L'IMPORTANZA DELLA FILIERA PER UN EDILIZIA SOSTENIBILE

Il calcestruzzo nelle strategie per la transizione ecologica

Altamura (BA) | 24 Maggio 2023

La riduzione dell'impronta di carbonio nelle costruzioni in calcestruzzo

Giovanni Plizzari, Adriano Reggia

giovanni.plizzari@unibs.it, adriano.reggia@unibs.it

OIBA ORDINE DEGLI INGEGNERI della Provincia di Bari

Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Bari

Collegio Provinciale Geometri e Geometri Laureati di Bari

Con il contributo incondizionato di:

MAGESTE CAVE & CALCESTRUZZI

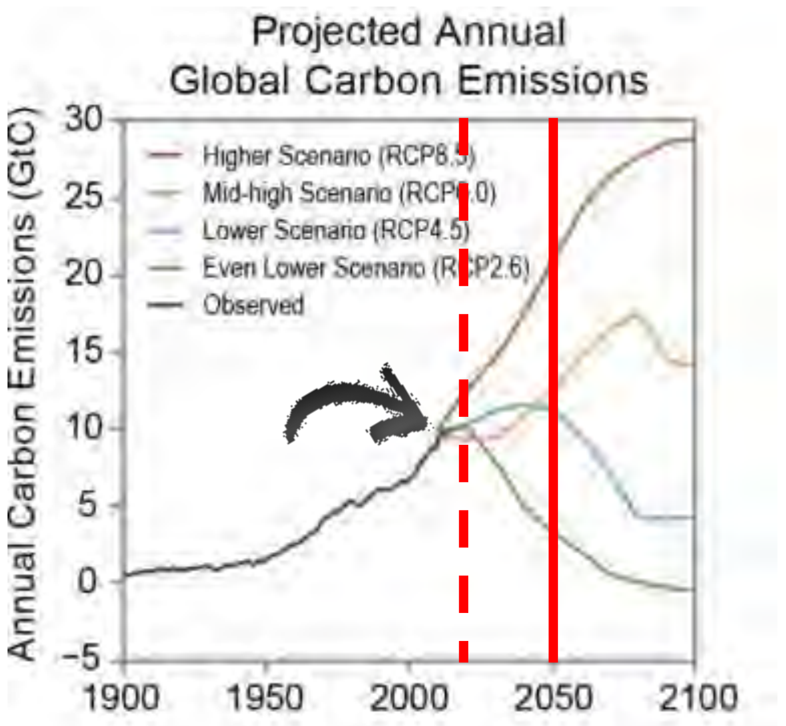
Italcementi HEIDELBERGCEMENT Group

MAPEI

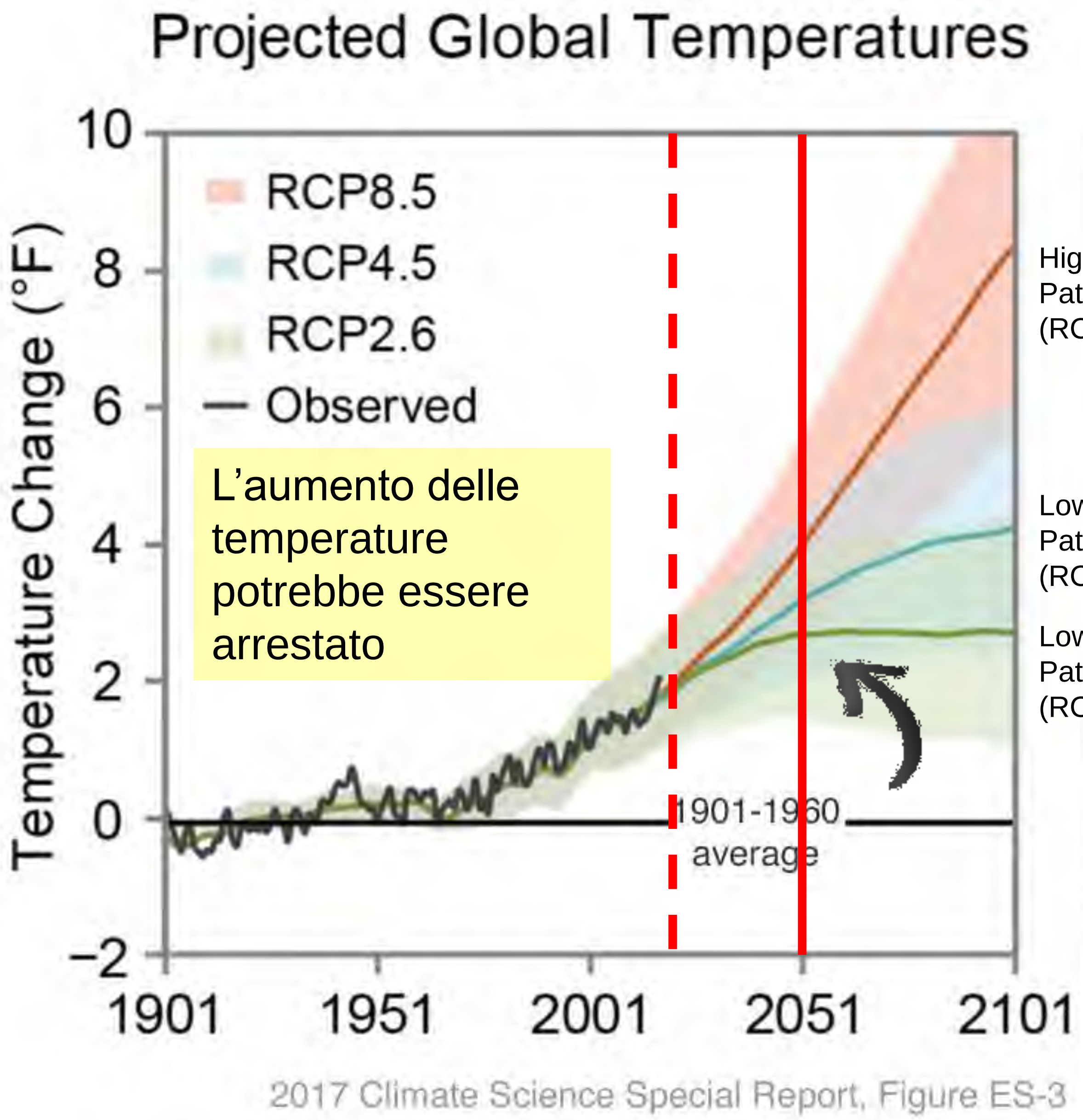
Introduzione

Climate change.

Perché il 2050 è così importante?



Se la riduzione delle emissioni iniziasse ora



Highest Emission Pathway (RCP 8.5)

Lower Emission Pathway (RCP 4.5)

Lowest Emission Pathway (RCP 2.6)

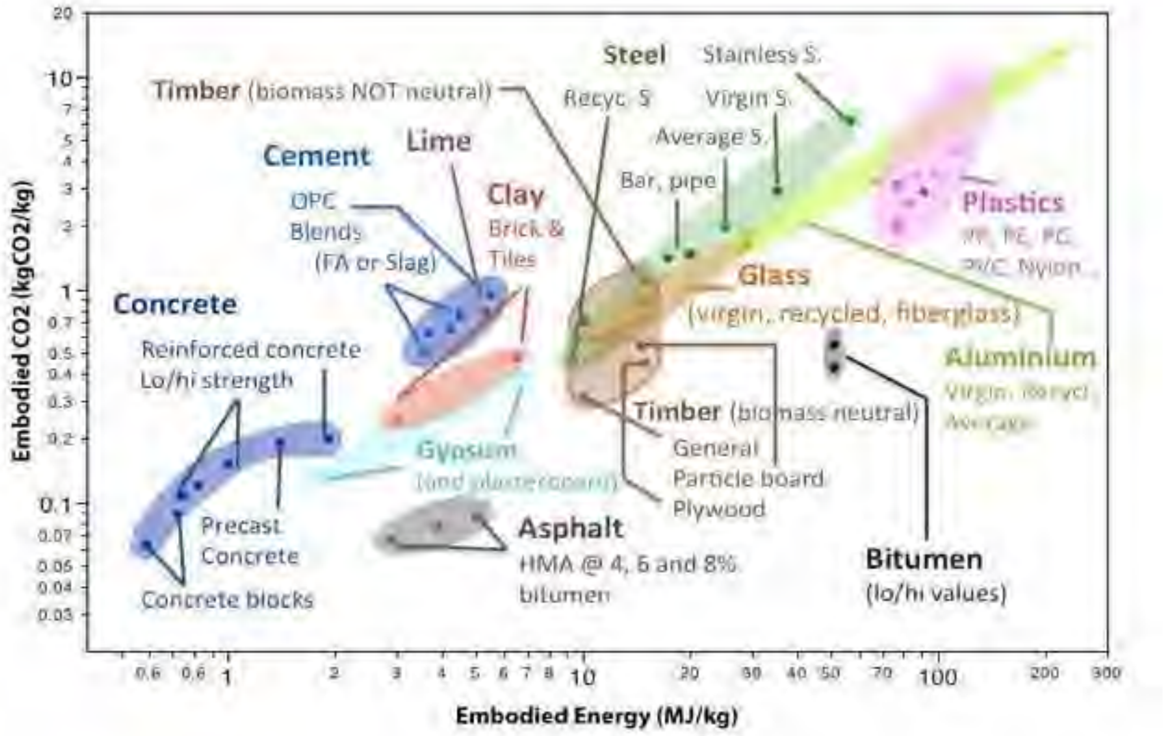
EPFL

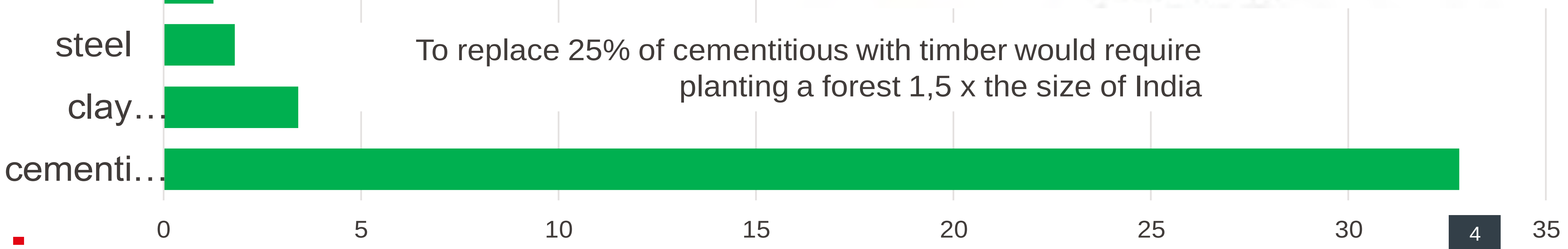
Concrete + Mortar are irreplaceable

Cementitious materials make up >50% of everything we produce.

It is only for this reason they account for 8% of CO_2 annually.

