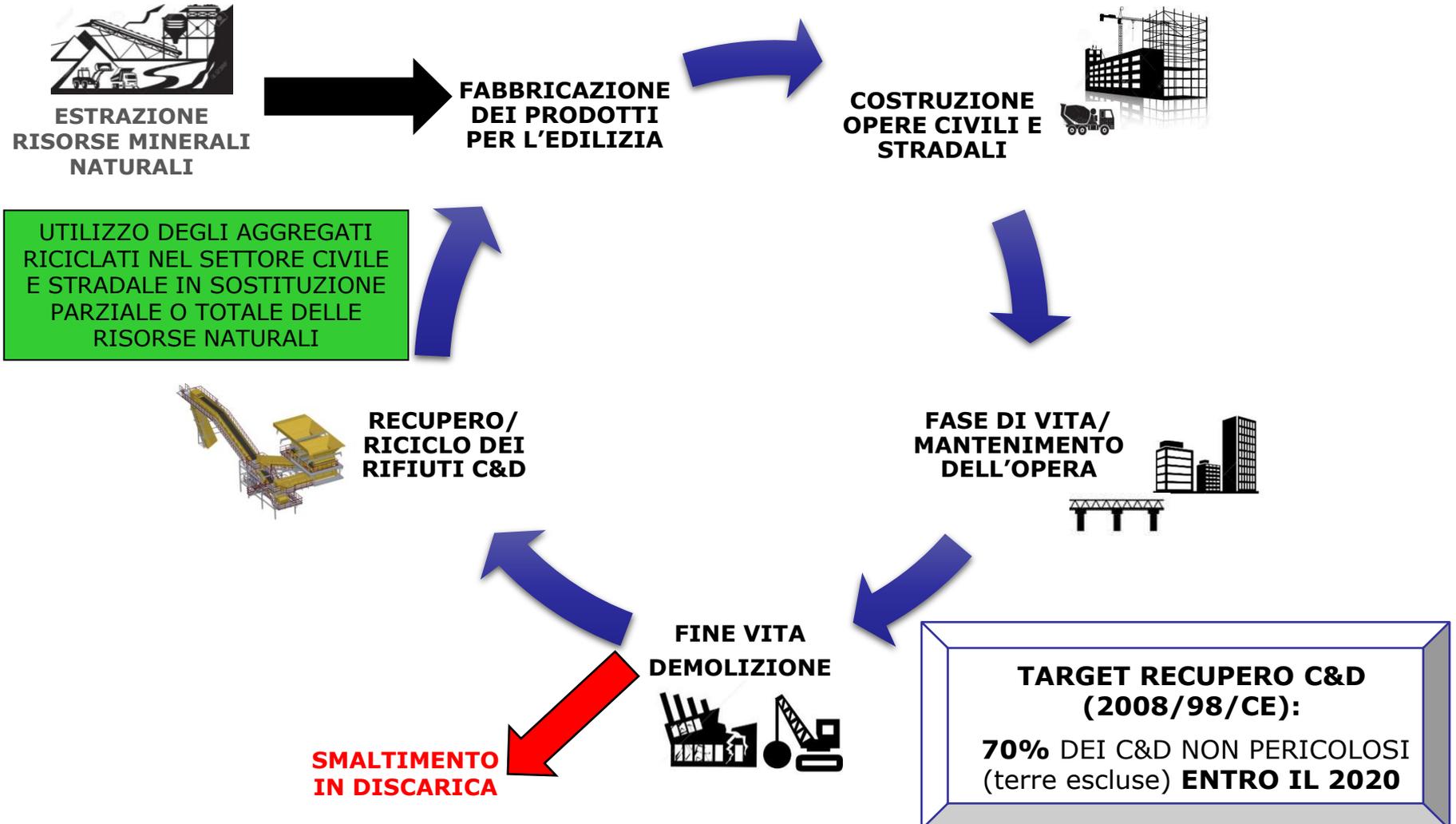


# **Applicazione della metodologia LCA al sistema di gestione e recupero dei rifiuti C&D in regione Lombardia**

**Sara Pantini, Lucia Rigamonti**

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

**L'IMPLEMENTAZIONE DI UN SISTEMA DI GESTIONE DEI RIFIUTI C&D CHE GARANTISCE ELEVATE EFFICIENZE DI RICICLO/RECUPERO CONSENTE DI CHIUDERE IL CICLO DELLE RISORSE NATURALI MINERALI E DI RAGGIUNGERE GLI OBIETTIVI DELL'ECONOMIA CIRCOLARE**



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



### FASI DELL'ATTIVITA' DI RICERCA:

- ❖ Quantificazione dei flussi di rifiuti C&D prodotti e gestiti in Regione Lombardia, con focus sulla quantità e qualità del materiale ottenuto dal recupero dei rifiuti C&D ed il suo effettivo utilizzo, mettendo in evidenza i possibili fattori che ne limitano il mercato (**FASE A**)
- ❖ Sopralluoghi presso gli impianti di recupero per raccogliere informazioni e dati primari sulle efficienze di recupero e i consumi, necessari alla successiva fase di analisi (**FASE B**)
- ❖ Valutazione del sistema di gestione dei rifiuti C&D attualmente implementato in Regione Lombardia mediante la metodologia LCA per individuarne benefici e criticità (**FASE C**)
- ❖ Analisi di letteratura e definizione dello stato dell'arte delle tecnologie di recupero dei rifiuti C&D, con riferimento al panorama nazionale ed internazionale (**FASE D**)
- ❖ 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 (**FASE E**)

