



# Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE

DIPARTIMENTO DI FISICA

CORSO DI LAUREA IN SCIENZA DEI MATERIALI

TESI DI LAUREA

“Materiali cementizi sostenibili ed economia circolare”

RELATORE: ANTONELLA GLISENTI

LAUREANDO: EDOARDO COLLODO

MATRICOLA: 1216981

ANNO ACCADEMICO 2021-2022



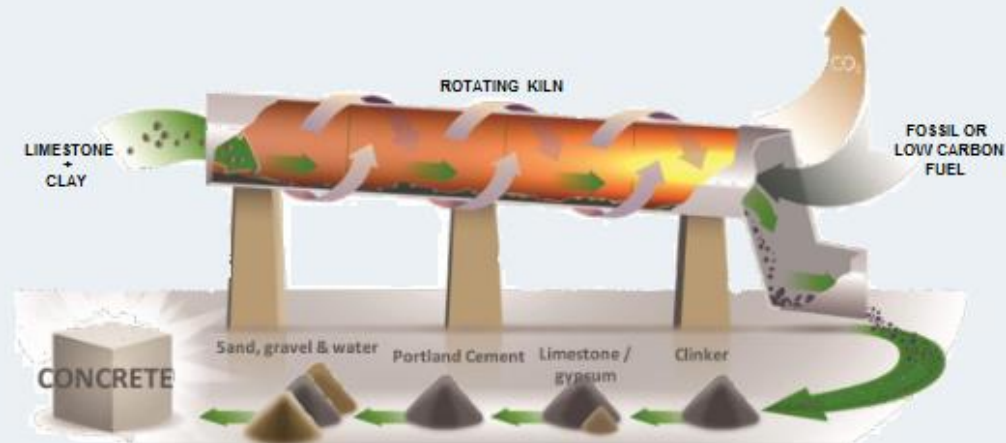
# Materiali cementizi sostenibili ed economia circolare



# Cemento Portland

La tipologia di cemento storicamente più utilizzata è il cemento Portland, prodotto a partire da:

- 80-85% Rocce calcaree (carbonato di calcio)
- 15-20% Argille



# Cemento Portland - 2

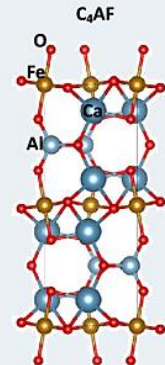
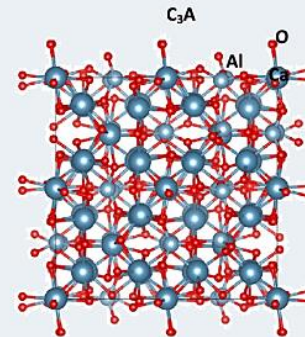
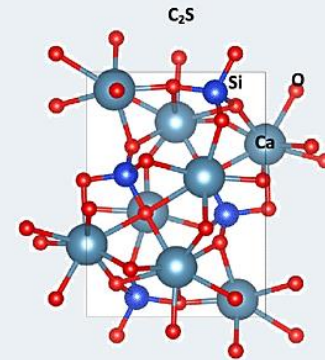
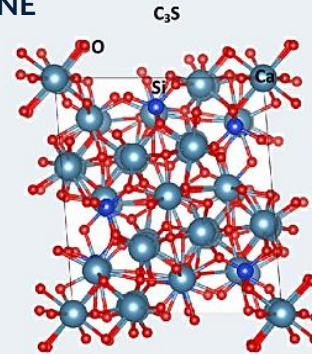


I processi di cottura e macinatura portano alla **DECARBONATAZIONE** del carbonato di calcio (responsabile del 60% delle emissioni prodotte nella produzione del clinker). <sup>[1]</sup>



Ed alla formazione di 4 composti principali:

- $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$
- $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$
- $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$
- $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$



## Cemento Portland - 3

La produzione di cemento (4 mld di tonnellate l'anno) comporta un grande consumo di materie prime ed un importante sfruttamento del territorio.

Si cercano perciò materiali alternativi per ridurre l'impatto.