Low intrinsic environmental impact

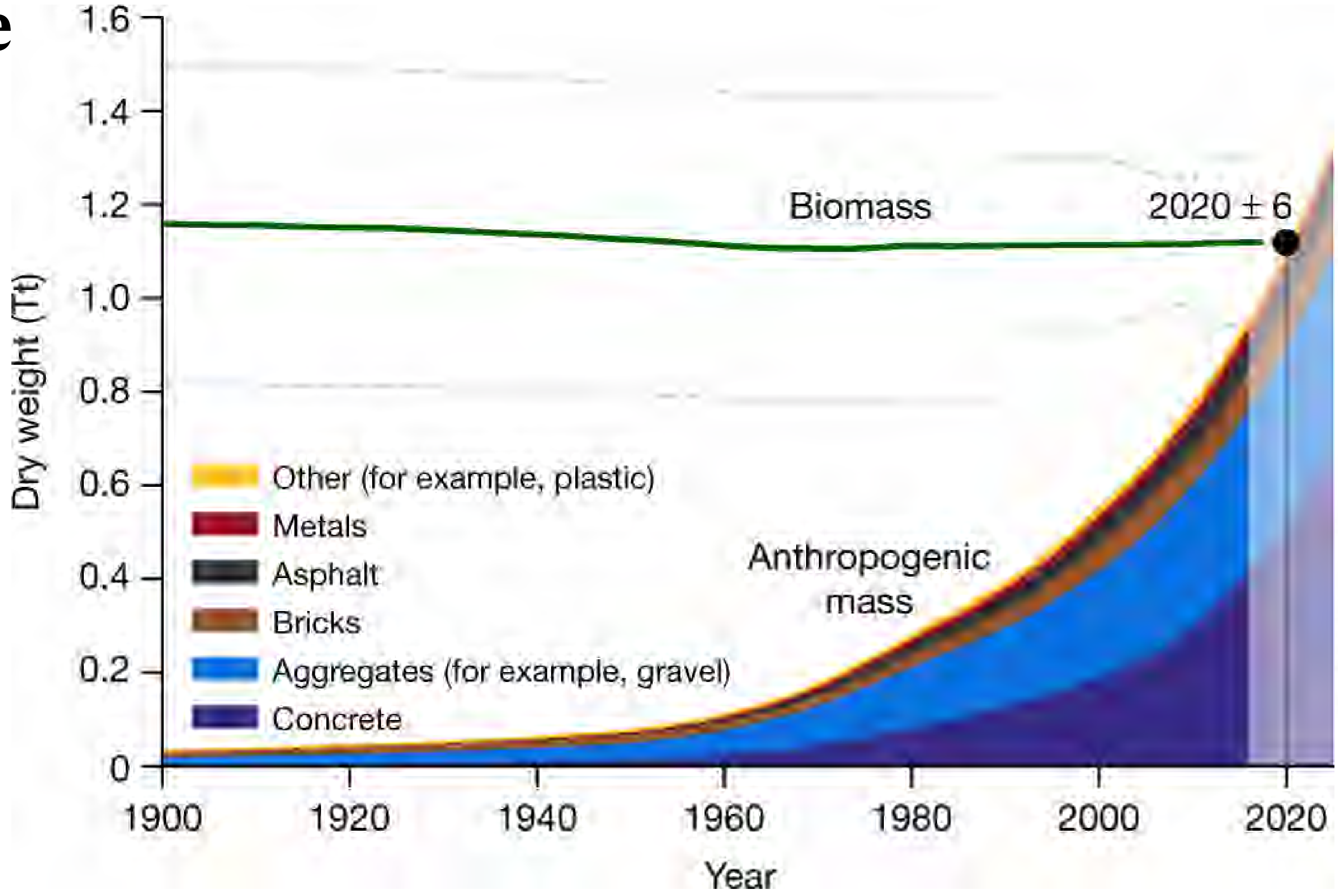




To replace 25% of cementitious with timber would require planting a forest 1,5 x the size of India

Elhacham, E., Ben-Uri, L., Grozovski, J., Bar-On, Y. M., & Milo, R. (2020). Global human-made mass exceeds all living biomass. Nature, 588(7838), 442-444.

nature



Ultimate Limit State & Climate Limit State.

Ultimate limit states (ULS) are those associated with collapse or failure, and generally govern the strength of the structure or structural members because they correspond to the maximum load carrying resistance of such member.

Climate limit states (CLS) are those associated with collapse of the environment, and generally govern the temperature of the planet because they correspond to the maximum carbon dioxide resistance of such planet.

How to achieve the Climate Limit State?

- ❑ Use low-carbon materials
- ❑ Reduce the not-renewable energy for the production
- ❑ Reduce the transportation costs
- ❑ Enhance the durability (for the reduction of the maintenance cost)
- ❑ Reduce the material use

Climate Limit State.

Buildings, infrastructure & all built environment:

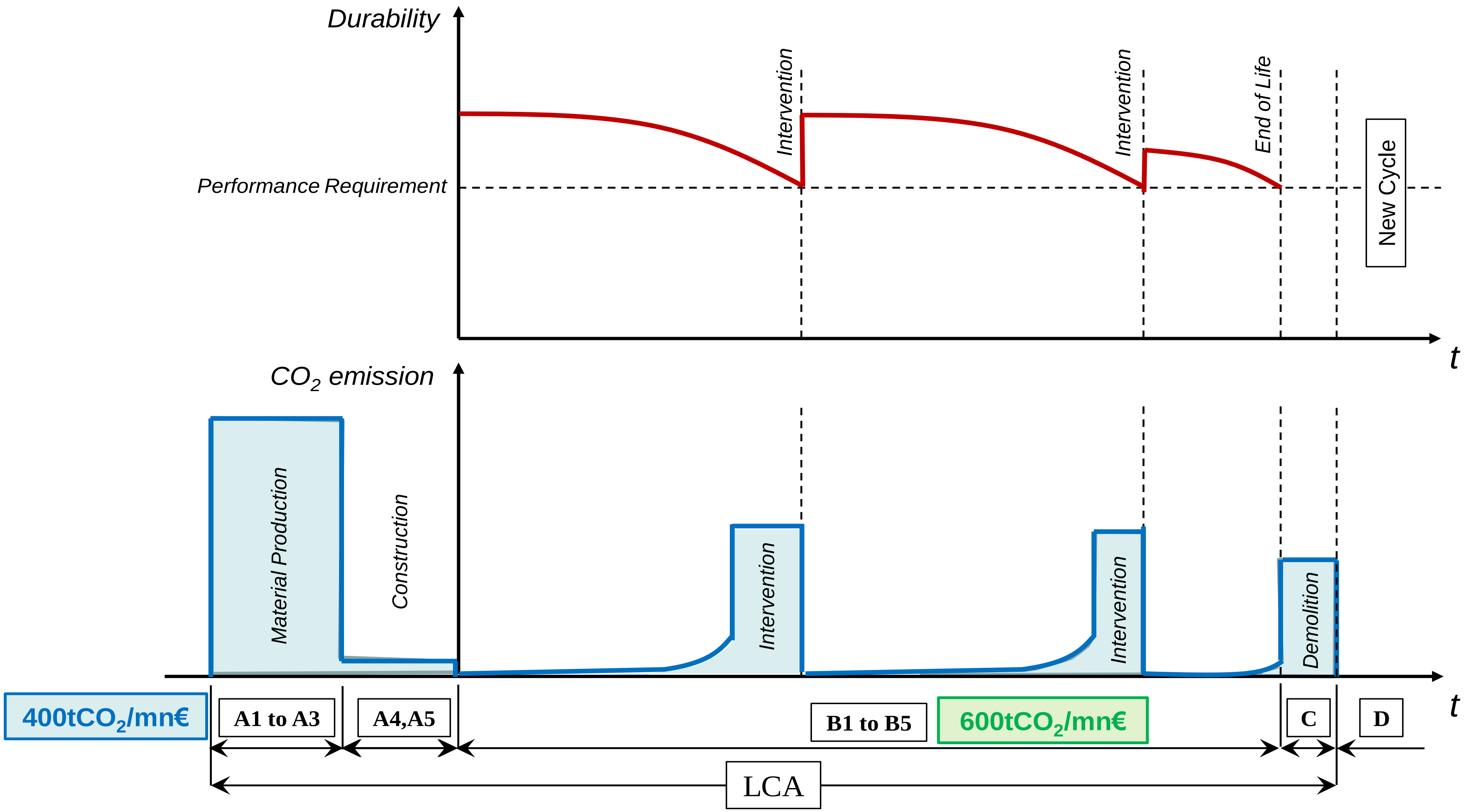
- ❑ should **ensure quality life** of people
- ❑ should **less harm** the environment
- ❑ should be **better prepared** for new conditions

