Valutazione ambientale del sistema di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione in Regione Lombardia

Ing. L. Rigamonti (Responsabile scientifico), Ing. S. Pantini
con il supporto di Ing. G. Borghi e Ing. M. Giurato

Politecnico di Milano
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – DICA
Gruppo di ricerca AWARE
Centro Studi MatER

FASI E OBIETTIVI DEL PROGETTO DI RICERCA

Valutazione ambientale del sistema di gestione dei rifiuti C&D in Lombardia

Regione Lombardia

POLITECNICO MILANO 1863

LEAP
Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

OBIETTIVI:

- Quantificazione dei flussi di rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) prodotti e gestiti in Regione Lombardia, con focus sulla quantità e qualità del materiale ottenuto dal recupero dei rifiuti C&D e il suo effettivo utilizzo, mettendo in evidenza i possibili fattori che ne limitano il mercato

- Valutazione del sistema di gestione dei rifiuti C&D attualmente implementato in Regione Lombardia mediante la metodologia Life Cycle Assessment (LCA) per individuarne benefici e criticità

- Individuazione di possibili interventi migliorativi ed elaborazione di scenari alternativi di gestione e recupero da valutare mediante LCA, al fine di comprendere i benefici delle azioni correttive proposte e fornire raccomandazioni a Regione Lombardia per il miglioramento del sistema

SELEZIONE DEI CODICI CER DEL CAPITOLO 17 DA INCLUDERE NELL'ANALISI

17	*RIFIUTI DALLE ATTIVITA' DI COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE*
17 01	**CEMENTO, MATTONI, MATTONELLE E CERAMICHE**
17 01 01	CEMENTO
17 01 02	MATTONI
17 01 03	MATTONELLE E CERAMICHE
17 01 06*	MISCUGLI O FRAZIONI SEPARATE DI CEMENTO, MATTONI, MATTONELLE E CERAMICHE, CONTENENTI SOSTANZE PERICOLOSE
17 01 07	MISCUGLI DI CEMENTO, MATTONI, MATTONELLE E CERAMICHE, DIVERSI DA QUELLI DI CUI ALLA VOCE 17 01 06
17 02	**LEGNO, VETRO E PLASTICA**
17 02 01	LEGNO
17 02 02	VETRO
17 02 03	PLASTICA
17 02 04*	VETRO, PLASTICA E LEGNO CONTENENTI SOSTANZE PERICOLOSE O DA ESSE CONTAMINATI
17 03	**MISCELE BITUMINOSE, CTRAME DI CARBONE E PRODOTTI CONTENENTI CATRAME**
17 03 01*	MISCELE BITUMINOSE CONTENENTI CATRAME DI CARBONE
17 03 02	MISCELE BITUMINOSE DIVERSE DA QUELLE DI CUI ALLA VOCE 17 03 01
17 03 03*	CATRAME DI CARBONE E PRODOTTI CONTENENTI CATRAME
17 04	**METALLI (INCLUSE LE LORO LEGHE)**
17 04 01	RAME, BRONZO, OTTONE
17 04 02	ALLUMINIO
17 04 03	PIOMBO
17 04 04	ZINCO
17 04 05	FERRO E ACCIAIO
17 04 06	STAGNO
17 04 07	METALLI MISTI
17 04 09*	RIFIUTI METALLICI CONTAMINATI DA SOSTANZE PERICOLOSE
17 04 10*	CAVI IMPREGNATI DI OLIO, DI CATRAME DI CARBONE O DI ALTRE SOSTANZE PERICOLOSE
17 04 11	CAVI, DIVERSI DA QUELLI DI CUI ALLA VOCE 17 04 10
17 05	**TERRA (COMPRESA QUELLA PROVENIENTE DA SITI CONTAMINATI), ROCCE E MATERIALE DI DRAGAGGIO**
17 05 03*	TERRE E ROCCE, CONTENENTI SOSTANZE PERICOLOSE
17 05 04	TERRE E ROCCE, DIVERSE DA QUELLE DI CUI ALLA VOCE 17 05 03
17 05 05*	MATERIALE DI DRAGAGGIO CONTENENTE SOSTANZE PERICOLOSE
17 05 06	MATERIALE DI DRAGAGGIO, DIVERSO DA QUELLO DI CUI ALLA VOCE 17 05 05
17 05 07*	PIETRISCO PER MASSICCIATE FERROVIARIE CONTENENTE SOSTANZE PERICOLOSE
17 05 08	PIETRISCO PER MASSICCIATE FERROVIARIE, DIVERSO DA QUELLO DI CUI ALLA VOCE 17 05 07
17 06	**MATERIALI ISOLANTI E MATERIALI DA COSTRUZIONE CONTENENTI AMIANTO**
17 06 01*	MATERIALI ISOLANTI CONTENENTI AMIANTO
17 06 03*	ALTRI MATERIALI ISOLANTI CONTENENTI O COSTITUITI DA SOSTANZE PERICOLOSE
17 06 04	MATERIALI ISOLANTI, DIVERSI DA QUELLI DI CUI ALLE VOCI 17 06 01 E 17 06 03
17 06 05*	MATERIALI DA COSTRUZIONE CONTENENTI AMIANTO
17 08	**MATERIALI DA COSTRUZIONE A BASE DI GESSO**
17 08 01*	MATERIALI DA COSTRUZIONE A BASE DI GESSO CONTAMINATI DA SOSTANZE PERICOLOSE
17 08 02	MATERIALI DA COSTRUZIONE A BASE DI GESSO, DIVERSI DA QUELLI DI CUI ALLA VOCE 17 08 01
17 09	**ALTRI RIFIUTI DELL'ATTIVITA' DI COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE**
17 09 01*	RIFIUTI DELL'ATTIVITA' DI COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE, CONTENENTI MERCURIO
17 09 02*	RIFIUTI DELL'ATTIVITA' DI COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE, CONTENENTI PCB
17 09 03*	ALTRI RIFIUTI DELL'ATTIVITA' DI COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE (COMPRESI RIFIUTI MISTI) CONTENENTI SOSTANZE PERICOLOSE
17 09 04	RIFIUTI MISTI DELL'ATTIVITA' DI COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE, DIVERSI DA QUELLI ALLE VOCI 17 09 01, 17 09 02 E 17 09 03

ELABORAZIONE DATI COMPLESSA

UN CODICE CER ALLA VOLTA

ESCLUSI DALL'ANALISI:

- RIFIUTI PERICOLOSI
- SOTTOCATEGORIE 17 05 E 17 06

Rifiuti importati:
CER 1701: 47.075 t
CER 170302: 174.389 t
CER 170802: 4.419 t
CER 170904: 382.931 t

EXPORT (impianti)

CER 17 01:	9.189 t
CER 17 03 02:	1.665 t
CER 17 08 02:	4.870 t
CER 17 09 04:	38.149 t

Quantificazione dei flussi da elaborazione banca dati MUD 2014

Quantitativi di riferimento per l'analisi LCA del sistema regionale

PRODUZIONE RIFIUTI IN LOMBARDIA (2014):

CER 17 01:	>= 804.625 t
CER 17 03 02:	>= 1.018.580 t
CER 17 08 02:	>= 31.405 t
CER 17 09 04:	>= 5.851.639 t

7.706.249 t

RIFIUTO CONFERITO

SISTEMA IMPIANTISTICO REGIONALE

RIFIUTO PRODOTTO E TRATTATO IN REGIONE

CER 17 01:	763.950 t
CER 17 03 02:	971.656 t
CER 17 08 02:	20.988 t
CER 17 09 04:	5.625.978 t

7.382.572 t

GESTITO IN REGIONE:

CER 1701, 170302 E 170904: 95%

CER 170802: <70%

*RIFIUTI ESPORTATI DIRETTAMENTE**

CER 17 01:	> = 31.487 t
CER 17 03 02	> = 45.259 t
CER 17 08 02	> = 5.547 t
CER 17 09 04:	> = 187.512 t

* >= perché è escluso il contributo degli esenti MUD (non quantificabile)

FLUSSI DI RIFIUTI C&D IN RL

Ripartizione dei flussi da elaborazione banca dati MUD 2014

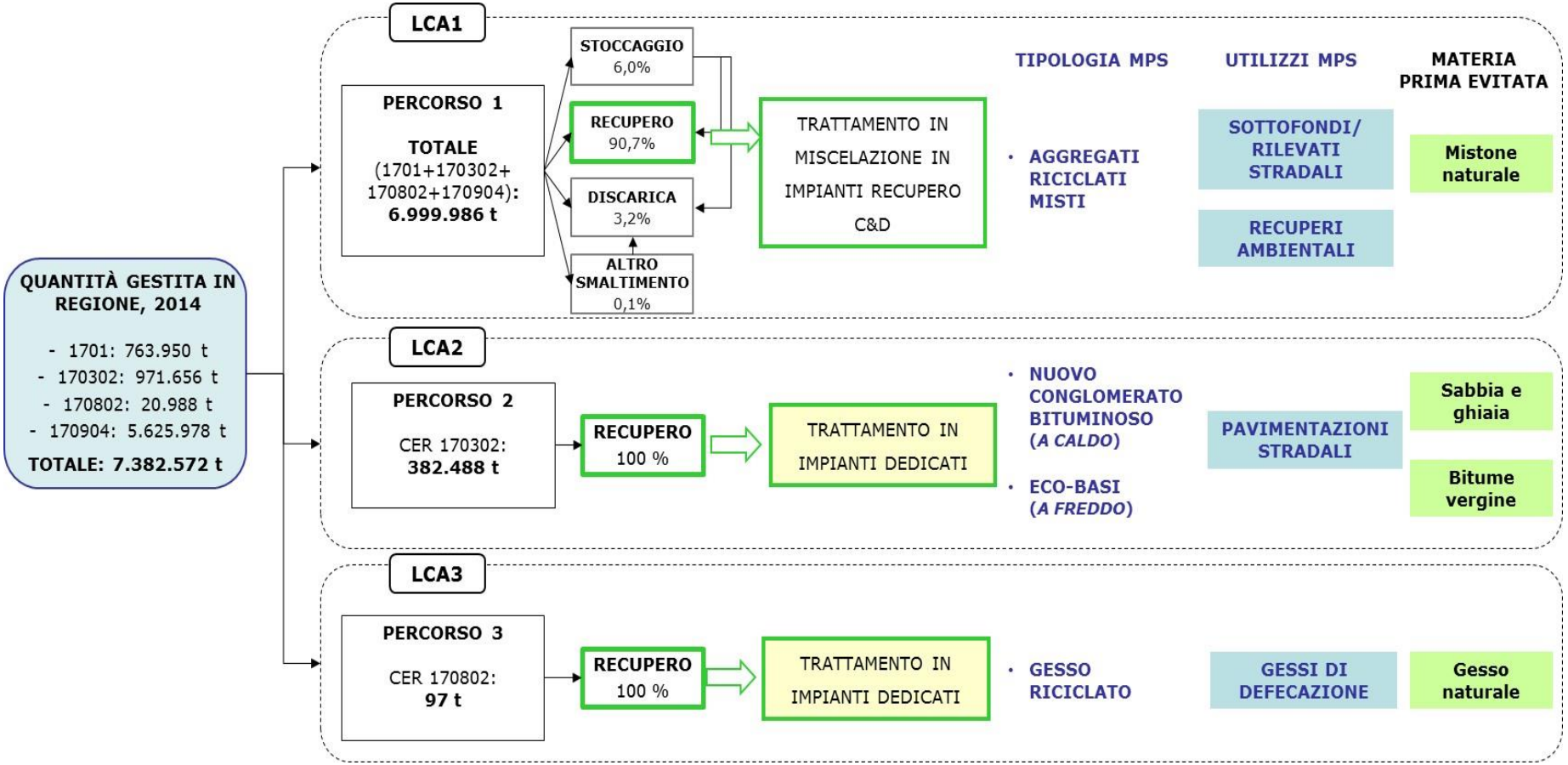
CER 17 09 04: 5.625.978 t	CER 17 01: 763.950 t	CER 17 03 02: 971.656 t	CER 17 08 02: 20.988 t
• **91,0 %** RECUPERO	• **92,2 %** RECUPERO	• **91,9 %** RECUPERO	• **84,8 %** RECUPERO
• 5,4% STOCCAGGIO	• 6,0% STOCCAGGIO	• 7,05% STOCCAGGIO	• 14,1% STOCCAGGIO
• 3,5% DISCARICA	• 1,8% DISCARICA	• 0,95% DISCARICA	• 0,3% DISCARICA
• 0,1% ALTRE OPERAZIONI DI SMALTIMENTO	• 0,04% ALTRE OPERAZIONI DI SMALTIMENTO	• 0,1% ALTRE OPERAZIONI DI SMALTIMENTO	• 0,8% ALTRE OPERAZIONI DI SMALTIMENTO

Recupero:
- **Miscelato con 17 09 04**

Recupero:
- **Miscelato con 17 09 04**
- **A recupero specifico**

3 SISTEMI DI RECUPERO E QUINDI 3 DIVERSE LCA:
- RECUPERO DI 17 09 04 + 17 01 + 17 03 02 + 17 08 02 → **LCA 1**
- RECUPERO DEL SOLO 17 03 02 → **LCA 2**
- RECUPERO DEL SOLO 17 08 02 → **LCA 3**

Fotografia del sistema di gestione regionale al 2014



LCA 1

RECUPERO IN MISCELAZIONE DI :

- RIFIUTI MISTI (CER 17 09 04)
- CEMENTO, MATTONI E MATTONELLE (COME CER 17 01)
- MISCELE BITUMINOSE (CER 17 03 02)
- RIFIUTI DA COSTRUZIONE A BASE DI GESSO (CER 17 08 02)

