



POLITECNICO
MILANO 1863

Giornata di studio

"Rifiuti e Life Cycle Thinking"

7^a edizione



Assessment on WASTE
and REsources



UNIVERSITÀ
DI PISA

Integrazione di modellazione matematica, LCA e LCC per lo sviluppo di strumenti di supporto decisionale multicriteriali: Il caso studio SONOVA

Alessio Castagnoli^a, Eric Valdes^b, Francesco Pasciucco^a, Isabella Pecorini^a, Daniel González^b,
David Gabriel^b



^aDipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni, Università di Pisa
^bGENOCOV, Dipartimento di Ingegneria chimica, biologica e ambientale, Universitat Autònoma de Barcelona



DESTEC - DEPARTMENT OF ENERGY, SYSTEM, TERRITORY AND CONSTRUCTION ENGINEERING -
UNIVERSITY OF PISA



1. Introduzione



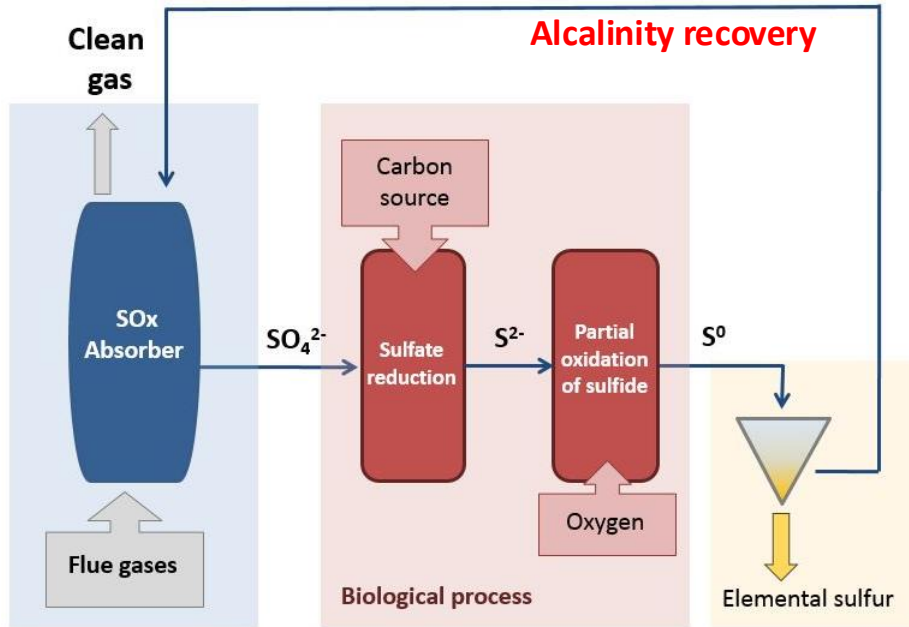
- **Bioeconomia circolare:** promuove innovazione sostenibile trasformando **rifiuti in risorse**, mirando a ridurre gli impatti ambientali e favorendo economie rigenerative;
- Recupero dello zolfo con SRB: Il processo **SONOVA** utilizza batteri solfato-riduttori per trasformare il solfato in solfuro e recuperare zolfo elementare (Mora et al., 2020);
- Combinare l'**Analisi del Ciclo di Vita** (LCA) per valutare gli impatti ambientali e il **Life Cycle Costing** (LCC) per l'analisi economica, permette l'ottimizzazione delle strategie di gestione delle risorse (Liu et al., 2022);
- L'integrazione dei modelli matematici con questi strumenti permette lo sviluppo di **Decision Support Tool** (DST);
- **Progetto RECYCLES:** Iniziativa Horizon 2020 (MSCA-RISE, N° 872053) per lo sviluppo di un DST che valuta scenari alternativi basati su dati tecnologici, economici e ambientali.



