

anni di
Life Cycle Assessment
sviluppi metodologici e applicativi

**XVII Convegno della
Associazione Rete Italiana LCA**

28-30 giugno 2023

Politecnico di Milano

ATTI DEL CONVEGNO



POLITECNICO MILANO 1863



**ASSOCIAZIONE
RETE ITALIANA LCA**

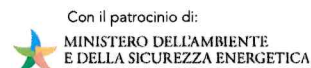
Con il patrocinio di:
**MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA**



POLITECNICO MILANO 1863



ASSOCIAZIONE
RETE ITALIANA LCA



Con il patrocinio di:

MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

ATTI

XVII Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA

30 anni di

Life Cycle Assessment

sviluppi metodologici e applicativi

28-30 giugno 2023

Politecnico di Milano

Via Ampère 10, 20133 Milano

© 2023 Associazione Rete Italiana LCA

Publicato da: Associazione Rete Italiana LCA

Data di pubblicazione: 2023

Paese di pubblicazione: Italia

Lingua: Italiano

Formato dell'e-book: PDF

ISBN: 9791221004601



POLITECNICO MILANO 1863



ASSOCIAZIONE
RETE ITALIANA LCA

Comitato Scientifico del Convegno

Michela Aresta	Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Reattività Chimica e la Catalisi (CIRCC)
Grazia Barberio	ENEA, Dipartimento sostenibilità dei sistemi produttivi e territoriali (SSPT)
Maurizio Cellura	Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria
Laura Cutaia	ENEA, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Giovanni Dotelli	Politecnico di Milano, Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica “Giulio Natta” (DCMIC)
Giacomo Falcone	Università degli Studi “Mediterranea” di Reggio Calabria – Dipartimento di Agraria
Monica Lavagna	Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (DABC)
Sonia Longo	Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria
Alessandro Manzardo	Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)
Simone Maranghi	Ecoinnovazione srl
Paolo Masoni	Ecoinnovazione srl
Anna Mazzi	Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale (DII)
Marina Mistretta	Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento Patrimonio Architettura Urbanistica (PAU)
Bruno Notarnicola	Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Dipartimento Jonico in “Sistemi Giuridici ed Economici del Mediterraneo: società, ambiente, culture”
Andrea Raggi	Università degli Studi “G. d’Annunzio” di Chieti-Pescara, Dipartimento di Economia
Lucia Rigamonti	Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA)
Serena Righi	Università di Bologna, Campus di Ravenna, Dipartimento di Fisica e Astronomia (DIFA) e Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali (CIRSA)
Roberta Salomone	Università degli Studi di Messina, Dipartimento di Economia
Antonio Scipioni	Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)
Marzia Traverso	RWTH Aachen University



POLITECNICO MILANO 1863



**ASSOCIAZIONE
RETE ITALIANA LCA**

Comitato organizzatore

Monica Lavagna	Politecnico di Milano – DABC
Lucia Rigamonti	Politecnico di Milano – DICA
Anna Dalla Valle	Politecnico di Milano – DABC
Serena Giorgi	Politecnico di Milano – DABC
Camilla Tua	Politecnico di Milano – DICA
Marina Mistretta	Tesoreria Associazione Rete Italiana LCA – Università Mediterranea di Reggio Calabria

mer 28.06

18.15 | 18.45

SESSIONE POSTER II

Chair: **Alessandro Manzardo** *Associazione Rete Italiana LCA, Università degli Studi di Padova*

Plastic waste recycling: current scenario and future opportunities through investigation on LCA studies

Redaelli S. Politecnico di Milano, CMIC

LCA di un sistema di riciclo meccanico di rifiuti misti di plastica per la formulazione di materiale stampabile mediante injection moulding

Costantini M. Università degli Studi di Milano

→ Eco-design di dispenser in plastica: test d'uso di resine post-consumo

Casolani V. e Cutarella L. Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara

Comparative Life Cycle Assessment of traditional and circular carpets for the exhibition industry: a case study

Bressanelli G. Università degli Studi di Brescia

Approfondimento tecnico scientifico dei rischi e opportunità associati all'implementazione della metodologia PEF nel settore tessile: parametri chiave di circolarità e durabilità

Cavallotti I. Società di Ingegneria Chimica per l'Ambiente Srl

Combining Life Cycle Assessment and Practice Theory to understand the influence of consumers' practices on food waste sorting

