



**Valutazione LCA delle strategie di riciclo dei rifiuti da costruzione e demolizione:  
Il caso del cartongesso e del fresato**

***Sara Pantini, Lucia Rigamonti***

***Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria  
Civile e Ambientale  
Centro Studi MatER***

1



**IL PROGETTO DI RICERCA**

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

**Oggetto dell'analisi:** Frazioni minerali non pericolose dei rifiuti C&D (cemento, mattoni, mattonelle, rifiuti misti, fresato e rifiuti a base gesso)



**STEP 1**

- Quantificazione dei flussi di rifiuti C&D
- Valutazione delle caratteristiche quantitative e qualitative delle materie seconde
- Effettivi utilizzi e condizioni di mercato su scala locale e regionale

**STEP 2**

- Costruzione di un set di dati di inventario sito-specifici
- Valutazione del sistema di gestione e recupero dei rifiuti C&D in Regione Lombardia mediante metodologia Life Cycle Assessment (LCA) per individuare benefici e criticità

**STEP 3**

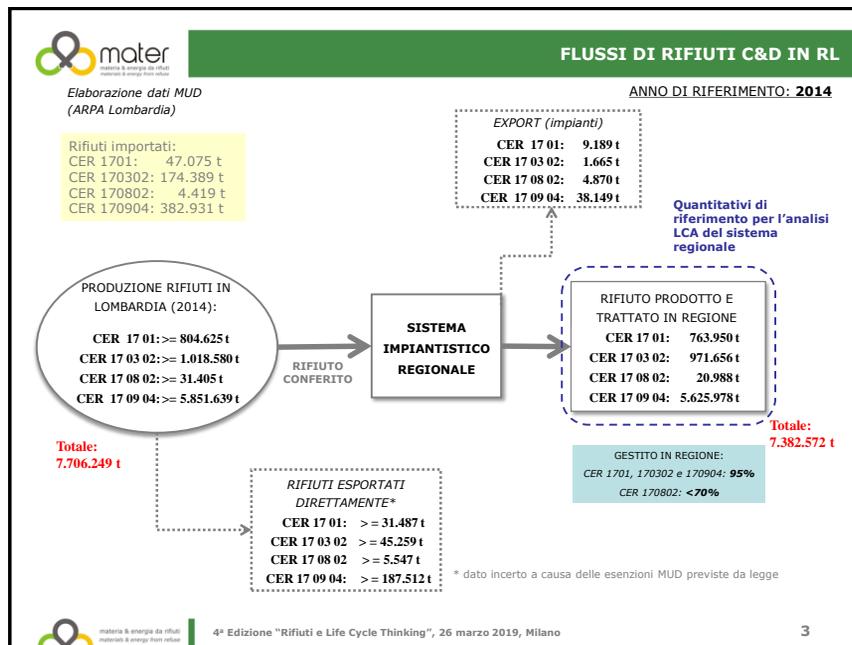
- Individuazione di possibili interventi migliorativi
- Analisi di scenari alternativi di recupero mediante LCA, per comprendere i benefici delle azioni correttive proposte e fornire raccomandazioni a Regione Lombardia



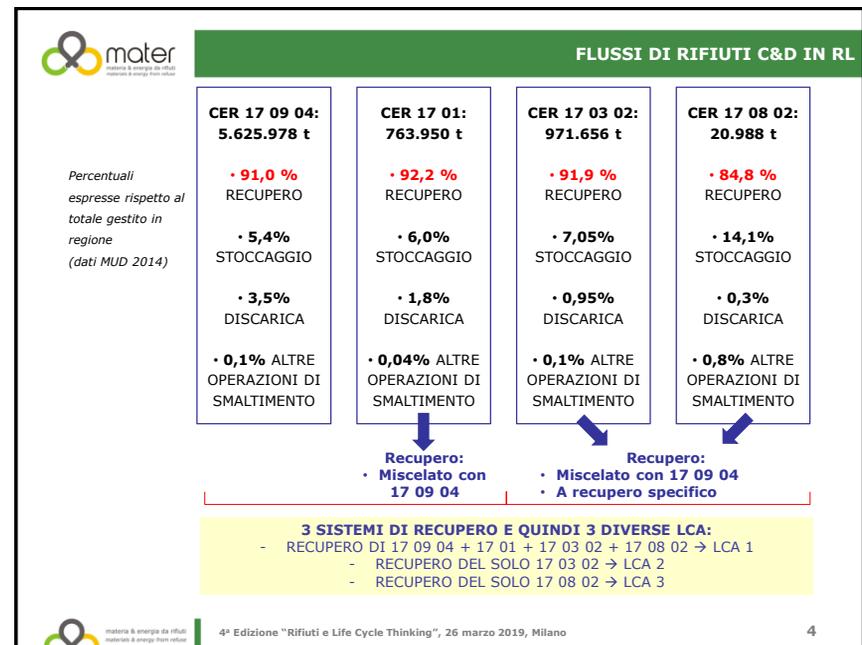
4ª Edizione "Rifiuti e Life Cycle Thinking", 26 marzo 2019, Milano

