



POLITECNICO  
MILANO 1863



# Canapa: pianta e calce per un'edilizia amica del clima

Relatori:

Prof. Giovanni Dotelli

Dott.ssa Chiara Moletti

Dott.ssa Valeria Arosio

Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" - Politecnico di Milano

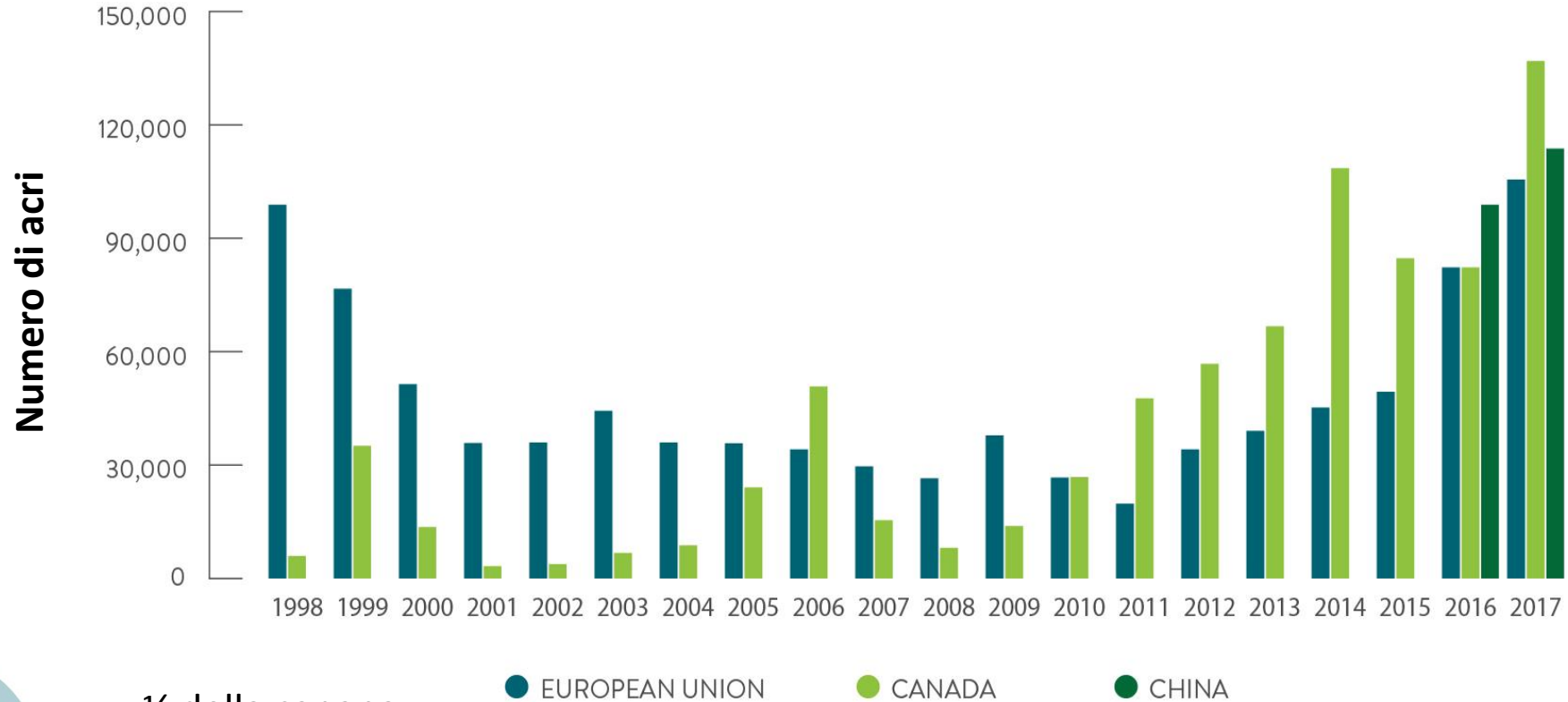
5 luglio 2022



# COLTIVAZIONE DELLA CANAPA

# Produzione mondiale di canapa

Hemp Business Journal, EIHA, Health Canada and FOASTAT (2019)



¼ della canapa industriale mondiale è coltivata in Europa

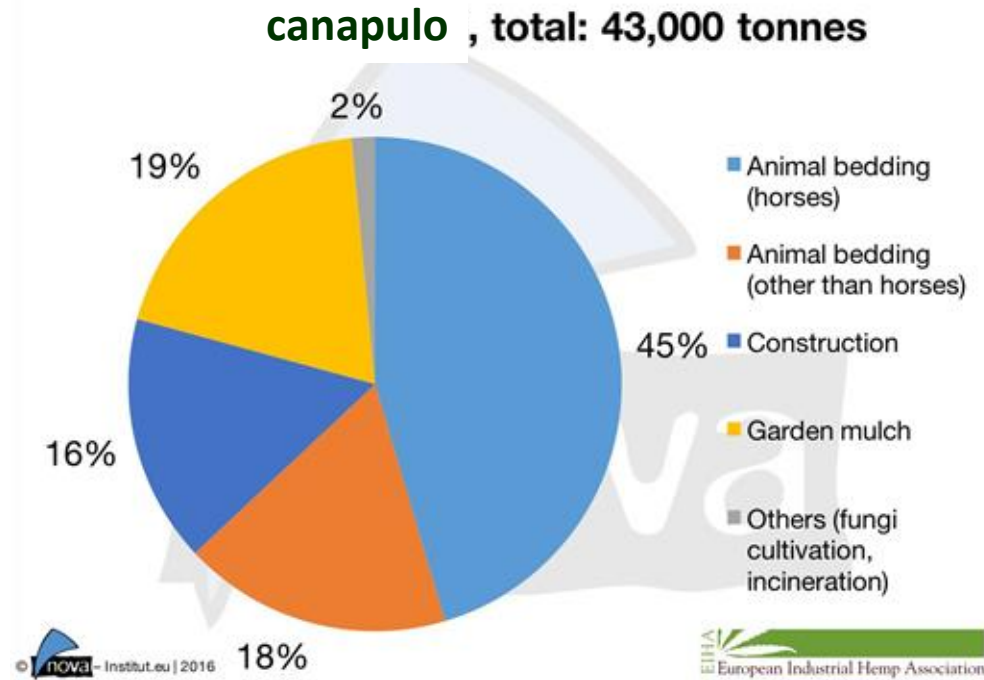
# Distribuzione europea



*hempindustrydaily.com (2020), dati 2018*

	<b>Nazione</b>	<b>Ettari</b>
37%	Francia	17900
	Italia	4000
8%	Paesi Bassi	3833
	Estonia	3538
7%	Romania	3400
	Germania	3114
4%	Polonia	1708
	Austria	1583
3%	Ucraina	1500
	Lituania	1470

# Sottoprodotto del raccolto della canapa: canapulo



Market data on Industrial Hemp 2013 – fibres, shives and seeds 14th EIHA conference

Partendo dallo **studio delle proprietà del materiale** (granulometria, interazione dell'aggregato vegetale con i leganti)

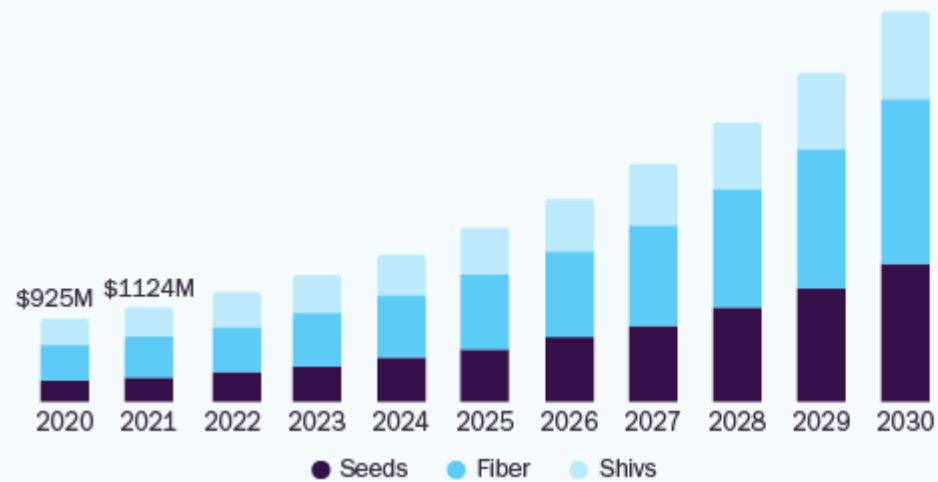
Proseguendo con l'**ottimizzazione delle prestazioni** termiche, acustiche, termoigrometriche e meccaniche

È possibile promuovere l'**utilizzo del materiale** all'interno del settore delle costruzioni

# Canapa industriale

## U.S. Industrial Hemp Market

size, by product, 2020 - 2030 (USD Million)



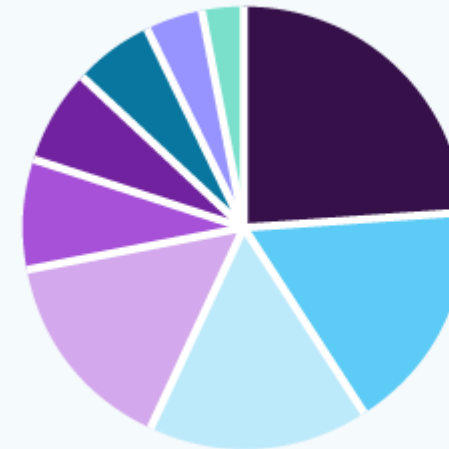
**21.0%**

U.S. Market CAGR,  
2022 - 2030

Il CAGR, Compound annual growth rate, è il tasso medio annuo di crescita di un investimento su un orizzonte temporale superiore all'anno. In formula, questo tasso si trova facendo il rapporto tra il valore di un investimento alla fine del periodo e quello iniziale, il tutto elevato per uno, diviso il numero di anni intercorsi tra l'inizio e la fine dell'investimento. Il risultato trovato va adesso sottratto a uno.

## Global Industrial Hemp Market

share, by application, 2021 (%)



- Textiles
- Personal Care
- Food & Beverages
- Animal Care
- Paper
- Automotive
- Construction Materials
- Other
- Furniture



**\$4.1B**

Global Market Size,  
2021

Source:  
www.grandviewresearch.com

<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/industrial-hemp-market>



## Associazioni Industriali

- Federcanapa (Italian Hemp Federation) <https://www.federcanapa.it/>
- Associazione Nazionale Coltivatori Italiani di Canapa <https://www.uci.it/chi-siamo-ancica>
- Consorzio Canapa Italia <https://www.consorziocanapaItalia.it/>
- Assocanapa Group <https://www.assocanapagroup.it/>



## Autorità

- MIPAAF Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali <https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/202>
- CREA Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria <https://www.crea.gov.it/en/home>
- Corpo Forestale dell'Arma dei Carabinieri

[https://hempindustrydaily.com/wp-content/uploads/2021/09/Hemp\\_Cultivation\\_in\\_Europe\\_Hemp\\_Industry\\_Daily.pdf](https://hempindustrydaily.com/wp-content/uploads/2021/09/Hemp_Cultivation_in_Europe_Hemp_Industry_Daily.pdf)

- ✿ Il Ministero dell'Agricoltura stima che nel 2019 siano stati coltivati 2.000 ettari di canapa,
- ✿ Federcanapa stima circa 2.000-2.500 ettari
- ✿ La legge italiana sulla canapa non richiede ai coltivatori di segnalare la superficie coltivata. Solo coloro che cercano un sostegno finanziario attraverso la politica agricola comune dell'UE sono tenuti a comunicare alle autorità quanta canapa coltivano.
- ✿ Le principali varietà di canapa industriale coltivate in Italia sono: Fedora 19, Vibranova, Kompolti, Felina 32, Carmagnola Selezionata, Dioica 88, Juzo 31, Eletta Campana, Tiborszallasi, Futura 75, Finola Antal, Carmagnola, Tisza.
- ✿ Secondo il rapporto dell'USDA, circa l'80% della canapa italiana viene utilizzata nell'industria alimentare, mentre il restante 20% viene usato nei settori materiali da costruzione, cosmetici e nutraceutici.

