



**POLITECNICO
MILANO 1863**

DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE



Assessment on Waste
and REsources

GREENRAIL™
HIGH SPEED SUSTAINABLE FUTURE



This project has received funding from
the European Union's Horizon 2020
research and innovation programme
under grant agreement No 738373.

LCA di traverse ferroviarie prodotte con l'impiego di materiali riciclati

Giovanni Dolci, Lucia Rigamonti, Mario Grosso

Milano, 26 marzo 2019

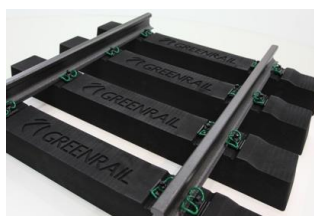
4° giornata di studio

Rifiuti e Life Cycle Thinking

0

Obiettivo

1. Valutare se e in quali condizioni l'utilizzo di un'**innovativa tipologia di traversa ferroviaria** concepita per migliorare le prestazioni della tipologia attualmente più diffusa permetta di **ridurre i potenziali impatti** sull'ambiente e sulla salute umana e i consumi energetici
2. Individuare i **principali contributi agli impatti** ambientali associati all'uso di tale traversa



PROSPETTIVA DI CICLO DI VITA
METODOLOGIA LCA (Life Cycle Assessment)



Analisi in accordo con la
GUIDA SULL'IMPRONTA AMBIENTALE DEI PRODOTTI
(Guida PEF; EC, 2013)



EC, 2013. Recommendation 2013/179/EU of 9 April 2013 on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations. Official Journal of the European Union L 124 - 4 May 2013.



POLITECNICO MILANO 1863

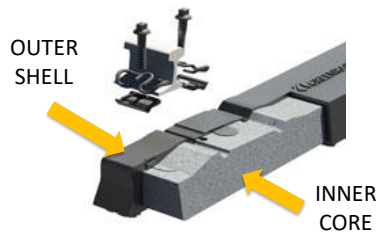
1

1

Oggetto dello studio: traversa Greenrail

Traversa GR-260 ferroviaria, completa di agganci rotaia, per linee ad alta velocità con:

- **Inner core** in calcestruzzo armato precompresso (CAP)
- **Outer shell** in materiale composito (costituito principalmente da **plastica riciclata da rifiuti urbani** e **polverino da pneumatici fuori uso**)



2

Oggetto dello studio: traverse in CAP

Traversa di tipologia RFI-260 in calcestruzzo armato precompresso (CAP)



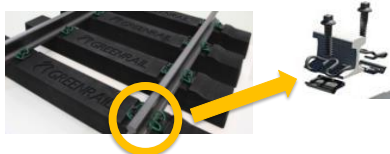
Utilizzo analogo alla traversa Greenrail esaminata

3

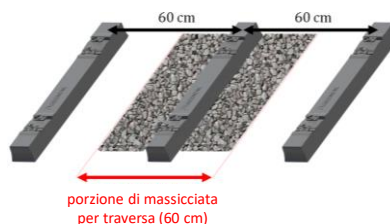
Unità funzionale

Una traversa ferroviaria, inclusi gli organi di attacco della rotaia e una porzione di massicciata (pietrisco - ballast) di lunghezza pari a 60 cm, per anno di utilizzo

Sono inclusi gli **organi di attacco** della rotaia (vita utile legata alla traversa)



La porzione di **massicciata** considerata è funzione della distanza tra le traverse che è pari a 60 cm.