## 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

### ESCLUSI

### DALL'ANALISI:

- RIFIUTI PERICOLOSI
- SOTTOCATEGORIE  
17 05 E 17 06

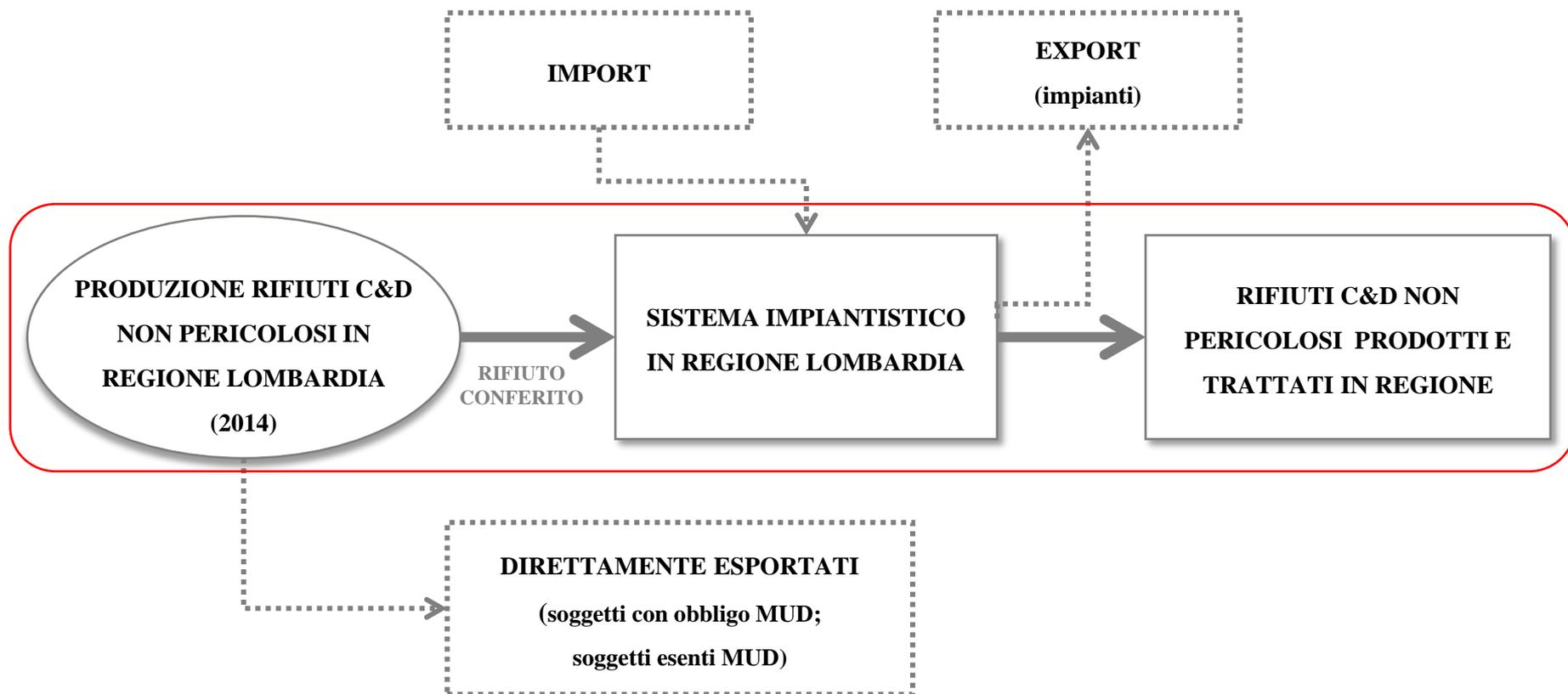
### ELABORAZIONE DATI COMPLESSA



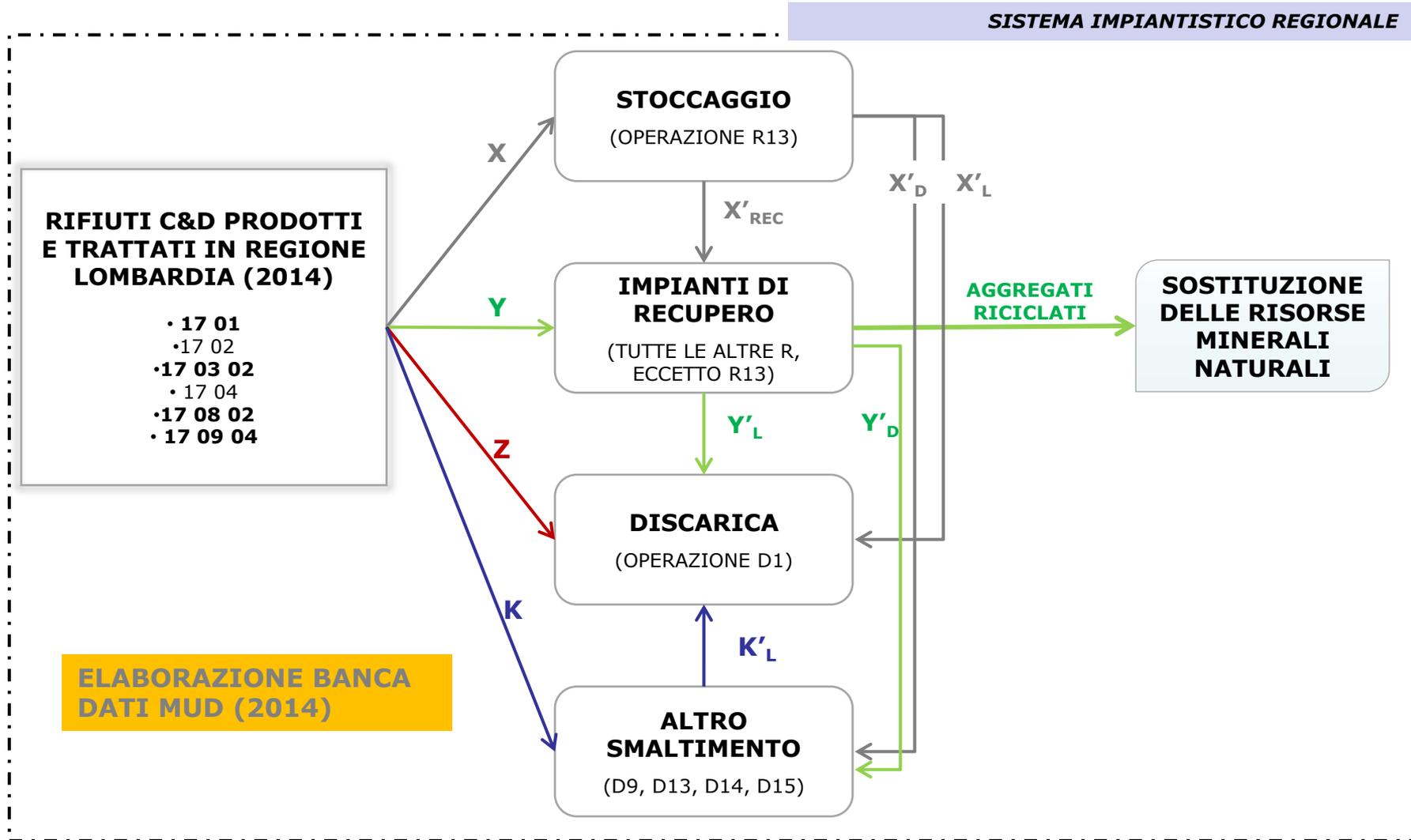
UN CODICE CER ALLA  
VOLTA

## DEFINIZIONE DELL'AMBITO DI APPLICAZIONE DELLO STUDIO DI LCA

- ANNO DI RIFERIMENTO: **2014**
- TIPOLOGIA DI RIFIUTO ANALIZZATO: **SLIDE PRECEDENTE**
- CONFINI DEL SISTEMA: **SISTEMA DI GESTIONE IMPLEMENTATO IN REGIONE LOMBARDIA (sono esclusi i rifiuti di provenienza extra-regionale (*Import*) e i rifiuti destinati fuori regione (*Export*))**