1. Introduzione: Il processo SONOVA



Off-gas da combustione ricchi in SO_2 e linea di trattamento con scrubber
→ SONOVA: processi biologici in serie (SR-SO) per il recupero di S



Step richiesti per lo sviluppo del DST

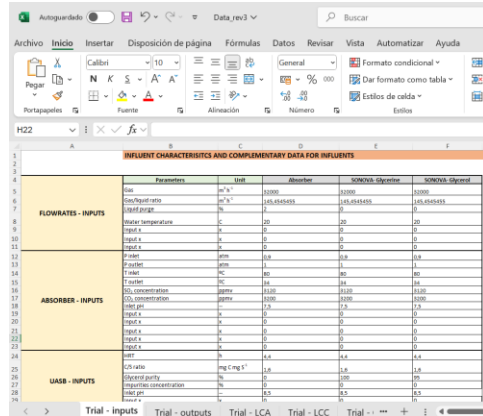
1. Sviluppo di un modello matematico per il processo SONOVA;
2. LCA e LCC del processo;
3. Selezione degli scenari da confrontare;
4. Definire l'architettura del DST.



1. Introduzione: Elaborazione DST

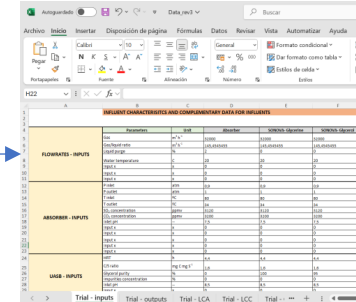


Attuale architettura del DST: interfaccia Excel - MATLAB



The Excel spreadsheet displays input data for the model, organized into three main sections: FLOWRATES - INPUTS, ABSORBER - INPUTS, and LIAB - INPUTS. Each section contains a list of parameters with their units and values.

Parameters	Unit	Value
Flow rate	m ³ /s	1.0000
Flow rate ratio	m ³ /s	1.0000
Flow range	%	1.0000
Water temperature	°C	20
Input x	m	0
Input y	m	0
Input z	m	0
Input w	m	0
Input v	m	0
Input u	m	0
Input t	m	0
Input s	m	0
Input r	m	0
Input q	m	0
Input p	m	0
Input o	m	0
Input n	m	0
Input m	m	0
Input l	m	0
Input k	m	0
Input j	m	0
Input i	m	0
Input h	m	0
Input g	m	0
Input f	m	0
Input e	m	0
Input d	m	0
Input c	m	0
Input b	m	0
Input a	m	0
Input 0	m	0

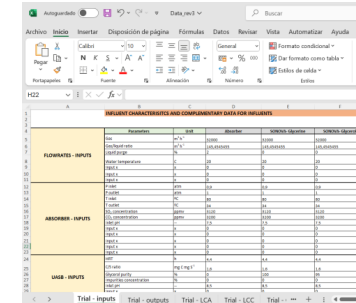


The Excel spreadsheet displays the results of the model, including MM outputs, LCA, and LCC. The table is organized into columns for different parameters and rows for different scenarios.

Parameters	Unit	Value
Flow rate	m ³ /s	1.0000
Flow rate ratio	m ³ /s	1.0000
Flow range	%	1.0000
Water temperature	°C	20
Input x	m	0
Input y	m	0
Input z	m	0
Input w	m	0
Input v	m	0
Input u	m	0
Input t	m	0
Input s	m	0
Input r	m	0
Input q	m	0
Input p	m	0
Input o	m	0
Input n	m	0
Input m	m	0
Input l	m	0
Input k	m	0
Input j	m	0
Input i	m	0
Input h	m	0
Input g	m	0
Input f	m	0
Input e	m	0
Input d	m	0
Input c	m	0
Input b	m	0
Input a	m	0
Input 0	m	0

MM outputs, LCA e LCC

Selezione KPI,
metodo di pesatura e
definizione objective
function



The Excel spreadsheet displays the results of the model, including MM outputs, LCA, and LCC. The table is organized into columns for different parameters and rows for different scenarios.

Parameters	Unit	Value
Flow rate	m ³ /s	1.0000
Flow rate ratio	m ³ /s	1.0000
Flow range	%	1.0000
Water temperature	°C	20
Input x	m	0
Input y	m	0
Input z	m	0
Input w	m	0
Input v	m	0
Input u	m	0
Input t	m	0
Input s	m	0
Input r	m	0
Input q	m	0
Input p	m	0
Input o	m	0
Input n	m	0
Input m	m	0
Input l	m	0
Input k	m	0
Input j	m	0
Input i	m	0
Input h	m	0
Input g	m	0
Input f	m	0
Input e	m	0
Input d	m	0
Input c	m	0
Input b	m	0
Input a	m	0
Input 0	m	0



