



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Sviluppo storico e future direzioni nelle metodologie di calcolo dello sfruttamento delle risorse naturali abiotiche

Tavolo tecnico OIMCE – il potenziale dell'ecodesign per il recupero e riciclo di materie prime critiche

Roma, 26/03/2025

Giuseppe Di Florio - TERIN-STE



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



CRM nell'ambito del dipartimento TERIN

Progetti e attività di ricerca

- ❑ Divisione TERIN-DEC (resp. Ing.ra Viviana Cigolotti) all'interno del Progetto RdS PTR 25-27 Prog 1.2 (resp. per laboratorio ACEL Dr.ssa Margherita Moreno)
 - Sviluppo di materiali catodici: Li-rich e Co-free, Na-ione (nuovi materiali senza CRM)
 - Utilizzo di biomasse per produrre materiali anodici per Na-ione
 - Esplorazione del potenziale di Li geotermico locale
 - Studi LCA preliminari sui nuovi materiali sviluppati
- ❑ Divisione TERIN-SPV (resp. Dr.ssa Paola Delli Veneri)
 - Riduzione o eliminazione dell'indio in celle solari in silicio tramite sostituzione o riduzione dello spessore di ITO
- ❑ Divisione TERIN-SSI (resp. Ing. Walter Gaggioli)
 - Si sviluppano Carnot battery basate su accumulo a sali fusi eliminando o riducendo diversi CRM nella produzione dei sistemi di accumulo d'energia



.....l'elenco è tutt'altro che esaustivo

Sezione Metodologie, Approcci e Strumenti per l'analisi della Sostenibilità delle Tecnologie Energetiche (TERIN-STE)

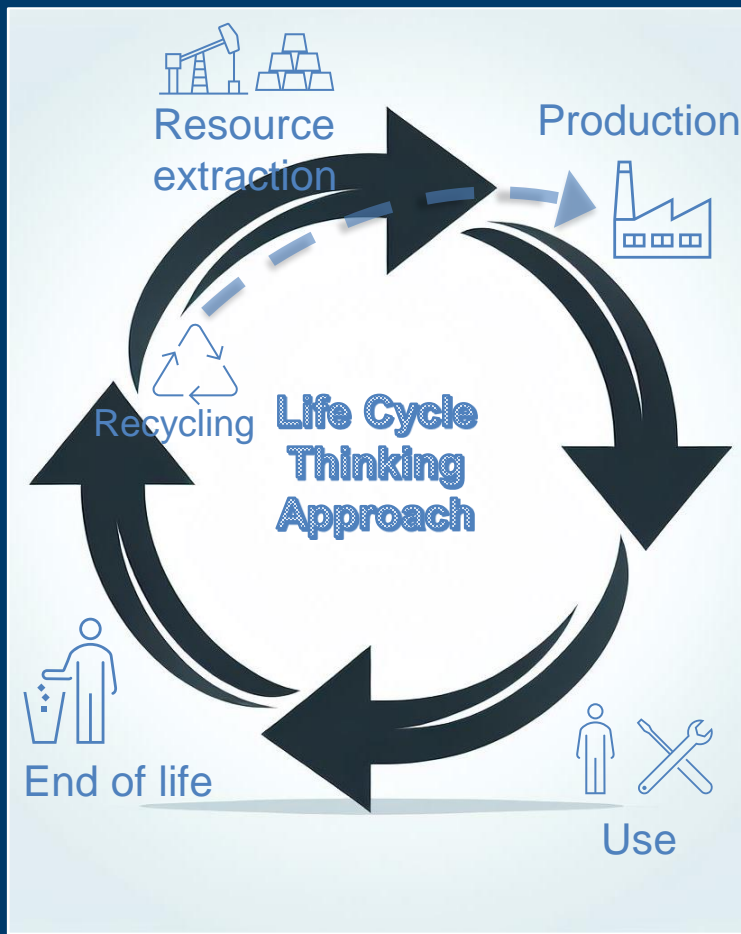
Resp.: Dr. Alessandro Agostini

Ref.: Dr.ssa Maria Rosaria Seminara

Svolge attività di studio, analisi e valutazione di sostenibilità con l'obiettivo di definire e sviluppare approcci, strumenti e soluzioni per favorire la diffusione e l'accettabilità sociale delle tecnologie, delle fonti e dei vettori energetici innovativi, per la transizione verso un sistema energetico ed economico decarbonizzato.