2

2

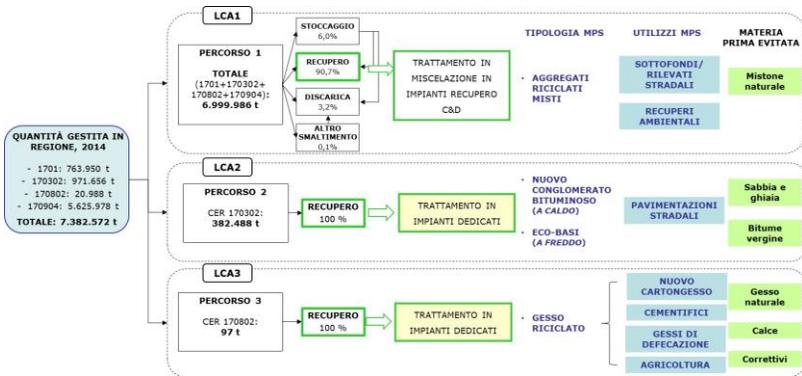


3



4

Fotografia del sistema di gestione regionale al 2014



**FOCUS :**  
FRESATO DI ASFALTO - LCA2  
CARTONGESSO - LCA3

## LCA 2

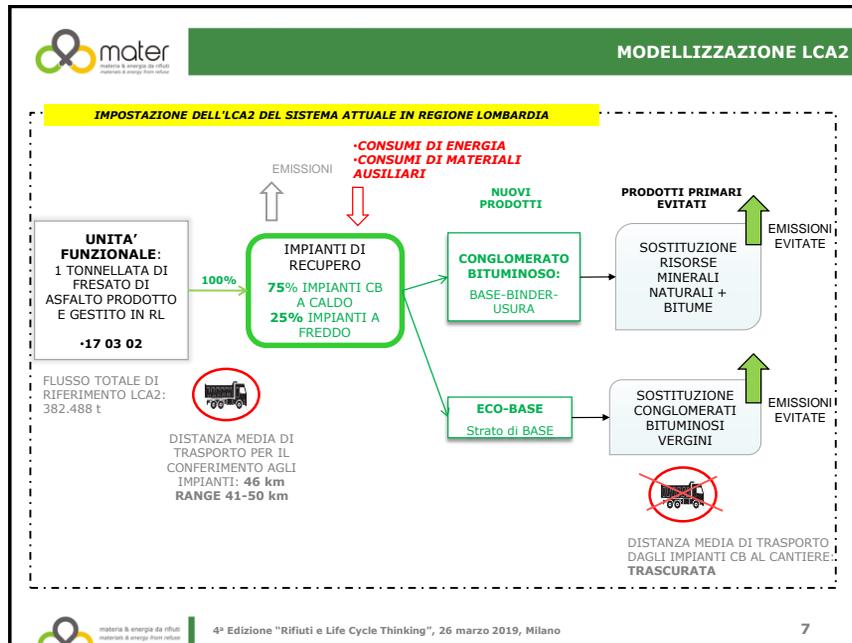
RECUPERO DEDICATO DI:

- 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





7

**mater** MATERIALE & ENERGIA DA RIFIUTI MATERIALS & ENERGY FROM WASTE

**MODELLIZZAZIONE LCA2: RICICLO A CALDO (HMA)**

**Tecnologie a caldo (HMA)**

**IMPIANTI VISITATI**

**Tecnologie di inserimento del fresato nelle miscele CB prodotte negli impianti a caldo HMA (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

**Impianti innovativi possono raggiungere fino al 50% di fresato MA I LIMITI DEI CAPITOLATI SONO PIÙ RESTRITTIVI**

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%

**MATERIALI IN INGRESSO ALL'IMPIANTO CB:**

- AGGREGATI NATURALI DA CAVA
- FRESATO
- FILLER (d<0,075 mm)
- BITUME VERGINE
- ATTIVANTI CHIMICI FUNZIONALI (ACF)

**mater** MATERIALE & ENERGIA DA RIFIUTI MATERIALS & ENERGY FROM WASTE

4° Edizione "Rifiuti e Life Cycle Thinking", 26 marzo 2019, Milano

8

8

**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%
<b>Valore medio</b>		<b>20%</b>	<b>0,35%</b>

**AGGREGATI NATURALI RISPARMIATI  
(DATI DI LETTERATURA)**

Tipologia	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	<b>1:0,965</b>
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)

**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


**Materiali impiegati per la produzione  
di eco-basi**

Inerti totali	88,5% - 91%
di cui:	
fresato	80% - 90%
inerti vergini	10% - 20%
Emulsione Bituminosa	2,5% - 4,5%
Cemento	1,5% - 2,5%
Acqua	4,5%

**modellizzazione LCA2: PRODOTTI EVITATI NEL RICICLO A FREDDO**

**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**

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

**1 TONNELLATA DI FRESATO PERMETTE DI RISPARMIARE:**

- 630 kg di inerti naturali
- 46 kg di bitume vergine
- (-) 4,38 kWh di energia elettrica
- 7,42 Nm<sup>3</sup> di gas naturale
- + EMISSIONI PROCESSO A CALDO (es. 8,9 kgCO<sub>2</sub>)

**MA RICHIEDE L'AGGIUNTA DI:**

- (+) 27,8 kg di cemento
- 62,5 kg di acqua
- 48,6 kg di emulsione bituminosa

4<sup>a</sup> Edizione "Rifiuti e Life Cycle Thinking", 26 marzo 2019, Milano

**modellizzazione LCA2: RISULTATI SCENARIO BASE**

**SCHEMA DI FLUSSO SCENARIO BASE**

**VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI (per tonnellata di fessato)**

	Unità di misura	Riciclo a caldo	Riciclo a freddo	include conferimento fessato Scenario base - RL
Riscaldamento globale	kg CO <sub>2</sub> eq	-17,5	<b>10,7</b>	-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	<b>7,4E-07</b>	-7,0E-07
Tossicità per l'uomo (effetti cancerogeni)	CTUh	-5,2E-07	<b>1,8E-07</b>	-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	<b>1,8E+00</b>	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	<b>2,4E-03</b>	-1,6E-04
Eutrofizzazione (acqua marina)	kg N eq	-2,9E-02	-6,7E-03	-1,7E-02
Ecotossicità (acqua dolce)	CTUe	-67,5	<b>2,3</b>	-17,3
Impoverimento risorse idriche	m <sup>3</sup> water eq	-1,9E-03	<b>2,9E-02</b>	1,0E-02
Impoverimento risorse minerali e fossili	kg Sbeq	-4,4E-04	<b>1,0E-05</b>	-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

