18,563
Tillage, ploughing/CH U	mq	7,727
Tillage, harrowing, by spring tine harrow/CH U	mq	7,727
Hoeing/CH U	mq	7,727
Tillage, currying, by weeder/CH U	mq	15,455
Sowing/CH U	mq	7,727
Fertilising, by broadcaster/CH U	mq	23,182
Application of plant protection products, by field sprayer/CH U	mq	154,550
Baling/CH U	p	0,005
Irrigating/US U	m3	0,139

Coltivazione del cotone, USA	U.M.	Valore
Parathion, at regional storehouse/RER U	gr	0,474
Pyretroid-compounds, at regional storehouse/RER U	gr	0,474
Organophosphorus-compounds, at regional storehouse/RER U	gr	0,474
Pesticide unspecified, at regional storehouse/RER U	gr	2,318
Glyphosate, at regional storehouse/RER U	gr	2,318
Chemicals organic, at plant/GLO U	gr	0,019
Urea, as N, at regional storehouse/RER U	gr	50,227
Ammonia, liquid, at regional storehouse/RER U	gr	100,450
Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U	gr	50,227
Triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U	gr	77,273
Potassium chloride, as K2O, at regional storehouse/RER U	gr	123,630
Operation, van < 3,5t/RER U	km	0,015
Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U	tkm	0,243
Electricity, low voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	kWh	0,543
Packaging box production unit/RER/I U	p	3,4E-10
Output		
Emissioni in aria		
Heat, waste	gr	1,955
Dinitrogen monoxide	gr	5,125
Ammonia	gr	20,737
Nitrogen oxides	gr	1,076
Emissioni in acqua		
Phosphate	gr	0,387
Phosphate	gr	0,124
Nitrate	gr	88,4
Phosphorus	gr	0,392
Emissioni al suolo		
Cadmium	kg	1,35E-06
Chromium	kg	9,26E-05
Copper	kg	-4,5E-08
Mercury	kg	-6,2E-08
Nickel	kg	3,07E-06
Lead	kg	3E-06
Zinc	kg	2,88E-06
Monocrotophos	kg	8,29E-05
Cyfluthrin	kg	8,29E-05
Dicofol	kg	8,29E-05
Trichlorfon	kg	8,29E-05
Imidacloprid	kg	8,29E-05
Piperonyl butoxide	kg	8,29E-05
Prometryn	gr	0,230
Glyphosate	gr	0,230
Alachlor	gr	0,230
Fluometuron	gr	0,230
Monosodium acid methanearsonate	gr	0,135

9.3. Fattori di caratterizzazione

B.1 Conversion factors for calculation of Gross Calorific Values (GCV)

Values of resources with energy content expressed in MJ/functional unit making use of the Gross Calorific Values (GCV).

Ref. OECD, IEA, Eurostat "Energy Statistics Manual" 2004. IEA Publications September 2004.

Hard coals	***GCV (MJ/kg)***
Anthracite	30,00
Coking coals	29,30
Other bituminous	25,30
Cokes	***GCV (MJ/kg)***
Metallurgical coke	27,90
Gas coke	28,35
Low-temperature coke	26,30
Petroleum coke (green)	33,15
Coal-derived gases	***GCV (MJ/kg)***
Coke oven gas	19,01
Blast furnace gas	2,89
Petroleum products	***GCV (MJ/kg)***
Ethane	51,90
Propane	50,32
Butane	49,51
LPG [1)]	50,08
Naphtha	47,73
Aviation gasoline	47,40
Motor gasoline [2)]	47,10
Aviation turbine fuel	46,23
Other kerosene	46,23
Gas/diesel oil	45,66
Fuel oil, low sulphur	44,40
Fuel oil, high sulphur	43,76
Natural gas	***GCV (MJ/kg)***
Methane	55,52 (MJ/kg)
Methane	xx (MJ/Nm^3)

[3]The European Platform on LCA has an ongoing project for the definition of recommended LCIA framework, impacts and methods, due by mid-2008. These outcomes will result from a broad stakeholder consultation to ensure a general consensus among the LCA community on existing impact categories as well as for additional impact categories to be included in PCRs

Others	*GCV (MJ/kg)*
Uranium	Fission energy 451.000 MJ/kg 3)
Biomass	

1) Assumes a mixture of 70% propane and 30% butane by mass.
2) An average for motor gasoline with RON between 91 and 95.
3) Source: In case other reference values are considered, it shall be justified the use in the LCA study report.