they should be

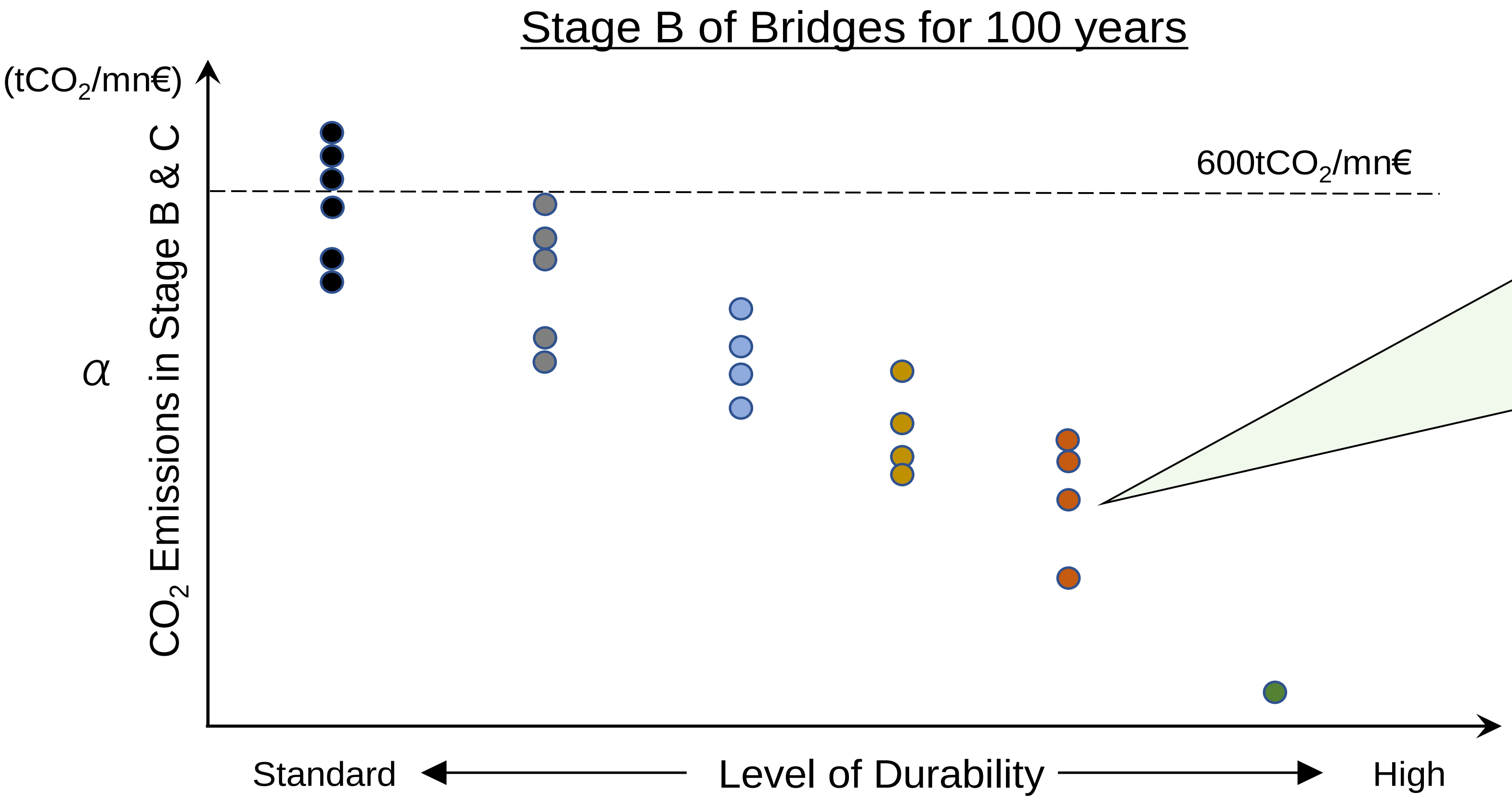
sustainable and **resilient**

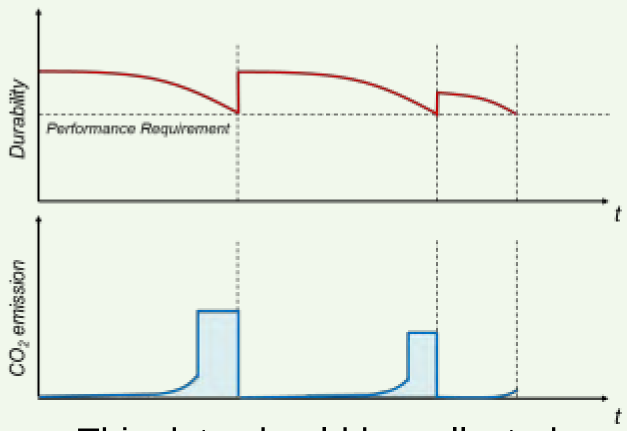
Impatti nel ciclo di vita

CO_2 Emissions in LCA



Conceptual Diagram of Durability Level VS CO_2 Emissions



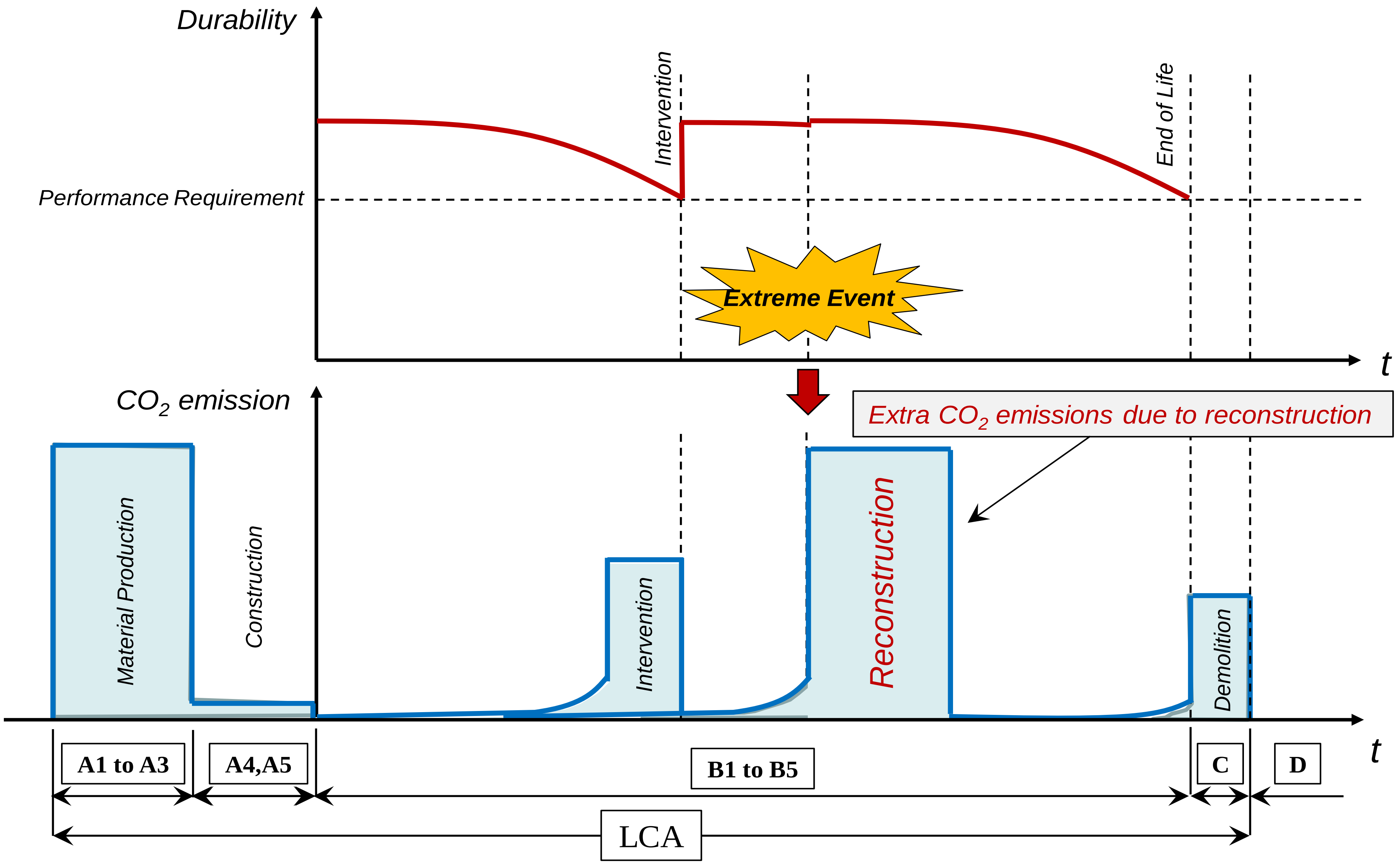


This data should be collected by all types of execution.

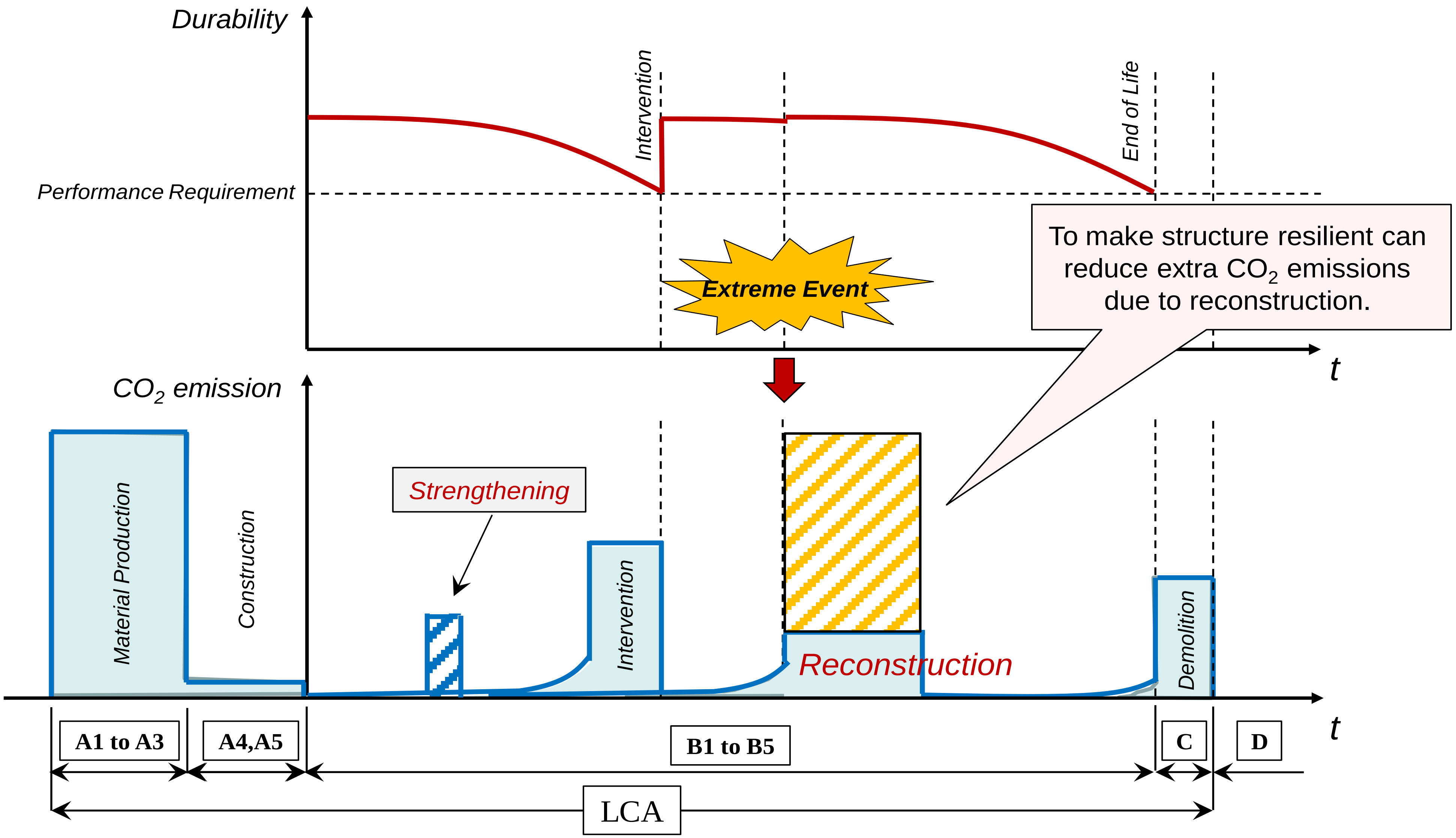
Resilient Concrete Structures Reduce Extra CO_2 Emissions by Reconstruction

- ✓ Reconstruction after disaster emits a lot of CO_2.
- ✓ To make structures resilient leads to reduction of extra CO_2 emission.

CO_2 Emissions due to Disaster in Stage B



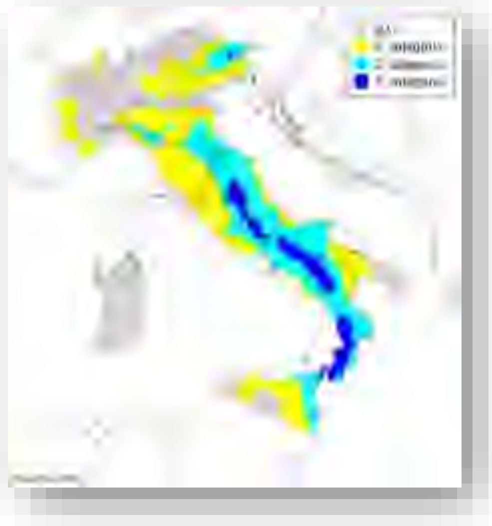
CO_2 Emissions due to Disaster in Stage B



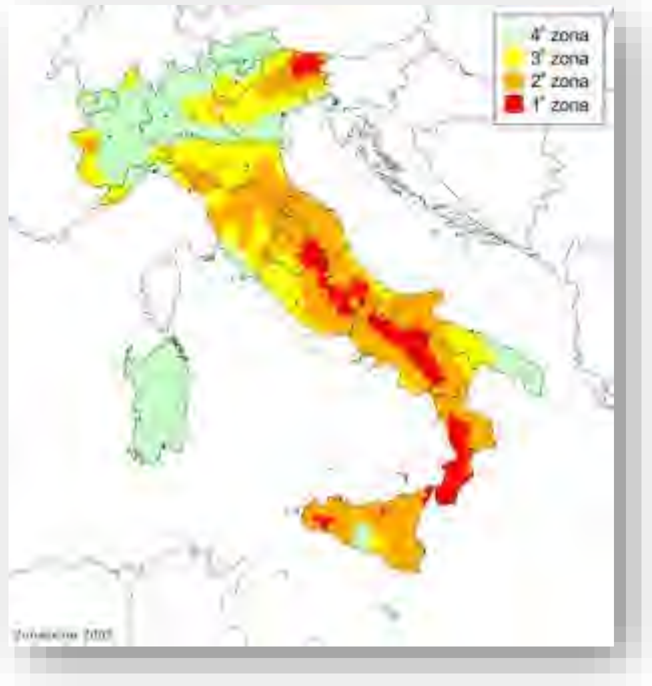
Sismic map development.

1984

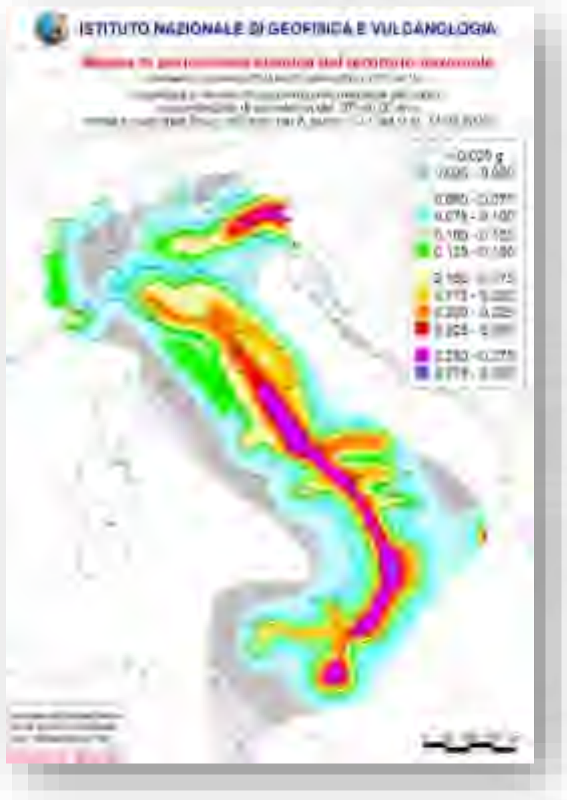
1998



2003



Today

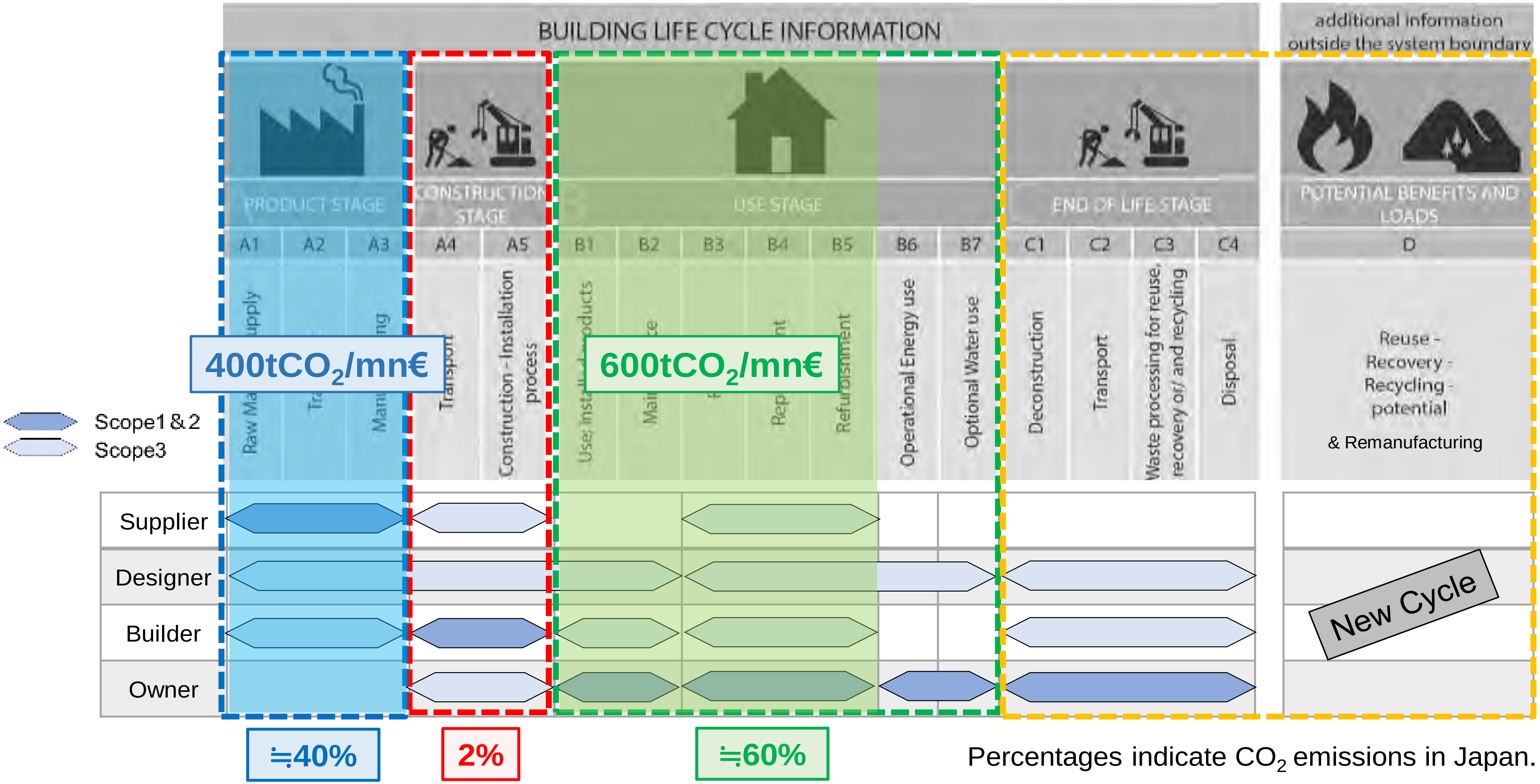


Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Come valutare gli impatti?