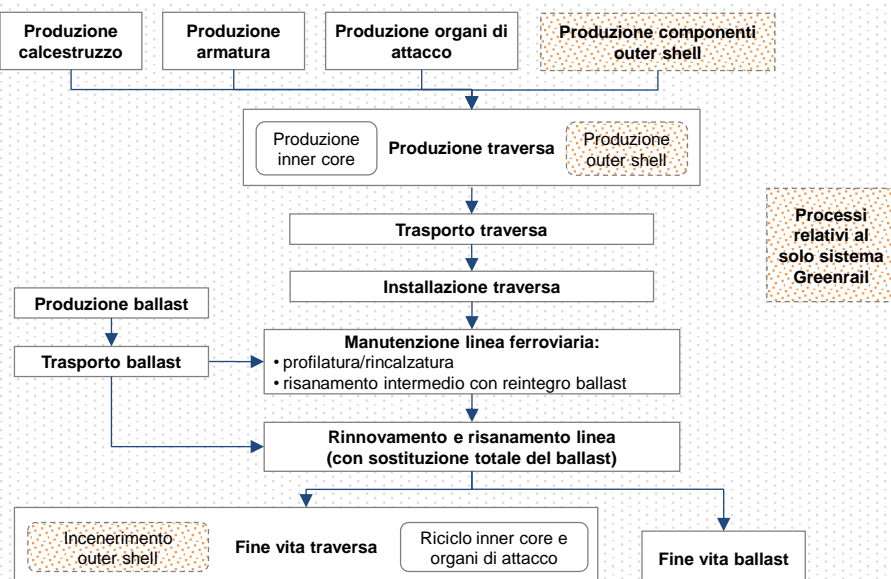


Non è inclusa la rotaia:

- indipendenza tra la sostituzione delle traverse e delle rotaie - la sostituzione delle rotaie è generalmente più frequente
- si assume che la diversa tipologia di traverse non influenzi la vita utile delle rotaie

4

Confine del sistema



5

Scenari analizzati

Confronto tra



Traversa Greenrail in
diverse condizioni
operative

Traversa
tradizionale in
CAP

Sistema
traversa
in CAP

Sistema traversa Greenrail

PARAMETRO	Scenario				Scenario
	Peggior	Base	Atteso	Migliore	
VITA UTILE TRAVERSA (anni)	30	30	40	50	30
FREQUENZA RINCALZATURA (anni)	3	4	5	6	2
FREQUENZA RISANAMENTO CON SOSTITUZIONE TOTALE DEL BALLAST (RT) (anni)	25	30	30	35	25
FREQUENZA RISANAMENTO INTERMEDIO CON SOSTITUZIONE DEL 50% DI BALLAST	12,5 anni dopo RT	15 anni dopo RT	15 anni dopo RT	17,5 anni dopo RT	12,5 anni dopo RT



POLITECNICO MILANO 1863

6

6

Indicatori considerati

- 15 indicatori di impatto sull'ambiente e sulla salute umana di livello midpoint (categorie di impatto, indicatori e modelli di valutazione di impatto definiti da guida PEF):



Cambiamenti climatici

Riduzione dello strato d'ozono

Formazione fotochimica di ozono

Acidificazione

Eutrofizzazione terrestre

Eutrofizzazione - acqua dolce

Eutrofizzazione - acqua marina

Ecotossicità in acqua dolce

Uso e trasformazione del terreno

Tossicità per gli esseri umani (effetti cancerogeni)

Tossicità per gli esseri umani (effetti non cancerogeni)

Particolato/smog da emissioni di sostanze inorganiche

Radiazione ionizzante - effetti sulla salute umana

Impoverimento delle risorse - acqua

Impoverimento delle risorse - minerali e fossili

- Indicatore energetico *Cumulative Energy Demand*



POLITECNICO MILANO 1863

7

7

Approccio modellistico: Circular footprint formula

Utilizzo di materiali riciclati nella produzione /riciclo dei materiali a fine vita:
si considera la "Circular footprint formula" per i materiali (guida PEF e EC, 2017)

$$\begin{aligned}
 \text{Uso di materiale vergine nella produzione} &\rightarrow (1 - R_1)E_V \\
 \text{Uso di materiale riciclato nella produzione} &\rightarrow +R_1 \times \left(AE_{recycled} + (1 - A)E_V \times \frac{Q_{Sin}}{Q_p} \right) \\
 \text{Riciclo di materiale a fine vita} &\rightarrow + (1 - A)R_2 \times \left(E_{recyclingEol} - E_V^* \times \frac{Q_{Sout}}{Q_p} \right)
 \end{aligned}$$

EC - European Commission, 2017. *PEFCR Guidance document, Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs)*, version 6.1.