Impact potentials are calculated as the sum of the contributions of the impacts shown in the inventory analysis, each one multiplied by a coefficient called the *"characterisation factor,"* which indicates the scale of the potential contributed by the individual substance to the effect. Operationally speaking, it is thus necessary to use the characterisation factors shown in the tables that follow, indicating the results of the multiplication, substance by substance.

Some data missing

B.2 Characterisation factors for greenhouse gases

Global Warming Potentials (mass basis) for the time horizon 100 years, CO_2-equivalents.

Ref: IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change), Climate Change 2001: the Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge UK.

Gas	Chemical composition	Global Warming Potential Time horizon 100 years
Carbon dioxide	CO_2	1
Methane	CH_4	23
Nitrous oxide	N_2O	296
Chlorofluorocarbons		
CFC-11	CCl_3F	4600
CFC-12	CCl_2F_2	10600
CFC-13	$CClF_3$	14000
CFC-113	CCl_2FCClF_2	6000
CFC-114	$CClF_2CClF_2$	9800
CFC-115	CF_3CClF_2	7200
Hydrochlorofluorocarbons		
HCFC-21	$CHCl_2F$	210
HCFC-22	$CHClF_2$	1700
HCFC-123	CF_3CHCl_2	120
HCFC-124	CF_3CHClF	620
HCFC-141b	CH_3CCl_2F	700
HCFC-142b	CH_3CClF_2	2400
HCFC-225ca	$CF_3CF_2CHCl_2$	180
HCFC-225cb	$CClF_2CF_2CHClF$	620
Hydrofluorocarbons		
HFC-23	CHF_3	12000
HFC-32	CH_2F_2	550
HFC-41	CH_3F	97
HFC-125	CHF_2CF_3	3400
HFC-134	CHF_2CHF_2	1100
HFC-134a	CH_2FCF_3	1300
HFC-143	CHF_2CH_2F	330
HFC-143a	CF_3CH_3	4300
HFC-152	CH_2FCH_2F	43
HFC-152a	CH_3CHF_2	120
HFC-161	CH_3CH_2F	12
HFC-227ea	CF_3CHFCF_3	3500
HFC-236cb	$CH_2FCF_2CF_3$	1300
HFC-236ea	CHF_2CHFCF_3	1200
HFC-236fa	$CF_3CH_2CF_3$	9400
HFC-245ca	$CH_2FCF_2CHF_2$	640
HFC-245fa	$CHF_2CH_2CF_3$	950

Gas	Chemical composition	Global Warming Potential Time horizon 100 years
HFC-365mfc	$CF_3CH_2CF_2CH_3$	850
HFC-43-10mee	$CF_3CHFCHFCF_2CF_3$	1500
Chlorocarbons		
CH_3CCl_3		140
CCl_4		1800
$CHCl_3$		30
CH_3Cl		16
CH_2Cl_2		10
Bromocarbons		
CH_3Br		5
CH_2Br_2		1
$CHBrF_2$		470
Halon-1211	$CBrClF_2$	1300
Halon-1301	$CBrF_3$	6900
Iodocarbons		
CF_3I		1
Fully fluorinated species		
SF_6		22200
CF_4		5700
C_2F_6		11900
C_3F_8		8600
C_4F_{10}		8600
c-C_4F_8		10000
C_5F_{12}		8900
C_6F_{14}		9000
Ethers and Halogenated Ethers		
CH_3OCH_3		1
$(CF_3)_2CFOCH_3$		330
$(CF_3)CH_2OH$		57
$CF_3CF_2CH_2OH$		40
$(CF_3)_2CHOH$		190
HFE-125	CF_3OCHF_2	14900
HFE-134	CHF_2OCHF_2	6100
HFE-143a	CH_3OCF_3	750
HCFE-235da2	$CF_3CHClOCHF_2$	340
HFE-245cb2	$CF_3CF_2OCH_3$	580
HFE-245fa2	$CF_3CH_2OCHF_2$	570
HFE-254cb2	$CHF_2CF_2OCH_3$	30
HFE-347mcc3	$CF_3CF_2CF_2OCH_3$	480
HFE-356pcf3	$CHF_2CF_2CH_2OCHF_2$	430
HFE-374pc2	$CHF_2CF_2OCH_2CH_3$	540
HFE-7100	$C_4F_9OCH_3$	390
HFE-7200	$C_4F_9OC_2H_5$	55
H-Galden 1040x	$CHF_2OCF_2OC_2F_4OCHF_2$	1800
HG-10	$CHF_2CHF_2OCF_2OCHF_2$	2700
HG-01	$CHFOCFCFCHFOCFCFOCHF_2$	1500

Note: Factors for sulphuric acids and other compounds are planned to be included

B.1 Characterisation factors for ozone-depleting gases

Semi-empirical polar ozone depletion potentials (ODP) for the time horizon 20 years, CFC-11 equivalents.