Anno di riferimento: 2014

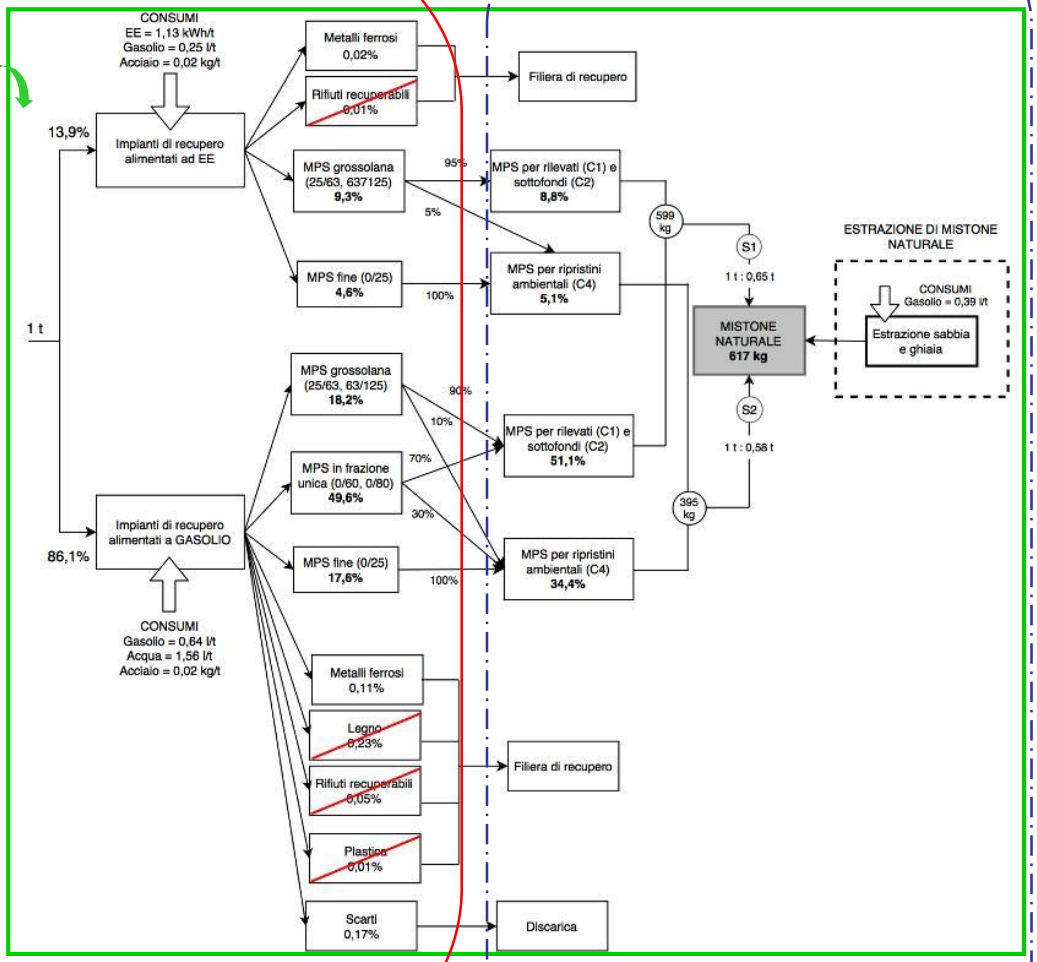
UNITA' FUNZIONALE:
1 TONNELLATA DI RIFIUTI C&D MISTI

- 1701 (10,9%)
- 170302 (8,4%)
- 170802 (0,3%)
- 170904 (80,4%)

STOCCAGGIO
0%

RECUPERO
96,7%

DISCARICA
3,3%



IPOTESI:

- ripartizione rifiuti stoccati tra recupero e discarica
- discarica include quantitativi sottoposti ad altre operazioni di smaltimento (D13, D15)
- trascurati destini di legno, plastica e altri rifiuti recuperabili separati negli impianti di riciclo ai fini dell'LCA

DATI VISITE TECNICHE:

- 13,9% rifiuto conferito in impianti EE (Tipo A) e 86,1% in (Tipo B+C)
- efficienza di trattamento (MPS) 99,8% in A e 99,3% in (Tipo B+C)

FLUSSI RIFIUTI E RECUPERO

SOSTITUZIONE RISORSE NATURALI

LCA1: MODELLIZZAZIONE IMPIANTI DI RECUPERO

RIFIUTO CONFERITO

RIFIUTI MISTI C&D (CER 170904)

Da grandi cantieri di demolizione

Da piccoli lavori ristrutturazione

IMPIANTO DI RECUPERO

IMPIANTO A STRUTTURA FISSA

IMPIANTO A STRUTTURA MOBILE

AGGREGATI RICICLATI (AR)

AR 25/63 mm

SOTTOFONDI RILEVATI

AR 63/125 mm

STRATI DRENANTI

AR 0/63 mm

SOTTOFONDI/ RIPRISTINI

LCA1: MODELLIZZAZIONE PRODOTTI EVITATI

	FONTI DATI	INFORMAZIONI RICAVATE
Modellizzazione della produzione di aggregati naturali (AN) in Lombardia	Piani Cave provinciali	- Volumetrie autorizzate 10 anni (**283.074.399 t**) - Distribuzione dell'attività estrattiva sul territorio (Milano, Brescia, Bergamo) - Volume autorizzato per coltivazione a fossa a secco (40%), fossa in falda (44%) e a terrazzo (16%)
	Statistiche cave provinciali	Quantità di materiale cavato annualmente, consumi e destini degli aggregati prodotti
	Sopralluoghi presso siti estrattivi	Specificità connesse alle diverse modalità di coltivazione

Cava a fossa a secco

Cava a fossa in falda

Cava a terrazzo

Elaborazione dei dati contenuti nelle Statistiche Cave provinciali

ESTRAZIONE MISTONE NATURALE

(Province di Como, Cremona, Mantova e Sondrio)

n° siti: **22**

	Valore medio	Min	Max
Consumo gasolio	0,39 l/t		
Distanza media di vendita	40 km	30	60
Prezzo medio di vendita	5,3 €/t	4,0	9,2

PRODUZIONE AGGREGATI NATURALI

(Province di Bergamo, Brescia, Como, Cremona, Lodi, Milano, Monza Brianza, Pavia e Varese)

n° siti: **176**

	Valore medio	Min	Max
Consumo gasolio	0,46 l/t	0,16	1,5
Consumo EE	1,83 kWh/t	0,64	8,38
Consumo acqua	0,46 l/t	0,018	0,90
Distanza media di vendita	40 km	30	60
Prezzo medio di vendita	8,7 €/t	6,9	9,2

Impianto di lavorazione del mistone naturale per la produzione di aggregati di varia granulometria

ASPETTI PROBLEMATICI DEL MERCATO

- **mercato degli aggregati riciclati (AR) in Regione instabile** e strettamente connesso alla realizzazione di grandi opere (e.g. EXPO 2015, alta velocità, ..); utilizzo limitato al settore stradale e ai ripristini ambientali (recuperi di cave dismesse)

- **basso costo delle risorse naturali (4-5 €/t) e larga disponibilità** (bassa tassazione dell'attività estrattiva e mancanza di restrizioni in regione Lombardia), rappresentano i fattori principali che limitano il mercato degli aggregati riciclati rendendoli poco competitivi rispetto ai materiali naturali

- **diffidenza da parte dei potenziali utilizzatori** nei confronti delle caratteristiche tecniche e prestazionali degli aggregati riciclati, a causa della loro origine dai rifiuti

- **strumenti tecnici** quali i «capitolati speciali di appalto» **non aggiornati** alle norme europee di settore (equiparazione tra aggregati riciclati e naturali)

- **mancanza di criteri "End of Waste"** specifici per i C&D limita l'impiego degli aggregati riciclati

LCA DEVE CONSIDERARE NON SOLO LE CARATTERISTICHE TECNICHE DEGLI AGGREGATI RICICLATI MA ANCHE GLI ASPETTI LEGATI AL LORO EFFETTIVO MERCATO

CALCOLO DEL RAPPORTO DI SOSTITUZIONE (R) AR : AN

METODO 1:

$$R = Q * M$$

Q = fattore di qualità e prestazione, funzione dell'utilizzo previsto per AR

$$Q = Q_1 \cdot Q_2$$

Q_1 → caratteristiche qualitative (es. terra)

Q_2 → caratteristiche tecniche per l'uso

M = fattore di mercato AR (da indagine impianti)

METODO 2:

$$R = \frac{prezzo(AR)}{prezzo(AN)}$$

Prezzo (AR) = prezzo medio di vendita dell'aggregato riciclato

Prezzo (AN) = prezzo medio di vendita dell'aggregato naturale in regione

Fortemente variabili e influenzati da fattori locali

IPOTESI

Q

Q_1 =1 per AR di buona qualità
Q_1 = 0,9 per AR di scarsa qualità } *Q1 (medio)=0,97*
Q_2 =1 in utilizzi C1/C2 (prestazioni equiparabili a AN)
Q_2 = 0,89 in utilizzo C4

M

M =1 se AR interamente vendute
M =0 se AR invendute

- Prezzo (AR)→ da indagine impianti: **0 - 4,2 €/t**
- Prezzo (AN)→ da dati statistiche cave: **4,0- 9,2 €/t** (mistone naturale)

	R = Q * M		
Utilizzi aggregati riciclati misti	Q	M	**Q*M**
Rilevati (C1) e sottofondi (C2)	0,97	0,67	**0,65**
Ripristini ambientali (C4)	0,86	0,67	**0,58**

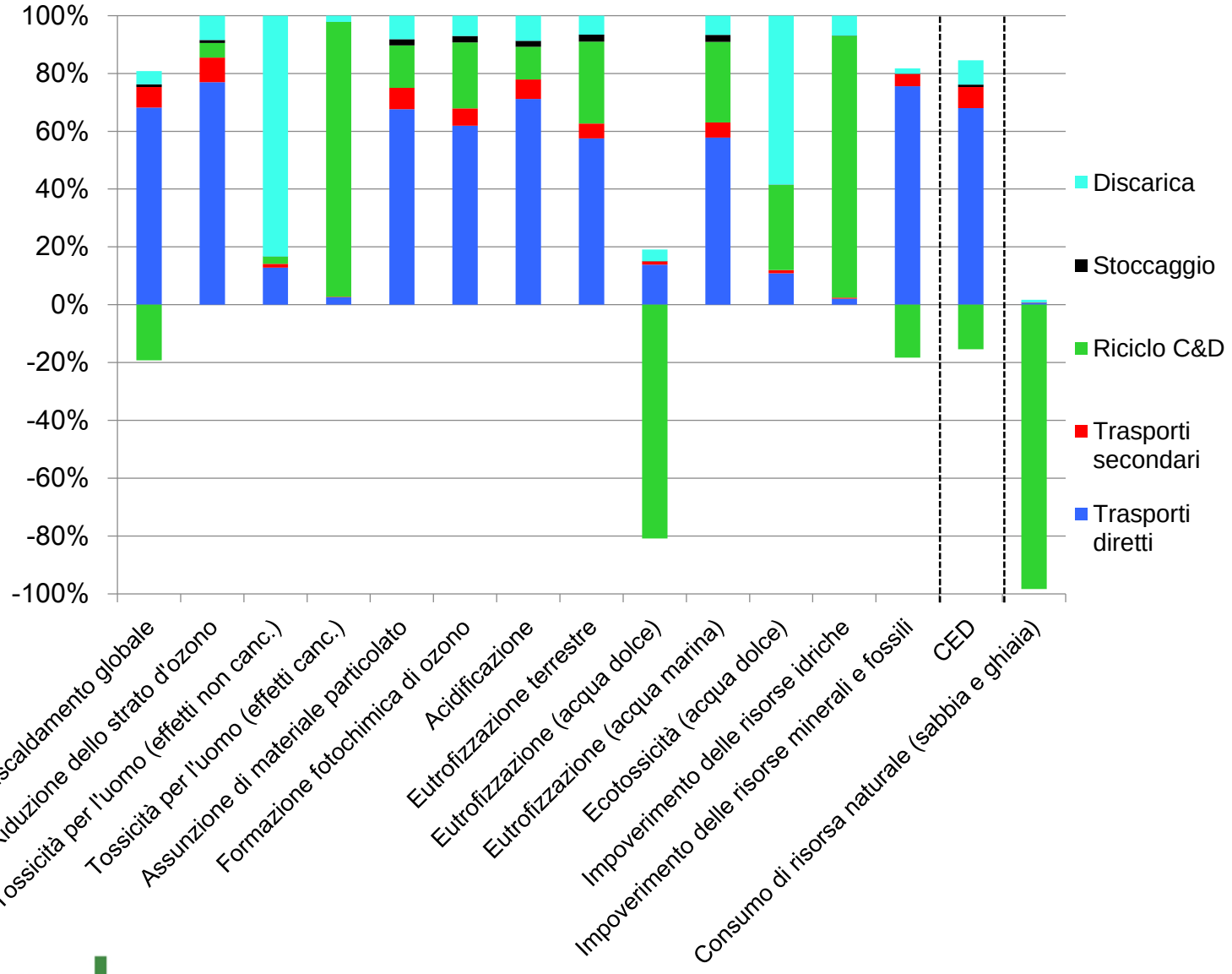
	R = P		
Utilizzi aggregati riciclati misti	P_{AR} (€/t)	P_{AN} (€/t)	P_{AR}/P_{AN}
Rilevati (C1) e sottofondi (C2)	1,95	5,3	**0,37**
Ripristini ambientali (C4)			

Range R (metodo 1)
C1/C2: 0–0,97
C4: 0–0,86

ANALISI DI SENSITIVITA'