Niero M. Aalborg University

19.00 | 20.00 **WELCOME PARTY** Edificio 13 Trifoglio, via Bonardi 9

Eco-design di dispenser in plastica: test d'uso di resine post-consumo

Luca Cutarella¹, Veronica Casolani², Laura Sinibaldi¹, Michela Rimano¹,
Raffaella Taddeo², Nando Cutarella¹, Alberto Simboli²

Abstract: L'articolo descrive i risultati di uno studio empirico svolto in supporto del progetto di eco-design di dispenser in plastica per prodotti per la cura della persona. È stata investigata, sia dal punto di vista produttivo che di potenziale uso, una soluzione di "sostituzione di materiale", prevedendo l'impiego di resine post-consumo (PCR). Lo studio comprende una fase di indagine desk finalizzata all'analisi preliminare delle caratteristiche tecniche e proprietà delle PCR attualmente più diffuse; nella fase successiva, i materiali selezionati sono stati sottoposti a test di laboratorio e di stampaggio al fine di valutarne le proprietà tecnologiche e la qualità della resa finale, proponendo alcune azioni correttive per la soluzione delle criticità emerse.

1. Introduzione

In Europa, il packaging è il settore in cui le materie plastiche sono maggiormente utilizzate (39,5% del totale) (BLASTIC, 2023) ed in tale settore hanno registrato, dal 2011 al 2022, l'incremento più significativo (pari al 23,9%) (EUROSTAT, 2022). Le principali macro-aree di impiego sono quelle degli imballaggi di prodotti alimentari (cibo e bevande), shopper per il settore "Food", imballaggi di prodotti chimici (detergenti, lubrificanti, fertilizzanti, colori, vernici e chimici vari), prodotti cosmetici e farmaceutici, profumi e altri per il settore "Non-food" (ItaliaImballaggio, 2021). È proprio in virtù della loro ampia diffusione e dei lunghissimi tempi di degradazione, che la produzione e la gestione del fine-vita delle materie plastiche, hanno dato luogo ad una vera e propria emergenza ambientale (EUR-Lex, 2019; Morales-Caselles et al., 2021). Per rispondere a questa emergenza, sempre più aziende stanno testando l'utilizzo di resine prodotte a partire dal recupero e trattamento dei rifiuti di prodotti in plastica post-consumo (e.g. bottiglie, sacchetti, etc.), le c.d. Post-Consumer Resins (PCR) (Hatem et al., 2021). Tuttavia, il loro utilizzo solleva alcune criticità produttive e d'uso che devono essere affrontate, sia da parte degli studiosi del settore, che delle imprese. L'articolo descrive i risultati di uno studio empirico svolto in supporto del progetto di eco-design di dispenser in plastica per prodotti per la cura della persona in cui è stata investigata, sia dal punto di vista produttivo che di potenziale uso, una soluzione basata sulla "sostituzione di materiale", prevedendo l'impiego di resine post-consumo (PCR).

¹ Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara, Dipartimento di Economia, viale Pindaro n.42, 66127, Pescara, Italia

² Aptar Italia Spa, Via Po n. 49-32, 66020, San Giovanni Teatino, Chieti, Italia
E-mail: veronica.casolani@unich.it

2. Descrizione dello studio

Lo studio presentato è parte di un progetto pluriennale condotto allo scopo di identificare, qualificare e utilizzare plastiche alternative alla resina standard con l'obiettivo di ridurre l'impatto ambientale durante tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto (Fiksel, 1996; Luttrupp e Lagerstedt, 2006). Esso è stato condotto in collaborazione con il sito italiano di AptarGroup, uno dei principali produttori, a livello internazionale, di pompe ed erogatori per prodotti di consumo. Il produttore, avendo aderito all'iniziativa "New Plastics Economy Global Commitment" della Ellen MacArthur Foundation, si è infatti impegnato a far sì che, entro il 2025, almeno il 10% del totale della resina utilizzata per la realizzazione dei prodotti commercializzati a livello globale, sia PCR.

2.1. Prodotto analizzato

Il dispenser analizzato in questo studio, di seguito identificato come "A", è stato selezionato in base ai seguenti criteri tecnico-economici ed ambientali: i) è il dispenser con maggiori volumi produttivi nei siti italiani; ii) è il dispenser più pesante realizzato in Italia; iii) è già stato oggetto di valutazioni d'impatto sul ciclo di vita con resine convenzionali e bioplastiche (Del Grosso et al., 2018). Il prodotto è composto di dieci parti e cinque diversi materiali (*Figura 1*).

