



Life Cycle Assessment della sintesi di poli(butilene succinato) da fonti non rinnovabili

Martina Fabbri

In collaborazione con:

Prof.ssa Rita Gamberini e LCA Working Group

Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria, Università di Modena e Reggio Emilia, Via Amendola 2
– Padiglione Morselli, 42100 Reggio Emilia.

Prof.ssa Nadia Lotti e Prof. Andrea Munari

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei materiali, Università di Bologna, Via
Terracini 28, 40131 Bologna.



→ Sintesi di materiali polimerici: **poliesteri alifatici** per applicazioni biomedicali:

Ingegneria tissutale

Sistemi a rilascio controllato

→ **Life Cycle Assessment** per valutare l'impatto ambientale dei materiali polimerici durante l'intero ciclo di vita.

Poli(butilene succinato)

- Sintesi tramite policondensazione in condizioni blande.
- Può essere 100% bio-based.
- Alta temperature di fusione, che ne garantisce una buona processabilità.
- Proprietà meccaniche modulabili tramite copolimerizzazione.
- Buona degradabilità in condizioni idrolitiche e enzimatiche.
- Sintesi industriali già avviate.



Obiettivo dello studio

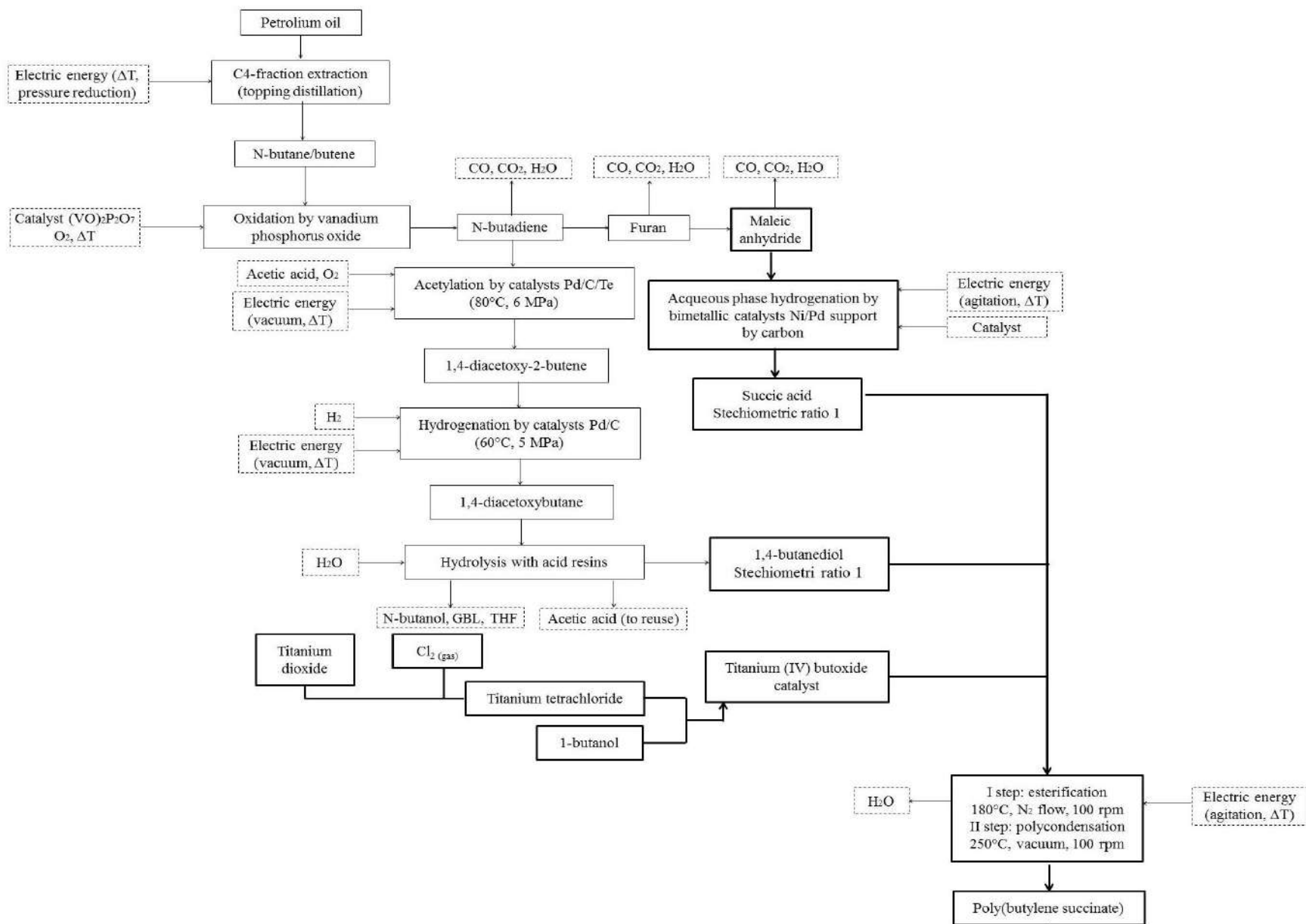
Il calcolo del danno ambientale della sintesi del poli(butilene succinato) (PBS) da fonti non rinnovabili.