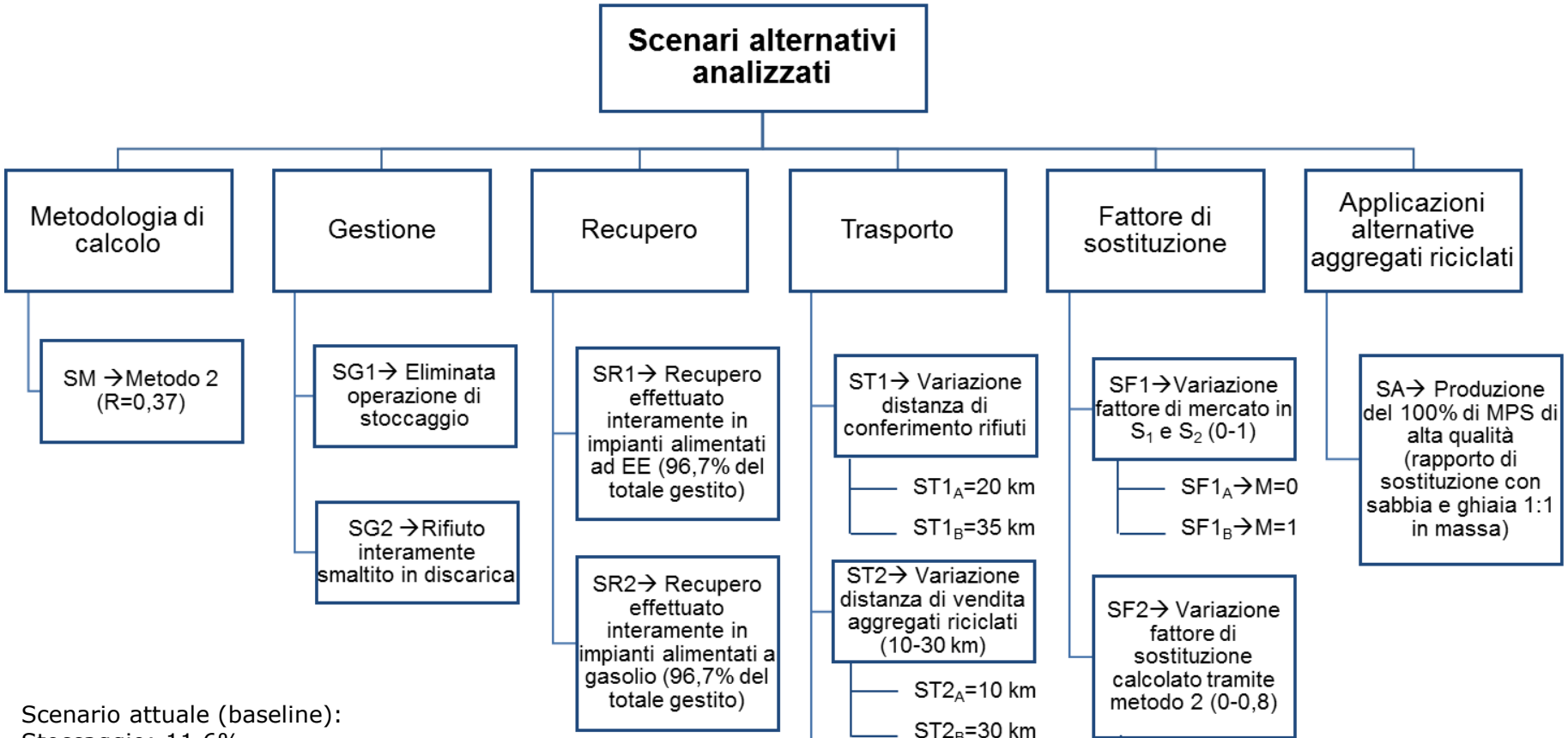
Range R (metodo 2)
C1/C2/C4: 0–0,8

LCA DELLO SCENARIO BASE



LCA DELLO SCENARIO BASE E CONFRONTO CON SCENARIO DISCARICA PER 1 TONNELLATA DI RIFIUTI C&D MISTI

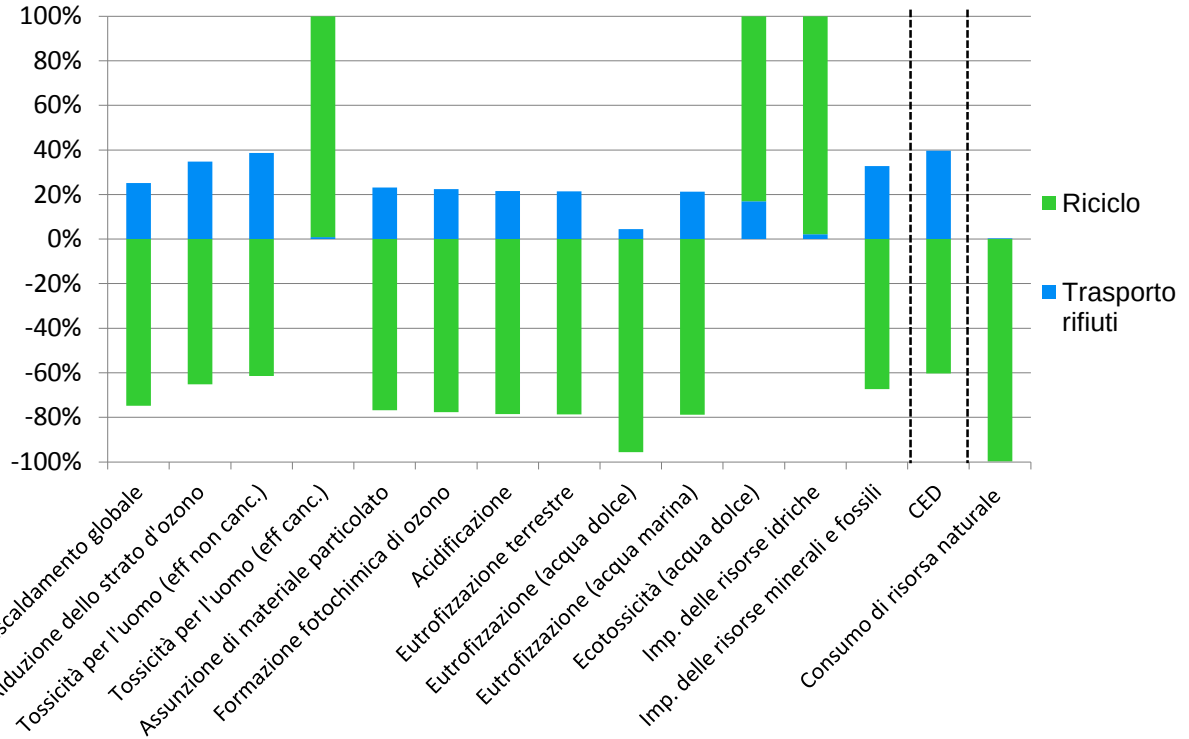
Categoria di impatto	Unità	SCENARIO BASE	SOLO DISCARICA
Riscaldamento globale	kg CO_2 eq	3,40	11,44
Riduzione dello strato d'ozono	kg CFC-11 eq	9,27E-07	3,09E-06
Tossicità per l'uomo (effetti non cancerogeni)	CTUh	7,32E-06	1,86E-04
Tossicità per l'uomo (effetti cancerogeni)	CTUh	5,00E-06	3,43E-06
Assunzione di materiale particolato	kg PM2.5 eq	2,93E-03	9,21E-03
Formazione fotochimica di ozono	kg COVNM eq	0,03	0,08
Acidificazione	moli H+ eq	0,02	0,08
Eutrofizzazione terrestre	moli N eq	0,10	0,27
Eutrofizzazione (acqua dolce)	kg P eq	-1,38E-03	3,06E-03
Eutrofizzazione (acqua marina)	kg N eq	0,01	2,45E-02
Ecotossicità (acqua dolce)	CTUe	226,1	4031,7
Impoverimento delle risorse idriche	m^3 acqua eq	0,02	0,04
Impoverimento delle risorse minerali e fossili	kg Sb eq	2,81E-04	5,81E-04
CED	MJ	65,0	304,5
Consumo di risorse naturali	kg sabbia&ghiaia	-611,4	175,3

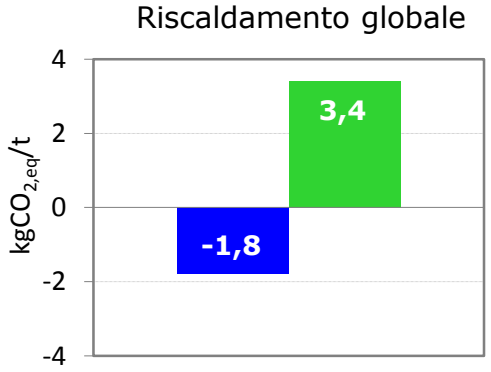


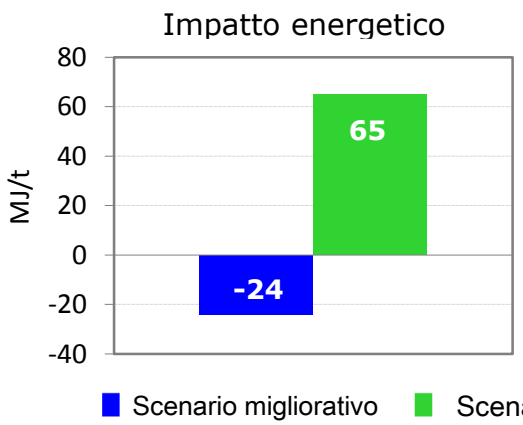
Scenario attuale (baseline):
Stoccaggio: 11,6%
Discarica: 3,3% e Recupero: 96,7%
Impianti EE: 13,9% e Impianti gasolio: 86,1%
Rapporto di sostituzione (R) tra AR e AN: 0,65 in C1/C2 e 0,58 in C4
Distanza conferimento rifiuti: 27,5 km
Distanza vendita aggregati riciclati: 15 km
Distanza vendita aggregati naturali: 40 km
Fattore di mercato: 0,67
Produzione MPS di alta qualità: 0%

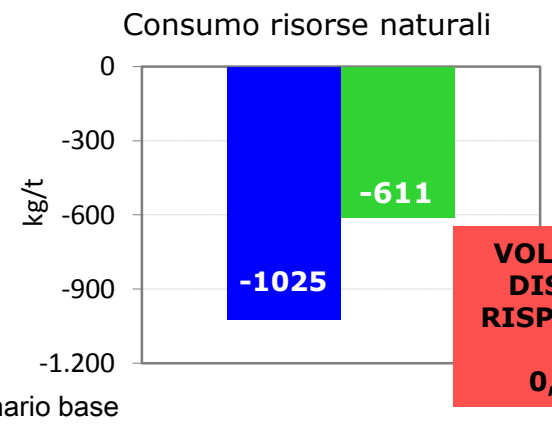
IPOTESI

- No stoccaggio
- No discarica
- 100% impianti alimentati ad EE
- Distanza minima per il conferimento dei C&D
- Distanza minima per la vendita dell'MPS
- Distanza invariata per la vendita degli aggregati naturali
- M=1
- 90% aggregati riciclati di alta qualità; 10% aggregati riciclati di bassa qualità destinati a ripristini ambientali (frazione fine)









VOLUMETRIA DISCARICA RISPARMIATA:

0,7 m³/t

LCA1: IMPATTI COMPLESSIVI PER I DIVERSI SCENARI

RISULTATI COMPLESSIVI RIFERITI ALLA GESTIONE DI **6.999.986 TONNELLATE** DI C&D MISTI

	Unità di misura	Scenario attuale	Scenario migliorativo	Scenario migliorativo 50/50*	Scenario discarica
Categoria di impatto ambientale (ILCD):					
Riscaldamento globale	kgCO_2 eq	2,38E+07	-1,25E+07	-1,04E+07	8,01E+07
Riduzione dello strato d'ozono	kgCFC-11 eq	6,5	-0,35	0,26	21,6
Tossicità per l'uomo (effetti non cancerogeni)	CTUh	51,3	0,7	2,04	1.301
Tossicità per l'uomo (effetti cancerogeni)	CTUh	35	32,4	33,6	24
Assunzione di materiale particolato	kg PM2.5 eq	2,05E+04	-9,34E+03	-4,39E+03	6,45E+04
Formazione fotochimica di ozono	kg COVNM eq	2,02E+05	-7,06E+04	-1,55E+04	5,53E+05
Acidificazione	moli H+ eq	1,73E+05	-7,32E+04	-3,78E+04	5,81E+05
Eutrofizzazione terrestre	moli N eq	7,24E+05	-2,32E+05	-2,72E+04	1,87E+06
Eutrofizzazione (acqua dolce)	kg P eq	-9,64E+03	-1,27E+04	-1,35E+04	2,14E+04
Eutrofizzazione (acqua marina)	kg N eq	6,59E+04	-2,16E+04	-2,96E+03	1,72E+05
Ecotossicità (acqua dolce)	CTUe	1,58E+09	4,59E+08	4,98E+08	2,82E+10
Impoverimento delle risorse idriche	m^3 acqua eq	1,44E+05	9,56E+04	-1,55E+04	3,06E+05
Impoverimento risorse minerali & fossili	kg Sb eq	1,97E+03	6,34E+02	8,63E+04	4,07E+03
Impatto energetico (CED)	MJ	4,55E+08	-1,69E+08	6,36E+02	2,13E+09
Consumo di risorsa naturale (sabbia e ghiaia)	kg	-4,28E+09	-7,18E+09	-1,38E+08	1,23E+09

*Come scenario migliorativo tranne che gli impianti di riciclo sono 50% a energia elettrica e 50% a diesel

CONCLUSIONI LCA1: RACCOMANDAZIONI

FAVORIRE IL MERCATO DEGLI AGGREGATI RICICLATI

Strumenti normativi finalizzati a promuovere l'utilizzo di aggregati riciclati	Rendere operativi DM 203/2003 e CAM per l'edilizia
Pianificazione settore estrattivo per uso più sostenibile delle risorse	• Aumento della tassazione legata all'estrazione • Gestione del sistema delle autorizzazioni più razionale, che tenga conto della disponibilità di aggregati riciclati
Adeguare gli strumenti tecnici di settore alle norme comunitarie	Capitolati Speciali d'Appalto, prezziari delle opere edili

PRODURRE AGGREGATI RICICLATI DI MAGGIORE QUALITÀ

Demolizione selettiva in cantiere per migliorare la qualità del rifiuto in ingresso agli impianti	• Separazione degli elementi indesiderati • Creazione di canali di utilizzo per quei materiali che ad oggi vengono miscelati alle macerie
Migliorare le tecnologie impiantistiche	• Favorire o incentivare l'autorizzazione e realizzazione di impianti alimentati ad energia elettrica • Migliorare le efficienze di selezione; implementare soluzioni impiantistiche più avanzate

OTTIMIZZARE IL SISTEMA DI GESTIONE

Minimizzazione dei trasporti e delle fasi intermedie di gestione	• Distribuzione ottimale degli impianti • Aggiornamento degli elenchi e delle mappe degli impianti • Incentivo all'apertura degli impianti dove c'è maggiore necessità
Ridurre lo smaltimento in discarica	• Aumento della tassazione per lo smaltimento • Divieto di smaltimento per le frazioni di rifiuti valorizzabili

LCA 2

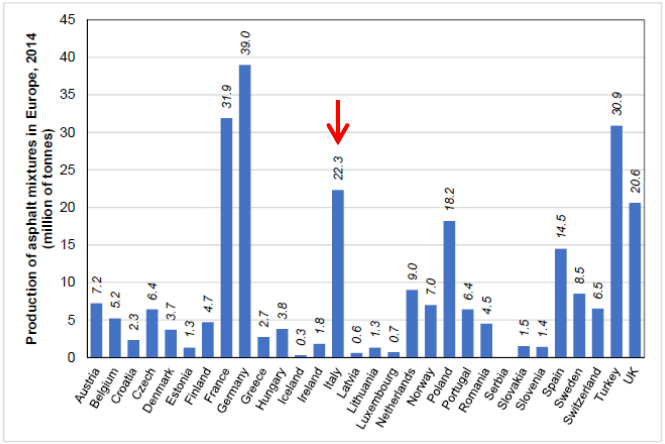
RECUPERO DEDICATO DI:

- MISCELE BITUMINOSE NON PERICOLOSE (CER 17 03 02)

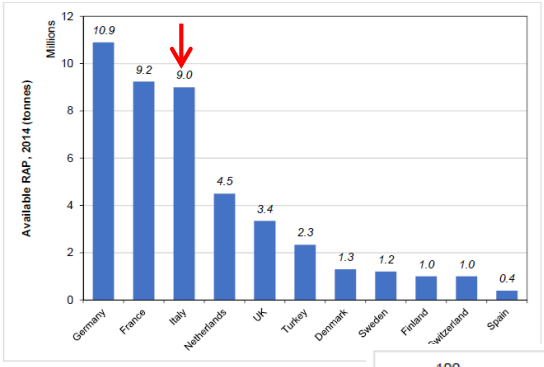
UNI 13108

Fresato di asfalto: prodotto di elevate caratteristiche tecniche interamente riutilizzabile nel settore delle costruzioni stradali