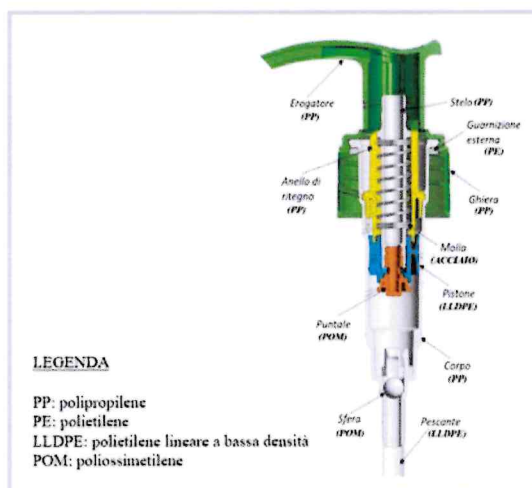


Figura 1. Dispenser A.

2.2. Selezione dei materiali alternativi

Per selezionare le resine alternative da prendere in considerazione per lo studio è stata svolta un'accurata analisi di confronto tra le schede tecniche delle "resine standard" utilizzate da Aptar e quelle dei materiali alternativi. Il risultato di tale analisi ha previsto la selezione di tre gradi di PCR da testare: KW621 Grey, PP300P Grey, PP300P Ivory. Tutte le 3 resine PCR sono state testate seguendo l'iter descritto in *Figura 2*. Ogni test effettuato ha portato ad ottenere dei valori riguardanti i comportamenti meccanici (fase produttiva) e funzionali (fase d'uso) delle resine che sono poi stati confrontati con i risultati ottenuti dai medesimi test effettuati sulla resina standard. Questo procedimento ha portato alla selezione di due dei tre gradi precedentemente individuati, ovvero il PP300P Grey ed il PP300P Ivory.

2.3. Qualifica dei materiali alternativi

Per perseguire l'obiettivo finale della qualifica produttiva delle PCR testate, sono state utilizzate due metodologie, la Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) e la Product Risk Analysis (PRA). La FMEA (Lipol e Haq, 2011) è stata utilizzata al fine di studiare il comportamento delle resine PCR durante la fase di stampaggio. La PRA (Wu et al., 2010) è stata utilizzata al fine di identificare i componenti più idonei all'utilizzo delle resine PCR qualificate dal produttore.

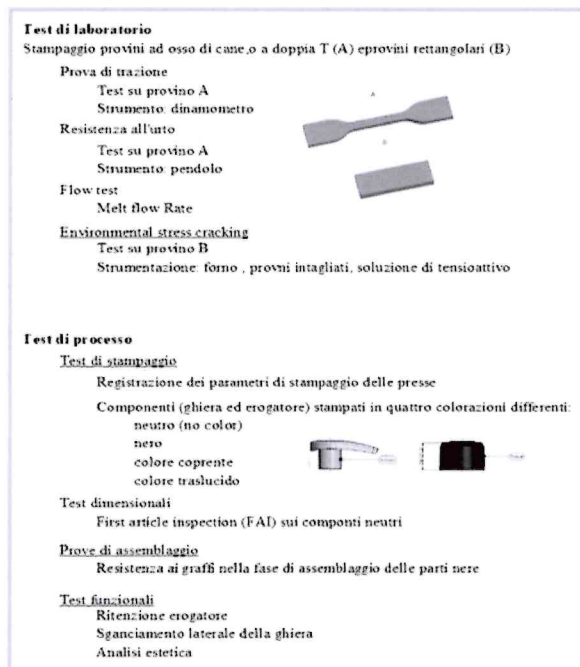


Figura 2. Schema delle prove da svolgere per i nuovi materiali.

Fonte: Aptar Italia

2.3.1. Iter FMEA

La FMEA è stata articolata in 4 fasi principali:

i) Pianificazione della FMEA

All'interno di questa fase sono stati definiti gli obiettivi, il gruppo di lavoro e i documenti preliminari necessari per il lavoro e, soprattutto, è stato preparato il foglio di raccolta dati compilato nel corso dello studio.

ii) Identificazione delle implicazioni conseguenti all'impiego del PCR

La seconda fase, qualitativa, consiste nell'identificazione delle implicazioni conseguenti all'impiego del PCR ed è stata suddivisa in quattro sottoprocessi.