2. Materiali & metodi: Struttura LCA e LCC



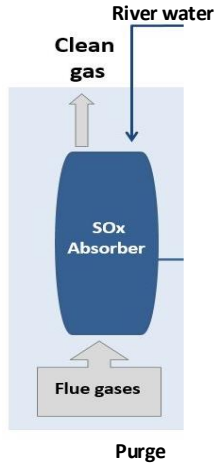
- **Unità funzionale:** trattamento di $32.000 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ di gas derivante dalla camera di combustione
- **Confini del sistema:** gate-to-grave
- **Software utilizzato:** Simapro 9.6 ed Excel
- **Metodo di valutazione degli impatti:** Recipe 2016 (H) Midpoint
- **Background data:** Ottenuti attraverso modello, da letteratura per il pretrattamento del glicerolo e attraverso cataloghi commerciali per il dimensionamento delle attrezzature
- **Foreground data:** Ottenuti da Ecoinvent 3.10
- **Scenario 0 (baseline):** Trattamento attraverso scrubber chimico e rilascio in mare degli effluenti
- **Scenario 1:** Trattamento attraverso scrubber chimico e trattamento degli effluenti attraverso processo SONOVA, con recupero di Biogas e S (espansione dei confini del sistema), fonte di C: glycerine
- **Scenario 2:** Trattamento attraverso scrubber chimico e trattamento degli effluenti attraverso processo SONOVA, con recupero di Biogas e S (espansione dei confini del sistema), fonte di C: purified glycerol (crude glycerol trattato attraverso distillazione a vuoto)



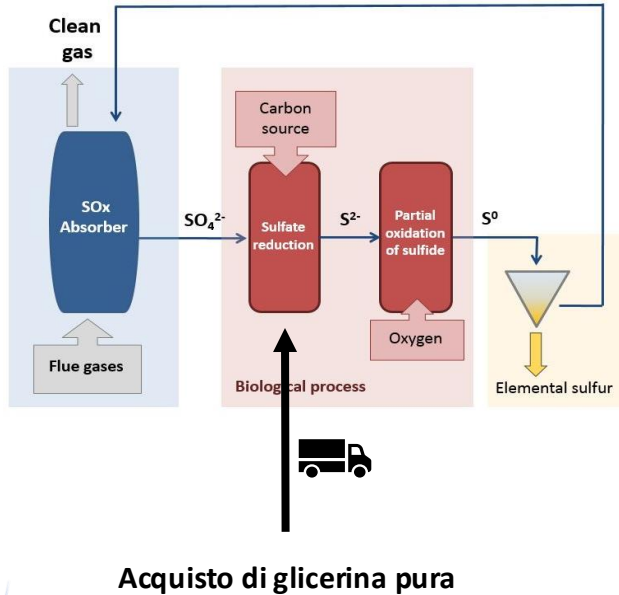
2. Materiali & metodi: Scenari analizzati