Il settore dell'asfalto: produzione di CB nel 2014

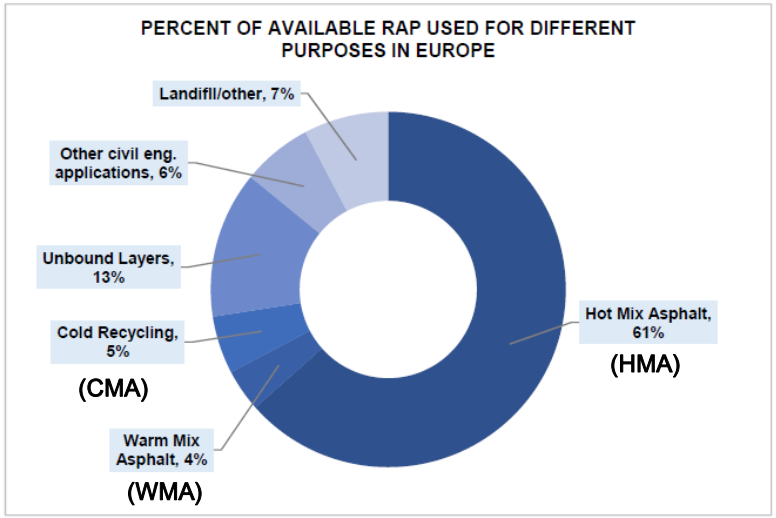


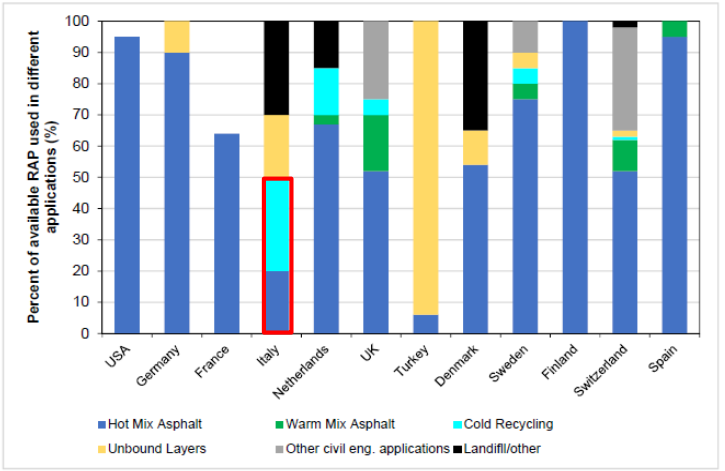
Quantitativi di fresato nel 2014



Fonte dati: **EAPA**
(European Asphalt Pavement Association)

Europa (2014):
70% fresato è riciclato in applicazioni di alto livello (HMA, WMA, CMA)
19% come aggregato granulare
7% in discarica

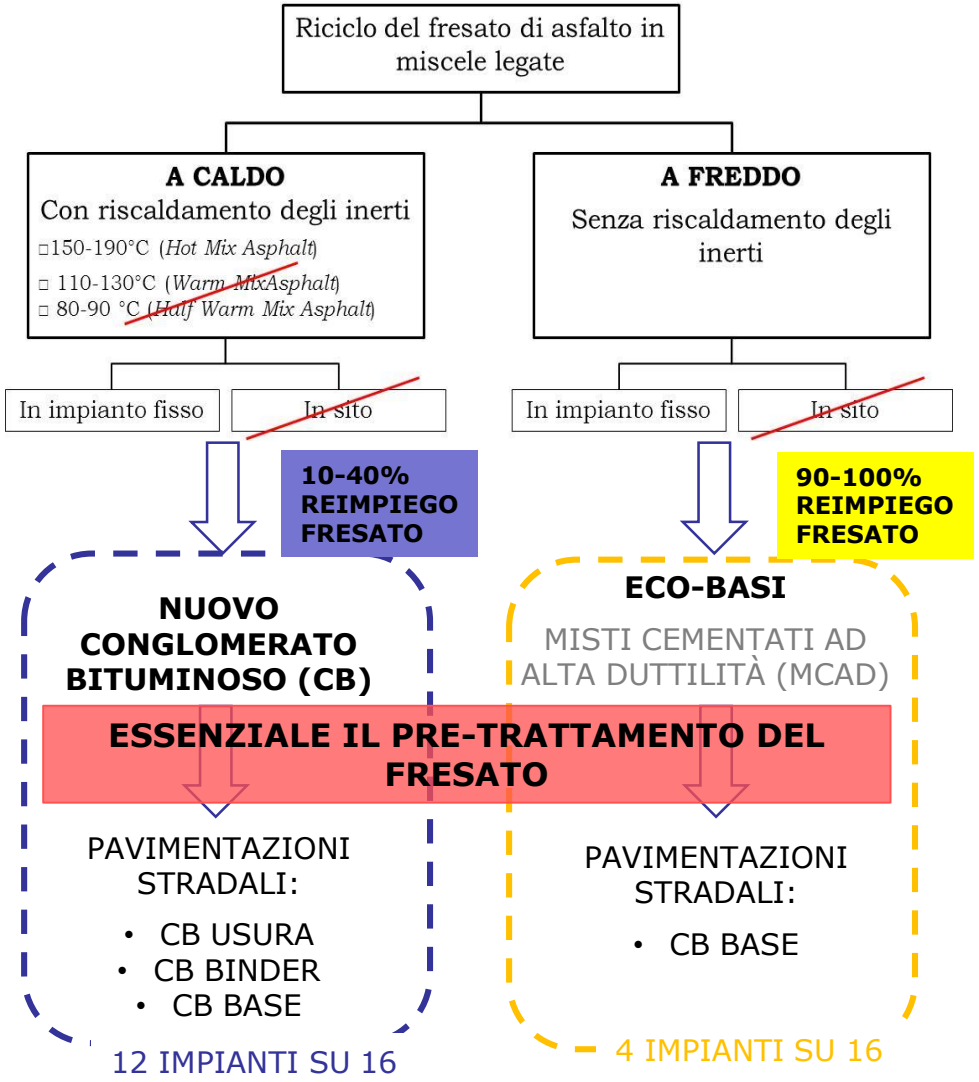




Italia (2014):

50% fresato è riciclato in applicazioni di alto livello (20% in HMA, 30% CMA)
20% è utilizzato come aggregato sciolto nel settore stradale
30% è smaltito in discarica

LCA2: RECUPERO DEDICATO DEL FRESATO



INDAGINE TELEFONICA AGLI IMPIANTI DI RICICLO DEL FRESATO (24 IMPIANTI INDIVIDUATI DA MUD)

	Impianto	Provincia	Tecnologia	Prodotti finali	Pretrattamento fresato
1	Impianto 1A	LO	CB a caldo	Basi - Binder	< 20 mm
2	Impianto 1B	LO	CB a caldo	Basi - Binder	< 20 mm
3	Impianto 1C	LO	CB a freddo	MCAD	< 20 mm
4	Impianto 2A	BG	CB a caldo	Basi - Binder - Usura	classi: 0/10 e 10/20
5	Impianto 2B	BG	CB a caldo	Basi - Binder - Usura	classi: 0/10 e 10/20
6	Impianto 3A	BS	CB a caldo	Basi - Binder - Usura	classi: 0/10 e 10/20
7	Impianto 3B	BS	CB a caldo	Basi - Binder - Usura	classi: 0/10 e 10/20
8	Impianto 3C	BS	CB a caldo	Basi - Binder - Usura	classi: 0/10 e 10/20
9	Impianto 4	MB	CB a caldo	Basi - Binder - Usura	< 20 mm
10	Impianto 5	BS	CB a caldo	Basi - Binder	< 20 mm
11	Impianto 6A	MI	CB a caldo	Basi - Binder - Usura	< 20 mm
12	Impianto 6B	MI	CB a freddo	Eco - basi	< 20 mm
13	Impianto 7A	MB	CB a caldo	Basi - Binder - Usura	classi: 0/10 - 0/15 e 0/20
14	Impianto 7B	MB	CB a freddo	Eco - basi	classi: 0/10 - 0/15 e 0/20
15	Impianto 8	BS	CB a freddo	Eco - basi	< 20 mm
16	Impianto 9	MI	CB a caldo	Basi - Binder - Usura	classi: 0/10 e 10/20

Anno di riferimento: 2014

IMPOSTAZIONE DELL'LCA2 DEL SISTEMA ATTUALE IN REGIONE LOMBARDIA

UNITA' FUNZIONALE:
1 TONNELLATA DI FRESATO DI ASFALTO PRODOTTO E GESTITO IN RL

•17 03 02

FLUSSO TOTALE DI RIFERIMENTO LCA2: 382.488 t

100%

DISTANZA MEDIA DI TRASPORTO PER IL CONFERIMENTO AGLI IMPIANTI: **46 km**
RANGE 41-50 km

EMISSIONI

•CONSUMI DI ENERGIA
•CONSUMI DI MATERIALI AUSILIARI

IMPIANTI DI RECUPERO

75% IMPIANTI CB A CALDO
25% IMPIANTI A FREDDO

NUOVI PRODOTTI

CONGLOMERATO BITUMINOSO:
BASE-BINDER-USURA

ECO-BASE

PRODOTTI PRIMARI EVITATI

SOSTITUZIONE RISORSE MINERALI NATURALI + BITUME

SOSTITUZIONE CONGLOMERATI BITUMINOSI VERGINI

EMISSIONI EVITATE

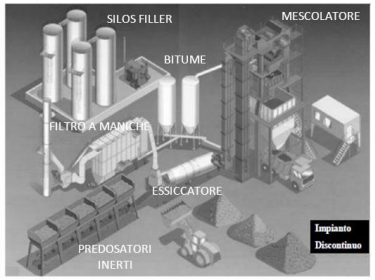
EMISSIONI EVITATE

DISTANZA MEDIA DI TRASPORTO DAGLI IMPIANTI CB AL CANTIERE: **TRASCURATA**

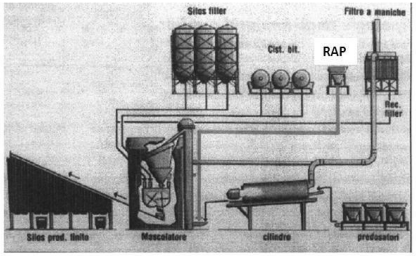
Tecnologie a caldo (HMA)

IMPIANTI VISITATI

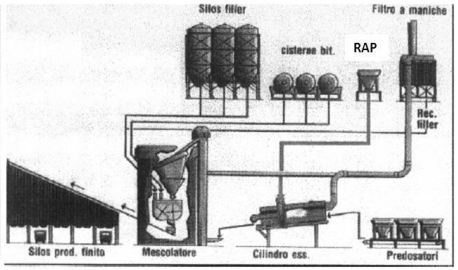
Impianto CB a caldo tradizionale



CB a caldo con riciclo fresato nel mescolatore



CB a caldo con riciclo fresato nel forno (anello di riciclaggio)



RAP=RECYCLED ASPHALT PAVEMENT

MATERIALI IN INGRESSO ALL'IMPIANTO CB	• AGGREGATI NATURALI DA CAVA • FRESATO • FILLER (d<0,075 mm) • BITUME VERGINE • ATTIVANTI CHIMICI FUNZIONALI (ACF)

Modalità e percentuale di inserimento del fresato nelle miscele CB prodotte negli impianti a caldo HMA (da indagine telefonica)

Impianto	Provincia	% impiego del fresato nelle miscele HMA				Tecnologia implementata
		Base	Binder	Usura	*Media*	
Impianto 1A	LO	15%	15%	0%	*10%*	Anello di riciclaggio forno
Impianto 1B	LO	15%	15%	0%	*10%*	Anello di riciclaggio forno
Impianto 2A	BG	35%	20%	12,5%	*23%*	Anello di riciclaggio forno
Impianto 2B	BG	35%	20%	12,5%	*23%*	Immissione nel mescolatore
Impianto 3A	BS	25%	20%	10%	*18%*	Anello di riciclaggio forno
Impianto 3B	BS	25%	20%	10%	*18%*	Anello di riciclaggio forno
Impianto 3C	BS	40%	35%	10%	*28%*	Immissione nel mescolatore
Impianto 4	MB	30%	-	15%	*23%*	Anello di riciclaggio forno
Impianto 5	BS	35%	28%	0%	*21%*	Anello di riciclaggio forno
Impianto 6A	MI	32,5%	32,5%	12,5%	*26%*	Anello di riciclaggio forno
Impianto 7A	MB	30%	30%	20%	*27%*	Anello di riciclaggio forno
Impianto 9	MI	20%	15%	10%	*15%*	Anello di riciclaggio forno

% inserimento fresato nelle miscele CB dipende da:

- dotazioni dell'impianto

CSA - ANAS	Base	Binder	Usura
% fresato (sugli inerti)	15% - 30%	15% - 25%	10% - 15%
% bitume (sulla miscela)	3,8% -5,2%	4,1% - 5,5%	4,5% - 6,1%
% rigeneranti ACF (sul bitume)	3% - 5%	2% - 4%	2% - 4%

BITUME VERGINE EVITATO (DA INDAGINI TELEFONICHE)

Impianto	Provincia	% fresato (su peso inerti)	% bitume vergine risparmiato (ogni 10% di fresato)
Impianto 1A	LO	*10%*	0,25%
Impianto 1B	LO	*10%*	0,25%
Impianto 2A	BG	*23%*	0,4%
Impianto 2B	BG	*23%*	0,4%
Impianto 3A	BS	*18%*	0,35%
Impianto 3B	BS	*18%*	0,35%
Impianto 3C	BS	*28%*	0,35%
Impianto 4	MB	*23%*	ND
Impianto 5	BS	*21%*	0,33%
Impianto 6A	MI	*26%*	0,3%
Impianto 7A	MB	*27%*	0,50%
Impianto 9	MI	*15%*	0,5%
Valore medio		***20%***	***0,35%***

AGGREGATI NATURALI RISPARMIATI (DATI DI LETTERATURA)

Tipologia CB	*Produzione in regione*	Fresato impiegato (kg)	Inerti vergini risparmiati (kg)	RS (in massa)	RS medio (in massa)
CB usura	*50%*	171,3	166,0	1:0,969	
CB binder	*25%*	395,9	379,2	1:0,958	**1:0,965**
CB base	*25%*	1431,2	1376,8	1:0,962	

STIMATA SULLA BASE DELL'INDAGINE TELEFONICA AGLI IMPIANTI CB

Fonte: Giani et al. 2015: *Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling*.