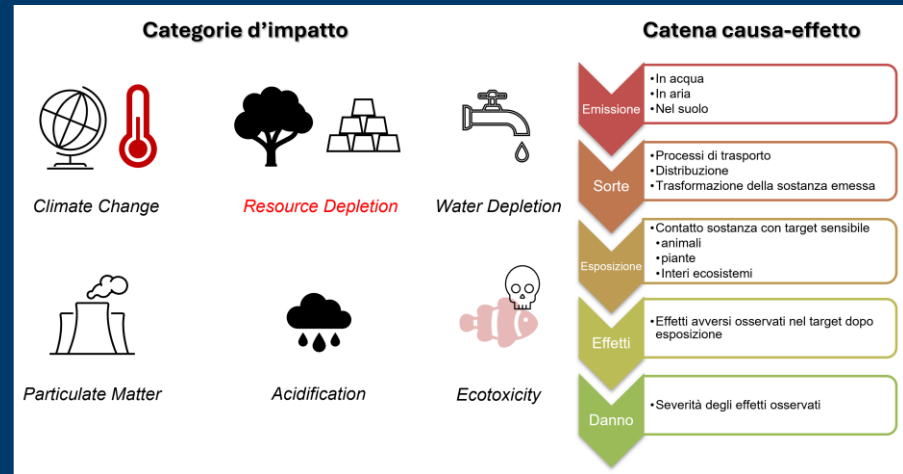
Le valutazioni di sostenibilità, inclusiva di tutti gli aspetti (economico, sociale ed ambientale), saranno condotte con metodi basati su **Life Cycle Thinking** (Environmental Life Cycle Assessment, Social Life Cycle Assessment e Life Cycle Costing) e riferite a materiali, tecnologie, processi, componenti, sistemi energetici, per i diversi settori e usi finali (industria, trasporti e mobilità, civile e residenziale).





Life Cycle Assessment

- Ha la finalità di identificare e valutare i potenziali impatti ambientali di un prodotto, processo o servizio durante l'intero ciclo di vita e fornire supporto decisionale per migliorare la sostenibilità
- La metodologia 1) definisce gli obiettivi, 2) compila l'inventario del ciclo di vita, 3) **valuta gli impatti ambientali** e 4) interpreta i risultati
- Approccio sistemico, basato su norme ISO, che considera tutte le fasi del ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime al fine vita. Al contempo può essere complesso da implementare



Eco-design su base quantitativa per l'uso di CRM

Una corretta metodologia di valutazione per lo sfruttamento delle risorse permette di scegliere l'alternativa più sostenibile, tra quelle che assolvono alla stessa funzione, ma utilizzano sistemi materiali differenti.

- Cosa valutano di preciso i modelli oggi più utilizzati?
- Come gestiscono le materie prime seconde ed il riciclo?
- Includono la criticità dei materiali?



Abiotic Depletion Potential (ADP)

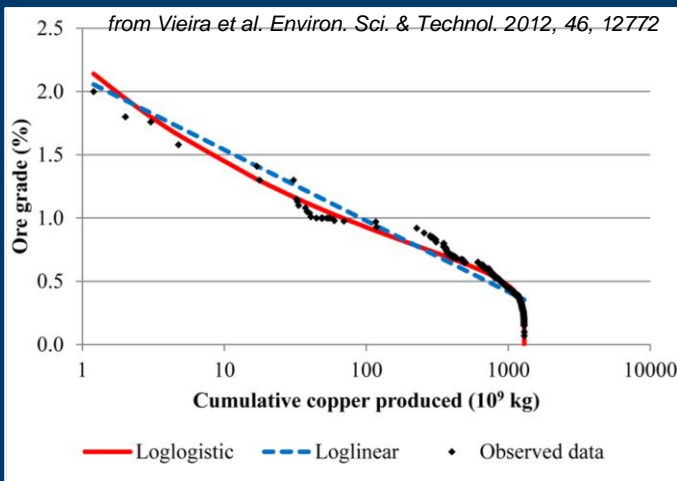
Nel 1995 J.B. Guinée e R. Heijungs propongono una risposta alla domanda «quanto grave è il consumo di una risorsa naturale in relazione ad un'altra ed è possibile esprimerla con fattori equivalenti?»

- Scarsità o sfruttamento di risorse è affrontato come un problema ambientale
- Il termine «*availability*» va definito in senso rigoroso. Nel metodo corrisponde a stock accessibili per estrazione primaria
- Le risorse abiotiche includono risorse fossili e minerali
- La misura della disponibilità di risorse è fondata su concetti fisici: **riserve** (riserve geologiche) e **dissipazione** (produzione primaria)
- ADP è definito rispetto ad una sostanza di riferimento (antimonio)



$$Depletion = \sum_{res} CF_{res} \times extraction_{res} \quad CF_{res} [kg^{-1} \cdot y^{-1}] = \frac{deaccumulation [kg \cdot y^{-1}]}{(reserve [kg])^2}$$

$$ADP_{res} [kg_{ref} \cdot kg_{res}^{-1}] = \frac{P_{res} [kg_{res} \cdot y^{-1}]}{P_{ref} [kg_{ref} \cdot y^{-1}]} \times \left(\frac{R_{ref} [kg_{ref}]}{R_{res} [kg_{res}]} \right)^2$$



Metal scarcity: la diminuzione del grado minerale (*ore grade*) come indicatore LCA (Vieira et al. 2012)

- I metodi di esaurimento (*depletion*) falliscono nel valutare i cambiamenti nel tempo delle qualità delle risorse.
- La scarsità (*mineral scarcity*) è definita come riduzione del grado minerario globale dovuto all'estrazione di risorse.
- Si assume il principio che siti minerari con un grado maggiore siano esplorati per primi.
- Distribuzioni di tipo loglogistic o loglinear descrivono la relazione tra *ore grade-cumulative tonnage*.