Baseline scenario Scrubber

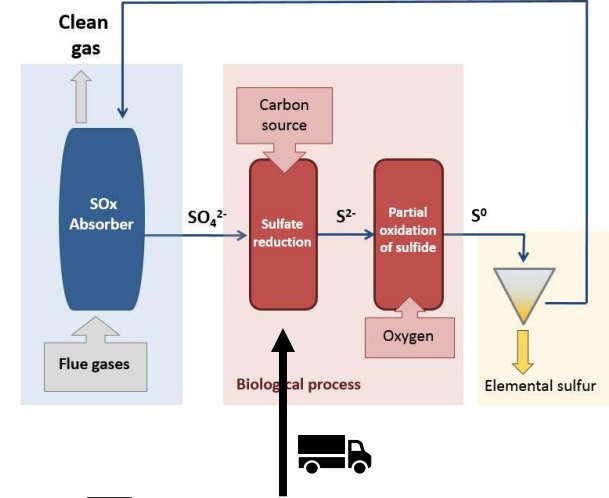


Scenario 2 SONOVA con glycerine



Acquisto di glicerina pura

Scenario 3 SONOVA con Purified glycerol



Crude glicerol:
sottoprodotto di
bioraffineria



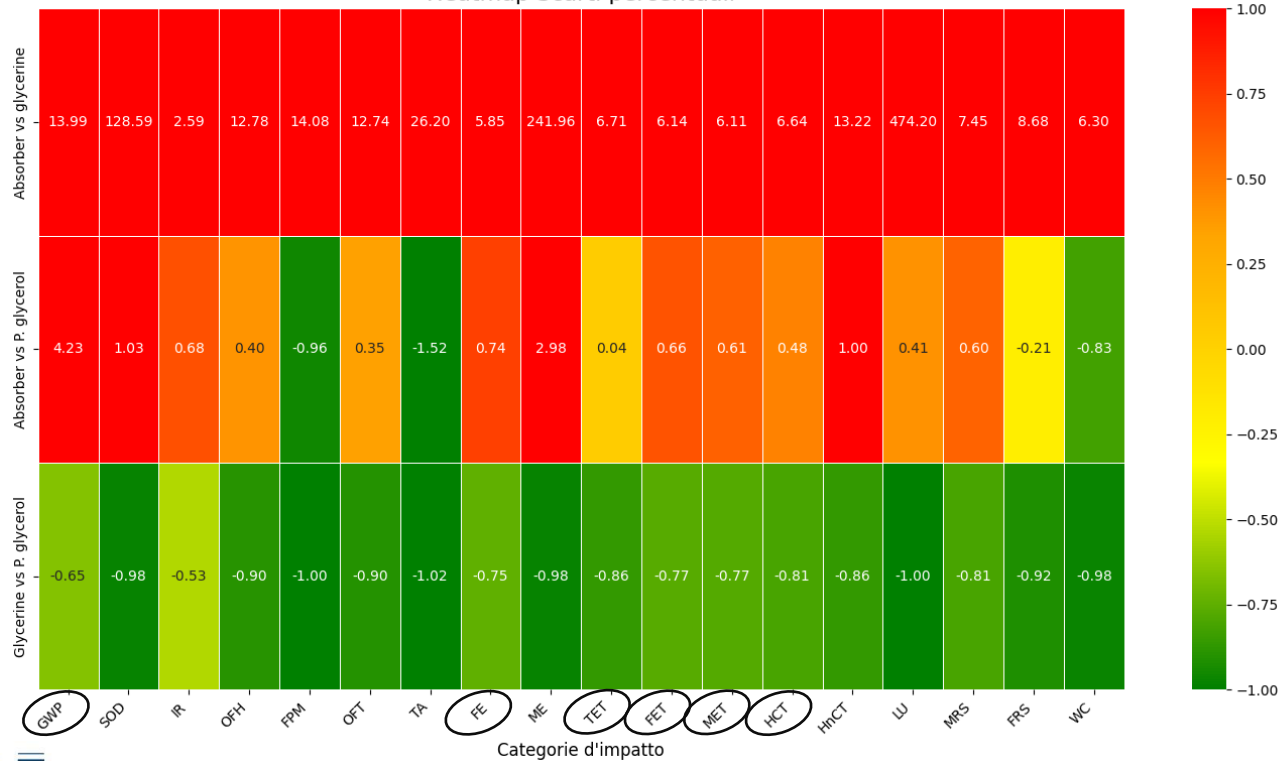
Pretrattamento:
Distillazione a vuoto



3. LCA: Scarti percentuali



Heatmap Scarti percentuali



Categorie vincenti o confrontabili:

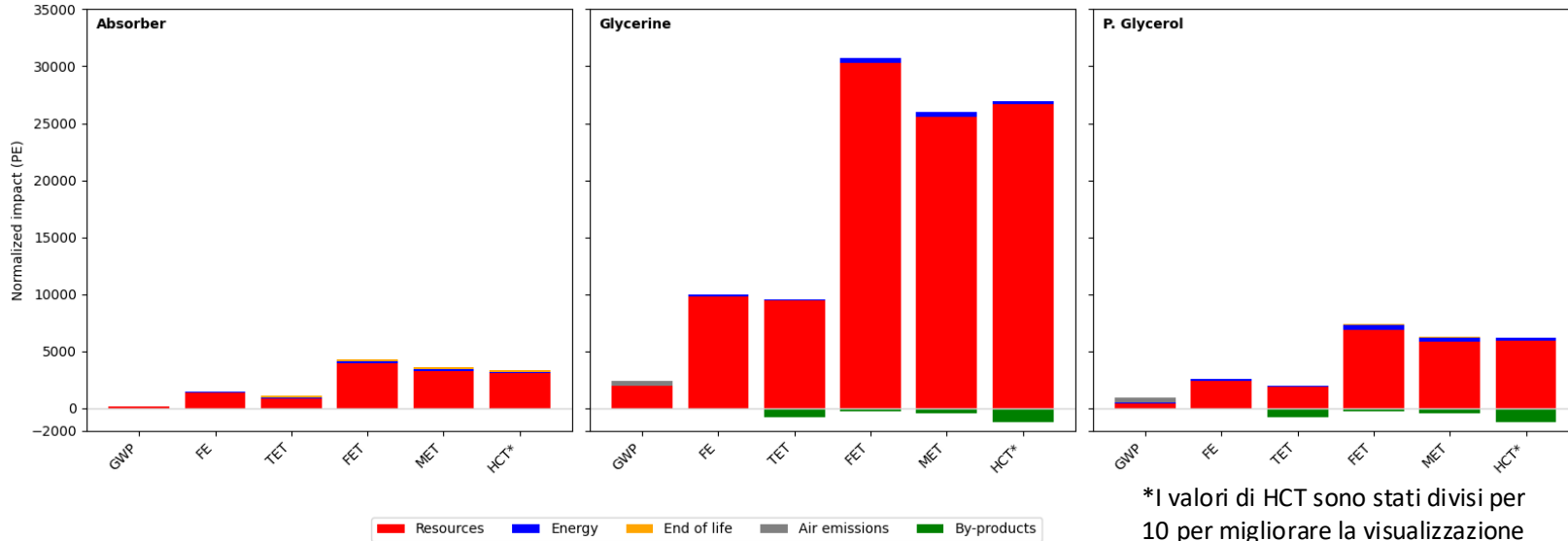
- Fine Particulate Matter
- Terrestrial Acidification
- Terrestrial Ecotoxicity
- Human Carcinogenic Toxicity
- Land Use
- Fossil Resource Scarcity
- Water Consumption

Categorie più significative:

- Human carcinogenic toxicity (73.2%)
- Freshwater ecotoxicity (9.2%)
- Marine ecotoxicity (7.8%)
- Freshwater eutrophication (3.2%)
- Terrestrial ecotoxicity (2.4%)
- Global warming potential (0.8%)



3. LCA: Analisi dei contributi



*I valori di HCT sono stati divisi per 10 per migliorare la visualizzazione

- Consumo di NaOH e fonte di C (Glycerine e P. Glycerol) sono le principali fonti d'impatto;
- Per gli impatti più importanti, Absorber e P. Glycerol sono comparabili a differenza di Glycerine;
- I by-products non permettono una completa mitigazione degli impatti;
- L'utilizzo di un sottoprodotto come il purified glycerol è notevolmente conveniente.

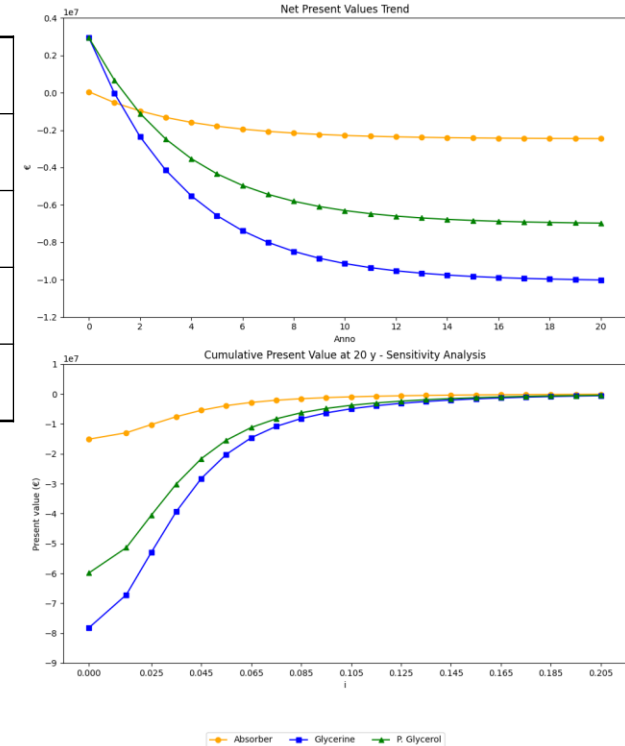


3. LCC: Principali risultati



	U.M.	Absorber	SONOVA - Glycerine	SONOVA – P. Glycerol
Investment costs	%	51672.08	2944715.96	2944715.96
Operation and dismantling costs/revenues	€ year ⁻¹	746820.73	3745741.88	2828409.06
Workers management costs	€ year ⁻¹	6395.47	28473.37	28473.37
Mantaining costs	€ year ⁻¹	2885.13	124156.83	124156.83