# Canapa in edilizia



The background of the image is a dense, textured surface of crumpled, light-colored paper, possibly recycled paper or cardboard, creating a complex, organic pattern of folds and shadows.

# ANALISI DEL CICLO DI VITA

# Ciclo di vita di un edificio

**Fine vita:** riciclo o smaltimento rifiuti

**Dismissione** di parte o dell'intera struttura

**Interventi di restauro o ristrutturazione**

**Interventi di manutenzione o conservazione**



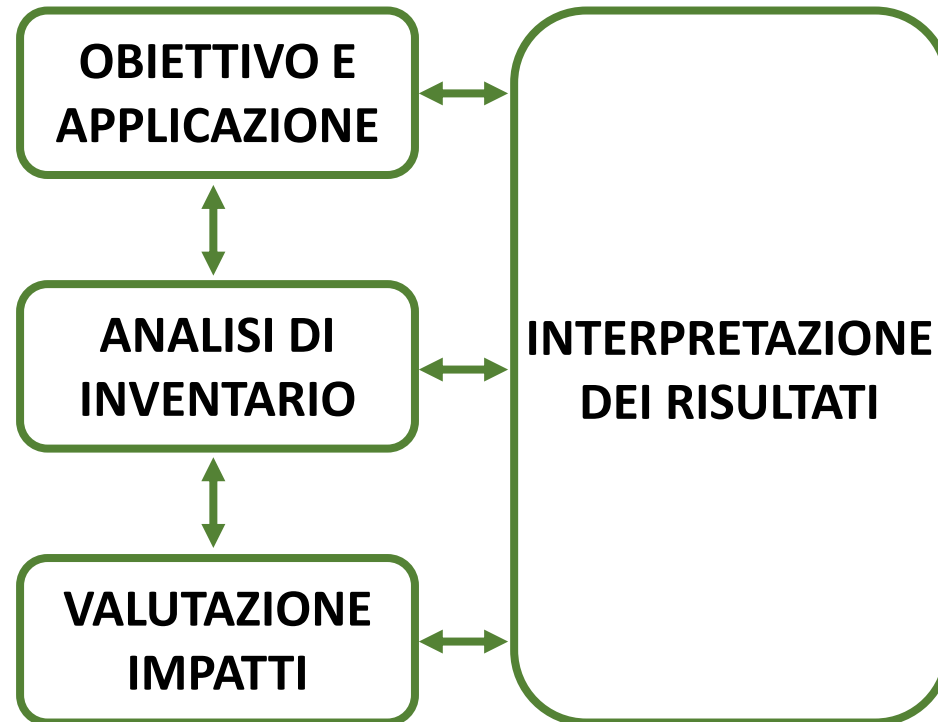
**Estrazione** delle materie prime e relative lavorazioni

**Realizzazione** del materiale da costruzione

**Trasporto** dei materiali al sito di costruzione

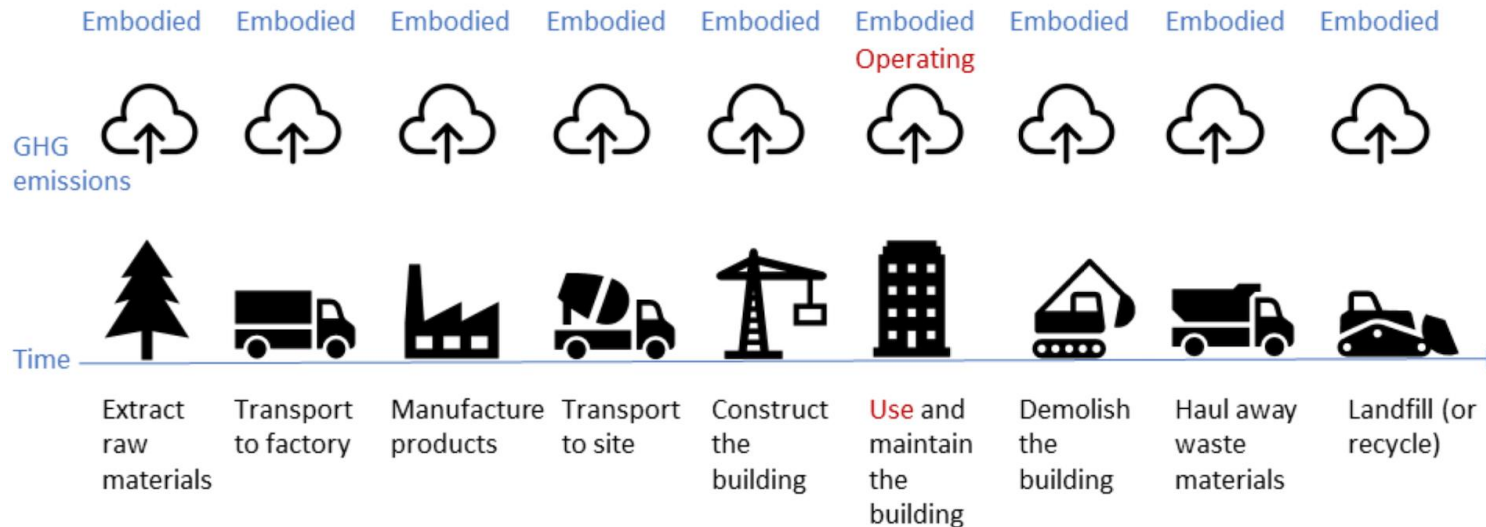
**Fase di costruzione** dell'edificio

Norma di riferimento: EN ISO 14040:2006



# Embodied Carbon

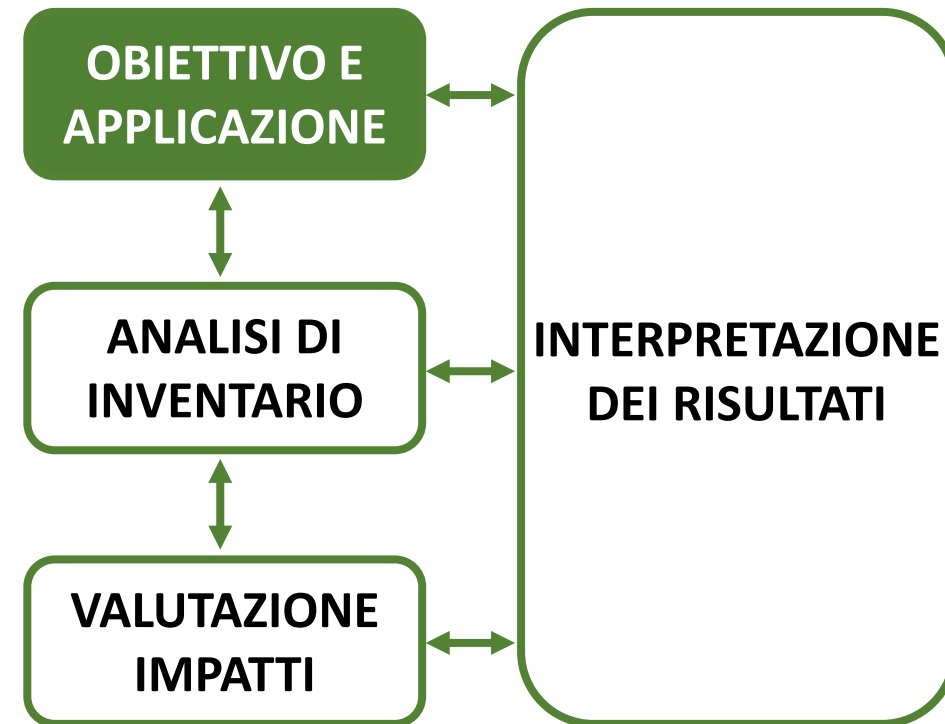
Il carbonio incorporato (embodied carbon) è l'emissione di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) o gas serra (GHG) associata alla produzione e all'uso di un prodotto o servizio. Per i prodotti da costruzione, ciò significa l'emissione di CO<sub>2</sub> o GHG associata all'estrazione, produzione, trasporto, installazione, manutenzione e smaltimento di materiali e prodotti da costruzione. La maggior parte del carbonio incorporato in un prodotto da costruzione è CO<sub>2</sub> emessa dall'uso di combustibili fossili nell'estrazione e nella produzione di materiali da costruzione e come risultato delle emissioni di processo dalla produzione.



**Obiettivo dello studio:** definisce l'applicazione, le ragioni dello studio e il pubblico atteso.

**Campo di applicazione:** definisce l'unità funzionale e i confini del sistema.

Norma di riferimento: EN ISO 14040:2006



## LCI – Analisi di inventario

Fase iterativa di raccolta dati e compilazione di tutti i flussi di input e di output.

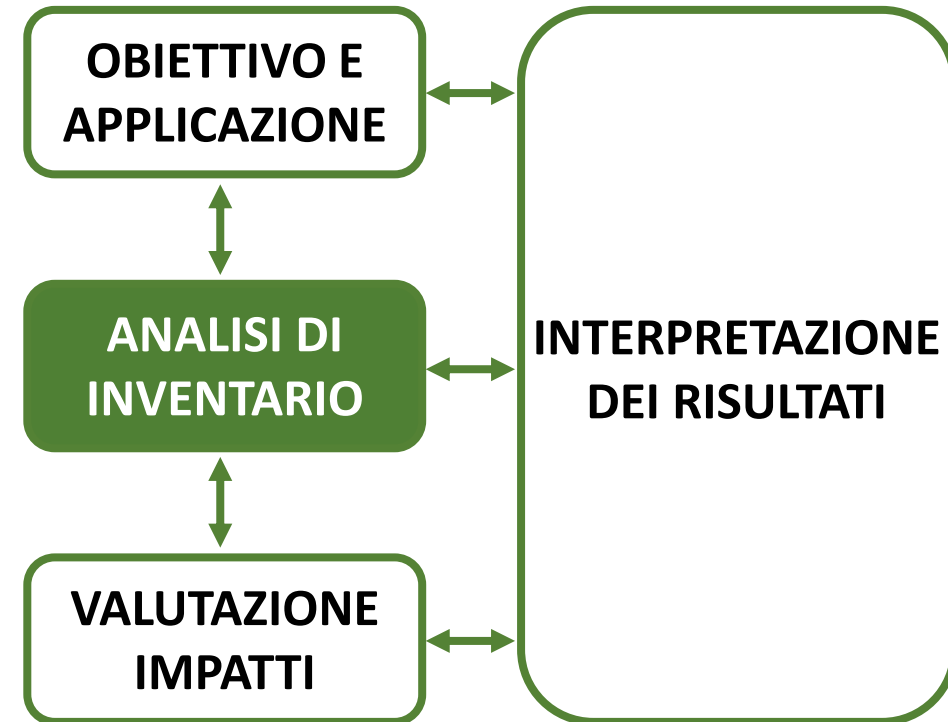
Flussi considerati:

- materiali,
- energia,
- emissioni,
- rifiuti.