Campo di applicazione

- ❖ La **funzione del sistema** è la realizzazione di sistemi tridimensionali per l'ingegneria tessutale.
- ❖ Il **sistema studiato** è la produzione a partire da dati di sintesi in laboratorio.
- ❖ L'**Unità Funzionale** è 1kg di prodotto.
- ❖ I **confini del sistema** vanno dall'estrazione delle materie prime alla realizzazione del prodotto finale.
- ❖ Per lo studio sono usati **dati primari** provenienti dalla sintesi di laboratorio e, quando non disponibili, dati stimati o raccolti dalla letteratura.

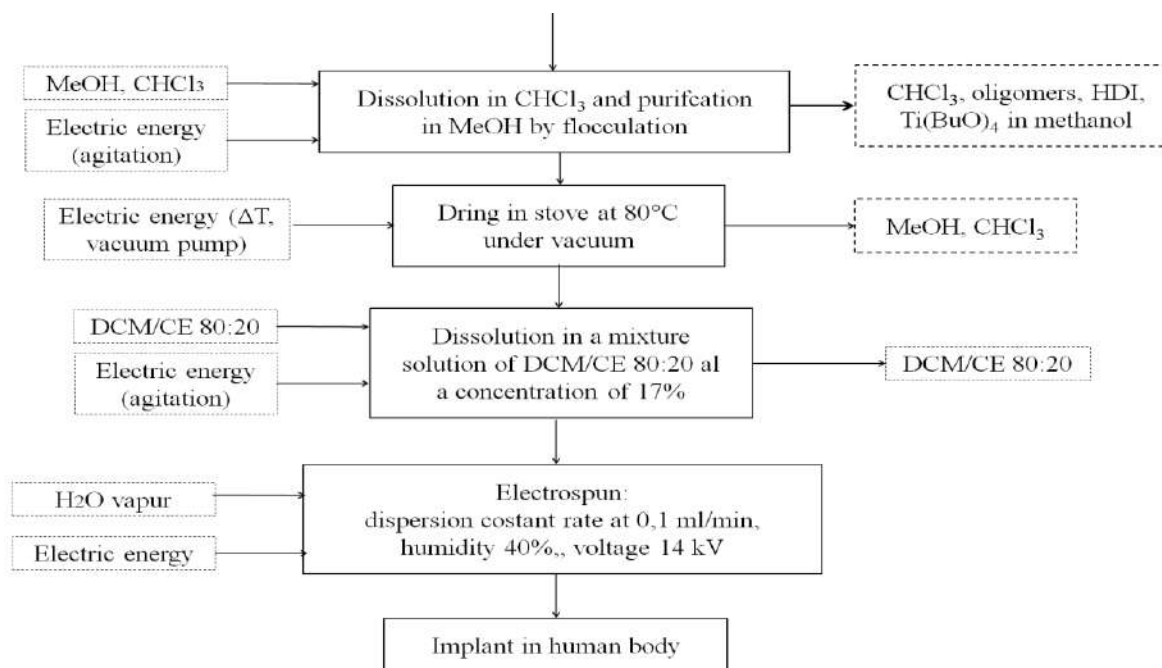


Flow Chart del processo





Flow Chart del processo



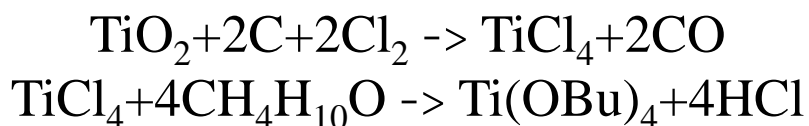


- ★ Sintesi acido succinico da **anidride maleica** in presenza di **idrogeno** a **20 bar**, **240°C**, **4 ore**. ^[1]

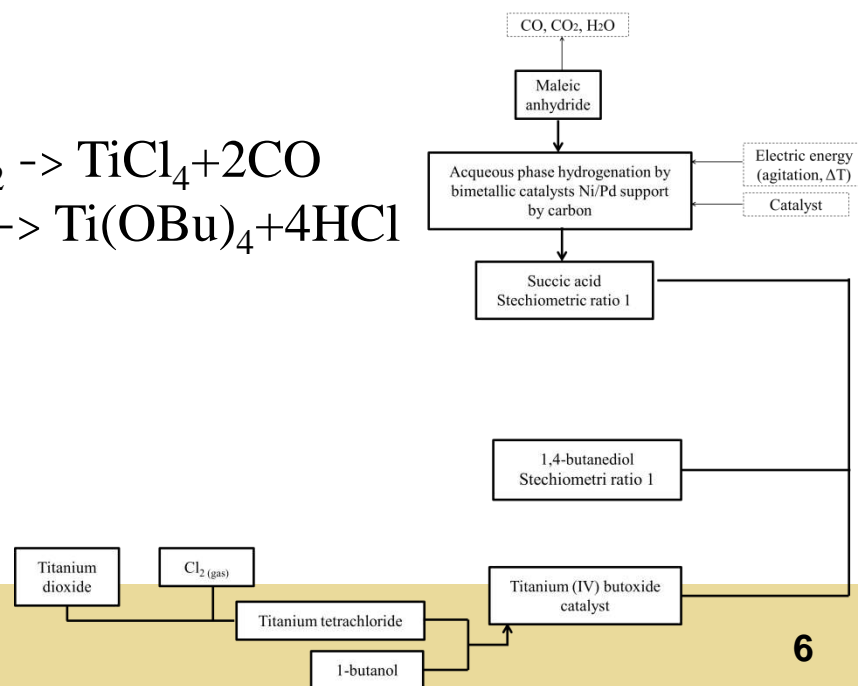


Coprodotti allocati 0% , smaltiti come **rifiuti pericolosi**.