**FASE A DELL'ATTIVITÀ DI RICERCA.** QUANTIFICAZIONE DEI FLUSSI DIRETTI ( $X, Y, Z, K$ ) E SECONDARI ( $X', Y', K'$ ) PER CIASCUNA TIPOLOGIA DI TRATTAMENTO E PER SINGOLO CODICE CER



## Rifiuti importati:

CER 1701: 47.075 t;  
CER 170302: 174.389 t;  
CER 170802: 4.419 t;  
CER 170904: 382.931 t

## PRODUZIONE RIFIUTI IN REGIONE LOMBARDBIA (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

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

## 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

## 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

**CER 1701, 170302 E 170904:**  
**95% GESTITO IN REGIONE**  
**CER 170802: GESTITO <70%**

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

**CER 17 09 04:**  
**5.625.978 t**

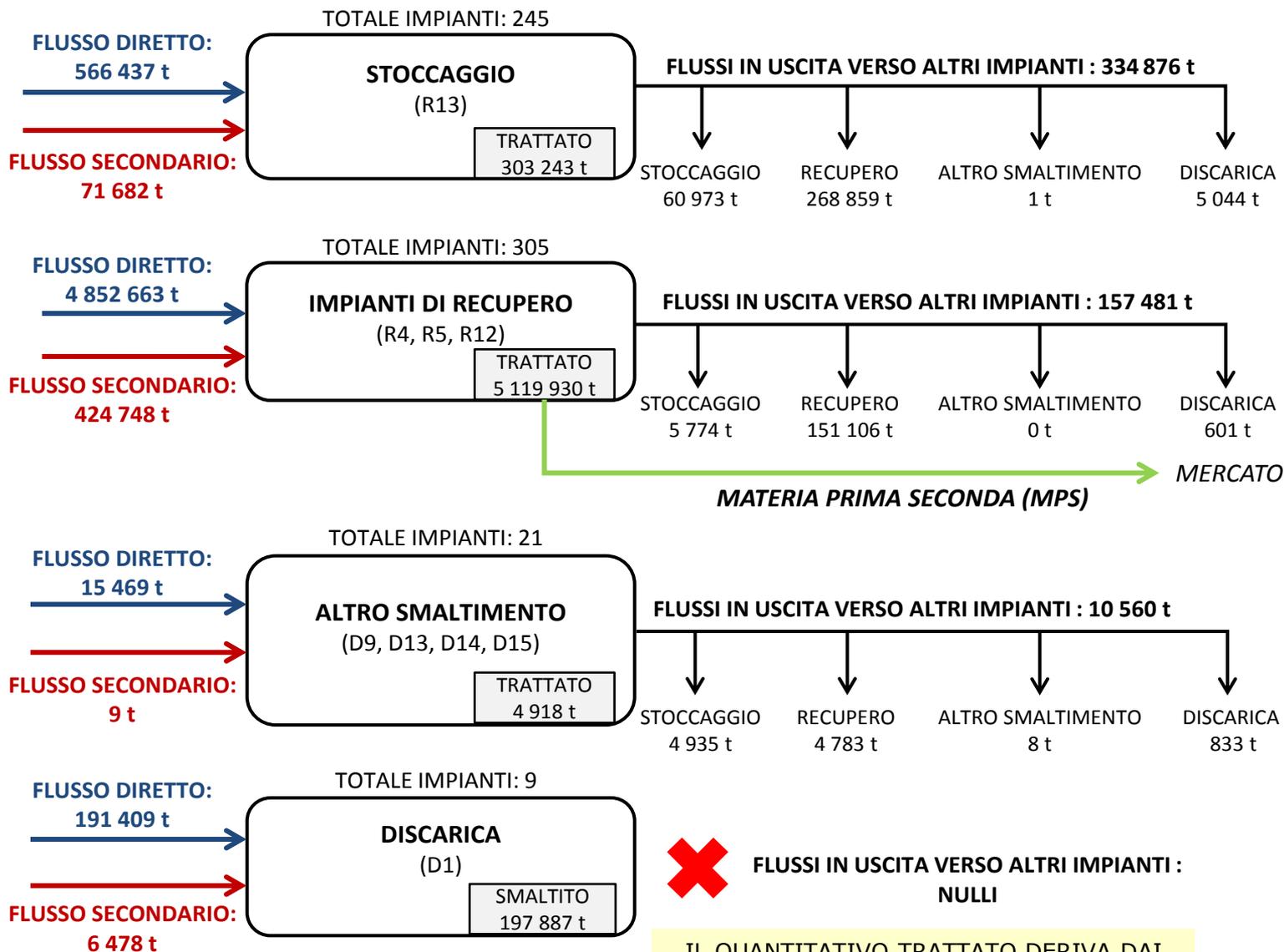
DESTINO:

- 91,0 %  
RECUPERO

- 5,4%  
STOCCAGGIO

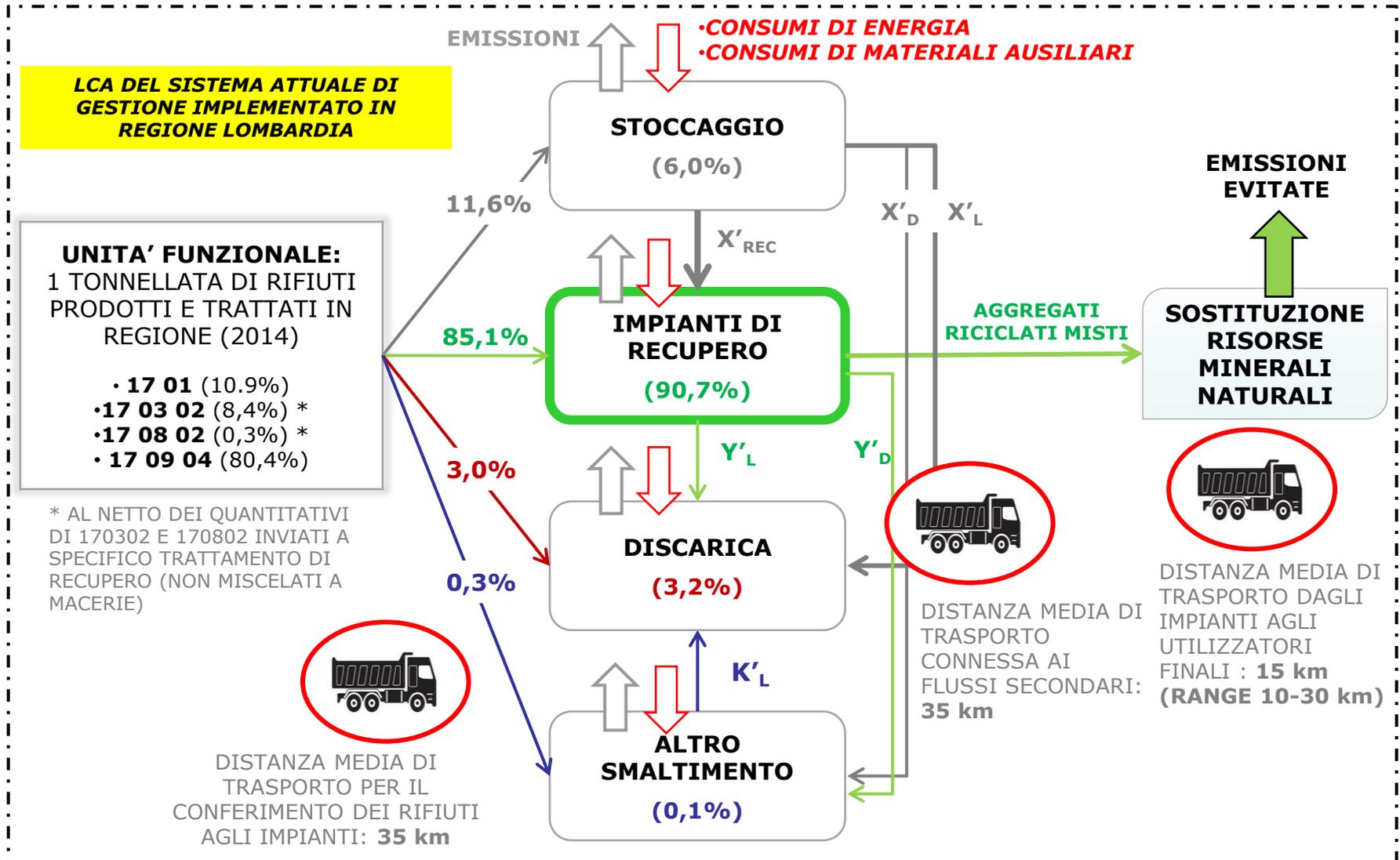
- 3,5%  
DISCARICA

- 0,1% ALTRE  
OPERAZIONI DI  
SMALTIMENTO



IL QUANTITATIVO TRATTATO DERIVA DAI  
BILANCI DI MASSA DEGLI IMPIANTI

## FASE B DELL'ATTIVITÀ DI RICERCA: RACCOLTA DATI PRIMARI ATTRAVERSO SOPRALLUOGHI EFFETTUATI PRESSO I PRINCIPALI IMPIANTI DI TRATTAMENTO (ANALISI DI INVENTARIO)