ACF: attivanti chimici funzionali

- ❖ 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

4<sup>a</sup> Edizione "Rifiuti e Life Cycle Thinking", 26 marzo 2019, Milano

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

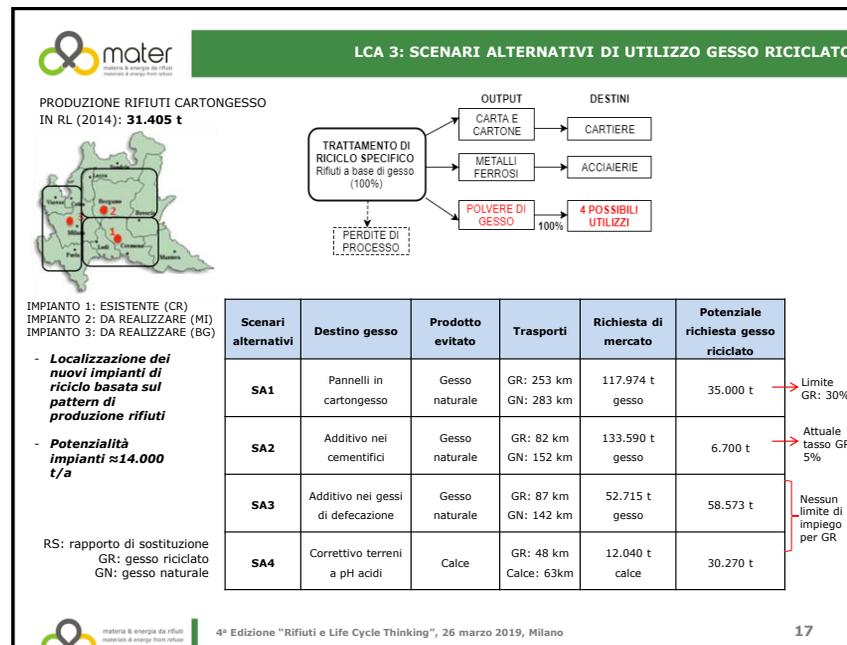
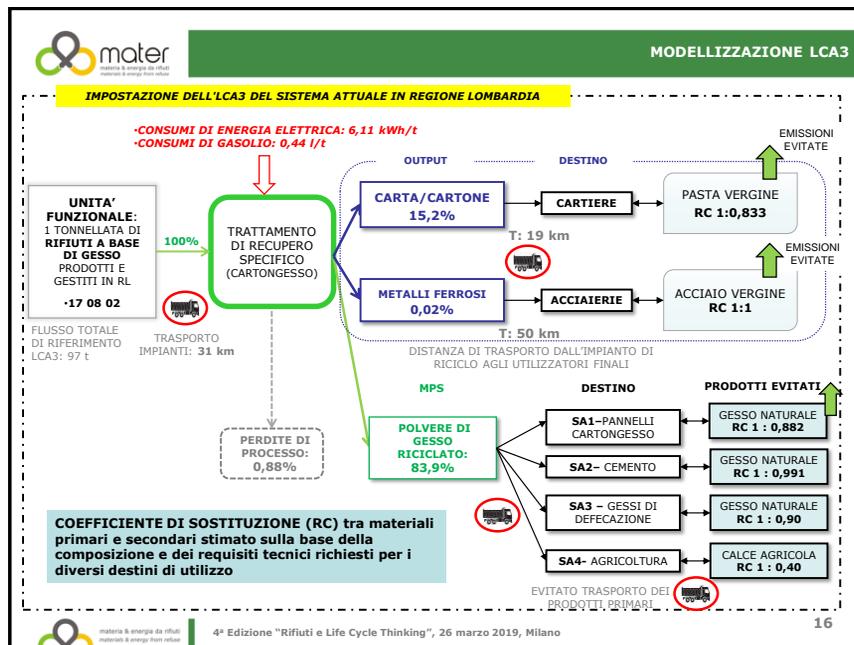
- aggiornamento dei Capitolati Speciali di Appalto che spesso non prevedono l'utilizzo del fresato o introducono limiti di impiego molto prudenziali (alcune stazioni appaltanti escludono l'utilizzo del fresato negli strati di usura)
- promozione del riciclo a caldo del fresato
- incentivazione di interventi 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