- ★ Sintesi Titanio (IV) tetrabutossido da **tetracloruro di titanio** con **1-butano**, **100°C**, **1 ora**.



- ★ 1,4-Butandiolo: database Econinvent3.



^[1] Liquid-phase hydrogenation of maleic anhydride over Pd-Sn/SiO₂. S.M. Jung et al., Catalysis Today, 87, 171-177 (2003).



- ★ Sintesi di poli(butilene succinato):
acido succinico/1,4-butandiolo **1:1,2**; $\text{Ti}(\text{OBU})_4$ catalizzatore **150 ppm/g polimero**.

Reazione in 2 step:

I step: **180°C, 100 rpm, 2 ore.**

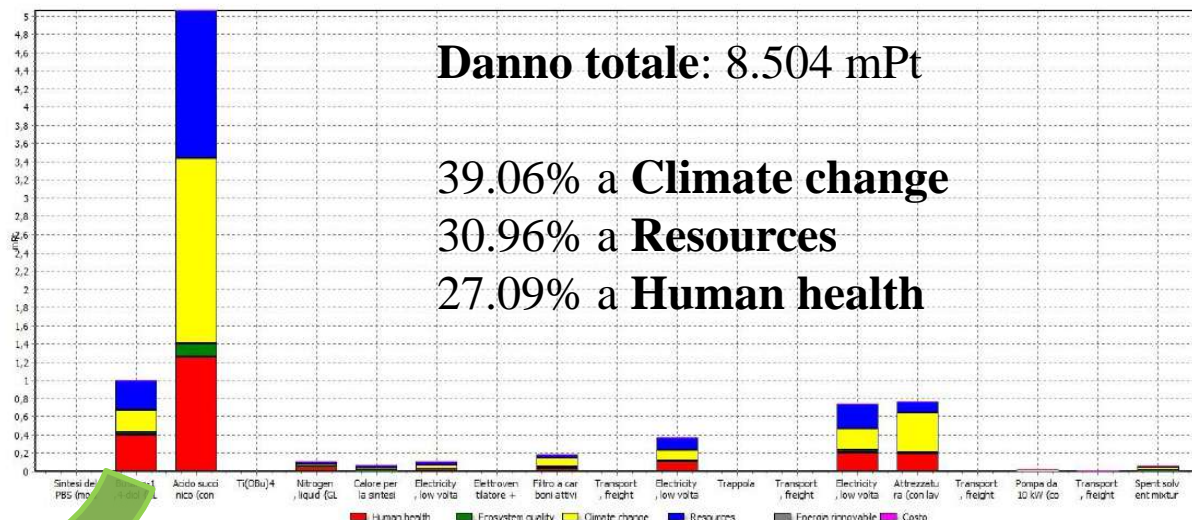
II step: **200-235°C, 100 rpm, 21-0,09 mbar, 4 ore.**

- ★ Impianto di aspirazione ridimensionato: portata $Q=250\text{m}^3/\text{h}$, volume aspirato $V=1\text{m}^3$.
- ★ Trappola di condensazione: vetro pirex borosilicato + Dewar di acciaio isolato tramite vuoto spinto.
- ★ Filtri a carbone attivi modificati con attivazione termica, la quale presenta un minore impatto ambientale, in base a dati di letteratura.^[2]
- ★ Attrezzatura riallocata non più riferita ad un'unica sintesi, bensì al tempo di vita della stessa **(20000h)**.

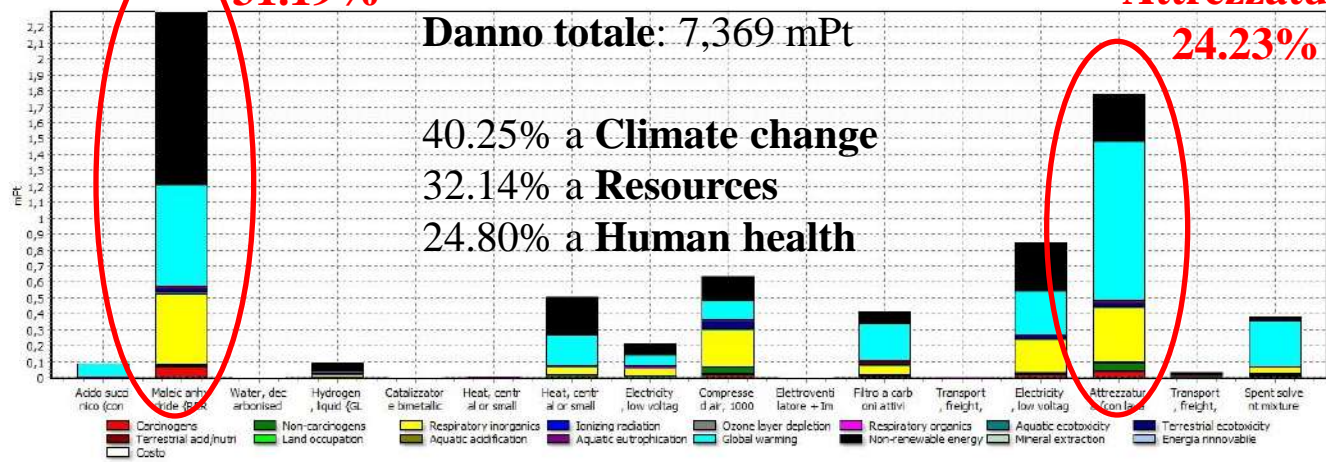


Risultati

Processo maggiormente impattante:
produzione acido succinico
(59.55%)