## VISITE TECNICHE AGLI IMPIANTI DI RECUPERO SELEZIONATI:

- 2 IMPIANTI A STRUTTURA FISSA (MI) – **TIPO A**
- 4 IMPIANTI CINGOLATI (2 MI, 1 BS, 1 BG) – **TIPO B**
- 3 IMPIANTI CINGOLATI CON STAZIONE DI CERNITA DEGLI IMBALLAGGI DA CANTIERE (1 MI, 1 LC, 1 MB) – **TIPO C**

**RIFIUTI C&D NON PERICOLOSI IN INGRESSO (CER 1701 + 170302 + 170904):**  
**1,28 Mt**

**+ INVIO DI QUESTIONARI PER AVERE DATI RAPPRESENTATIVI DELL'INTERO CONTESTO REGIONALE**

## DATI RACCOLTI:

- RIFIUTI C&D NON PERICOLOSI RICEVUTI E TRATTATI NEL 2014
- TIPOLOGIA E QUANTITÀ DELLE MPS PRODOTTE (AGGREGATI RICICLATI)
- QUALITÀ E DESTINO D'IMPIEGO DEGLI AGGREGATI RICICLATI
- QUANTITÀ DI ALTRE FRAZIONI RECUPERABILI SEPARATE (metalli, plastica, vetro, etc...)
- SCARTI NON VALORIZZABILI INVIATI A DISCARICA

**BILANCIO DI MASSA DELLE DIVERSE TIPOLOGIE DI IMPIANTI DI RECUPERO (A, B e C)**

- CONSUMI DI ENERGIA o COMBUSTIBILE PER IL TRATTAMENTO DEI RIFIUTI C&D (frantumazione, vagliatura, ..)
- CONSUMI DI COMBUSTIBILE E OLII MOTORE DELLE MACCHINE DI MOVIMENTAZIONE DEI RIFIUTI
- CONSUMO DI ACQUA PER IL SISTEMA DI ABBATTIMENTO POLVERI
- RICAMBI COMPONENTI MECCANICHE SOGGETTE A USURA (mascelle, reti vaglio, ..)

**CONSUMI DI ENERGIA E MATERIALI AUSILIARI PER IL TRATTAMENTO**

## RIFIUTO CONFERITO

RIFIUTI MISTI C&D  
(CER 170904)



## IMPIANTO A STRUTTURA FISSA (TIPO A)



## IMPIANTO A STRUTTURA MOBILE

(TIPO B)



## AGGREGATI RICICLATI

AR 25/63



**SOTTOFONDI**

AR 63/125



**STRATI DRENANTI**

AR 0/63



**SOTTOFONDI / RIPRISTINI**



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

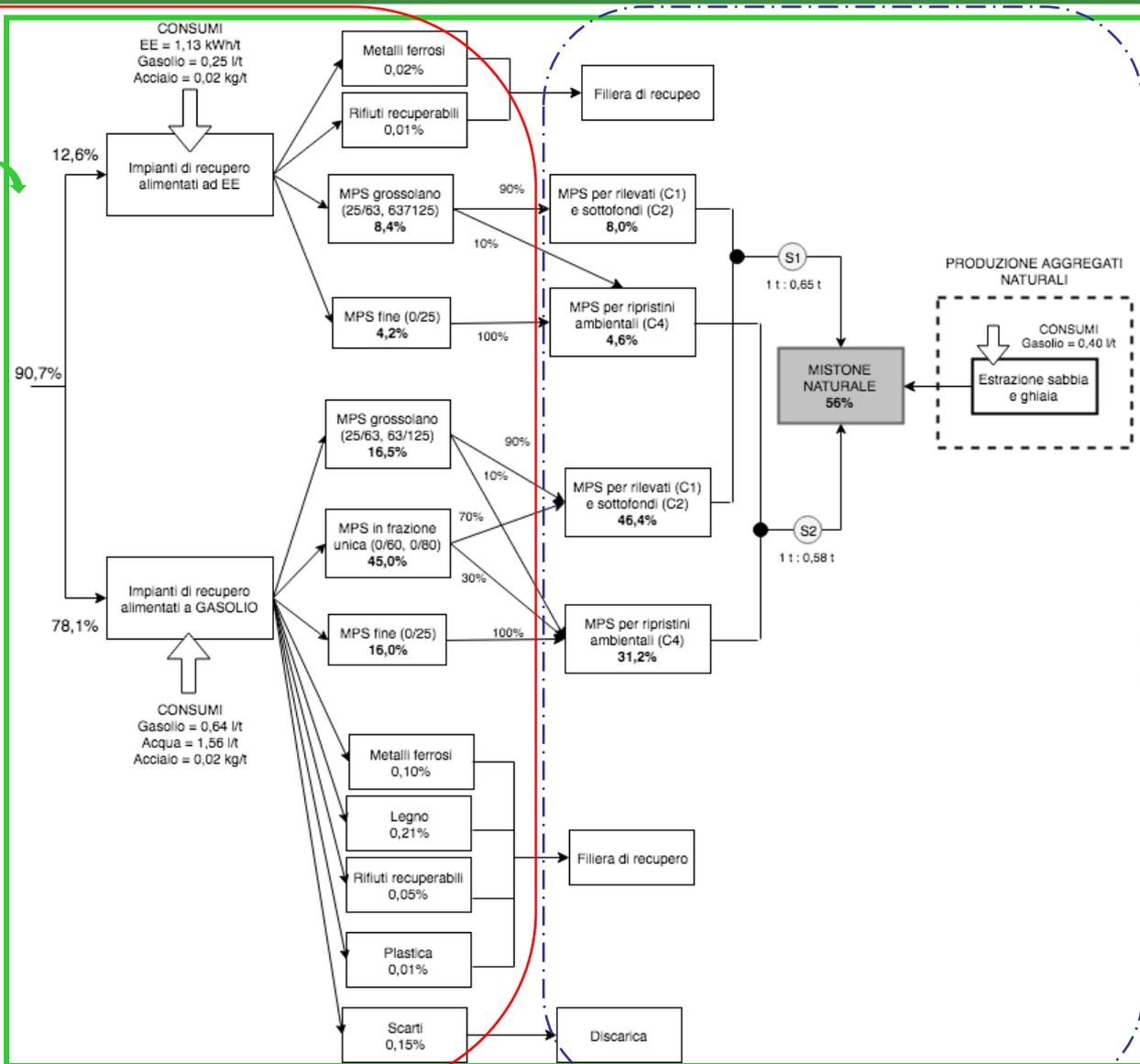
- 1701 (10,9%)
- 170302 (8,4%)
- 170802 (0,3%)
- 170904 (80,4%)