Dati primari: sito o processo specifici, ottenuti per misurazione diretta o intervista con tecnici

Dati secondari: dati non specifici, ottenuti da banche dati o letteratura

Norma di riferimento: EN ISO 14040:2006

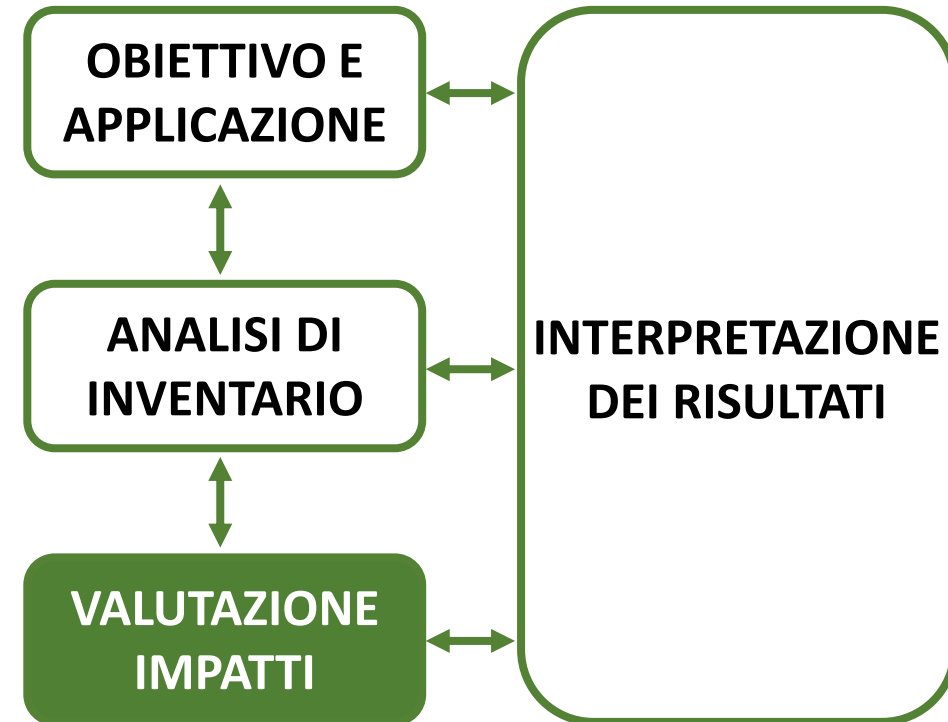


## LCIA – Valutazione degli impatti

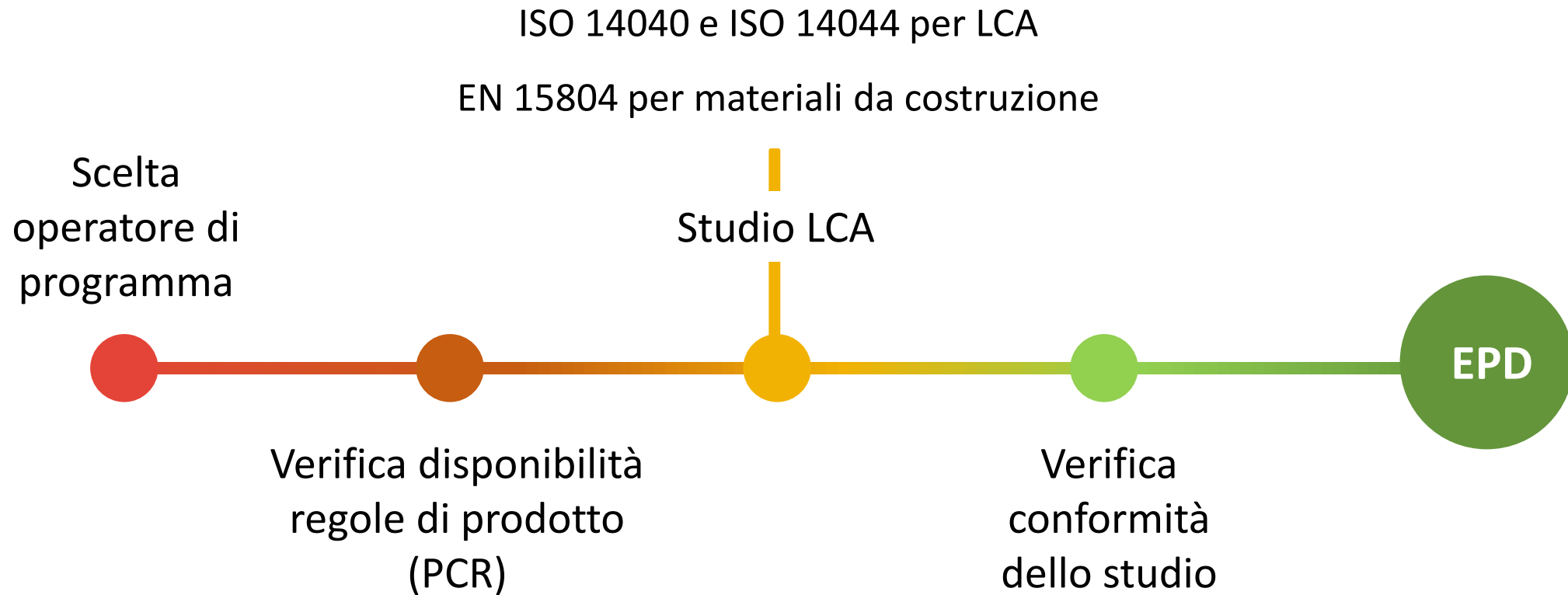
Questa fase comporta l'associazione dei dati di inventario con specifiche categorie di impatto ambientale e indicatori di categoria.

La selezione degli impatti di categoria deve essere coerente con l'obiettivo dello studio.

Norma di riferimento: EN ISO 14040:2006



# Dichiarazione ambientale di prodotto (EPD)





**MATERIALI SOSTENIBILI PER EDILIZIA**

# Materiali sostenibili per l'edilizia

I **materiali sostenibili per l'edilizia** sono stati sviluppati per:

- ridurre le emissioni del settore edile
- diminuire lo sfruttamento di risorse naturali per l'ottenimento delle materie prime

Tra questi materiali, le soluzioni basate sulla natura dette **nature-based solutions** sono prodotte recuperando i sottoprodotti o scarti di coltivazioni agricole.

Le soluzioni basate sulla natura sono materiali **carbon negative o carbon neutral** e vengono utilizzati principalmente come materiali isolanti.



*think nature project (thinknature.eu)*

# Contributo delle nature-based solutions ai SDGs (Agenda 2030)

«L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile è un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU. L'avvio ufficiale degli Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile ha coinciso con l'inizio del 2016 e i Paesi, infatti, si sono impegnati a raggiungerli entro il 2030.»



# Contributo delle nature-based solutions ai SDGs (Agenda 2030)



## SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Rigenerazione dell'ambiente urbano e miglioramento delle condizioni indoor.

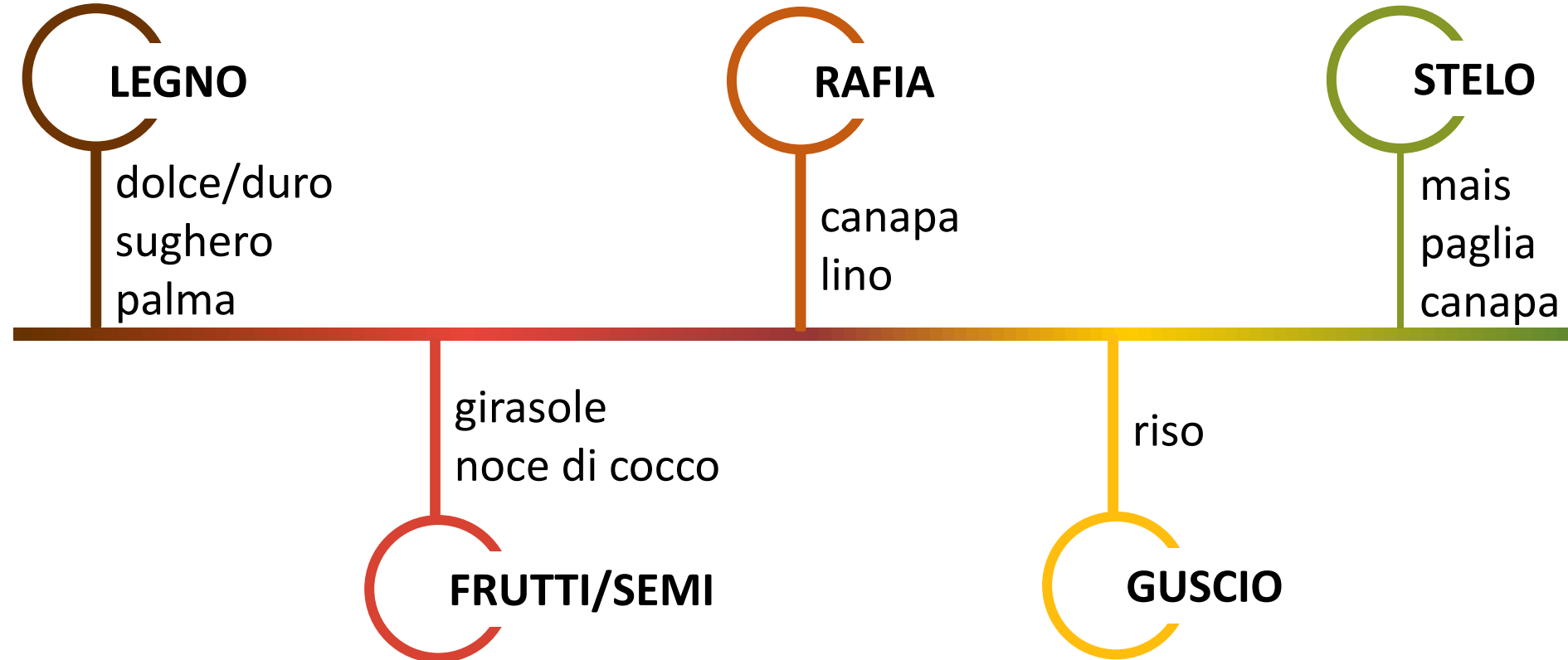
Rafforzamento dei piani di sviluppo sostenibile a **livello regionale e locale**.

Adesione ai principi dell'**economia circolare**.

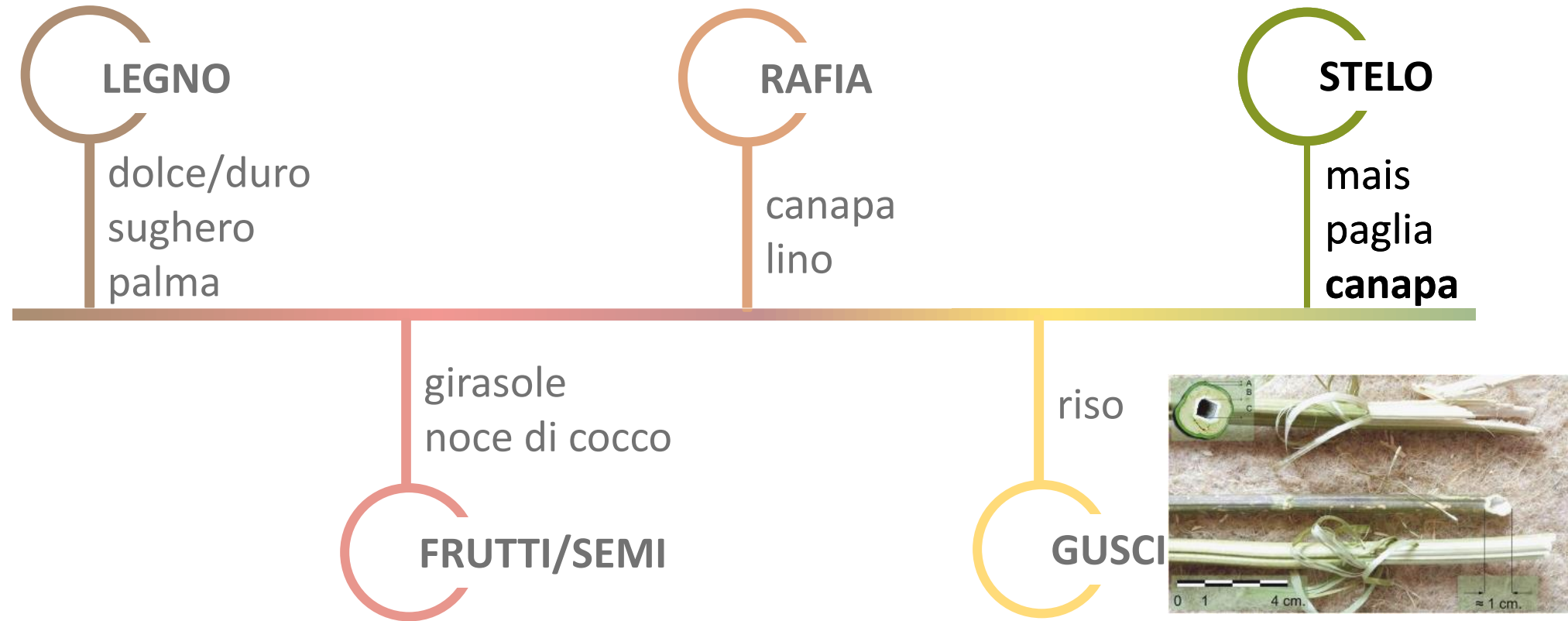
Utilizzo sostenibile di materiali e energia.