Characterization factor

$$CF_i = - \left. \frac{\partial g_i}{\partial CMT_i} \right|_{CMT_{current}}$$

Impact score for metal scarcity

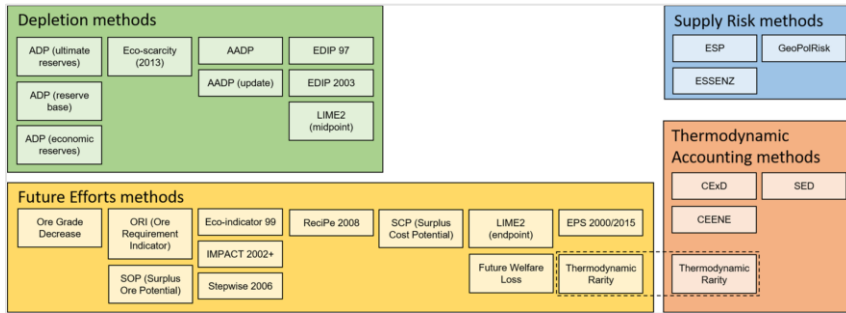
$$IS_{ms} = \sum_i CF_i \times M_i$$

ore grade as a function of cumulative tonnage extracted

$$g_i = \exp(\alpha) \cdot \exp\left(\beta \cdot \ln\left(\frac{A}{CMT_i} - 1\right)\right) \quad \text{or} \quad g_i = a + b \cdot \ln(CMT_i)$$

L'importanza delle assunzioni alla base del metodo

Categorizzazione dei metodi rispetto al meccanismo d'impatto

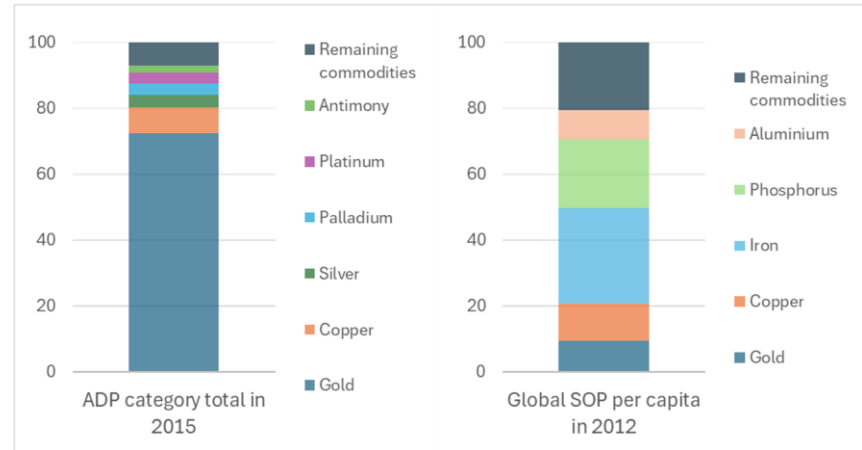


from Sonderegger et al. *Int. J. LCA* 2020, 25, 784-797

$$TAD = \sum_i ADP_i \times P_i = \frac{R_{ref}^2}{P_{ref}} \sum_i \left(\frac{P_i}{R_i} \right)^2 \quad \text{AD category total}$$

In relazione al meccanismo sotteso, i metodi mostrano differenti valori e range dei CF ed evidenziano una diversa sensibilità rispetto alle risorse