1 TONNELLATA DI FRESATO SOSTITUISCE
- **965 kg** DI INERTI NATURALI
- **35 kg** DI BITUME VERGINE

MA RICHIEDE L'AGGIUNTA DI ATTIVANTI CHIMICI FUNZIONALI (ACF): **2 kg**
(dosaggio ACF: 0,2% rispetto al fresato)

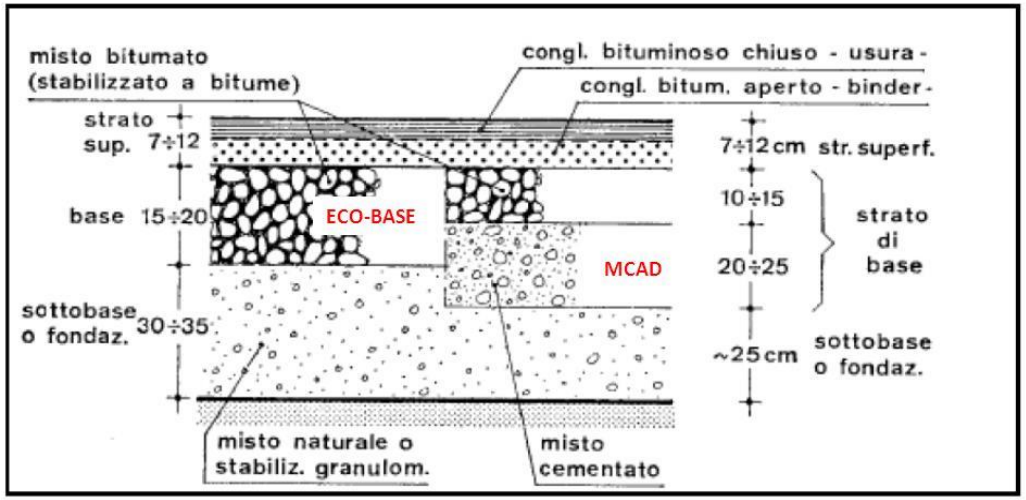
VANTAGGI:

- NO RISCALDAMENTO DEGLI INERTI
- RISPARMIO DI RISORSE MINERALI NON RINNOVABILI
- ALTE PERCENTUALI DI RICICLO DEL FRESATO (80-100%)
- MINORI CONSUMI ENERGETICI (assenza forno)
- RIDOTTE EMISSIONI DALL'IMPIANTO (evitato riscaldamento del bitume)
- MINORI COSTI DI INSTALLAZIONE E GESTIONE
- MINORI EMISSIONI DURANTE LA STESA DEI PRODOTTI CB A FREDDO (non incluso nei confini dell'LCA2)

Materiali impiegati per la produzione di eco-basi	
Inerti totali	88,5% - 91%
di cui:	
fresato	*80% - 90%*
inerti vergini	*20% - 10%*
Emulsione Bituminosa	2,5% - 4,5%
Cemento	1,5% - 2,5%
Acqua	4,5%

SVANTAGGI:

- IMPIEGO DEI CB A FREDDO SOLO IN STRATI DI BASE PER LE STRADE AD ALTA PERCORRENZA OPPURE IN STRATI DI BASE/BINDER PER STRADE A MEDIO/BASSA PERCORRENZA
- UTILIZZO DI CEMENTO E LEGANTI BITUMINOSI (bitume schiumato o emulsione bituminosa) LA CUI PRODUZIONE È ALTAMENTE IMPATTANTE
- È INDISPENSABILE EFFETTUARE CAMPI PROVE PER FORMULARE IN MODO APPROPRIATO LE RICETTE IN BASE ALLE CARATTERISTICHE DEL FRESATO



RS 1:0,667

ECO-BASE ⇨ CONGLOMERATO BITUMINOSO VERGINE (HMA) PER STRATI DI BASE
(95% inerti da cava
5% bitume vergine)

LE CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI DELLE ECO-BASI APPAIONO INFERIORI DI QUELLE DEI CB PRODOTTI A CALDO

⇩

VIENE AUMENTATO DEL **30-50%** LO SPESSORE DELLO STRATO DI BASE REALIZZATO CON ECO-BASI (RISPETTO ALLO SPESSORE TIPICO PREVISTO PER BASI TRADIZIONALI)

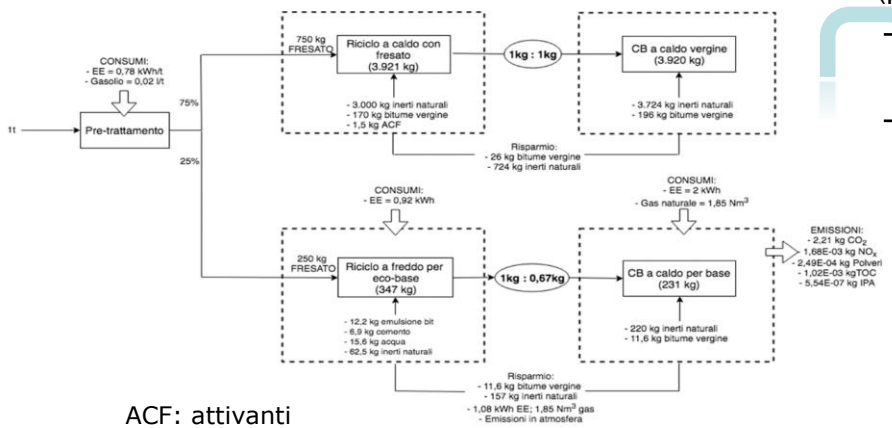
MCAD ⇨ MISTO CEMENTATO TRADIZIONALE PER STRATI DI FONDAZIONE

IN FASE DI SPERIMENTAZIONE

OPZIONE VALUTATA NELL'ANALISI DI SENSITIVITÀ (esclusa dallo scenario base)

MODELLIZZAZIONE LCA2: RISULTATI SCENARIO BASE

SCHEMA DI FLUSSO SCENARIO BASE



ACF: attivanti chimici funzionali

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI
(per tonnellata di fresato)

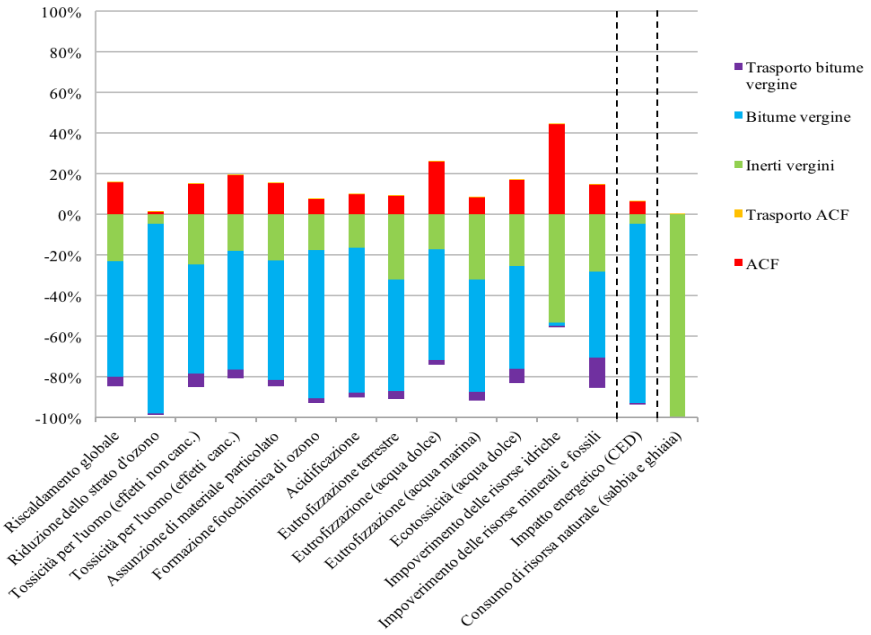
include conferimento fresato

	Unità di misura	Riciclo a caldo	Riciclo a freddo	Scenario base - RL
Riscaldamento globale	kg CO_2 eq	-17,5	**10,7**	-4,9
Riduzione dello strato d'ozono	kg CFC-11eq	-2,3E-05	-2,0E-05	-2,1E-05
Tossicità per l'uomo (effetti non cancerogeni)	CTUh	-2,8E-06	**7,4E-07**	-7,0E-07
Tossicità per l'uomo (effetti cancerogeni)	CTUh	-5,2E-07	**1,8E-07**	-1,9E-07
Assunzione di materiale particolato	kg PM2.5eq	-1,3E-02	-5,5E-03	-8,2E-03
Formazione fotochimica di ozono	kg NMVOCeq	-1,7E-01	**1,8E+00**	3,5E-01
Acidificazione	molc H+ eq	-1,7E-01	-8,6E-02	-1,3E-01
Eutrofizzazione terrestre	molc N eq	-3,1E-01	-6,0E-02	-1,8E-01
Eutrofizzazione (acqua dolce)	kg P eq	-1,6E-03	**2,4E-03**	-1,6E-04
Eutrofizzazione (acqua marina)	kg N eq	-2,9E-02	-6,7E-03	-1,7E-02
Ecotossicità (acqua dolce)	CTUe	-67,5	**2,3**	-17,3
Impoverimento risorse idriche	m^3 water eq	-1,9E-03	**2,9E-02**	1,0E-02
Impoverimento risorse minerali e fossili	kg Sbeq	-4,4E-04	**1,0E-05**	-1,3E-05
Impatto energetico (CED)	MJ	-1.779	-1.485	-1.611
Consumo di risorsa naturale (sabbia e ghiaia)	kg	-1.011	-663,7	-917,6

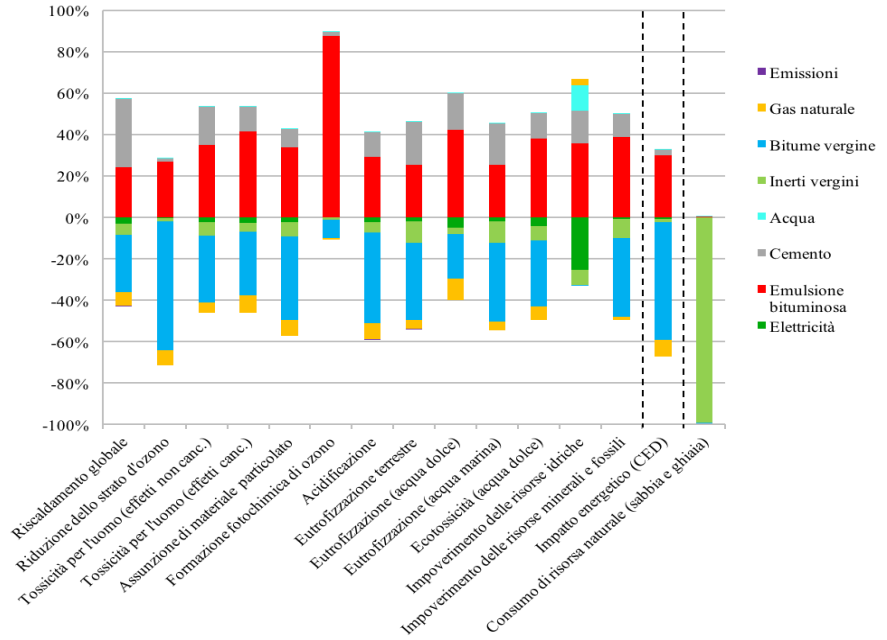
- BUONE PRESTAZIONI DEL SISTEMA REGIONALE: quasi tutti gli indicatori hanno segno negativo (benefici ambientali)
- MAGGIORI VANTAGGI DERIVANTI DAL RICICLO A CALDO DEL FRESATO: garantisce migliori prestazioni ambientali
- RICICLO A FREDDO NON SEMPRE VANTAGGIOSO: dipende dalla categoria di impatto considerata

ANALISI DEI CONTRIBUTI AGLI IMPATTI ASSOCIATI AL RICICLO A CALDO E A FREDDO DI 1 TONNELLATA DI FRESATO

RICICLO A CALDO



RICICLO A FREDDO

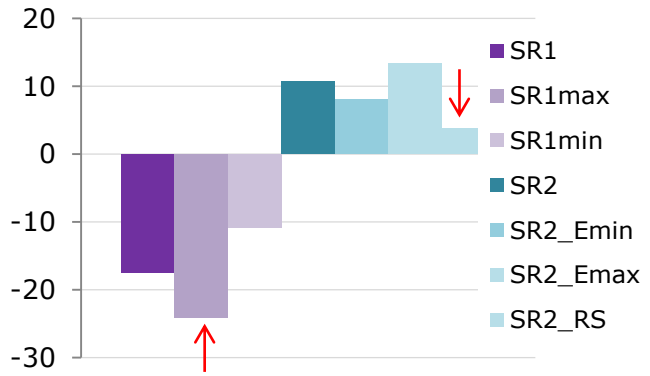


- MAGGIORI VANTAGGI DERIVANTI DAL RICICLO A CALDO DEL FRESATO: evitata produzione di bitume vergine e inerti determinano savings complessivi
- RICICLO A FREDDO MENO VANTAGGIOSO: impatti indotti dall'uso dell'emulsione bituminosa risultano superiori ai benefici derivanti dal riciclo, per alcune categorie di impatto, determinando carichi aggiuntivi sul sistema

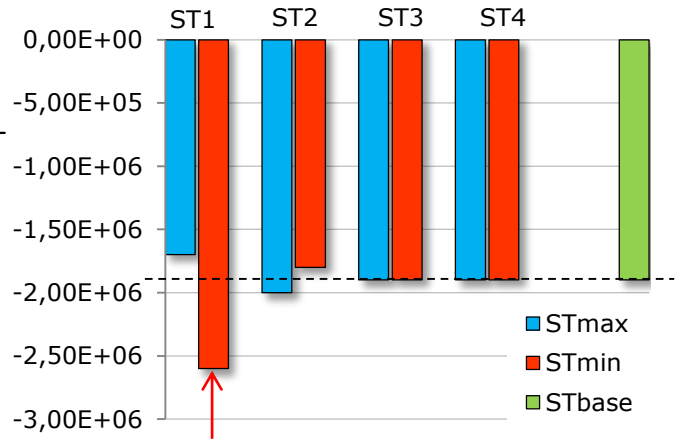
ANALISI DI SENSITIVITÀ

- RICICLO A CALDO – SR1
  - PERCENTUALE BITUME RISPARMIATO
    - **SR1 $_{MIN}$**: 0,2% BITUME
    - **SR1 $_{MAX}$**: 0,5% BITUME
- RICICLO A FREDDO – SR2
  - DOSAGGIO EMULSIONE
    - **SR2_E$_{min}$** : 3% EMULSIONE
    - **SR2_E$_{max}$** : 4% EMULSIONE
  - SOSTITUZIONE ECO-BASE/ CB A CALDO
    - **SR2_RS**:1 t: 0,8 t
- ALTRE TECNOLOGIE
  - PRODUZIONE DI MCAD (50% fresato)
    - **SR3**: sostituzione misto cementato tradiz. 1t : 0,98t
- TRASPORTI
  - CONFERIMENTO FRESATO
    - **ST1$_{MIN}$**: 30 km
      ST1$_{MAX}$: 50 km
  - APPROVVIGIONAMENTO ADDITIVI
    - BITUME **ST2**:185-240 km
      CEMENTO **ST3**: 60-100 km
      EMULSIONE **ST4**: 30-70 km

Riscaldamento globale: impatti specifici ($kgCO_2/t$)



Riscaldamento globale: impatti totali ($kgCO_2$)

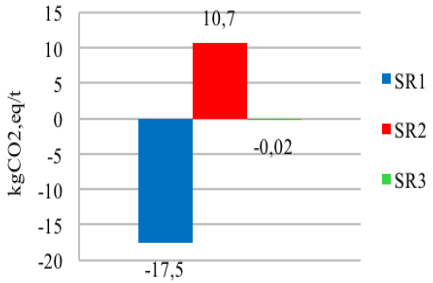


Individuazione dei parametri «critici» per il sistema

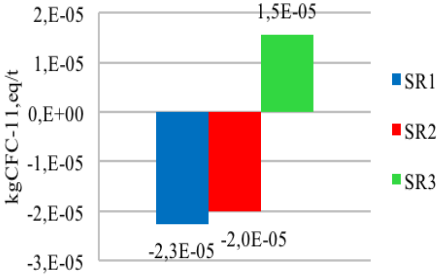
CONFRONTO TRA LE TECNOLOGIE DI RECUPERO (impatti specifici per 1 tonnellata di fresato)

SR1: recupero a caldo con produzione di nuovo CB
SR2: recupero a freddo con produzione eco-basi
SR3: recupero a freddo con produzione di misto cementato ad alta duttilità - MCAD

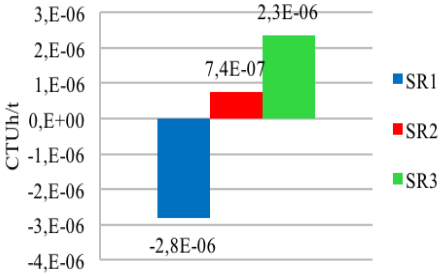
Riscaldamento globale



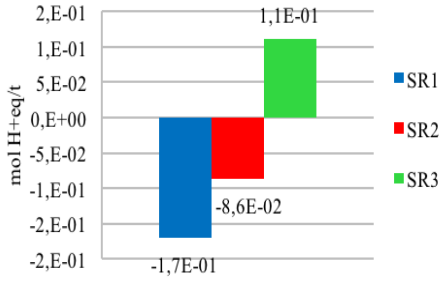
Riduzione dello strato di ozono



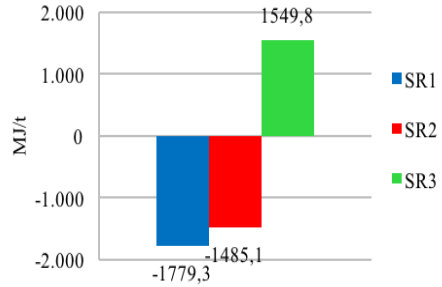
Tossicità per l'uomo (non canc.)