# Biomasse utilizzate nei materiali per l'edilizia



# Biomasse utilizzate nei materiali per l'edilizia





**CALCECANAPULO**

## PRODUZIONE



Canapulo



Calce



Acqua

## CARATTERISTICHE



Sostenibilità



Traspirabilità



Proprietà  
isolanti

## TECNOLOGIE DI APPLICAZIONE



Blocchi  
prefabbricati

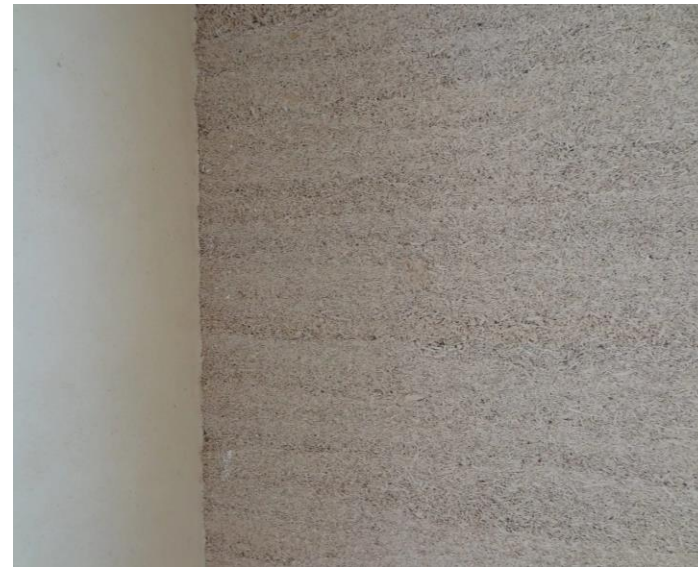


Pannelli  
prefabbricati



Intonaci  
(tecnologia a  
spruzzo)

# Esempi di utilizzo del calcecanapulo



# Blocchi prefabbricati in calcecanapulo

Esistono diverse ricette e la scelta dipende dal tipo di applicazione.



**330** 330 kg/m<sup>3</sup>

canapulo  
calce  
acqua  
microrganismi

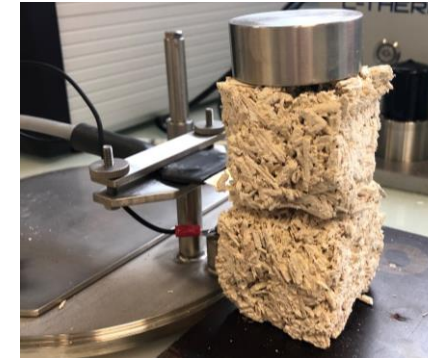
**500** 500 kg/m<sup>3</sup>

canapulo  
calce  
acqua  
microrganismi

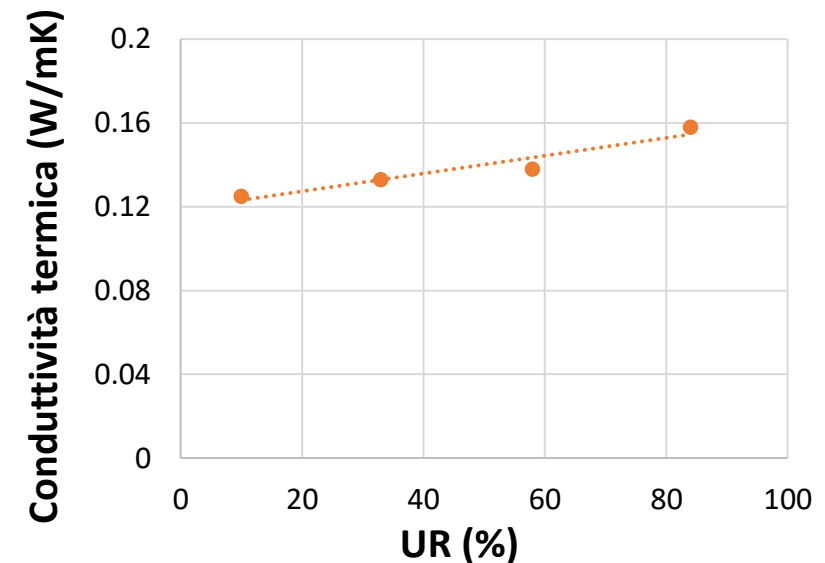
# Blocchi prefabbricati in calcecanapulo

Densità (kg/m <sup>3</sup> )	330
Porosità (%)	81.1
Trasmittanza termica (W/m <sup>2</sup> K)	0.22
<b>Conduttività termica (W/mK)</b>	<b>0.125</b>
<b>Calore specifico (J/kgK)</b>	<b>1593</b>
Resistenza al vapore (μ)	4.5
Assorbimento acustico (aw)	1- classe A
Resistenza a compressione (kPa)	0.4
Trazione al taglio con tassello affogato (kN)	2.067
Trazione ortogonale con tassello affogato (kN)	2.734
Reazione al fuoco	B – s1,d0

● 2:1 rapporto legante - aggregato



**Conducibilità  
termica  
metodo hot  
disk**

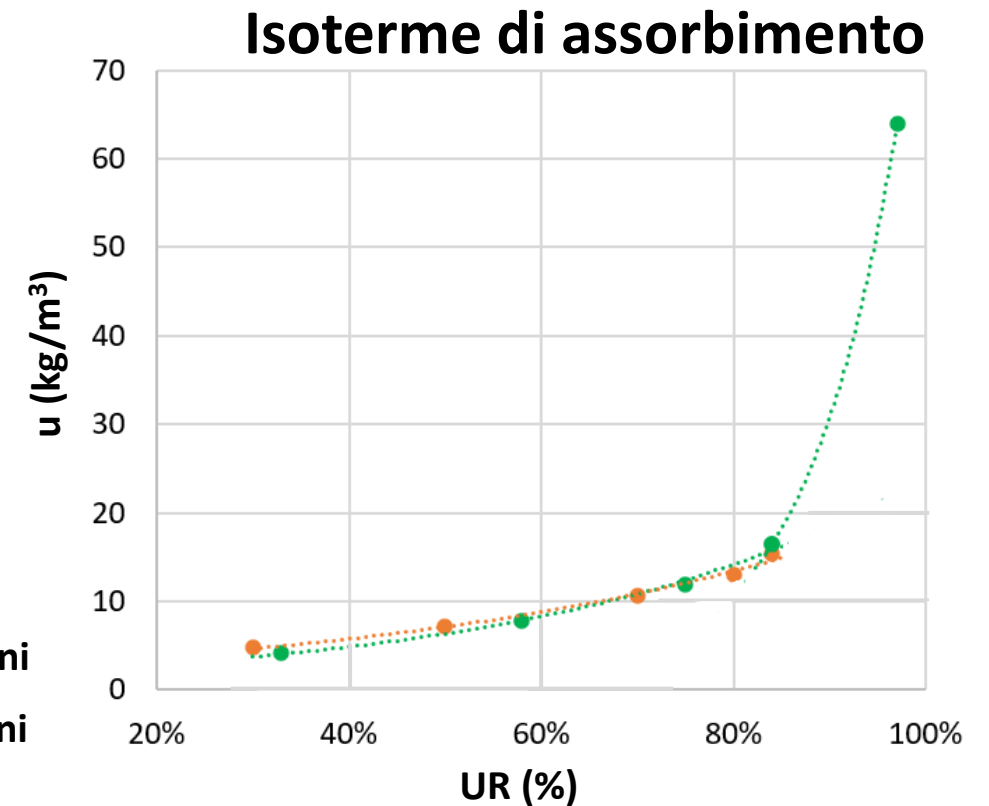


# Blocchi prefabbricati in calcecanapulo

Densità (kg/m <sup>3</sup> )	330
Porosità (%)	81.1
Trasmittanza termica (W/m <sup>2</sup> K)	0.22
<b>Conduttività termica (W/mK)</b>	<b>0.125</b>
<b>Calore specifico (J/kgK)</b>	<b>1593</b>
Resistenza al vapore (μ)	4.5
Assorbimento acustico (aw)	1- classe A
Resistenza a compressione (kPa)	0.4
Trazione al taglio con tassello affogato (kN)	2.067
Trazione ortogonale con tassello affogato (kN)	2.734
Reazione al fuoco	B – s1,d0

● 2:1 binder-to-aggregate ratio

● 0 anni  
● 3 anni



# Blocchi prefabbricati in calcecanapulo



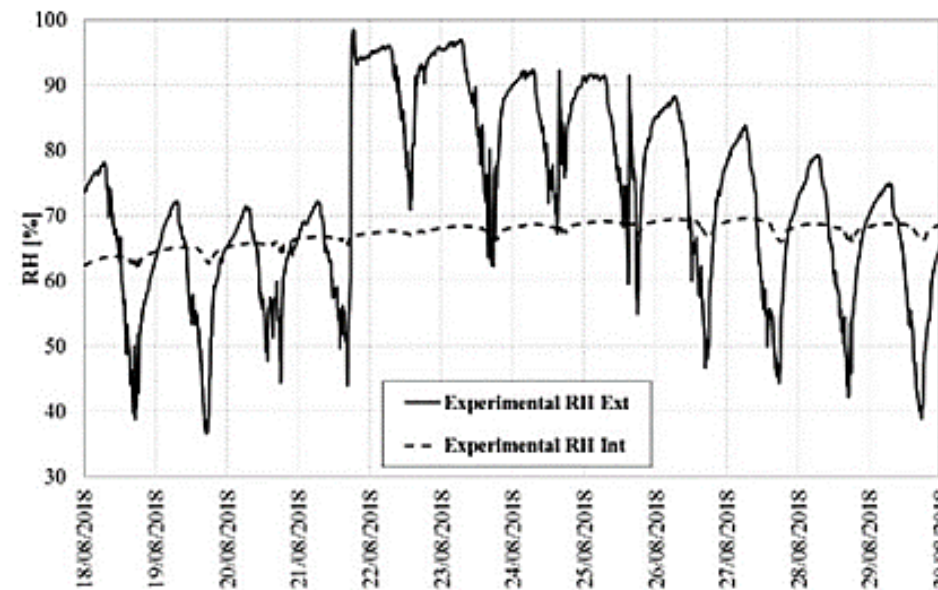
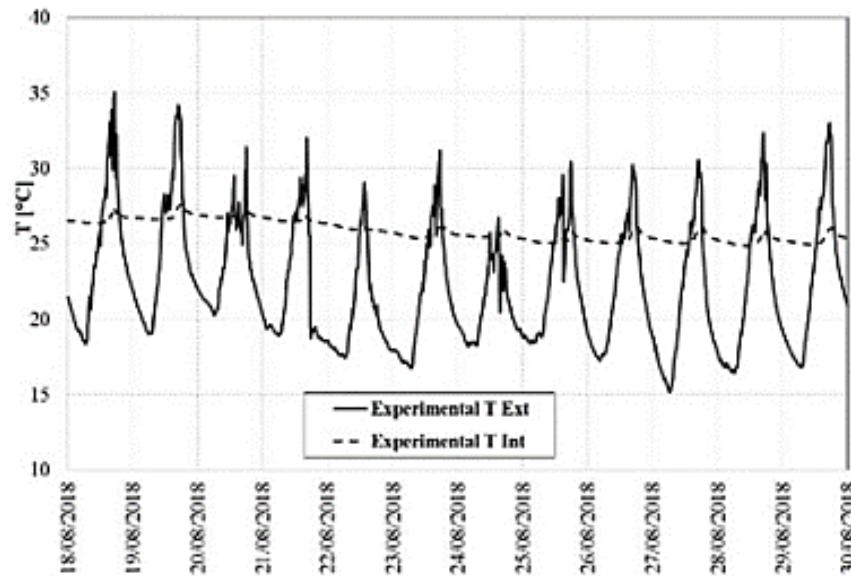
Periodo di monitoraggio: Ago-Ott 2018 and 2021



Esposizione: Sud-Ovest o Sud-Est



Posizione: Serradifalco, Sicilia



Fonte dati: Aversa et al. (2021) Hemp-lime buildings: thermo-hygrometric behaviour of two case studies in North and South Italy. Energy and Buildings, 247, 111147, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111147>.