- L'utilizzo di uno scrubber è la migliore scelta anche da un punto di vista economico;
- Costi guidati dal consumo di risorse (NaOH e C source);
- Sensitivity analysis sul tasso d'interesse: Cumulative present value piuttosto che Net Present Value → Distorsioni legate alla natura dei valori.

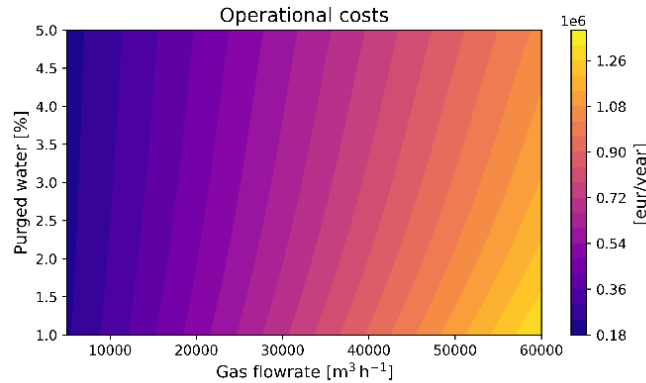
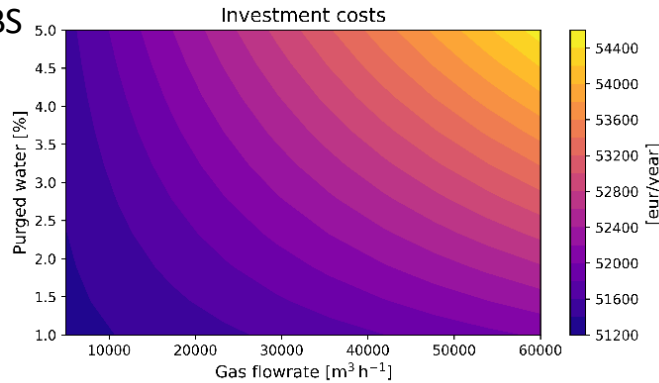




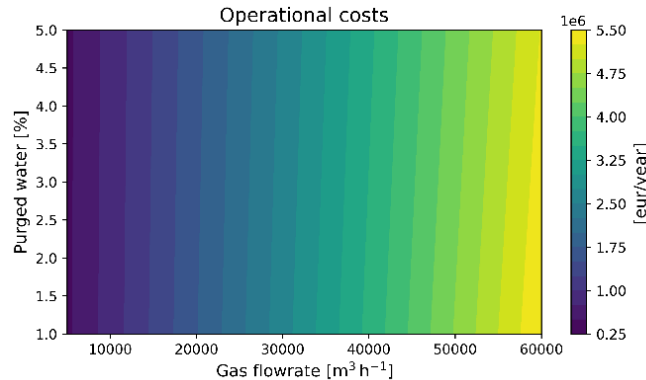
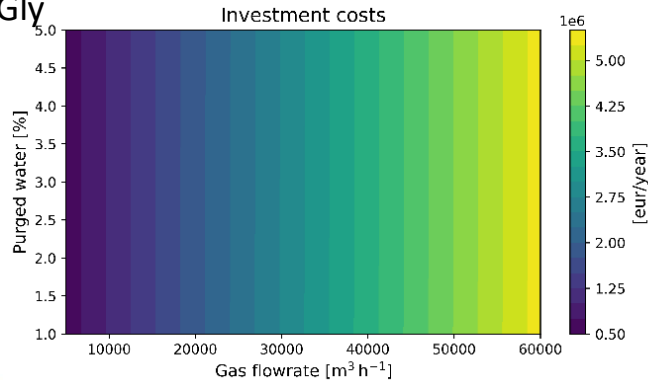
3. Sensitivity analysis – flowrate inputs