Approccio modellistico: Circular footprint formula

Produzione del materiale:

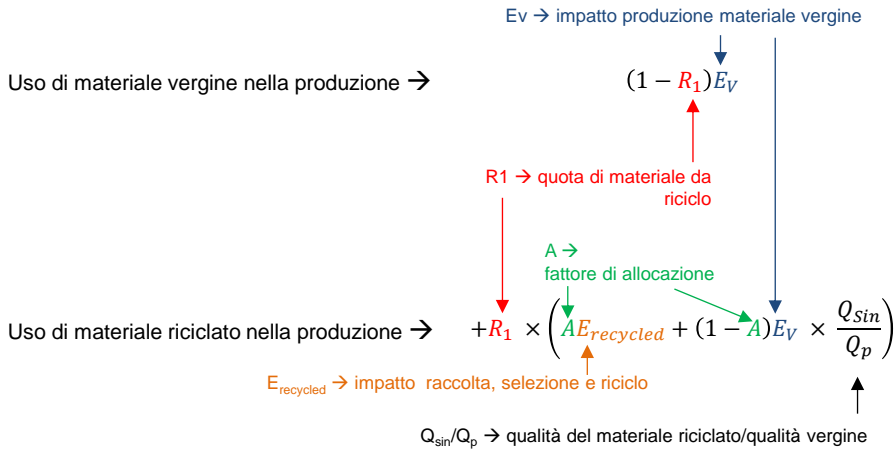
Ev → impatto produzione materiale vergine

$$\begin{aligned}
 \text{Uso di materiale vergine nella produzione} &\rightarrow (1 - R_1)E_V \\
 &\quad \downarrow \\
 &\quad R_1 \rightarrow \text{quota di materiale da riciclo} \\
 &\quad \uparrow \\
 \text{Uso di materiale riciclato nella produzione} &\rightarrow +R_1 \times \left(AE_{recycled} + (1 - A)E_V \times \frac{Q_{Sin}}{Q_p} \right)
 \end{aligned}$$



Approccio modellistico: Circular footprint formula

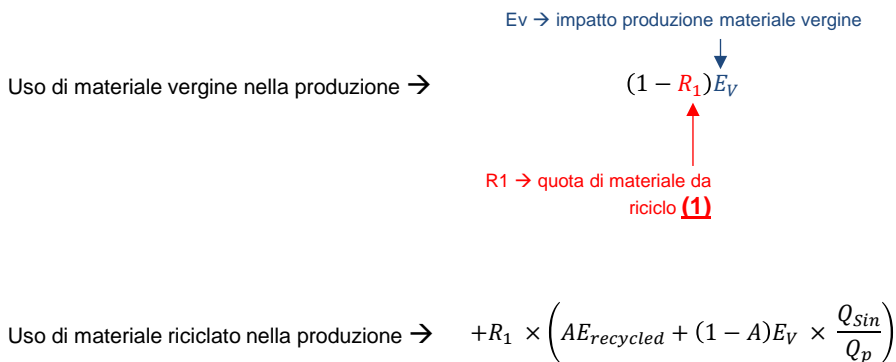
Produzione del materiale:



10

Approccio modellistico: Circular footprint formula

Produzione del materiale (**plastica riciclata** da rifiuti urbani / **gomma da riciclo** pneumatici – materiali impiegati per la produzione dell'outer shell):



11

Approccio modellistico: Circular footprint formula

Produzione del materiale (plastica riciclata da rifiuti urbani / gomma da riciclo pneumatici – materiali impiegati per la produzione dell'outer shell):