PAR 2017: [https://www.enea.it/it/Ricerca\\_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/edifici-nzeb/report-2017/rds-par2017-149.pdf](https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/edifici-nzeb/report-2017/rds-par2017-149.pdf)

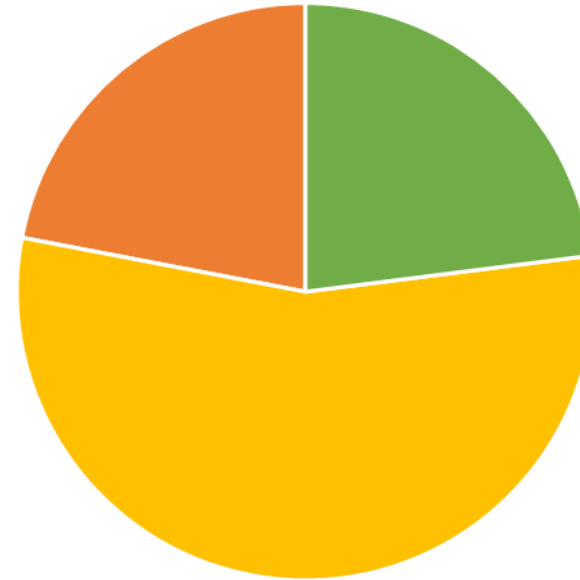


**CARBONATAZIONE**

# Legante dolomitico - composizione

## CARBONATI

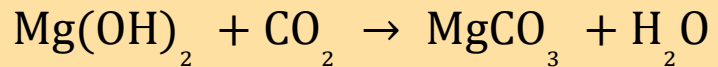
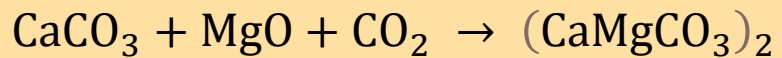
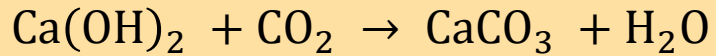
calcite	$\text{CaCO}_3$
dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
magnesite	$\text{MgCO}_3$



## OSSIDI

ossido di calcio	$\text{CaO}$
periclasi	$\text{MgO}$

## Reazioni di carbonatazione del legante

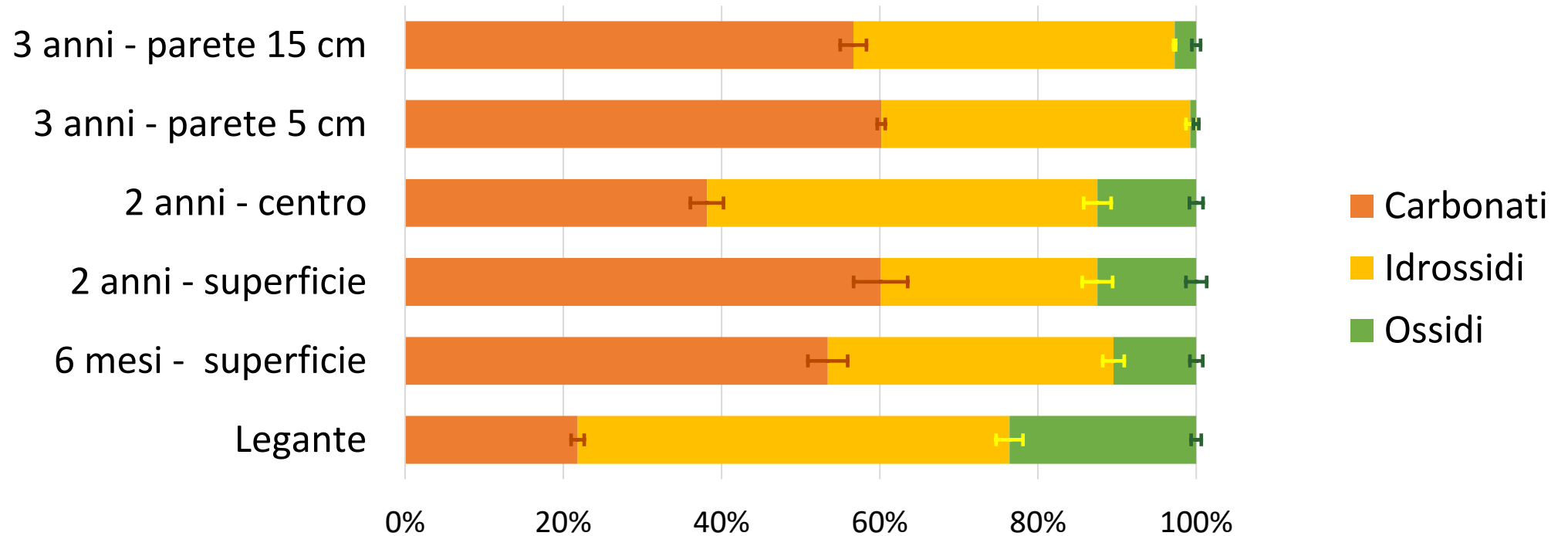


## IDROSSIDI

portlandite	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
brucite	$\text{Mg}(\text{OH})_2$

# Avanzamento della carbonatazione

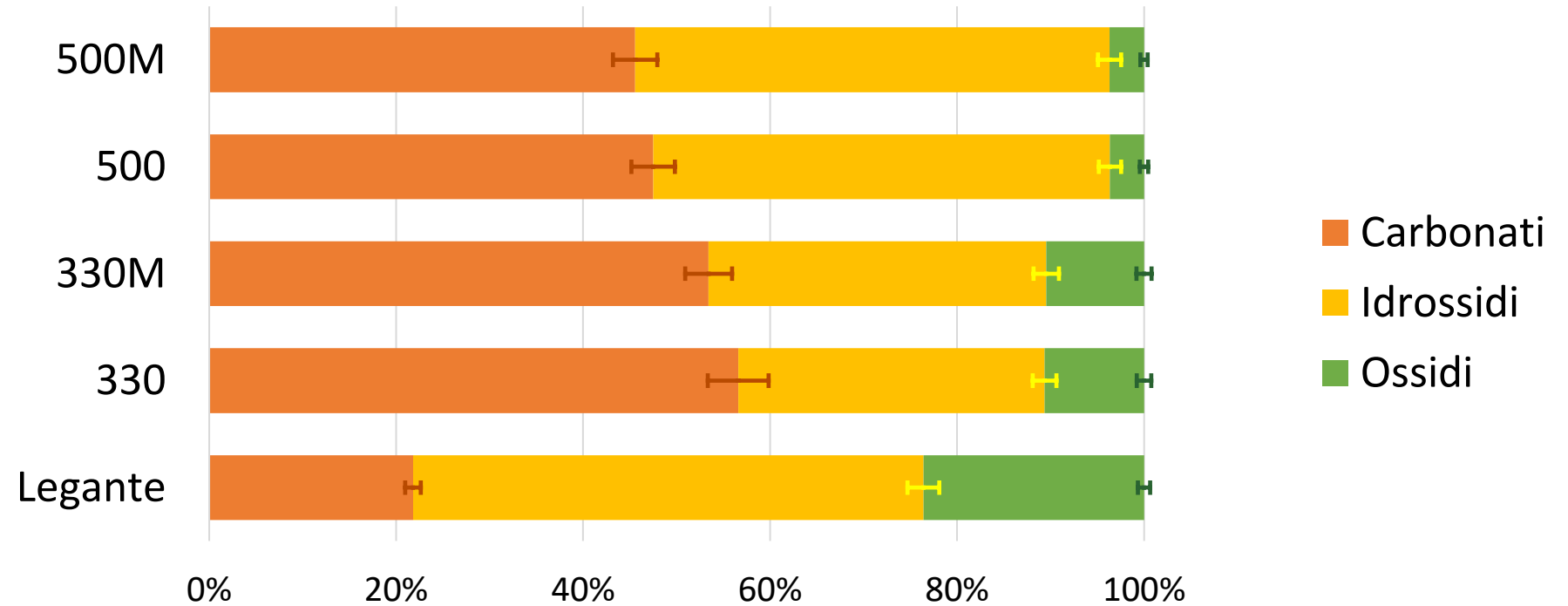
Avanzamento nel tempo e con la profondità



Tempo ↑  
Profondità ↓ } ⇒ Carbonati ↑ , Idrossidi ↓

# Avanzamento della carbonatazione

Superficie – 6 mesi



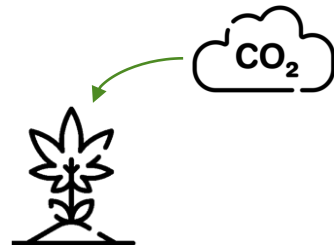
Densità ↓ ⇒ Carbonati ↑ , Idrossidi ↓

The background of the image is a dense, textured surface of crumpled, light-colored paper, possibly recycled paper or cardboard, creating a complex, organic pattern of folds and shadows.

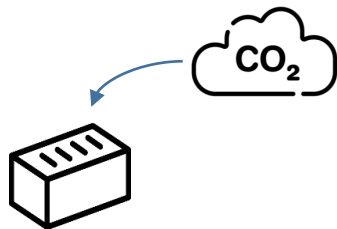
**LCA DI PRODOTTI PER EDILIZIA IN  
CANAPA E CALCE**



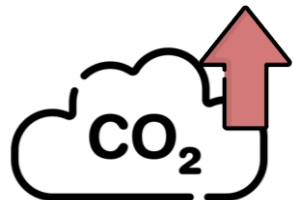
Analizzare il ciclo di vita di tre prodotti in canapa e calce al fine di calcolarne l'**Embodied Carbon**