CO_2 Emission in Construction Supply Chain

EN15978



Percentages indicate CO_2 emissions in Japan.

Environmental performance of concrete structures

Key **environmental aspects**

- Use of **natural resources**
- Use of **energy**
- **Land** use
- Harmful **emissions** to air, water and soil
- **Noise** and **vibration**
- **Waste** generation
- Impact on **biodiversity** (species and ecosystems)

Economic performance of concrete structures

Key **economic aspects**:

- **Construction** cost
- **Operation** cost
- **Maintenance** cost
- **Refurbishment** cost
- **Demolition** cost
- **Recycling** or **reuse** cost
- Cost of **externalities**
- **Capital** cost
- Support of **local economy**

Evaluation of sustainability potential of concrete

- MC2020 provides the designer with a simple procedure/formula of how to evaluate and compare the potential of a certain concrete to be used in a sustainable manner:

$$\textbf{concrete sustainability potential (CSP)} = \frac{\textbf{performance} \cdot \textbf{service life}}{\textbf{environmental impact}} = \frac{f_{ck} \cdot t_{SL}}{GWP}$$

- Provisions rely on generally accepted input parameters already introduced in the MC2020 or available in international standards:
  - concrete performance, f_{ck} – measured/represented by compressive strength
  - concrete service life (durability), t_{SL} – determined by SLA
  - environmental impact, GWP – determined by applying a LCA based on ISO 14040

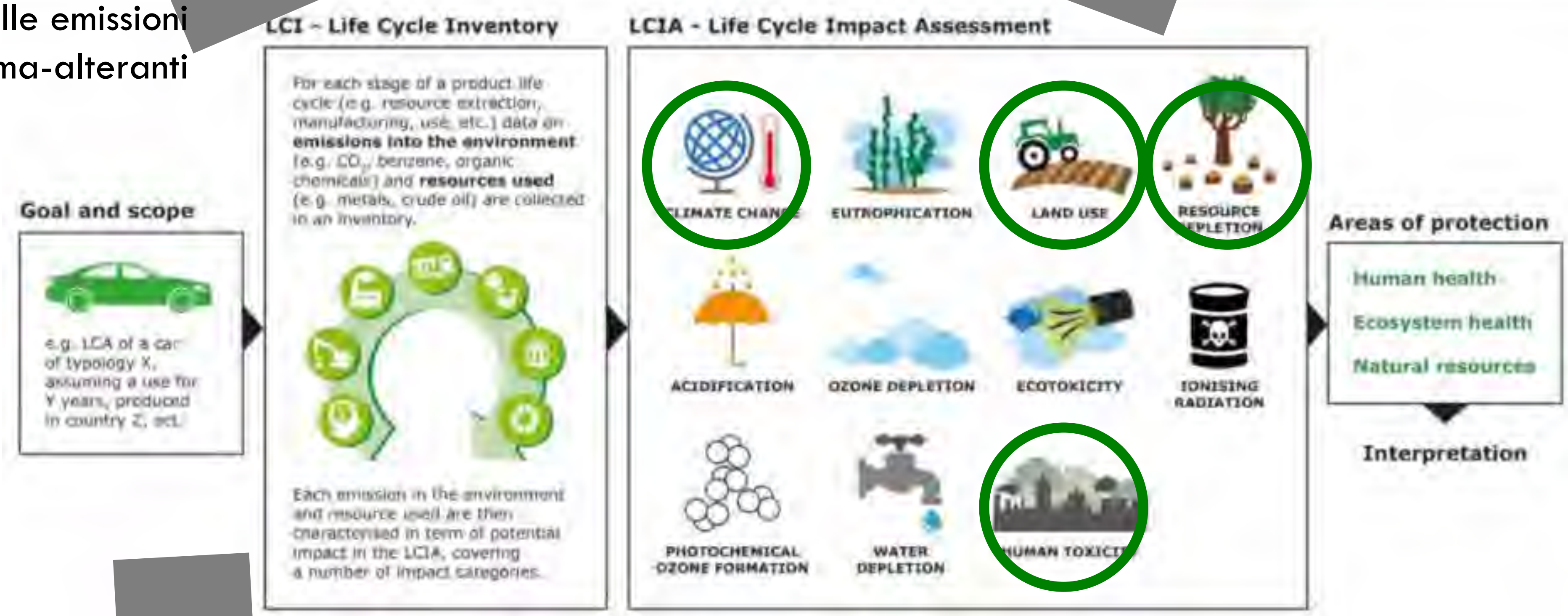
Harald Müller: Workshop on fib Model Code 2020 Rome 2. 9. 2022

Strategie per la riduzione delle emissioni

La ricerca della neutralità climatica: il *Green Deal* europeo.

Riduzione del consumo di suolo e riduzione della perdita di biodiversità

Riduzione delle emissioni clima-alteranti



Riduzione del consumo di combustibili fossili e di risorse naturali

Substantial reductions in emissions ~80% could be achieved by working through the whole value chain

Few producers
Quick wins implemented

Reduce CO_2 from clinker production

- Efficient plants
- Waste fuels
- Alternate raw materials

Few producers
Large remaining potential

Reduce clinker in cement

- SCMs

Many producers
Implementation very difficult

Reduce cement in concrete

- Aggregate grading
- Good admixtures
- Use filler

Chain of deciders
Implementation very difficult

Reduce concrete in building

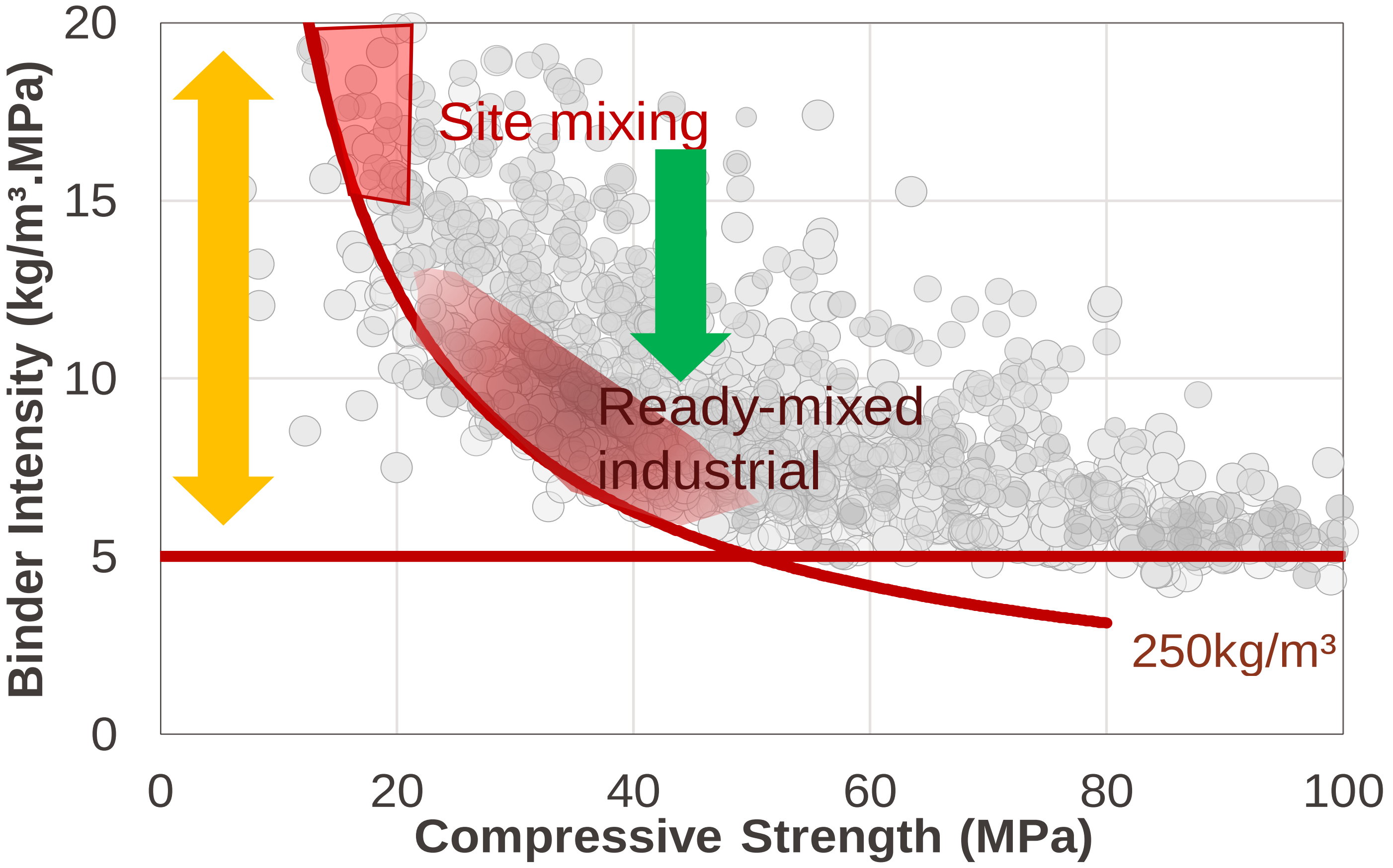
Big changes in mindset needed

More efficient (re)use of buildings

STRATEGIA:
Efficientamento nella produzione.

EPFL

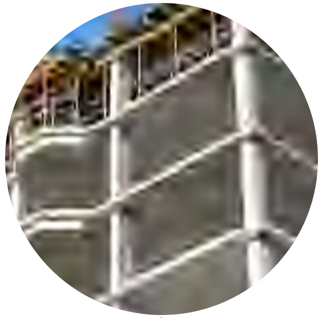
Efficiency of binder use (29 countries)



DAMINELI, et al. Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement and Concrete Composites**, 32, p. 555-562, 2010

STRATEGIA:
Utilizzo di materiali alternativi.

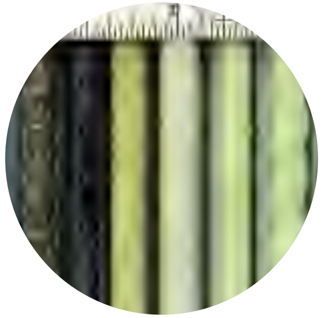
Ridurre il peso del calcestruzzo armato sull'ambiente.