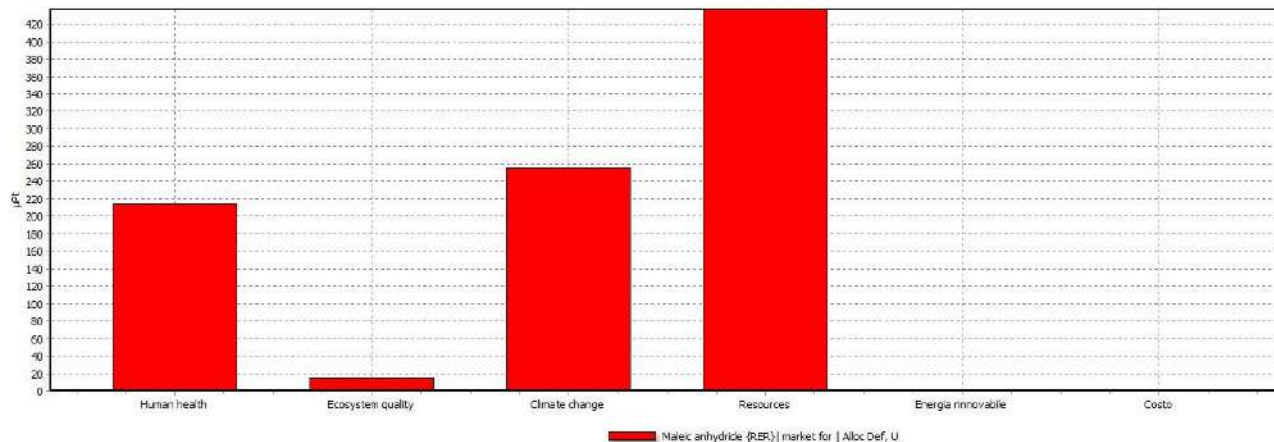
Anidride Maleica
31.19%



Analysing 1 kg 'Acido succinico (con Carbone attivo da attivazione termica e dimensioni del filtro corrette) E3';
 Method: IMPACT 2002+060514 (da 080513) Costi esterni V2.10 / IMPACT 2002+En.rinn.+costi / Single score



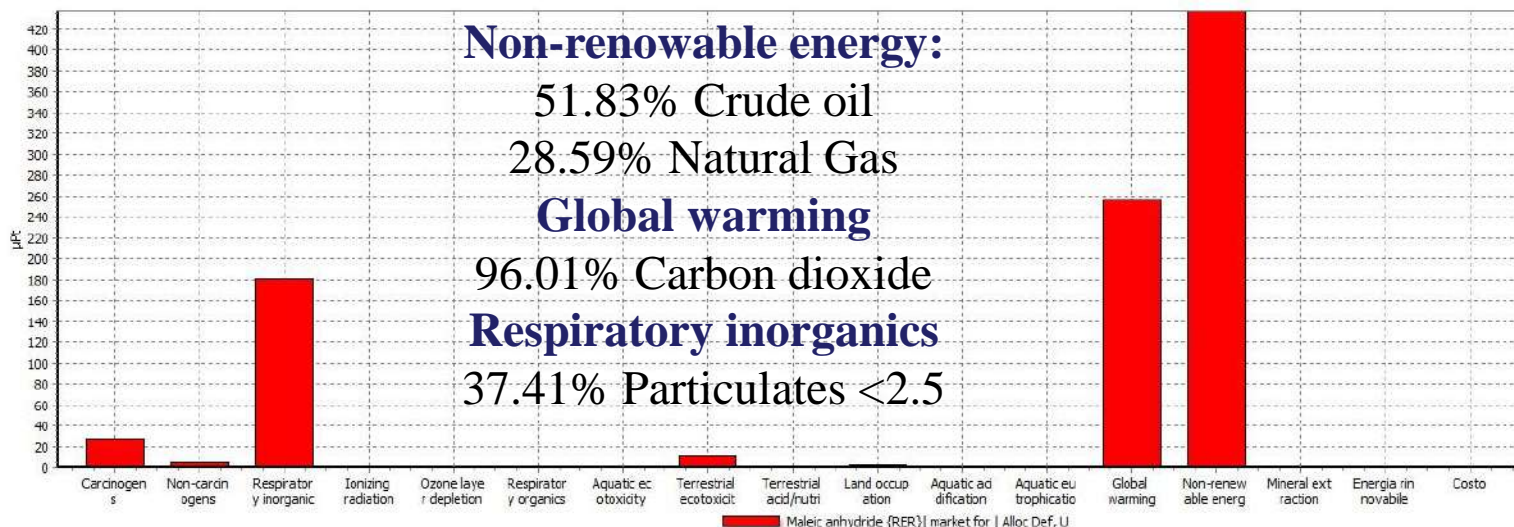
Produzione di anidride maleica



Analysing 1 kg Maleic anhydride (RER)| market for | Alloc Def, U;
Method: IMPACT 2002+060514 (da 080513) V2.10 / IMPACT 2002+ / Weighting