Assorbimento di CO<sub>2</sub> biogenica *via fotosintesi*



Assorbimento di CO<sub>2</sub> fossile *via carbonatazione*

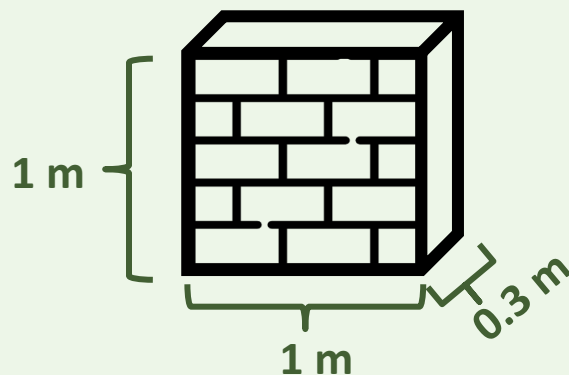


Emissioni di GHG lungo il ciclo di vita

# Oggetto di studio

## Unità dichiarata:

1 m<sup>2</sup> di parete con spessore 30 cm



## Ricetta:

Canapulo + Calce + Acqua + Microorganismi



### Blocchi prefabbricati

Densità: 330 kg/m<sup>3</sup> secco

Rapporto calce/canapulo: 2:1



### Riempimento

Densità: 175 kg/m<sup>3</sup> secco

Rapporto calce/canapulo: <1:1



### Intonaco a spruzzo

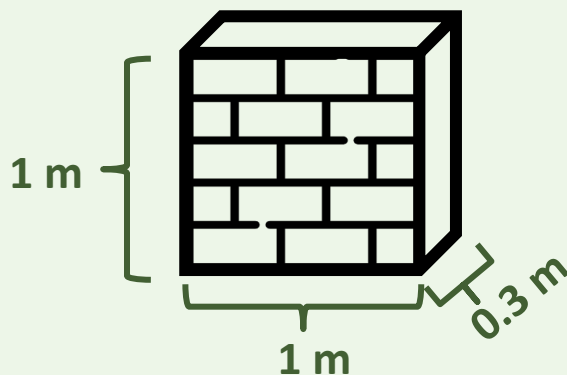
Densità: 200 kg/m<sup>3</sup> secco

Rapporto calce/canapulo: >1:1

# Oggetto di studio

## Unità dichiarata:

1 m<sup>2</sup> di parete con spessore 30 cm



## Ricetta:

Canapulo + Calce + Acqua + Microorganismi



### Blocchi prefabbricati

Densità: 330 kg/m<sup>3</sup> secco

Rapporto calce/canapulo: 2:1



### Riempimento

Densità: 175 kg/m<sup>3</sup> secco

Rapporto calce/canapulo: <1:1



### Intonaco a spruzzo

Densità: 200 kg/m<sup>3</sup> secco

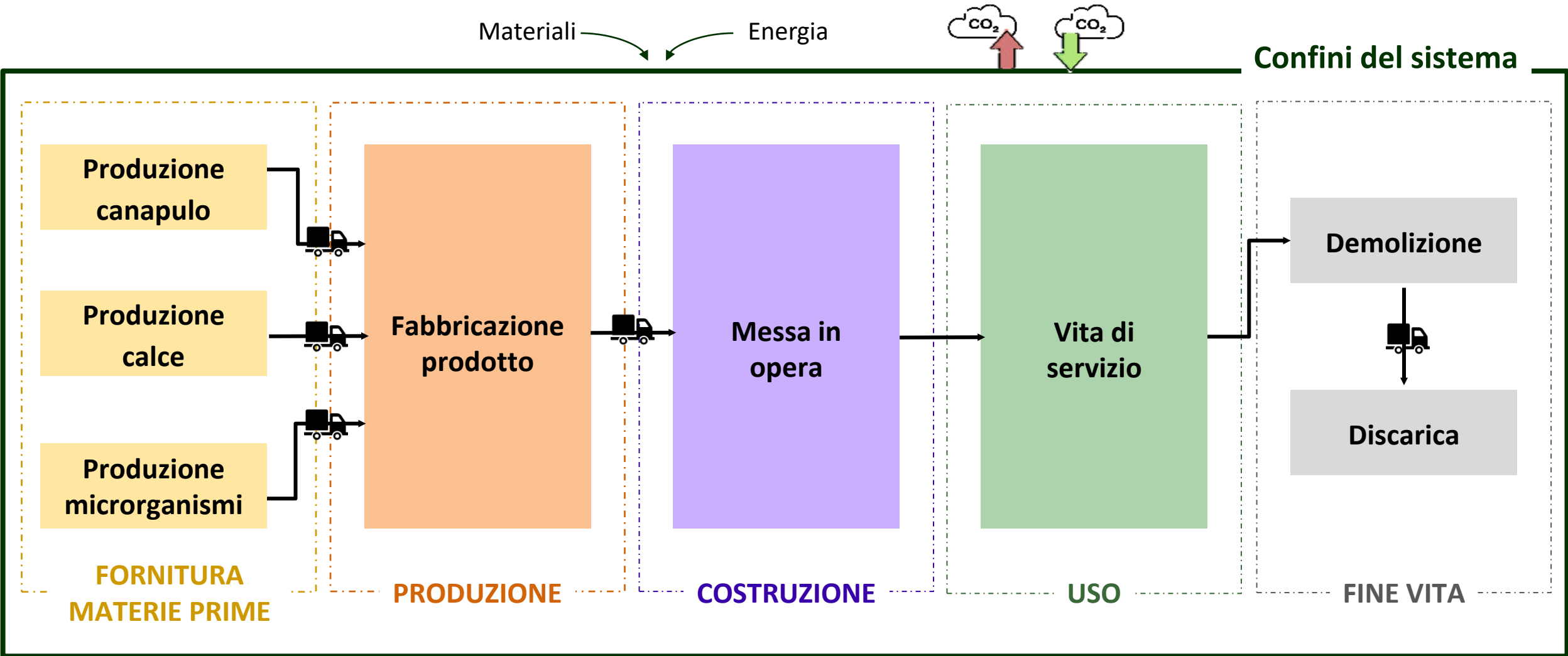
Rapporto calce/canapulo: >1:1

# Fasi del ciclo di vita

Fase di Produzione			Fase di Costruzione		Fase di Uso							Fase di Fine vita			
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4
Produzione delle materie prime	Trasporto al sito di produzione	Fabbricazione del prodotto	Trasporto al cantiere	Messa in opera	Utilizzo	Manutenzione	Riparazione	Sostituzione	Ristrutturazione	Consumo di energia durante l'uso	Consumo di acqua durante l'uso	Dismissione e demolizione	Trasporto dei rifiuti di demolizione	Trattamento dei rifiuti da demolizione	Smaltimento dei rifiuti da demolizione
✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓

Norma di riferimento: EN 15804-2012+A2-2019

# Confini del sistema



# Analisi di inventario: A1

## A1 – Produzione delle materie prime

Produzione  
canapulo

Produzione  
calce

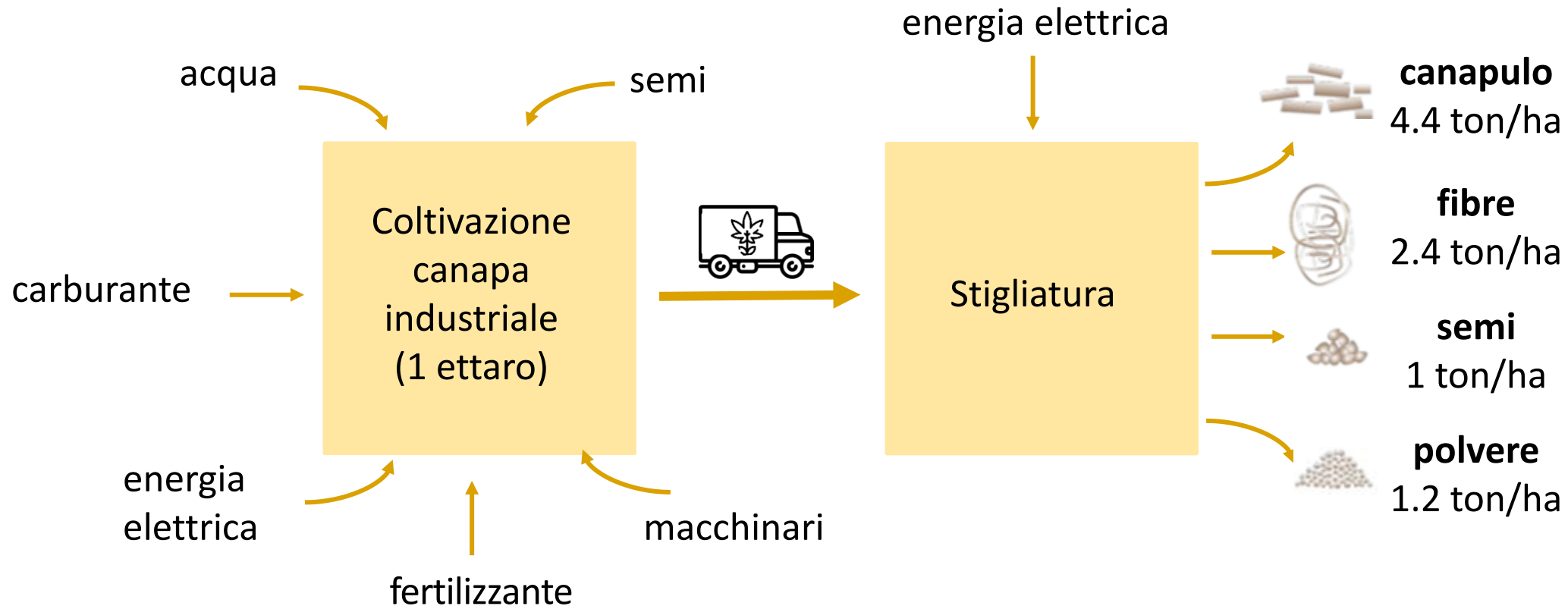
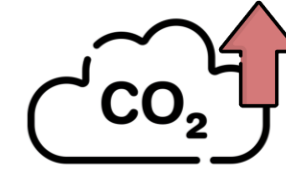
Produzione  
microrganismi



# Analisi di inventario: A1 – produzione canapulo

## Allocazione economica

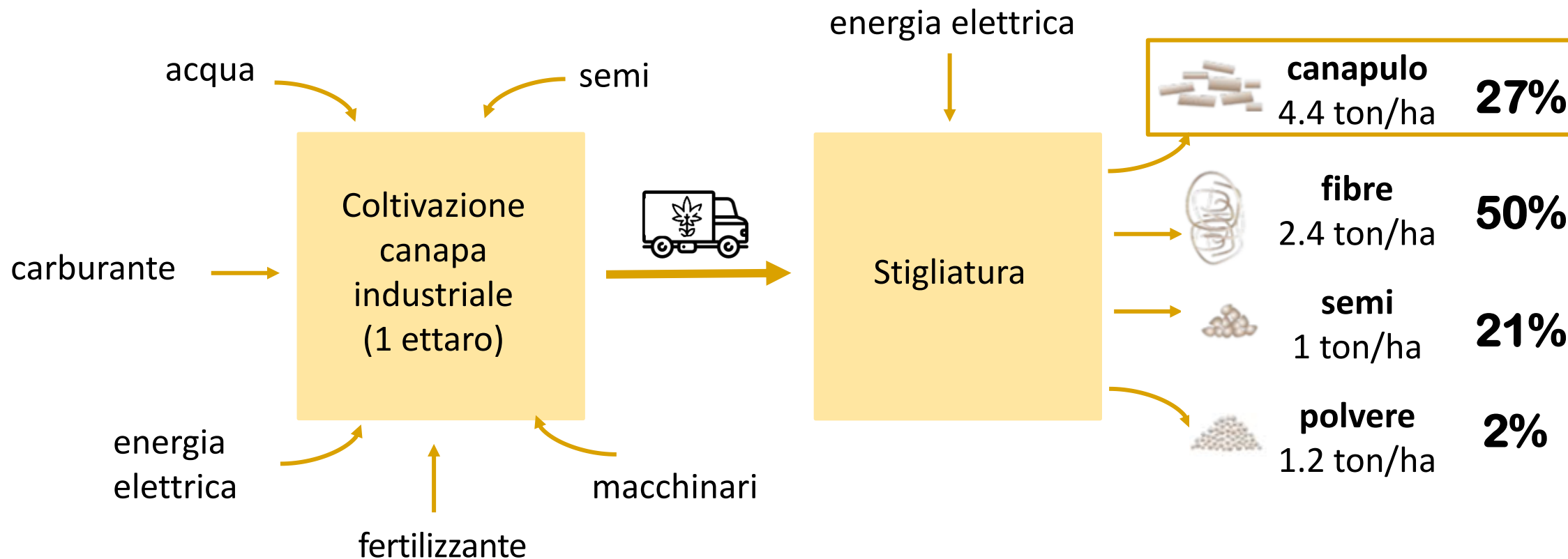
$$\lambda_c = \frac{\epsilon_c m_c}{\epsilon_c m_c + \epsilon_f m_f + \epsilon_c m_c + \epsilon_f m_f}$$



