



DiSMI Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia



LCA del ciclo di vita di un fotoreattore cilindrico verticale per la depurazione delle acque industriali

Dott.ssa Maria Vittoria Grandi

In collaborazione con:

Prof.ssa Federica Bondioli

Dipartimento di Ingegneria Industriale – Università di Parma





Le traiettorie tecnologiche regionali per il Sistema Agroalimentare

Tra le traiettorie tecnologiche individuate per il periodo 2014-2020 dalla Regione Emilia Romagna per il sistema agroalimentare:

Gestione della risorsa idrica nella filiera agroindustriale

La Regione Emilia Romagna riconosce poi l'importanza di introdurre in tutti i sistemi produttivi regionali le Key Enabling Technology (KET, tecnologie abilitanti fondamentali) così come definite nel programma comunitario Horizon 2020 tra cui:

- Nanotecnologie
- Materiali avanzati
- Sistemi di fabbricazione avanzati



I processi di ossidazione avanzata (AOPs)

"processi di trattamento di acqua a temperatura e pressione vicine a quelle ambientale che comportano la generazione di radicali ossidrile in quantità sufficiente per effettuare la depurazione delle acque".

Glaze et al. 1987

Produzione di ioni ossidrile OH^- che sono potenti ossidanti chimici, non selettivi, che agiscono molto rapidamente nei confronti di molti composti organici.

- distruzione chimica di agenti contaminanti
- ossidazione progressiva delle sostanze organiche (attraverso diverse forme intermedie) fino alla completa mineralizzazione
- alternativi ai processi nei quali il contaminante è trasferito dalla fase liquida a quella gassosa (es. stripping) o solida (es. adsorbimento su carbone attivo)
- efficaci nei confronti di molti composti refrattari ai trattamenti di ossidazione convenzionali (microinquinanti organici): pesticidi, solventi clorurati, composti odoriferi, ecc



I processi di ossidazione avanzata (AOPs)

Nell'ambito dei processi di depurazione attualmente studiati, ricoprono un ruolo importante i processi di ossidazione avanzata che prevedono l'impiego di alcuni composti fortemente ossidanti capaci di degradare composti organici difficili da abbattere tanto nei comuni impianti biologici quanto attraverso un'ossidazione di tipo tradizionale.

Negli ultimi tre anni è stato studiato l'utilizzo di **fotoreattori con superfici nanotecnologiche con nano-TiO₂**



AOP in via di implementazione

- Ozonizzazione a pH elevato ($> 8,5$)
- Ozono + perossido di idrogeno (O_3 / H_2O_2)
- Ozono + catalizzatore (O_3 / CAT)
- Sistema di Fenton (H_2O_2 / Fe^{2+})
- Sistemi Foto-Fenton ($UV / H_2O_2 / Fe^{2+}$)
- O_3 / UV
- H_2O_2 / UV
- $O_3 / H_2O_2 / UV$
- **Ossidazione fotocatalitica (UV / TiO_2)**

**Processi di ossidazione con l'ausilio
della radiazione ultravioletta**



Tecnologia alla base della sistema innovativo considerato



STADI DELLA DEGRADAZIONE FOTOCHEMICA

Generalmente la degradazione fotochimica in catalisi eterogenea di un inquinante in fase acquosa prevede i seguenti stadi:

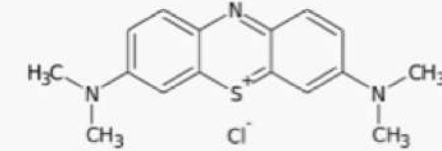
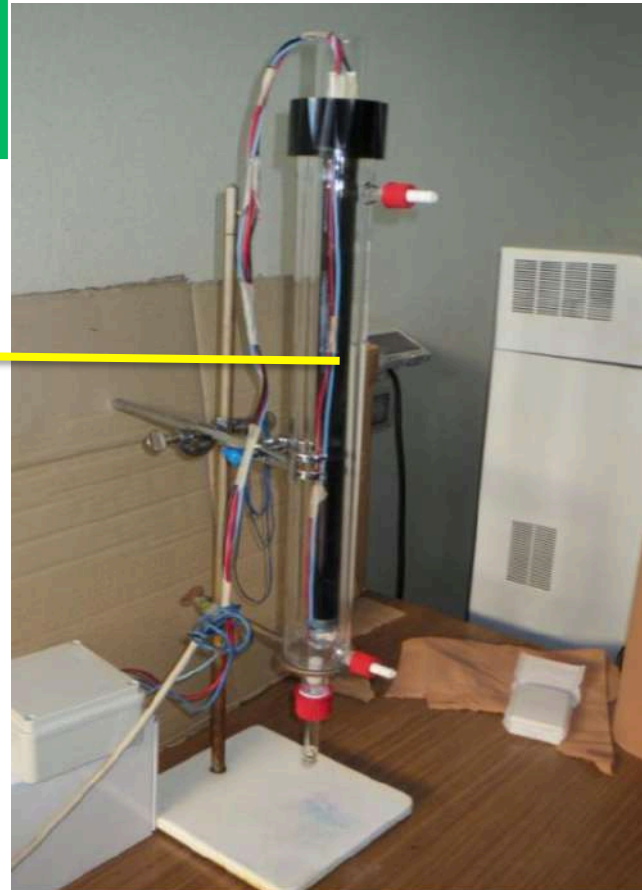
- a) Attivazione del catalizzatore da parte della luce**
- b) Trasferimento dell'inquinante dalla fase acquosa alla superficie del catalizzatore**
- c) Adsorbimento dell'inquinante sulla superficie del catalizzatore**
- d) Reazione fotocatalitica in fase adsorbita**
- e) Desorbimento dei prodotti di degradazione dalla superficie del catalizzatore.**



Il reattore fotocatalitico

Degradazione fotocatalitica
mediante l'utilizzo di
microsfere di Al_2O_3
funzionalizzate con nano- TiO_2

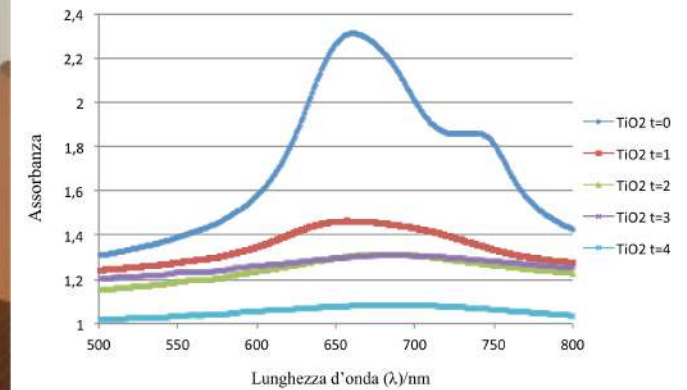
Lampada UV



Blu di metilene



0.02 mmol/L





Refluo reale prodotto da un'azienda del settore tessile



pH	Conducibilità elettrica [mS]	COD [mg/l]
8.5	11.0	1360



Abbattimento del 95% in 60 minuti



Obiettivo dello studio e campo di applicazione

Obiettivo dello studio è il calcolo del danno ambientale dovuto al ciclo di vita di un fotoreattore cilindrico verticale per la depurazione delle acque industriali.

Campo di applicazione

- Funzione del sistema
- Unità funzionale
- Confini del sistema
- Qualità dei dati