Danno totale: 0.922 mPt

51.30% a Resources
27.71% a Climate change
23.22% a Human health



Non-renewable energy:

51.83% Crude oil

28.59% Natural Gas

Global warming

96.01% Carbon dioxide

Respiratory inorganics

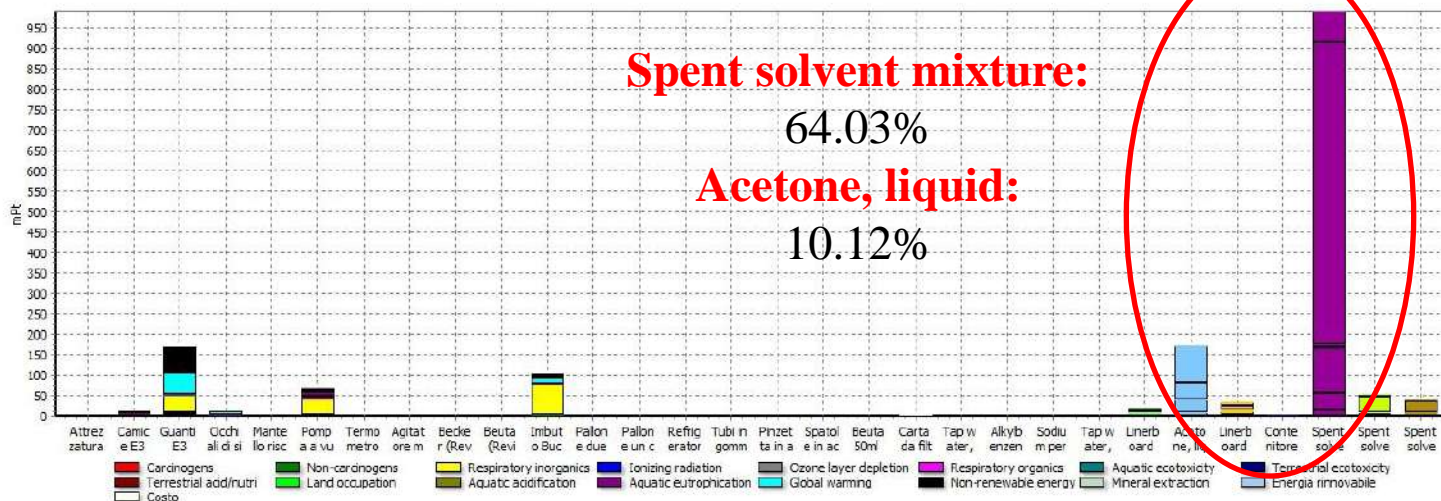
37.41% Particulates <2.5

Analysing 1 kg Maleic anhydride (RER)| market for | Alloc Def, U;
Method: IMPACT 2002+060514 (da 080513) V2.10 / IMPACT 2002+ / Weighting