**DATI VISITE TECNICHE:**

- 14% rifiuto conferito in impianti EE (TIPO A) e 86% in (Tipo B+C)
- efficienza di trattamento (MPS) 99.8% in A e 99.3% in (B+C)

**CONSUMI SPECIFICI MEDI ANNUALI**

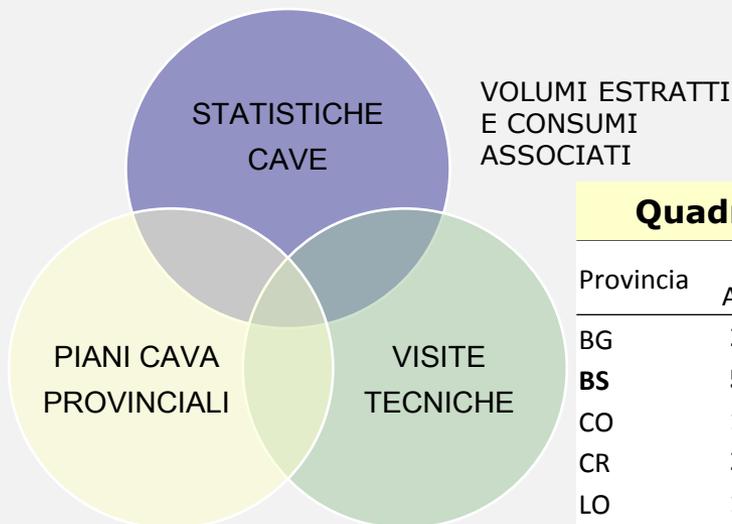
	ELETTRICITÀ (kWh/t)	GASOLIO (l/t)	ACQUA (l/t)	ACCIAIO (kg/t)
IMPIANTI (A)	1,13	0,25	0	0,02
IMPIANTI (B+C)	0	0,64	1,56	0,02



## SOSTITUZIONE DEGLI AGGREGATI NATURALI (AN)

- Modellazione degli impatti "evitati" derivanti dall'estrazione delle risorse naturali in Regione Lombardia

### PRODUZIONE DI AGGREGATI NATURALI IN REGIONE LOMBARDIA (2014)



TIPOLOGIE, UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DELLE CAVE SUL TERRITORIO REGIONALE

**28 Mt AN vs 7 Mt AR**

Sopralluoghi tecnici

+

Analisi dati statistiche cave  
(annualmente comunicati alle province competenti)

### Quadro regionale dell'attività estrattiva (Piani Cava)

Provincia	n. ATE	Volume totale autorizzato in 10 anni (m <sup>3</sup> )	A secco (%)	In falda (%)	A terrazzo (%)
BG	25	34.470.000	44,4	44,1	11,5
<b>BS</b>	<b>53</b>	<b>65.980.000</b>	50,1	49,9	0
CO	11	9.395.000	0	0	100
CR	27	15.342.400	20,9	58	21,1
LO	13	15.080.000	0	60,9	39,1
MN	13	25.850.000	83,9	16,1	0
<b>MI</b>	<b>32</b>	<b>56.395.000</b>	31,5	62,6	5,9
<b>PV</b>	<b>44</b>	<b>34.100.000</b>	8,2	49,3	42,5
SO	15	3.561.999	6,9	93,1	0
VA	8	22.900.000	81,2	0	18,8
<b>Regione</b>	<b>241</b>	<b>283.074.399</b>	<b>39,9</b>	<b>43,9</b>	<b>16,1</b>

