

ANALISI AMBIENTALE ED ECONOMICA DEI TESSILI PER SALA OPERATORIA

Life Cycle Assessment (LCA) e Life Cycle Costing (LCC) dell'intero ciclo di vita

ebli ente bilaterale

AMBIENTEITALIA
we know green

EBLI è l'Ente Bilaterale del settore lavanderie industriali, centrali di sterilizzazioni e servizi medici affini, costituito da

ebli ente bilaterale

Viale Pasteur, 8
00144 Roma (Italy)
Tel.: (+39) 06 5903439
Email: info@eblinazionale.it
www.eblinazionale.it

AMBIENTEITALIA we know green

Ambiente Italia srl
Via Carlo Poerio, 39 – 20129 Milano
Tel +39.02.277441
Fax +39.02.27744.222
www.ambienteitalia.it

Indice

Sintesi 5

1. Introduzione 7

1.1. Presentazione dell'organizzazione 7
1.2. Obiettivo dello studio e motivazioni 8
1.3. Analisi dei dati di letteratura 9
1.4. Metodologia 19

2. Ambito dello studio 23

2.1. Descrizione dei prodotti e unità funzionale 23
2.2. Confini del sistema 24
2.3. Assunzioni generali 25
2.4. Criteri di esclusione 25
2.5. Descrizione dei dati 25
2.6. Rappresentatività, adeguatezza e validazione dei dati 26
2.7. Regole di allocazione 27
2.8. Categorie di impatto dell'impronta ambientale 27

3. Analisi di inventario 29

3.1. Procedimento per la raccolta dei dati specifici 29
3.2. La realizzazione dei prodotti 29
3.3. La fase d'uso 32
3.4. Fine vita del prodotto 34
3.5. Raccolta dei dati economici e assunzioni 35

4. Risultati della valutazione di impatto dell'impronta ambientale e dei costi 39

4.1. Analisi dei risultati 39
4.2. Impatto dei costi 54

5. Interpretazione del ciclo di vita 61

5.1. Analisi di sensibilità 61
5.2. Valutazione della qualità del dato 63
5.3. Valutazione della fondatezza del modello 64

Abbreviazioni 67

Bibliografia 69

Sintesi

Ebli, Ente Bilaterale del settore lavanderie industriali, centrali di sterilizzazione e servizi medici affini, ha incaricato Ambiente Italia di realizzare uno studio che fornisce una comparazione dettagliata degli impatti ambientali ed economici dei tessuti utilizzati nelle sale operatorie in ambito sanitario. Lo studio e i contenuti del presente rapporto hanno visto la collaborazione di Assosistema e di alcune imprese associate, oltre ad alcune Aziende del sistema sanitario nazionale rappresentative delle stazioni appaltanti (ASST Bergamo Est, Azienda Ospedaliera Universitaria di Parma, ASL Toscana Sud Est) e alcune imprese della filiera dei fornitori di tessuti. L'analisi mette a confronto le soluzioni monouso (TNT) con i Tessuti Tecnici Riutilizzabili (TTR), includendo per entrambe le tipologie anche la fase di sterilizzazione. L'obiettivo principale dello studio è di offrire informazioni tecniche alle imprese di lavaggio industriale, alla filiera dei fornitori dei tessuti e alle stazioni appaltanti dei servizi di lavaggio e sterilizzazione in ambito ospedaliero, evidenziando i benefici e i costi complessivi, sia dal punto di vista ambientale che economico, delle due soluzioni oggetto del confronto. Lo studio è realizzato attraverso l'uso dell'Analisi del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment, LCA), un approccio che copre l'intero ciclo di vita dei prodotti, dalla produzione e utilizzo fino al fine vita, e permette di valutare l'impatto globale in termini di risorse utilizzate e inquinamento generato.

La LCA basata sulle norme ISO 14040 e ISO 14044. Per la valutazione degli impatti ambientali è stata utilizzata la metodologia di valutazione della PEF europea (Product Environmental Footprint). Per la valutazione dei costi nel ciclo di vita (LCC) si è fatto riferimento alle metodologie disponibili in letteratura. La valutazione di impatto ambientale mostra risultati in termini di GWP (cambiamenti climatici) e un indicatore unico degli altri impatti ambientali. La valutazione economica evidenzia i costi diretti associati all'acquisto dei materiali e ai trattamenti di lavaggio, i costi associati alle operazioni di gestione del fine vita e i benefici derivanti dal risparmio di materie prime nella soluzione del riutilizzabile rispetto a quella del monouso.

Nel settore sanitario vengono utilizzate numerose tipologie di tessuti, come i teli operatori, i camici (chirurgici e non) e la biancheria da letto (lenzuola, federe, ecc.), ma lo studio si concentra nell'analisi dei prodotti medicali da sala operatoria. Come tipologia di prodotto da analizzare è stato scelto quello che rappresenta meglio l'attività. L'unità funzionale considerata nello studio è 1 pezzo (rappresentato da un dato articolo, camice o telo) realizzato con specifici tessuti che lo rendono idoneo per l'utilizzo in sala operatoria, incluso o meno in un kit dedicato o standard, riutilizzato 60 volte, mantenendo le caratteristiche del tessuto senza particolari segni di usura che ne impediscano l'utilizzo. Il fine vita dei prodotti coincide con il momento in cui gli stessi perdono le qualità che li rendevano idonei alla propria funzione: nel caso del monouso, ciò viene raggiunto dopo un unico utilizzo, mentre nel caso del tessile riutilizzabile, i prodotti vanno incontro a un determinato numero di cicli di lavaggio prima di essere dismessi.

I confini di sistema determinano le unità di processo da includere nello studio LCA e LCC e la tipologia di dati in "ingresso" e/o "uscita" al sistema che possono essere omessi. Nel sistema analizzato si possono classificare come processi di foreground (definiti dalla guida PEF come i processi per i quali è

possibile accedere direttamente alle informazioni) quelli relativi alle attività di lavaggio e alla realizzazione dei prodotti in TTR e realizzazione dei prodotti in TNT. Sono invece classificabili come processi di background tutte le altre fasi di prodotto per le quali non è stato possibile reperire dati specifici, fra queste possiamo elencare la produzione dei tessuti e del loro imballo, i processi di trasporto e il fine vita dei prodotti. I confini del ciclo di vita vanno dall'estrazione delle risorse e produzione delle diverse materie prime, sino al punto in cui il prodotto diventa un rifiuto, considerando fra questi estremi sia la realizzazione dei prodotti, sia il lavaggio, nel caso dei prodotti riutilizzabili. Sono inclusi tutti i trasporti richiesti dal ciclo produttivo, la produzione degli ausiliari e degli imballaggi e sono stati conteggiati i flussi di rifiuti prodotti nell'intero ciclo di vita.

Per la realizzazione dello studio LCA sono stati utilizzati sia dati specifici (primari), forniti dalle aziende coinvolte, che dati generici (secondari) provenienti da banche dati e letteratura, relativi a sistemi tecnologicamente, geograficamente e temporalmente equivalenti. La raccolta dei dati ha coinvolto un campione rappresentativo di aziende della filiera tessile e servizi sanitari (lavanderie industriali), tramite questionari e interviste telefoniche. La validazione è avvenuta tramite confronto con studi pubblicati, banche dati internazionali (Ecoinvent 3.10) e letteratura. Lo studio ha considerato gli impatti ambientali in tutte e sedici le categorie previste dalla metodologia PEF.

I risultati ottenuti mettono in evidenza che la scelta della soluzione del TTR riutilizzabile ha un impatto ambientale più basso del TNT monouso. Guardando allo scenario peggiorativo rappresentato dall'avvio del TTR a discarica, l'indicatore unico (che sintetizza, con la metodologia codificata dalla PEF, gli impatti ambientali di un pezzo), per i camici l'impatto ambientale dei riutilizzabili risulta essere più basso del monouso di una percentuale variabile tra il -48% e il -51% a seconda del fatto che il camice sia o meno rinforzato e della taglia. Considerando il valore del GWP, il camice rinforzato XL monouso genera 23 $kgCO_2eq$/pezzo contro 15 $kgCO_2eq$/pezzo del riutilizzabile (-34%), che diventa 14,8 $kgCO_2eq$/pezzo (-35%) nello scenario del riciclo meccanico. Un maggiore vantaggio si nota avviene per i teli (di varie tipologie), dove l'indicatore unico mostra un impatto minore del telo riutilizzabile che è variabile tra il 45% al 55% rispetto al monouso. Per il GWP un telo testa in TNT genera 39 $kgCO_2eq$/pezzo mentre lo stesso telo in TTR ha un impatto di 27 $kgCO_2eq$/pz (-32%).

Anche l'analisi economica con il metodo dei costi nel ciclo di vita evidenzia significative differenze tra il riutilizzabile e il monouso. La comparazione mostra che la LCC totale dei TTR è più bassa di un valore variabile tra il 20% e il 50% rispetto ai TNT, ad eccezione dei TTR federa e teli. I dati di dettaglio sono stati elaborati mettendo in evidenza il peso della componente materia prima (produzione del tessuto), che incide in modo prevalente sul costo complessivo, il servizio di lavaggio e sterilizzazione per i soli TTR e alcuni scenari di fine vita per tutte le tipologie di tessuti. Nel calcolo sono stati anche considerati i benefici derivanti dal risparmio di materie prime attribuibili alla scelta dell'uso dei TTR. Non sono stati quantificati i costi delle esternalità, dato che questi sono ben evidenti nella valutazione ambientale, evitando in questo modo di duplicare i risultati dell'analisi comparativa. Alcune considerazioni di carattere qualitativo sono state effettuate per descrivere ulteriori benefici attribuibili all'uso dei TTR al posto dei TNT nelle loro fasi d'uso.

1. Introduzione

Il presente documento costituisce la relazione completa dello studio di Valutazione del ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) e Life Cycle Costing (LCC) dei tessuti utilizzati nelle sale operatorie, confrontando i servizi di acquisto e gestione delle soluzioni monouso (TNT) con i servizi di noleggio e lavaggio dei Tessuti Tecnici Riutilizzabili (TTR). Lo studio è stato commissionato da Ebli e realizzato da Ambiente Italia S.r.l.

La metodologia LCA consiste nella compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto (definizione tratta dallo standard internazionale UNI EN ISO 14040).

Lo studio è stato condotto in conformità alle prescrizioni delle norme:

- ISO 14040:06 Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento;
- ISO 14044:06 Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione e analisi dell'inventario, valutazione dell'impatto del ciclo di vita, interpretazione del ciclo di vita.

I risultati sono stati espressi per tutte le categorie d'impatto ambientale proposte dalla Raccomandazione 2021/9332/UE della Commissione Europea del 16 dicembre 2021, relativa all'uso di metodologie comuni per misurare e comunicare le prestazioni ambientali nel corso del ciclo di vita dei prodotti, integrate e/o aggiornate secondo quanto previsto dai documenti ufficiali successivamente pubblicati dal JRC.

Il metodo di analisi economica Life Cycle Costing è la base sulla quale viene in genere realizzata l'analisi dei costi nel ciclo di vita (LCCA). Le metodologie utilizzate si prendono a riferimento le linee guida del Dipartimento della Difesa USA (metà degli anni '60), che le ha utilizzate per supportare decisioni relative alle forniture. Negli anni successivi sono state realizzate molte altre applicazioni della metodologia in vari settori che hanno prodotto definizioni e diverse linee guida. Prevista da normative europee in materia di appalti pubblici, l'analisi dei costi nel ciclo di vita è infine contenuta nell'allegato II.5 Specifiche tecniche ed etichettature del Codice degli Appalti italiano (D.Lgs 36/2023).

1.1. Presentazione dell'organizzazione

EBLI è l'Ente Bilaterale del Sistema Industriale Integrato di Servizi Tessili e Medici Affini, costituito nel 1999 da Assosistema e dalle organizzazioni sindacali dei lavoratori maggiormente rappresentative del settore FEMCA-CISL, FILCTEM-CGIL (già FILTEA) e UILTA-UIL. L'EBLI si è caratterizzato, fin dalla sua costituzione, per l'impegno nel realizzare una delle prime realtà bilaterali in Italia per la disamina delle componenti che influenzano il mercato di riferimento e la condizione dei lavoratori. Il compito ambizioso, quanto stimolante, svolto dall'EBLI è quello di delineare –attraverso la ricerca, la conoscenza, l'approfondimento e l'innovazione- in che modo gli attori delle relazioni industriali

possono contribuire all'innalzamento del tasso di competitività del settore e, contemporaneamente, alla crescita dell'occupazione e all'incremento delle competenze professionali dei lavoratori. Centro privilegiato, quindi, di analisi dei rapporti tra relazioni industriali e governance, è in esso che si discute, anche, la connessione tra contrattazione collettiva e dialogo sociale e l'interazione tra attori delle relazioni industriali e politiche nazionali del lavoro e dell'occupazione.

Assosistema rappresenta le imprese di produzione, distribuzione, manutenzione dei dispositivi di protezione individuali e collettivi e di servizi di sanificazione e sterilizzazione dei dispositivi tessili e medici utilizzati in ospedali, case di cura, cliniche private, hotel, ristoranti, industrie e ambienti confinati. Suoi obiettivi statutari sono la protezione, la diffusione e il miglioramento dell'attività del settore, nonché la tutela e il coordinamento delle istanze e degli interessi degli Associati. Socio diretto di Confindustria, Assosistema a livello europeo aderisce all'ETSA (European Textile Services Association) e all'ESF (European Safety Federation). Assosistema rappresenta la totalità delle aziende di medie e grandi dimensioni, circa il 63% della forza lavoro e la gran parte del fatturato di un settore che in Italia vale circa 4,2 miliardi di euro. Il profilo degli addetti (oltre 35.000) si caratterizza per la stabilità occupazionale: il 93% è dipendente a tempo indeterminato. Le aziende sono localizzate in tutta Italia con una prevalenza nel Nord (59%) e, a seguire, Centro (28%), Sud/Isole (13%). Le imprese associate ad Assosistema sono accomunate dall'utilizzo di impianti tecnologicamente avanzati, di modelli organizzativi efficienti e di personale qualificato. Esse producono servizi in conformità alle normative europee e nazionali per la garanzia di sicurezza e qualità dei prodotti utilizzati.

Di seguito i servizi forniti dalle associate:

- SERVIZI SANITARI INTEGRATI: Fornitura, sanificazione e sterilizzazione dei dispositivi tessili riutilizzabili e dello strumentario chirurgico. Rintracciabilità dei prodotti e gestione integrata della logistica e del guardaroba. I principali mercati di sbocco di queste imprese sono gli ospedali, le cliniche e le case di cura private.
- SERVIZI INTEGRATI: Fornitura, sanificazione e gestione integrata del magazzino e del guardaroba. I principali mercati di sbocco di queste imprese sono le strutture turistiche e ricettive: hotel, pensioni, villaggi, residence, bed&breakfast, stabilimenti termali, ristoranti, catering e mense aziendali.
- SICUREZZA SUL LAVORO/SAFETY: Produzione e distribuzione di Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) e Collettivi (DPC) e di Sistemi di Sicurezza sul lavoro; Fornitura, noleggio, ricondizionamento, mantenimento in stato di efficienza dei DPI e DPC. I principali mercati di sbocco di queste imprese sono il sanitario, l'industria, il commercio, l'agricoltura, l'edilizia, i servizi, la logistica e le forze dell'ordine.
- WORKWEAR: Le aziende di questa sezione svolgono il servizio integrato di noleggio, lavaggio, controllo e manutenzione degli indumenti da lavoro e dei dispositivi di protezione individuale per i settori dell'industria, del commercio, della sanità, del terziario e dei servizi.

1.2. Obiettivo dello studio e motivazioni

L'obiettivo del presente documento è quello di fornire un'indicazione dell'impatto ambientale e dei costi economici generati lungo l'intero ciclo di vita (acquisizione materie prime, produzione, distribuzione nel caso del TTR, utilizzo e fine vita) dei tessuti utilizzati nelle sale operatorie monouso e riutilizzabili. Il rapporto è destinato ad uso interno dell'ente bilaterale e dell'associazione di categoria

Le motivazioni per cui Ebli ha commissionato questo studio sono essenzialmente due:

- valutare le prestazioni ambientali dei diversi tessuti utilizzati nelle sale operatorie, specialmente per quanto riguarda la fase di riutilizzo tramite il lavaggio;
- confrontare i costi legati alla scelta di un tessuto monouso rispetto a un altro riutilizzabile.

I risultati dello studio possono avere diverse applicazioni per:

- quantificare gli impatti ambientali ed economici associati ai diversi tessuti, dettagliati per ciascuna fase del ciclo di vita;
- individuare le criticità ambientali ed economiche del ciclo di vita del prodotto e i conseguenti potenziali di ottimizzazione;
- comunicare informazioni ambientali di settore chiare e trasparenti sui tessuti per le sale operatorie e sui servizi offerti dalle lavanderie industriali;
- predisporre strategie di comunicazione (trasparenti, credibili, oggettive e confrontabili) rivolte ai vari stakeholders (mercato, aziende, organi amministrativi e legislativi, gruppi di interesse, ecc.);
- possedere una base dati quantitativa i cui risultati possono essere utilizzati per l'analisi dei risultati di studi del ciclo di vita di un prodotto o servizio analogo.

1.3. Analisi dei dati di letteratura

Lo studio intitolato "*An Environmental Analysis of Reusable and Disposable Surgical Gowns*" (Eric Vozzola, et al., 2020), fornisce una valutazione completa dell'impatto ambientale dei camici chirurgici riutilizzabili e monouso. Data l'importanza dei camici chirurgici sia per la protezione dei pazienti che come parte dell'equipaggiamento di protezione individuale, (DPI) per il personale sanitario, questa analisi è particolarmente rilevante per gli amministratori delle strutture sanitarie che mirano ad adottare pratiche sostenibili dal punto di vista ambientale.

Lo studio ha utilizzato un'analisi del ciclo di vita (LCA), che ha tracciato gli impatti ambientali dall'estrazione dei combustibili fossili fino allo smaltimento dei camici alla fine del loro ciclo di vita. Questa analisi ha incluso fattori critici come le operazioni di lavanderia, il trattamento delle acque reflue e il consumo complessivo di energia. Il confronto tra i camici riutilizzabili e quelli monouso ha evidenziato significativi vantaggi ambientali dei primi. In particolare, lo studio ha rivelato che i camici riutilizzabili riducono il consumo di risorse energetiche naturali del 64%, le emissioni di gas serra del 66%, il consumo di acqua blu dell'83% e la produzione di rifiuti solidi dell'84%.

Un'analisi del ciclo di vita (LCA) è stata condotta utilizzando gli standard dell'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione (ISO), coprendo il processo dalla culla alla fine del ciclo di vita, inclusi l'estrazione delle materie prime, la produzione, l'uso, il lavaggio, la sterilizzazione, lo smaltimento e il trasporto. Lo studio ha analizzato 11 camici riutilizzabili e 7 camici monouso, concentrandosi sulla composizione dei camici, l'imballaggio e le pratiche di smaltimento dei rifiuti. L'unità funzionale scelta è stata 1000 utilizzi dei tessuti riutilizzabili comparati con 1000 tessuti monouso.

TABELLA 1
Confronto degli indicatori ambientali per camici chirurgici riutilizzabili e monouso valutati nell'analisi dalla culla alla fine del ciclo di vita (Vozzola, et al., 2020)

Stage of Life Cycle	NRE, MJ		GWP, kg of CO2 eq		Blue Water, kg		Solid Waste, kg	
	Reusable 1,000 Users	Disposable 1,000 Gowns	Reusable 1,000 Users	Disposable 1,000 Gowns	Reusable 1,000 Users	Disposable 1,000 Gowns	Reusable 1,000 Users	Disposable 1,000 Gowns
Gown manufacturing and suplly chain	2,366	23,958	143	1,495	69,7	1,058	0-7.90	224
Packaging manufacturing and supply chain	1,246	2,040	76.0	121	56.7	36.6	35.5	40.3
Laundry	4,821	-	278	-	57	-	0	-
Sterilization	343	89.0	19.8	6.26	1.39	2.38	0	0
Use phase transport	596	53.5	38.7	3.47	0	0	0	0
End-of-life	23.9	149	1.40	10.9	0	0	0-0.00842	0.505
Total	9,396	26,289	557	1,636	185	1,097	35.5-43.4	265
Reduction from selecting reusable system. % of disposable system	64		66		83		84-87	

NRE = natural resource energy; MJ = megajoule; GWP = global warming potential; kg of CO2 eq = kilogram of carbon dioxide equivalents.

Elaborando i dati della tabella precedente per gli indicatori uso delle risorse e cambiamento climatico, si evidenzia la differenza percentuale dell'impatto tra le diverse fasi del ciclo di vita. L'incremento degli impatti per il riutilizzabile riguarda le fasi gestite dal servizio noleggio, lavaggio e sterilizzazione, mentre la riduzione degli impatti riguarda la produzione del tessuto (fornitura), il packaging utilizzato nella fornitura e la fase del fine vita.

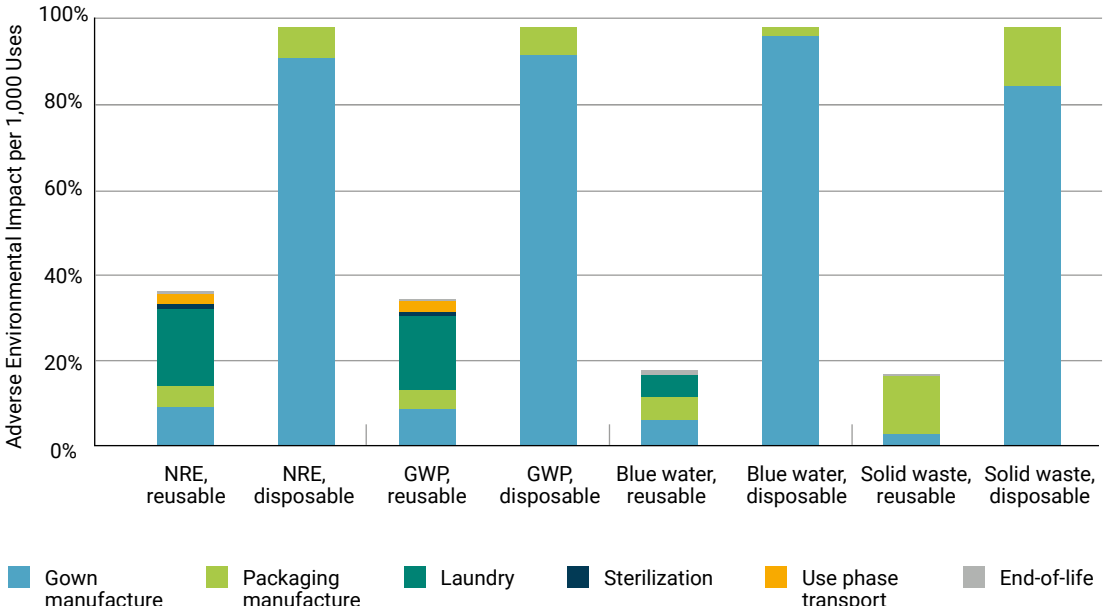
TABELLA 2
Impatto ambientale delle fasi del ciclo di vita: confronto tra riutilizzabile e monouso (Vozzola, et al., 2020)

Fase del ciclo di vita	Differenza % degli impatti tra riutilizzabile e monouso	
	Uso delle risorse (energia) MJ	Cambiamento climatico GWP
Fornitura	-90,1%	-90%
Packaging	-38,9%	-37%
Lavanderia	100,0%	100%
Sterilizzazione	285,4%	216%
Trasporto per le fasi d'uso	1014,0%	1015%
End-of-life	-84,0%	-87%
Totale	-64,3%	-66%

Come si può notare, la fornitura di materiali genera 143 kg di CO_2 eq per i riutilizzabili, mentre la soluzione dei monouso genera 1495 kg di CO_2 eq. Anche l'imballaggio contribuisce agli impatti ambientali, con i camici riutilizzabili che richiedono 36,1 grammi di imballaggio e quelli monouso che ne necessitano 57,8 grammi. L'imballaggio ha rappresentato il 13% del consumo energetico e delle emissioni per i ca-

mici riutilizzabili e l'8% per quelli monouso. Le operazioni di lavanderia per i camici riutilizzabili hanno contribuito per il 51% al consumo energetico e per il 50% alle emissioni di gas serra, sebbene abbiano utilizzato una quantità minima di acqua netta (57 kg per 1.000 utilizzi). La sterilizzazione ha avuto un impatto relativamente piccolo su entrambi i tipi di camici, rappresentando il 4% del consumo di energia per i camici riutilizzabili e lo 0,3% per quelli monouso. Nel complesso, lo studio ha concluso che i camici riutilizzabili sono più sostenibili dal punto di vista ambientale, offrendo riduzioni significative nell'uso delle risorse, nelle emissioni e nei rifiuti rispetto ai camici monouso.

FIGURA 1
Confronto dell'impatto ambientale dei camici chirurgici riutilizzabili e monouso (Vozzola, et al., 2020)



Diversi studi di casi evidenziati nel materiale della Gurtler Industries durante la 2022 Healthcare Conference (Steven J. Tinker, 2022) offrono preziose informazioni sugli impatti economici, ambientali e operativi derivanti dalla transizione verso i tessili riutilizzabili, in particolare camici e teli chirurgici:

1.3.1. NovoHealth

La decisione di NovoHealth di adottare camici isolanti riutilizzabili durante la pandemia del 2020 dimostra l'efficacia dei tessili riutilizzabili nel far fronte sia alle sfide della catena di approvvigionamento, sia all'efficienza dei costi. A causa della carenza di DPI monouso, NovoHealth è passata al 100% di camici riutilizzabili, il che ha portato a una riduzione del volume di rifiuti del 9% e a una riduzione simile delle spese per i servizi ambientali legati allo smaltimento dei rifiuti. L'analisi finanziaria ha rivelato che il costo per camice, incluso il lavaggio, era di 0,58 dollari, rispetto ai 0,60 dollari dei camici monouso. Tenendo conto dei risparmi derivanti dalla riduzione dei rifiuti e dei costi del lavoro, la spesa totale per camice è stata ulteriormente ridotta a 0,28 dollari, rappresentando un risparmio del 53% rispetto ai camici monouso. Questo caso illustra come i tessili riutilizzabili possano rappresentare una soluzione più economica ed ecologicamente sostenibile, particolarmente in situazioni di crisi, contribuendo anche alla sostenibilità operativa a lungo termine.