E_v → impatto produzione materiale vergine

Uso di materiale vergine nella produzione →

$$(1 - R_1)E_v$$

R_1 → quota di materiale da riciclo **(1)**

Uso di materiale riciclato nella produzione → $+R_1 \times \left(AE_{recycled} + (1 - A)E_v \times \frac{Q_{sin}}{Q_p} \right)$

12

Approccio modellistico: Circular footprint formula

Produzione del materiale (plastica riciclata da rifiuti urbani / gomma da riciclo pneumatici – materiali impiegati per la produzione dell'outer shell):

E_v → impatto produzione materiale vergine

Uso di materiale vergine nella produzione →

$$(1 - R_1)E_v$$

R_1 → quota di materiale da riciclo **(1)**

Uso di materiale riciclato nella produzione → $+R_1 \times \left(AE_{recycled} + (1 - A)E_v \times \frac{Q_{sin}}{Q_p} \right)$

$E_{recycled}$ → impatto raccolta, selezione e riciclo

Q_{sin}/Q_p → qualità del materiale riciclato/qualità vergine **(1)**

13

Analisi di sensitività

Influenza importante della "Circular footprint formula" sui risultati



Analisi di sensitività



NON applicazione della "Circular footprint formula"

Gli impatti sono stati valutati non attribuendo ai materiali riciclati alcun impatto relativo alla prima produzione del materiale vergine (ovvero con l'attribuzione dei soli **impatti** per i processi di **raccolta, selezione e riciclo**)

Uso di materiale riciclato nella produzione $\rightarrow +R_1 \times \left(A E_{recycled} + (1-A) E_V \times \frac{Q_{Sin}}{Q_p} \right)$

$R_1 \rightarrow$ quota di materiale da riciclo (1)
 $A \rightarrow$ fattore di allocazione (1)
 $E_{recycled} \rightarrow$ impatto raccolta, selezione e riciclo

Risultati: traversa Greenrail vs traversa in CAP

CATEGORIA D'IMPATTO Impatti per unità funzionale	IMPATTI TRAVESSA TRADIZIONALE in CAP	TRAVERSA GREENRAIL: variazione impatti rispetto alla traversa in CAP			
		PEGGIORE	BASE	ATTESO	MIGLIORE
1 Cambiamenti climatici	kg CO ₂ eq	16%	7%	-9%	-25%
2 Riduzione dello strato d'ozono	kg CFC-11 eq	10%	-3%	-12%	-26%
3 Tossicità per gli esseri umani (eff. non canc.)	CTUh	13%	9%	-13%	-30%
4 Tossicità per gli esseri umani (effetti canc.)	CTUh	5%	4%	-20%	-36%
5 Particolato/smog provocato da sost. inorg.	kg PM _{2.5} eq	21%	9%	-4%	-20%
6 Radiazione ionizzante - eff. salute umana	kBq U ²³⁵ eq	37%	27%	7%	-11%
7 Formazione fotochimica di ozono	kg NMVOC eq	11%	-2%	-12%	-26%
8 Acidificazione	mol _e H ⁺ eq	20%	8%	-5%	-21%
9 Eutrofizzazione terrestre	mol _e N eq	7%	-6%	-15%	-28%
10 Eutrofizzazione acqua dolce	kg P eq	44%	37%	11%	-9%
11 Eutrofizzazione acqua marina	kg N eq	9%	-4%	-13%	-27%
12 Ecotossicità per l'ambiente di acqua dolce	CTUe	22%	17%	-6%	-23%
13 Uso e trasformazione del terreno	kg C deficit	1%	-15%	-16%	-28%
14 Impoverimento delle risorse - acqua	m ³ water eq	79%	72%	38%	12%
15 Impov. delle risorse - minerali, fossili	kg Sb eq	352%	341%	245%	179%
16 Cumulative Energy Demand	MJ eq	50%	39%	17%	-3%