**ESTRAZIONE**

➔  
**MISTONE  
NATURALE**

**LAVORAZIONE**

➔  
**AGGREGATI  
NATURALI**

**FOSSA A SECCO (PIANURA)**



**A TERRAZZO (MONTAGNA)**



**FOSSA IN FALDA (PIANURA)**



**VAGLI SECONDARI**



**MULINO MARTELLI**

**MULINO MASCELLE**



**3 SITI  
ESTRATTIVI  
VISITATI**

Cava	Consumi specifici			
	Energia elettrica [kWh/t]	Gasolio [l/t]	Acqua [m <sup>3</sup> /t]	Acciaio [kg <sub>LEGA</sub> /t]
Fossa a secco	1,35	0,34	0,84	0,01
Fossa in falda	<b>10,69</b>	0,45	<b>0,0</b>	-
A terrazzo	3,07	<b>3,85</b>	0,35	0,03

## ANALISI DATI STATISTICHE CAVE:

### DATI RELATIVI ALLE CAVE CHE EFFETTUANO SOLO ESTRAZIONE

ANNO 2014	n° cave	Cavato	Commercializzato	Consumo gasolio	Prezzo di vendita		Destinazioni aggregati naturali			
		[t]	[t]	[l/t <sub>COMM</sub> ]	[€/t]		A:	MN	SO	CO
Mantova	13	649.661	649.661	1,16	4		Sito	0,7%	0,0%	0,0%
Sondrio	6	196.384	202.639	0,3	9,2		Comune	0,0%	10,3%	0,0%
Como	2	17.137	17.137	0,4	4,6		Provincia	81,6%	44,6%	81,6%
Cremona	1	12.600	12.600	0,79	NP		Lombardia	17,7%	45,0%	18,4%
<b>ESTRAZIONE</b>	<b>22</b>	<b>875.782</b>	<b>882.037</b>	<b>0,4 *</b>	<b>5,3</b>		<b>TRASPORTO MEDIO (km)</b>		<b>43,0</b>	
							range : 27 - 66 km			

\* Valore modificato rispetto alla media dei dati

### DATI RELATIVI ALLE CAVE CHE EFFETTUANO ESTRAZIONE E LAVORAZIONE

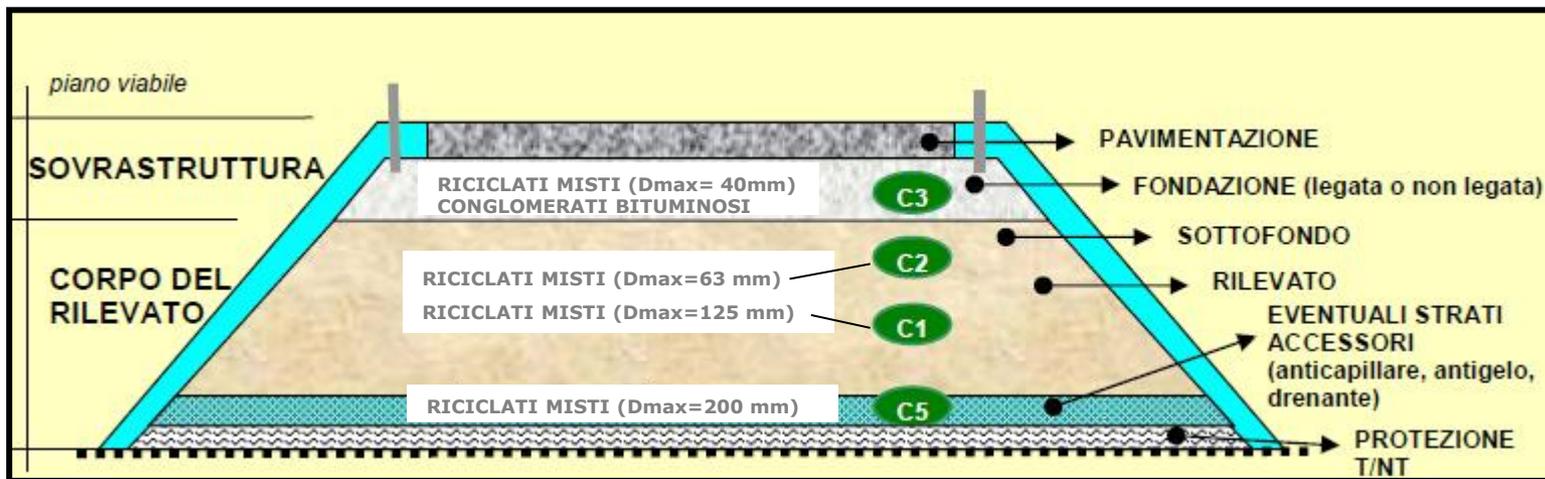
ANNO 2014	n° cave	Cavato	Commercializzato	Consumo gasolio	Consumo acqua	Consumo elettricità	Prezzo di vendita		Destinazioni aggregati naturali					
		[t]	[t]	[l/t <sub>COMM</sub> ]	[l/t <sub>COMM</sub> ]	[kWh/t <sub>COMM</sub> ]	[€/t]			BG	CO	CR	PV	VA
Bergamo	30	5.977.814	5.977.814	0,37	---	1,56	---		Sito	0,0%	8,0%	1,2%	18,7%	5,7%
Brescia	62	6.619.966	6.331.214	0,45	---	0,64	---		Comune	0,0%	1,7%	0,5%	0,0%	9,5%
Como	11	503.074	609.611	1,02	0,69	4,24	9,2		Provincia	80,2%	57,8%	29,8%	26,0%	39,6%
Cremona	5	158.030	152.930	0,92	0,9	2,57	7,6		Lombardia	19,8%	32,5%	68,5%	55,3%	45,2%
Lodi	8	730.629	747.629	0,16	0,018	0,95	---		<b>TRASPORTO MEDIO (km)</b>		<b>37,0</b>			
Milano	26	4.291.496	4.291.496	0,36	0,46	3	---		range : 30 - 60 km					
Monza Brianza	4	183.420	183.420	1,52	0,11	8,38	---		Distanza (sito) = 0 km; Distanza (Comune) = Raggio Comune; Distanza (Provincia) = Raggio Provincia; Distanza (Lombardia) = distanza media Comune cava - Province adiacenti					
Pavia	17	1.701.760	1.806.632	0,34	---	1,68	---							
Varese	13	2.829.092	3.131.368	0,75	0,56	2,66	---							
<b>ESTRAZIONE &amp; LAVORAZIONE</b>	<b>176</b>	<b>22.995.281</b>	<b>23.232.114</b>	<b>0,46</b>	<b>0,46</b>	<b>1,85</b>	<b>8,9</b>							