Calcestruzzo armato a basso impatto ambientale

FRP + FRC

Calcestruzzi a ridotta impronta carbonica e con materiali riciclati

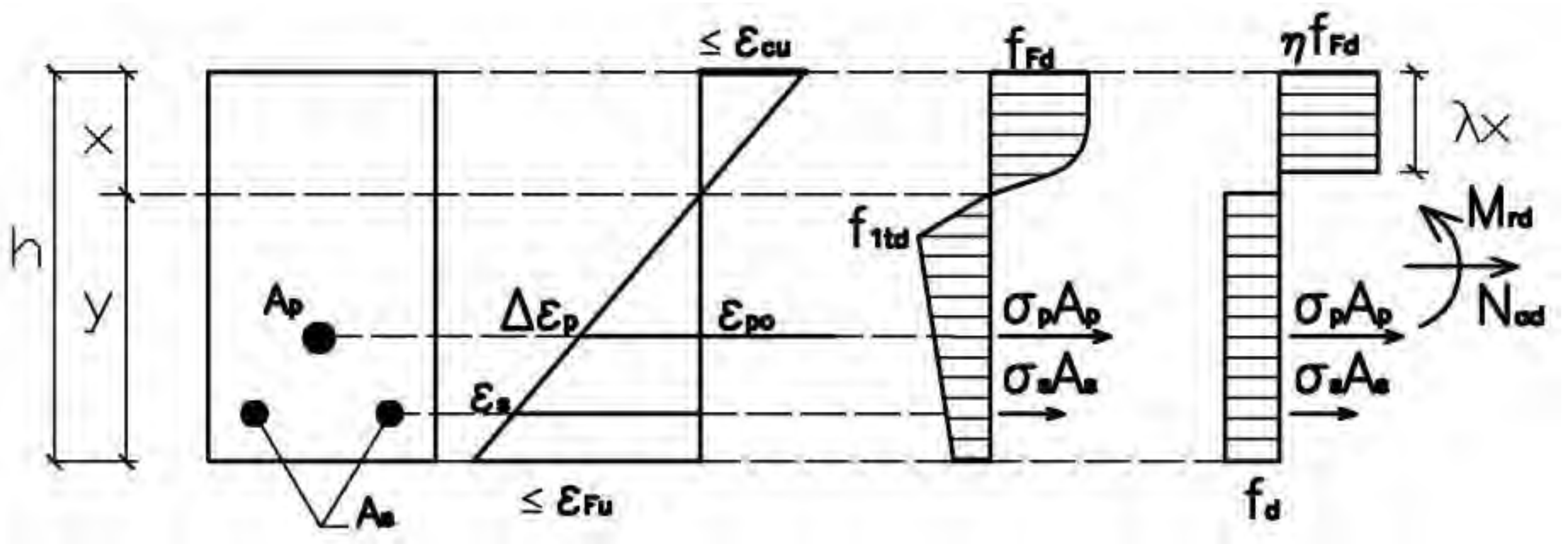


Ottimizzazione dell'uso dei rinforzi

Soluzioni innovative e possibili: Calcestruzzo fibrorinforzato (FRC).


Linee guida per la progettazione, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche

Comportamento a flessione



Soluzioni Innovative e
Barre in fibra di vetro, carbonio e aramide (FRP).

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

Istruzioni
per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo
di Strutture
di Calcestruzzo Armato
con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato

Le nuove NTC

GAZZETTA UFFICIALE

DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTE PRIMA Roma - Martedì, 20 febbraio 2018 SI PUBBLICA TUTTI I GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA, 70 - 00186 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 691 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85081 - LIBRERIA DELLO STATO
PIAZZA G. VERDI, 1 - 00198 ROMA

N. 8

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

Il FRC nelle nuove NTC

11.2.12. CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO (FRC)

Il calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) è caratterizzato dalla presenza di fibre discontinue nella matrice cementizia; tali fibre possono essere realizzate in acciaio o materiale polimerico, e devono essere marcate CE in accordo alle norme europee armonizzate, quali la UNI EN 14889-1 ed UNI EN 14889-2 per le fibre realizzate in acciaio o materiale polimerico.

La miscela del calcestruzzo fibrorinforzato deve essere sottoposta a valutazione preliminare secondo le indicazioni riportate nel precedente § 11.2.3 con determinazione dei valori di resistenza a trazione residua f_{R1} per lo Stato limite di esercizio e f_{R3} per lo Stato limite Ultimo determinati secondo UNI EN 14651:2007.

Per la qualificazione del calcestruzzo fibrorinforzato e la progettazione delle strutture in FRC si dovrà fare esclusivo riferimento a specifiche disposizioni emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

Linee guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione d'idoneità tecnica all'impiego ed il controllo di accettazione dei fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)

Le nuove linee guida per la progettazione di elementi in FRC

1. SCOPO e CAMPO DI APPLICAZIONE

2. CARATTERISTICHE DEL COMPOSITO E DEI RELATIVI COMPONENTI

3. QUALIFICAZIONE INIZIALE DELLA PRODUZIONE IN STABILIMENTO E CONTROLLO PERMANENTE DELLA PRODUZIONE

4 PROCEDURA DI QUALIFICAZIONE

5. PROCEDURE DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

Caratteristiche del composito e dei relativi componenti

- **Matrice cementizia**
- **Fibre**

Fibre di acciaio	Fibre polimeriche
Lunghezza [mm] Diametro equivalente [mm] Rapporto d’aspetto Forma Resistenza a trazione(*) [MPa] Modulo elastico(*) [GPa] Allungamento a rottura(*) [%] Densità [kg/m^3]	Polimero Lunghezza [mm] Diametro equivalente [mm] Rapporto d’aspetto Forma Resistenza a trazione(*) [MPa] Modulo elastico(*) [GPa] Allungamento a rottura(*) [%] Massa volumica lineare [tex] Temperatura di transizione vetrosa e di fusione(**)

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

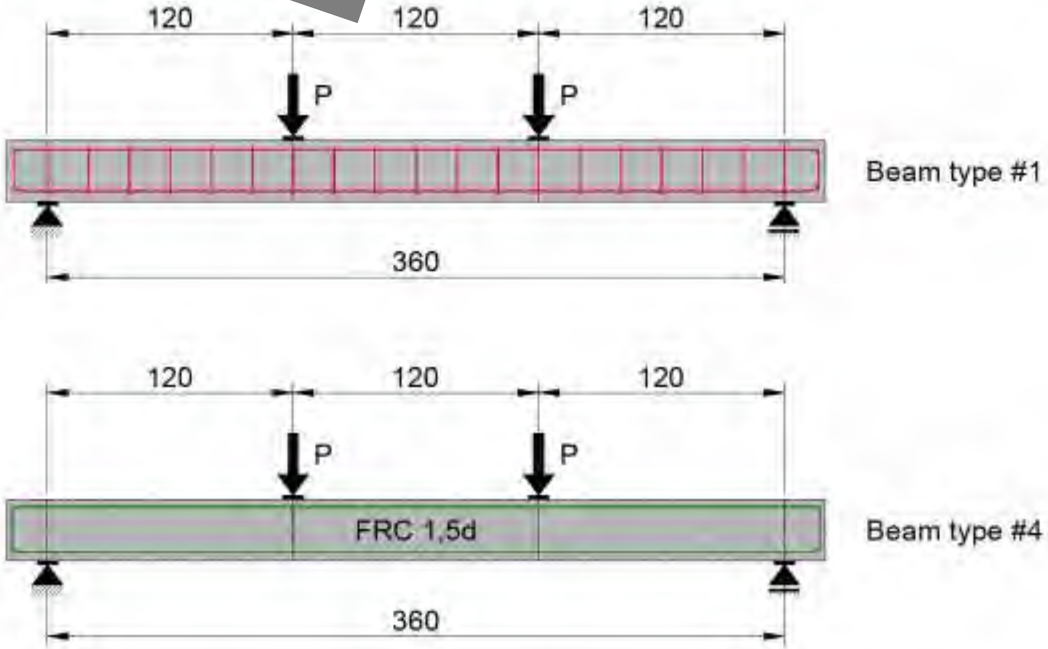
Linee guida per la progettazione, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato FRC (Fiber Reinforced Concrete)

Le nuove linee guida per la progettazione di elementi in FRC

SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE
PROPRIETA' MECCANICHE DEL FRC
COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI
ORIENTAMENTO DELLE FIBRE
VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI
VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO
REQUISITI MINIMI PER LA DUTTILITA' STRUTTURALE
PROCEDURE DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE
Prove preliminari sul prodotti premiscelati

Nuove soluzioni strutturali per la riduzione degli impatti ambientali: prova industriale.

Soluzione tradizionale: ACCIAIO



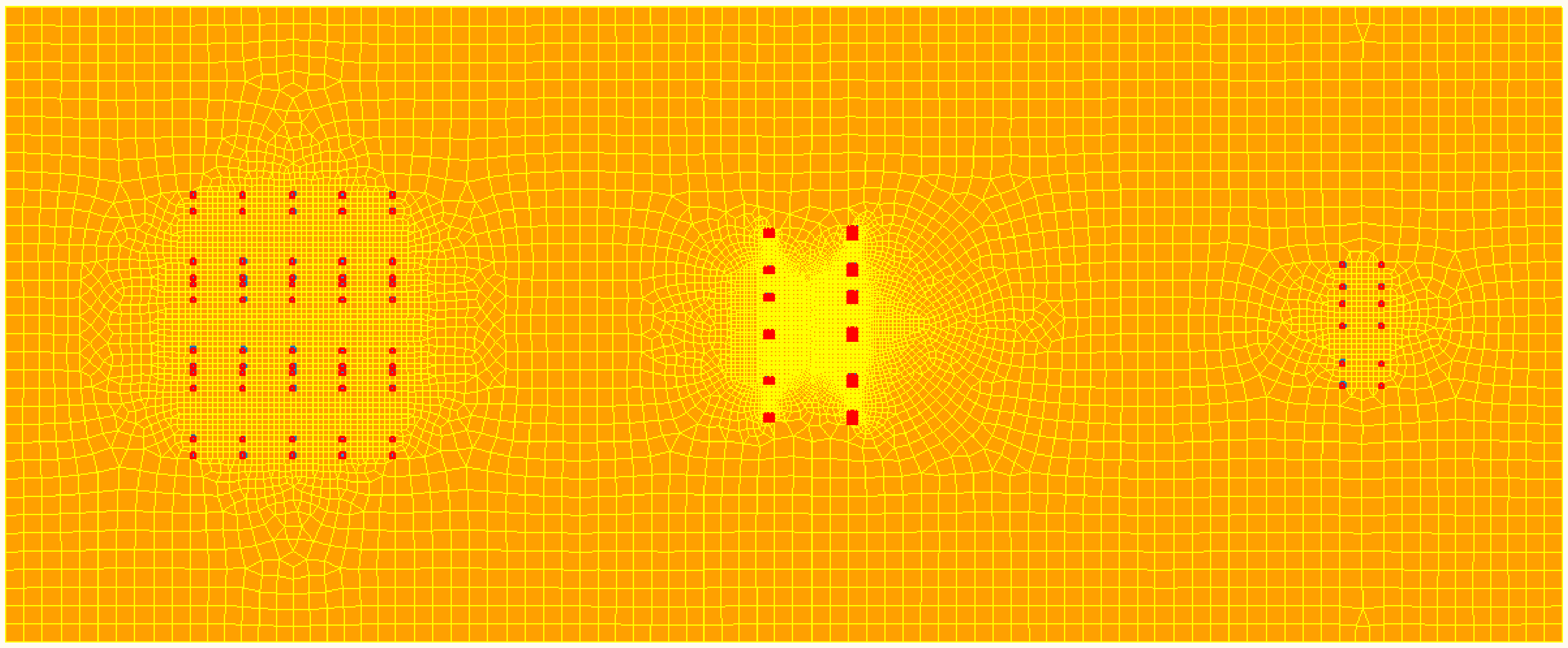
Soluzione innovativa: FRC + GFRP

Nuove soluzioni strutturali per la riduzione degli impatti ambientali: campagna sperimentale.