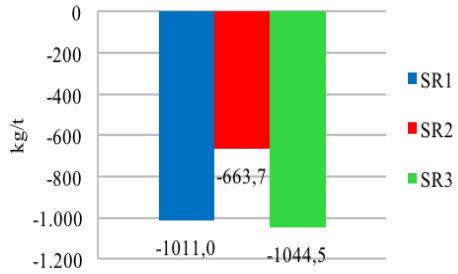
Acidificazione



Impatto energetico (CED)



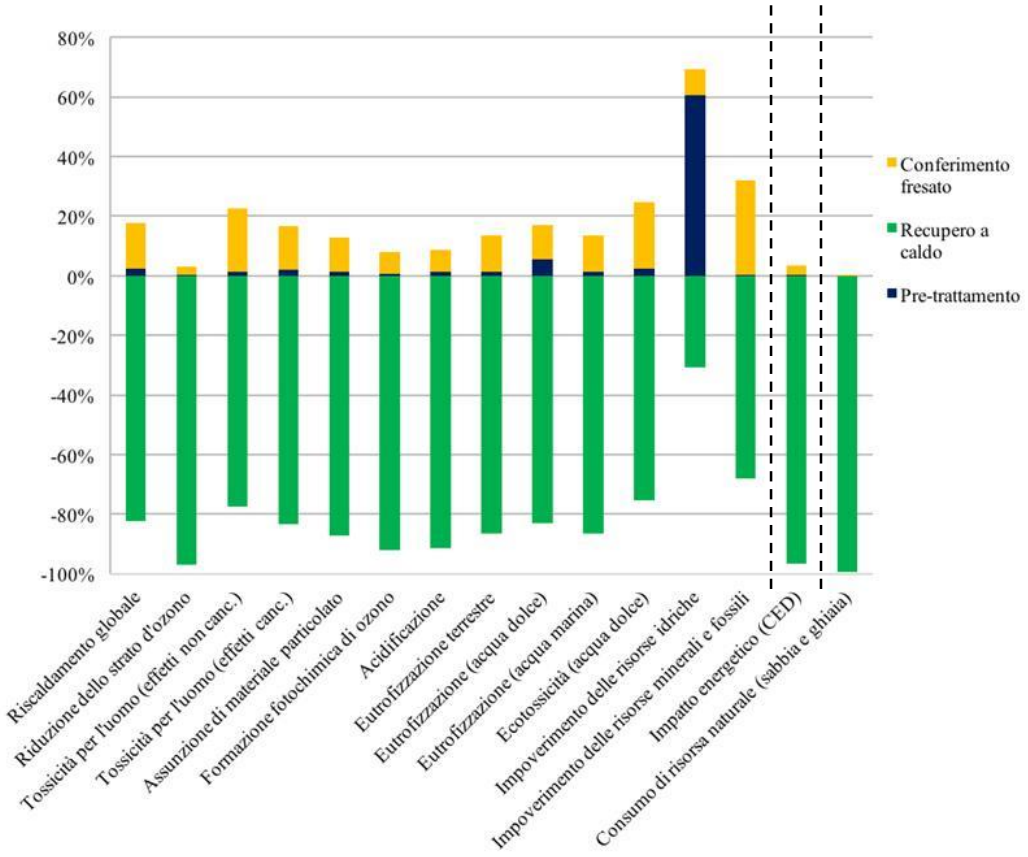
Consumo risorsa naturale (sabbia/ghiaia)



- RECUPERO A CALDO: migliori prestazioni ambientali per tutti gli indicatori analizzati (BENEFICI NETTI)
- RECUPERO A FREDDO IN MCAD: maggiori impatti ambientali a causa dell'impiego di emulsione bituminosa e minori benefici dovuti all'evitata produzione di cemento
- RECUPERO A FREDDO IN ECO-BASI: profilo ambientale intermedio tra SR1 e SR3. Benefici/impatti netti dipendono dalla specifica categoria d'impatto in esame

DEFINIZIONE DELLO SCENARIO MIGLIORATIVO

- L'intero quantitativo di fresato (382.488 tonnellate) è inviato al recupero a caldo per la produzione di nuovo conglomerato bituminoso
- È minimizzata la distanza di conferimento del fresato agli impianti (assunta pari a 30 km) e di approvvigionamento degli ACF (assunta pari a 30 km)
- La distanza di approvvigionamento del bitume vergine è invariata rispetto allo scenario attuale (215 km)



IMPATTI PER TONNELLATA DI RIFIUTO DELLO SCENARIO MIGLIORATIVO A CONFRONTO CON LO SCENARIO ATTUALE

	Unità di misura	Scenario attuale	Scenario migliorativo	Differenza
Categorie di impatto ambientale (ILCD):				
Riscaldamento globale	kg CO_2 eq	-4,9	-13,7	-179%
Riduzione dello strato d'ozono	kg CFC-11 eq	-2,10E-05	-2,20E-05	-4%
Tossicità per l'uomo (effetti non canc.)	CTUh	-7,00E-07	-2,00E-06	-186%
Tossicità per l'uomo (effetti canc.)	CTUh	-1,90E-07	-4,10E-07	-114%
Assunzione di materiale particolato	kg $PM_{2.5}$ eq	-8,20E-03	-1,10E-02	-33%
Formazione fotochimica di ozono	kg COVNM eq	3,50E-01	-1,60E-01	-146%
Acidificazione	mol H^+ eq	-1,30E-01	-1,50E-01	-23%
Eutrofizzazione terrestre	mol N eq	-1,80E-01	-2,60E-01	-49%
Eutrofizzazione (acqua dolce)	kg P eq	-1,60E-04	-1,30E-03	-708%
Eutrofizzazione (acqua marina)	kg N eq	-1,70E-02	-2,50E-02	-46%
Ecotossicità (acqua dolce)	CTUe	-17,3	-45,4	-163%
Impoverimento delle risorse idriche	m^3 acqua eq	1,00E-02	2,40E-03	-77%
Impoverimento risorse minerali e fossili	kg Sb eq	-1,30E-05	-2,30E-04	-1.675%
Impatto energetico (CED)	MJ	-1611,4	-1715	-6%
Consumo di risorsa naturale (sabbia e ghiaia)	kg	-917,6	-1006,7	-10%

- Tenendo conto della produzione di CB in RL (circa 4,6 Mt) e dei quantitativi di fresato prodotti/gestiti nel 2014 (0,92-1,02 Mt), riciclare totalmente fresato in CB a caldo è tecnicamente possibile a patto di garantire una percentuale di reinserimento di fresato nei nuovi asfalti almeno pari al **22%** (raggiungibile con le attuali tecnologie)

- Esiste un buon margine di miglioramento per il sistema regionale:

  - Significativo aumento dei benefici ambientali per le categorie di impatto: riscaldamento globale, tossicità per l'uomo (non canc.), eutrofizzazione in acqua dolce, ecotossicità (acqua dolce) e impoverimento risorse minerali e fossili

  - Passaggio da impatto a beneficio per la formazione fotochimica di ozono

- L'attuale sistema di recupero del fresato implementato in Lombardia risulta già caratterizzato da buone prestazioni ambientali ed energetiche, grazie al riciclo a caldo del fresato che risulta ad oggi la soluzione tecnologica più diffusa (75%) ed alla quale sono associati i maggiori vantaggi ambientali

- Le opzioni di riciclo a freddo, per la produzione di misti cementati ad alta duttilità (in fase sperimentale) e di eco-basi (più diffuso in regione), presentano al momento prestazioni ambientali ed energetiche inferiori a causa dell'impiego di leganti e additivi chimici (emulsioni bituminose) la cui produzione appare altamente impattante

Limiti dello studio

- Mancanza di dati primari su composizione e produzione delle emulsioni bituminose
- LCA non include i benefici/impatti connessi alla fase di stesa e posa in opera dei diversi materiali che invece potrebbe determinare vantaggi ambientali maggiori per i conglomerati a freddo (eco-basi e MCAD) caratterizzati da emissioni molto minori rispetto ai CB a caldo
- Produzione industriale in continua evoluzione per rendere disponibili sul mercato additivi «eco-friendly»

Azioni che possono essere intraprese per favorire il riciclo del fresato:

- aggiornamento dei Capitolati Speciali di Appalto che spesso non prevedono l'utilizzo del fresato o introducono limiti di impiego molto prudenziali (alcune stazioni appaltanti escludono l'utilizzo del fresato negli strati di usura)
- promozione del riciclo a caldo del fresato
- incentivazione di interventi di *revamping* degli impianti di CB a caldo per promuovere l'adozione di tecnologie a minor impatto ambientale e in grado di raggiungere elevate percentuali di impiego di fresato nelle miscele
- ottimizzazione dei trasporti dei rifiuti che tenga conto della disponibilità degli impianti di riciclo in regione

LCA 3

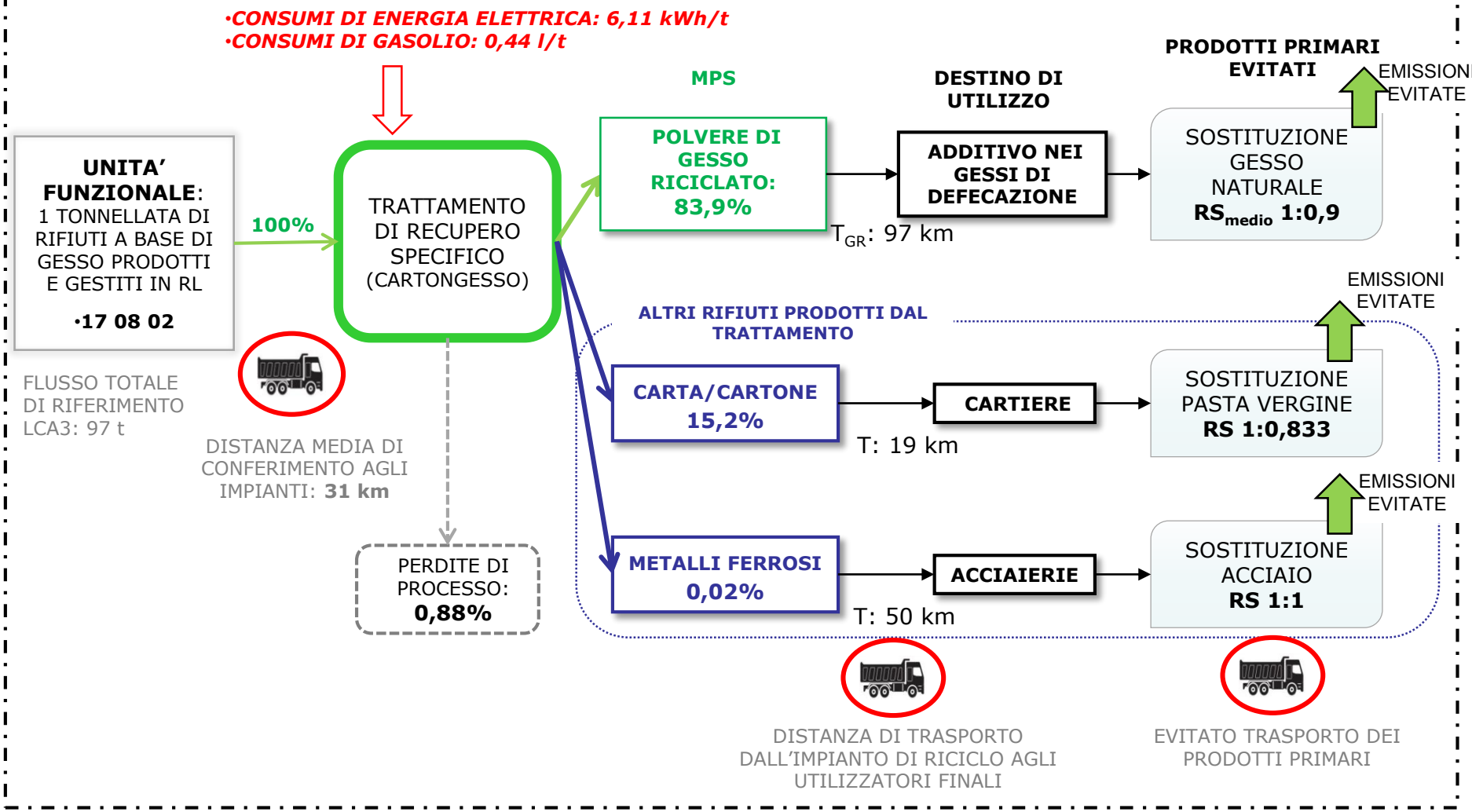
RECUPERO DEDICATO DI:

- RIFIUTI DA COSTRUZIONE A BASE DI GESSO (CER 17 08 02)

MODELLIZZAZIONE LCA3: RECUPERO DEDICATO DEI RIFIUTI IN GESSO

Anno di riferimento: 2014

IMPOSTAZIONE DELL'LCA3 DEL SISTEMA ATTUALE IN REGIONE LOMBARDIA



Impianto di recupero:

- alimentazione dei rifiuti alla tramoggia di carico
- prima frantumazione con mulino a coltelli a bassa velocità che separa, per implosione, la polvere di gesso dal rivestimento in carta
- seconda frantumazione con mulino a rulli
- primo vaglio vibrante, con scarico della frazione fine di gesso
- deferrizzatore
- terza frantumazione con mulino a rulli
- secondo vaglio rotante che separa la polvere di gesso dai residui di cartone

MPS PRODOTTA A VALLE DEL TRATTAMENTO: POLVERE DI GESSO RICICLATO

Cava di gesso e successiva lavorazione:

Consumi specifici estrazione*	MJ/t
Escavatori a martello	5,12
Pale meccaniche	6,49