# Analisi di inventario: A1 – produzione canapulo

## Allocazione economica

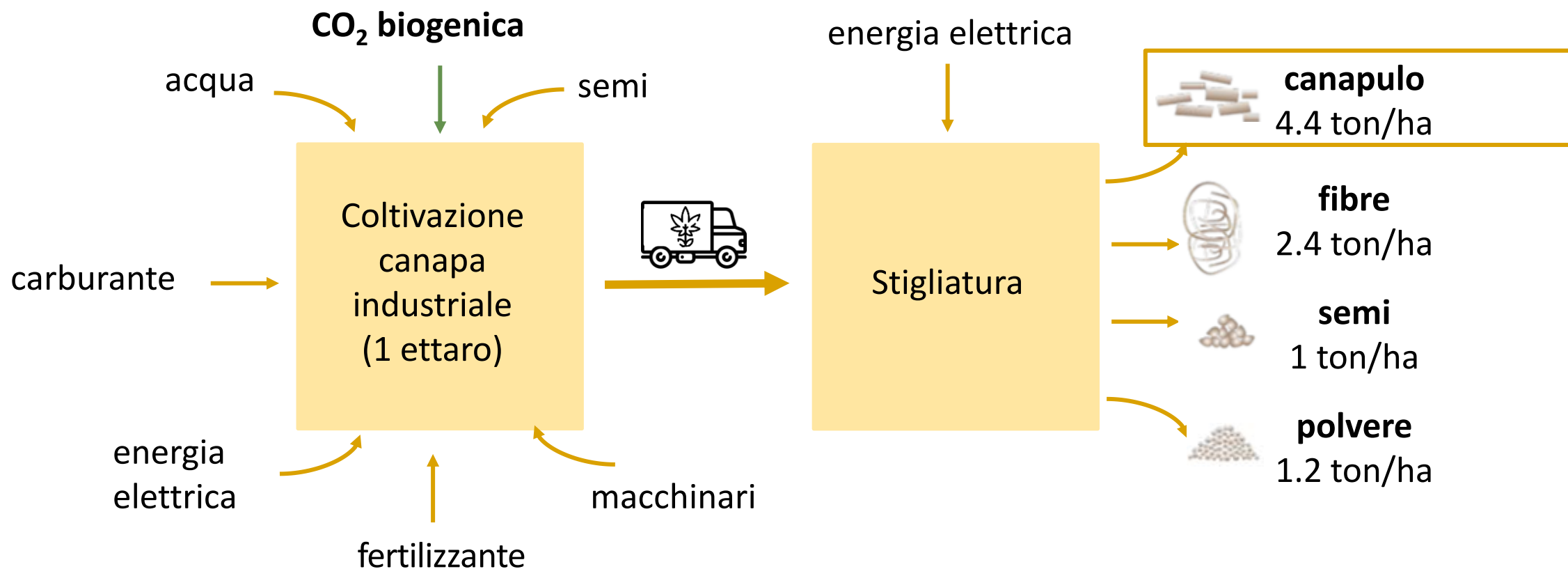
$$\lambda_c = \frac{\epsilon_c m_c}{\epsilon_c m_c + \epsilon_f m_f + \epsilon_c m_c + \epsilon_f m_f}$$



# Analisi di inventario: A1 – produzione canapulo

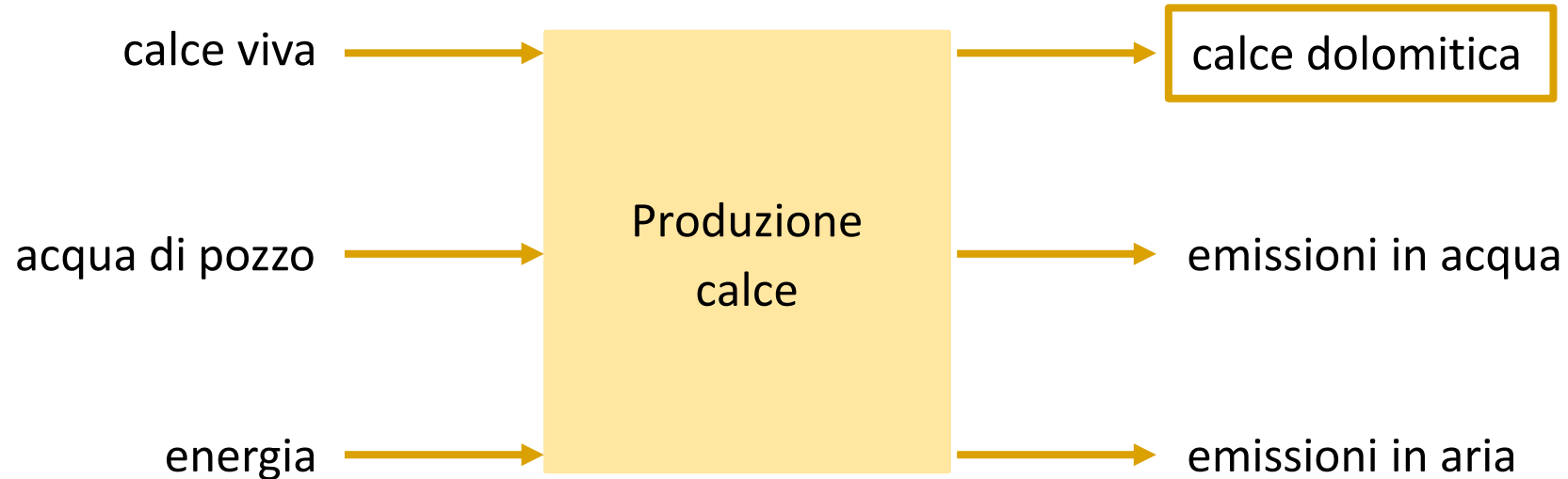
$$0.5 \text{ kg}_C / \text{kg}_{\text{massa secca}} = 1.84 \text{ kg}_{\text{CO}_2} / \text{kg}_{\text{massa secca}}$$

CO<sub>2</sub> assorbita mediante fotosintesi  
Allocata fisicamente



# Analisi di inventario: A1 – produzione calce

## A1 – Produzione delle materie prime



# Analisi di inventario: A1 – microorganismi

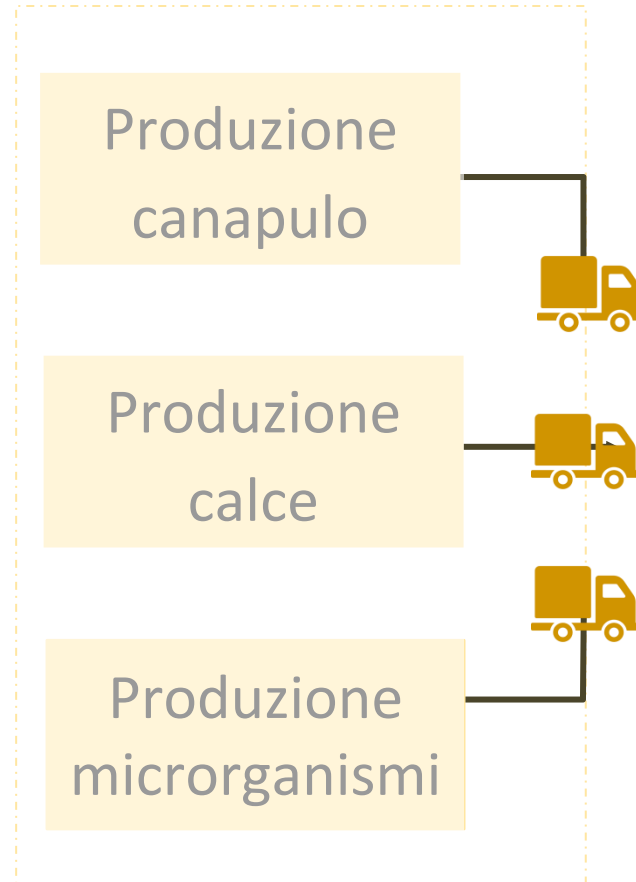
## A1 – Produzione delle materie prime



# Analisi di inventario: A2

A1 – Produzione delle materie prime

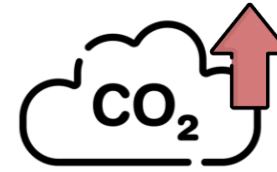
**A2 – Trasporto al sito produttivo**



# Analisi di inventario: A2



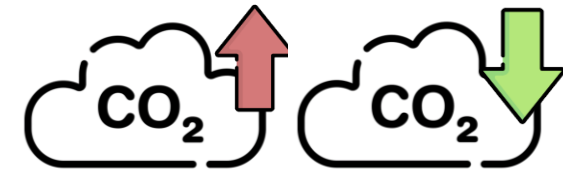
**A2 – Trasporto al sito produttivo**



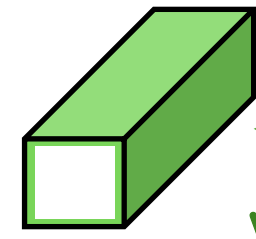
Materia prima	Località	Distanza [km]	Mezzo di trasporto	Imballaggio
Calce dolomitica	Italia	300	Autocisterna 30 ton – EURO5	No
Canapulo	Francia	750	Bilico 12 ton – EURO5	No
Microrganismi	Italia	100	Camion (3.5-7.5 ton) – EURO5	Cisterna (30kg)

# Analisi di inventario: A3

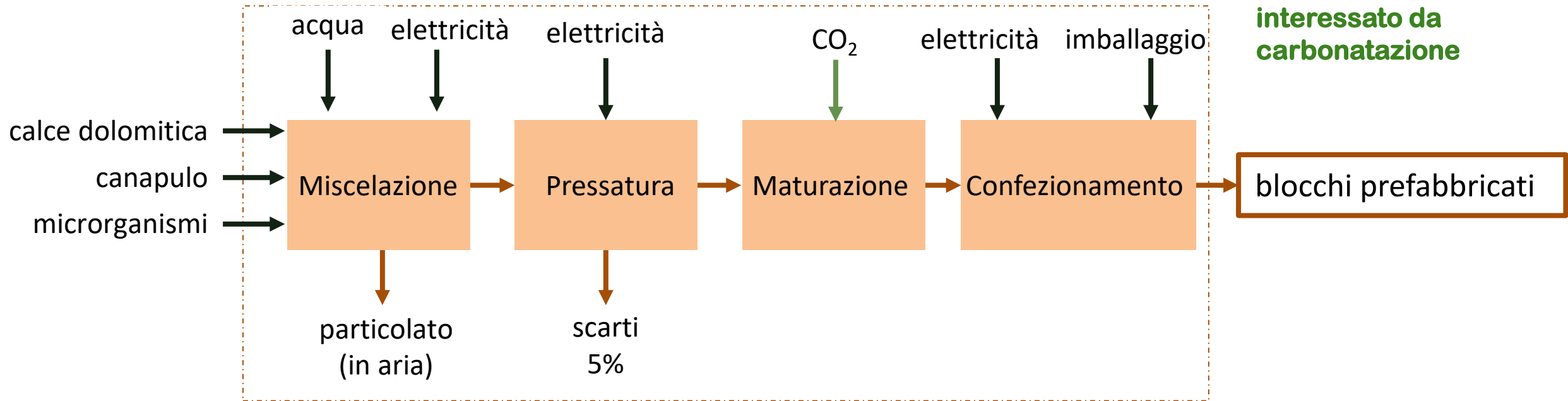
## A3 - produzione blocchi prefabbricati



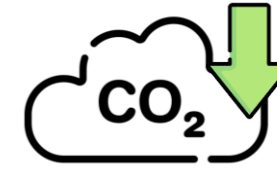
### Carbonatazione



Volume interessato da carbonatazione



## Carbonatazione



$$\text{Costituente carbonatato} = D_c \cdot \text{parte reattiva} \cdot \text{densità legante} \cdot \text{volume}$$