Differenze rilevanti tra gli scenari

PEGGIORE: impatti aggiuntivi produzione e fine vita outer shell

BASE: differenze < 10% per la maggior parte delle categorie

ATTESO: benefici traversa Greenrail > 10% per 7 categorie

MIGLIORE: benefici (20 - 30%) per 11 categorie

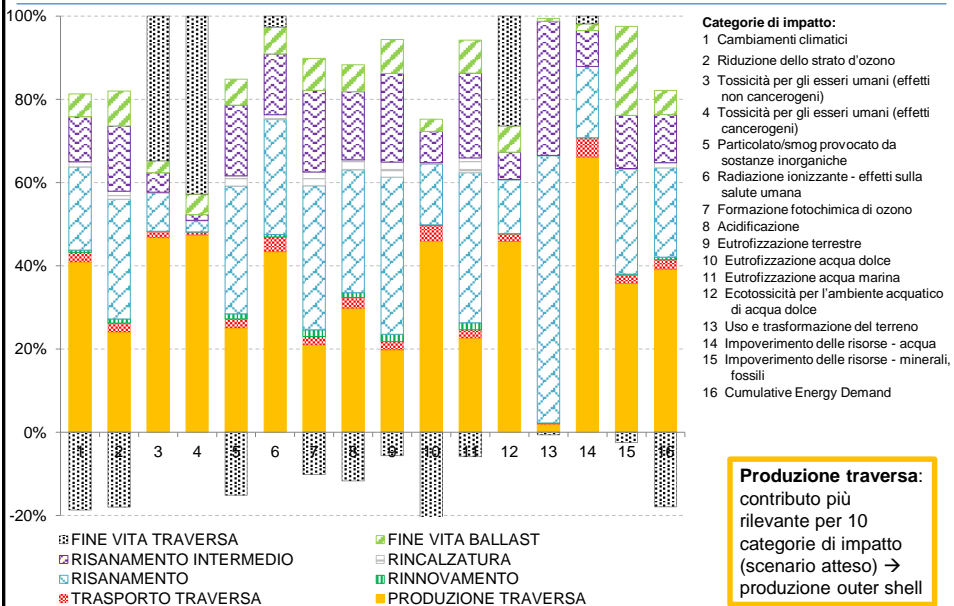
Risultati: traversa Greenrail vs traversa in CAP