# Materiali cementizi ed economia circolare

L'industria cementizia può trovare collocazione nell'ottica dell'economia circolare attraverso, ad esempio, il riciclo degli scarti di demolizione o fornendo un'alternativa alla dismissione in discarica per varie tipologie di rifiuti. [2][3]



# Materiali cementizi ed economia circolare

Tra i possibili scarti che possono trovare nuovi usi nei materiali cementizi si ha:

- C&DW (~1 miliardo di tonnellate sui 2,5 mld di rifiuti dell'UE) <sup>[2]</sup>
- GGBS (~450 milioni di tonnellate prodotte a livello mondiale)
- Fly Ash (~1,6 miliardo di tonnellate)



GGBS



Fly Ash



Silica Fume



Rice Husk Ash



Metakaolin



Surkhi



# Materiali cementizi ed economia circolare

È possibile agire sulla composizione della pasta cementizia, così come sulla tipologia di combustibile utilizzata nel processo di produzione, cercando di privilegiare materiali di scarto derivanti da altre produzioni.

## Riduzione del clinker

Uso di cementi di miscela utilizzando scarti o sottoprodotti industriali quali GGBS o FA per ridurre il quantitativo di clinker.

## Uso di combustibili alternativi

Sostituzione, completa o parziale, del combustibile fossile usato nel kiln con alternative quali rifiuti urbani, biomasse ecc.. .



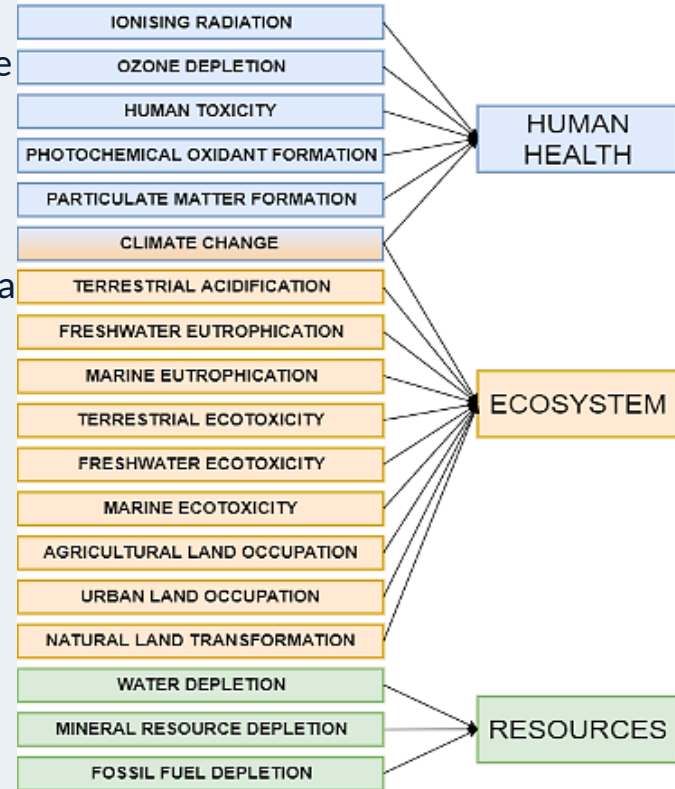
# LCA



L'LCAs (Life Cycle Assessment)<sup>[4]</sup> è una metodologia di analisi che permette di valutare il possibile impatto ambientale di un dato processo o produzione industriale lungo l'intero ciclo di vita.

Attraverso l'ausilio di database dedicati viene ricavata l'impronta ambientale del processo produttivo sulla base di diverse **categorie d'impatto**.

Questa tecnica viene generalmente utilizzata per migliorare i processi produttivi e fornire informazioni sui prodotti tramite, ad esempio, **Dichiarazioni ambientali (EPD)** o **Ecolabel**.