1.3.2. UCLA Health

La transizione di UCLA Health ai camici riutilizzabili in quattro ospedali, tra cui i campus Ronald Reagan e Santa Monica, iniziata nel 2012, ha portato a significativi benefici finanziari e ambientali. Il passaggio ai camici riutilizzabili ha permesso al sistema sanitario di risparmiare 450.000 dollari all'anno, con una riduzione cumulativa di 3,9 milioni di dollari in nove anni. Inoltre, la transizione ha contribuito alla riduzione di 2.500 tonnellate di rifiuti destinati alle discariche, un traguardo ambientale rilevante. Il cambiamento ha anche portato a un'efficienza operativa immediata, con una riduzione del 20% nell'uso dei camici grazie a una migliore gestione. Questa riduzione è stata in gran parte dovuta all'eliminazione dello spreco associato ai camici monouso inutilizzati che venivano scartati alla dimissione dei pazienti. L'educazione del personale ha giocato un ruolo chiave nella transizione, oltre che i nuovi camici riutilizzabili offrivano una protezione uguale o migliore rispetto a quelli monouso. I camici hanno raggiunto 75-100 usi per articolo, sottolineando la loro convenienza a lungo termine. Questo caso evidenzia i benefici economici e ambientali dei tessili riutilizzabili e l'importanza dell'educazione del personale per garantire un'adozione di successo.

1.3.3. Carilion Clinic, Roanoke, VA

Il passaggio della Carilion Clinic dai camici monouso ai camici riutilizzabili nel 2011, dopo la pandemia dell'influenza suina, ha portato a significativi risparmi sui costi e a una riduzione dei rifiuti. Nei primi tre anni, la clinica ha risparmiato oltre 850.000 dollari e ridotto i rifiuti di 515.000 libbre. Oltre ai benefici economici e ambientali, il personale ha riportato un miglioramento in termini di comfort e protezione offerta dai camici riutilizzabili, portando a una maggiore soddisfazione generale. In particolare, la Carilion Clinic non ha sperimentato interruzioni nella fornitura durante la pandemia di COVID-19, quando molte strutture sanitarie hanno affrontato gravi carenze di DPI monouso. I camici riutilizzabili erano confezionati in modo simile a quelli monouso, garantendo facilità d'uso per il personale clinico e occupando meno spazio di stoccaggio. Questo studio di caso dimostra la resilienza finanziaria e operativa a lungo termine che può essere ottenuta attraverso l'adozione di tessili riutilizzabili, soprattutto di fronte alle interruzioni della catena di approvvigionamento globale.
Lo studio intitolato "*The Environmental Impacts of Disposable Nonwoven Fabrics during the COVID-19 Pandemic: Case Study on the Francesc de Borja Hospital*" (Alberto Quintana-Gallardo, 2023), esamina gli impatti ambientali dei tessuti non tessuti monouso utilizzati in ambito medico durante la pandemia.

Condotto presso l'Ospedale Francesc de Borja in Spagna, lo studio mirava ad analizzare l'impronta di carbonio e i rifiuti di plastica associati a diversi tipi di camici non tessuti. Lo studio ha esaminato cinque tipologie di camici: camici non sterili realizzati in polipropilene *spunbond* per usi non chirurgici; camici senza maniche simili ai camici non sterili ma senza maniche; camici chirurgici sterili composti da cinque strati (SMMMS) per una protezione elevata dai fluidi; camici chirurgici sterili ad alto rischio con strati più densi per una protezione migliorata; e camici chirurgici sterili rinforzati realizzati con una miscela di poliestere *spunbond* e polietilene per una maggiore resistenza e impermeabilità.

È stata condotta un›analisi completa del ciclo di vita (LCA), seguendo gli standard ISO 14040 e ISO 14025, e utilizzando SimaPro versione 9 con il database Ecoinvent versione 3.8. La valutazione ha coperto l'intero ciclo di vita dei camici, inclusi l'estrazione delle materie prime, la produzione e il trasporto. I risultati hanno rivelato che i camici non sterili avevano l'impronta di carbonio più alta a causa del loro ampio utilizzo annuale, superiore di oltre il 600% rispetto ad altri tipi di camici dell'ospedale. Il loro contenuto di polipropilene li posiziona anche come candidati ideali per modelli di economia circolare mirati a ridurre le emissioni di carbonio. Al contrario, i camici chirurgici sterili, in particolare il tipo XL, hanno mostrato impatti significativi di acidificazione a causa della loro composizione complessa e del processo di produzione.

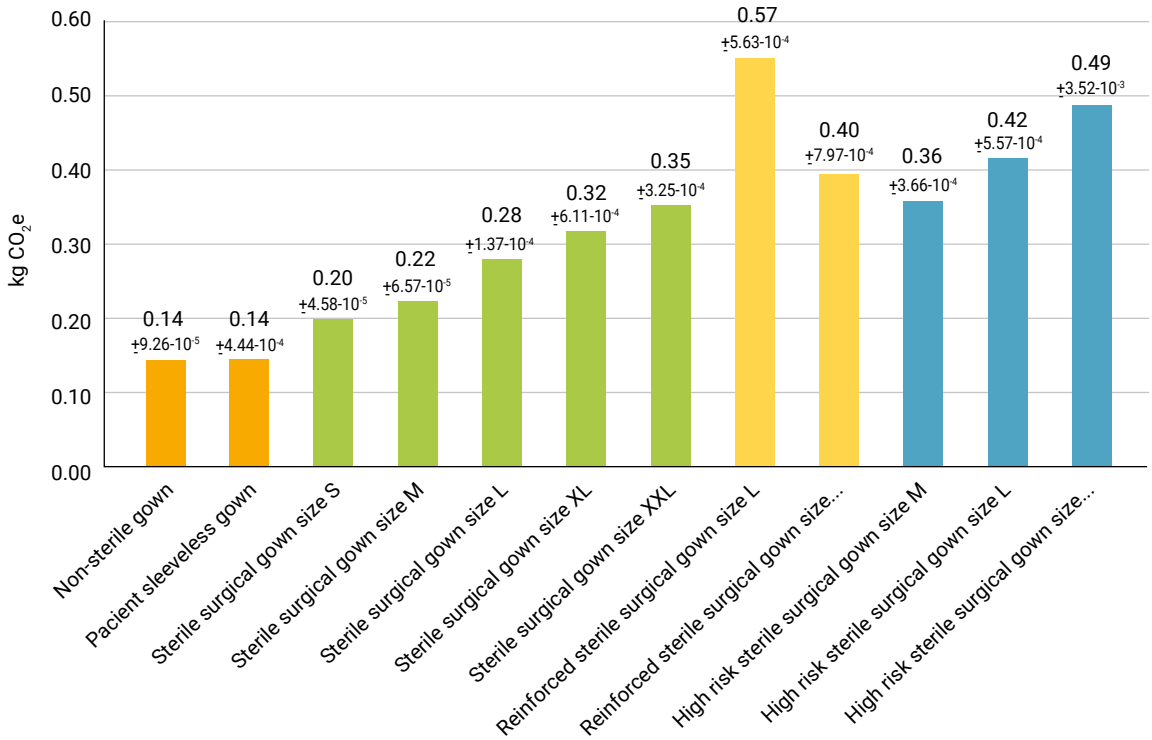
Lo studio ha evidenziato le difficoltà nella gestione dei rifiuti da TNT mantenendo al contempo standard di igiene, specialmente durante una pandemia. È stato proposto che sviluppare una strategia

di economia circolare locale potrebbe mitigare i problemi di rifiuti e impronta di carbonio associati ai tessuti non tessuti monouso. Questa strategia prevede la conversione dei camici usati in materie prime per la altri cicli produttivi, potenzialmente portando a benefici ambientali significativi. Lo studio ha concluso che camici più sofisticati, come quelli chirurgici sterili ad alto rischio, generalmente hanno impatti ambientali complessivi più elevati. Tuttavia, i camici non sterili, nonostante il loro minore impatto ambientale per unità, contribuiscono in modo significativo all'impronta ambientale dell'ospedale a causa del loro elevato consumo annuale. Progettare un modello di economia circolare per i camici non sterili potrebbe potenzialmente ridurre le emissioni di carbonio fino al 75% rispetto ai processi di produzione convenzionali. L'implementazione di tale modello non solo affronterebbe i tassi di consumo elevati, ma contribuirebbe anche a un approccio più sostenibile nella gestione dei rifiuti dei camici medici.

TABELLA 3
Caratterizzazione dell'impronta ambientale del tessuto non tessuto monouso (Quintana-Gallardo, 2023)

Impact Category	Unit	Non-Sterile Gown	Patient Sleeveless Gown	Sterile Surgical Gown S	Sterile Surgical Gown M	Sterile Surgical Gown L	Sterile Surgical Gown XL
Climate change	kgCO2eq	0.1426	0.1434	0.2003	0.2221	0.2804	0.3208
Ozone depletion	kgCFC11eq	+9.26.X10^{-5} 5.96X10^{-9} +1.62X10^{-19}	+4.44X10^{-4} 5.99X10^{-9} +7.75X10^{-19}	+4.58X10^{-5} 1.16X10^{-8} +1.54X10^{-19}	+6.57X10^{-5} 1.25X10^{-8} +2.08X10^{-19}	+1.37X10^{-4} 1.49X10^{-8} +3.87X10^{-19}	+6.11X10^{-4} 1.66X10^{-8} +1.64X10^{-18}
Ionizing radiatim	kBq U-235eq	2.42X10^{-3} +2.67X10^{-8}	2.44x10^{-3} +1.29x10^{-7}	4.14x10^{-3} +1.96x10^{-8}	4.51x10^{-3} +2.71x10^{-8}	5.50x10^{-3} +5.27x10^{-8}	6.18x10^{-3} +2.27x10^{-7}
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5.73X10^{-4} +1.49x10^{-9}	5.77x10^{-4} +7.19x10^{-9}	8.47x10^{-4} +8.20x10^{-10}	9.36x10^{-4} +1.17x10^{-9}	1.17x10^{-3} +2.39x10^{-9}	1.33x10^{-3} +1.05x10^{-8}
Particulate matter	disease inc.	5.89x10^{-9} +1.58x10^{-19}	5.93x10^{-9} +7.59x10^{-19}	8.62x10^{-9} +8.49x10^{-20}	9.52x10^{-9} +1.21x10^{-19}	1.19x10^{-8} +2.47x10^{-19}	1.36x10^{-8} +1.10x10^{-18}
Human toxicity, non cancer	CTUh	1.33x10^{-9} +8.05x10^{-21}	1.34x10^{-9} +3.88x10^{-20}	1.87x10^{-9} +4.00x10^{-21}	2.07x10^{-9} +5.71x10^{-21}	2.62x10^{-9} +1.20x10^{-20}	2.99x10^{-9} +5.31x10^{-20}
Human toxicity, cancer	CTUh	5.30x10^{-11} +1.28x10^{-23}	5.33x10^{-11} +6.13x10^{-23}	7.66x10^{-11} +6.70x10^{-24}	8.47x10^{-11} +9.56x10^{-24}	1.06x10^{-10} +1.96x10^{-23}	1.21x10-^{10} +8.69x10^{-23}
Acidification	molH+eq	6.82x10^{-4} +2.12x10^{-9}	6.86x10^{-4} +1.02x10^{-8}	1.02x10^{-3} +1.19x10^{-9}	1.12x10^{-3} +1.67x10^{-9}	1.40x10-^{3} +3.42x10^{-9}	1.59x10^{-3} +1.50x10^{-8}
Eutrophication, freshwater	kg P eq	2.69x10^{-6} +3.29x10^{-14}	2.71x10^{-6} +1.59x10^{-13}	3.84x10^{-6} +1.68x10^{-14}	4.24x10^{-6} +2.39x10^{-14}	5.35x10^{-6} +4.99x10^{-14}	6.11x10^{-6} +2.22x10^{-13}
Eutrophication, marine	kg N eq	1.45x10^{-4} +9.57x10^{-11}	1.46x10^{-4} +4.60x10^{-10}	2.16x10^{-4} +5.33x10^{-11}	2.39x10^{-4} +7.61x10^{-11}	2.98x10^{-4} +1.55x10^{-10}	3.39x10^{-4} +6.82x10^{-10}
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1.65x10^{-3} +1.24x10^{-8}	1.66x10^{-3} +5.95x10^{-8}	2.45x10^{-3} +6.86x10^{-9}	2.71x10^{-3} +9.78x10^{-9}	3.38x10^{-3} +1.99x10^{-8}	3.85x10^{-3} +8.80x10^{-8}
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	1.51 +1.04x10^{-2}	1.52 +4.99x10^{-2}	2.18 +5.43x10^{-3}	2.42 +7.80x10^{-3}	3.03 +1.60x10^{-2}	3.46 +7.11x10-^{2}
Land use	Pt	0.51 +1.18x10^{-3}	0.52 +5.84x10^{-3}	0.76 +6.60x10^{-4}	0.84 +9.40x10^{-4}	1.05 +1.92x10^{-3}	1.19 +8.41x10^{-3}
Water use	m^3 depriv.	0.0543 +1.34x10^{-5}	0.0546 +6.44x10^{-5}	0.0781 +6.97x10^{-5}	0.0863 +9.92x10^{-6}	0.1085 +2.05x10^{-5}	0.1239 +9.12x10^{-5}
Resource use, fossil	MJ	4.26 +8.26x10^{-2}	4.28 +3.96x10^{-1}	5.77 +3.80x10^{-2}	6.42 +5.49x10^{-2}	8.16 +1.16x10^{-1}	9.37 +5.21x10^{-1}

FIGURA 2
Impronta di carbonio di un'unità di camice (Quintana-Gallardo, 2023)



Lo studio "*Life Cycle Assessment of Surgical Drapes and Tapes: Reusable and Disposable*" (E. Vozzola, 2018) presenta una dettagliata analisi comparativa del ciclo di vita (LCA) dei sistemi di camici e nastro chirurgico riutilizzabili e monouso. Commissionato dal Consorzio Europeo Chainge. Lo studio ha mirato a valutare vari impatti ambientali associati ai due sistemi, considerando fattori come consumo di energia e acqua, generazione di rifiuti solidi e indicatori ambientali specifici lungo il ciclo di vita dei prodotti.

L'analisi si è concentrata su due sistemi di camici chirurgici: camici riutilizzabili, che vengono lavati e riutilizzati fino a 60 volte, e camici monouso, utilizzati una sola volta prima dello smaltimento. L'unità funzionale per il confronto è stata definita come 1.000 utilizzi di camici chirurgici. Per i camici monouso, questo comprendeva la produzione, l'uso e lo smaltimento di 1.000 camici singoli e il nastro chirurgico associato. Per i camici riutilizzabili, 1.000 utilizzi implicavano la produzione e lo smaltimento di 16,7 camici, con ogni camice sottoposto a lavaggio e sterilizzazione prima del riutilizzo.

FIGURA 3
Definizione del ciclo di vita del sistema di teli chirurgici riutilizzabili, 1.000 utilizzi (Vozzola, 2018)

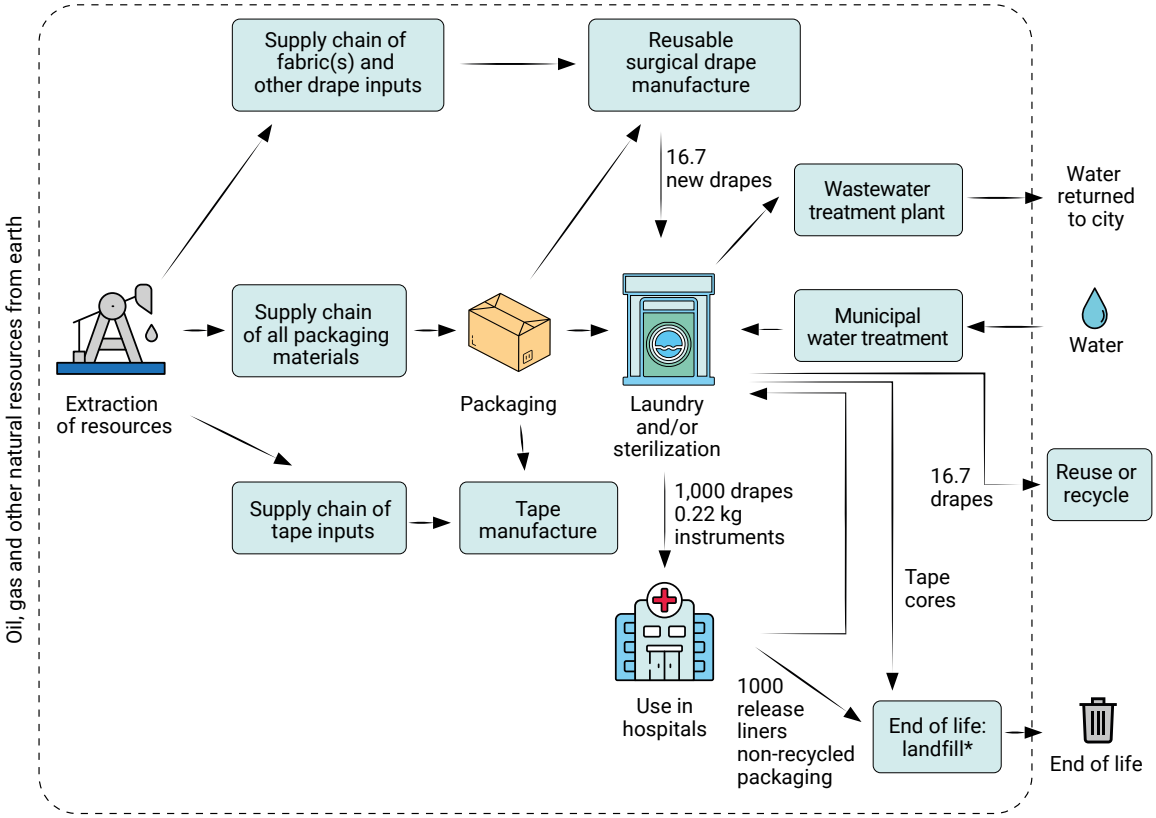
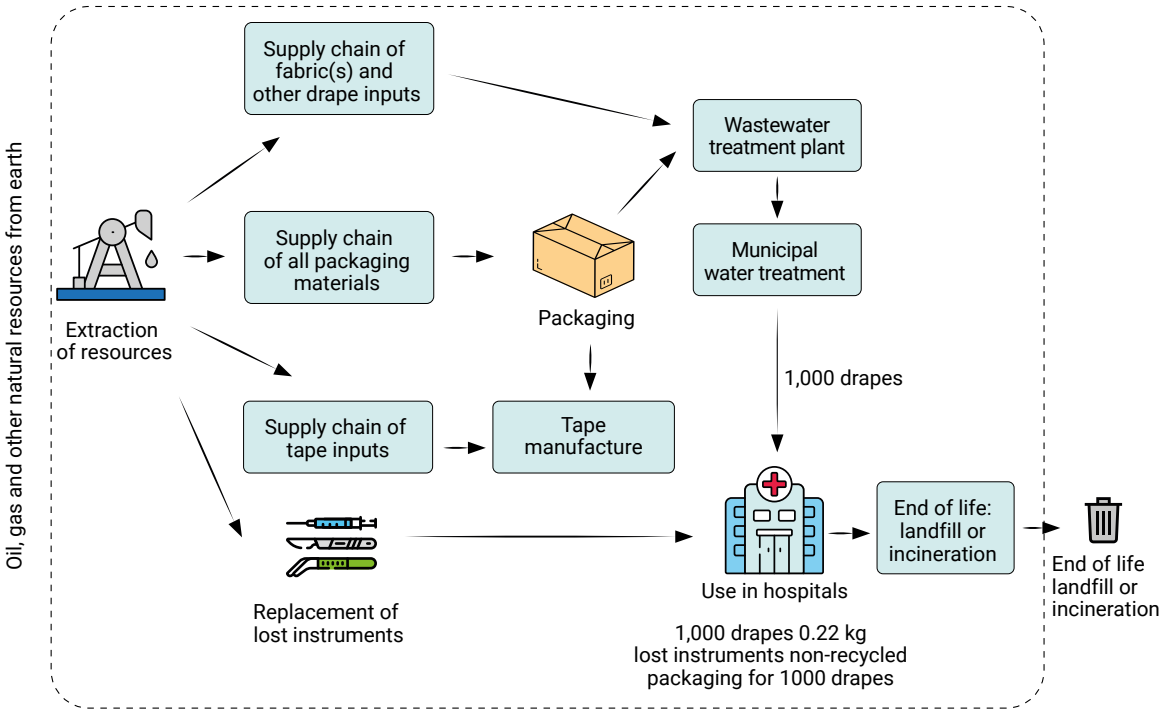


FIGURA 4
Definizione del ciclo di vita del sistema di teli chirurgici monouso, 1.000 utilizzi (Vozzola, 2018)



Le principali assunzioni includevano pesi medi di 576 grammi per i camici riutilizzabili e 245 grammi per quelli monouso. Lo studio ha incorporato fattori come gli impatti del trasporto, con i camici monouso prodotti e fabbricati in Asia e i camici riutilizzabili che coinvolgono sia la produzione asiatica che quella europea. Sono stati considerati anche i rifiuti di tessuto, stimati al 3% durante il taglio, e i metodi di smaltimento a fine vita, con i camici monouso considerati per la discarica o l'incenerimento e i camici riutilizzabili per il riciclo. L'analisi LCA ha rivelato che il sistema di camici chirurgici riutilizzabili ha un impatto ambientale significativamente inferiore rispetto al sistema monouso. In particolare, il sistema riutilizzabile consuma il 38% in meno di energia e genera l'80% in meno di rifiuti solidi. Utilizza anche circa il 62% in meno di "acqua blu", sebbene questo risultato vari a seconda che si includa l'acqua dei camici sporchi. Lo studio ha identificato che il sistema riutilizzabile ha superato il sistema monouso in 10 delle 11 categorie di impatto ambientale, inclusi consumo di energia e generazione di rifiuti solidi. Tuttavia, il sistema monouso ha avuto un impatto minore sull'esaurimento dell'ozono, attribuito alle emissioni dalla produzione di ePTFE e dei nastri. I tre indicatori ambientali selezionati per il confronto tra sistemi di teli chirurgici riutilizzabili e monouso in questo studio sono stati: consumo di energia da risorse naturali, consumo di acqua blu e produzione di rifiuti solidi.

TABELLA 4
Valutazioni dalla culla alla fine del ciclo di vita di teli chirurgici riutilizzabili (60 cicli) e monouso, indicatori ambientali (Vozzola, 2018).

Indicatore ambientale	Unità, per 1000 usi	Riutilizzabile	Monouso	Riduzione (improvement) dovuta alla selezione del sistema riutilizzabile, in % di monouso	Aumento dalla selezione del sistema monouso, in % di riutilizzabile
Natural resource energy	MJ	11.615	18.774	38%	62%
Blue water consumption	Kg	117**	304	62%	160%
Health care facility solid waste generation for disposal	kg	61,1	308	80%	404%

* I rifiuti solidi includono teli, nastri, rifiuti biologici e imballaggi in plastica e carta. Si noti che il cartone ondulato non è incluso, poiché è considerato riciclato al 100%.
* *il recupero dell'acqua blu dai teli sporchi è escluso, il consumo per i teli riutilizzabili è di 405 kg/1000 usi. Ciò rappresenta un aumento netto del 33% rispetto al consumo di acqua blu dei teli monouso.

TABELLA 5
Confronto tra sistemi riutilizzabili e monouso per i teli chirurgici (tradotta dall'originale, Vozzola, 2018).