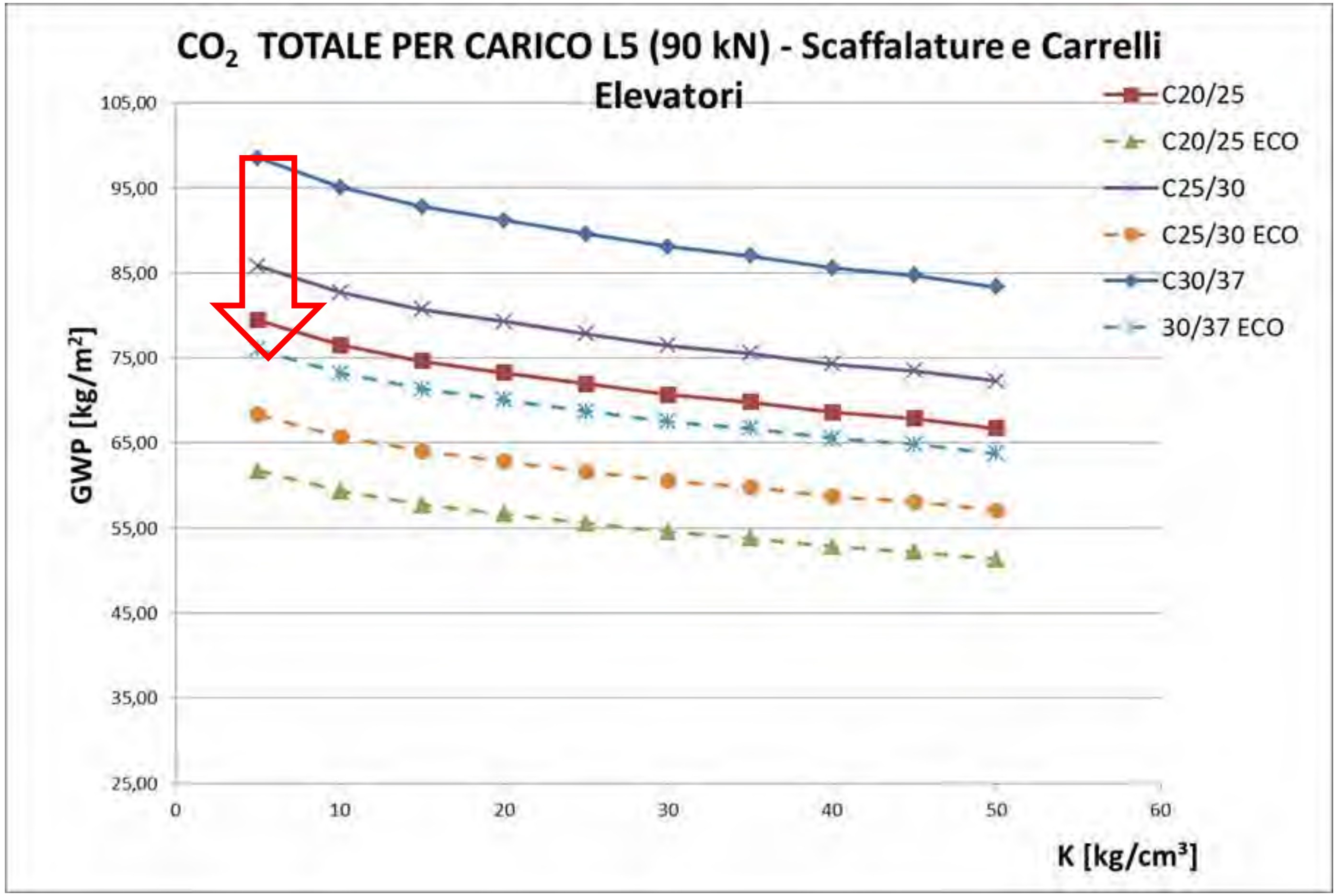
	CALCESTRUZZO	ARMATURA LONGITUDINALE	ARMATURA TRASVERSALE
TRAVE 1	RIF	ACCIAIO	ACCIAIO
TRAVE 2	ECO 1	GFRP	GFRP
TRAVE 3	ECO 1	ACCIAIO	FIBRE POLIMERICHE
TRAVE 4	ECO 1	GFRP	FIBRE POLIMERICHE
TRAVE 5	ECO 2	GFRP	FIBRE POLIMERICHE

Esempio di pavimentazioni industriali.

Analisi strutturale di una pavimentazione.



Analisi strutturale di una pavimentazione.



STRATEGIA:
La riparazione delle strutture

Bridge pier corrosion.

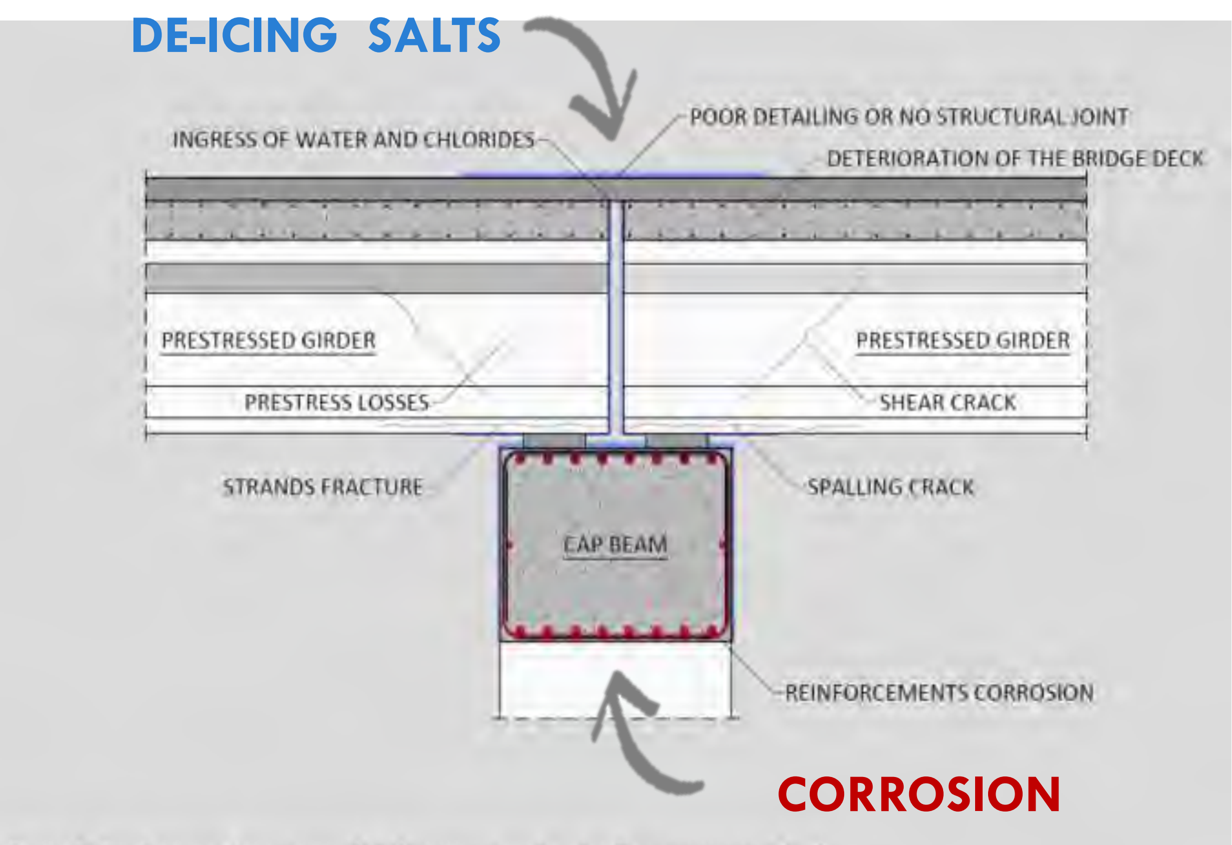
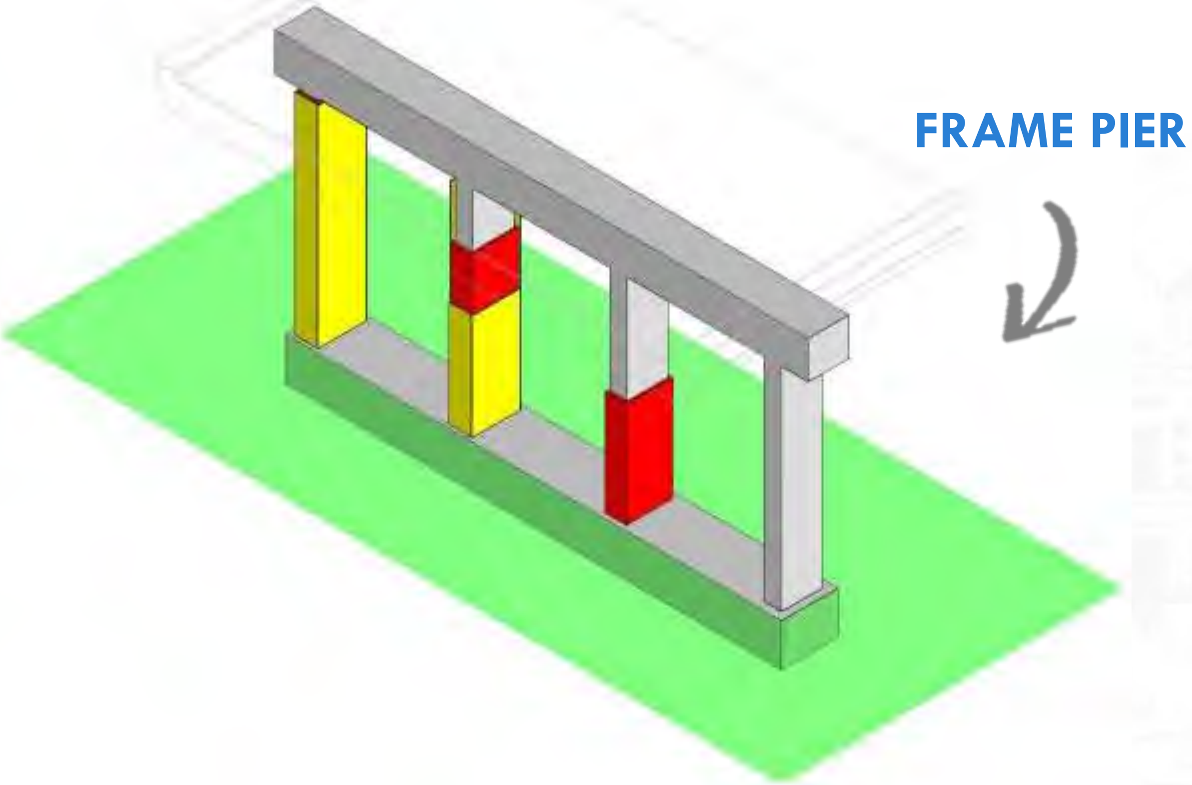


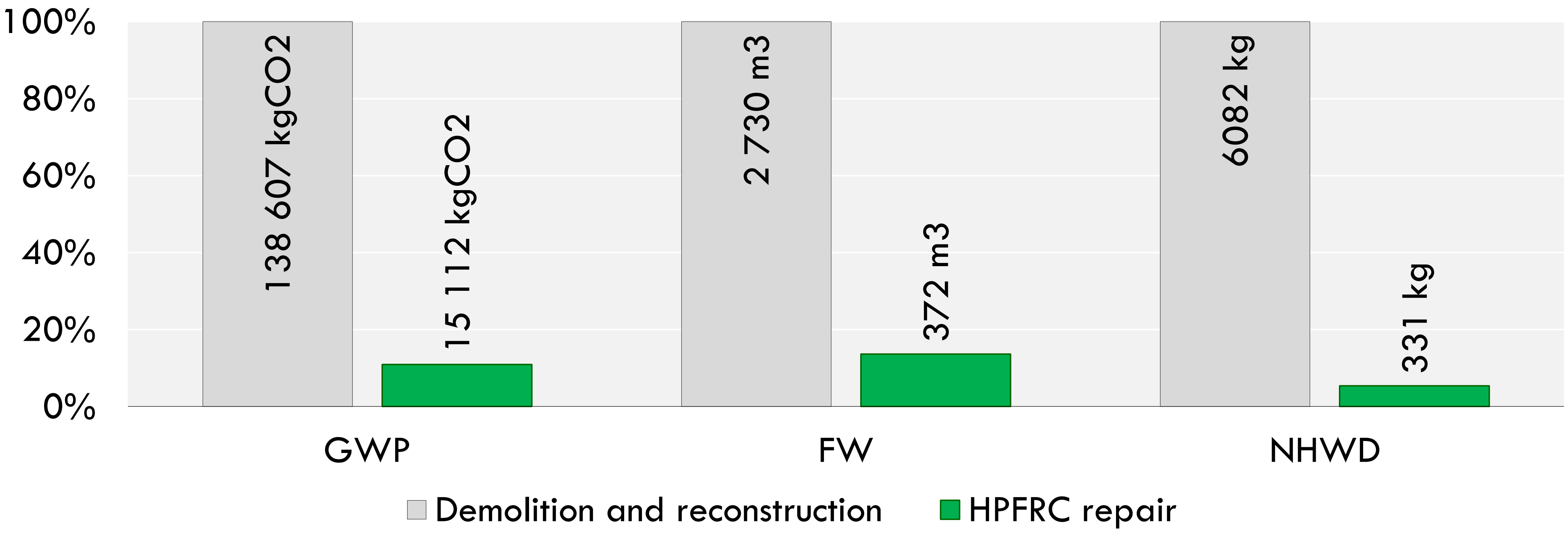
Figure 3: Cap beam and prestressed girders experiencing significant corrosion level.

Construction phases.