Category totals and resources contribution to global impact

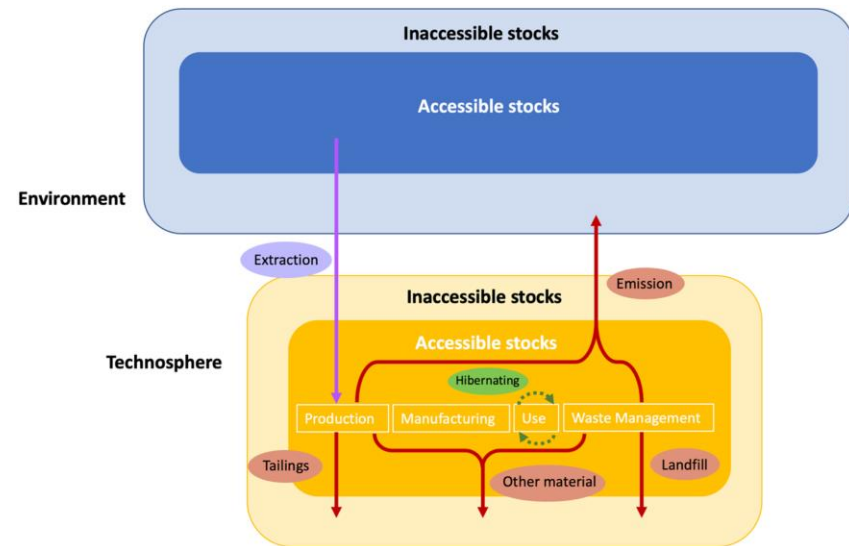


Calcolato da van Oers et al. *Int. J. LCA* 2020, 25, 294-308

Calcolato da Vieira et al. *J. Ind. Ecol.* 2017, 21(2), 381-390

Sviluppi attuali

- Estrarre elementi dalla natura (e portarli nella tecnosfera) non necessariamente pregiudica il recupero, riutilizzo o riciclo della risorsa naturale.
- Non il consumo ma la **dissipazione** di risorse influenza la possibilità per le future generazioni di usufruire delle risorse.
- **Dissipazione** è il flusso di materia che finisce in «depositi» non accessibili (orizzonte temporale)
- Di un elemento possono esistere stock nell'ambiente e stock nella tecnosfera. Solo una parte di essi è accessibile nell'orizzonte temporale considerato.



$$EDP_{t,T,i} = \frac{E_{t,T,i} / R_{tot,t+T,i}^2}{E_{t,T,ref} / R_{tot,t+T,ref}^2} \xrightarrow{\text{very long } T} EDP_{2025,VLT,i} = \frac{M_{2025,i} / R_{ult,i}^2}{M_{2025,ref} / R_{ult,ref}^2}$$

$$EDP_{2025,VLT,i}(ref) \approx ADP_{2025,i}(ref)$$

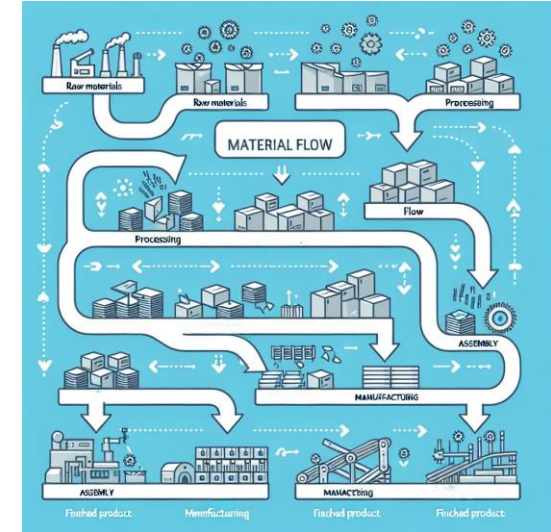
$$ED_{2025,VLT} = k \times \sum_i ADP_{2025,i} \times e_i$$

Emissioni

L'ultimo passo: integrare la criticità!

Una robusta metodologia per la valutazione della criticità dei raw materials in LCA non è ancora stata portata a termine

- Il concetto di criticità delle materie prime è ampio e generale.
- Ciò per poter catturare sia i fattori di rischio di approvvigionamento sia la vulnerabilità del sistema ad un'interruzione delle forniture.
- La criticità è molto più collegata al contesto.
- Metodi per la criticità si sono sviluppati in ambiti indipendenti dalla LCA.
- Ad oggi sono numericamente piuttosto limitati i tentativi di integrare la criticità dei materiali in un framework teorico (*Sonnemann et al. J. Clean. Prod. 2015, 94, 20-34; Hackenhaar et al. Sustain. Prod. Consump. 2024, 45, 509-524*) o nello sviluppo di modelli operativi (Economic Resource Scarcity Potential (ESP) *Schneider et al. Int. J. LCA 2014, 19, 601-610*)



Una materia prima è critica “...only if it performs an essential function for which few or no satisfactory substitutes exist...” e “...only if an assessment also indicates a high probability that its supply may become restricted, leading either to physical unavailability or to significantly higher prices...” (National Research Council)



“What we measure affects what we do. If we have the wrong metrics, we will strive for the wrong things.....If we are borrowing unsustainably from (this) future, we should want to know”
Joseph Stiglitz sul Financial Times pubblicato il 13 Settembre 2009

Giuseppe Di Florio
giuseppe.diflorio@enea.it



```
1101 0110 1100  
0101 0010 1101  
0001 0110 1110  
1101 0010 1101  
1111 1010 0000
```