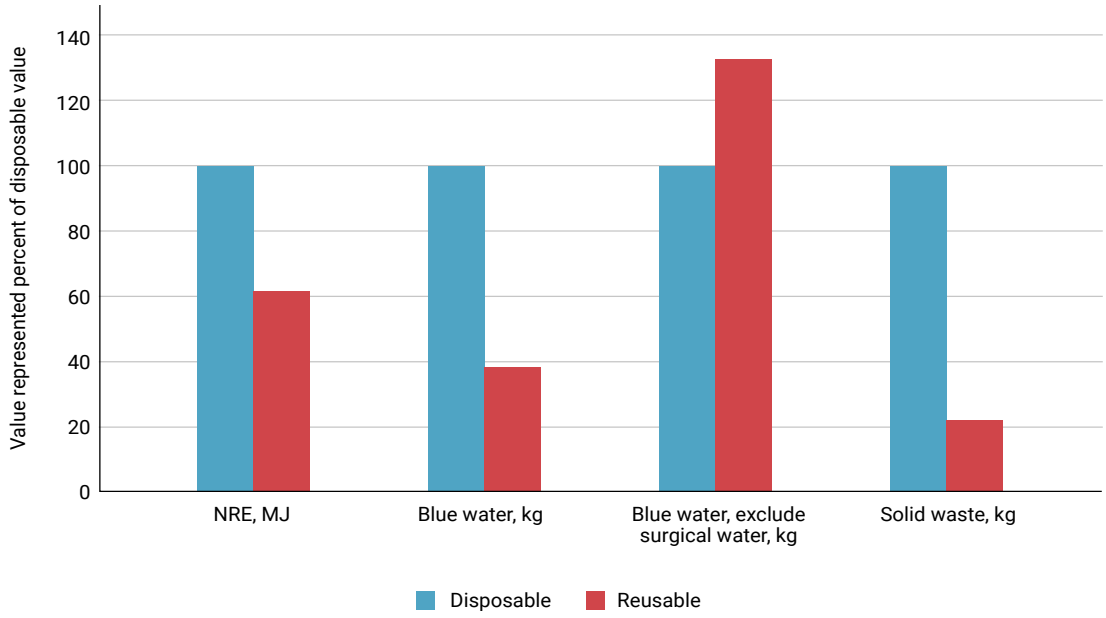
Componente LCI	Sistema riutilizzabile	Sistema monouso
Produzione di teli	9,60 kg prodotti/1000 usi: 16,7 teli a 0,576 kg/telo (60 cicli per 1.000 utilizzi)	245 kg prodotti/1.000 teli: 0,245 kg/telo
Imballaggio primario, secondario e terziario per teli	59,0 kg prodotti/1000 usi; 420 kg trasportati	88,3 kg prodotti/1.000 teli; 101 kg trasportati
Produzione nastro	6,05 kg prodotti/1.000 usi	5,23 kg prodotti/1.000 teli
Imballaggio per nastro	0,608 kg prodotti/1.000 utilizzi; 1,23 kg trasportati	0,353 kg prodotti/1.000 teli; 0,743 kg trasportati
Lavanderia	1000 teli; 576 kg di lino usato, 288 kg di acqua, 23 kg di rifiuti inorganici e 1,73 kg di rifiuti organici	N/A
Acqua per lavanderia (11 kg acqua misurata/kg lavato)	6.342 kg misurati/1000 usi; 253 kg consumati (acqua blu) /1000 usi, 288 kg recuperati da teli sporchi / 1000 usi	N/A
Trattamento delle acque reflue per il ripristino dell'acqua	3,30 kg COD/1000 usi	N/A
Sterilizzazione	1.000 teli e nastro: 576 kg di lino e 6,05 kg di nastro, sterilizzazione a vapore	1000 teli e nastro: 245 kg di lino e 5,23 kg di nastro, sterilizzazione con ossido di etilene
Discarica di rifiuti biologici	0,0107 kg/1.000 utilizzi di teli	0,643 kg/1.000 teli
Avvio a discarica di teli chirurgici, nastro e imballaggi	68,0 kg/1000 usi	307 kg/1000 teli
Sostituzione di strumenti smarriti	N/A	0,220 kg/1000 teli, ciotola chirurgica in acciaio inossidabile

Nel complesso, lo studio sottolinea i notevoli benefici ambientali dei sistemi di camici chirurgici riutilizzabili rispetto a quelli monouso. Suggerisce che l'integrazione di sistemi riutilizzabili potrebbe ridurre significativamente le emissioni di carbonio e i rifiuti negli ambienti sanitari. La ricerca futura potrebbe ulteriormente rafforzare questi risultati includendo altri articoli tessili e non tessili nelle strutture sanitarie, come i camici chirurgici, per fornire una visione più completa degli impatti e dei benefici ambientali associati ai sistemi riutilizzabili.

TABELLA 6
Valutazione dalla culla alla fine del ciclo di vita di gocce chirurgiche riutilizzabili (60 cicli) e monouso, impatti ambientali, CML v3.01 (Vozzola, 2018)

Environmental impact	Units, per 1,000 drape uses	Reusable	Disposable	Reduction (improvement) when selecting reusable system, % of disposable system	Increase when selecting disposable system, % of reusable system
Global warming	kg CO2 eq	670	1072	38%	60%
Acidification	kg SO2 eq	1.69	3.60	53%	113%
Eutrophication	kg P04 --- eq	0.708	1.37	48%	93%
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.34E-04	9.88E-05	-36%	-26%
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	1.59	11.7	86%	637%
Fresh water aquatic ecotox	kg 1,4-DB eq	123	402	69%	227%
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	4.09E+05	7.78E+05	47%	90%
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.866	1.09	20%	26%
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	981	2.84E+04	97%	2797%
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	9,965	1.55E+04	36%	56%
Abiotic depletion	kg Sb eq	3,44E-04	7.97E-04	57%	131%

FIGURA 5
Indicatore ambientale per il sistema di teli chirurgici, espresso come percentuale del valore monouso (Vozzola, 2018)



Lo studio, **"***The Carbon Footprint of Products Used in Five Common Surgical Operations: Identifying Contributing Products and Processes***"** (Chantelle Rizan, 2023), valuta l'impatto ambientale dei prodotti utilizzati in contesti sanitari ad alta intensità di risorse, come le sale operatorie. Poiché il settore sanitario mira a raggiungere emissioni di carbonio nette pari a zero, la ricerca identifica i principali contributori all'impronta di carbonio in cinque procedure chirurgiche ad alto volume e suggerisce potenziali strategie per ridurre il loro impatto. Utilizzando un'analisi dell'impronta di carbonio basata sui processi, lo studio ha valutato il carico ambientale dei prodotti impiegati in cinque interventi chirurgici comunemente eseguiti nel National Health System (NHS) in Inghilterra. Queste procedure includevano la decompressione del tunnel carpale, la riparazione dell'ernia inguinale, l'artroplastica del ginocchio, la colecistectomia laparoscopica e la tonsillectomia. I dati sono stati raccolti attraverso l'osservazione di 6-10 operazioni per ciascun tipo di intervento, condotte in tre siti del NHS. L'impronta di carbonio è stata calcolata per ogni operazione, rivelando notevoli variazioni tra le procedure. Ad esempio, la decompressione del tunnel carpale aveva un'impronta di carbonio di 12,0 kg di CO_2eq, la riparazione dell'ernia inguinale 11,7 kg di CO_2eq, l'artroplastica del ginocchio 85,5 kg di CO_2eq, la colecistectomia laparoscopica 20,3 kg di CO_2eq e la tonsillectomia 7,5 kg di CO_2eq.

In queste operazioni, il 23% dei tipi di prodotti era responsabile dell'80% dell'impronta di carbonio totale. Gli articoli monouso hanno contribuito significativamente a questo impatto, con i prodotti a più alta emissione di carbonio che variavano a seconda del tipo di intervento. Ad esempio, il telo monouso per la mano ha avuto il contributo maggiore nelle operazioni di decompressione del tunnel carpale, mentre il camice chirurgico monouso ha avuto un impatto simile nella riparazione dell'ernia inguinale. Allo stesso modo, il cemento osseo utilizzato nell'artroplastica del ginocchio, l'applicatore di clip monouso nella colecistectomia laparoscopica e il telo monouso per il tavolo operatorio nella tonsillectomia sono stati identificati come i prodotti più impattanti dal punto di vista carbonico nelle rispettive operazioni. La produzione di articoli monouso ha rappresentato la quota maggiore delle emissioni di carbonio, costituendo il 54% dell'impronta di carbonio totale. I processi di decontaminazione per gli articoli riutilizzabili hanno contribuito per il 20%, mentre lo smaltimento dei rifiuti degli articoli monouso ha aggiunto l'8%. La produzione di imballaggi per gli articoli monouso ha rappresentato il 6%, con il lavaggio della biancheria che ha contribuito per un ulteriore 6%.

I risultati dello studio sottolineano l'importanza di affrontare l'impatto carbonico delle pratiche sanitarie. Si suggerisce che modifiche mirate a livello di politica e pratica clinica potrebbero ridurre sostanzialmente l'impronta ambientale delle operazioni chirurgiche, con potenziali riduzioni delle emissioni di carbonio che vanno dal 23% al 42%. Le principali strategie proposte includono la minimizzazione dell'uso di articoli monouso e il passaggio a prodotti riutilizzabili ove possibile. Inoltre, ottimizzare i processi come la decontaminazione e lo smaltimento dei rifiuti potrebbe ulteriormente contribuire a ridurre l'impronta di carbonio. In conclusione, la ricerca evidenzia il ruolo cruciale dei sistemi sanitari nell'adottare pratiche più sostenibili, in particolare in aree ad alto impatto come le operazioni chirurgiche. Prioritizzando la riduzione degli articoli monouso e migliorando la gestione dei rifiuti e i processi di sterilizzazione, si possono fare progressi significativi nella riduzione dell'impronta carbonica complessiva del settore sanitario, contribuendo così agli obiettivi di carbonio netto-zero.

1.4. Metodologia

Come richiamato in precedenza, lo studio riguarderà sia le prestazioni ambientali (LCA) sia i costi (LCC) del ciclo di vita dei tessuti monouso e riutilizzabili, impiegati nel settore sanitario. L'analisi del ciclo di vita è un metodo di valutazione che consente di determinare gli impatti ambientali (LCA, Life Cycle Assessment) e i costi globali (LCC, Life Cycle Costing) di un prodotto, considerando tutte le fasi che hanno dato origine a tali impatti e costi, dall'estrazione delle materie prime necessarie alla

produzione del bene fino al suo fine vita (quando il prodotto diventa un rifiuto e quindi viene destinato allo smaltimento).

L'analisi del ciclo di vita del prodotto (definito "cradle-to-grave", ovvero dalla culla al cancello) comprende tre fasi:

- a monte della produzione (upstream) dall'estrazione di tutte le materie prime necessarie fino al cancello in ingresso del produttore;
- la produzione, con tutti i suoi processi di lavorazione interni all'azienda (core);
- a valle della produzione, dal cancello in uscita dell'azienda sino al fine vita, che comprende la distribuzione, l'uso e lo smaltimento finale.

Lo studio rappresenta un'applicazione della metodologia della Valutazione del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment – LCA) definita secondo la norma ISO 14040: "La LCA è una metodologia che studia gli aspetti ambientali e gli impatti potenziali lungo tutta la vita di un prodotto dalla acquisizione delle materie prime, attraverso la fabbricazione e l'utilizzazione, fino allo smaltimento".

Le fasi principali che caratterizzano uno studio LCA sono le seguenti:

1. Definizione degli obiettivi e dell'ambito dello studio (tra cui campo di applicazione, confini del sistema da analizzare, unità funzionale e flusso di riferimento);
2. Analisi di inventario del profilo di utilizzo delle risorse ed emissioni, ossia la quantificazione dei flussi di materia e di energia lungo l'arco dell'intero ciclo di vita del prodotto in esame, quindi in ingresso e in uscita;
3. Valutazione di impatto dell'impronta ambientale, fase in cui i flussi di sostanze e di energia individuati durante la compilazione del profilo di utilizzo delle risorse e delle emissioni vengono ordinati, classificati ed aggregati con opportuni pesi in diverse categorie di impatto ambientale, anche detti indicatori aggregati di impatto;
4. Interpretazione dei risultati, realizzata sulla base delle assunzioni metodologiche adottate; in questa fase si valutano i risultati, anche mediante opportune considerazioni ed analisi aggiuntive.

La Life Cycle Costing Analysis (LCCA) è metodo che permette una valutazione di tutti i costi relativi a un prodotto o servizio, nell'arco dell'intero ciclo di vita, dalla produzione all'uso fino e allo smaltimento. L'analisi LCC ha una lunga tradizione di applicazione nell'industria, soprattutto per quei prodotti che hanno una lunga durata e/o alti costi di manutenzione, uso o smaltimento. L'analisi fornisce informazioni utili sia per il produttore che per l'utente finale. Per il produttore, i costi nel ciclo di vita sono un modo per dimostrare come un determinato costo di acquisto dei materiali o nei processi produttivi possono essere ripagati da interventi che allungano la durata di vita dei prodotti, con minori costi di manutenzione, uso o smaltimento finale. Per l'utente finale, la valutazione dei costi nel ciclo di vita mostra come il costo di acquisto rappresenta una parte dei costi che ha il prodotto, mentre altri costi, come quelli relativi all'uso, manutenzione o smaltimento possono essere più importanti rispetto a quelli sostenuti per l'acquisto. In combinazione con la valutazione ambientale del ciclo di vita, che analizza l'impatto ambientale di un prodotto o di un servizio, la LCCA può servire ad affrontare la dimensione economica della sostenibilità.

Le metodologie di riferimento applicate nel presente progetto sono due: "LCC convenzionale" e "LCC ambientale". Le cosiddette tecniche di "Life Cycle Costing convenzionale" sono piuttosto consolidate sia nella letteratura accademica, sia nel settore pubblico, sia nella contabilità aziendale. Già negli anni '30 il General Accounting Office degli Stati Uniti iniziò a includere i costi operativi e di manutenzione negli appalti pubblici. Più tardi, negli anni '70, l'LCC obbligatorio è stato incluso negli acquisti pubblici statunitensi di sistemi d'arma e di edifici e, nello stesso periodo, diversi Paesi europei hanno iniziato a utilizzarlo. L'LCC convenzionale si concentra solitamente sui costi reali e interni coperti dal produttore o dall'utente principale. Per questi motivi, il LCC convenzionale è stato utiliz-

zato nel presente studio per mostrare il costo di acquisto delle materie prime e, per i TTR, il costo del servizio di noleggio, lavaggio e sterilizzazione dei set impiegati nelle sale operatorie.

La seconda metodologia di riferimento è l'approccio SETAC, sviluppato dal 2002 al 2006, che si intende quando lo studio LCC viene applicato in parallelo a un LCA, chiamato "environmental LCC" (E-LCC). Fondamentalmente, un'analisi E-LCC ha una struttura simile alla valutazione del ciclo di vita che viene condotta in parallelo e deve avere la stessa unità funzionale. I confini del ciclo di vita e del sistema devono essere equivalenti, ma non necessariamente uguali, poiché processi diversi possono avere una rilevanza diversa per l'ambiente o per la parte relativa ai costi. Inoltre, la E-LCC tiene conto dei diversi "attori del ciclo di vita" (ad esempio produttori, acquirenti del prodotto o attori del fine vita). L'approccio E-LCC è stato utilizzato nel presente studio per analizzare i costi del fine vita dei prodotti, che incidono sia sugli utilizzatori finali (le strutture sanitarie), sia gli operatori che intervengono nelle fasi di trattamento e smaltimento dei prodotti una volta completato il loro utilizzo. L'approccio LCC comprende le seguenti tipologie di costo:

- Costi diretti: l'acquisto dei materiali oggetto dello studio, che comprendono le materie prime (tessuti) oppure l'acquisto del set per le sale operatorie; il costo dei servizi di noleggio, lavaggio e sterilizzazione per i TTR; questo tipo di costi include costi di investimento, costi di finanziamento, costi operativi e di manutenzione ricorrenti e costi di sostituzione del capitale (CAPEX e OPEX);
- Costi/benefici indiretti: avvio a riciclo, rigenerazione, costi di riutilizzo di materiali/prodotti; questi costi comprendono le materie prime e vari input come energia, manodopera, ammortamento, gestione dei rifiuti e altri costi e ricavi per ottenere i risultati del trattamento;
- Costi/benefici esterni: costi/benefici di scenari alternativi, per lo studio in esame incenerimento, discarica, riciclo meccanico, riciclo chimico.

Le esternalità (valore monetario dei danni o dei benefici ambientali) sono descritte nell'analisi, in quanto possono essere oggetto di interventi finalizzati ad internalizzare gli impatti ambientali e sociali negativi di soluzioni alternative, ma non verranno quantificati in termini monetari per evitare di effettuare un doppio conteggio. I costi ambientali, misurati attraverso gli opportuni indicatori che caratterizzano l'impatto ambientale, sono riportati nell'analisi LCA. In conclusione, la metodologia LCCA è utilizzata nel presente studio per mostrare gli effetti nei confronti di due categorie rilevanti di attori. Dal punto di vista dei produttori (quindi fornitori di TNT, fornitori di TTR e imprese che realizzano il servizio di noleggio, lavaggio e sterilizzazione dei TTR), l'analisi permette di associare i costi alle diverse fasi del ciclo di vita, analogamente all'analisi LCA relativa agli effetti ambientali, e quindi di valutare i processi coinvolti con un parametro di costo/efficacia. Dal punto di vista degli utilizzatori (le strutture sanitarie) l'obiettivo di questa analisi è quella di comprendere se ha senso sostituire l'acquisto di un prodotto monouso (TNT) con l'acquisto di un servizio che valorizza la caratteristica multiuso dei TTR. Dato che gli utilizzatori esprimono anche un interesse sociale, l'analisi evidenzia anche il rapporto costi/benefici conseguente all'avvio a soluzioni alternative di fine vita dei tessuti riutilizzabili (mentre per il monouso si ipotizza il solo avvio ad incenerimento con recupero di energia) e l'effetto derivante dal risparmio di risorse conseguenti alla sostituzione di materiali monouso con materiali multiuso.

Per giungere ai risultati qui riportati, è stato utilizzato uno dei software applicativi più diffusi per la valutazione del ciclo di vita di prodotto, vale a dire SimaPro 9.6.0.1; inoltre, si è fatto uso delle più recenti banche dati relative alla produzione dei materiali, a cicli produttivi del settore metallurgico e chimico, ai trasporti ed ai sistemi energetici, in particolare Ecoinvent 3.10. L'esito dell'analisi sarà dunque articolato in impatti ambientali e costi associati al ciclo di vita del prodotto in relazione all'unità funzionale prescelta.

2. Ambito dello studio

Nei seguenti paragrafi sarà descritto l'ambito dello studio che individua il sistema analizzato nel dettaglio e definisce, nel particolare, l'unità funzionale di riferimento, il campo di applicazione, i confini del sistema e i metodi di valutazione utilizzati.

2.1. Descrizione dei prodotti e unità funzionale

L'unità funzionale fornisce il riferimento al quale i dati in ingresso e in uscita al sistema considerato sono riferiti. Al fine di confrontare gli impatti del ciclo di vita di diversi articoli con la medesima funzione, è necessario riferirsi a un'unità che rispecchi sia le differenze tra il monouso e il riutilizzabile, sia le differenze tra gli stessi prodotti nelle due categorie. Nel primo caso, sarebbe sufficiente confrontare tra loro 1 kg di tessuti, in quanto il ciclo di vita è sostanzialmente diverso; nel secondo caso però, se si considerano diversi articoli tra loro ma che restano riutilizzabili oppure monouso, l'unità funzionale pari a 1 kg – che sarebbe in linea con la PCR e la RCP[1] disponibili – non risulta sufficiente per andare a determinare tutte le differenze o le similitudini che esistono fra gli stessi. L'unità funzionale appropriata risulta quindi essere pari a **1 pezzo realizzato con specifici tessuti che lo rendono idoneo per l'utilizzo in sala operatoria, incluso o meno in un kit dedicato o standard, riutilizzato 60 volte**. Non è stata invece considerata appropriata allo studio l'unità funzionale descritta nella PCR relativa ai capi d'abbigliamento[2] – parzialmente applicabile per i prodotti monouso – pari a un utilizzo del UF.

Il fine vita dei prodotti coincide con il momento in cui gli stessi perdono le qualità che li rendevano idonei alla propria funzione: nel caso del monouso, ciò viene raggiunto dopo un unico utilizzo, mentre nel caso del tessile riutilizzabile, i prodotti vanno incontro ad un determinato numero di cicli di lavaggio prima di essere dismessi. Nel settore sanitario vengono utilizzati numerose tipologie di tessuti come i teli operatori, i camici (chirurgici e non) e la biancheria da letto (lenzuola, federe, ecc.), ma lo studio si concentra nell'analisi dei prodotti medicali da sala operatoria; infatti, come tipologia di prodotto, è stato scelto quello che rappresenta meglio l'attività. La specifica funzione dei diversi capi è relazionata con il loro utilizzo durante lo svolgimento delle mansioni, ma tutti i capi analizzati rispondono alla funzione generale dell'utilizzo in sala operatoria. Il confronto viene quindi fatto tra articoli con le stesse caratteristiche; gli articoli selezionati per l'analisi sono riportati di seguito:

1. PCR Professional laundry and cleaning services of items, versione 1.0; RCP Servizi delle attività di lavanderia industriale versione 0.3
2. PCR Apparel, except fur and leather apparel, versione 1.0

TABELLA 7
Descrizione tipologie dei prodotti analizzati

Voce	Articolo	Peso Medio Articolo (Kg)		Area Articolo (M^2)
		TNT	TTR	Entrambi
Caratteristiche	Camice sterile rinforzato, taglia L	0,134	0,350	-
	Camice sterile rinforzato, taglia XL	0,142	0,375	-
	Camice sterile standard, taglia L	0,100	0,300	-
	Camice sterile standard, taglia XL	0,115	0,325	-
	Telo tavolo madre	0,243	0,578	3,96
	Telo laterale	0,050	**0,185**	0,81
	Federa	0,137	0,323	2,24
	Telo testa	0,272	**0,663**	4,44
	Telo piedi	0,221	**0,532**	3,60

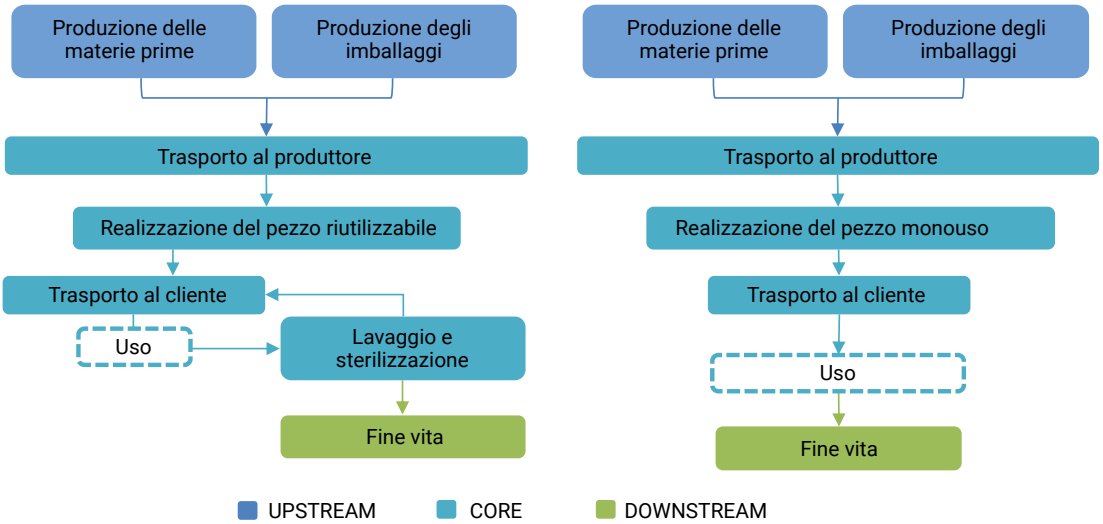
NOTA 1: L'area è stata calcolata a partire dalle schede tecniche condivise dai produttori e dalle lavanderie;
NOTA 2: I valori in grassetto sono frutto di medie.

2.2. Confini del sistema

I confini di sistema determinano le unità di processo da includere nello studio LCA e LCC e la tipologia di dati in "ingresso" e/o "uscita" al sistema che possono essere omessi. Nel sistema analizzato si possono classificare come processi di foreground (definiti dalla guida PEF come i processi per i quali è possibile accedere direttamente alle informazioni) quelli relativi alle attività di lavaggio e alla realizzazione dei prodotti in TTR. Sono invece classificabili come processi di background tutte le altre fasi di prodotto per le quali non è stato possibile reperire dati specifici, fra queste possiamo elencare la produzione dei tessuti e del loro imballo, i processi di trasporto e il fine vita dei prodotti.

Nelle figure successive sono riportate tutte le fasi incluse nei confini del sistema; per il ciclo di vita dei prodotti riutilizzabili – illustrato nel diagramma a sinistra – è presente in aggiunta la fase di lavaggio.

FIGURA 6
Confini del sistema analizzato per i prodotti riutilizzabili (a sinistra) e monouso (a destra).



Il ciclo di vita dei prodotti tessili per la sala operatoria comprende quindi le fasi che vanno dall'estrazione delle risorse e produzione delle diverse materie prime, sino al punto in cui il prodotto diventa un rifiuto, considerando fra questi estremi sia la realizzazione dei prodotti, sia il lavaggio, nel caso dei prodotti riutilizzabili. Sono inclusi tutti i trasporti richiesti dal ciclo produttivo, la produzione degli ausiliari e degli imballaggi e sono stati conteggiati i flussi di rifiuti prodotti nell'intero ciclo di vita. Per ciascuna fase (unità di processo) sono stati valutati i seguenti flussi in entrata o in uscita dal sistema:

- consumi di energia (elettrica, combustibile, ecc.);
- consumi di acqua;
- consumi di prodotti chimici e materie prime ausiliari (in generale ausiliari);
- consumi di packaging (imballaggi);
- produzione di rifiuti;
- emissioni in aria, acqua e suolo;
- uso del suolo (ove pertinente).

2.3. Assunzioni generali

Le assunzioni hanno riguardato diversi aspetti generali riassunti in seguito; altre assunzioni specifiche sono descritte in dettaglio nel capitolo 3.

- La definizione di un'unità funzionale che rappresentasse tutti i **prodotti analizzati**;
- La modellizzazione della materia prima di tutti i prodotti è stata fatta considerando le informazioni presenti nelle schede tecniche raccolte dai fornitori, dalle lavanderie oppure dalle stazioni appaltanti;
- L'imballaggio dei teli è stato considerato identico per tutti i prodotti analizzati, indifferentemente se si trattasse di monouso oppure riutilizzabile: è stato considerato un cartone contenente 25 pezzi;
- In riferimento alla spedizione dei prodotti dall'azienda che li realizza fino all'utilizzatore, sono stati esclusi dallo studio le etichette di cartoni e pallet, il film termoretraibile che avvolge il pallet (imballaggio terziario), il nastro adesivo della scatola.
- Nella modellizzazione dei tessuti riutilizzabili non si è tenuto conto di una percentuale di prodotti da sostituire a causa di rotture o smarrimenti durante i diversi cicli di utilizzo;
- Il costo dei prodotti comprende anche il costo del loro imballaggio e del trasporto;
- Tutti i processi sono stati ricavati dal DB Ecoinvent 3.10 (2023).