Ref: Solomon & Albritton, 1992, in Nordic Guidelines on Life Cycle Assessment, Nord 1995:20, Nordic council of Ministers, Copenhagen.

Species	Formula	ODP [kg CFC-11 eq./kg]
Bromo-methane	CH_3Br	2.30
CFC-11 (Trichlorofluoromethane)	$CFCl_3$	1
CFC-113	$C_2F_3Cl_3$	0.55
HALON-1211	$CClF_2Br$	5
HALON-1301	CF_3Br	10.50
HALON-2402	$C_2F_4Br_2$	11
HCFC-123	$CHCl_2CF_3$	0.08
HCFC-124	$CHFClCF_3$	0.08
HCFC-141b	CH_3CFCl_2	0.33
HCFC-142b	CH_3CF_2Cl	0.14
HCFC-22	CHF_2Cl	0.14
HCFC-225ca	$C_3HCl_2F_5$	0.10
HCFC-225eb	$C_3HCl_2F_5$	0.11
Tetrachloromethane	CCl_4	1.23
Trichloroethane	CH_3CCl_3	0.45

B.2 Characterisation factors for acidifying compounds

Acidification (incl. fate, average Europe total), expressed as Acidification Potential (AP) in kg SO_2 eq; baseline.

Ref: (CML, 1999); (Huijbregts, 1999; average Europe total, A&B).

Substance	*Cas no.*	*Unit*	*kg SO_2 eq.*
Ammonia	7664-41-7	kg	1,60E+00
Nitrogen dioxide	10102-44-0	kg	5,00E-01
Nitrogen oxides (as NO_2)	11104-93-1	kg	5,00E-01
Sulphur dioxide	7446-09-5	kg	1,00E+00
Sulphur oxides	-	kg	1,00E+00

B.3 Characterisation factors for gases creating ground-level ozone

POCP, non-specific hydrocarbons, g ethene-equivalents/g VOC-mix.

*Ref: * Ref: Heijungs et al., 1992, in Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment, Nord 1995:20, Nordic council of Ministers, Copenhagen.*
*** Ref: Andersson Sköld et al., 1992, in Environmental Assessment of Products, Institute for Product Development, Copenhagen, Denmark.*

VOC-mix	POCP
Hydrocarbons (average)	0.337*
Non-methane hydrocarbons (average)	0.416*
Petrol car, combustion emissions	0.46**
Petrol car, evaporation	0.42**
Diesel car, combustion emission	0.48**
Stationary combustion	0.44**
Use of solvents	0.29**
Industrial processes	0.27**
Oil refinement and distribution	0.42**
Leakage of natural gas	0.24**

Photochemical Ozone Creation Potentials (POCP) as ethene-equivalents

Photochemical oxidation (high NOx)

Ref: POCP (Jenkin & Hayman, 1999; Derwent et al. 1998; high NOx); baseline (CML, 1999)