ABS



P. Gly



Absorber:

L'incremento della portata in ingresso porta ad una riduzione dei costi d'investimento, e ad un incremento dei costi d'esercizio
L'influenza dello spurgo varia all'aumentare della portata in ingresso

P. Glycerol:

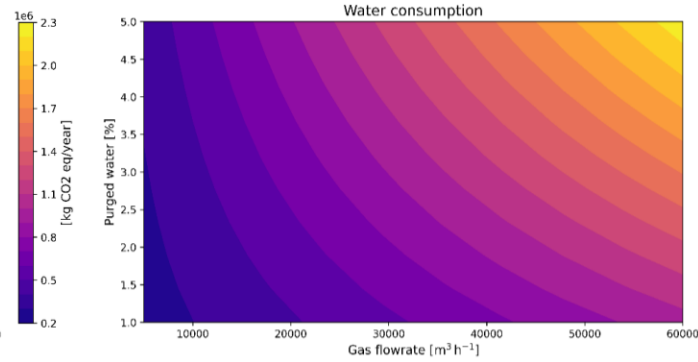
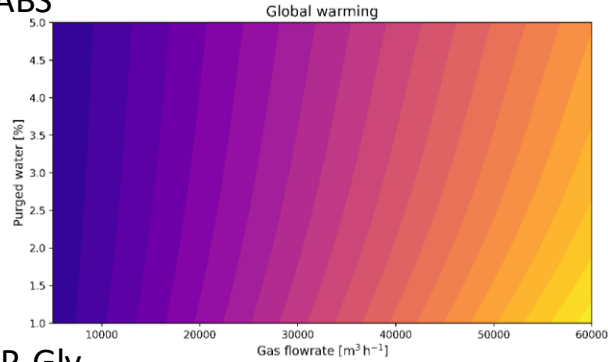
Lo spurgo non incide sui costi, i quali sono invece strettamente correlati alla portata in ingresso.



3. Sensitivity analysis – flowrate inputs



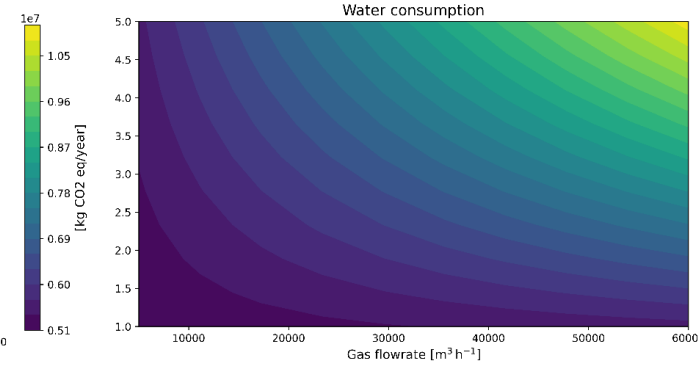
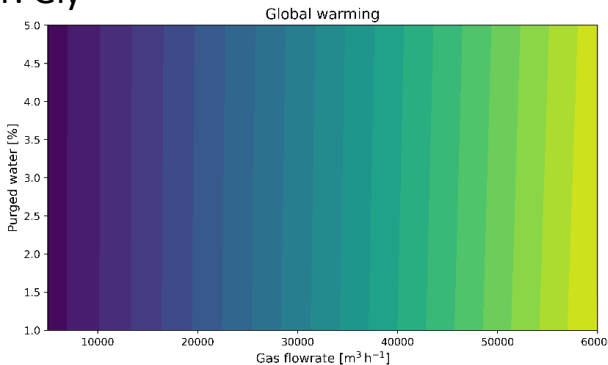
ABS



Absorber:

Lo spurgo permette una mitigazione del GWP, soprattutto per flussi elevati, ma ha effetti negativi sul consumo d'acqua

P. Gly



P. Glycerol:

GWP incrementa linearmente con la portata in ingresso, mentre WC è principalmente influenzato dalla percentuale spurgata.