1. Demolition of concrete
2. Placing of new reinforcements
3. Roughening of concrete surface
4. Formworks construction
5. Wetting of concrete surface at SSD condition
6. Mixing of HPFRC
7. Pumping of HPFRC
8. Formworks removal

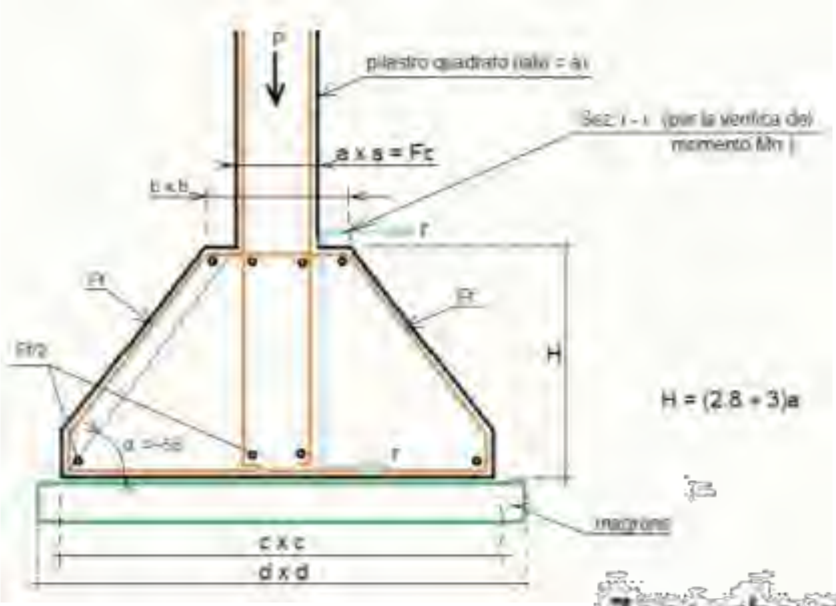


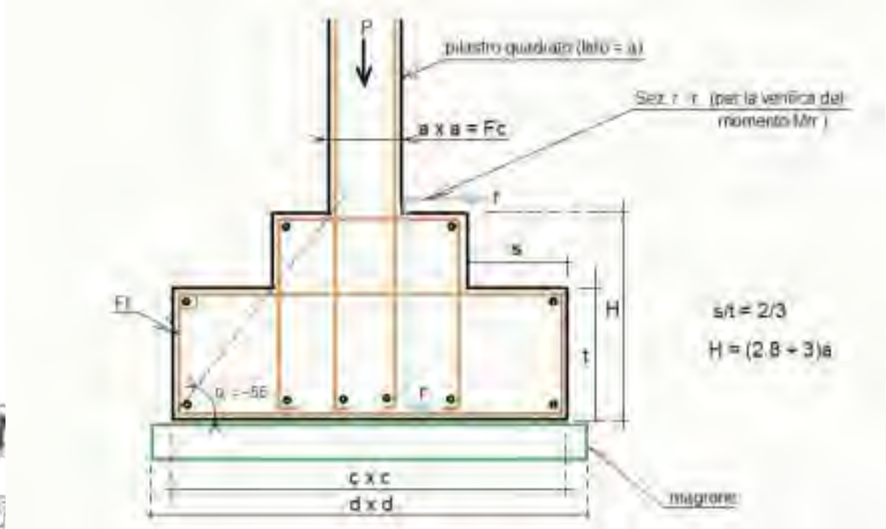
Environmental impact.



STRATEGIA:
Ottimizzazione della progettazione strutturale.

Ottimizzazione nell'impiego del materiale.



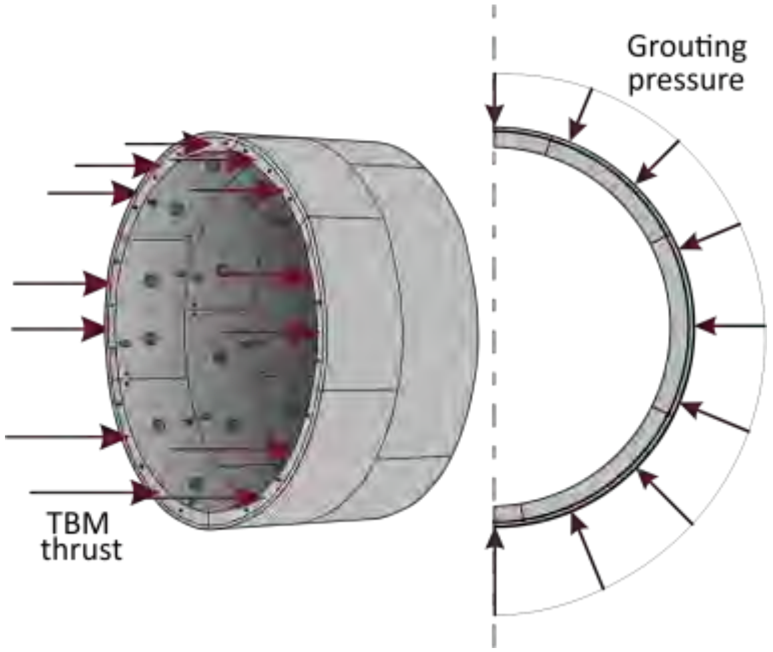


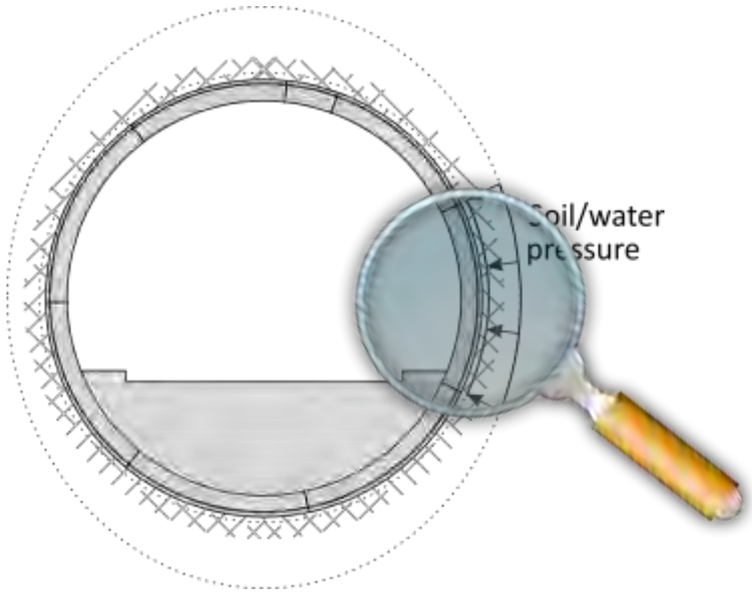
Milan Innovation District (MIND)

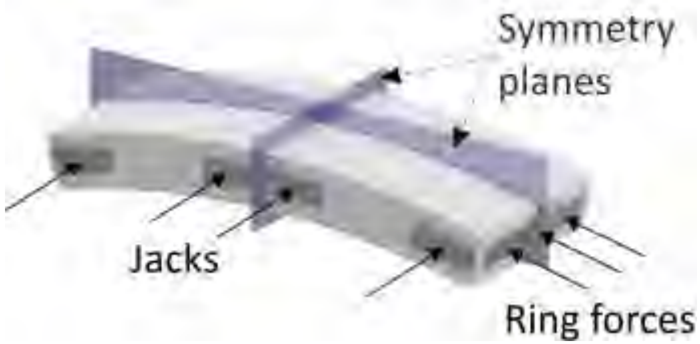
Optimized hybrid topology of segmental tunnel linings

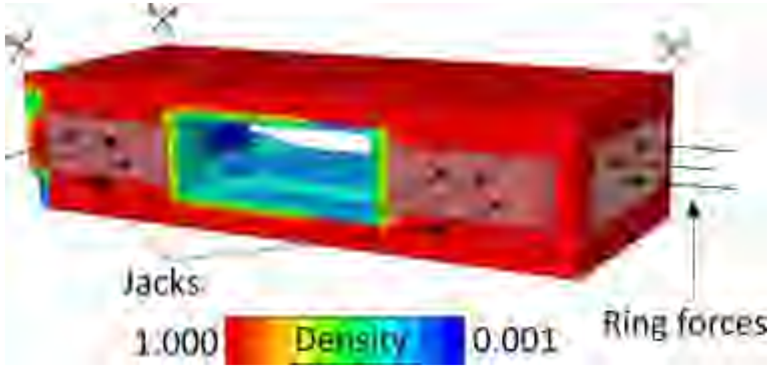
- Diego N. Petraroia, Filippo Medeghini, Peter Mark & Giovanni A. Plizzari
  - Institute of Concrete Structures, Ruhr University Bochum, Germany
  - DICATAM, University of Brescia, Italy

Topology optimization of segments

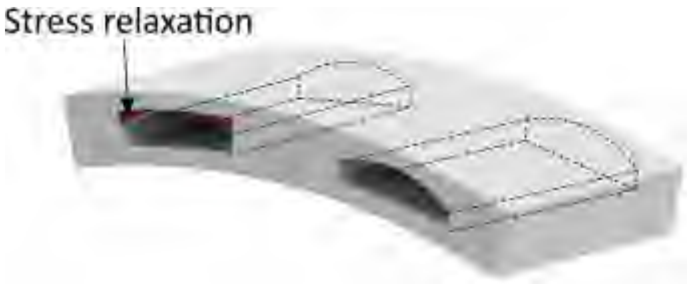








$$
\begin{aligned}
\min_{x}: \quad & c(x) = \sum_{i=1}^{l} \mathbf{U}_i^T \mathbf{K} \mathbf{U}_i \\
\text{subject to:} \quad & V(x)/V_0 = 0.75 \\
& \mathbf{KU} = \mathbf{F} \\
& 0 \leq x \leq 1
\end{aligned}
$$

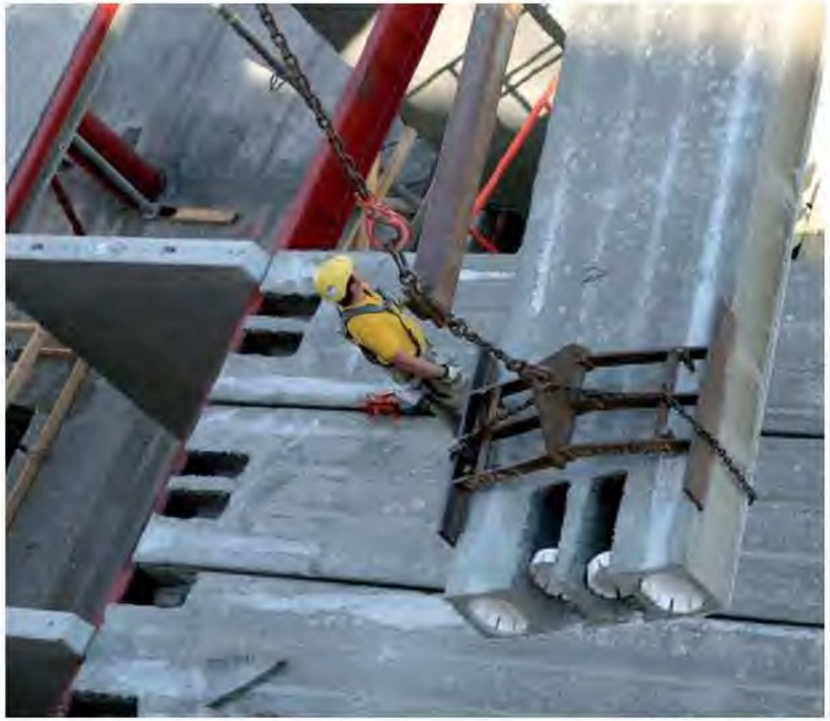


STRATEGIA:
Design for disassembly.

SINTEF

III. Reuse and Design for Disassembly (DfD)

- Design for disassembly (DfD)
  - National R&D-project (€2,2 mill.) supported by the national research council
  - Initiative from Skanska and SINTEF, participants from the entire business chain
  - Includes concrete, steel and cross laminated timber structures
    - ✓ Mapping of limitations in current regulations
    - ✓ Future documentation needs
    - ✓ Greater need for standardization of components in design and construction?
    - ✓ New technical solutions for e.g. connections
    - ✓ Efficient assembly, disassembly and reassembly.
    - ✓ Logistics

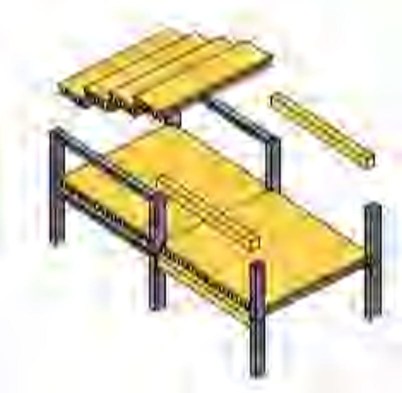


MODULAR PREFAB CONSTRUCTION SYSTEMS

SYSTEM 2: TIMBER AND CONCRETE

SYSTEM 3: TIMBER AND STEEL

SYSTEM 4: HYBRID - TIMBER, CONCRETE, STEEL



Sustainabilit

Rivedere le regole di progettazione

Anchorage and lap splices.