- *Scomposizione del sistema.* Sono stati identificati diversi step di processo che possono essere soggetti a problematiche; quelli più critici sono risultati essere l'ispezione della resina PCR in entrata e lo stampaggio (in particolare, l'impostazione dei parametri in pressa e il change over dopo la produzione con PCR).
- *Identificazione dei potenziali modi di guasto.* Per ognuno dei suddetti step sono state identificate tutte le possibili cause di problemi (*Potential failure mode*).

- *Identificazione dei potenziali effetti.* Per ognuno dei *Potential failure mode*, sono stati identificati gli impatti potenziali sui lavoratori e/o sui clienti (*Potential failure effects*).
- iii) Valutazione delle implicazioni conseguenti all'impiego del PCR**
La terza fase, cosiddetta quantitativa, consiste nella valutazione delle implicazioni conseguenti all'impiego del PCR. Tale fase è stata divisa in tre sottoprocessi:
Definizione di una scala di valutazione che permetta di attribuire un grado di severità (SEV), probabilità di verificarsi (OCC) e rilevabilità (DET) ad ogni "*Potential failure mode*". Per ognuno dei tre parametri, la scala di valutazione scelta va rispettivamente da 1 a10, dove il valore 10 rappresenta rispettivamente la situazione più impattante in termini di gravità, ovvero la maggiore probabilità di verificarsi del guasto (*Frequency 1 in 2*), e la minore capacità di intercettare o prevenire il guasto tramite gli attuali sistemi di controllo (<50%).
Valutazione di severità, probabilità e rilevabilità. Utilizzando la suddetta scala di valutazione sono stati valutati, per ciascun "*Potential failure mode*", i tre fattori: severità, probabilità e rilevabilità. Successivamente, è stato calcolato il Risk Priority Number (RPN) per ogni criticità, moltiplicando i punteggi di severità, probabilità e rilevabilità ottenuti in precedenza.
- iv) Identificazione e sperimentazione delle azioni correttive**
Nella quarta fase sono state identificate e, ove possibile, testate le azioni correttive attuabili per eliminare o mitigare i suddetti modi di guasto con l'RPN più elevato e i relativi effetti. Un riepilogo delle attività e dei risultati di questa fase (post implementazione) è sintetizzato in *Tabella 1*.

2.3.2. Iter PRA

La metodologia PRA è stata articolata in 3 fasi principali:

i) Pianificazione della PRA

All'interno di questa fase sono stati definiti gli obiettivi, il gruppo di lavoro e i documenti preliminari necessari per il lavoro, finalizzato ad identificare e valutare i rischi di migrazione di sostanze presenti nelle PCR nel contenuto del packaging. Il documento principale ai fini della presente PRA è il *Regolamento (UE) 2022/1616* (EUR-Lex, 2022) relativo ai materiali e agli oggetti in materia plastica riciclata destinati a venire a contatto con i prodotti alimentari (di prassi preso a riferimento anche per le materie plastiche riciclate destinate al contatto con prodotti della cosmetica).

ii) Valutazione del rischio di migrazione dal PCR al bulk

I parametri considerati per identificare i componenti più idonei all'utilizzo di resine PCR, e associare a ciascun componente un livello di rischio di migrazione, sono i seguenti:

- Qualità della resina sostenibile (Q). Tale parametro è legato al potenziale impatto della migrazione e non alla probabilità che tale migrazione possa avvenire (Livelli di criticità: 0, 3,5);
- Superficie di contatto tra bulk e componente (S). Tale parametro è legato alla probabilità che la migrazione possa avvenire (Livelli di criticità associati: 0,1,2);
- Tempo di contatto tra bulk e componente (t). Anche questo parametro è legato alla probabilità che la migrazione possa avvenire (Livelli di criticità associati: 0,1,2).

Il livello di rischio (x) di ciascun componente è stato ottenuto moltiplicando i tre parametri:

$$\text{Livello di rischio (x)} = Q \cdot S \cdot t$$

Ottenendo i seguenti valori di rischiosità: **x = 0**: Rischio Nullo; **x = 3**: Rischio Basso; **x = 5/6**: Rischio Medio; **x = 10/12/20**: Rischio Alto.

Tabella 1. Azioni correttive e New RPN.