2.4. Criteri di esclusione

I criteri di esclusione (*cut-off*) consentono di escludere, dallo studio del calcolo delle categorie di impatto, alcuni flussi di materia ed energia in ingresso e in uscita al sistema considerato.

Per il presente studio sono state escluse le componenti che contribuiscono con meno dell'1% dell'impatto; in particolare, i processi che sono stati esclusi dall'analisi sono:

- la costruzione degli stabilimenti aziendali;
- la costruzione dei macchinari e degli impianti;
- i prodotti per la manutenzione degli impianti (ordinaria e straordinaria); sono stati inclusi solo i prodotti necessari all'addolcimento e alla depurazione dell'acqua nelle lavanderie;
- strumenti medici smarriti e altri oggetti che spesso gli operatori della lavanderia recuperano e restituiscono durante la lavorazione di tessuti chirurgici riutilizzabili. Si ritiene ragionevole aspettarsi che articoli simili vengano inviati in discarica allo stesso modo anche per i tessuti monouso (Vozzola et al, 2018); vengono pertanto esclusi dall'analisi comparativa;
- la produzione degli imballaggi degli ausiliari.

2.5. Descrizione dei dati

La tipologia di dati che sono stati utilizzati nell'LCA e nell'LCC per il calcolo degli indicatori è rappresentata da:

- dati specifici (primari), direttamente misurati o raccolti presso siti aziendali, rappresentativi delle attività svolte;
- dati generici (secondari): dati non direttamente raccolti, misurati o valutati, ma provenienti da banche dati di inventari sul ciclo di vita (commerciali e non) o da letteratura (specifica e non) relazionata a quella particolare categoria di prodotto o ad altri sistemi equivalenti da un punto di vista tecnologico, geografico e temporale. Per questa tipologia di dati Ambiente Italia ha garantito l'accesso a banche dati estremamente aggiornate, come il database Ecoinvent 3.10, per assicurare la conformità ai requisiti sulla qualità dei dati.

Inoltre, i dati relativi ad alcune distanze di trasporto sono stati calcolati con i calcolatori on-line Google Maps per il calcolo delle distanze di trasporto via terra. Nel presente studio l'utilizzo di dati specifici è stato prioritario, per questo motivo è stata condotta una puntuale raccolta dati che ha permesso di approfondire alcune fasi del ciclo di vita. Relativamente all'analisi LCC, per quanto riguarda i costi diretti si è fatto riferimento ad informazioni fornite dalle imprese che effettuano il noleggio, lavaggio e sterilizzazione e le Aziende sanitarie. La costruzione dei macchinari, degli stabilimenti e altri beni capitali, così come i viaggi d'affari e i viaggi dei lavoratori verso e dal luogo di lavoro, non sono inclusi.

2.6. Rappresentatività, adeguatezza e validazione dei dati

La validazione dei dati specifici forniti dagli associati e dalle altre aziende coinvolte nello studio è stata effettuata consultando altri studi di LCA e altri studi pubblicati, le banche dati internazionali (in particolare Ecoinvent 3.10) e dati di letteratura (riportati nella bibliografia).

Di seguito si riporta una tabella dove sono riepilogate tutte le fasi del ciclo di vita, i processi, la tipologia di dati utilizzati (specifici o generici), la fonte da dove sono stati raccolti, la copertura temporale e geografica. Per le diverse fasi sono stati differenziati i processi di foreground e di background.

TABELLA 8
Fonti dei dati per fase del ciclo di vita

Fasi	Processo specifico	Categoria di dati	Fonte	Copertura temporale	Copertura geografica
BACKGROUND					
Estraz. delle materie prime e creazione delle fibre sintetiche	Estrazione delle fonti fossili e filatura	Dati generici selezionati	Ecoinvent 3.10	2023**	Mondiale
Produzione del tessuto-non tessuto	Apertura, miscelazione, stratificazione, umidificazione, cardatura, punzonatura ad ago	Dati generici selezionati e Dati specifici	Ecoinvent 3.10 Aziende coinvolte	2023**	India, Resto del mondo
Trasporti di ausiliari e imballaggi alla lavanderia	Produzione e uso dei combustibili, parametri di trasporto per tipo di mezzo	Dati generici selezionati	Ecoinvent 3.10	2023**	Resto del mondo
Imballaggi e ausiliari	Produzione	Dati generici selezionati	Ecoinvent 3.10	2023**	Europa e resto del mondo
Fine vita	Processi di riciclo e smaltimento	Dati generici selezionati	Ecoinvent 3.10	2023**	Italia
FOREGROUND					
Servizio di lavaggio e noleggio	Lavaggio industriale	Dati specifici	Stabilim. coinvolti	2023	Italia
	Ritiro e consegna	Dati specifici	Stabilim. coinvolti	2023	Italia

** Riferito alla data di pubblicazione

2.7. Regole di allocazione

L'allocazione è una metodologia di calcolo che permette una "ripartizione nel sistema di prodotto allo studio dei flussi in entrata e in uscita di una unità di processo". Tale metodologia si rende necessaria quando il processo in esame prevede la produzione di co-prodotti, al fine di imputare il giusto carico ambientale al prodotto in esame.

Per quanto riguarda i dati specifici e alcuni dati generici (non da banca dati), la regola di allocazione per il calcolo degli input e degli output è stata eseguita in funzione della massa (su base annua). Invece per quanto riguarda gli altri dati generici (da banche dati), si sono mantenute le allocazioni presenti.

2.8. Categorie di impatto dell'impronta ambientale

Per *categoria d'impatto* si definisce la classe che rappresenta i problemi ambientali d'interesse ai quali possono essere assegnati i risultati dell'analisi dell'inventario del ciclo di vita. Si definisce invece *l'indicatore della categoria d'impatto* la rappresentazione quantificabile delle categorie. Nel presente studio si è scelto di considerare gli impatti ambientali del prodotto rispetto a tutte le categorie d'impatto indicate dalla Raccomandazione 2021/2279 sulla PEF, di seguito riportati in tabella assieme a una breve descrizione.

TABELLA 9
Breve descrizione delle categorie di impatto considerate nello studio.

Categoria di impatto	Indicatore	Modello	Descrizione
Cambiamenti climatici (effetto serra)	kg CO2 eq	IPCC 2013: GWP 100, potenziali di riscaldamento globale in 100 anni	Capacità di un gas a effetto serra di influenzare i cambiamenti della temperatura media globale dell'aria a livello del suolo e alle successive variazioni di diversi parametri climatici e dei loro effetti (espresso in unità di CO2-equivalenti e in uno specifico arco temporale: 100 anni).
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC-11 eq	Modello EDIP (potenziali di riduzione dello strato di ozono dell'Organiz. Meteorologica Mondiale)	Degradazione dell'ozono stratosferico dovuta alle emissioni di sostanze lesive dell'ozono, quali gas contenenti cloro e bromo di lunga durata (per esempio CFC, HCFC, halon).
Radiazione ionizzante – effetti sulla salute umana	kg U^{235} eq	Modello di effetti sulla salute umana	Effetti negativi sulla salute umana causati da emissioni radioattive.
Formazione di ozono fotochimico	kg NMVOC eq	Modello LOTOS-EUROS	Formazione di ozono al livello del suolo della troposfera causata da ossidazione fotochimica di composti organici volatili (VOC) e monossido di carbonio (CO) in presenza di ossidi di azoto (NOx) e luce solare. Alte concentrazioni di ozono troposferico a livello del suolo sono dannose per la vegetazione, le vie respiratorie dell'uomo e i materiali artificiali attraverso la reazione con materiali organici.
Particolato/ smog provocato dalle emissioni di sostanze inorganiche	Incidenza di malattie	Raccomandato dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP 2016)	Effetti avversi sulla salute umana causati dalle emissioni di particolato (PM) e dai suoi precursori (NOx, SOx, NH3).
Tossicità per gli esseri umani - effetti cancerogeni	CTUh (Unità Tossica Comparativa per gli esseri umani)	Modello USEtox	Effetti negativi sulla salute degli esseri umani causati dall'assunzione di sostanze tossiche per inalazione di aria, ingestione di cibo/acqua, penetrazione cutanea, nella misura in cui si tratta di sostanze cancerogene.

Categoria di impatto	Indicatore	Modello	Descrizione
Tossicità per gli esseri umani - effetti non cancerogeni	CTUh (come sopra)	Modello USEtox	Effetti negativi sulla salute degli esseri umani causati dall'assunzione di sostanze tossiche per inalazione di aria, ingestione di cibo/acqua, penetrazione cutanea, nella misura in cui si tratta di sostanze non cancerogene non causate da particolato/smog provocato dalle emissioni di sostanze inorganiche o da radiazioni ionizzanti.
Acidificazione	moli H+ eq	Modello di superamento accumulato	Ripercussioni delle sostanze acidificanti sull'ambiente. Le emissioni di NOx, SOx e NH3 comportano il rilascio di ioni idrogeno quando i gas sono mineralizzati. I protoni favoriscono l'acidificazione dei suoli e delle acque, se rilasciati in superfici dove la capacità tampone è bassa, con conseguente deterioramento delle foreste e acidificazione dei laghi.
Eutrofizzazione – acquatica	kg P eq	Modello EUTREND	I nutrienti (principalmente azoto e fosforo) di scarichi fognari e terreni agricoli fertilizzati accelerano la crescita di alghe e altra vegetazione nelle acque. Il deterioramento di materiale organico consuma ossigeno provocando così carenza dello stesso e, in alcuni casi, moria ittica in corsi d'acqua dolce.
Eutrofizzazione – marina	kg N eq	Modello EUTREND	I nutrienti (principalmente azoto e fosforo) di scarichi fognari e terreni agricoli fertilizzati accelerano la crescita di alghe e altra vegetazione nelle acque. Il deterioramento di materiale organico consuma ossigeno provocando così carenza dello stesso e, in alcuni casi, moria ittica nel mare.
Eutrofizzazione – terrestre	moli N eq	Modello di superamento accumulato	I nutrienti (principalmente azoto e fosforo) di scarichi fognari e terreni agricoli fertilizzati accelerano la crescita di vegetazione. Il deterioramento di materiale organico consuma ossigeno provocando così carenza dello stesso.
Ecotossicità - ambiente acquatico acqua dolce	CTUe (unità tossica comparativa per gli ecosistemi)	Modello USEtox	Impatti tossici su un ecosistema, che danneggiano le singole specie e modificano la struttura e la funzione dell'ecosistema.
Uso del suolo	pt	Soil Quality Index	Utilizzo e trasformazione del territorio con attività quali agricoltura, costruzione di strade, case, miniere, ecc. L'indice SQI è basato sul modello LANCA (Bos et al., 2016). Si presenta come l'aggregazione di quattro indicatori: produzione biotica; resistenza all'erosione; filtrazione meccanica; rifornimento della falda acquifera.
Impoverimento delle risorse – acqua	m^3 acqua eq	Metodo A.WA. RE. (Available WAter REmaining) raccomandato dall'UNEP (2016)	Indicatore dell'uso dell'acqua, che valuta il potenziale di privazione dell'acqua, sia per gli esseri umani che per gli ecosistemi. L'acqua che resta disponibile per area si riferisce al quantitativo di acqua che resta dopo che il consumo da parte dell'uomo e la domanda ambientale di acqua sono state sottratte alla disponibilità naturale del bacino idrico.
Impoverimento delle risorse – minerali, metalli	kg Sb eq	Modello CML 2002	Impoverimento delle risorse abiotiche (minerali, metalli) espresse come kg di antimonio equivalente, uno degli elementi più comuni in queste risorse. L'indicatore caratterizza l'esaurimento delle risorse abiotiche sulla base di tassi di estrazione e delle riserve rimanenti.
Impoverimento delle risorse – vettori energetici	MJ	Modello CML 2002	Impoverimento delle risorse abiotiche (combustibili fossili) espresse in MJ in riferimento alla loro caratteristica di "vettori di energia" ("energy carriers")

3. Analisi di inventario

L'inventario del ciclo di vita del prodotto consiste nella quantificazione dei flussi di materia ed energia in ingresso e in uscita dal sistema analizzato. Nella maggior parte dei casi il dato utilizzato per il calcolo della LCA è un dato medio di tutti i dati raccolti per le diverse fonti e anni disponibili; nei casi puntuali in cui questo non è stato possibile, si riporta una spiegazione e descrizione del valore assunto.

3.1. Procedimento per la raccolta dei dati specifici

La raccolta dei dati specifici del settore è iniziata con una definizione da parte di Assosistema di un campione rappresentativo d'associati che potevano partecipare nella raccolta dati, in particolare un elenco di aziende della filiera di produzione dei tessuti (di seguito produttori) e del settore di servizi sanitari integrativi (di seguito lavanderie industriali). La raccolta è stata poi effettuata da Ambiente Italia mediante un programma di lavoro che ha previsto:

- la preparazione di appositi questionari (check list per la raccolta dei dati);
- l'invio dei questionari alle aziende segnalate da Assosistema;
- il sopralluogo presso gli stabilimenti produttivi (in alcuni limitati casi il contatto diretto è avvenuto attraverso interviste telefoniche con i responsabili);
- l'analisi delle informazioni ricevute (check list compilate) ed eventuali integrazioni dei dati mancanti con ulteriori indagini condotte attraverso specifici meeting.

In particolare, per la raccolta di dati dai produttori di tessuti sono stati utilizzati i dati ottenuti da due dei principali produttori da cui le lavanderie campione si riforniscono, insieme a informazioni derivanti dalla consultazione della letteratura disponibile.

3.2. La realizzazione dei prodotti

In questa fase del ciclo di vita sono stati inclusi tutti i processi più significativi che concorrono alla realizzazione dei prodotti finiti, pronti per essere inviati agli utilizzatori finali confezionati in diverse configurazioni di imballo. Le assunzioni generali per questa fase sono state le seguenti:

- Il **quantitativo di materia prima** in considerato per questa fase è pari al peso di ogni prodotto, incrementato dello scarto di produzione comunicato dai produttori intervistati.
- Agli impatti legati alla produzione della materia prima è stato associato, per i prodotti riutilizzabili**, il tasso di riutilizzo definito dalla metodologia PEF**, ovvero il numero di cicli a cui i prodotti vanno incontro prima di raggiungere il fine vita. Per i prodotti monouso, invece, tali processi sono stati considerati tante volte quanti sono gli utilizzi, in quanto a parità di lavaggi si ripete la produzione di ogni prodotto monouso.

- Le **taglie** dei camici sono state selezionate in termini di maggior utilizzo da parte dei clienti (taglia L e XL dei camici); per i teli, sono state considerate le dimensioni ricavate dalle schede tecniche raccolte.
- In tutti i casi sono stati usati **processi** di tipo *market*[3] di Ecoinvent con inclusi dei trasporti medi, essendo sconosciuto il puntuale produttore delle materie prime
- La **sterilizzazione** dei tessili monouso è stata considerata parte di questa fase del ciclo di vita; per questa attività si considera che vengano sterilizzati con ossido di etilene: Energia elettrica: 0,0399 MJ/pezzo; Energia termica 0,0228 MJ/pezzo.

3.2.1. Produzione dei camici rinforzati riutilizzabili, imballo in cartone e film plastico

I camici rinforzati riutilizzabili sono realizzati con tessuti in poliestere rinforzati con una membrana in poliuretano (PU) o in politetrafluoroetilene (PTFE) - chiamato anche Teflon - e fibra di carbonio antistatica. Il poliestere, il componente di base del tessuto, è una fibra sintetica, ottenuta da macromolecole costituite da polietilene tereftalato, che, unita a una membrana in PU o PTFE, forma il cosiddetto trilaminato; questo tessuto in poliestere rinforzato assicura l'isolamento del tessuto, creando un efficace effetto barriera. Invece il carbonio serve a conferire alla microfibra la caratteristica antistatica; infatti le fibre sintetiche (come il poliestere), a causa del loro carattere idrofobo, sono caratterizzate da una conducibilità elettrica (anche se ridotta), tanto da mantenere per lungo tempo le cariche elettriche una volta strofinate con altri corpi oppure in presenza di campi magnetici. Si usa quindi il carbonio che è in grado di dissipare l'elettricità accumulata grazie alle sue proprietà conduttive.

Per il PES, le membrane e la fibra di carbonio sono stati usati i data set definiti nella banca dati Ecoinvent 3.10: per la produzione del tessuto in PES è stato considerato un processo relativo alla realizzazione di un tessuto di poliestere, per cui sono state considerate due membrane e uno scarto dello 0,005%; la percentuale in peso, sul trilaminato, è di circa l'85%. La membrana equivale ad un 7% circa del peso totale del capo, considerato uno sfrido dello 0,007%: per la produzione della membrana in poliuretano (PU) sono stati considerati processi di produzione della materia prima, seguiti da una fase di estrusione in film; nello specifico per quanto riguarda la produzione della membrana in politetrafluoroetilene (PTFE) sono stati estratti i processi di produzione dallo studio di Vozzola et al. (2018). La membrana e il tessuto in poliestere sono legati tra loro da poliuretano adesivo, pari a circa il 7% in peso. È stato quindi considerato il composto 1,4-butanediol, che è stato assimilato alla fibra di carbonio, per l'1% circa della massa del tessuto, come ausiliario. I consumi di realizzazione sono pari a 0,007 MJ/kg di energia elettrica e 0,112 MJ/kg di calore da vapore.

È stata inoltre considerata una quantità di filato idrorepellente calcolata pari a 3,25 g/kg di tessuto (modellizzato come fibra in poliestere, associato ai consumi di filatura) e l'imballaggio secondario di un cartone e di film plastico, ricavate dai quantitativi utilizzati da un produttore per il confezionamento di questi prodotti nel 2023; lo stesso produttore ha fornito un consumo di energia pari a 0,98 kWh/pezzo per la gestione logistica della produzione che avviene in Italia. I consumi energetici legati all'effettiva realizzazione del capo sono stati desunti dalla raccolta dati di un secondo produttore, i cui stabilimenti sono siti in Est Europa; il quantitativo è confidenziale, pertanto non viene indicato nel presente report. La fase di confezionamento consiste nel taglio, orlatura e cucitura dei tessuti in microfibra e trilaminato.

3. Nella modellizzazione con SimaPro si raccomanda di usare processi "Market" (di mercato) del Paese/zona di riferimento quando il fornitore è sconosciuto; questi processi contengono processi di trasformazione generici con tutti gli ingressi e le uscite da e verso la natura e gli altri processi con distanze medie.

3.2.2. Produzione dei camici rinforzati monouso e dell'imballo

I camici rinforzati monouso sono realizzati con tessuto non tessuto (TNT) biaccoppiato, composto da due strati, ovvero TNT idrofilico in polipropilene (PP) *spunbond* accoppiato ad uno strato impermeabile in LDPE. È stato considerato che lo strato in polietilene equivalga a circa il 9% della massa del camice. Inoltre, è stato ricavato da uno studio che il polipropilene di questi articoli contenga un 1% di colorante; alla quantità totale è stato aggiunto un 2,7% di scarto (E. Vozzola, 2018). Per le materie prime sono stati usati i dataset della banca dati Ecoinvent 3.10.

È stata inoltre considerata una quantità di filato idrorepellente calcolata pari a 3,25 g/kg di tessuto (modellizzato come fibra in poliestere, associato ai consumi di filatura) e l'imballaggio secondario di un cartone di circa 500 g che contiene 50 pezzi. Il telo superiore chirurgico monouso viene preparato in un impianto di taglio, cucitura e rifinitura legando termicamente il film barriera in PP al tessuto non tessuto in PP. In generale, i teli monouso sono un tessuto non tessuto SMS PP con film barriera in PP o PU aggiunti nelle zone critiche per una maggiore protezione; è stato considerato un consumo energetico di 0,5633 MJ/kg per le operazioni di confezionamento (E. Vozzola, 2018).

3.2.3. Produzione dei teli riutilizzabili e dell'imballo

I teli utilizzati nelle sale operatorie sono composti da un'area critica in trilaminato PES-PU (si veda il paragrafo 3.2.1 per i dettagli), con massa areica pari a circa 185 gr/m^2, e un'area meno critica, composta al 99% da microfibra e all'1% da fibra di carbonio, con massa areica di circa 125 gr/m^2 (fonte: schede tecniche). La microfibra è stata modellizzata considerando la produzione della fibra in poliestere, della fibra di carbonio e infine i consumi per la tessitura. È stato considerato un consumo energetico di 0,5633 MJ/kg per le operazioni di confezionamento (E. Vozzola, 2018) .Per l'imballaggio secondario, si è considerata una scatola in cartone di 1 kg che contenente 25 pezzi, indicata da uno dei produttori intervistati. Si è considerato che i teli riutilizzabili includano un nastro adesivo che viene rimosso per il lavaggio; quindi, che ad ogni utilizzo successivo venga applicato un nuovo nastro, per cui sono stati utilizzati i dataset di produzione di un tessuto in cotone (da scheda tecnica). La grandezza dell'area critica e meno critica, quindi della ripartizione dei due diversi tessuti, è stata calcolata a partire dalle specifiche schede a disposizione, quindi relative ad articoli acquistati e noleggiati nell'anno di riferimento.

TABELLA 10
Ripartizione di massa e di peso tra area critica e meno critica nei teli analizzati

Articolo	Area critica (m2)	Area meno critica (m2)
Telo tavolo madre	1,38	2,58
Telo laterale	0,40	0,405
Federa	0,72	1,52
Telo testa	0,35	4,09
Telo piedi	0,77	2,83

3.2.4. Produzione dei teli monouso e relativo imballo

I teli monouso sono realizzati nell'area critica con polipropilene (PP) estruso, con massa areica di 48 gr/m^2, da letteratura, e nell'area meno critica con PP *spunbound*, con massa areica pari a 30 gr/m^2, da schede tecniche (fonte delle composizioni: Vozzola et al, 2018). Per la dimensione delle due aree in ognuno dei teli sono stati utilizzati i valori riportati alla Tabella 10. Il primo componente è stato ricostruito a partire dal granulato di PP e un processo di estrusione, invece per il secondo è stato

considerato un tessuto non tessuto in polipropilene. È stato considerato un consumo energetico di 0,5633 MJ/kg per le operazioni di confezionamento (E. Vozzola, 2018). Per l'imballaggio secondario, si è considerata una scatola in cartone di 1 kg che contenente 25 pezzi, indicata da un fornitore. I teli monouso comprendono una striscia di nastro adesivo (poliuretano 75% e poliestere 25%) che viene smaltita dopo ogni utilizzo (Vozzola et al, 2018).

3.2.5. Trasporto dal produttore

Per quanto riguarda la spedizione per la distribuzione del prodotto, è stata presa come riferimento la distanza media che separa le aziende produttrici che forniscono i kit dalle lavanderie industriali considerate (Lavanderie A, B, C e D); si è ipotizzato l'uso di un camion europeo di capacità di 7,5-16 t e di classe Euro4. Per quanto riguarda il monouso, è stato considerato un raggio cautelativo pari a 500 km che includa il trasporto dal produttore alla stazione appaltante e dalla stazione appaltante alle varie aziende ospedaliere.

3.3. La fase d'uso

La fase d'uso prevede l'effettivo utilizzo del prodotto tessile in ambito sanitario, il trasporto successivo nella lavanderia industriale (servizio di ritiro e consegna), il lavaggio e sterilizzazione industriale. All'interno della lavanderia avvengono le attività di cernita e smistamento del tessuto sporco, il lavaggio, l'asciugatura e piegatura e una fase successiva d'imballaggio del kit da inviare al cliente e la sua sterilizzazione in autoclave con l'uso di solo vapore acqueo. In generale le aziende dei servizi sanitari integrati offrono un servizio di lavaggio e noleggio che consiste nel noleggio di capi pronti all'uso ed in corretta quantità, che permette di avere sempre a disposizione la quantità sufficiente di capi, anche in casi di intensificazione del flusso dei clienti.

Il flusso di riferimento, in questa fase del ciclo di vita, è pari a 1 kg di tessuti che compongono il kit lavato e sterilizzato. Sono stati usati dati specifici disponibili forniti dalle lavanderie indicate (Lavanderie A, B, C, D) per gli anni 2022 e 2023, per i quali è stato calcolato e usato un valore medio del periodo; è stata fatta la modellizzazione di ogni singola lavanderia. In assenza di alcuni dati puntuali delle aziende partecipanti è stato usato un dato medio delle altre tre lavanderie industriali per ricostruire il valore (ad es. stima del dato di emissioni di inquinanti in acqua o aria nel caso di lavanderie che non hanno fornito i dati di analisi).

Per i trasporti dovuti al ritiro e consegna dal cliente è stata individuata la distanza media tra le lavanderie e i propri clienti (calcolo effettuato in relazione alla quantità trasportata); nel caso questa informazione non fosse disponibile, è stata utilizzata una distanza ipotizzata di 50 km. Il trasporto avviene normalmente tramite camion di capacità pari a 3,5-7,5 ton (è stato ipotizzato Euro5) per un tragitto totale per tutte le lavanderie senza consegne intermedie; è stata utilizzata la distanza media al cliente moltiplicata per due per considerare sia il ritiro che la consegna. Il prodotto è trasportato con gabbie in acciaio di proprietà delle lavanderie industriali. L'imballaggio è rappresentato da un film plastico che avvolge il kit che va consegnato al cliente.

Per quanto riguarda la fase di lavaggio, gli additivi al processo sono stati suddivisi in base alla loro funzione nelle seguenti categorie: detergente, candeggiante, disinfettante, anticalcare, amido, acido formico, ammorbidente, sequestrante, bisolfito di sodio, coadiuvanti, soda caustica e sale. Per gli ausiliari sono stati considerati i trasporti con dati di distanza media dai diversi fornitori ipotizzando l'uso di camion di capacità pari a 7,5-16 t e classe Euro5.