4. Conclusioni e prospettive future



Risultati ottenuti:

- Scrubber chimico tradizionale migliore rispetto al processo SONOVA,
- Le voci più impattanti sono il consumo di soda e di C;
- Impianti più grossi permetterebbero di ridurre il consumo d'acqua;

Vantaggi modellistici:

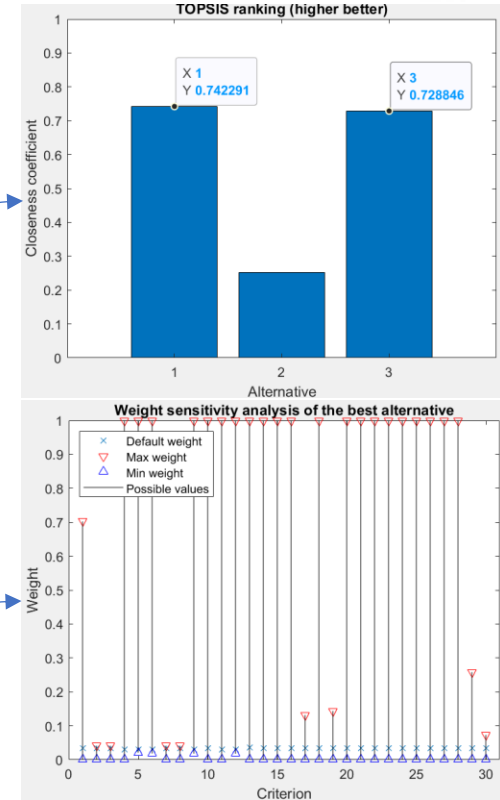
- Grande mole di dati e notevoli possibilità configurazionali,
- Grafici maggiormente informativi,
- Possibilità di mettere in relazione 2 o più variabili chiave;

Limiti di questo approccio:

- Legato a SimaPro e al download dei processi da Ecoinvent,
- Difficile confrontare diversi metodi;

Prospettive future:

- Ranking oggettivo attraverso metodo TOPSIS;
- Integrazione di 3 metodi di pesatura e confronto dei risultati;
- Sensitivity analysis sulla base del metodo utilizzato (CML, EF 3.0, GLAM, USETOX)





5. Bibliografia



Bansod, Y., Crabbe, B., Forster, L., Ghasemzadeh, K., D'Agostino, C., 2024. Evaluating the environmental impact of crude glycerol purification derived from biodiesel production: A comparative life cycle assessment study. *Journal of Cleaner Production* 437, 140485.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140485>

Fernández-Palacios, E., Zhou, X., Mora, M., Gabriel, D., 2021. Microbial Diversity Dynamics in a Methanogenic-Sulfidogenic UASB Reactor. *IJERPH* 18, 1305. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031305>

Liu, H., Liu, T., Wei, G., Zhao, H., Li, T., Weng, F., Guo, X., Wang, Y., Lin, Y., 2022. Environmental and economic assessment of rural domestic waste gasification models in China. *Waste Management* 154, 160–174. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.10.001>

Mora, M., Fernández-Palacios, E., Guimerà, X., Lafuente, J., Gamisans, X., Gabriel, D., 2020. Feasibility of S-rich streams valorization through a two-step biosulfur production process. *Chemosphere* 253, 126734. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126734>

National Institute for Public Health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport, 2020. Recipe normalisation scores.

Valdés, E., Gabriel, D., González, D., Munz, G., Polizzi, C., 2023. Integrating thermodynamics and mathematical modelling to investigate the stoichiometry and kinetics of sulphide oxidation-nitrate reduction with a special focus on partial autotrophic denitrification.

Chemosphere 339, 139605. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139605>

Zhou, X., Dorado, A.D., Lafuente, J., Gamisans, X., Gabriel, D., 2022a. Mechanistic modeling of glycerol fermenting and sulfate-reducing processes by granular sludge under sulfidogenic conditions. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10, 107937.

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107937>

Zhou, X., Fernández-Palacios, E., Dorado, A.D., Gamisans, X., Gabriel, D., 2022b. Assessing main process mechanism and rates of sulfate reduction by granular biomass fed with glycerol under sulfidogenic conditions. *Chemosphere* 286, 131649.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131649>



Alessio Castagnoli

Msc in Scienze Ambientali presso l'Università di Pisa

PhD Candidate in Ingegneria Ambientale presso l'Università di Pisa

Membro del gruppo di ricerca LISAP

alessio.castagnoli@phd.unipi.it



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 872053.