# LCA



La valutazione del ciclo di vita di un prodotto si suddivide in 3 fasi distinte:

- **LCI (Life Cycle Inventory analysis)**

Analisi input/output del sistema preso in esame, si ricavano le risorse necessarie per la produzione dell'**unità funzionale**

- **LCIA (Life Cycle Impact Assessment)**

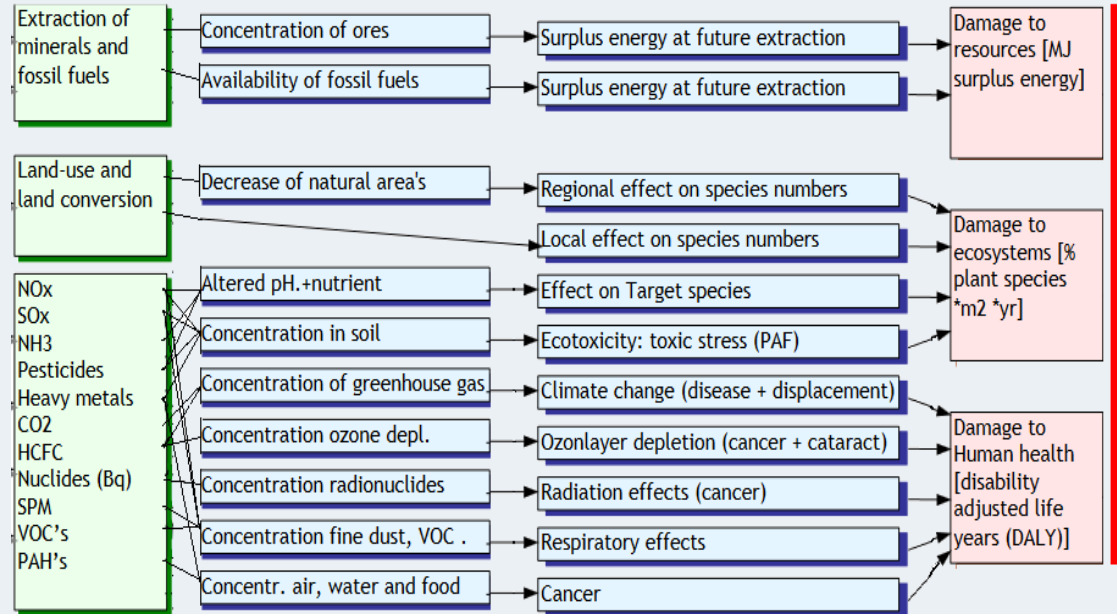
Attraverso software (es. SimaPro) e database dedicati si ottengono, a partire dall'inventario svolto nella **LCI**, i valori degli indicatori d'impatto ambientale

- **Interpretazione finale**

Impact category	Unit	Portland cement
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq	0.911
Stratospheric ozone depletion	kg CFC 11 eq	7.84E-8
Ionization radiation	kBq Co-60 eq	0.00127
Ozone formation, Human health	kg NO <sub>x</sub> eq	0.00145
Fine particulate matter formation	kg PM <sub>2.5</sub> eq	0.000577
Ozone formation, Terrestrial ecosystem	kg NO <sub>x</sub> eq	0.00147
Terrestrial acidification	kg SO <sub>2</sub> eq	0.0014
Freshwater eutrophication	kg P eq	1.16E-5
Marine eutrophication	kg N eq	3.56E-7
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.438
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	9.92E-5
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.000383
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.00121
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.0153
Land use	m <sup>2</sup> a crop eq	0.00365
Mineral resources scarcity	kg CU eq	0.00464
Fossil resources scarcity	kg oil eq	0.0784
Water consumption	m <sup>3</sup>	0.00185

Gli indicatori d'impatto ambientale differiscono in base al metodo di valutazione utilizzato.  
 Nel caso della metodologia Eco-Indicator 99:

- Carcinogens
- Respiratory
- Climate change
- Radiation
- Ozone layer depletion
- Ecotoxicity
- Acidification/Eutrophication
- Land use
- Minerals
- Fossil fuels



# Riduzione della frazione di clinker



Un aspetto su cui si può agire è la composizione del calcestruzzo, sostituendo parte del clinker con scarti e sottoprodotti industriali.

Le tipologie di cementi che possono essere prodotte sono regolate dallo standard Internazionale **UNI EN 197-1** e suddivise in base alla composizione.