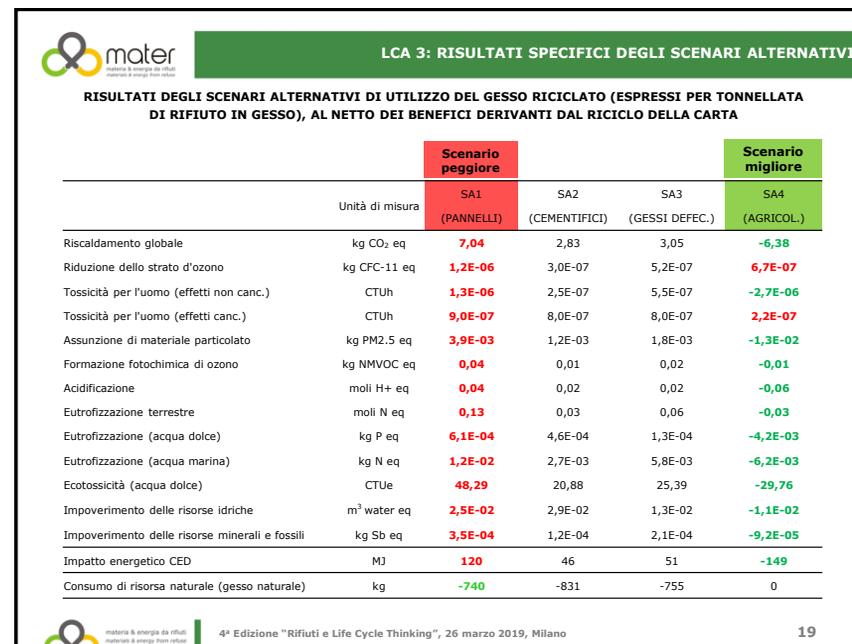
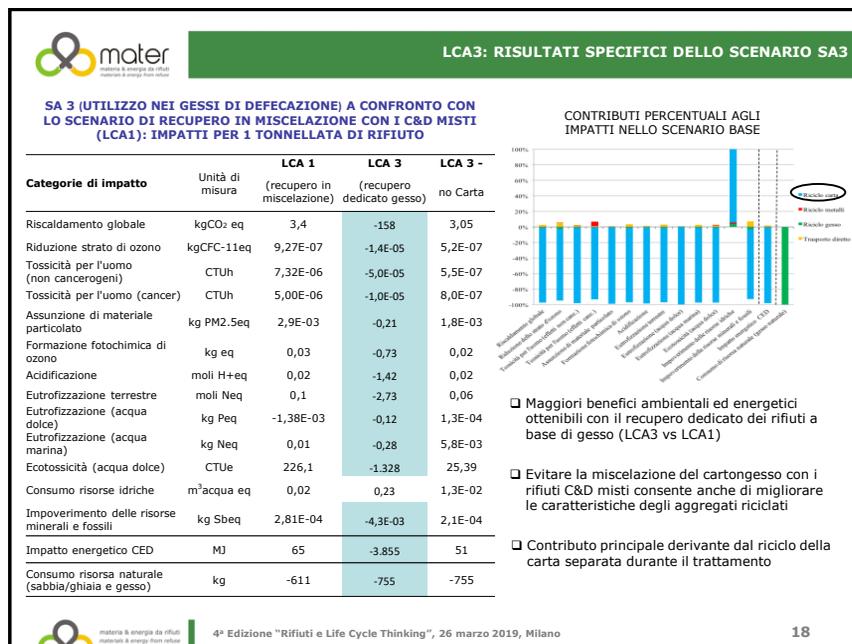
## LCA 3

RECUPERO DEDICATO DI:

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







 **CONCLUSIONI LCA3 E RACCOMANDAZIONI**

<b>SISTEMA DI GESTIONE IN RL</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Risolvere la sotto-capacità del sistema attuale di gestione dei rifiuti a base gesso → <b>necessari almeno due impianti</b></li> <li>2. Ridurre i trasporti di rifiuti e risorse secondarie → <b>pianificazione strategica dei nuovi impianti</b></li> </ol>
<b>TECNOLOGIE DI RICICLO</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Evitare la miscelazione</b> dei rifiuti in gesso con gli altri rifiuti C&amp;D → <b>promozione del recupero dei rifiuti in gesso in impianti dedicati</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ <i>Miglioramento delle caratteristiche tecniche degli aggregati riciclati C&amp;D e mercato</i></li> <li>→ <i>Riduzione dei rischi per l'uomo e l'ambiente associati allo smaltimento in discarica dei C&amp;D (possibile produzione CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S)</i></li> </ul> </li> <li>2. Promuovere l'adozione di <b>tecnologie di riciclo avanzate</b> in grado di produrre gesso riciclato di alta qualità e, allo stesso tempo, ottenere rifiuti in carta di purezza adeguata per il successivo riciclo nelle cartiere</li> </ol>
<b>MERCATO</b>	<p><b>Potenziare il mercato</b> del gesso riciclato per quegli utilizzi tecnicamente fattibili</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Definizione di <b>criteri End of Waste</b> per i rifiuti a base gesso</li> <li>➢ Sviluppo di <b>nuovi mercati</b> Il settore agricolo dovrebbe essere favorito in quanto garantisce i più ampi margini di benefici ambientali</li> </ul>