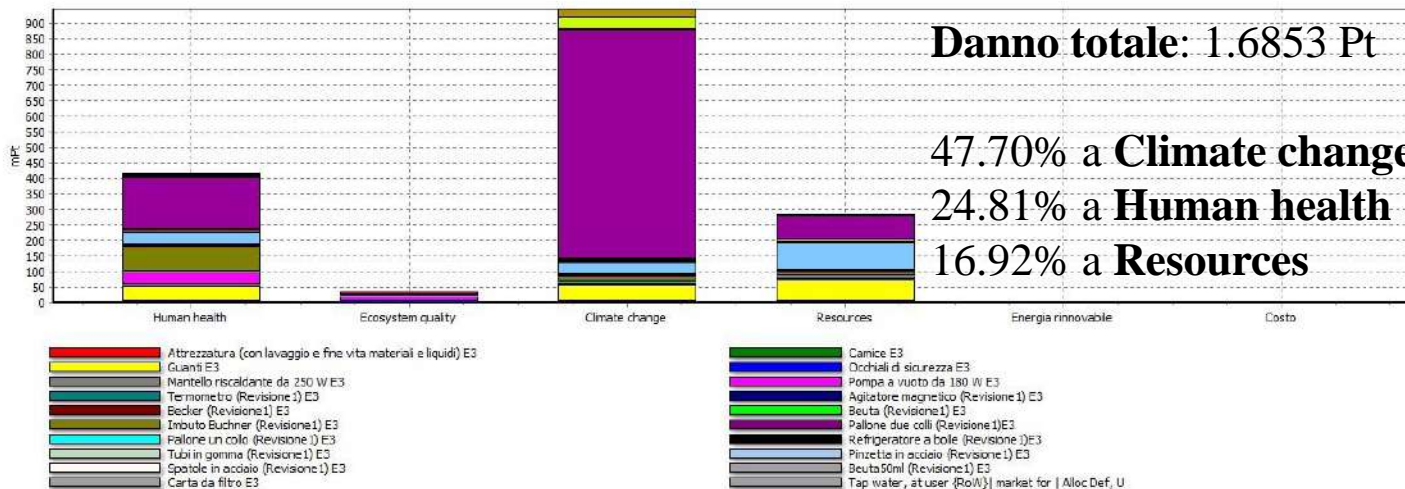


Risultati

Attrezzature



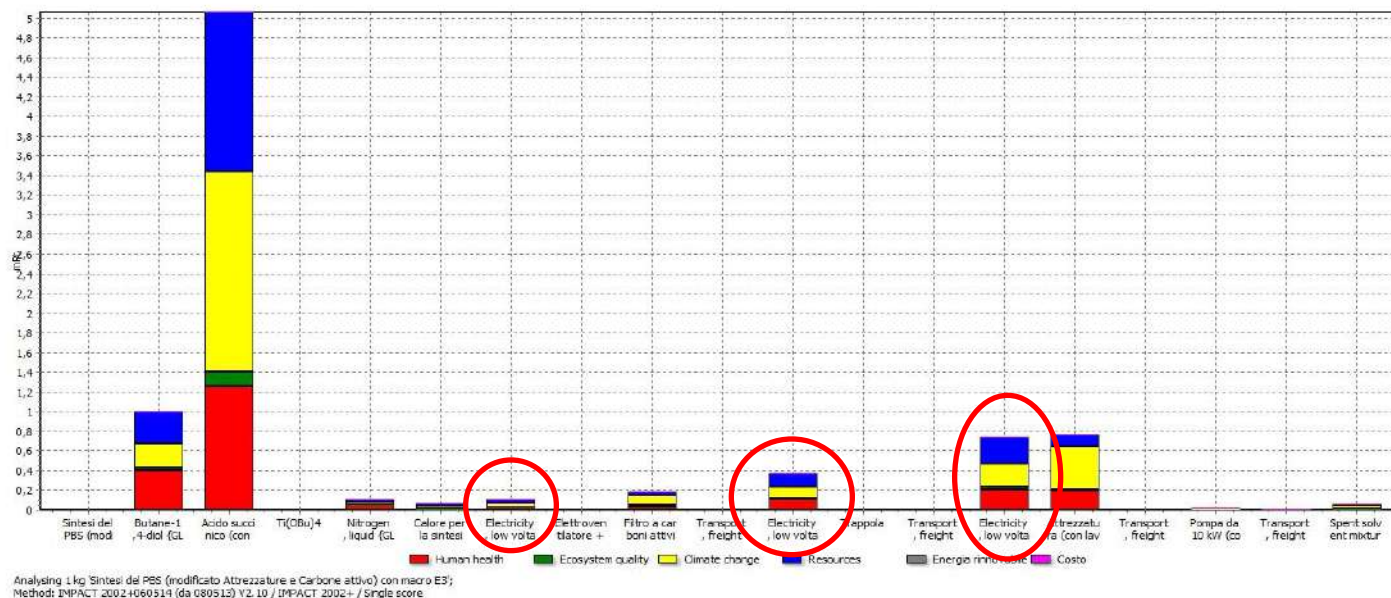
Analysing 1 p 'Attrezzatura (con lavaggio e fine vita materiali e liquidi) E3'; Method: IMPACT 2002+060514 (da 080513) V2.10 / IMPACT 2002+ / Single score



Analysing 1 p 'Attrezzatura (con lavaggio e fine vita materiali e liquidi) E3'; Method: IMPACT 2002+060514 (da 080513) V2.10 / IMPACT 2002+ / Weighting



Consumo di energia elettrica low voltage:



Analysing 1 kg Sintesi del PBS (modificato Attrezzature e Carbone attivo) con macro E3;
Method: IMPACT 2002+060514 (da 080513) V2.10 / IMPACT 2002+ / single score.

Danno dovuto alle energie:

- Agitazione: **1.21%**
- Impianto di aspirazione: **4.36%**
- Pompa da vuoto II step di reazione: **8.67%**

**Danno totale dovuto alle energie:
14.24%**



A valle dell'impianto è presente un **filtro a carboni attivi**

conversione delle sostanze organiche volatili (VOC) in **CO₂** e **H₂O**,
attraverso l'ausilio di **O₂**.

Efficienza filtro: 99%.

Per cui l'**1%** di VOC non sono convertite, per cui se ne ha l'emissione in atmosfera.

Emissioni sintesi acido succinico:

1% di tetraidrofurano, butandiolo e butirrolattone non convertiti
+ 99% di CO₂ e H₂O prodotte dal filtro.

Emissioni sintesi poli(butilene succinato):

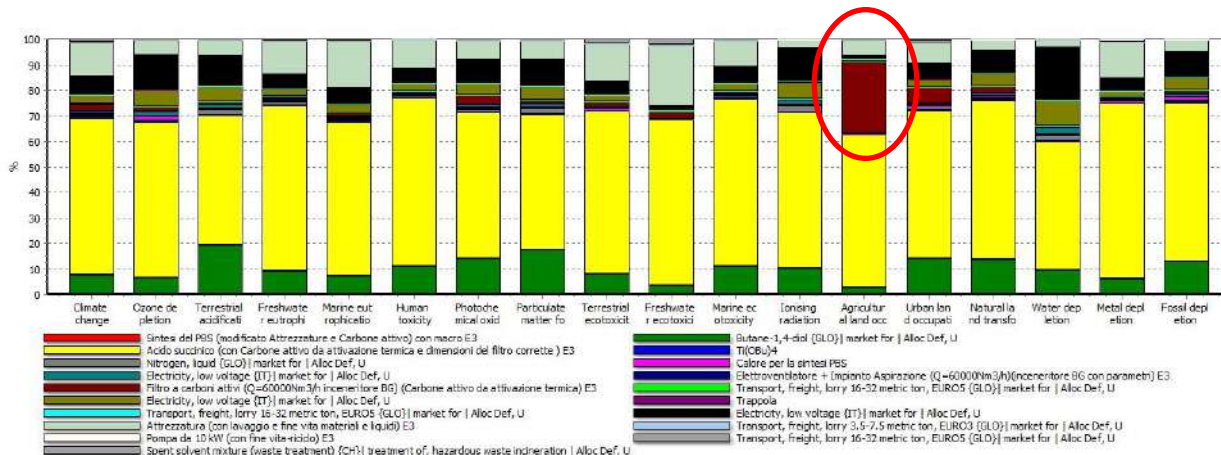
1% di acqua e 1,4-butandiolo non convertiti
+ 99% di CO₂ e H₂O prodotte dal filtro