Substance	*Cas no.*	*group*	*unit*	*kg ethylene eq.*
Sulphur dioxide	7446-09-5	inorganic	kg	4,8E-02
Ethylbenzene	100-41-4	aromatic	kg	7,3E-01
Styrene	100-42-5	aromatic	kg	1,4E-01
Benzaldehyde	100-52-7	aromatic	kg	-9,20E-02
nitrogen mono oxide	10102-43-9	inorganic	kg	-4,27E-01
nitrogen dioxide	10102-44-0	inorganic	kg	2,8E-02
1-Propyl Benzene	103-65-1	aromatic	kg	6,36E-01
sec-Butyl Acetate	105-46-4	nonaromatic (ester)	kg	2,75E-01
para-Xylene	106-42-3	aromatic	kg	1,0E+00
Butane	106-97-8	nonaromatic (alkane)	kg	3,52E-01
1-Butene	106-98-9	nonaromatic (alkene)	kg	1,08E+00
1,3-Butadiene	106-99-0	nonaromatic (alkene)	kg	8,5E-01
Ethylene Glycol	107-21-1	nonaromatic (ester)	kg	3,73E-01
Methyl Formate	107-31-3	nonaromatic (ester)	kg	2,70E-02
2-Methylpentane	107-83-5	nonaromatic (alkane)	kg	4,20E-01
Methyl propyl Ketone	107-87-9	nonaromatic (ketone)	kg	5,48E-01
1-Methoxy-2-propanol	107-98-2	nonaromatic (alcohol)	kg	3,35E-01
Methyl *Iso*butyl Ketone	108-10-1	nonaromatic (ketone)	kg	4,90E-01
Diisopropylether	108-20-3	nonaromatic (ether)	kg	3,98E-01
*iso*propyl acetate	108-21-4	nonaromatic (ester)	kg	2,11E-01
Meta Xylene	108-38-3	aromatic	kg	1,1E+00
1,3,5-trimethylbenzene	108-67-8	aromatic	kg	1,38E+00
Toluene	108-88-3	aromatic	kg	6,4E-01
Cyclohexanol	108-93-0	nonaromatic (alcohol)	kg	5,18E-01
Cyclohexanone	108-94-1	nonaromatic (alkane)	kg	2,99E-01
1-Propylacetate	109-60-4	nonaromatic (ester)	kg	2,82E-01
Pentane	109-66-0	nonaromatic (alkane)	kg	3,95E-01
1-Pentene	109-67-1	nonaromatic (alkene)	kg	9,77E-01
2-Methoxy-Ethanol	109-86-4	nonaromatic (alcohol)	kg	3,07E-01
Dimethoxy methane	109-87-5		kg	1,6E-01
Hexane	110-54-3	nonaromatic (alkane)	kg	4,82E-01
Valeraldehyde	110-62-3	nonaromatic (aldehyde)	kg	7,65E-01
2-Ethoxy-Ethanol	110-80-5	nonaromatic (alcohol)	kg	3,86E-01
Cyclohexane	110-82-7	nonaromatic (alkane)	kg	2,90E-01
Octane	111-65-9	nonaromatic (alkane)	kg	4,33E-01
2-Butoxy-Ethanol	111-76-2	nonaromatic (alkane)	kg	4,83E-01
Nonane	111-84-2	nonaromatic (alkane)	kg	4,14E-01
1-Undecane	1120-21-4	nonaromatic (alkane)	kg	3,84E-01
Dodecane	112-40-3	nonaromatic (alkane)	kg	3,57E-01
Propylene	115-07-1	nonaromatic (alkene)	kg	1,12E+00
Dimethyl Ether	115-10-6	nonaromatic (ether)	kg	1,89E-01
*iso*butene	115-11-7	nonaromatic (alkene)	kg	6,27E-01
Propionaldehyde	123-38-6	nonaromatic (aldehyde)	kg	7,98E-01
Diacetone alcohol	123-42-2	nonaromatic (alcohol)	kg	3,07E-01
3-Methylbutan-1-ol	123-51-3	nonaromatic (alcohol)	kg	4,33E-01
Butyraldehyde	123-72-8	nonaromatic (aldehyde)	kg	7,95E-01
1-Butyl Acetate	123-86-4	nonaromatic (ester)	kg	2,69E-01
Decane	124-18-5	nonaromatic (alkane)	kg	3,84E-01
tetrachloroethylene	127-18-4	halogenated nonaromatic	kg	2,9E-02
2-Methylbutan-1-ol	137-32-6	nonaromatic (alcohol)	kg	4,89E-01
Ethyl Acetate	141-78-6	nonaromatic (ester)	kg	2,09E-01