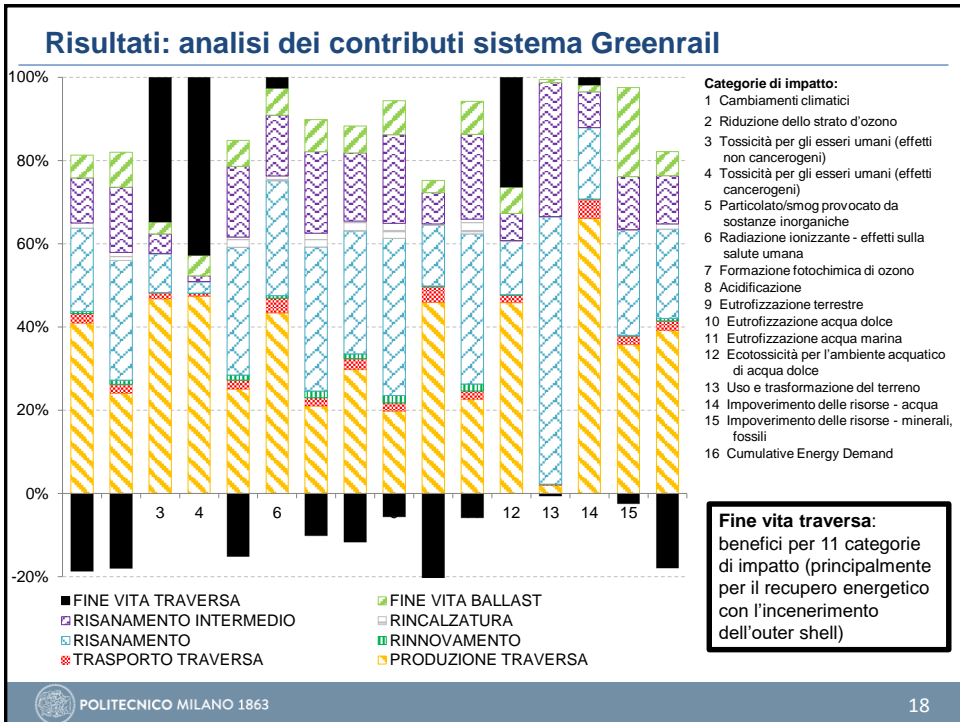
CATEGORIA D'IMPATTO Impatti per unità funzionale	IMPATTI TRAVESSA TRADIZIONALE in CAP	TRAVESSA GREENRAIL: variazione impatti rispetto alla traversa in CAP			
		PEGGIORE	BASE	ATTESO	MIGLIORE
1 Cambiamenti climatici	kg CO ₂ eq	16%	7%	-9%	-25%
2 Riduzione dello strato d'ozono	kg CFC-11 eq	10%	-3%	-12%	-26%
3 Tossicità per gli esseri umani (eff. non canc.)	CTUh	13%	9%	-13%	-30%
4 Tossicità per gli esseri umani (effetti canc.)	CTUh	5%	4%	-20%	-36%
5 Particolato/smog provocato da sost. inorg.	kg PM _{2.5} eq	21%	9%	-4%	-20%
6 Radiazione ionizzante - eff. salute umana	kBq U ²³⁵ eq	37%	27%	7%	-11%
7 Formazione fotochimica di ozono	kg NMVOC eq	11%	-2%	-12%	-26%
8 Acidificazione	mol _e H ⁺ eq	20%	8%	-5%	-21%
9 Eutrofizzazione terrestre	mol _e N eq	7%	-6%	-15%	-28%
10 Eutrofizzazione acqua dolce	kg P eq	44%	37%	11%	-9%
11 Eutrofizzazione acqua marina	kg N eq	9%	-4%	-13%	-27%
12 Ecotossicità per l'ambiente di acqua dolce	CTUe	22%	17%	-6%	-23%
13 Uso e trasformazione del terreno	kg C deficit	1%	-15%	-16%	-28%
14 Impoverimento delle risorse - acqua	m ³ water eq	79%	72%	38%	12%
15 Impov. delle risorse - minerali, fossili	kg Sb eq	352%	341%	245%	179%
16 Cumulative Energy Demand	MJ eq	50%	39%	17%	-3%



Differenze rilevanti con il solo incremento di 10 anni della vita utile della traversa Greenrail

Risultati: analisi dei contributi traversa Greenrail





18

Risultati: analisi di sensitività

(risultati no CFF - risultati CFF) / risultati CFF

Confronto impatti tra **utilizzo e non utilizzo della "Circular footprint formula"** (CFF) per gli scenari relativi alla traversa Greenrail