* espressi per tonnellata di materiale estratto

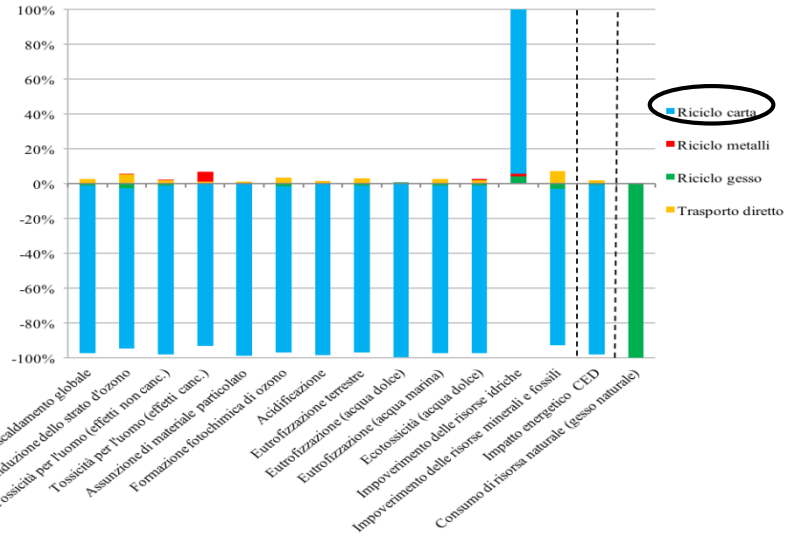
Consumi specifici lavorazione	Potenza (kW)	Produzione (t/h)	Consumo specifico* (kWh/t)
Frantoio a ginocchiera primario	65	130	0,5
Mulino a martelli secondario	135	70	1,9
Mulino terziario	135	45	3,0

* espresso per tonnellata di materiale lavorato

LCA DELLO SCENARIO BASE E CONFRONTO CON SCENARIO DI RECUPERO IN MISCELAZIONE CON I C&D MISTI (LCA1): IMPATTI PER 1 TONNELLATA DI RIFIUTO

Categorie di impatto	Unità di misura	LCA 1 (recupero in miscelazione)	LCA 3 (recupero dedicato gesso)	LCA 3 - no Carta
Riscaldamento globale	kgCO_2 eq	3,4	-158	2,75
Riduzione strato di ozono	kgCFC-11eq	9,27E-07	-1,40E-05	4,50E-07
Tossicità per l'uomo (non cancerogeni)	CTUh	7,32E-06	-5,00E-05	4,50E-07
Tossicità per l'uomo (cancer)	CTUh	5,00E-06	-1,00E-05	7,90E-07
Assunzione di materiale particolato	kg PM2.5eq	2,9E-03	-0,21	0,0016
Formazione fotochimica di ozono	kg eq	0,03	-0,73	0,02
Acidificazione	moli H+eq	0,02	-1,42	0,02
Eutrofizzazione terrestre	moli Neq	0,1	-2,73	0,06
Eutrofizzazione (acqua dolce)	kg Peq	-1,38E-03	-0,12	0,00012
Eutrofizzazione (acqua marina)	kg Neq	0,01	-0,28	0,0052
Ecotossicità (acqua dolce)	CTUe	226,1	-1.330	23
Impoverimento risorse idriche	M^3acqua eq	0,02	0,22	0,01
Impoverimento delle risorse minerali e fossili	kg Sbeq	2,81E-04	-4,30E-03	2,20E-04
Impatto energetico CED	MJ	65	-3.859	44
Consumo risorsa naturale (sabbia/ghiaia e gesso)	kg	-611	-755	-755

CONTRIBUTI PERCENTUALI AGLI IMPATTI NELLO SCENARIO BASE



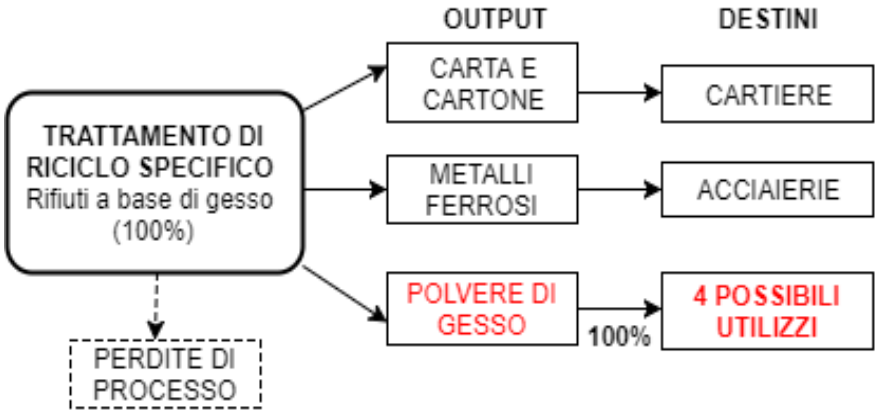
- MAGGIORI BENEFICI AMBIENTALI ED ENERGETICI OTTENIBILI CON IL RECUPERO DEDICATO DEI RIFIUTI A BASE DI GESSO (LCA3 vs LCA1)
- EVITARE LA MISCELAZIONE DEL CARTONGESSO CON I RIFIUTI C&D MISTI CONSENTE ANCHE DI MIGLIORARE LE CARATTERISTICHE DEGLI AGGREGATI RICICLATI
- CONTRIBUTO PRINCIPALE DERIVANTE DAL RICICLO DELLA CARTA SEPARATA DURANTE IL TRATTAMENTO

PRODUZIONE RIFIUTI CARTONGESSO IN RL (2014): **31.405 t**

IMPIANTO 1: ESISTENTE (CR)
IMPIANTO 2: DA REALIZZARE (MI)
IMPIANTO 3: DA REALIZZARE (BG)

- *Localizzazione dei nuovi impianti di riciclo basata sul pattern di produzione rifiuti*
- *Potenzialità impianti ≈14.000 t/a*

RS: rapporto di sostituzione
GR: gesso riciclato
GN: gesso naturale



Scenari alternativi	Destino gesso	Prodotto evitato	Trasporti	Richiesta di mercato	Potenziale richiesta gesso riciclato	
SA1	Pannelli in cartongesso	Gesso naturale	GR: 253 km GN: 283 km	117.974 t polvere di gesso	35.000 t	→ Limite GR: 30%
SA2	Additivo nei cementifici	Gesso naturale	GR: 82 km GN: 152 km	133.590 t polvere di gesso	6.700 t	→ Attuale tasso GR: 5%
SA3	Additivo nei gessi di defecazione	Gesso naturale	GR: 87 km GN: 142 km	52.715 t polvere di gesso	58.573 t	Nessun limite di impiego per GR
SA4a	Correttivo terreni a pH acidi	Calce	GR: 48 km Calce: 63 km	12.040 t calce	30.270 t	
SA4b	Correttivo terreni a pH acidi	Correttivi a base di CaCO3	GR: / Correttivi /	/		

PRODUZIONE RIFIUTI CARTONGESSO IN RL (2014): **31.405 t**

IMPIANTO 1: ESISTENTE (CR)
IMPIANTO 2: DA REALIZZARE (MI)
IMPIANTO 3: DA REALIZZARE (BG)

- *Localizzazione dei nuovi impianti di ricico basata sul pattern di produzione rifiuti*
- *Potenzialità impianti ≈14.000 t/a*

Scenari alternativi	Destino gesso	Prodotto evitato	Valore RS	Calcolo RS	Nota
SA1	Pannelli in cartongesso	Gesso naturale	0,882	$\frac{Purezza\ GR}{Purezza\ GN}$	Purezza in termini di tenore di solfato di calcio (CaSO4 *2H2O)
SA2	Additivo nei cementifici	Gesso naturale	0,991	$\frac{Purezza\ GR}{Purezza\ GN}$	Purezza in termini di composizione cioè assenza di impurità quali carta (pari a 1 per il GN)
SA3	Additivo nei gessi di defecazione	Gesso naturale	0,9	$\frac{Dosaggio\ GN}{Dosaggio\ GR}$	-
SA4a	Correttivo terreni a pH acidi	Calce	0,4	$\frac{Potere\ basico\ GR}{Potere\ basico\ calce}$	-
SA4b	Correttivo terreni a pH acidi	Correttivi a base di CaCO3	0,66	$\frac{Potere\ basico\ GR}{Potere\ basico\ correttivi}$	-

RS: rapporto di sostituzione; GR: gesso riciclato; GN: gesso naturale

LCA 3: RISULTATI SPECIFICI DEGLI SCENARI ALTERNATIVI

			Scenario peggiore			**Scenario migliore**	
	Unità di misura	Scenario base (No Carta)	SA1 (PANNELLI)	SA2 (CEMENTIFICI)	SA3 (GESSI DEFEC.)	SA4a (AGRICOL.)	SA4b (AGRICOL.)
Riscaldamento globale	kg CO_2 eq	2,75	**7,04**	**2,83**	3,05	**-6,38**	**-12,56**
Riduzione dello strato d'ozono	kg CFC-11 eq	4,5E-07	**1,2E-06**	**3,0E-07**	5,2E-07	**6,7E-07**	**9,6E-08**
Tossicità per l'uomo (effetti non canc.)	CTUh	4,5E-07	**1,3E-06**	**2,5E-07**	5,5E-07	**-2,7E-06**	**-1,6E-06**
Tossicità per l'uomo (effetti canc.)	CTUh	7,9E-07	**9,0E-07**	**8,0E-07**	8,0E-07	**2,2E-07**	**2,8E-08**
Assunzione di materiale particolato	kg PM2.5 eq	1,6E-03	**3,9E-03**	**1,2E-03**	1,8E-03	**-1,3E-02**	**-1,8E-02**
Formazione fotochimica di ozono	kg NMVOC eq	0,02	**0,04**	**0,01**	0,02	**-0,01**	**-0,03**
Acidificazione	moli H+ eq	0,02	**0,04**	0,02	0,02	**-0,06**	**-0,11**
Eutrofizzazione terrestre	moli N eq	0,06	**0,13**	**0,03**	0,06	**-0,03**	**-0,14**
Eutrofizzazione (acqua dolce)	kg P eq	1,2E-04	**6,1E-04**	**4,6E-04**	1,3E-04	**-4,2E-03**	**-5,3E-03**
Eutrofizzazione (acqua marina)	kg N eq	5,2E-03	**1,2E-02**	**2,7E-03**	5,8E-03	**-6,2E-03**	**-1,1E-02**
Ecotossicità (acqua dolce)	CTUe	22,60	**48,29**	**20,88**	25,39	**-29,76**	**-29,12**
Impoverimento delle risorse idriche	m^3 water eq	1,3E-02	**2,5E-02**	**2,9E-02**	1,3E-02	**-1,1E-02**	**-2,6E-02**
Impoverimento delle risorse minerali e fossili	kg Sb eq	2,2E-04	**3,5E-04**	**1,2E-04**	2,1E-04	**-9,2E-05**	**1,6E-04**
Impatto energetico CED	MJ	44	**120**	**46**	51	**-149**	**-171**
Consumo di risorsa naturale (gesso naturale)	kg	-755	**-740**	**-831**	-755	0	0

I RISULTATI DI TUTTI GLI SCENARI SONO ESPRESSI PER TONNELLATA DI RIFIUTO IN GESSO E NON CONSIDERANO I BENEFICI DERIVANTI DAL RICICLO DELLA CARTA

Stesso destino GR ma aumentano i trasporti in SA3 rispetto allo scenario base

Non c'è risparmio di risorsa naturale perché si sostituiscono altri prodotti (calce, $CaCO_3$)

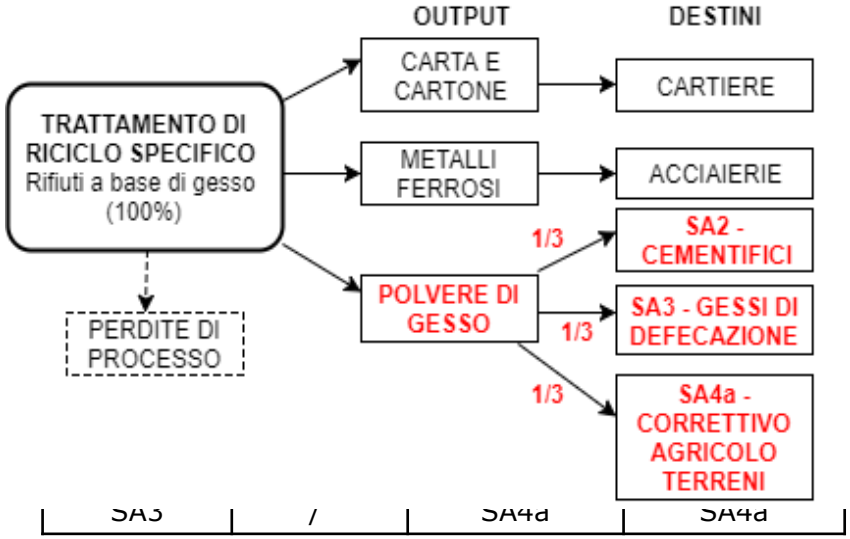
LCA 3: RISULTATI SPECIFICI DELLO SCENARIO MIGLIORATIVO

VALUTAZIONE CONGIUNTA DI 4 ASPETTI

- prestazioni ambientali da analisi LCA associate ai singoli destini di impiego del gesso riciclato
- qualità e tipo di dati usati per lo studio di LCA
- limitazioni tecniche del gesso riciclato associate a ciascun destino di utilizzo
- effettiva richiesta/domanda di mercato stimata di gesso riciclato in Lombardia per ogni settore di applicazione analizzato

ESCLUSIONE SCENARI

- **SA1 (pannelli cartongesso)**



IMPATTI SPECIFICI (1 t)
SCENARIO MIGLIORATIVO *vs* SCENARIO BASE

	Unità di misura	Scenario base (No carta)	Scenario migliorativo (No carta)
Riscaldamento globale	kg CO_2 eq	2,75	**-0,16**
Riduzione dello strato d'ozono	kg CFC-11 eq	4,45E-07	**4,99E-07**
Tossicità per l'uomo (effetti non canc.)	CTUh	4,51E-07	**-6,21E-07**
Tossicità per l'uomo (effetti canc.)	CTUh	7,94E-07	**6,05E-07**
Assunzione di materiale particolato	kg PM2.5 eq	1,56E-03	**-3,18E-03**
Formazione fotochimica ozono	kg COVNM eq	1.52E-02	**6,67E-03**
Acidificazione	moli H+ eq	0,02	**-6,93E-03**
Eutrofizzazione terrestre	moli N eq	0,06	**1,98E-02**
Eutrofizzazione (acqua dolce)	kg P eq	1,2E-04	**-1,21E-03**
Eutrofizzazione (acqua marina)	kg N eq	0,01	**7,42E-04**
Ecotossicità (acqua dolce)	CTUe	22,60	**5,50**
Impoverimento risorse idriche	m^3 acqua eq	1,27E-02	**1,05E-02**
Impoverimento risorse minerali e fossili	kg Sb eq	2,2E-04	**7,93E-05**
Impatto energetico CED	MJ	44	**-18**
Consumo di risorsa naturale (gesso naturale)	kg	-755	**-529**