## REQUISITI E IDONEITÀ ALL'UTILIZZO DEGLI AGGREGATI RICICLATI (AR): ALLEGATI C DELLA CIRCOLARE 5205/2005 + MARCATURA CE (UNI 13242)

	% su totale AR	Utilizzi AR		Aggregato naturale sostituito
		Rilevati/sottofondi (C1/C2)	Ripristini ambientali (C4)	
Aggregati grossi * (25/63; 63/125)	24,8%	90%	10%	<b>MISTONE NATURALE</b>
Aggregati fini (0/25)	21,6%	0%	100%	
Aggregati in frazione unica (0/60; 0/80)	53,5%	70%	30%	

\* ALTRO POSSIBILE UTILIZZO DEGLI AR GROSSI (63/125) È IN STRATI DRENANTI (C5) IN SOSTITUZIONE DI CIOTTOLI/PIETRISCO. QUESTO USO È STATO TRASCURATO NELLO SCENARIO ATTUALE DI LCA.

**EVITATI SOLO GLI IMPATTI DELLA FASE DI ESTRAZIONE**



## ASPETTI PROBLEMATICI DEL MERCATO

- **mercato degli aggregati riciclati 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 degli aggregati 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
- **necessità di aggiornare strumenti tecnici** quali i «capitolati speciali di appalto» alle norme europee di settore per garantire l'equiparazione tra aggregati riciclati e naturali e favorirne l'impiego su vasta scala
- **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 AR 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/ 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)

### IPOTESI

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

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

Q

M

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

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

### METODO 2:

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

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

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

**Fortemente variabili e influenzati da fattori locali**

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

Utilizzi aggregati riciclati misti	R = P		
	P <sub>AR</sub> (€/t)	P <sub>AN</sub> (€/t)	P <sub>AR</sub> /P <sub>AN</sub>
Rilevati (C1) e sottofondi (C2)	1,95	5,3	<b>0,37</b>
Ripristini ambientali (C4)			

**Range R (metodo 2)**  
C1/C2/C4: 0-0,8

### ANALISI DI SENSITIVITA'

## **CONCLUSIONI:**

- SISTEMA DI GESTIONE C&D EFFICACE (91% A RECUPERO, SOLO 3% IN DISCARICA) E CAPILLARE SUL TERRITORIO; MAGGIORI CRITICITÀ LEGATE AI RIFIUTI A BASSE DI GESSO 170802
- USO DEGLI AGGREGATI RICICLATI LIMITATO AI SOTTOFONDI/RILEVATI STRADALI E RIPRISTINI AMBIENTALI (APPLICAZIONI DI MEDIO/BASSO LIVELLO)
  - ↪ *migliorare le caratteristiche del rifiuto conferito in impianto, attraverso pratiche di demolizione selettiva in cantiere, consentirebbe di ottenere riciclati di migliore qualità che possono essere impiegati in applicazioni più «nobili» (es. misti cementati in strati di fondazione, produzione CLS magri, strati accessori)*
- MERCATO DEGLI AGGREGATI RICICLATI ANCORA POCO SVILUPPATO IN REGIONE RAPPRESENTA IL PRINCIPALE FATTORE CHE LIMITA LA DIFFUSIONE DEGLI AR
  - ↪ *necessità di considerare non solo le caratteristiche qualitative ma anche l'effettivo mercato degli AR nella valutazione del rapporto di sostituzione AR:AN*
- PRINCIPALE CRITICITÀ LEGATA AL BASSO COSTO E AMPIA DISPONIBILITÀ SUL TERRITORIO DELLE MATERIE PRIME VERGINI
  - ↪ *pianificazione più razionale delle risorse naturali, che tenga conto del contributo degli AR, e disincentivazione dell'attività estrattiva al fine di rendere gli AR economicamente più competitivi*

## **SVILUPPI FUTURI:**

- IMPLEMENTAZIONE DEL SISTEMA NEL SOFTWARE LCA + MODELLAZIONE RECUPERO DEDICATO MISCELE BITUMINOSE E RIFIUTI A BASE DI GESSO
- VALUTAZIONE AMBIENTALE SCENARIO ATTUALE (quantificazione impatti, analisi di sensitività, hotspots)
- INDIVIDUAZIONE DI SCENARI MIGLIORATIVI (strategie di gestione, soluzioni tecnologiche, diversi utilizzi AR)
- QUANTIFICAZIONE DEI BENEFICI ASSOCIATI ALLE AZIONI MIGLIORATIVE PROPOSTE

## 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)