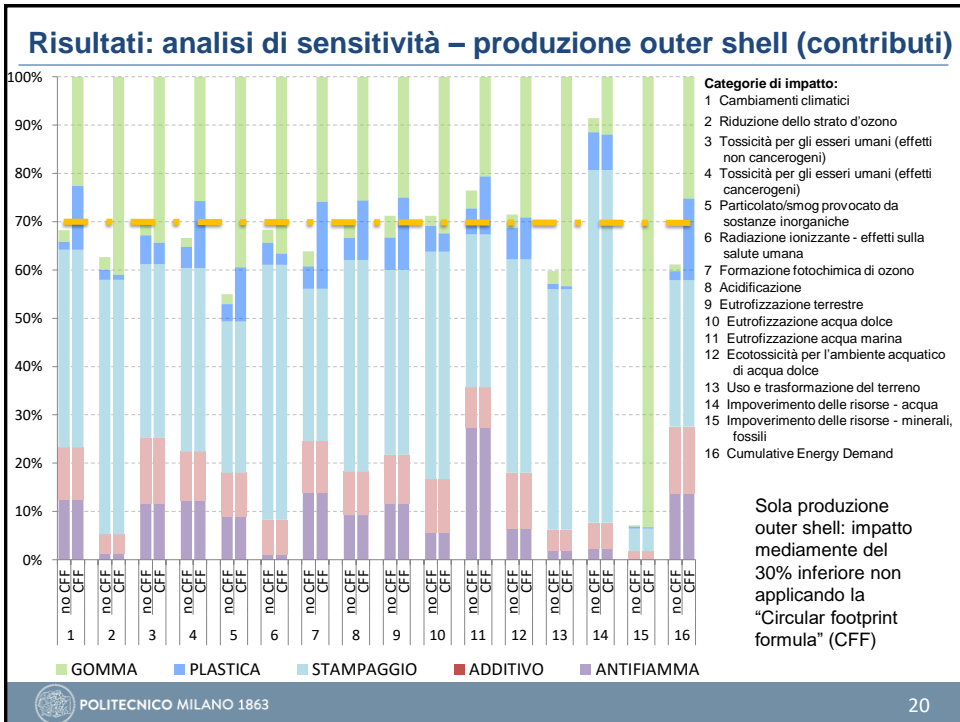
↓

Riduzione degli impatti per la maggior parte delle categorie (fino al 72% per *Impoverimento delle risorse minerali e fossili*)

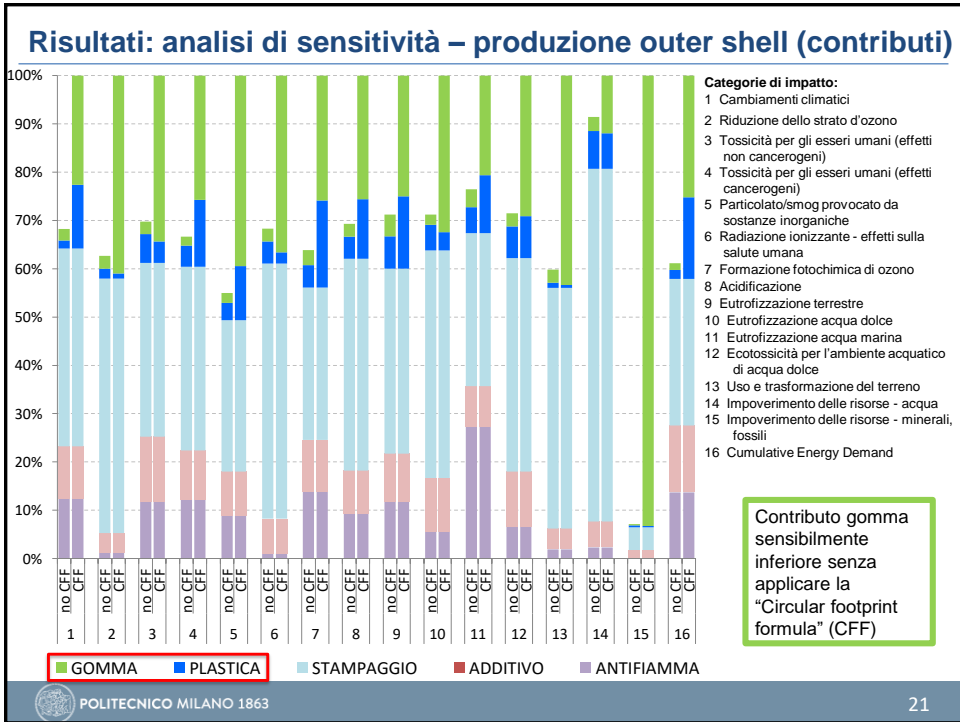
CATEGORIA D'IMPATTO	VARIAZIONE IMPATTI (SCENARIO BASE TRAVEVERSA GREENRAIL)
1 Cambiamenti climatici	-19%
2 Riduzione dello strato d'ozono	-12%
3 Tossicità per gli esseri umani (eff. non canc.)	+44%
4 Tossicità per gli esseri umani (effetti canc.)	+63%
5 Particolato/smog provocato da sost. inorg.	-24%
6 Radiazione ionizzante - eff. salute umana	-2%
7 Formazione fotochimica di ozono	-12%
8 Acidificazione	-14%
9 Eutrofizzazione terrestre	-4%
10 Eutrofizzazione acqua dolce	-37%
11 Eutrofizzazione acqua marina	-4%
12 Ecotossicità per l'ambiente di acqua dolce	+28%
13 Uso e trasformazione del terreno	-1%
14 Impoverimento delle risorse - acqua	-2%
15 Impov. delle risorse - minerali, fossili	-72%
16 Cumulative Energy Demand	-24%