Sintesi delle analisi di sensitività condotte per gli scenari alternativi, al variare del rapporto di sostituzione (RS) e delle distanze di trasporto del gesso riciclato (GR) e dei prodotti evitati (gesso naturale (GN) e calce)

	RAPPORTO DI SOSTITUZIONE*			DISTANZA TRASPORTO GESSO RICICLATO **			DISTANZA TRASPORTO PRODOTTO EVITATO**		
Scenario alternativo	**Valore base**	**Analisi sensitività**	**Δ%**	**Valore base**	**Analisi sensitività**	**Δ%**	**Valore base**	**Analisi sensitività**	**Δ%**
SA1	0,882	RS_{max} =0,948 RS_{min} =0,784	8% -11%	T (GR): 253 km	T min (GR)= 158 km	-38%	T (GN): 283 km	T min (GN)= 250 km	-12%
SA2	0,991	RS_{max} =0,998 RS_{min} =0,969	0,7% -2,2%	T (GR): 82 km	T max (GR)= 106 km T min (GR)= 49 km	29% -40%	T (GN): 152 km	T max (GN)= 152 km T min (GN)= 140 km	0% -8%
SA3	0,9	RS_{max} = 0,93 RS_{min} = 0,87	3,7% -3,7%	T (GR): 87 km	T max (GR)= 96 km T min (GR)= 54 km	10% -38%	T (GN): 142 km	T max (GN)= 76 km T min (GN)= 130 km	-46% 8%
SA4a	0,4	RS_{min} = 0,367	-8,3%	T (GR): 48 km	T max (GR)= 90 km	87%	T (calce): 63 km	T max (GN)= 110 km	87%

Per ciascun parametro analizzato nell'analisi di sensitività è riportata la differenza percentuale (Δ %) al valore base assunto nello scenario alternativo di riferimento

ANALISI DEL SISTEMA DI GESTIONE ATTUALE DEI RIFIUTI IN GESSO

1. Evitare miscelazione dei rifiuti in gesso agli altri rifiuti C&D → favorire trattamento specifico di riciclo
2. Garantire adeguata efficienza di separazione della componente cellulosica di modo che i rifiuti in carta possano essere inviati a riciclo nelle cartiere
3. Ridurre i trasporti di conferimento dei rifiuti e di vendita delle risorse secondarie

ANALISI DEI SISTEMI DI GESTIONE ALTERNATIVI

1. Potenziare trattamento specifico di riciclo che dia **produzione di gesso riciclato di qualità** da usare in tutti i settori in esame
2. Potenziare il mercato del gesso riciclato già esistente nel territorio e **promuovere lo sviluppo di nuovi mercati** per quegli utilizzi tecnicamente fattibili
3. Tra i vari destini di utilizzo analizzati per il gesso riciclato, **favorire il settore agricolo**, perché, in questo caso, il riciclo dà più margine per compensare gli impatti, anche maggiorati in caso di aumento dei trasporti e diminuzione del rapporto di sostituzione
4. Pianificare in modo strategico i nuovi impianti di recupero **ottimizzando le distanze** di trasporto dei rifiuti e di commercializzazione delle risorse secondarie

LCA 1 + LCA 2 + LCA 3

SCENARI REGIONALI ATTUALE E MIGLIORATIVO

RIFIUTO PRODOTTO E TRATTATO IN REGIONE

CER 17 01: 763.950 t
CER 17 03 02: 971.656 t
CER 17 08 02: 20.988 t
CER 17 09 04: 5.625.978 t

RIPARTIZIONE DEI FLUSSI NELLO SCENARIO ATTUALE E IN QUELLO MIGLIORATIVO

Flussi di rifiuti	Scenario attuale (t)	Scenario migliorativo (t)
170904 + 1701 + 170302 + 170802 (LCA1)	6.999.986	6.389.927
170302 (LCA2)	382.488	971.656
170802 (LCA3)	97	20.988
Totale	**7.382.571**	**7.382.571**

- OTTIMIZZAZIONE DEI FLUSSI A RICICLO:

  tutti i rifiuti C&D bituminosi (CER 170302) e i rifiuti a base di gesso (CER 170802) gestiti in regione sono inviati a impianti di trattamento dedicati

- OTTIMIZZAZIONE DEI PROCESSI DI RICICLO PER CIASCUNA LCA:

  LCA1→ 50% di impianti alimentati ad energia elettrica e il 50% di impianti a gasolio; aggregati riciclati di elevata qualità 90% e solo MPS fine utilizzata in ripristini ambientali (10%); mercato solido degli aggregati in regione (M=1)

  LCA2 → 100% di impianti per la produzione di CB a caldo

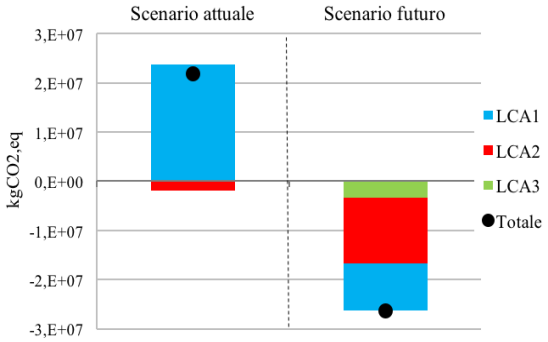
  LCA3 → realizzazione di 2 nuovi impianti dedicati; rifiuti in carta inviati alle cartiere; polvere di gesso riciclato impiegata per 1/3 nei cementifici, per 1/3 nella produzione dei gessi di defecazione e per 1/3 in agricoltura

- OTTIMIZZAZIONE DEI TRASPORTI E MINIMIZZAZIONE DELLE OPERAZIONI INTERMEDIE DI GESTIONE

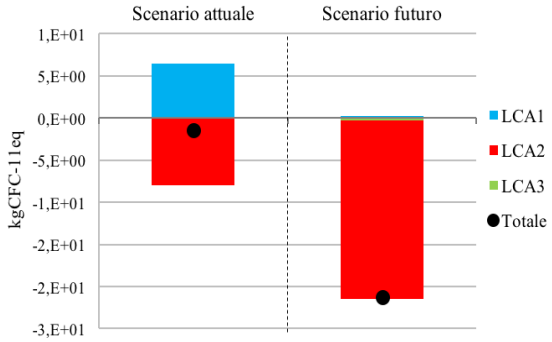
- ELIMINAZIONE DELLO SMALTIMENTO IN DISCARICA

PRESTAZIONI COMPLESSIVE DEL SISTEMA REGIONALE NELLO SCENARIO ATTUALE A CONFRONTO CON QUELLO MIGLIORATIVO

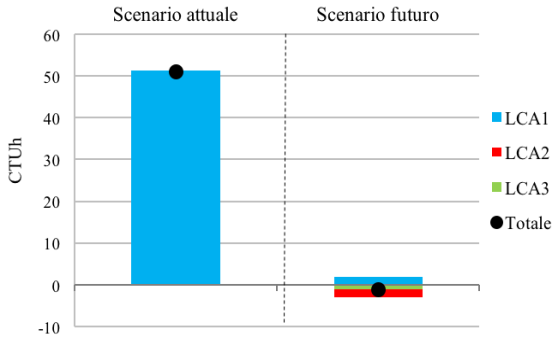
Riscaldamento globale



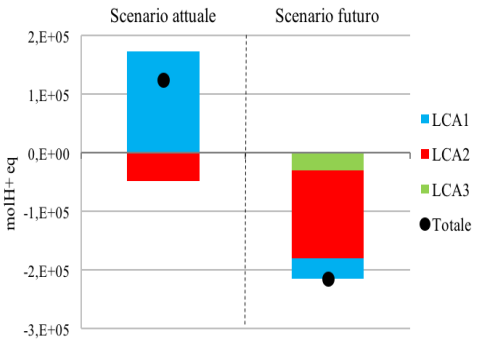
Riduzione strato di ozono



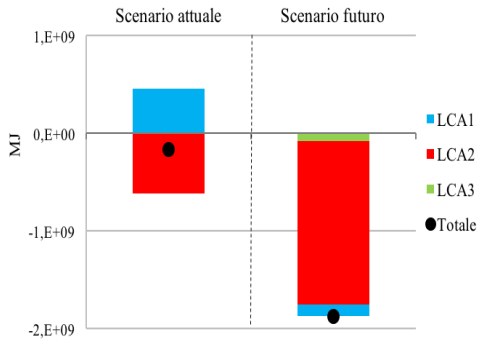
Tossicità umana (non canc.)



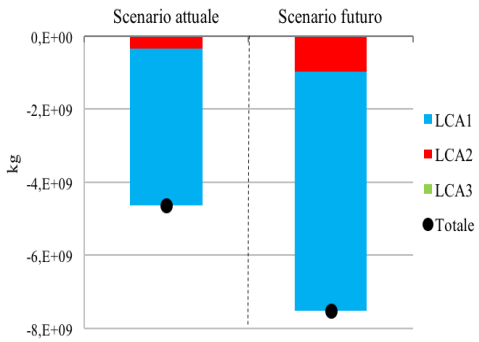
Acidificazione



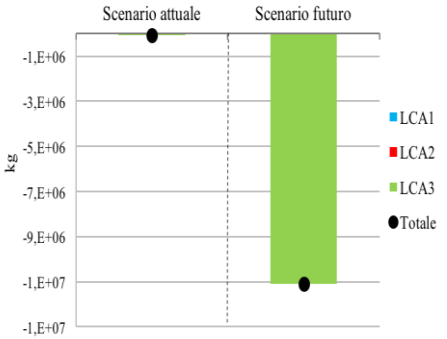
CED



Consumo sabbia &ghiaia



Consumo gesso naturale



PRINCIPALI ASPETTI EMERSI DALLA FASE DI QUANTIFICAZIONE DEI FLUSSI

- Modalità di gestione dei rifiuti in esame: questi rifiuti vengono indirizzati principalmente verso gli impianti di recupero, con percentuali che si attestano sopra al 90% (fanno eccezione i rifiuti a base di gesso: 85% a recupero e 14% stoccaggio). Ricorso alla discarica: percentuali molto basse (3,5 % per i rifiuti misti 17 09 04, 1,8 % per i rifiuti della categoria 17 01, 0,95% per le miscele bituminose e inferiore allo 0,5% per i rifiuti a base di gesso)
- Rifiuti importati negli impianti della Lombardia: provengono principalmente dalle regioni confinanti, ovvero Emilia Romagna, Piemonte e Veneto. Flusso di rifiuti in uscita dal territorio regionale: le regioni destinatarie sono prevalentemente il Piemonte, l'Emilia Romagna e il Veneto
- Nella maggior parte dei casi, i rifiuti prodotti in una certa provincia vengono gestiti prevalentemente all'interno della medesima provincia

PRINCIPALI ASPETTI EMERSI DALLA VALUTAZIONE LCA

- **il sistema attuale di gestione, includendo il beneficio associato al mancato smaltimento in discarica, presenta già buone prestazioni ambientali**. Inoltre, anche senza includere tale beneficio, alcune categorie di impatto mostrano già impatti in segno negativo, indicando che i benefici associati al recupero di risorse compensano gli impatti associati al trattamento

  ⇨ questo è da attribuire al recupero dedicato del fresato e del cartongesso, i cui benefici riescono a compensare gli impatti in segno positivo associati all'LCA1 (recupero in miscelazione)

- **nello scenario migliorativo si ottiene un sostanziale miglioramento del sistema rispetto alla situazione attuale**

  ⇨ i benefici aumentano fino a un ordine di grandezza per alcuni indicatori (es. CED, riduzione strato di ozono) mentre altri indicatori passano da segno positivo a negativo (es. riscaldamento globale, tossicità umana non cancerogena, assunzione di materiale particolato, formazione fotochimica di ozono, acidificazione e eutrofizzazione terrestre)

PRINCIPALI OBIETTIVI DI AZIONE:

- **Riduzione delle pratiche di miscelazione dei rifiuti bituminosi e dei rifiuti a base di gesso con rifiuti misti, per massimizzare i benefici ambientali associati al recupero dedicato del fresato e del cartongesso**

  sia perché dalle filiere di trattamento specifiche di fresato e cartongesso si ottengono MPS di qualità più elevata rispetto agli aggregati riciclati misti sia perché la pratica di miscelazione limita la qualità e le possibilità di impiego degli aggregati misti

- **Potenziamento del mercato dei prodotti secondari ottenuti dal riciclo**

  diffondere la conoscenza tra le imprese stradali, i progettisti e le Direzioni Lavori, circa le reali caratteristiche prestazionali di questi materiali e, in parallelo, cercare di limitare l'utilizzo delle risorse minerali naturali

- **Miglioramento delle prestazioni di ogni singola filiera di trattamento (recupero C&D misti, recupero fresato, recupero cartongesso)**
  - effettuare demolizione selettiva in cantiere, avviando a riciclo rifiuti già ben selezionati e privi di materiali indesiderati come terre, mattoni, mattonelle e ceramiche (ciò consentirebbe di ottenere aggregati riciclati misti di maggiore qualità, da poter impiegare in applicazioni più nobili rispetto a quelle diffuse attualmente (es. nella produzione di calcestruzzi a bassa resistenza))
  - aumentare la percentuale di impiego di fresato nella produzione a caldo di conglomerato bituminoso
  - incentivare l'uso del gesso riciclato in applicazioni alternative rispetto al solo impiego nei gessi di defecazione, ad oggi unico uso in RL

LO STUDIO è DISPONIBILE SUL SITO DI REGIONE LOMBARDIA:

http://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/ambiente-ed-energia/Rifiuti/valutazione-con-metoldologia-lca-flussi-rifiuti-da-costruzione-demolizione

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Regione Lombardia, ARPA Lombardia, ANPAR e ANCE Lombardia per il supporto tecnico; i responsabili dell'ufficio cave di tutte le province per averci trasmesso i dati statistici dei siti estrattivi; i gestori degli impianti di recupero dei rifiuti e dei siti cave per la disponibilità e la collaborazione nel fornire informazioni e dati utili allo studio; le imprese stradali (Vezzola SPA e Autostrade Centro Padane SPA) contattate ai fini della valutazione degli utilizzi degli aggregati riciclati.

Rigamonti L., Giurato M., Pantini S. *"Rifiuti a base di gesso: valutazione LCA del sistema di gestione della regione Lombardia"*. Atti di SUM2018 (21-23 maggio 2018, Bergamo)

Pantini S., Rigamonti L. *"LCA of alternative strategies for recycling old asphalt pavements in Lombardy Region (Italy)"*. Atti di CRETE2018 (4-7 settembre 2018, Creta)

Borghi G., Pantini S., Rigamonti L. (2017). *"Analisi LCA a supporto della pianificazione della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione non pericolosi in Lombardia"*. Ingegneria dell'Ambiente, Vol. 4 n. 4/2017, 313-328.

CIR-CO project

Ing. Lucia Rigamonti

lucia.rigamonti@polimi.it

Ing. Sara Pantini

sara.pantini@polimi.it

www.mater.polimi.it

Assessment on WAste and REsources

www.aware.polimi.it