Tipi principali	Denominazione dei 27 prodotti (tipi di cemento comune)		Composizione (percentuale in massa) <sup>8</sup>										Costituenti secondari	
			Costituenti principali								Calcare			
			Clinker	Lappa di anidrite	Fumi di silice	Pozzolona		Ceneri volanti		Scisto calcinato				
K	S	DA	naturale P	naturale calcinata Q	silicea V	calce W	T	L	LL					
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland alla lappa	CEM I/A-S	80-84	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM I/B-S		65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
Cemento Portland ai fumi di silice	CEM I/A-D	90-94	-	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland alla pozzolona	CEM I/A-P	80-84	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM I/B-P		65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM I/A-Q		80-84	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM I/B-Q		65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland alle ceneri volanti	CEM I/A-V	80-84	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland alle ceneri volanti	CEM I/A-W	80-84	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland allo scisto calcinato	CEM I/A-T	80-84	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM I/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
Cemento Portland al calcare	CEM I/A-L	80-84	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
	CEM I/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
	CEM I/A-LL	80-84	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
	CEM I/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
Cemento Portland composito <sup>9</sup>	CEM I/A-M	80-84	← 6-20 →								-	-	0-5	
	CEM I/B-M	65-79	← 21-35 →								-	-	0-5	
CEM III	Cemento d'anidrite	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cemento pozzolatico <sup>10</sup>	CEM IV/A	65-89	-	← 11-35 →				-	-	-	0-5		
		CEM IV/B	45-64	-	← 36-55 →				-	-	-	0-5		
CEM V	Cemento composito <sup>11</sup>	CEM V/A	40-64	18-30	-	← 18-30 →			-	-	-	0-5		
		CEM V/B	20-38	31-50	-	← 31-50 →			-	-	-	0-5		



# Riduzione della frazione di clinker - 2

Analisi dell'impatto ambientale, vengono presi in considerazione cementi con 3 composizioni diverse. <sup>[5]</sup>

L'ICA effettuato risulta di tipo «**cradle to gate**», tutti i dati relativi alle emissioni sono ricavati dal database Ecoinvent.

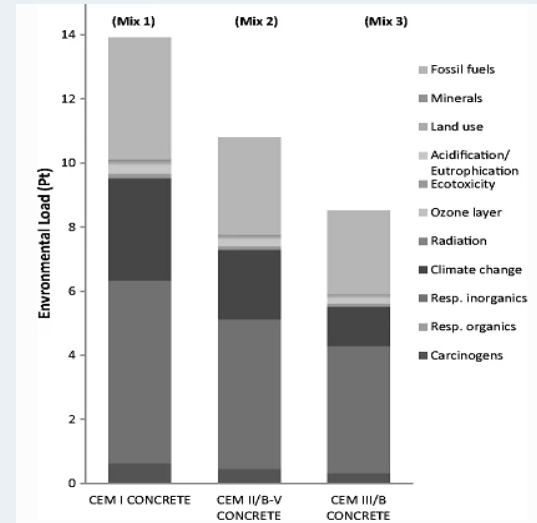
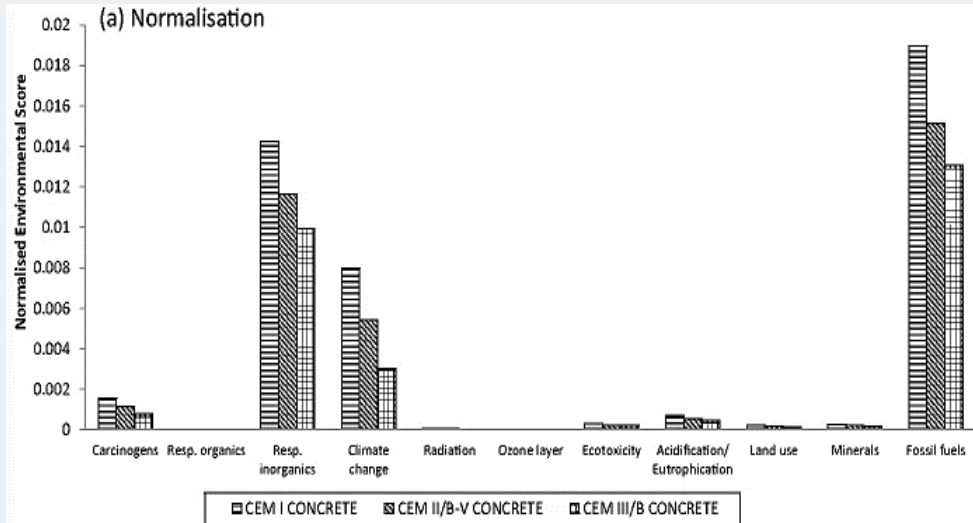
composizione dei 3 differenti mix:

Material	Mix 1: CEM I (kg/m <sup>3</sup> )	Mix 2: CEM II/B-V (kg/m <sup>3</sup> )	Mix 3: CEM III/B (kg/m <sup>3</sup> )
PC	380	247	114
GGBS	0	0	266
FA	0	133	0
10/20-mm limestone Aggregate	615	606	610
4/10-mm limestone Aggregate	413	407	410
0-4-mm Fine aggregate	806	794	800
Plasticiser	2	2	2
Water	190	190	190
TOTAL:	2406	2379	2392

# Riduzione della frazione di clinker - 3

Si ottiene un confronto dell'impatto ambientale tra i tre mix sulla base di diverse categorie d'impatto.

In particolare, rispetto al **Portland**, il **CEM II/B-V** (-23%) ed il **CEM III/B** (-40%) mostrano una complessiva diminuzione considerando tutte le categorie d'impatto prese in esame. [5]



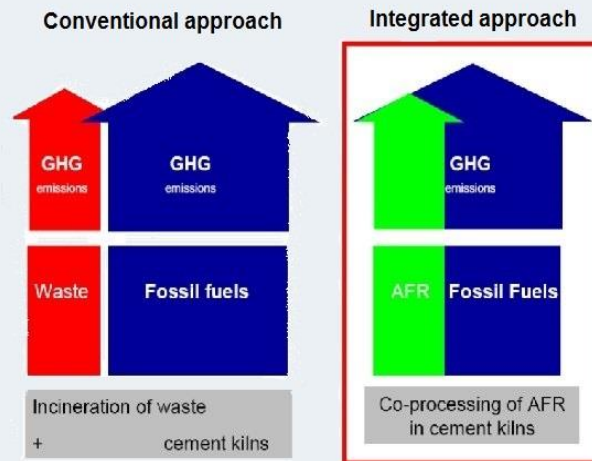
# Utilizzo di combustibili alternativi

Nell'ambito dell'economia circolare ha inoltre grande potenziale la sostituzione dei combustibili tradizionali. Possono infatti essere utilizzati scarti di varia natura, permettendo il riutilizzo delle risorse e abbattendone i costi di smaltimento.

L'impiego di combustibili alternativi permette:

- Ridotto utilizzo di combustibili fossili
- Minori emissioni
- Sfruttamento della cenere data dalla combustione per la produzione del clinker (**co-processing**)<sup>[6]</sup>