POLITECNICO MILANO 1863 19

19



20



21

Risultati: analisi di sensitività

CATEGORIA D'IMPATTO	TRAVERSA GREENRAIL variazione impatti rispetto alla traversa in CAP					
	FORMULA CFF			NO FORMULA CFF		
	BASE	ATTESO	MIGLIORE	BASE	ATTESO	MIGLIORE
1 Cambiamenti climatici	7%	-9%	-25%	-4%	-16%	-30%
2 Riduzione dello strato d'ozono	-3%	-12%	-26%	-18%	-22%	-34%
3 Tossicità per gli esseri umani (eff. non canc.)	9%	-13%	-30%	3%	-19%	-35%
4 Tossicità per gli esseri umani (effetti canc.)	4%	-20%	-36%	1%	-22%	-38%
5 Particolato/smog provocato da sost. inorg.	9%	-4%	-20%	-5%	-11%	-25%
6 Radiazione ionizzante - eff. salute umana	27%	7%	-11%	11%	-5%	-21%
7 Formazione fotochimica di ozono	-2%	-12%	-26%	-10%	-16%	-29%
8 Acidificazione	8%	-5%	-21%	-1%	-11%	-25%
9 Eutrofizzazione terrestre	-6%	-15%	-28%	-11%	-17%	-30%
10 Eutrofizzazione acqua dolce	37%	11%	-9%	33%	14%	-5%
11 Eutrofizzazione acqua marina	-4%	-13%	-27%	-8%	-15%	-29%
12 Ecotossicità per l'ambiente di acqua dolce	17%	-6%	-23%	7%	-14%	-30%
13 Uso e trasformazione del terreno	-15%	-16%	-28%	-16%	-16%	-29%
14 Impoverimento delle risorse - acqua	72%	38%	12%	63%	31%	7%
15 Impov. delle risorse - minerali, fossili	341%	245%	179%	9%	-3%	-19%
16 Cumulative Energy Demand	39%	17%	-3%	9%	-4%	-20%

Risultati senza applicare la
"Circular footprint formula" (CFF)



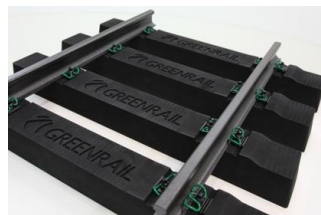
Confronto più favorevole per la traversa Greenrail
per tutti gli scenari e le categorie di impatto
(escluso cat. 10 per scenari atteso e migliore)

22

Conclusioni

Confronto traversa Greenrail vs traversa in CAP

- scenario peggiore (CFF) ❌❌
→ incremento degli impatti > 10% per 11 categorie
- scenario migliore (no CFF) ✅✅
→ riduzione degli impatti > 10% per 14 categorie
(19% - 38%)



Risultati fortemente dipendenti da:

- scelte modellistiche (es: applicazione della "Circular footprint formula")
- condizioni operative (da verificare nel tempo con l'installazione in linea)
→ prime prove di vibrazioni in confronto con traverse in CAP mostrano risultati incoraggianti

23



POLITECNICO MILANO 1863
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

ANAR
Assesment on WAsite and REsources

GREENRAIL™
HIGH SPEED SUSTAINABLE FUTURE

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 738373.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Si ringrazia la FONDAZIONE SVILUPPO SOSTENIBILE per il supporto nella raccolta dati e nella modellazione