 4<sup>a</sup> Edizione "Rifiuti e Life Cycle Thinking", 26 marzo 2019, Milano 21

21

 **RINGRAZIAMENTI**

SI RINGRAZIANO REGIONE LOMBARDIA, ARPA LOMBARDIA, ANPAR E ANCE PER IL SUPPORTO TECNICO E I GESTORI DEGLI IMPIANTI DI TRATTAMENTO PER LA DISPONIBILITÀ E LA COLLABORAZIONE NEL FORNIRE INFORMAZIONI E DATI UTILI ALLO STUDIO

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

**CONTATTI**

[sara.pantini@polimi.it](mailto:sara.pantini@polimi.it)  
[lucia.rigamonti@polimi.it](mailto:lucia.rigamonti@polimi.it)

 4<sup>a</sup> Edizione "Rifiuti e Life Cycle Thinking", 26 marzo 2019, Milano 23

23

**mater**  
materia & energia da rifiuti  
material & energy from refuse

**PUBBLICAZIONI in italiano**

Rigamonti L., Pantini S., Borghi G. (2017). "Gestione dei rifiuti da C&D non pericolosi in Lombardia: valutazione con analisi del ciclo di vita". *Recycling*, 5/2017, 21-26.

Rigamonti L., Pantini S. (2018). "Come migliorare la gestione dei rifiuti a base di gesso in Lombardia?". *Recycling*, 4/2018, 16-19.

Pantini S., Rigamonti L. (2018). "Fresato d'asfalto: da rifiuto a risorsa". *Quarry and construction*, 4/2018, 117-121.

INGEGNERIA DELL'AMBIENTE  
N. 4/2017  
L'edizioni

Giurato M., Pantini S., Rigamonti L. (2018). "Valutazione LCA del sistema di riciclo dei rifiuti a base di gesso in regione Lombardia". *Ingegneria dell'Ambiente*, Vol. 5 n. 2/2018, 87-106.

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.

**mater**  
materia & energia da rifiuti  
material & energy from refuse

4<sup>a</sup> Edizione "Rifiuti e Life Cycle Thinking", 26 marzo 2019, Milano

24

**mater**  
materia & energia da rifiuti  
material & energy from refuse

**PUBBLICAZIONI in inglese**

Water Management 93 (2015) 421-424  
Contents lists available at ScienceDirect  
**Waste Management**  
journal homepage: www.elsevier.com/locate/wasman

Towards resource-efficient management of asphalt waste in Lombardy region (Italy): Identification of effective strategies based on the LCA methodology  
S. Pantini<sup>a,b</sup>, G. Borghi<sup>a</sup>, L. Rigamonti<sup>a,b</sup>

Journal of Cleaner Production 184 (2018) 815-825  
Contents lists available at ScienceDirect  
**Journal of Cleaner Production**  
journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro

Life cycle assessment of non-hazardous Construction and Demolition Waste (CDW) management in Lombardy Region (Italy)  
Giulia Borghi<sup>a</sup>, Sara Pantini<sup>a,b</sup>, Lucia Rigamonti<sup>a,b</sup>

Pantini S., Borghi G., Rigamonti L. (2018). "A LCA study to identify best effective strategies for recycling post-consumer gypsum-based waste in Lombardy region (Italy)". *Proceedings of IV International Conference Progress of Recycling in the Built Environment*, 11-12 October 2018 - Lisbon, Portugal; edited by Martins I.M., Ulsen C., Villagran Y.; RILEM Publications, e-ISBN 978-2-35158-208-4; pp. 219-225.

**mater**  
materia & energia da rifiuti  
material & energy from refuse

4<sup>a</sup> Edizione "Rifiuti e Life Cycle Thinking", 26 marzo 2019, Milano

25