## Co-Processing

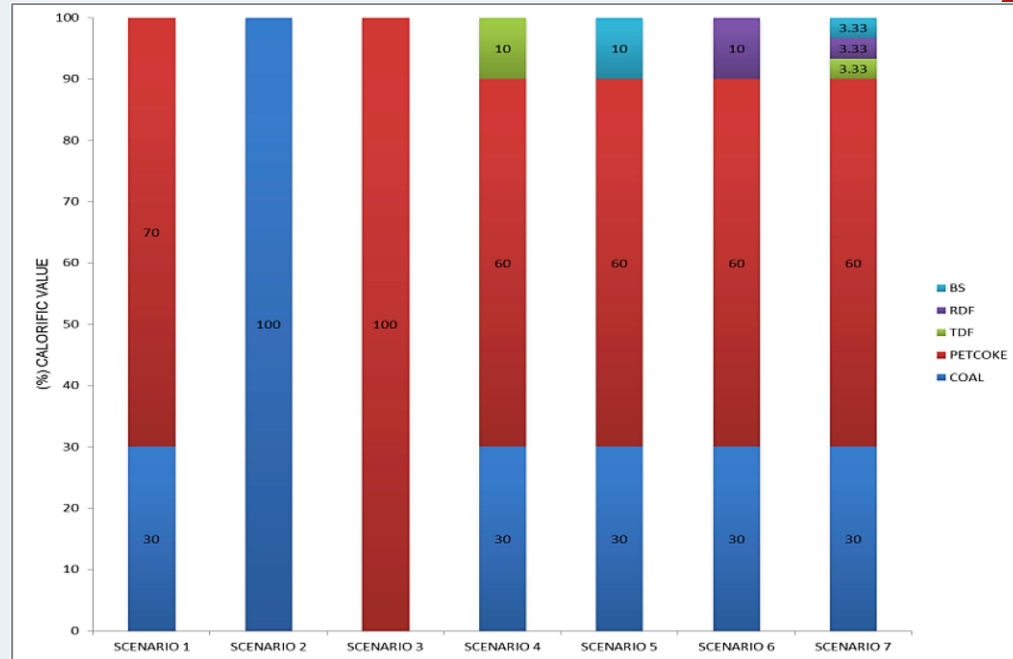


# Utilizzo di combustibili alternativi - 2

L'apporto dato dal combustibile sulle emissioni dell'intero processo è valutato in questo studio <sup>[6]</sup>, in cui vengono considerati **7 diversi scenari**.

In questo caso si ha una sostituzione di un 10% di petcoke con 3 diverse tipologie di combustibili:

- TDF (Tire Derived Fuel)
- BS (Biological Sludge)
- RDF (Refuse Derived Fuel)







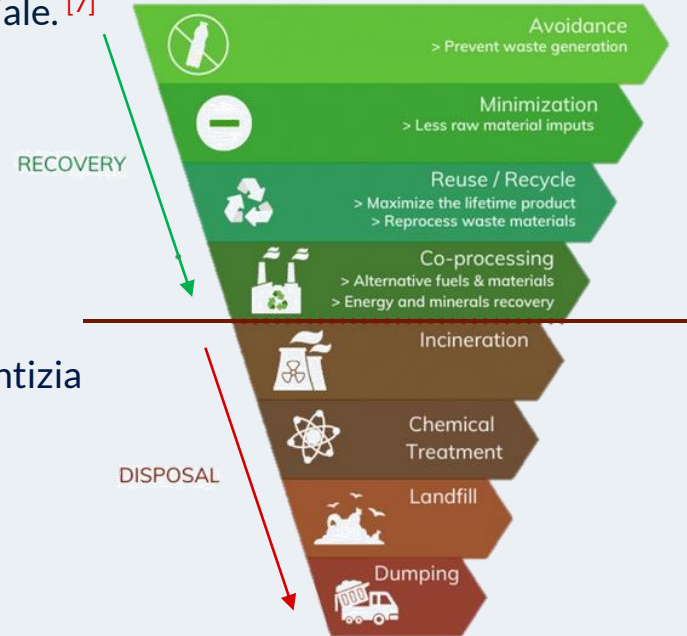
# Conclusioni



L'impiego, nella produzione del cemento, di materiali alternativi può garantire un grande risparmio di risorse (-3,55 miliardi di tonnellate) e la diminuzione delle emissioni (-1,14 miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub>) a livello mondiale. [7]

## Industria cementizia ed economia circolare:

- Consente di **minimizzare** l'uso delle materie prime
- Permette il **riutilizzo** di sottoprodotti industriali altrimenti considerati scarti
- Attraverso il **co-processing** dei rifiuti l'industria cementizia può fornire un'alternativa ad **inceneritori** e **discariche**





# Bibliografia

- [1] <https://lowcarboneconomy.cembureau.eu/5-parallel-routes/resource-efficiency/raw-material-substitution/>
- [2] <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180328STO00751/statistiche-sulla-gestione-dei-rifiuti-in-europa-infografica>
- [3] <https://lowcarboneconomy.cembureau.eu/5-parallel-routes/resource-efficiency/alternative-fuels/>
- [4] <https://www.habitech.it/News/LCA-Life-Cycle-Assessment-origine-finalita-obiettivi>
- [5] Tait, M.W., Cheung, W.M. «A comparative cradle-to-gate life cycle assessment of three concrete mix designs.» *International Journal of Life Cycle Assessment* **21**, 847–860 (2016).  
<https://doi.org/10.1007/s11367-016-1045-5>
- [6] Georgiopoulou, M., Lyberatos, G. «Life cycle assessment of the use of alternative fuels in cement kilns: A case study.» *Journal of Environmental Management* **216**, 224-234 (2018).  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.017>
- [7] Circularity Gap Report 2022  
<https://www.circularity-gap.world/2022#21-Solutions>