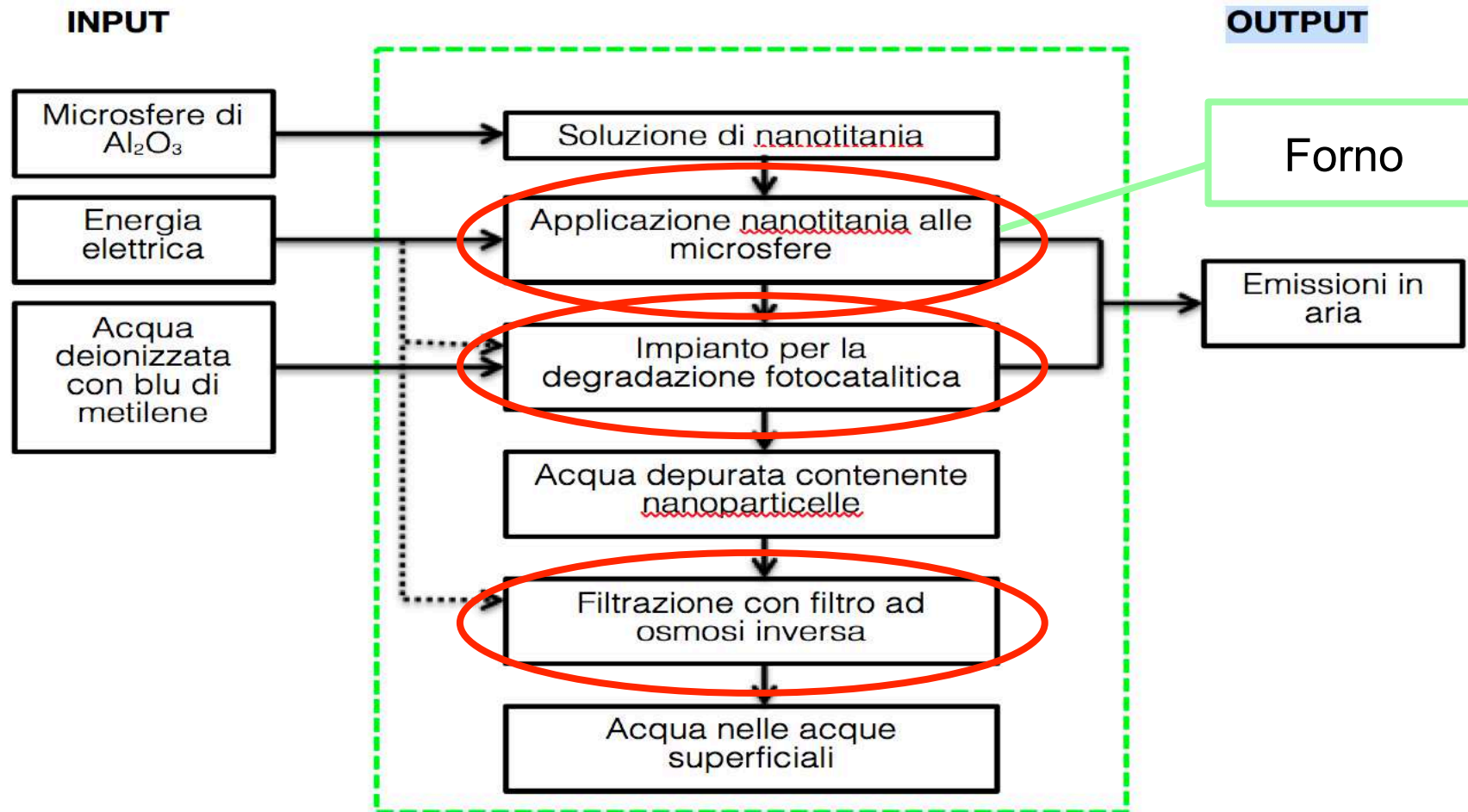
Depurare acqua industriale

H₂O + BdM
6917,3 cm³

- SimaPro 8.0.3
- Dati primari, database Ecoinvent 3, database UNIMORE
- Metodi di valutazione: IMPACT2002+, EPS2000, IMPACT2002+ modificato