Alle lavanderie che hanno preso parte al progetto è stato chiesto di indicare il numero di cicli di lavaggio che normalmente i teli e camici riescono a sostenere senza perdere le loro caratteristiche funzionali. Secondo tale riscontro, la fase d'uso di un singolo prodotto tessile è stata considerata pari a 60 cicli di

lavaggio prima di essere smaltito, come risultato di una stima in base ai dati forniti. È stata in ogni caso effettuata un'analisi di sensibilità sulla variazione dei risultati in base ai cicli di lavaggio, in un range dai 20 ai 100 cicli (si veda il paragrafo 5.1), che conferma la solidità di tale scelta e la rappresentatività dello studio anche in casistiche significativamente diverse dai 60 cicli analizzati. La quantità di acqua evaporata è stata calcolata come differenza tra acqua prelavata e acqua scaricata dalla lavanderia.

Per quanto riguarda l'imballaggio che corrisponde alla preparazione del kit per la sterilizzazione ed invio, sono state considerate buste trasparenti in film in polietilene fogli carta crespa. L'identificazione del kit avviene mediante l'applicazione di una etichetta autoadesiva su ogni confezione e contiene, oltre alle avvertenze d'uso, altre informazioni, come la data di scadenza, i componenti del kit, ecc. Come dati quantitativi sull'imballaggio sono stati usati quelli forniti direttamente da ogni singola lavanderia.

Per quanto riguarda i rifiuti generati da questa fase, è stato chiesto alle lavanderie di indicare la quantità di rifiuti prodotti e il loro destino finale, che sono principalmente imballaggi misti dei prodotti usati per il lavaggio (non considerati, in quanto sono stati modellizzati scenari di imballaggio specifici per ogni prodotto) e i fanghi derivanti dal processo di depurazione delle acque avviati a trattamento.

Per modellizzare la fase di lavaggio sono stati pressi in considerazione i dati di quattro lavanderie, modellizzate singolarmente, considerando tutti i dati di inventario relativi alla tonnellata di tessuto trattato. Nella tabella seguente sono riportati i dati specifici usati.

TABELLA 11
Fase di lavaggio, dati di input e output riferiti a 1 t di tessuto trattato (dato medio utilizzato)

Voce		Unità di misura	Media pesata
INPUT	Trasporto TTR dai produttori	km (media pesata)	394,09
	Prodotti chimici	kg	0,0354
	Produzione imballaggi	kg	0,0686
	Film polietilene	kg	0,0057
	Sacchi plastica	kg	0,0449
	Cartone	kg	0,0010
	Fogli carta crespa	kg	0,0169
	Trasporto ausiliari e imballaggi	km (media pesata)	138,22
	ACQUA TOTALE	m^3	0,0154
	da pozzo	m^3	0,0132
	acque superficiali	m^3	0,0020
	da acquedotto	m^3	0,0002
	ENERGIA ELETTRICA	kWh	0,3007
	Da rete nazionale	kWh	0,1825
	Da cogeneratore	kWh	0,0967
	Da rinnovabili (certificate)	kWh	0,0215
	di cui fotovoltaico	kWh	0,0006
	di cui recupero energetico di rifiuti	kWh	0,0093
	di cui fonti idroelettriche	kWh	0,0118
	METANO	MWh	0,0012
OUTPUT	Emissioni in acqua	kg	0,0030
	Acqua evaporata	m^3	0,0033
	Particolato	kg	0,000001
	Rifiuti (esclusi i rifiuti da imballaggio)	kg	0,0040
	Ritiro e consegna TTR	km (media pesata)	184,07
	Scarto	kg sul totale trattato	0,0068

Per ottenere la media pesata dei valori, sono stati utilizzati come fattori di ponderazione i kg totali di TTR trattato in ognuna delle lavanderie campione:

- lavanderia A: 15,1%
- lavanderia B: 27,2%
- lavanderia C: 21,9%
- lavanderia D: 35,8%

3.4. Fine vita del prodotto

Questa fase comprende il fine vita dei vecchi prodotti tessili, sia monouso che riutilizzabili. Per il monouso, lo scenario considerato è 100% incenerimento; per completezza la scelta metodologica è stata invece quella di analizzare quattro diversi scenari per il riutilizzabile: due di riciclo (chimico e meccanico, con dati da letteratura: Bassi et al., 2022), uno a incenerimento e uno a discarica. Per la modellizzazione di questa fase è stata applicata la Circular Footprint Formula prevista dalla metodologia PEF: l'equazione è di fatto una combinazione di "materiale + energia + smaltimento", come riportato di seguito.

Materiale

Eq.1 $$(1-R_1)E_v+R_1x(AE_{recycled} + \left(1-A\right)E_v x \frac{Q_{sin}}{Q_p}\right)+(1-A)\ R_2 x\left(E_{recyclingEoL}-E^*_v x \frac{Q_{sout}}{Q_p}\right)$$

Energia

Eq.2 $$\left(1-B\right)R_3 \text{ x } \left(E_{ER}- LHV \text{ x } X_{ER,heat} \text{ x } E_{SE,heat}- LHV \text{ x } X_{ER,elec} \text{ x } E_{SE,elec}\right)$$

Smaltimento

Eq. 3 $$(1-R_2-R_3)\,x\,E_D$$

Parametri della formula:

A: fattore di allocazione degli oneri e dei crediti tra il fornitore e l'utilizzatore dei materiali riciclati.

B: fattore di allocazione dei processi di recupero di energia. Vale sia per gli oneri che per i crediti.

Q_{sin}: qualità del materiale secondario in ingresso, ossia la qualità del materiale riciclato al punto di sostituzione.

Q_{sout}: qualità del materiale secondario in uscita, ossia la qualità del materiale riciclabile al punto di sostituzione.

Q_p: qualità del materiale primario, ossia la qualità del materiale vergine.

R1: proporzione di materiale in ingresso nella produzione che è stato riciclato a partire da un sistema precedente.

R2: proporzione di materiale nel prodotto che sarà riciclata (o riutilizzata) in un sistema successivo. Questo valore deve pertanto tener conto delle inefficienze nei processi di raccolta e riciclaggio (o riutilizzo) ed essere misurato all'uscita dell'impianto di riciclaggio.

R3: proporzione di materiale nel prodotto che sarà utilizzata per il recupero di energia nella fase di fine vita.

$Er_{ecycled}$ (Er_{ec}): emissioni e risorse specifiche consumate (per unità funzionale) derivanti dal processo di riciclaggio del materiale riciclato (riutilizzato), compresi i processi di raccolta, cernita e trasporto.

$E_{recyclingEoL}$ (Er_{ecEoL}): emissioni e risorse specifiche consumate (per unità funzionale) derivanti dal processo di riciclaggio nella fase di fine vita, compresi i processi di raccolta, smistamento e trasporto.

E_V: emissioni e risorse specifiche consumate (per unità funzionale) derivanti dall'acquisizione e dalla prelavorazione di materiale vergine.

E^*_V: emissioni e risorse specifiche consumate (per unità funzionale) derivanti dall'acquisizione e dalla prelavorazione di materiale vergine che si presume sia sostituito da materiali riciclabili.

E_{ER}: emissioni e risorse specifiche consumate (per unità funzionale) derivanti dal processo di recupero di energia (ad esempio incenerimento con recupero di energia, discarica con recupero di energia ecc.).

$E_{SE,heat}$ e $E_{SE,elec}$: emissioni e risorse specifiche consumate (per unità funzionale) che sarebbero state associate alla fonte di energia sostituita, rispettivamente quella termica ed elettrica.

E_D: emissioni e risorse specifiche consumate (per unità funzionale) derivanti dallo smaltimento dei rifiuti di materiale nella fase di fine vita del prodotto analizzato, senza recupero di energia.

$X_{ER,heat}$ e $X_{ER,elec}$: efficienza del processo di recupero di energia per il calore e per l'elettricità.

LHV: potere calorifico inferiore del materiale, nel prodotto, che è utilizzato per il recupero di energia.

Si fa presente che, alla luce della non accessibilità delle banche dati PEF, per i parametri E_V*, E_{ER}, E_{SEheat}, E_{SEelec}, E_{ED} sono stati impiegati i dataset relativi alle operazioni di fine vita contenuti in Ecoinvent ver 3.10.

3.5. Raccolta dei dati economici e assunzioni

In relazione ai dati raccolti per il presente studio, si deve prima di tutto tenere presente che, a causa del livello di riservatezza delle informazioni economiche sui prodotti e servizi, non tutti gli intervistati hanno compilato in modo completo i dati economici richiesti nelle check list. Questo ha generato due effetti. Da un lato alcune informazioni derivano da un solo compilatore, rendendo poco rappresentativo il dato per il confronto. Quindi il dato stesso è stato confrontato con alcune informazioni disponibili in letteratura per poterlo utilizzare. Per altre informazioni, considerando il numero esiguo di soggetti che hanno compilato le check list, è stata effettuata un'analisi sull'incertezza del dato, al fine di valutare la sua rappresentatività.

Dall'alto lato informazioni complementari sono state reperite da studi di letteratura o database, sia per poter validare alcuni dati raccolti nell'indagine presso gli operatori, sia per poter avere a disposizione informazioni utilizzabili per completare l'analisi economica. Una rassegna della letteratura consultata è disponibile nell'appendice bibliografica. Lo schema che segue mostra quali sono state le fonti di raccolta diretta dei dati per lo studio, relativamente alle check list compilate durante l'indagine. Per quanto riguarda i TTR sono stati calcolati i valori medi derivanti dalle aziende intervistate. I dati sono stati confrontati con informazioni provenienti dai produttori e con dati di letteratura.

Di seguito vengono mostrati i valori stimati nello studio per valutare il costo di acquisto dei prodotti (TTR), il costo del servizio di noleggio, lavaggio e sterilizzazione. È stato inoltre rappresentato il peso percentuale dei costi energetici e dei costi delle materie prime (quota di ammortamento), contenuto nel costo del servizio. Le informazioni sulle caratteristiche dei prodotti sono le stesse di quelle raccolte ed esaminate per lo studio LCA, a cui si rinvia per i dettagli tecnici. I costi sono espressi per kg di tessuto, in modo tale da poterli utilizzare successivamente per stimare il costo nel ciclo di vita per le diverse taglie relative ai camici (che hanno pesi diversi) e per le diverse misure dei teli e poi riportarli nel valore Euro/pezzo (vedi capitolo sui risultati), che è l'unità funzionale utilizzata nello studio.

FIGURA 7
Raccolta dati per valutazione LCC dei TTR (tessuti riutilizzabili)

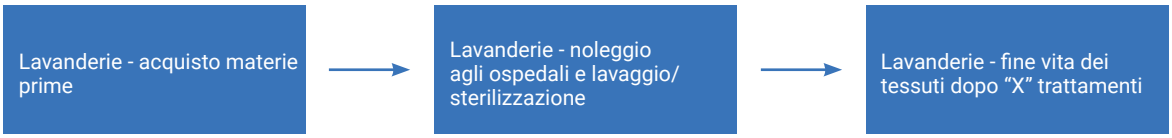


FIGURA 8
Raccolta dati per valutazione LCC dei TNT (tessuto non tessuto, monouso)

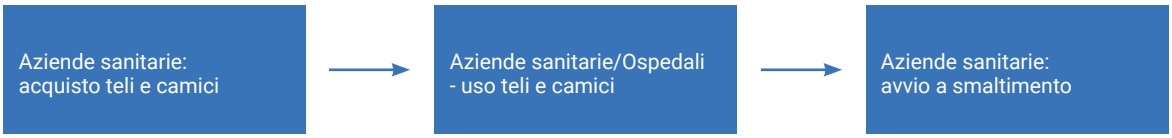


TABELLA 12
Stima dei costi per il servizio di noleggio, lavaggio e sterilizzazione, compreso l'acquisto dei camici e teli in TTR

Composizione del set in TTR	Euro/kg – valore medio	Deviazione standard sul campione dell'indagine
Camice rinforzato	6,56	1,71
Camice standard, microfibra	4,38	1,71
Telo tavolo madre, microfibra	6,11	3,32
Telo laterale, trilaminato	6,04	3,02
Federa mayo, microfibra e trilaminato	6,68	5,55
Telo testa, trilaminato	10,85	2,13
Telo piedi, trilaminato	10,10	1,05

TABELLA 13
Composizione percentuale dei costi energetici per il servizio di noleggio e sterilizzazione dei TTR

Composizione del set in TTR	% sui costi del servizio	Deviazione standard sul campione dell'indagine
Camice rinforzato	9%	0,22
Camice standard, microfibra	9%	0,22
Telo tavolo madre, microfibra	9%	0,31
Telo laterale, trilaminato	9%	0,30
Federa mayo, microfibra e trilaminato	9%	0,43
Telo testa, trilaminato	10%	0,59
Telo piedi, trilaminato	10%	0,52

TABELLA 14
Composizione percentuale dei costi delle materie prime (tessuti) per il servizio di noleggio e sterilizzazione dei TTR

Composizione del set in TTR	% sui costi del servizio	Deviazione standard sul campione dell'indagine
Camice rinforzato	21%	0,97
Camice standard, microfibra	21%	0,65
Telo tavolo madre, microfibra	22%	0,78
Telo laterale, trilaminato	21%	0,83
Federa mayo, microfibra e trilaminato	22%	0,96
Telo testa, trilaminato	28%	2,01
Telo piedi, trilaminato	27%	1,76

La Tabella 15 mostra i valori stimati per il costo di acquisto dei tessuti in TNT. Anche in questo caso i dati tecnici sono gli stessi di quelli utilizzati per l'analisi LCA. Il dato, derivante da un solo soggetto che ha risposto all'indagine, è stato corretto confrontando le informazioni disponibili con dati di letteratura. I valori sono espressi in Euro/pezzo, in coerenza con l'unità funzionale dello studio.
Nel modello è stato considerato il costo totale del servizio, che comprende sia i costi di acquisto dei camici e dei teli in TTR, sia i costi relativi al servizio di noleggio, lavaggio e sterilizzazione degli stessi articoli. Quindi, nel costo del servizio è inclusa anche la parte relativa alla materia prima già contabilizzata, cioè l'ammortamento del suo valore, per rappresentare in modo completo il costo reale dei materiali utilizzati.

TABELLA 15
Stima dei costi per l'acquisto dei camici e teli in TNT

Composizione del set in TNT	Euro/pezzo – valore stimato
Camice rinforzato – formato LL	2,569
Camice rinforzato – formato XL	2,656
Camice standard – formato LL	2,299
Camice standard – formato XL	2,394
Telo tavolo madre	3,355
Telo laterale (telo chirurgico)	1,281
Federa (telo chirurgico)	1,281
Telo testa	6,222
Telo piedi	6,222

Per quanto riguarda i costi di smaltimento e fine vita, i questionari compilati sia da alcuni operatori (due) che dalle strutture del servizio sanitario (una sola ha fornito l'informazione), sono stati considerati parzialmente rappresentativi della realtà, con il rischio di sottostimare questo valore, particolarmente rilevante in un'analisi LCC, dato che mette in evidenza un costo connesso alla gestione ambientale del fine vita di un prodotto. Sono quindi state effettuate delle assunzioni, a partire da alcuni dati di letteratura e database rappresentativi sia della situazione nazionale che europea.

Per quanto riguarda le informazioni fornite dagli operatori economici, i dati hanno permesso di stimare il costo del trasporto del materiale, prima di essere avviato al trattamento. Questo costo è stato imputato nel modello, anche se in alcuni casi gli operatori dichiarano di sostenere un costo pari a zero. Essendo comunque una componente dei costi di gestione del soggetto che effettua il trasporto dei materiali a fine vita, è stato calcolato ai fini della LCC.

TABELLA 16
Stima del costo del trasporto per l'avvio allo smaltimento finale

Tipologia di costo	Euro/kg di materiale avviato a smaltimento	Note
Costo di trasporto	0,098	Si stima che il costo di traporto rappresenti circa il 30% del costo medio dichiarato per il l'avvio a smaltimento della categoria CER 040222 da parte delle lavanderie industriali intervistate

Per quanto riguarda i costi di smaltimento e trattamento e per il risparmio di materie prime derivanti dalle fasi di uso dei tessuti e avvio a trattamento, i dati e le fonti di informazione sono riportate nella Tabella 17. I valori sono stati utilizzati per calcolare i costi dei diversi scenari di smaltimento dei materiali, che per i TTR sono incenerimento (con recupero di energia), discarica, riciclo meccanico e riciclo chimico, mentre per i TNT sono incenerimento (con recupero di energia).

TABELLA 17
Dati di letteratura e banche dati per gli scenari di smaltimento e risparmio materie prime

Tipologia di costi	UM	Costi	Fonti
Costo incenerimento (Capex+Opex)	Euro/kg	0,619	Andreassi Bassi, S., Tonini, D., Saveyn, H., & Astrup, T. F. (2022). Environmental and Socioeconomic Impacts of Polyethylene terephthalate) (PET) Packaging Management Strategies in the EU.
Costo discarica	Euro/kg	0,0697	Andreassi Bassi, S., Tonini, D., Saveyn, H., & Astrup, T. F. (2022). Environmental and Socioeconomic Impacts of Poly(ethylene terephthalate) (PET) Packaging Management Strategies in the EU.
Costo riciclo meccanico - PET regranulate (non-food grade)	Euro/kg	0,25	JRC Technical Report "Environmental and economic assessment of plastic waste recycling", EU 2023
Life cycle costs riciclo meccanico – (riferito al PET)	Euro/kg	-0,274	JRC Technical Report "Environmental and economic assessment of plastic waste recycling", EU 2023
Costo riciclo chimico - MPO flexible pack waste (PET, HDPE, PP, fil) - conventional pirolysis	Euro/kg	0,141	JRC Technical Report "Environmental and economic assessment of plastic waste recycling", EU 2023
Life cycle costs riciclo chimico - come sopra	Euro/kg	0,273	JRC Technical Report "Environmental and economic assessment of plastic waste recycling", EU 2023
Prezzo energia elettrica (vendita)	Euro/MWh	127,24	GME - prezzo medio di acquisto sul Mercato del Giorno Prima, media anno 2023
Prezzo calore (vendita)	Euro/MWh	106	Prezzo (valore più basso) quota en. termica per fornitura teleriscaldamento A2A S.p.A - ottobre 2022
Costo materie prime - PP - valore medio	Euro/kg	1,166	https://plasticker.de/preise/preise_monat_single_en.php - Raw Materials & Prices - Average price PP 2022-2023

Relativamente ai costi descritti nella tabella precedente, i valori indicati come "life cycle cost" internalizzano nel calcolo il risparmio di risorse derivante dalle diverse soluzioni di trattamento oggetto degli scenari.

4. Risultati della valutazione di impatto dell'impronta ambientale e dei costi

In questa fase di Valutazione dell'impatto (Life Cycle Impact Assessment, LCIA), utilizzando i risultati della precedente analisi di inventario, si valuta il rilievo dei potenziali d'impatto ambientale e, in questo caso, anche l'impatto dei costi. L'analisi è stata fatta utilizzando il software SimaPro 9.6.0.1.

4.1. Analisi dei risultati

Lo scopo dell'analisi di valutazione d'impatto ambientale del ciclo di vita di un prodotto o servizio 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, imputando i consumi e le emissioni ottenuti nella fase d'inventario a specifiche categorie d'impatto. Le diverse categorie scelte sono descritte nel capitolo 2.8.

I grafici presentano i risultati dei singoli punteggi relativi ai danni ottenuti dalla valutazione del ciclo di vita (LCA) di vari tipi di camici medici e teli.

FIGURA 9
Articoli a confronto - indicatore unico - Camici

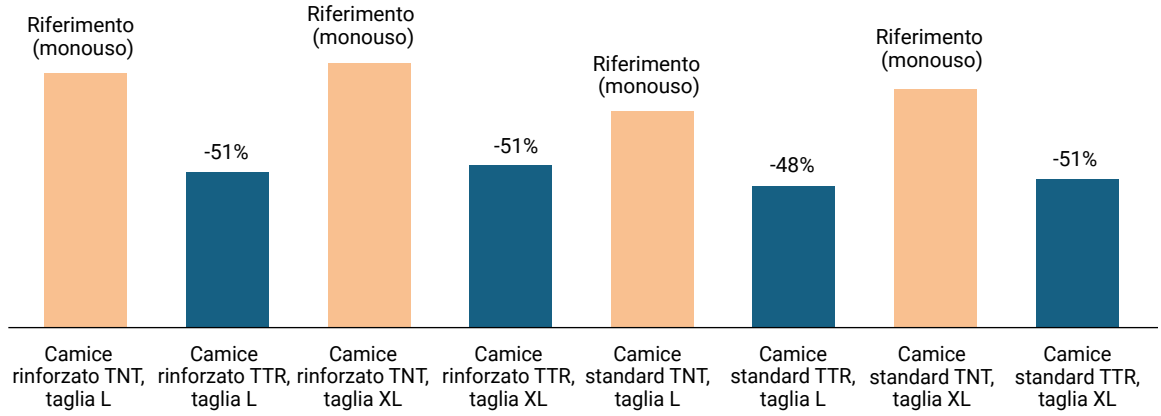
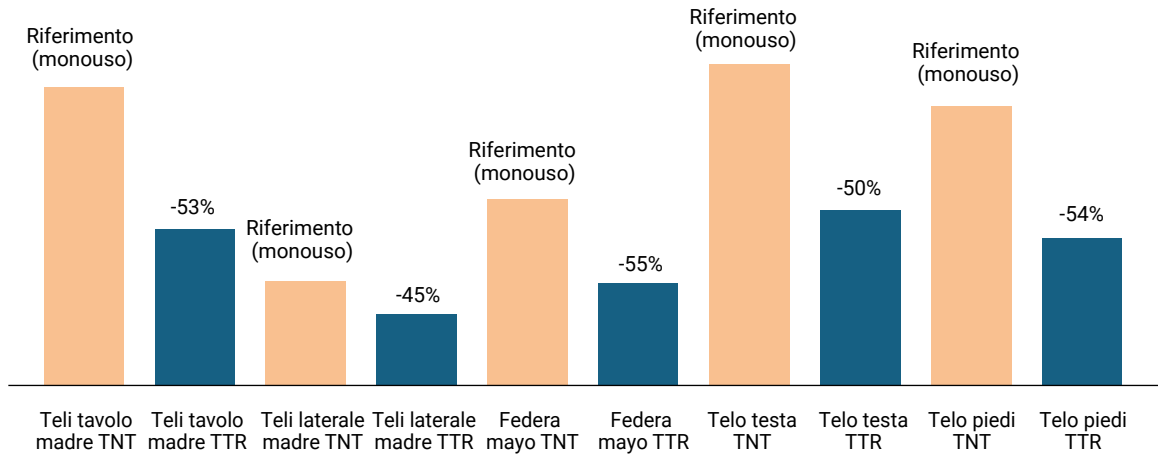


FIGURA 10
Articoli a confronto - indicatore unico - Teli



In entrambe le categorie, il TNT mostra un carico ambientale significativamente più elevato rispetto al TTR. Per quanto riguarda i camici, le opzioni in TNT rinforzato, in particolare nelle taglie più grandi, mostrano l'impatto maggiore, con il camice TNT XL rinforzato che raggiunge il punteggio più alto. Al contrario, i camici in TTR standard, soprattutto nella taglia XL, mostrano l'impronta ambientale più bassa. Analogamente, nell'analisi dei teli, i materiali in TNT presentano ancora una volta i valori di impatto più elevati, con i teli per il tavolo principale, la testa e i piedi che mostrano impatti particolarmente elevati. Le alternative in TTR, per tutti i tipi di teli, hanno ottenuto punteggi ambientali nettamente inferiori. Questa tendenza costante evidenzia che il TTR è un materiale più sostenibile e suggerisce che la transizione al TTR per camici e teli potrebbe ridurre significativamente l'impatto ambientale delle operazioni sanitarie.

I grafici seguenti mostrano i risultati della valutazione dell'impatto ambientale per ciascuna categoria di impatto per l'unità funzionale di 1 pezzo e per ognuno dei prodotti analizzati nello scenario peggiorativo per il TTR, che equivale all'avvio a discarica.