Substance	*Cas no.*	*group*	*unit*	*kg etkylene eq.*
Heptane	142-82-5	nonaromatic (alkane)	kg	4,94E-01
cis-Dichloroethene	156-59-2	haloginated nonaromatic	kg	4,47E-01
trans-dichloroethene	156-60-5	haloginated nonaromatic	kg	3,92E-01
Methyl *tert*-Butyl Ether	1634-04-4	nonaromatic (ether)	kg	1,75E-01
tertiary-Butanol	75-65-0	nonaromatic (alcohol)	kg	1,06E-01
2,2-Dimethylbutane	75-83-2	nonaromatic (alkane)	kg	2,41E-01
2-Methylbutan-2-ol	75-85-4	nonaromatic (alcohol)	kg	2,28E-01
Methyl *tert*-butylketone	75-97-8	nonaromatic (ketone)	kg	3,23E-01
isopentane	78-78-4	nonaromatic (alkane)	kg	4,05E-01
isoprene	78 79 5	nonaromatic (alkene)	kg	1,09E-00
isobutanol	78-83-1	nonaromatic (alcohol)	kg	3,60E-01
isobutyraldehyde	78-84-2	nonaromatic (aldehyde)	kg	5,14E-01
sec-Butanol	78-92-2	nonaromatic (alcohol)	kg	4,00E-01
2-butanone	78-93-3	nonaromatic (ketone)	kg	3,73E-01
Trichloroethylene	79-01-6	haloginated nonaromatic	kg	3,3E-01
Propanoic acid	79-09-4	nonaromatic (carboxylic acid)	kg	1,50E-01
Methyl Acetate	79-20-9	nonaromatic (ester)	kg	5,90E-02
2,3- Dimethylbutane	79-29-8	nonaromatic (alkane)	kg	5,41E-01
ortho-Xylene	95-47-6	aromatic	kg	1,1E-00
1,2,4-trimethylbenzene	95-63-6	haloginated aromatic	kg	1,28E+00
3-Methylpentane	96-14-0	nonaromatic (alkane)	kg	4,79E-01
Diethylketone	96-22-0	nonaromatic (ketone)	kg	4,14E-01
isopropyl benzene	98-82-8	aromatic	kg	5,00E-01
cis-2-Hexene	7688-21-3	nonaromatic (alkene)	kg	1,07E-00
Volatile Organic Compounds non-methane - (non methane VOC)(as ethylene)	NMVOC		kg	1,0E-00
Pentanaldehyde		nonaromatic (aldehyde)	kg	7,65E-01
3,5 diethyl toluene	*2050-24-0*		*kg*	*1,50E-00*
2-hexene (trans)	*4050-45-7*		*kg*	*1,07E-00*
Sulfur Oxides			*kg*	*4,80E-02*

When the POCP characterisation factor for a certain substance is not listed in Table 5.2, average value shall be used. For POCP calculation, average values are the following:

Alcohols (average)	0.38
– Aldelhydes (average)	0.69
– Alkanes (average)	0.39
– Alkenes (average)	0.97
– Aromatics (average)	0.80
– Carboxylic acids (average)	0.093
– Esters (average)	0.22
– Ethers (average)	0.29
– Ketones (average)	0.42

(Average values calculated according to table 5.2 values including all substances classified into the specific category).

B.4 Characterisation factors for eutrophicating compounds

Eutrophication (fate not incl.), expressed as Eutrophication Potential (EP) in kg PO_4^{3-} eq. baseline.

Ref: (CML, 1999); (Heijungs et al. 1992).

Substance	*Ces no.*	*unit*	*kg PO_4^{3-} eq.*
Ammonia	7664-41-7	kg	3,50E-01
Ammonium	14798-03-9	kg	3,30E-01
Ammonium carbonate	*000506-87-6*	*kg*	*1,20E-01*
Ammonium nitrate	*006484-52-2*	*kg*	*7,40E-02*
Chemical oxigen demand (COD)	COD	kg	2,20E-02
Dinitrogen monoxide	*010024-97-2*	*kg*	*1,30E-01*
Nitrate	14797-55-8	kg	1,00E-01
nitric acid	7697-37-2	kg	1,00E-01
Nitrite	14797-65-0	kg	1,00E-01
Nitrogen	7727-37-9	kg	4,20E-01
nitrogen dioxide	10102-44-0	kg	1,30E-01
nitrogen mono oxide	10102-43-9	kg	2,00E-01
nitrogen oxides (as NO_2)	11104-93-1	kg	1,30E-01
Nitrogen, total	7727-37-9	kg	4,20E-01
Phosphate	14265-44-2	kg	1,00E-00
phosphoric acid	7664-38-2	kg	9,70E-01
Phosphorus	7723-14-0	kg	3,06E-00
Phosphorus(V)oxide (P_2O_5)	1314-56-3	kg	1,34E-00