Analisi di sensibilità



ReCiPe Midpoint: analisi per impact assessment



Processo maggiormente impattante: **produzione acido succinico**

Analysing 1 kg 'Sintesi del PBS (modificato Attrezzature e Carbone attivo) con macro E3'
Method: ReCiPe Midpoint (E) con in ground (130514) v1.09 / Europe Recipe E / Characterisation

ReCiPe Midpoint: normalizzazione

Marine ecotoxicity:

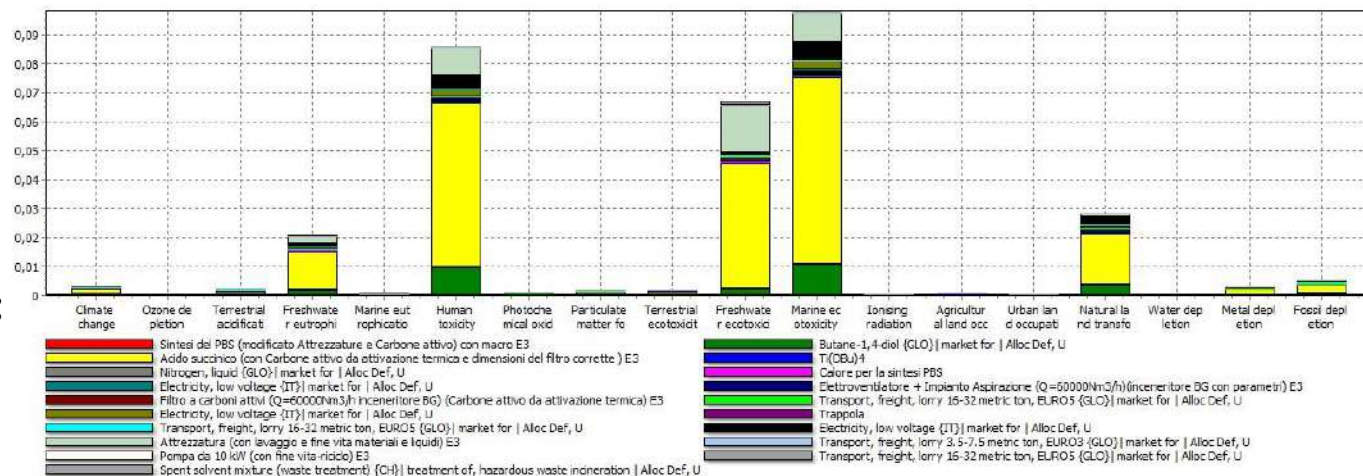
0.098265

Human toxicity:

0.086025

Freshwater ecotoxicity:

0.067165

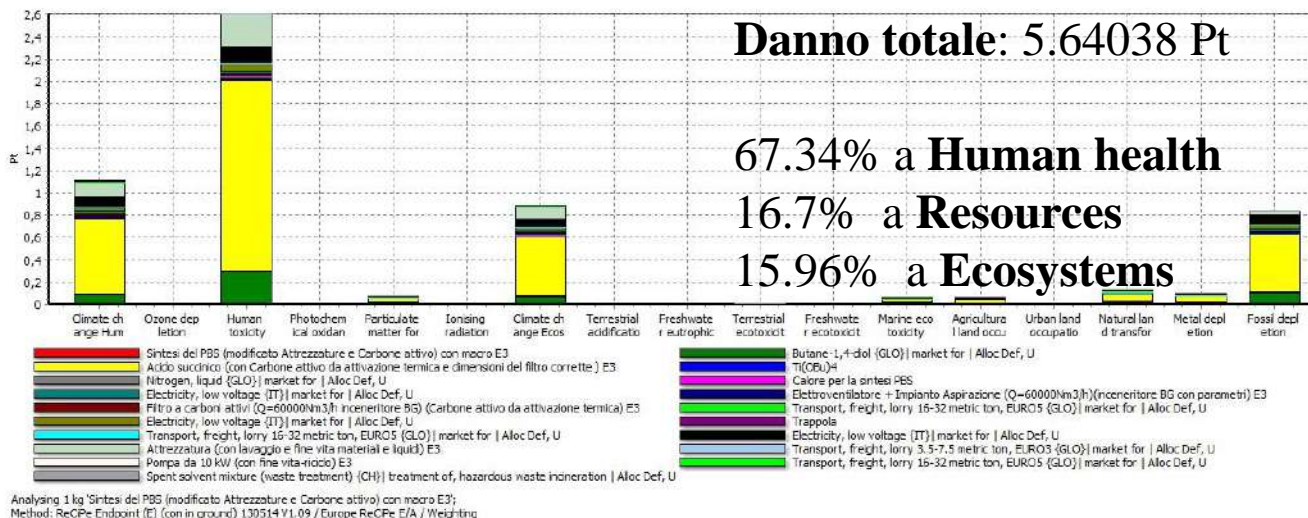


Analysing 1 kg 'Sintesi del PBS (modificato Attrezzature e Carbone attivo) con macro E3'
Method: ReCiPe Midpoint (E) con in ground (130514) v1.09 / Europe Recipe E / Normalisation