4.1.1. Cambiamenti climatici

FIGURA 11
Confronto dell'Impatto sui Cambiamenti Climatici dei Camici Rinforzati TNT e TTR per taglia (kg CO_2 eq/pezzo)

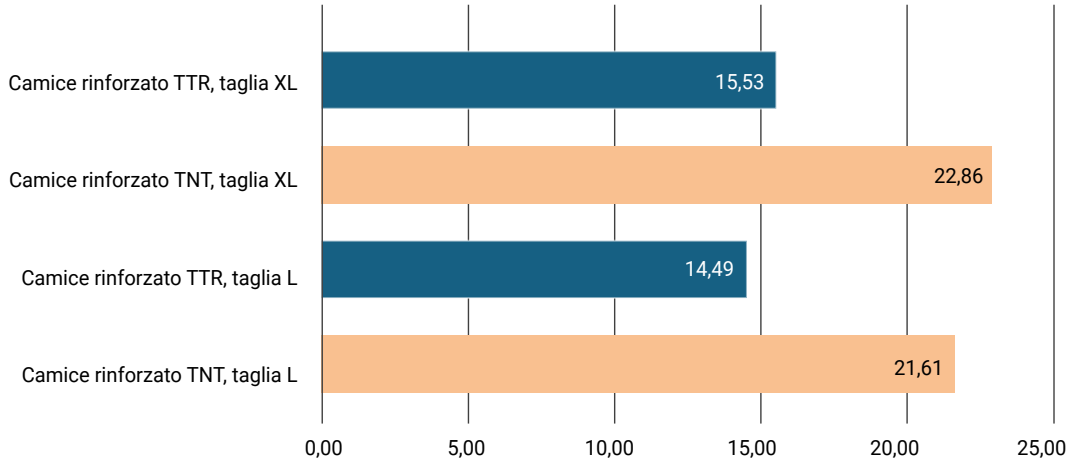


FIGURA 12
Confronto dell'Impatto sui Cambiamenti Climatici dei Camici Standard TNT e TTR per taglia (kg CO_2 eq/pezzo)

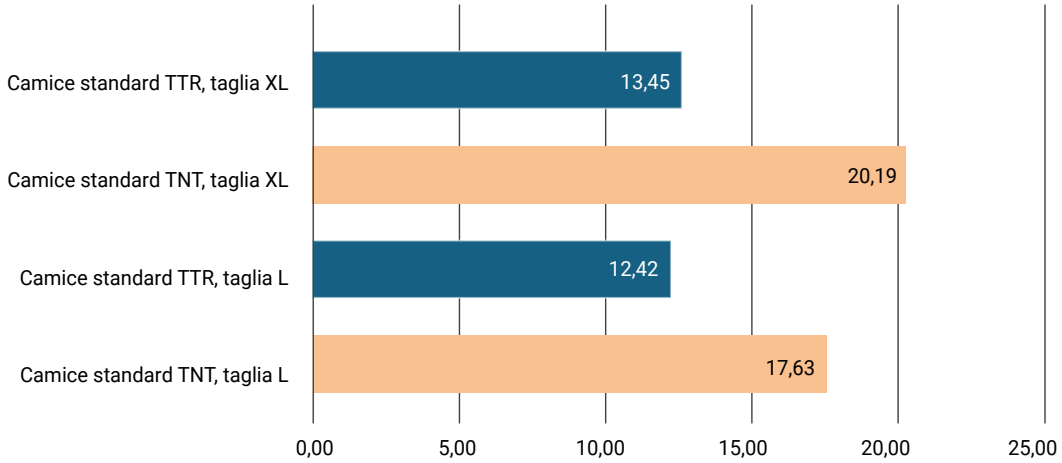
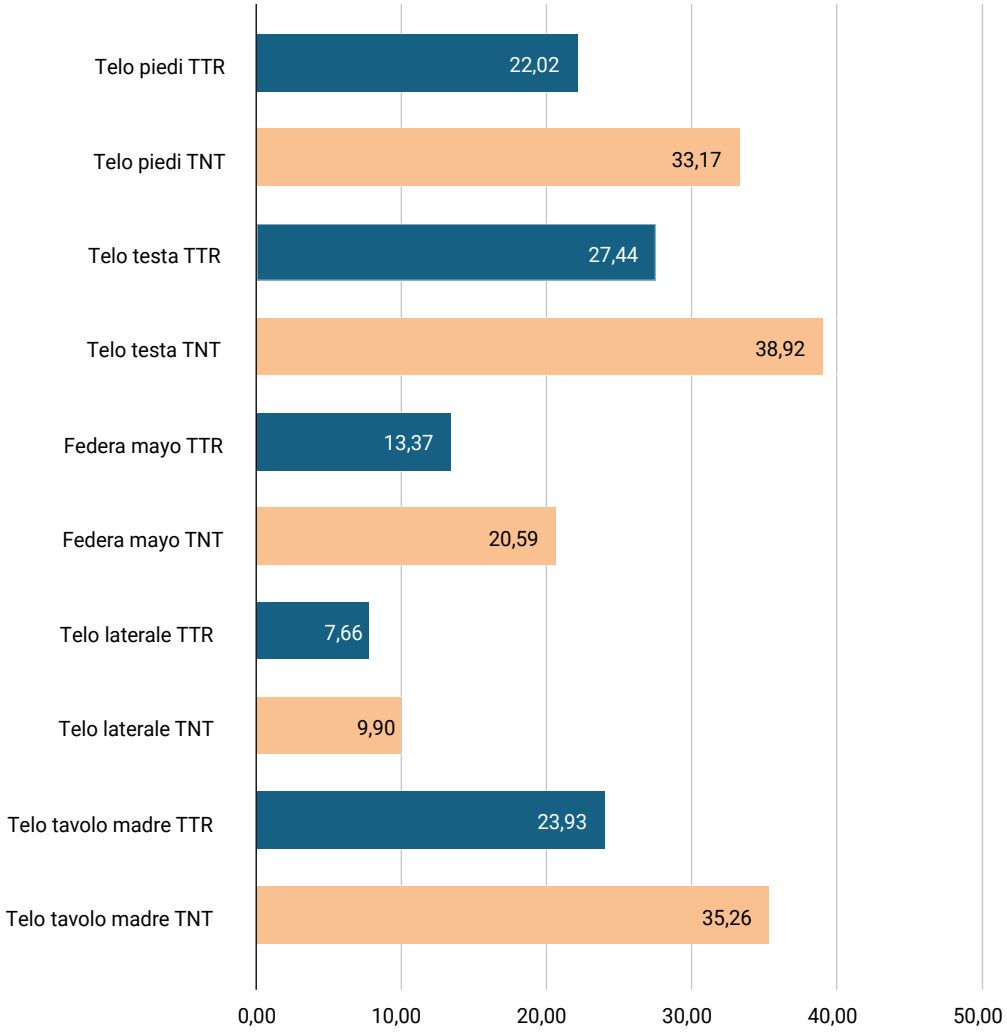


FIGURA 13
Confronto dell'Impatto sui Cambiamenti Climatici dei Teli per tipo (kg CO_2 eq/pezzo)



4.1.2. Particolato

FIGURA 14
Confronto dell'Impatto da Particolato dei Camici Rinforzati TNT e TTR per taglia (incidenza di malattie/pezzo)

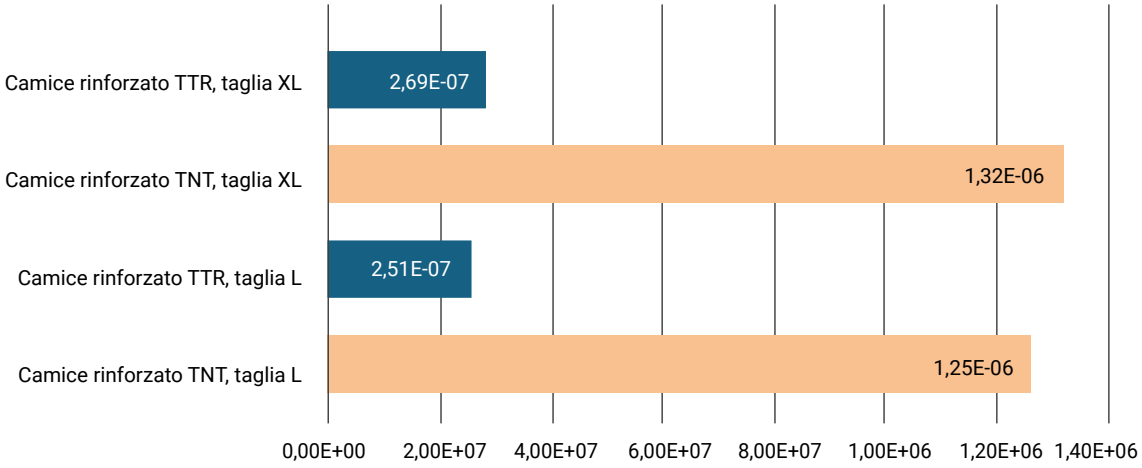


FIGURA 15
Confronto dell'Impatto da Particolato dei Camici Standard TNT e TTR per taglia (incidenza di malattie/pezzo)

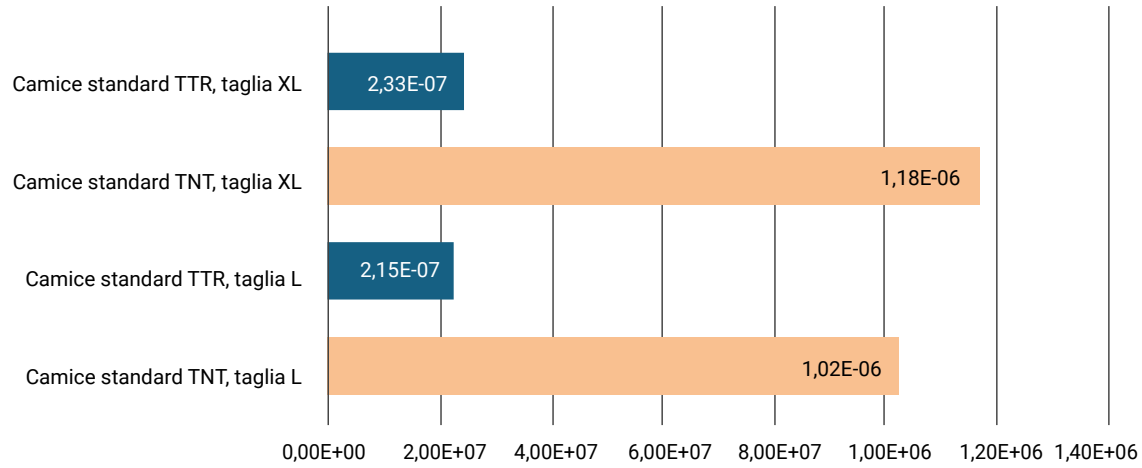
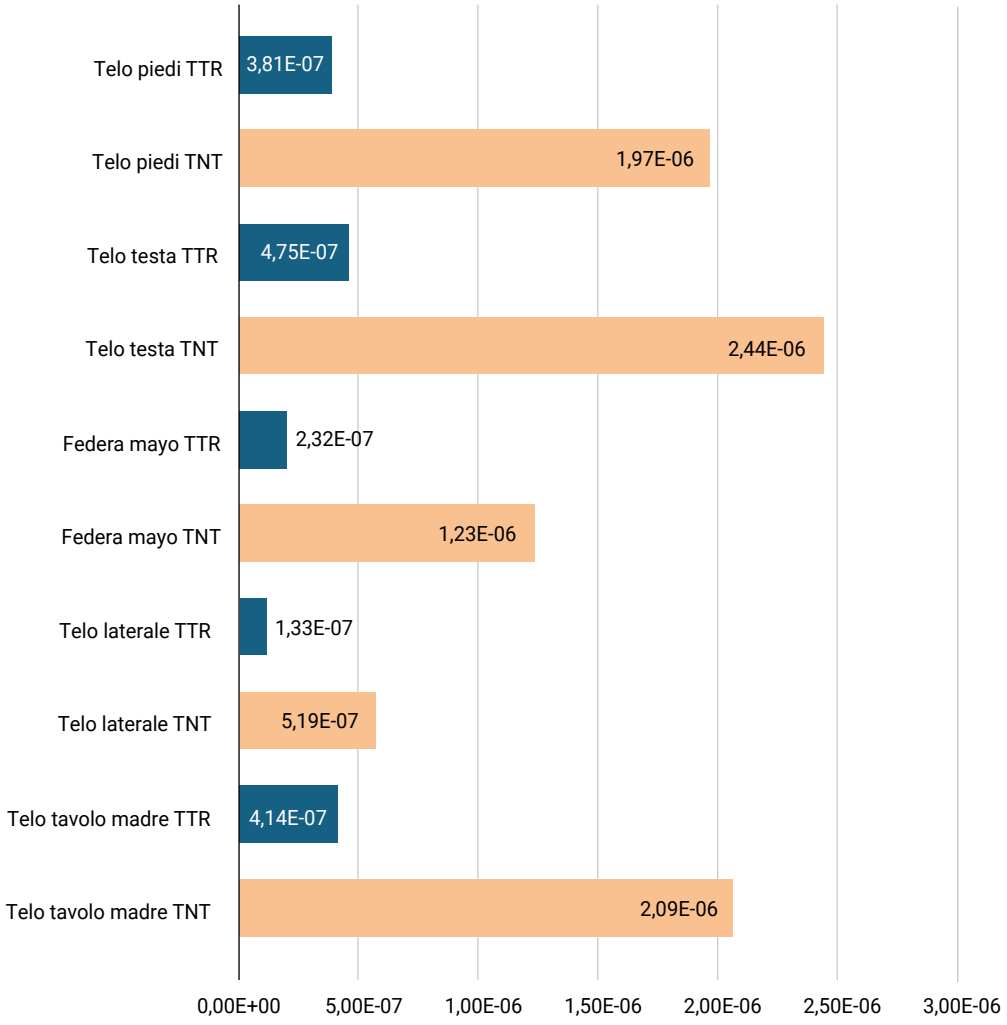


FIGURA 16
Confronto dell'Impatto da Particolato dei Teli per tipo (incidenza di malattie/pezzo)



4.1.3. Formazione di ozono fotochimico

FIGURA 17
Confronto dell'Impatto sulla Formazione di Ozono Fotochimico dei Camici Rinforzati TNT e TTR per taglia (kg NMVOC eq./pezzo)

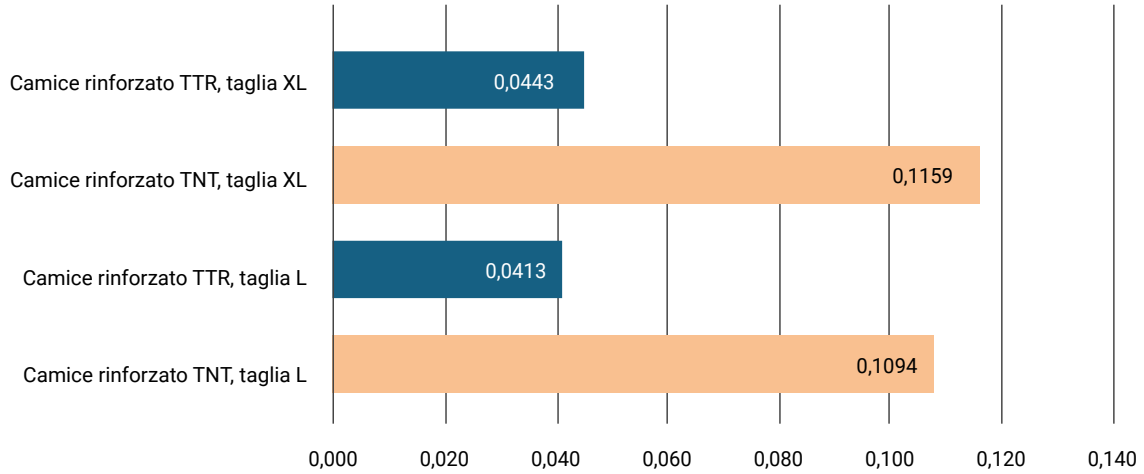


FIGURA 18
Confronto dell'Impatto sulla Formazione di Ozono Fotochimico dei Camici Standard TNT e TTR per taglia (kg NMVOC eq./pezzo)

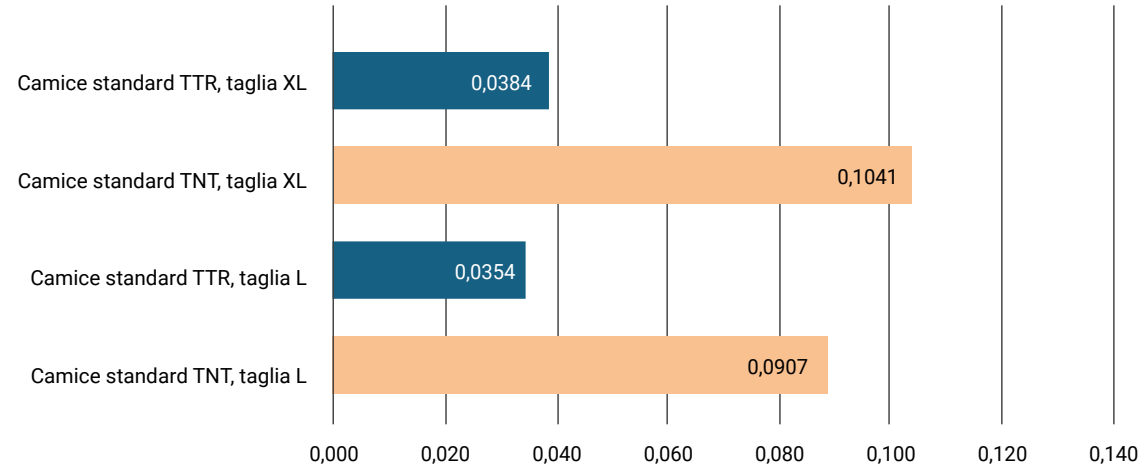
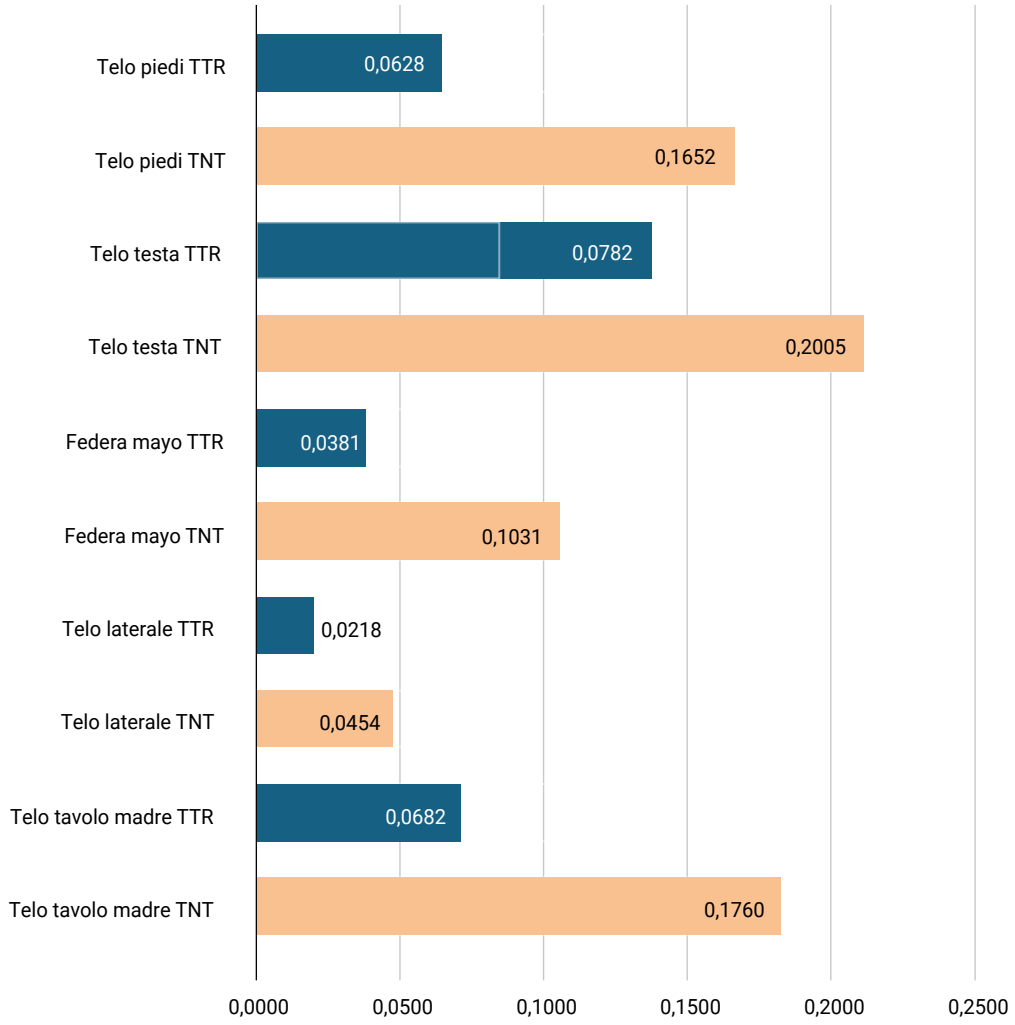


FIGURA 19
Confronto dell'Impatto sulla Formazione di Ozono Fotochimico dei Teli per tipo (kg NMVOC eq./pezzo)



4.1.4. Uso delle risorse fossili

FIGURA 20
Confronto dell'Impatto sull'Uso delle Risorse Fossili dei Camici Rinforzati TNT e TTR per taglia (MJ/pezzo)

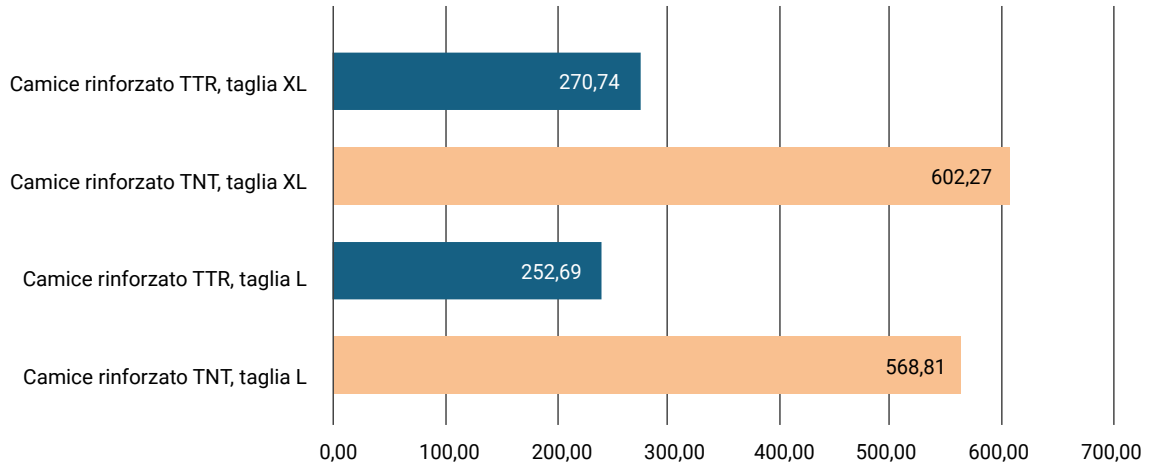


FIGURA 21
Confronto dell'Impatto sull'Uso delle Risorse Fossili dei Camici Standard TNT e TTR per taglia (MJ/pezzo)

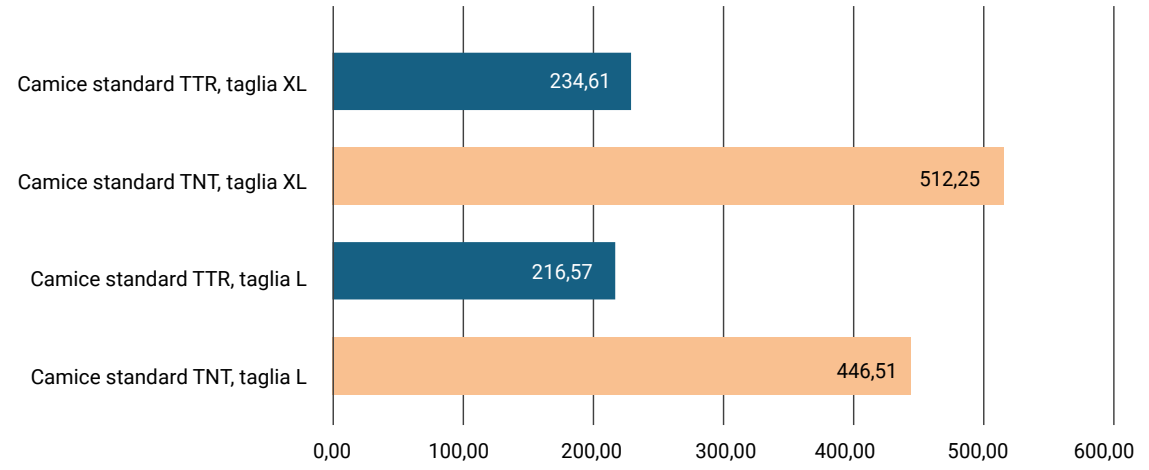
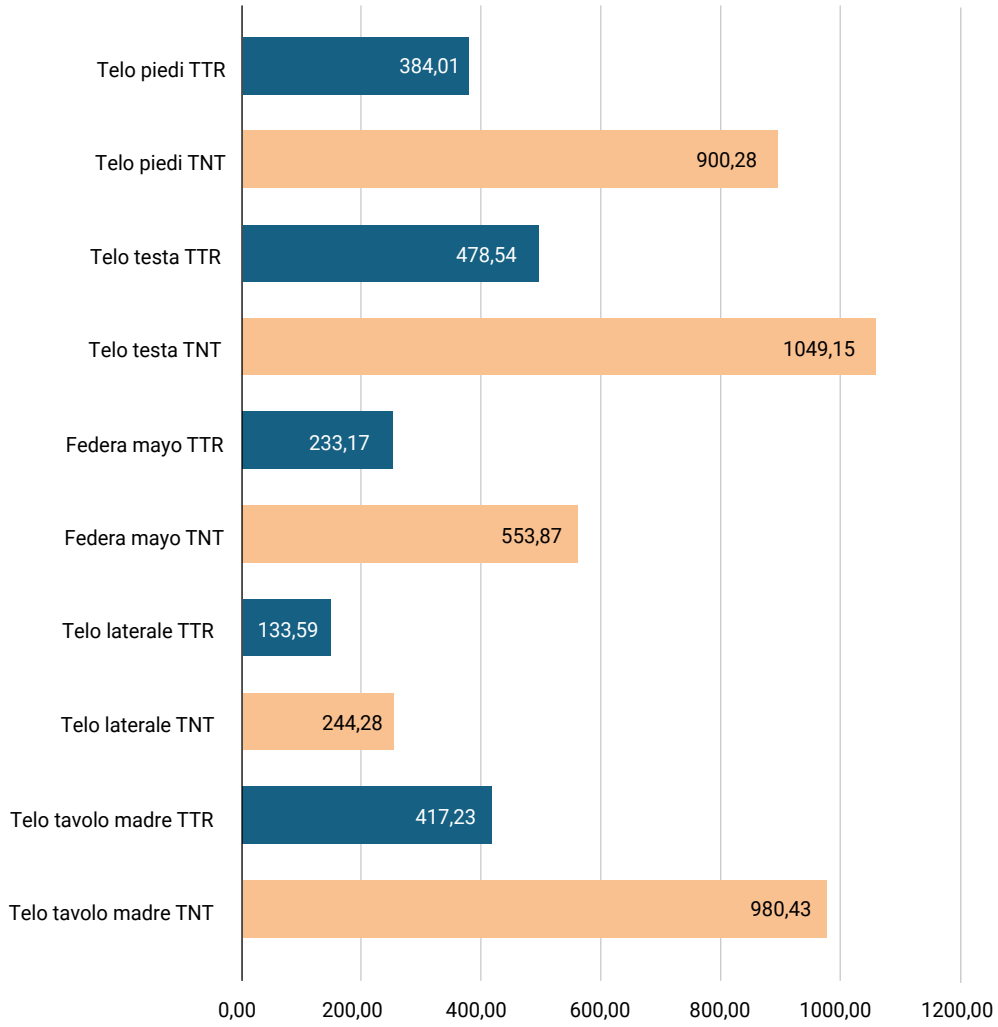


FIGURA 22
Confronto dell'Impatto sull'Uso delle Risorse Fossili dei Teli per tipo (MJ/pezzo)



4.1.5. Risultati per fase del ciclo di vita

Per analizzare tutti i contributi dei vari processi che concorrono a determinare i valori di impatto testé riportati, sono state separate le diverse macrofasi del ciclo di vita. I contributi, mostrati di seguito (dalla Tabella 19 alla Tabella 30), mostrano in generale che per i prodotti monouso, ciò che contribuisce maggiormente è la realizzazione dei prodotti, che si ripete nell'analisi tante volte quante l'articolo riutilizzabile viene lavato e sterilizzato; per alcune categorie di impatto, anche il fine vita, considerato a incenerimento, ha un'incidenza rilevante dell'ordine del 30-40%. Nel caso dei prodotti riutilizzabili, la fase con maggiore incidenza è quella di lavaggio, in relazione agli impatti ambientali di ogni ciclo di lavaggio; per diversi indicatori, i trasporti da e per i clienti ricoprono un ruolo significativo, mentre il fine vita (qui mostrato nel caso peggiorativo di avvio a discarica) presenta valori anche relativi al 3% nel caso dei Cambiamenti Climatici. Gli scenari di fine vita analizzati per il prodotto riutilizzabile mostrano riduzioni degli impatti che aumentano spostandosi dalla situazione peggiorativa (avvio a discarica) a quella maggiormente vantaggiosa; si riportano di seguito i risultati confrontati rispetto all'indicatore Cambia-

menti Climatici: nel caso ad esempio del camice rinforzato, se l'articolo riutilizzabile viene avviato a discarica, si ha una riduzione dell'impatto di 3 punti percentuali minore rispetto allo scenario di riciclo meccanico; la bassa variabilità fra i valori è legata al fatto che, per i prodotti in TTR, la fase di fine vita ha un peso molto ridotto rispetto alla fase di lavaggio e consegna (si vedano le tabelle che seguono).