Flow chart del sistema analizzato

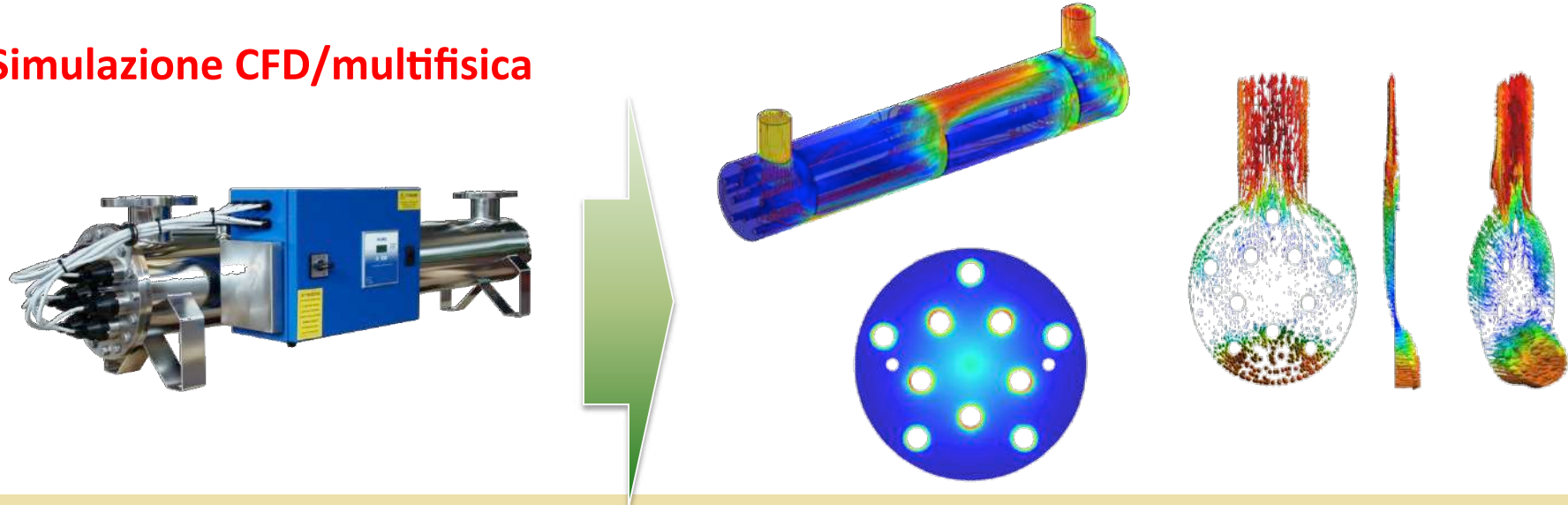




Progettazione ottimizzata del reattore fotocatalitico

- Massimizzare la superficie di contatto reflu/catalizzatore
- Massimizzare la radiazione incidente sul catalizzatore
- Aumentare la turbolenza del reflu in modo da aggirare il problema legato all'eventuale torbidità del reflu
- Aumentare i tempi di residenza all'interno del reattore fotocatalitico