Potential failure mode	Potential failure effects	SEV (post)	Potential causes	OCC (post)	Corrective Actions	DET (post)	RPN (post)	Status of the corrective action
I colori di base delle resine PCR sono molto variabili rispetto alle resine vergini	Variazione di colore sui componenti finali rispetto alle specifiche di colore	8 (6)	Processo produttivo presso il fornitore non sufficientemente affidabile in quanto dipendente dal flusso di raccolta dei rifiuti	9 (9)	1) Utilizzo di un colorimetro per definire, con i clienti, l'intervallo di accettabilità per la colorazione dei componenti in PCR 2) Utilizzo di masterbatches più performanti, in modo tale da eliminare/mitigare le variazioni di colore	5 (2)	360 (108)	1) Completed: il colorimetro è in funzione presso Aptar Chieti 2) I test sono in corso
ISPEZIONE DELLA RESINA IN ENTRATA Presenza di impurità all'interno della resina PCR	1) Contaminazione dello stampo 2) Puntinatura sui componenti chiari	8 (4)	Processo produttivo presso il fornitore non sufficientemente affidabile in quanto dipendente dal flusso di raccolta dei rifiuti	9 (9)	1) Installare filtri ugelli con foro minore di 0,5mm al fine di bloccare le particelle di contaminazione presenti nel materiale fuso	2 (2)	144 (72)	1) I test sono in corso

(continua nella pagina seguente)

Tabella 1: (continua dalla pagina precedente)

Potential failure mode	Potential failure effects	SEV (post)	Potential causes	OCC (post)	Corrective Actions	DET (post)	RPN (post)	Status of the corrective action
STAMPAGGIO: PARAMETRI IN PRESSA	Le oscillazioni delle caratteristiche chimiche e meccaniche del PCR sono maggiori di quelle della resina standard	8 (8)	Il mix di resine di scarto provoca un'elevata variazione delle caratteristiche delle resine PCR	8 (8)	1) Utilizzare l'SPC (Statistical Process Control) per monitorare e controllare in tempo reale il processo di stampaggio al fine di ridurre la variabilità e mantenere la qualità costante nel tempo	4 (2)	256 (128)	1) Completed: l'SPC è attualmente in funzione presso Aptiar Pescara
STAMPAGGIO: CHANGE OVER	Depositi di natura organica che si creano sull'elemento stampante in seguito alla produzione con PCR	8 (3)	Presenza di impurità all'interno della resina PCR in quanto il processo produttivo presso il fornitore non è sufficientemente affidabile essendo dipendente dal flusso di raccolta dei rifiuti	9 (9)	1) Pulizia degli stampi tramite macchina a ghiaccio secco e/o con macchina laser 2) Tecnologia di rivestimento PVD (Physical Vapor Deposition), al fine di ridurre la possibilità che la resina si attacchi alle superfici e si accumulino, formando depositi indesiderati	5 (2)	360 (54)	1) In corso di valutazione: la macchina a ghiaccio secco è pronta all'uso, ma si sta valutando la possibilità di implementare la tecnologia a laser, data la maggiore efficacia 2) I test sono in corso

iii) Valutazione del rischio di migrazione dal bulk al consumatore finale

Dopo aver valutato, per ogni componente, il rischio di migrazione dal PCR al bulk, è stato valutato il rischio di migrazione dal bulk al consumatore finale; esso varia a seconda della tipologia di bulk. Ai fini della presente analisi sono state considerate quattro tipologie di bulk, combinate con i livelli di rischio definiti in precedenza:

- Bulk non a contatto con il corpo (e.g. prodotti per la casa);
- Bulk a contatto con il corpo per breve tempo, in quanto lavato via dall'acqua (e.g. i c.d. "Rinse-off Products": bagnoschiuma, shampoo, etc.)
- Bulk che viene assorbito dal corpo (e.g. creme);
- Alimenti (e.g. ketchup, maionese, aceto, etc.).
- I risultati dell'analisi del rischio di migrazione dal bulk al consumatore finale sono sintetizzati in *Figura 3*.