TABELLA 18
Confronto tra scenari di fine vita del TTR per l'indicatore Cambiamenti Climatici

Articolo	TNT – monouso	TTR – riutilizzabile 1 pz			
	60 pz	TTR E-o-L riciclo meccanico	TTR E-o-L riciclo chimico	TTR E-o-L incenerimento	TTR E-o-L discarica
Camice sterile rinforzato, taglia L	21,61	13,78	14,00	14,03	14,49
Camice sterile rinforzato, taglia XL	22,86	14,76	15,00	15,04	15,53
Camice sterile standard, taglia L	17,63	11,81	12,00	12,03	12,42
Camice sterile standard, taglia XL	20,19	12,79	13,00	13,03	13,45
Telo tavolo madre	35,26	22,75	23,12	23,17	23,93
Telo laterale	9,90	7,29	7,40	7,42	7,66
Federa	20,59	12,71	12,92	12,95	13,37
Telo testa	38,92	26,09	26,51	26,58	27,44
Telo piedi	33,17	20,94	21,28	21,33	22,02

E-o-L: *end-of-life*, ovvero fine vita.

TABELLA 19
Risultati per fase del ciclo di vita, camice rinforzato taglia L (MONOUSO)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Sterilizzazione	Trasporto ai clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	71,2%	0,9%	0,8%	27,0%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	68,8%	1,2%	1,1%	28,9%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	99,6%	0,1%	0,2%	0,1%
Particolato	disease inc.	87,7%	2,7%	0,5%	9,1%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	76,1%	1,7%	0,7%	21,4%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	80,0%	<0,01%	0,6%	19,3%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	74,7%	1,8%	0,8%	22,7%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	39,6%	0,2%	1,0%	59,2%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	83,0%	2,8%	1,0%	13,2%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	59,8%	0,1%	0,4%	39,7%
Uso del suolo	Pt	61,5%	<0,01%	0,5%	38,1%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	26,1%	0,1%	0,1%	73,8%
Formazione di ozono fotochimico	kg NMVOC eq	77,1%	1,4%	0,7%	20,7%
Uso delle risorse, fossili	MJ	75,0%	0,8%	0,8%	23,5%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	24,8%	0,1%	<0,01%	75,1%
Scarsità idrica	m3 depriv.	57,2%	<0,01%	0,6%	42,1%

TABELLA 20
Risultati per fase del ciclo di vita, camice rinforzato taglia L (RIUTILIZZABILE, caso peggiorativo: fine vita a discarica)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Trasporto alla lavanderia	Lavaggio e sterilizzazione	Ritiro e consegna clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	0,7%	0,2%	82,6%	16,4%	0,1%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	0,4%	0,1%	84,8%	12,2%	2,4%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	0,9%	<0,01%	96,9%	2,2%	<0,01%
Particolato	disease inc.	0,6%	0,5%	66,2%	32,4%	0,3%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	0,5%	0,2%	79,1%	20,0%	0,2%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	0,5%	<0,01%	98,8%	0,7%	<0,01%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	0,5%	0,3%	76,1%	22,9%	0,2%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	0,9%	<0,01%	96,5%	2,6%	<0,01%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	0,6%	0,3%	75,4%	22,0%	1,7%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	0,9%	<0,01%	96,4%	2,6%	<0,01%
Uso del suolo	Pt	<0,01%	<0,01%	99,6%	0,1%	0,2%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	13,8%	0,1%	79,8%	6,3%	<0,01%
Formazione di ozono fotochimico	kg NMVOC eq	0,6%	0,2%	81,7%	17,1%	0,4%
Uso delle risorse, fossili	MJ	0,5%	0,1%	90,3%	9,1%	<0,01%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	4,0%	0,1%	86,8%	9,1%	0,1%
Scarsità idrica	m3 depriv.	0,1%	<0,01%	99,8%	0,1%	<0,01%

TABELLA 21
Risultati per fase del ciclo di vita, camice standard taglia L (MONOUSO)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Sterilizza zione	Trasporto ai clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	72,2%	0,9%	1,1%	25,8%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	69,6%	1,2%	1,4%	27,8%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	99,6%	0,1%	0,2%	0,1%
Particolato	disease inc.	88,5%	2,5%	0,6%	8,4%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	77,4%	1,6%	0,9%	20,1%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	79,8%	0,0%	0,8%	19,3%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	75,8%	1,7%	1,0%	21,5%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	41,3%	0,1%	1,3%	57,3%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	84,3%	2,5%	1,2%	12,0%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	55,1%	0,1%	0,6%	44,3%
Uso del suolo	Pt	66,2%	<0,01%	0,5%	33,2%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	51,5%	<0,01%	0,1%	48,4%
Formazione di ozono-fotochimico	kg NMVOC eq	78,3%	1,4%	0,9%	19,5%
Uso delle risorse, fossili	MJ	75,4%	0,7%	1,0%	22,9%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	32,0%	0,1%	<0,01%	67,9%
Scarsità idrica	m3 depriv.	56,2%	<0,01%	0,9%	42,9%

TABELLA 22
Risultati per fase del ciclo di vita, camice standard taglia L (RIUTILIZZABILE, caso peggiorativo: fine vita a discarica)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Trasporto alla lavanderia	Lavaggio e sterilizza-zione	Ritiro e consegna clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	0,7%	0,2%	82,6%	16,4%	0,1%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	0,4%	0,1%	84,8%	12,2%	2,4%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	0,5%	<0,01%	97,3%	2,2%	<0,01%
Particolato	disease inc.	0,6%	0,5%	66,3%	32,4%	0,3%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	0,5%	0,2%	79,1%	20,0%	0,2%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	0,5%	<0,01%	98,8%	0,7%	<0,01%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	0,5%	0,3%	76,1%	22,9%	0,2%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	0,3%	<0,01%	97,1%	2,6%	<0,01%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	0,6%	0,3%	75,4%	22,0%	1,7%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	0,9%	<0,01%	96,5%	2,6%	<0,01%
Uso del suolo	Pt	<0,01%	<0,01%	99,7%	0,1%	0,2%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	15,7%	0,1%	78,1%	6,2%	<0,01%
Formazione di ozono-fotochimico	kg NMVOC eq	0,6%	0,2%	81,7%	17,1%	0,4%
Uso delle risorse, fossili	MJ	0,4%	0,1%	90,3%	9,1%	<0,01%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	2,9%	0,1%	87,7%	9,2%	0,1%
Scarsità idrica	m3 depriv.	<0,01%	<0,01%	100,0%	0,1%	<0,01%

TABELLA 23
Risultati per fase del ciclo di vita, telo tavolo madre (MONOUSO)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Sterilizzazione	Trasporto ai clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	69,8%	1,0%	0,5%	28,7%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	67,9%	1,3%	0,6%	30,2%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	99,7%	0,1%	0,1%	0,1%
Particolato	disease inc.	87,1%	2,9%	0,3%	9,7%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	74,9%	1,8%	0,4%	22,9%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	79,7%	<0,01%	0,4%	19,9%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	73,1%	2,0%	0,5%	24,5%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	53,2%	0,1%	0,4%	46,2%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	83,3%	2,8%	0,5%	13,4%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	60,1%	0,1%	0,2%	39,6%
Uso del suolo	Pt	71,2%	<0,01%	0,2%	28,6%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	10,0%	0,1%	<0,01%	89,8%
Formazione di ozono-fotochimico	kg NMVOC eq	75,8%	1,6%	0,4%	22,2%
Uso delle risorse, fossili	MJ	74,6%	0,8%	0,4%	24,1%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	30,4%	0,1%	<0,01%	69,5%
Scarsità idrica	m3 depriv.	61,4%	<0,01%	0,3%	38,3%

TABELLA 24
Risultati per fase del ciclo di vita, telo tavolo madre (RIUTILIZZABILE, caso peggiorativo: fine vita a discarica)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Trasporto alla lavanderia	Lavaggio e sterilizza_ zione	Ritiro e consegna clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	0,7%	0,2%	82,6%	16,4%	0,1%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	0,4%	0,1%	84,8%	12,2%	2,4%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	0,7%	<0,01%	97,1%	2,2%	<0,01%
Particolato	disease inc.	0,6%	0,5%	66,3%	32,4%	0,3%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	0,6%	0,2%	79,0%	20,0%	0,2%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	0,5%	<0,01%	98,7%	0,7%	<0,01%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	0,6%	0,3%	76,1%	22,9%	0,2%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	0,6%	<0,01%	96,8%	2,6%	<0,01%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	0,6%	0,3%	75,4%	22,0%	1,7%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	0,9%	<0,01%	96,4%	2,6%	<0,01%
Uso del suolo	Pt	0,1%	<0,01%	99,6%	0,1%	0,2%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	14,5%	0,1%	79,2%	6,2%	<0,01%
Formazione di ozono-fotochimico	kg NMVOC eq	0,6%	0,2%	81,7%	17,1%	0,4%
Uso delle risorse, fossili	MJ	0,4%	0,1%	90,3%	9,1%	<0,01%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	3,4%	0,1%	87,3%	9,2%	0,1%
Scarsità idrica	m3 depriv.	<0,01%	<0,01%	99,9%	0,1%	<0,01%

TABELLA 25
Risultati per fase del ciclo di vita, federa (MONOUSO)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Sterilizza-zione	Trasporto ai clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	69,7%	1,0%	0,9%	28,4%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	67,9%	1,3%	1,1%	29,8%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	99,7%	0,1%	0,1%	0,1%
Particolato	disease inc.	87,3%	2,8%	0,5%	9,4%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	75,3%	1,8%	0,8%	22,2%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	78,5%	<0,01%	0,7%	20,8%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	73,5%	1,9%	0,8%	23,8%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	60,8%	0,1%	0,6%	38,4%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	83,9%	2,6%	0,9%	12,6%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	54,0%	0,1%	0,5%	45,4%
Uso del suolo	Pt	73,8%	<0,01%	0,3%	25,8%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	13,5%	0,1%	0,1%	86,3%
Formazione di ozono-fotochimico	kg NMVOC eq	76,0%	1,5%	0,7%	21,7%
Uso delle risorse, fossili	MJ	74,3%	0,8%	0,8%	24,1%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	37,7%	0,1%	<0,01%	62,2%
Scarsità idrica	m3 depriv.	61,2%	<0,01%	0,6%	38,2%

TABELLA 26
Risultati per fase del ciclo di vita, federa (RIUTILIZZABILE, caso peggiorativo: fine vita a discarica)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Trasporto alla lavanderia	Lavaggio e sterilizza-zione	Ritiro e consegna clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	0,7%	0,2%	82,6%	16,4%	0,1%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	0,4%	0,1%	84,8%	12,2%	2,4%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	0,7%	<0,01%	97,0%	2,2%	<0,01%
Particolato	disease inc.	0,6%	0,5%	66,2%	32,4%	0,3%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	0,6%	0,2%	79,0%	20,0%	0,2%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	0,5%	<0,01%	98,7%	0,7%	<0,01%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	0,6%	0,3%	76,1%	22,9%	0,2%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	0,6%	<0,01%	96,8%	2,6%	<0,01%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	0,6%	0,3%	75,4%	22,0%	1,7%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	0,9%	<0,01%	96,4%	2,6%	<0,01%
Uso del suolo	Pt	0,1%	<0,01%	99,6%	0,1%	0,2%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	14,6%	0,1%	79,1%	6,2%	<0,01%
Formazione di ozono-fotochimico	kg NMVOC eq	0,6%	0,2%	81,7%	17,1%	0,4%
Uso delle risorse, fossili	MJ	0,4%	0,1%	90,3%	9,1%	<0,01%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	3,4%	0,1%	87,2%	9,2%	0,1%
Scarsità idrica	m3 depriv.	0,1%	<0,01%	99,9%	0,1%	<0,01%

TABELLA 27
Risultati per fase del ciclo di vita, telo laterale (MONOUSO)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Sterilizza-zione	Trasporto ai clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	72,3%	0,8%	2,0%	24,8%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	69,8%	1,1%	2,7%	26,4%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	99,6%	0,1%	0,2%	0,1%
Particolato	disease inc.	88,0%	2,5%	1,3%	8,3%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	78,0%	1,5%	1,8%	18,7%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	81,9%	<0,01%	1,4%	16,6%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	75,8%	1,7%	1,9%	20,6%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	75,1%	0,1%	1,1%	23,8%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	86,9%	1,9%	1,8%	9,3%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	63,3%	0,1%	1,0%	35,7%
Uso del suolo	Pt	83,3%	<0,01%	0,5%	16,2%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	24,1%	0,1%	0,2%	75,6%
Formazione di ozono-fotochimico	kg NMVOC eq	77,4%	1,4%	1,8%	19,5%
Uso delle risorse, fossili	MJ	75,6%	0,7%	1,9%	21,8%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	54,0%	0,1%	<0,01%	46,0%
Scarsità idrica	m3 depriv.	65,7%	<0,01%	1,3%	32,9%

TABELLA 28
Risultati per fase del ciclo di vita, telo laterale (RIUTILIZZABILE, caso peggiorativo: fine vita a discarica)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Trasporto alla lavanderia	Lavaggio e sterilizza-zione	Ritiro e consegna clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	0,8%	0,2%	82,5%	16,3%	0,1%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	0,5%	0,1%	84,8%	12,2%	2,4%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	1,0%	<0,01%	96,7%	2,2%	<0,01%
Particolato	disease inc.	0,7%	0,5%	66,1%	32,3%	0,3%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	1,0%	0,2%	78,7%	19,9%	0,2%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	0,7%	<0,01%	98,5%	0,7%	<0,01%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	0,8%	0,3%	76,0%	22,8%	0,2%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	0,9%	<0,01%	96,5%	2,6%	<0,01%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	0,8%	0,3%	75,2%	22,0%	1,7%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	1,1%	<0,01%	96,3%	2,6%	<0,01%
Uso del suolo	Pt	0,4%	<0,01%	99,3%	0,1%	0,2%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	14,2%	0,1%	79,5%	6,3%	<0,01%
Formazione di ozono fotochimico	kg NMVOC eq	0,6%	0,2%	81,7%	17,1%	0,4%
Uso delle risorse, fossili	MJ	0,5%	0,1%	90,2%	9,1%	<0,01%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	4,0%	0,1%	86,7%	9,1%	0,1%
Scarsità idrica	m3 depriv.	0,2%	<0,01%	99,8%	0,1%	<0,01%

TABELLA 29
Risultati per fase del ciclo di vita, telo piedi (MONOUSO)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Sterilizza-zione	Trasporto ai clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	70,5%	0,9%	0,5%	28,0%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	68,3%	1,3%	0,7%	29,8%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	99,7%	0,1%	0,1%	0,1%
Particolato	disease inc.	87,5%	2,8%	0,3%	9,4%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	75,6%	1,8%	0,5%	22,1%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	79,9%	<0,01%	0,4%	19,6%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	74,0%	1,9%	0,5%	23,7%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	55,4%	0,1%	0,4%	44,1%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	83,8%	2,7%	0,6%	12,9%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	59,5%	0,1%	0,3%	40,1%
Uso del suolo	Pt	70,1%	<0,01%	0,2%	29,7%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	10,9%	0,1%	<0,01%	89,0%
Formazione di ozono-fotochimico	kg NMVOC eq	76,2%	1,5%	0,5%	21,8%
Uso delle risorse, fossili	MJ	74,7%	0,8%	0,5%	24,0%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	33,1%	0,1%	<0,01%	66,8%
Scarsità idrica	m3 depriv.	59,6%	<0,01%	0,4%	40,0%

TABELLA 30
Risultati per fase del ciclo di vita, telo piedi (RIUTILIZZABILE, caso peggiorativo: fine vita a discarica)

Categoria di impatto	Unità	Produzione dell'articolo e del suo imballaggio	Trasporto alla lavanderia	Lavaggio e sterilizza-zione	Ritiro e consegna clienti	Fine vita
Acidificazione	mol H+ eq	0,7%	0,2%	82,6%	16,4%	0,1%
Cambiamenti climatici	kg CO_2 eq	0,4%	0,1%	84,8%	12,2%	2,4%
Ecotossicità, acqua dolce	CTUe	0,6%	<0,01%	97,1%	2,2%	<0,01%
Particolato	disease inc.	0,6%	0,5%	66,3%	32,4%	0,3%
Eutrofizzazione, marina	kg N eq	0,6%	0,2%	79,0%	20,0%	0,2%
Eutrofizzazione, acqua dolce	kg P eq	0,5%	<0,01%	98,8%	0,7%	<0,01%
Eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	0,6%	0,3%	76,1%	22,9%	0,2%
Tossicità umana, effetti cancerogeni	CTUh	0,5%	<0,01%	96,9%	2,6%	<0,01%
Tossicità umana, effetti non cancerogeni	CTUh	0,6%	0,3%	75,4%	22,0%	1,7%
Radiazione ionizzante	kBq U-235 eq	0,9%	<0,01%	96,5%	2,6%	<0,01%
Uso del suolo	Pt	0,1%	<0,01%	99,6%	0,1%	0,2%
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC11 eq	14,9%	0,1%	78,8%	6,2%	<0,01%
Formazione di ozono-fotochimico	kg NMVOC eq	0,6%	0,2%	81,7%	17,1%	0,4%
Uso delle risorse, fossili	MJ	0,4%	0,1%	90,3%	9,1%	<0,01%
Uso delle risorse, minerali e metalli	kg Sb eq	3,2%	0,1%	87,4%	9,2%	0,1%
Scarsità idrica	m3 depriv.	<0,01%	<0,01%	99,9%	0,1%	<0,01%

4.2. Impatto dei costi

Sulla base dei dati esposti in precedenza, che permettono di valutare sia i costi che le entrate (ricavi) che possono derivare dalle operazioni valutate nel ciclo di vita, si possono mettere a confronto i diversi capi (pezzi) che compongono il set di camici e teli utilizzati dalle sale operatorie.

Le componenti di costo e ricavo analizzate sono le seguenti:

- i costi per l'acquisto dei capi (tessuti), che per i TTR vengono sostenuti dalle lavanderie e che per i TNT dalle aziende sanitarie;
- i costi per il servizio di noleggio, lavaggio e sterilizzazione che costituiscono il valore venduto del servizio da parte delle lavanderie e sostenuto dalle aziende sanitarie;
- i costi di smaltimento (per i diversi scenari oggetto di studio, che comprendono anche varie forme di trattamento per l'avvio al riciclo); in questo caso il valore esposto rappresenta il reddito netto derivante dalle diverse operazioni utilizzando il metodo del ciclo di vita:

- per l'incenerimento, si considera il costo del trasporto, del trattamento, i ricavi dalla vendita di energia elettrica e calore; come per l'analisi LCA, l'unico scenario per il trattamento dei TNT ipotizzato è l'incenerimento con recupero di energia;
- per la discarica, il costo del trasporto e gestione dello smaltimento;
- per il riciclo meccanico, il costo del trasporto, trattamento, il vantaggio economico derivante dal risparmio di risorse per la sostituzione di materie prime vergini con la quota di riciclato (si considera per i TTR la componente risparmiata di polistirene vergine, assimilandola al PET);
- per il riciclo chimico (si assume la tecnologia di pirolisi), il costo del trasporto, trattamento, il vantaggio economico per il risparmio di risorse, come per il riciclo meccanico;

> il beneficio (in termini di mancati costi) derivante dal risparmio di materie prime per produrre nuovi TNT che derivano dalla scelta di utilizzare il servizio di noleggio, lavaggio e sterilizzazione dei TTR, avendo questi ultimi un ciclo di vita più lungo dei TNT.

Va detto che una delle limitazioni dello studio è legata allo scenario del riciclo chimico, che, per la fonte di letteratura utilizzata (uno studio effettuato da JRC dell'Unione Europea, vedi bibliografia), rappresenta una tecnologia costosa (soprattutto in termini di capitale investito), quindi con un risultato netto non positivo. Trattandosi però di una tecnologia in rapida evoluzione ed essendo disponibili valide alternative rispetto a quella ipotizzata (pirolisi), come ad esempio la pirolisi associata alla gassificazione e tecnologie che utilizzano la dissoluzione, glicolisi e metanolisi, si stanno conducendo analisi e ricerche che mostrano risultati netti positivi (in letteratura da 0,5 a 1 euro/kg trattato) che possono cambiare sensibilmente il risultato dello scenario ipotizzato. Ai fini del presente studio, però, si è preferito assumere lo scenario più prudenziale.

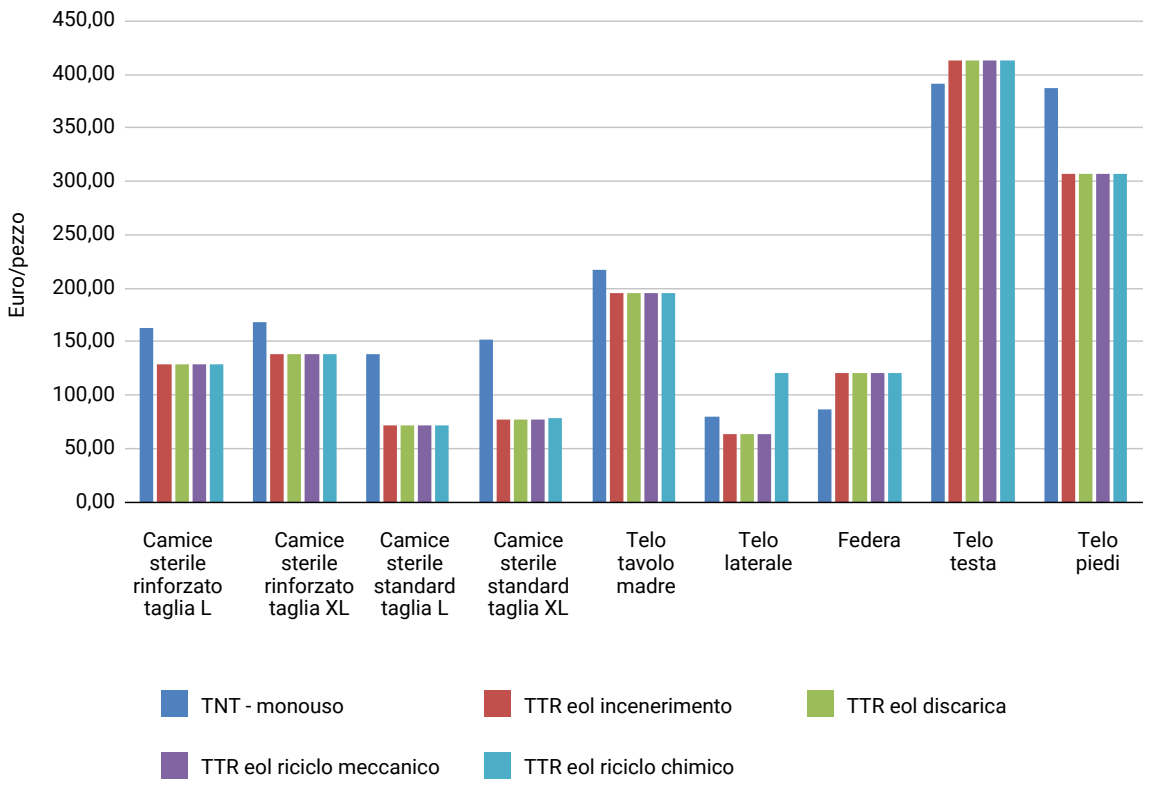
IMPORTANTE. Nella lettura dei valori, va tenuto presente che il confronto viene effettuato, come nell'analisi LCA, in relazione alla funzione che deve svolgere l'articolo, che corrisponde al numero di trattamenti di lavaggio e sterilizzazione dei TTR ipotizzata per tutti gli scenari del presente studio. Quindi per garantire la stessa prestazione di 1 articolo (pezzo) in TTR, vengono utilizzati 60 articoli (pezzi) di TNT (unità funzionale - UF).