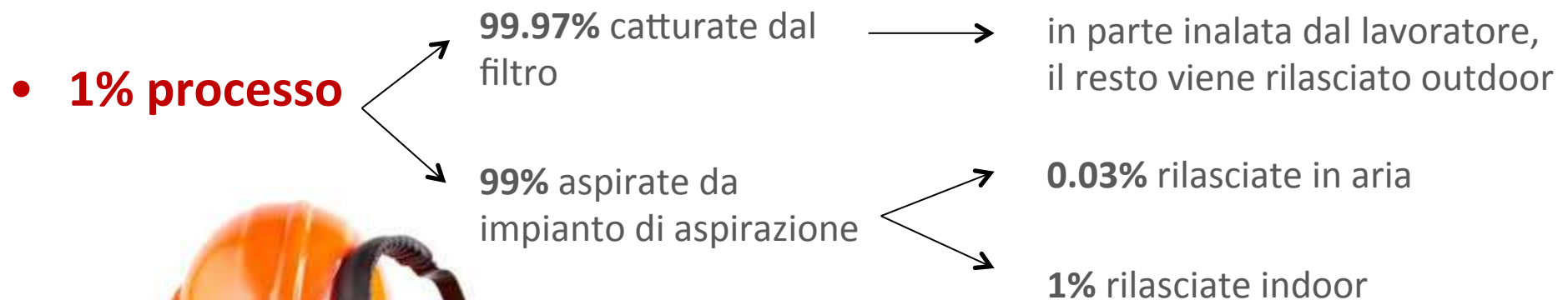
Simulazione CFD/multifisica





Ecodesign dello scale-up industriale: criticità

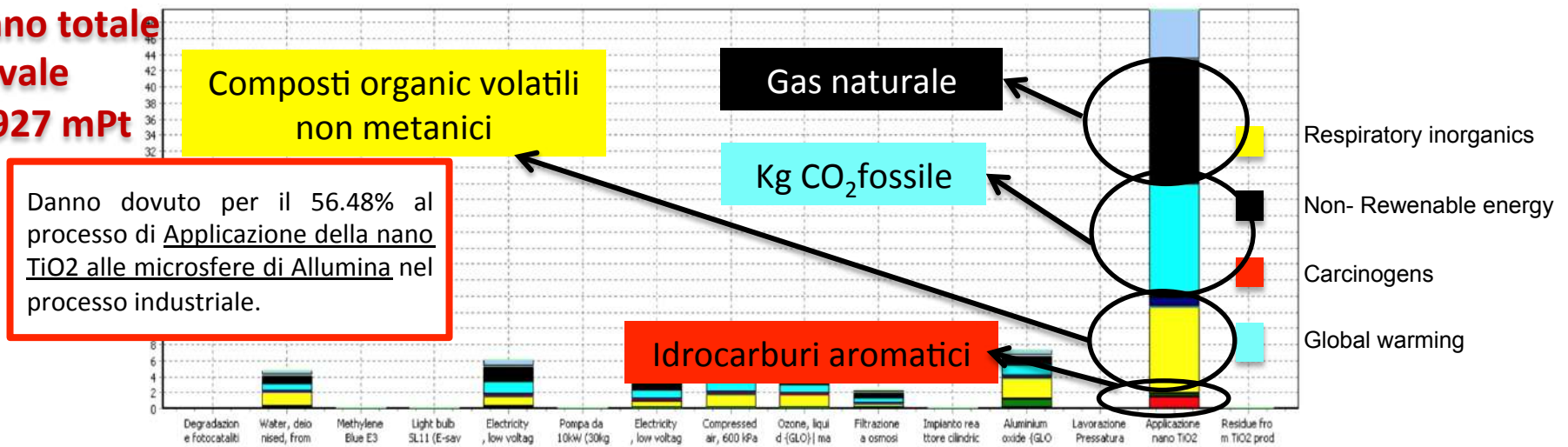
Stima delle emissioni:





Analisi dei risultati – IMPACT 2002+

Il danno totale vale 87,927 mPt

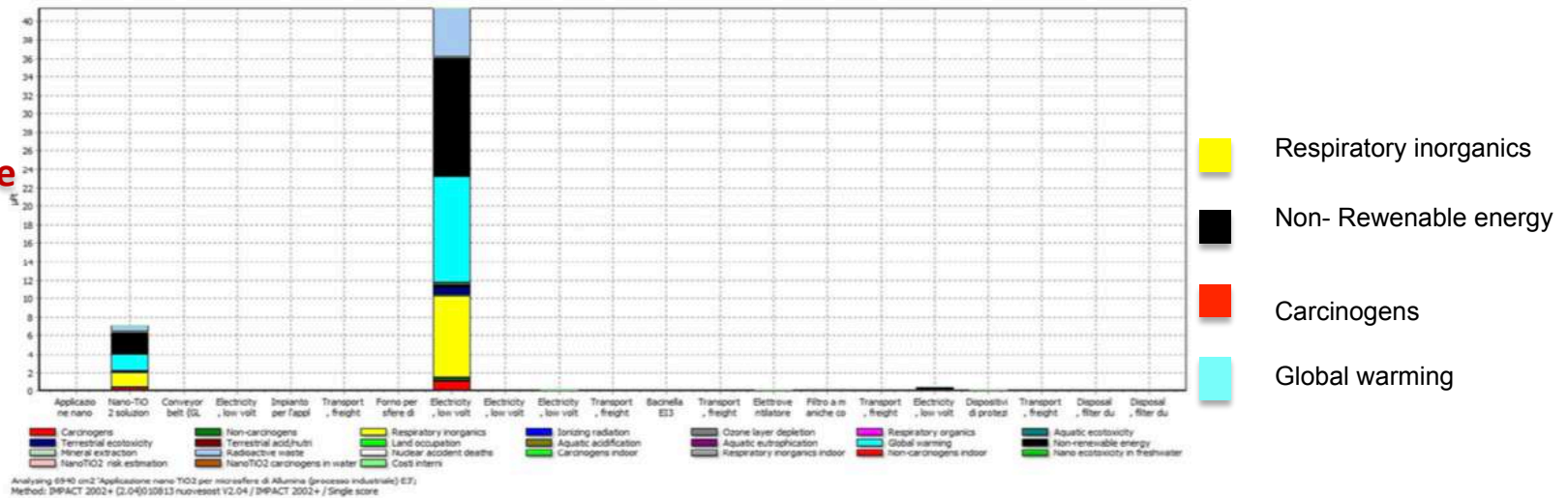


Damage category	% di danno	Processo più impattante	% di impatto	Impact category
Human Health	28,91%	Applicazione nano-TiO ₂	82,58%	Respiratory Inorganics
Resources	28,74%	Applicazione nano-TiO ₂	99,3%	Non-renewable energy
Climate Change	25,46%	Applicazione nano-TiO ₂	100%	Global Warming
Ecosistem quality	3,28%	Applicazione nano-TiO ₂	68,16%	Terrestrial Ecotoxicity



Applicazione di nano-TiO₂ alle microsfere di allumina

**Il danno totale
vale
49,658 mPt**



Damage category	% di danno	Processo più impattante	% di impatto	Impact category
Resources	31,22%	Elettricità per il forno	99,3%	Non-renewable energy
Climate Change	27,42%	Elettricità per il forno	100%	Global Warming
Human Health	25,56%	Elettricità per il forno	82,58%	Respiratory Inorganics
Ecosystem Quality	3,38%	Elettricità per il forno	68,16%	Terrestrial Ecotoxicity



Calcolo dei costi esterni

Metodo	Human Health [ELU] [€]	Ecosystem production capacity [ELU]	Abiotic stock resource [ELU] Resource [€]	Biodiversity [ELU] Ecosystem quality [€]	Climate Change [€]	Radioactive waste [€]	Totale [€]
EPS 2000	0.0379	-0,0003	0,1064	0,3653	/	/	0,1444
IMPACT 2002+	0.0056	/	0.0799	0,0002	0,0017	0,0121	0,0995

Costi totali sostenuti dalla comunità



Considerazioni Conclusive

- L'utilizzo delle nanoparticelle impone l'uso di un ambiente confinato nel quale applicare la soluzione di nano-TiO₂ alle microsfere di Al₂O₃, isolato dagli operatori e dotato di un impianto di aspirazione.
- Se l'acqua depurata deve essere versata nelle acque superficiali occorre fare una filtrazione con un filtro a osmosi inversa per ridurre al minimo le nanoparticelle che possono essere rilasciate durante la degradazione.
- I principali costi, prodotti in tutte le fasi del ciclo di vita, sono dovuti agli accorgimenti necessari per ridurre al minimo l'emissione di nanoTiO₂ nell'atmosfera, nell'ambiente di lavoro e nell'acqua.



Grazie per l'attenzione

Contatti:

LCA Working Group
Prof.ssa Federica Bondioli

annamaria.ferrari@unimore.it
federica.bondioliunipr.it