Analisi di sensibilità

ReCiPe Endpoint: analisi per impact category



ReCiPe Endpoint: analisi per damage assessment

Human health:

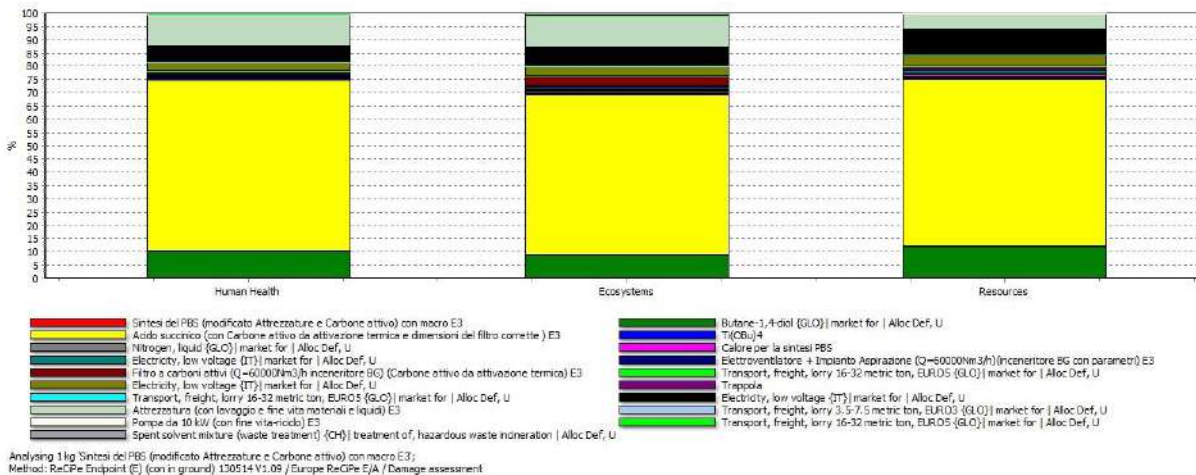
0.00039076 DALY

Ecosystem:

6.18166E-7 species.yr

Resources:

1.4538 \$





Metodo	Human Health [ELU/kg] [€/kg]	Ecosystem production capacity [ELU/kg]	Abiotic stock resource [ELU/kg] Resource [€/kg]	Biodiversity [ELU/kg] Ecosystem quality [€/kg]	Climate change [€/kg]	Totale [€/kg]
EPS	5.11	-0.046	19.17	0.055	/	24.29
IMPACT	0,51	/	8.32	0.015	0.26	9.11
Costi interni						3

Il costo esterno calcolato secondo IMPACT è il **37.48%** di quello calcolato con EPS.

Il costo interno (3€/kg) è **tre volte inferiore** al costo esterno calcolato con IMPACT (9.11€/kg) e **otto volte inferiore** al costo esterno calcolato con EPS (24.29€/kg).



- ❖ Il processo che produce il danno massimo è la **produzione dell'acido succinico**.
- ❖ IMPACT: il danno massimo è **Climate change** (39.06%) seguito da **Resources** (30.96%) e da **Human health** (27.09%).
- ❖ ReCiPe: il danno massimo è **Human Health** (67,34%).
- ❖ Il costo esterno calcolato secondo IMPACT (9,11 €) è tre volte il costo interno è 3€.
- ❖ Lo studio ha permesso di modificare il processo di produzione del carbone attivo e delle attrezzature usate nelle sintesi e già presenti nella banca dati del gruppo di studio di UNIMORE.
- ❖ L'acqua di lavaggio delle attrezzature è stata smaltita nell'inceneritore per rifiuti pericolosi perché può contenere residui della sintesi. In realtà l'acqua potrebbe essere **trattata** e successivamente **immessa** nella rete idrica.
- ❖ I coprodotti di entrambe le sintesi create sono stati smaltiti nell'**inceneritore** e quindi considerati con allocazione **0%**. Tuttavia essi potrebbero essere **recuperati**. Allo stesso modo anche l'acqua ottenuta come coprodotto del I step della sintesi di PBS potrebbe essere immessa nell'ambiente dopo opportuni trattamenti.



- ❖ Recupero e riutilizzo di acqua di lavaggio e coprodotti.
- ❖ Passare all'utilizzo di energia elettrica derivata da **fonti rinnovabili**.
- ❖ Ridurre la richiesta di energia all'interno dei processi investendo in attrezzature con **maggiore efficienza**.
- ❖ Utilizzare filtri a carboni attivi per attivazione termica con **un'efficienza maggiore del 99%**.
- ❖ Utilizzare una **diversa via di sintesi** per la produzione di anidride maleica (da ossidazione diretta di benzene in reattori tubolari a letto fisso, a ossidazione diretta di n-butano in reattori a letto fluido)



GRAZIE PER L'ATTENZIONE