EN ISO 16757:2017

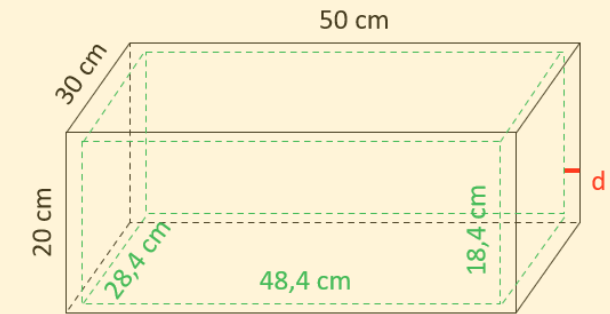
- **Profondità di carbonatazione**  $d = k\sqrt{t} = 8 \text{ mm}$

$k$  = valore legato alle condizioni di servizio del materiale [mm/anno<sup>0.5</sup>]

→ Per applicazioni in edifici al riparo dalla pioggia  $k=11$

$t$  = tempo [anni]

→ La fase di maturazione dura 6 mesi  $t=0.5$



- **Parte reattiva**

Indica la parte reattiva di legante per la reazione di carbonatazione

→ In base alla composizione del legante dolomitico è pari a circa l'88%

- **Grado di carbonatazione**

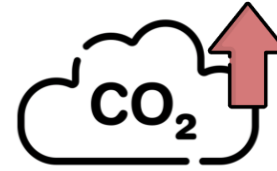
Indica la percentuale di legante contenuto nel volume interessato da carbonatazione che effettivamente carbonata

→ Per applicazioni in edifici al riparo dalla pioggia  $D_c = 75\%$

- **Densità legante**

Indica la quantità di legante per m<sup>3</sup> di prodotto [kg/m<sup>3</sup>]

→ Circa 0.5 kg CO<sub>2</sub> assorbita per blocco



**A4 – trasporto al sito di installazione**

**A5 – messa in opera dei blocchi**

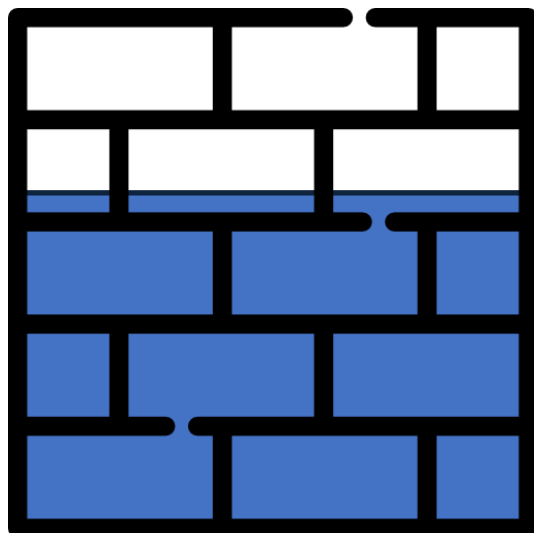
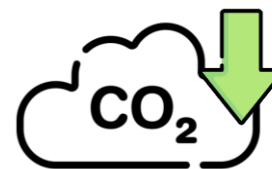
- Messa in opera manuale
- Smaltimento imballaggi



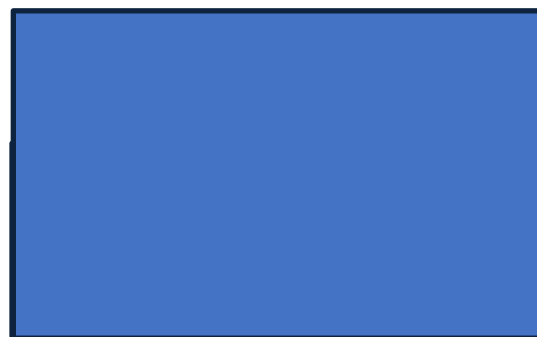
# Analisi di inventario: B1

B1 – utilizzo

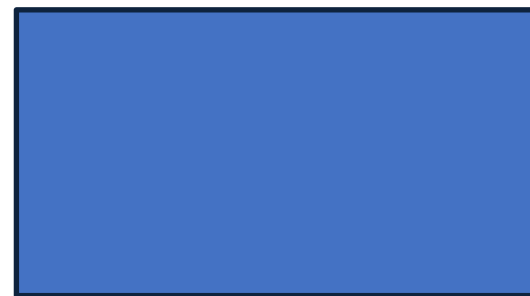
Carbonatazione



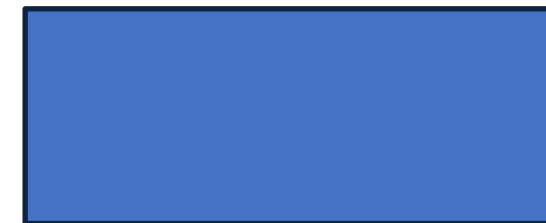
Unità dichiarata  
=  
1 m<sup>2</sup> di muro



Contenuto di calce  
→ 67% in massa



Parte reattiva  
→ 88% in massa



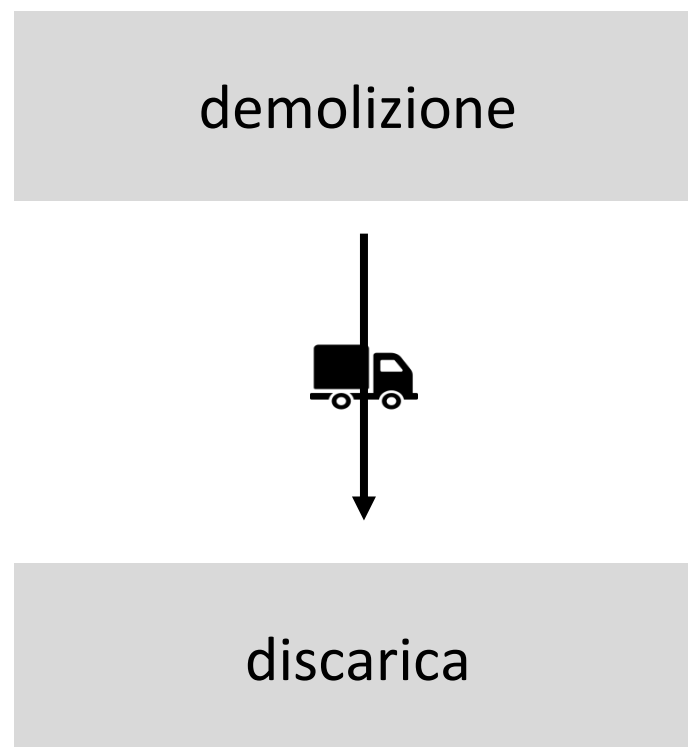
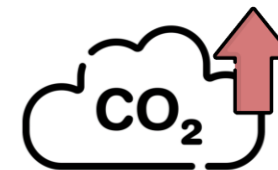
Massimo grado di  
carbonatazione  
→ 75% in massa

$$\text{Costituente carbonatato} = D_c \cdot \text{parte reattiva} \cdot \text{densità legante} \cdot \text{volume}$$

$$d = k\sqrt{t} = 11 \text{ cm} \quad 0.091 \text{ m}^3 \text{ per faccia}$$

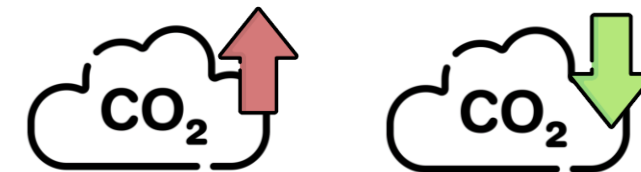
# Analisi di inventario: C1 – C4

C1 – C4 fine vita



# Analisi di inventario: C1 – C4

C1 – C4 fine vita



demolizione



CO<sub>2</sub>

**Carbonatazione**

discarica

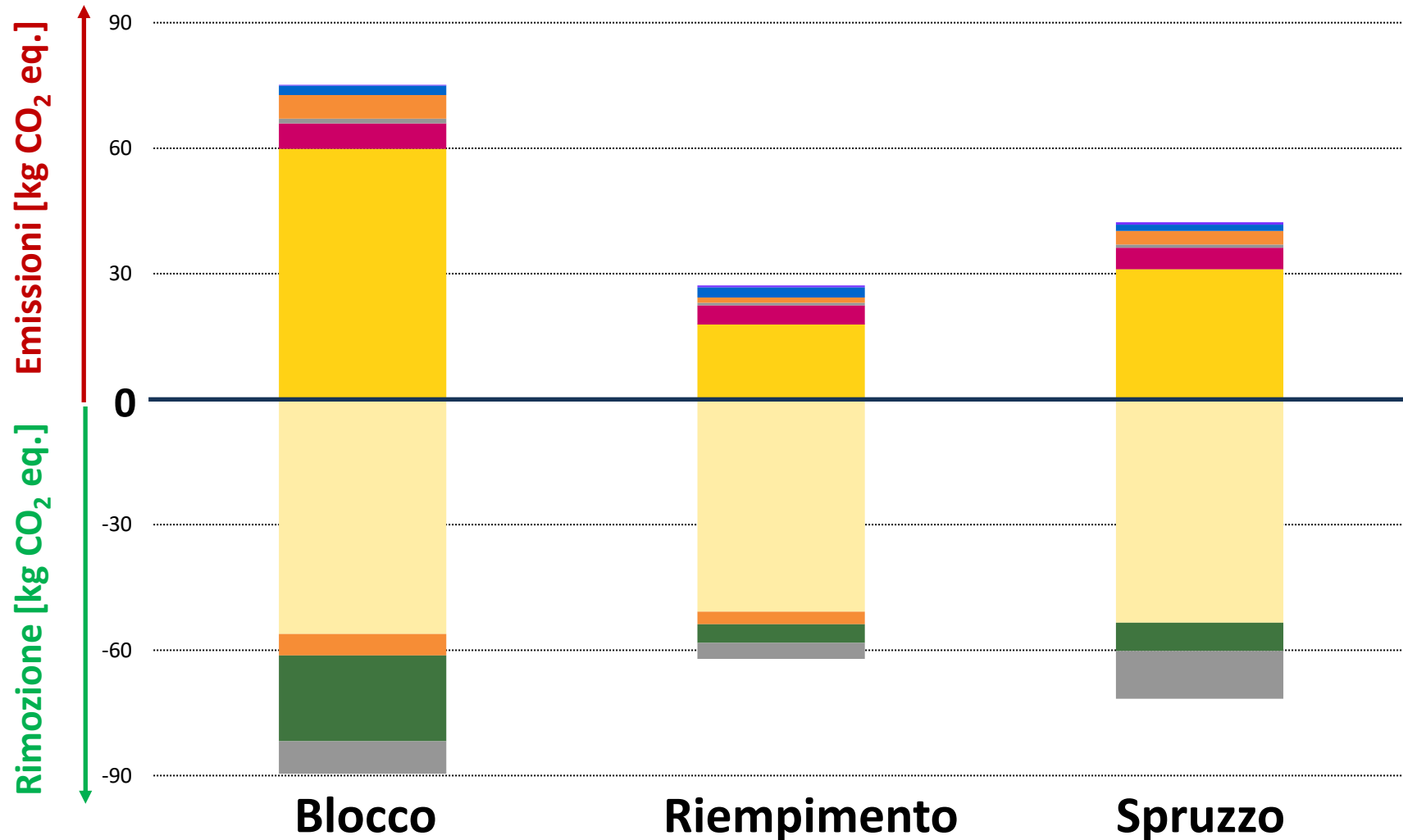


## Global Warming Potential

Fattori di caratterizzazione: **IPCC 2013 GWP 100**

Unità di misura: **kg CO<sub>2</sub> eq**

# Risultati



- Produzione canapulo
- Produzione calce
- Produzione microorganismi
- Trasporto materie prime
- Fabbricazione
- Trasporto al cantiere
- Costruzione
- Uso
- Fine vita

# Laboratorio di Materiali per l'Energia e l'Ambiente

Prof. Giovanni Dotelli



Dott. Chiara Moletti



Dott. Valeria Arosio



@mat4en2\_polimi

Mat4En2 Lab PoliMi

<https://mat4en2.cmic.polimi.it>