Nella Tabella 31 e nella Figura 23 si presentano i confronti relativi al costo totale nel ciclo di vita per i diversi capi oggetto dell'analisi. Come detto in precedenza, lo scenario di fine vita (end of life, eol) per il TNT è l'incenerimento, mentre per il TTR vengono considerati i quattro scenari alternativi (incenerimento, discarica, riciclo meccanico, riciclo chimico). Come si può notare la comparazione mostra differenze significative, variabili tra il 20% e il 50%, per alcuni articoli, un risultato positivo. Un ulteriore aspetto è che il valore totale non mostra differenze significative per i quattro scenari di fine vita. Come vedremo più avanti, questo dipende dai benefici importanti che derivano dal risparmio di risorse (minori costi per l'acquisto di materie prime vergini per produrre TNT) connesso al servizio di noleggio, lavaggio e sterilizzazione dei TTR.

TABELLA 31
Costi totali nel ciclo di vita, confronto monouso e riutilizzabile – Euro/UF

Articolo	TNTmonouso 60 pz	TTR – 1 pz riutilizzato per 60 cicli			
		TTR eol incenerimento	TTR eol discarica	TTR eol riciclo meccanico	TTR eol riciclo chimico
Camice sterile rinforzato, taglia L	162,91	128,64	128,61	128,49	128,68
Camice sterile rinforzato, taglia XL	168,69	137,94	137,90	137,78	137,98
Camice sterile standard, taglia L	137,64	72,05	72,02	71,92	72,08
Camice sterile standard, taglia XL	151,17	77,59	77,56	77,45	77,63
Telo tavolo madre	217,21	195,34	195,29	195,09	195,41
Telo laterale	80,13	63,66	63,64	63,58	120,16
Federa	85,83	120,13	120,10	119,99	120,16
Telo testa	391,13	413,09	413,03	412,80	413,16
Telo piedi	387,79	307,34	307,29	307,11	307,40

FIGURA 23
Confronto nei costi del ciclo di vita tra articoli monouso e riutilizzabili – Euro/UF



Nelle tabelle che seguono si presentano i confronti considerando i costi nelle diverse fasi del ciclo di vita. Nella Tabella 32 si considerano i costi per i TNT, che riguardano le sole fasi della produzione del tessuto e la gestione del fine vita (scenario incenerimento).

Nella Tabella 33 si riportano i costi per i TTR che comprendono la realizzazione del tessuto, il servizio di noleggio, lavaggio e sterilizzazione e i 4 scenari alternativi per il fine vita. L'ultima colonna riporta la stima dei risparmi che vengono conteggiati a favore dei TTR dovuti al mancato costo di produzione delle materie prime per i TNT che vengono sostituiti con il prodotto riutilizzabile.

TABELLA 32
Analisi dei costi nel ciclo di vita dei TNT monouso suddivise per fasi del ciclo di vita – Euro/UF (60 pz)

Articolo	Realizzazione del prodotto in tessuto	Fine vita	Risparmio nell'uso delle risorse
Camice sterile rinforzato, taglia L	154,14	8,77	0
Camice sterile rinforzato, taglia XL	159,39	9,30	0
Camice sterile standard, taglia L	137,97	6,55	0
Camice sterile standard, taglia XL	143,64	7,53	0
Telo tavolo madre	201,30	15,91	0
Telo laterale	76,86	3,27	0
Federa	76,86	8,97	0
Telo testa	373,32	17,81	0
Telo piedi	373,32	14,47	0

TABELLA 33
Analisi dei costi nel ciclo di vita TTR riutilizzabili – Euro/UF

Articolo	Costo medio della materia prima sul costo del servizio - valore %	Costo del servizio prima del fine vita	Fine vita Scenario incenerimento	Fine vita Scenario discarica	Fine vita Scenario riciclo meccanico	Fine vita Scenario riciclo chimico	Risparmio nell'uso delle risorse
Camice sterile rinforzato, taglia L	21%	137,76	0,10	0,07	-0,05	0,14	-9,22
Camice sterile rinforzato, taglia XL	21%	147,60	0,11	0,07	-0,06	0,15	-9,77
Camice sterile standard, taglia L	21%	78,84	0,09	0,06	-0,05	0,12	-6,88
Camice sterile standard, taglia XL	21%	85,41	0,09	0,06	-0,05	0,13	-7,91
Telo tavolo madre	22%	211,89	0,16	0,11	-0,09	0,23	-16,72
Telo laterale	37%	67,04	0,05	0,04	-0,03	0,07	-3,44
Federa	12%	129,46	0,09	0,06	-0,05	0,13	-9,42
Telo testa	28%	431,61	0,19	0,13	-0,10	0,26	-18,71
Telo piedi	27%	322,39	0,15	0,10	-0,08	0,21	-15,20

La differenza di valore tra i diversi articoli dipende dalla diversa dimensione e peso medio che sono stati presi in considerazione ai fini del presente studio. I risultati mostrano anche come gli scenari relativi al fine vita mettono in evidenza un maggiore beneficio nella soluzione di riciclo meccanico. Il riciclo chimico risulta il più costoso, tenendo però presenti le assunzioni descritte in precedenza rispetto a questo scenario.

Dai risultati complessivi si evidenzia come l'analisi dei costi nel ciclo di vita presenti risultati migliori per i TTR rispetto ai TNT per tutti i capi che compongono il set a disposizione delle sale operatorie.

Considerando le esternalità generate dai processi oggetto di analisi, vanno evidenziati due effetti, che, come detto in precedenza, non sono state inserite nei calcoli precedenti, per evitare di effettuare un doppio conteggio.

I teli presentano un valore del servizio (€/kg) più elevato rispetto agli altri articoli. Questo risultato è dovuto principalmente al peso medio inferiore dei teli rispetto al loro prezzo unitario (€/pz), che fa aumentare il valore rapportato al chilogrammo. Inoltre, i teli richiedono processi di lavaggio e sterilizzazione più intensi e dispendiosi, a causa delle dimensioni maggiori e della tipologia di utilizzo in sala operatoria.

Pertanto, il valore del servizio risulta proporzionalmente più alto, riflettendo sia il costo operativo del trattamento sia la valorizzazione del materiale rispetto al peso effettivo.

4.2.1. La valutazione con il metodo degli eco-costi

Gli impatti ambientali delle due soluzioni oggetto dell'analisi comparativa generano degli effetti ambientali che possono essere oggetto di valutazione economica in funzione dei probabili danni e riduzione della qualità dell'ambiente; sono disponibili delle metodologie che per mettono di effettuare questo tipo di valutazione, come ad esempio il metodo degli eco-costi (*Delft University Technology, Sustainability Impact Metrics, www.ecocostvalue.com*), che può essere associato alle analisi LCA. Il metodo si fonda sulla stima dei costi che vengono sostenuti per riparare i danni ambientali generati dall'inquinamento, e può essere utilizzato per effettuare una valutazione monetaria dell'effetto ambientale applicata nei parametri per confrontare prodotti o servizi nelle gare di appalto pubbliche.

Per dare un ordine di grandezza nel caso in esame, considerando un camice standard di taglia XL, la differenza per l'indicatore cambiamento climatico (GWP) tra le due soluzioni (vedi par 4.1.1) è pari a 14,51 kgCO_2eq (emissioni di gas serra aggiuntivi attribuibili ai TNT). Si stima che il valore medio di un kg di CO_2eq si possa variare da un minimo di 0,06 Euro/kg (rif. quotazione media della CO_2 sul mercato di scambio obbligatorio delle quote ETS in Europa) e un massimo di 0,09 Euro/kg (quotazione definita in ambito europeo nel manuale di valutazione costi-benefici delle opere pubbliche). Ipotizzando che questi valori siano un'approssimazione accettabile dei costi necessari per prevenire (misure di mitigazione, ad esempio i costi per realizzare impianti di produzione elettrica con energie rinnovabili) oppure riparare i danni derivanti dagli effetti del cambiamento climatico (misure di adattamento), il costo ambientale (esternalità) del camice standard in TNT potrebbe avere un valore che oscilla tra un minimo di 0,87 Euro/pezzo ed un massimo di 1,3 Euro/pezzo.

Valutazioni simili posso essere effettuate anche per gli altri impatti ambientali che sono stati presentati nel paragrafo 4.1.1.

4.2.2. La valutazione dei costi sociali nel ciclo di vita

Il metodo LCC utilizzato, che utilizza il sistema di valutazione dei costi diretti (convenzionali) e indiretti (ambientali) ai fini della comparazione tra i diversi tipi di tessuto utilizzato, non considera altre tipologie di costo che potrebbero essere associate ai servizi oggetto di analisi. Un costo che potreb-

be essere rilevante è quello relativo alla fase di uso dei prodotti. Anche in questo caso, come per le esternalità ambientali, il valore sociale dell'impatto viene attribuito ad un'attività aggiuntiva che la scelta dei TNT richiede, cioè le operazioni che devono essere effettuate dal personale o dagli incaricati delle strutture sanitarie per avviare a smaltimento questi tessuti a fine vita. Non sono disponibili molti studi su questo aspetto, ma un'analisi effettuata da un'azienda che fornisce prodotti e tecnologie per il lavaggio industriale (Steven J. Tinker, 2022), ha effettuato delle stime comparative tra i costi sostenuti in alcune strutture sanitarie. Tra le valutazioni è presente il risparmio derivante dalle mancate operazioni di gestione del fine vita presso gli ospedali (anno 2020) nel caso si fosse scelto il tessuto riutilizzabile, stimato in circa 30 cent$/ASD (paziente_giorno, valore aggiustato). Attualizzando il valore al 2023 e utilizzando il cambio con l'euro, si tratterebbe di circa 0,33 Euro/ASD. Anche in questo caso si tratterebbe di un valore approssimato del mancato costo sociale (in termini di minori costi di lavoro associati al numero dei pazienti) nel caso si utilizzassero i tessuti riutilizzabili.

5. Interpretazione del ciclo di vita

In uno studio di LCA, l'analisi dei contributi e quindi l'interpretazione del ciclo di vita ha lo scopo di evidenziare le criticità del ciclo di vita in esame e, in questo studio in particolare, le fasi che dal punto di vista ambientale ed economico che contribuiscono in misura maggiore agli impatti complessivi degli articoli monouso o riutilizzabili. Il fine ultimo di tale analisi è l'individuazione dello scenario sul quale deve essere posta maggiore attenzione e su quello preferibile sia dal punto di vista ambientale che dei costi. 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 e sono utili anche per valutare scenari alternativi. Le considerazioni riportate nei paragrafi seguenti si riferiscono all'unità funzionale.

5.1. Analisi di sensibilità

Sono state effettuate quattro analisi di sensibilità relativamente alla variazione degli impatti ambientali in funzione delle caratteristiche dei tessuti oggetto di analisi e dell'imballaggio usato per il ritiro e la consegna da parte delle lavanderie; in particolare, sono state fatte le seguenti ipotesi:

- Incidenza della membrana di PU o PTFE nei camici rinforzati
- Considerazione dell'eventuale contenuto di riciclato
- Variazione della vita utile
- Utilizzo di imballaggi riciclati

Come indicato nell'analisi dell'inventario, il camice rinforzato rappresentativo per il ciclo di vita del tessuto tecnico riutilizzabile (TTR) è stato modellizzato con una composizione che rappresentasse per metà dei casi la membrana in poliuretano, per l'altra metà in PTFE (scenario base, che equivale al fine vita peggiorativo dell'avvio a discarica). In generale, l'analisi di incidenza mostra che, in un caso limite o nell'altro, gli impatti ambientali nelle principali categorie di impatto non variano in modo significativo:

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 34
Incidenza scelta della membrana nel trilaminato.

	Scenario PU	Scenario Base	Scenario PTFE
Indicatore Unico	1,0442	1,0439	1,0437
	0,02%		-0,02%
Cambiamenti climatici	14,494	14,491	14,488
	0,02%		-0,02%
Particolato	2,51E-07	2,51E-07	2,51E-07
	0,06%		-0,06%
Formazione di ozono fotochimico	0,04131	0,04131	0,04130
	0,02%		-0,02%
Uso delle risorse fossili	252,74	252,69	252,65
	0,02%		-0,02%
Scarsità idrica	15,249	15,245	15,242
	0,02%		-0,02%

Una possibile riduzione dell'impatto può derivare dalla presenza di tessuto riciclato nei prodotti: in prospettiva, c'è la possibilità che la filiera si rivolga al mercato della microfibra in poliestere recuperato. È stato analizzato questo scenario, integrando nel modello il contenuto di riciclato come da metodologia PEF (par. 4.4.8.6, Zampori e Pant, 2019), utilizzando, per la modellizzazione dei processi di recupero di materia, i processi presenti nella banca dati Ecoinvent. Se guardiamo alla riduzione dell'impatto, solo relativamente alla realizzazione dell'articolo, grazie all'impiego di riciclato si possono avere diminuzioni che vanno dal -42% (indicatore Cambiamenti Climatici) fino a un -95% (indicatore Uso di risorse minerali); i risultati dell'analisi mostrano tuttavia una riduzione minima degli impatti, dovuta alla bassa incidenza della produzione degli articoli sul ciclo di vita analizzato (minori dello 0,5% di riduzione).

TABELLA 35
Analisi di sensibilità sull'incidenza del materiale riciclato (indicatore unico).

Articolo	Riutilizzabile, scenario base	Riutilizzabile, contenuto riciclato
Camice rinforzato	1,0439 pt	1,0420 pt
		-0,18%
Camice standard	0,8945 pt	0,8926 pt
		-0,22%

La vita utile dei capi riutilizzabili deriva da diversi parametri, riferiti alle caratteristiche del tessuto oppure al diverso uso che ne viene fatto; non è raro che i capi di questa categoria vengano smarriti oppure rotti durante il ciclo di vita degli articoli, facendo sì che si riduca il numero di cicli di lavaggio a cui statisticamente si fa riferimento; è stata quindi analizzata la variazione degli impatti al variare dei cicli, da un minimo di 20 a un massimo di 100; in generale, i risultati mostrano che questa variazione porterebbe a oscillazioni dell'ordine di due o tre punti percentuali:

TABELLA 36
Analisi della variazione della vita utile

	Riduzione impatto, rispetto all'equivalente monouso		
	20 Cicli	60 Cicli	100 Cicli
Camice rinforzato TTR, taglia L	-48,4%	-51,2%	-51,6%
Camice rinforzato TTR, taglia XL	-47,7%	-50,6%	-51,0%
Camice standard TTR, taglia L	-45,0%	-47,9%	-48,3%
Camice standard TTR, taglia XL	-48,1%	-50,8%	-51,2%
Telo tavolo madre TTR	-50,5%	-53,1%	-53,5%
Telo laterale TTR	-41,6%	-45,1%	-45,5%
Federa mayo TTR	-52,1%	-54,7%	-55,1%
Telo testa TTR	-47,6%	-50,4%	-50,7%
Telo piedi TTR	-51,0%	-53,6%	-54,0%

L'utilizzo degli imballaggi in plastica rappresenta una delle sfide maggiori per questo tipo di prodotto, dal momento che la stessa sterilizzazione degli articoli richiede che gli stessi siano confezionati con l'obiettivo di ridurre al minimo la contaminazione. I volumi di plastica, in particolare polietilene, che vengono utilizzati durante tutto il ciclo di vita sono significativi; tuttavia, è in atto una discussione positiva sul possibile impiego di materiale riciclato, che andrebbe a ridurre notevolmente diversi impatti ambientali, primi fra tutti l'Uso delle risorse e il Riscaldamento Globale, particolarmente influenzati dall'utilizzo di polimeri vergini. In questo senso, è stata impostata un'analisi di sensibilità sui due articoli che, fra i camici e i teli, hanno il maggior impatto: dall'analisi emerge che, se impiegati per il servizio film plastico o buste prodotte con polietilene riciclato, l'impatto ambientale per singolo pezzo può essere ridotto di più del 30%.

TABELLA 37
Analisi sull'utilizzo di imballaggi riciclati

	Riutilizzabile, scenario base	Riutilizzabile, contenuto riciclato imballo
Camice rinforzato	0,0011 pt	0,0008 pt
		-27%
Telo testa	0,0020 pt	0,0014 pt
		-27%

5.2. Valutazione della qualità del dato

La Raccomandazione europea sulla PEF richiede di rispettare una serie di caratteristiche dei dati utilizzati per il calcolo dell'impatto del ciclo di vita che riguardano la loro capacità di soddisfare i requisiti stabiliti (ISO 14040:2006). Sulla base di questi criteri deve essere effettuata una **valutazione semi-quantitativa** della qualità dei dati complessiva del set di dati utilizzato per tutti i processi più importanti. Questa fase permette di attribuire credibilità ai risultati dello studio e aiuta a capire se sia necessario migliorare il set di dati frutto della fase di raccolta di dati.

In questo studio è stata effettuata la valutazione dei requisiti e qualità dei dati in base alla metodologia proposta dalla Commissione Europea (Raccomandazione 2021/2279), sulla base dei seguenti quattro criteri:

- rappresentatività tecnologica (TeR)
- rappresentatività geografica (GeR)
- rappresentatività temporale (TiR)
- precisione (P)

La metodologia prevede cinque diversi gradi (da eccellente a scarsa). La valutazione generale della qualità dei dati (DQR) è semi-quantitativa e si calcola sommando la valutazione raggiunta per ciascuno dei criteri di qualità, diviso per il numero totale di criteri:

DQR = (TER + GR + TiR + P) / 4

La valutazione della qualità dei dati (DQR) corrisponde ad un livello di qualità di dati definito come segue:

DQR ≤ 1,6: qualità ottima
DQR da 1,6 a 2,0: qualità molto buona
DQR da 2,0 a 3,0: qualità buona
DQR da 3,0 a 4,0: qualità soddisfacente
DQR> 4: qualità scarsa

Il punteggio di qualità è stato calcolato utilizzando i criteri della Raccomandazione PEF. La media complessiva della qualità dei dati è risultata **molto buona** (DQR pari a 1,75) per i dati specifici del contesto primario e **buona** (2,42) per i processi in background costruiti con dati generici (secondari). In generale, nel primo caso sono stati valutati tutti i dati relativi all'attività che sono stati raccolti per lo studio, nel secondo caso tutti i processi di dati utilizzati nel modello.

5.3. Valutazione della fondatezza del modello

La valutazione della fondatezza del modello è stata fatta durante lo sviluppo della LCA per analizzare la sua completezza, accuratezza, precisione e coerenza. La valutazione è servita per individuare l'esigenza di raccolta di dati aggiuntivi, per la revisione delle assunzioni fatte e in generale delle scelte metodologiche realizzate. La valutazione ha compreso i controlli di completezza, sensibilità e coerenza previsti dalla Raccomandazione 2021/2279 sulla PEF.

5.3.1. Controllo di sensibilità

Sono state fatte diverse analisi per assicurare la consistenza dei risultati dello studio. Le principali sono presentate al paragrafo 5.1.

5.3.2. Controllo di completezza

Si tratta di una procedura qualitativa che permette di garantire la completezza dell'uso delle informazioni e dei dati in ogni fase principale del ciclo di vita e la loro disponibilità per l'interpretazione. E' una verifica utile per assicurare che gli aspetti principali non siano stati tralasciati, che tutti i dati siano disponibili e completi. Il controllo è stato fatto principalmente attraverso il confronto con tutte le aziende campione, l'ente bilaterale EBLI e l'associazione di categoria Assosistema, il coinvolgimento di esperti in materia e l'analisi di studi disponibili.

Tutti i processi all'interno di ogni singola fase del ciclo di vita sono stati modellizzati in modo da rappresentare ogni situazione specifica. Sono stati verificati tutti i dati disponibili per ogni unità di processo e quelli specifici forniti direttamente da produttori degli articoli e lavanderie. Di seguito la tabella utilizzata come guida per il controllo, che prevede una valutazione del bisogno di integrare i dati con informazioni esterne (vedi risultato nell'ultima colonna).

TABELLA 38
Tabella di controllo di completezza

Fasi	Processi	Dati raccolti in campo?	Dati integrati con informazioni esterne (letteratura/database)	Dato completo?
Produzione dei tessuti	Produzione di microfibra, trilaminato, biaccoppiati, ecc.	No	Sì	Sì
Realizzazione dei prodotti	Operazioni di taglio, cucitura, orlatura, unione e altro	Sì	Sì	Sì
Trasporto produttore –lavanderia	Trasporto	Sì	No	Sì
Fase d'uso	Distribuzione (ritiro e consegna)	Sì	No	Sì
	Lavaggio del riutilizzabile	Sì	No	Sì
Fine vita	Fine vita	No	Sì	Sì

5.3.3. Controllo di coerenza

Il controllo di coerenza ha consistito in una procedura qualitativa usata per determinare se i requisiti di qualità dei dati, le assunzioni e i metodi usati sono stati coerenti con l'obiettivo e campo di applicazione dello studio.

TABELLA 39
Tabella di controllo della coerenza

Controllo di coerenza		Giustificazione
Qualità dei dati sufficiente?	Sì	La metodologia di valutazione della qualità dei dati proposta dalla Commissione Europea è stata utilizzata e il risultato ottenuto è Molto Buono per i dati specifici e Buono per i dati generici.
Scelta del metodo coerente?	Sì	La scelte metodologiche sono state fatte seguendo le norme ISO 14040 e ISO 14044 e la Raccomandazione sviluppata dalla Commissione Europea per lo schema PEF.
Valutazione di impatto coerente?	Sì	La metodologia di valutazione di impatto, che ha previsto la caratterizzazione dei risultati dal punto di vista ambientale ed economico, è stata applicata in modo coerente ed è stata adeguata per l'obiettivo e campo di applicazione dello studio.
Valutazione delle incongruenze realizzata?	Sì	L'analisi grafica dei flussi di cui alle reti ad albero, in cui è stato accertato che non ci fossero loop di processo, attribuzioni sbagliate o flussi verosimilmente non possibili, non ha rilevato incongruenze.

Abbreviazioni

CAPEX:	Capital Expenditure
DPC:	Dispositivi di Protezione Collettivi (Collective Protection Devices)
DPI:	Dispositivi di Protezione Individuale (Personal Protective Equipment)
DQR:	Data Quality Requirements
ePTFE:	Expanded Polytetrafluoroethylene
ETSA:	European Textile Services Association
ESF:	European Safety Federation
E-LCC:	Environmental Life Cycle Costing
GeR:	Rappresentatività Geografica
GWP:	Global Warming Potential
LCA:	Life Cycle Assessment
LCC:	Life Cycle Costing
LCCA:	Life Cycle Costing Analysis
LDPE:	Low-Density Polyethylene
NHS:	National Health System
OPEX:	Operational Expenditure
P:	Precision
PEF:	Product Environmental Footprint
PES:	Polyester
PP:	Polypropylene
PTFE:	Polytetrafluoroethylene
PU:	Polyurethane
SETAC:	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SMMMS:	Sterile Surgical Gowns Composed of Five Layers
TeR:	Rappresentatività Tecnologica
TiR:	Rappresentatività Temporale
TNT:	Tessuto Non Tessuto (Non-Woven Fabric)
TTR:	Tessuti Tecnici Riutilizzabili (Reusable Technical Fabrics)
UF:	Unità Funzionale

Bibliografia

ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment - Principles and Framework

ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and Guidelines

Alberto Quintana-Gallardo Romina del Rey, Salvador González-Conca, and Ignacio Guillén-Guillamón The Environmental Impacts of Disposable Nonwoven Fabrics during the COVID-19 Pandemic: Case Study on the Francesc de Borja Hospital [Journal] // Polymers. - 2023.

Chantelle Rizan Robert Lillywhite, Malcom Reed and Mahmood F Bhutta The carbon footprint of products used in five common surgical operations: identifying contributing products and processes [Journal] // Journal of the Royal Society of Medicine. - 2023. - Vol. 116(6). - pp. 199-213.

E. Vozzola M. Overcash, E. Griffing LIFE CYCLE ASSESSMENT OF SURGICAL DRAPES AND TAPES: REUSABLE AND DISPOSABLE [Journal] // Environmental Clarity, Inc.. - October 10, 2018.

Eric Vozzola BSChE, Michael Overcash PhD and Evan Griffing PhD An Environmental Analysis of Reusable and Disposable Surgical Gowns [Journal] // ARON Journal. - March 04, 2020. - pp. 315-325.

Steven J. Tinker Senior Vice President, R&D and Marketing, Gurtler Industries, Inc. 2022 Healthcare Conference: Demonstrating the value of reusable healthcare textiles and garments [Conference]. - 2022.

CAM - Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di ricondizionamento, logistica e noleggio di dispositivi tessili, materasseria, indumenti ad alta visibilità, nonché' dei dispositivi medici sterili e per l'affidamento del servizio di ricondizionamento e logistica di dispositivi tessili, materasseria, indumenti ad alta visibilità, nonché dei dispositivi medici sterili.

ISPRA, 2023. Rapporto Rifiuti Urbani

PCR Professional laundry and cleaning services of items, versione 1.0

RCP Servizi delle attività di lavanderia industriale versione 0.3

PCR Apparel, except fur and leather apparel, versione 1.0

Waste End. Economia circolare, nuova frontiera del made in Italy", Symbola

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

Progetto grafico e impaginazione
www.studiograficoagostini.com