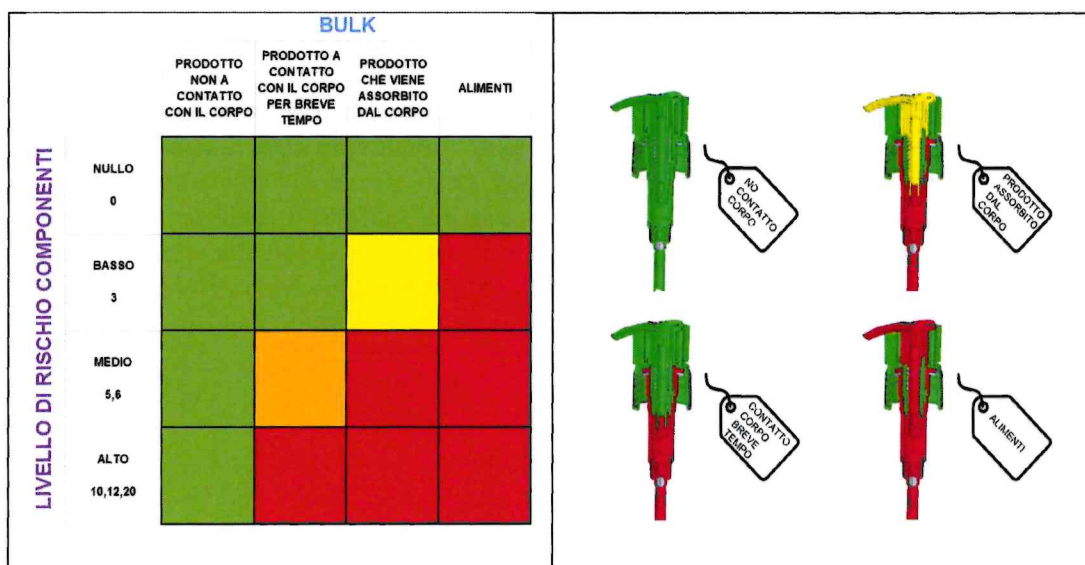


Figura 3. Rischio di migrazione dal bulk al consumatore finale.

È possibile osservare come:

- I componenti che nell'analisi precedente presentavano un livello di rischio nullo ($x=0$), ossia ghiera, clip e anello, presentano un rischio di migrazione nullo (Verde) qualunque sia il tipo di bulk. Infatti, poiché questi componenti non entrano mai a contatto con il bulk, il rischio resta nullo a prescindere che si tratti di una crema idratante, di un alimento, etc.
- I componenti che nell'analisi precedente presentavano un livello di rischio basso ($x=3$), ossia erogatore e stelo, presentano un rischio di migrazione nullo (Verde) nel caso di bulk non a contatto con il corpo (prodotti per la casa) e di bulk a contatto con il corpo per breve tempo (shampoo, sapone per le mani, etc.); un rischio basso (Giallo) nel caso di bulk che viene assorbito dal corpo (crema idratante) e un rischio alto (Rosso) nel caso di prodotto alimentare.
- I componenti che nell'analisi precedente presentavano un livello di rischio alto ($x = 10, 12, 20$), ossia pistone, corpo e pescante, presentano un rischio di migrazione nullo (Verde) nel caso di bulk non a contatto con il corpo (prodotti per la casa) e un rischio alto (Rosso) nei restanti casi.

- of the 12th Italian LCA Network Conference, Messina (Italy) 11-13 June 2018 pp 267-274, pp.267-274.
- Ecoinvent, 2019. Association – about ecoinvent, <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-association/>
- EUR-Lex, 2019. Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio 2019/904/UE, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0904>
- EUR-Lex, 2022. Commission Regulation (EU) 2022/1616 of 15 September 2022 on recycled plastic materials and articles intended to come into contact with foods, and repealing Regulation (EC) No 282/2008 (Text with EEA relevance), viewed 28 Mar 2023, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2022/1616/oj>
- EUROSTAT, 2022. Packaging waste statistics, viewed 28 Mar 2023, https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Packaging_waste_statistics#Waste_generation_by_packaging_material
- Fiksel, J, 1996. Design for the Environment: Creating Eco-Efficient Products and Processes. New York: McGraw-Hill.
- Hatem, A, Faris HA, Zaid, A, 2021. Plastic Waste Management: A Review of Existing Life Cycle Assessment Studies. Sustainability 13(10) 5340.
- ItaliaImballaggio, 2021. Gli imballaggi di plastica (2020), viewed 28 Mar 2023, <https://italiaimballaggio.it/fatti-e-dati/gli-imballaggi-di-plastica-2020>
- Lipol, LS, Haq, J, 2011. Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations. International Journal of Basic & Applied Sciences 11, 74-82.
- Luttrupp, C, Lagerstedt, J, 2006. EcoDesign and the Ten Golden Rules: Generic Advice for Merging Environmental Aspects into Product Development. J Clean Prod 14, 1396-1408.
- Morales-Caselles, C, Viejo, J, Martí, E, et al. 2021. An inshore–offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter. Nat Sustain 4, 484-493.
- Wu, DD, Kefan X, Gang C, Ping G, 2010. A risk analysis model in concurrent engineering product development. Risk Anal30, 1-14.