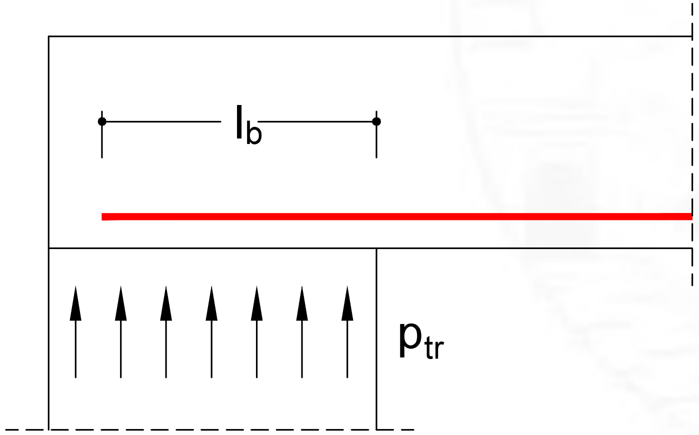
$$l_{bd} = \max\,[(k_{lbs} - k_{beb});\ k_{min}]\ \phi$$

$$k_{lbs} = 67\ m\ (\gamma_c/1.5)\ 0.65\ (25/f_{ck})\ 0.45\ (\phi/25)\ 0.35\ /\ (k_{conf}\ k_{tcSP})$$

Casting position effect:

$k_{tcSP} = 1.0$ for good bond conditions

$k_{tcSP} = 0.4+0.6\ \sigma_{sd}/435 \leq 1.0$ for poor bond conditions

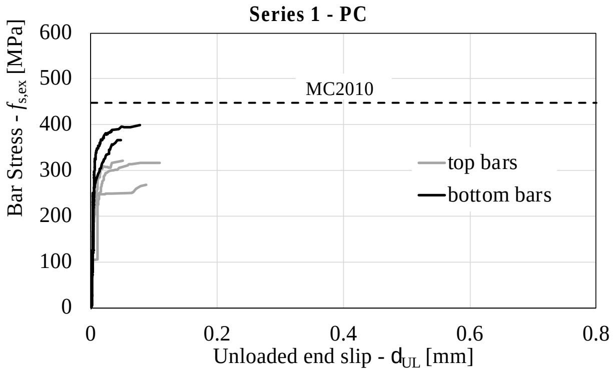


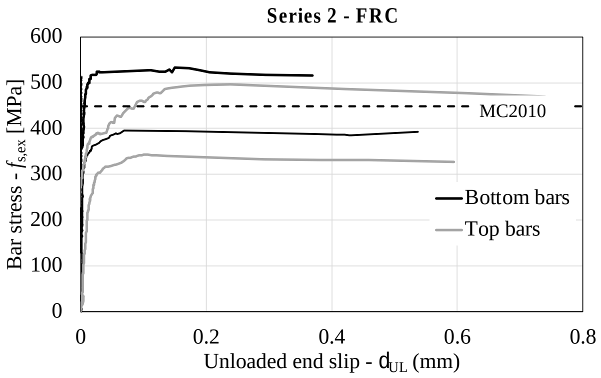
Experimental program.

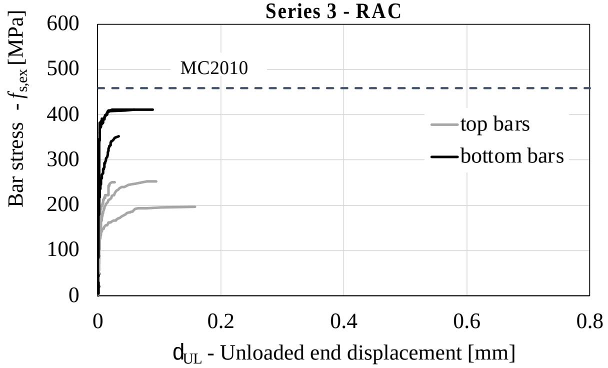
	Series	f_{tcm} [MPa]	K_{tr} [%]	f_{stm} MC2010 [MPa]
1	PLAIN CONCRETE	30	1.56	458
2	FRC (0.5% steel fibers)	30 class 5C	1.56	458
3	RAC from blast furnace slags	33	1.56	458
4	25% replacement of natural aggregates		3.12	532
	Steel bars f=20 mm B450 C	f_{ym} = 526 MPa		

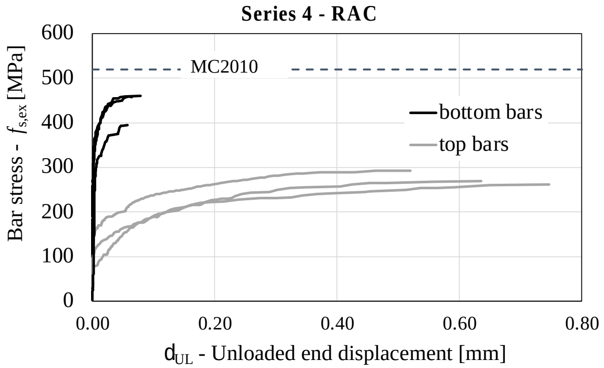
- ❑ Target strength class: C25/30
- ❑ Target workability class: S4
- ❑ 3 specimens for each series
- ❑ 3 specimens for each series: 12 top bars and 12 bottom bars

Experimental results.







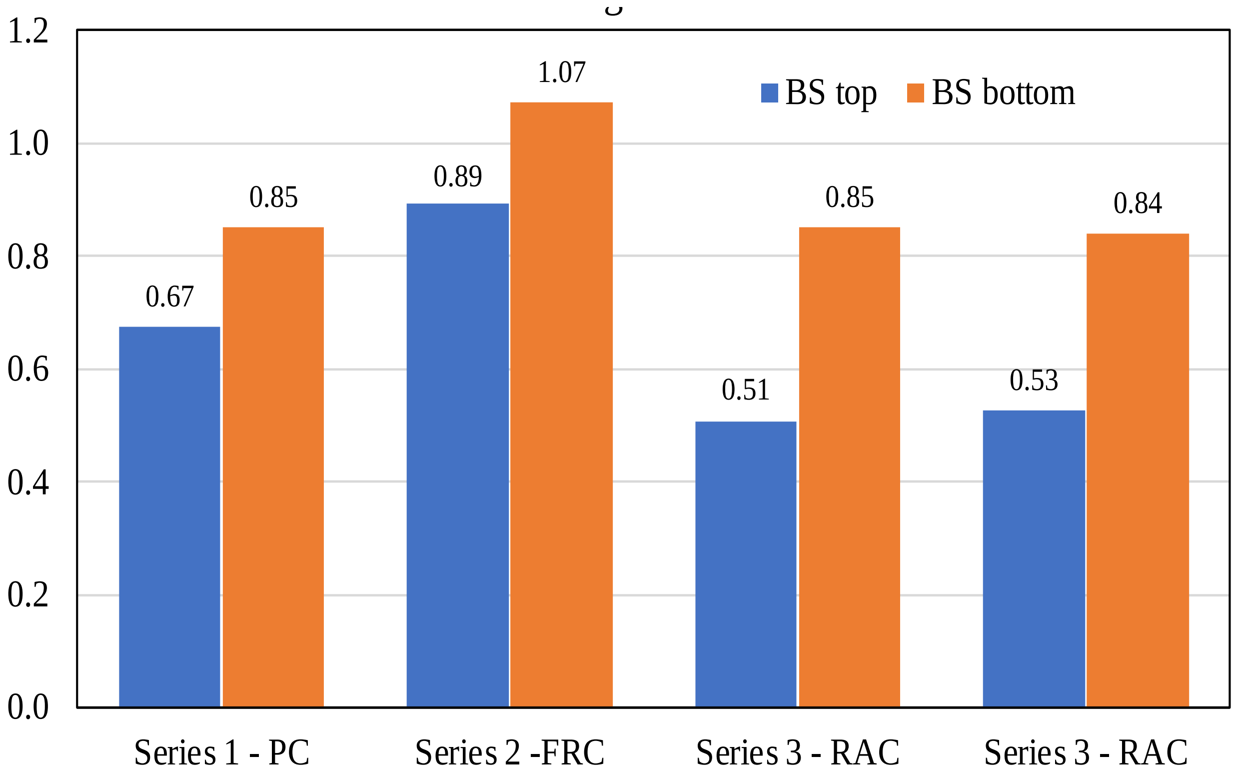


Cone failure + splitting failure

Side-face splitting failure

- higher bar stresses and a stiffer behaviour in bottom location
- brittle behaviour of anchorages
- top anchorages exploited larger unloaded end slip at peak load

Experimental results.



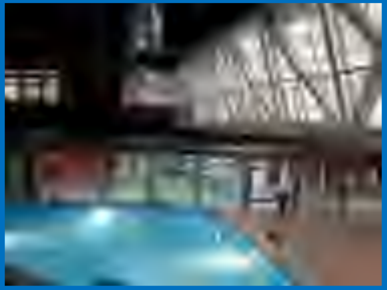
Bond strength ratio

$$BS = f_{s,ex} / f_{stm,MC2020}$$

- For the bottom bars the BS ratio is about 0.85 both in PC and in RAC
- BS > 1 1 in FRC with V_f=0.5%
- BS ratio decreased to 0.67 and 0.5 for the top bars in PC and RAC

Grazie per la Vostra attenzione!







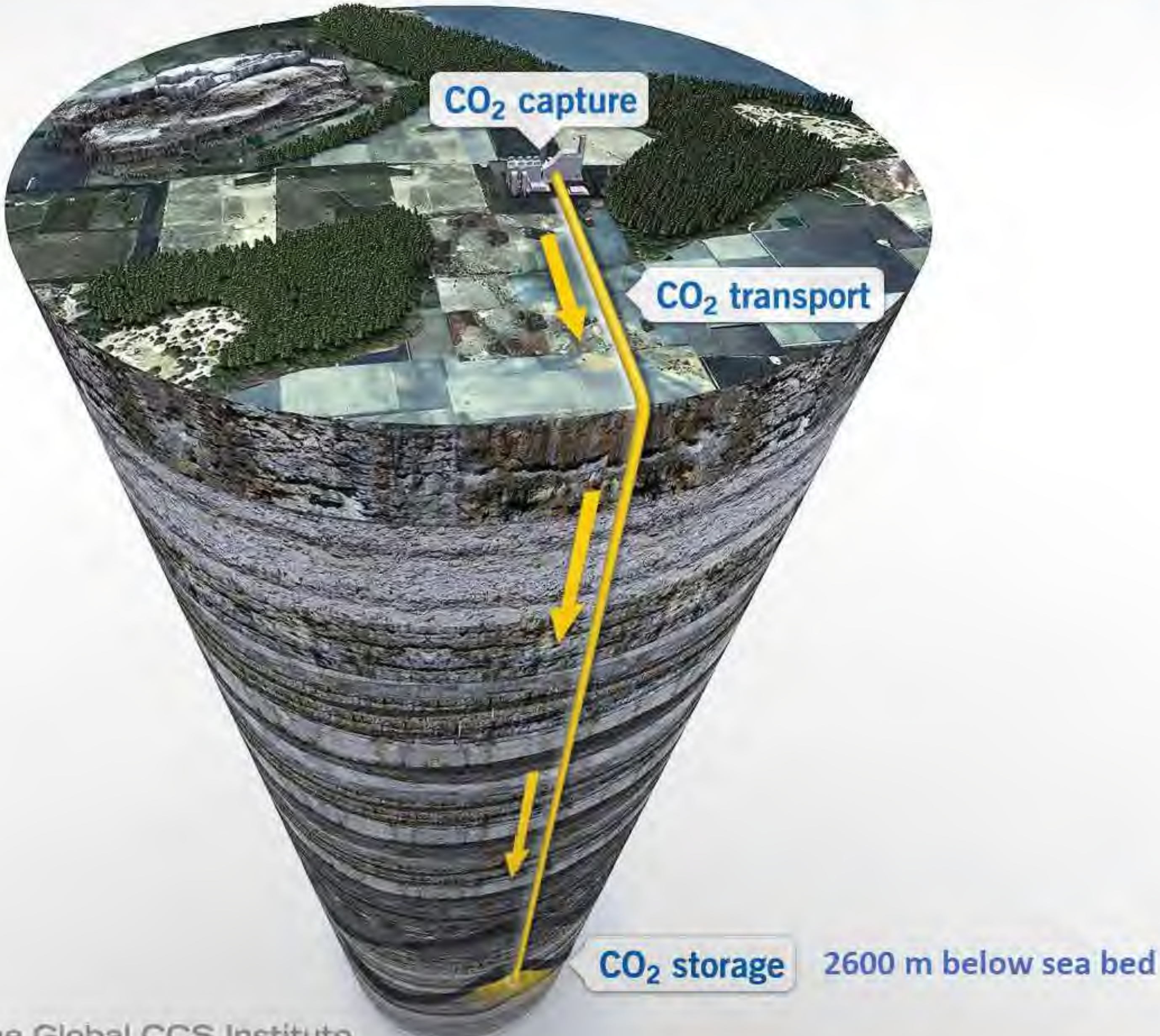

Department of Civil, Architectural, Environmental, Land Planning, Engineering and Mathematics

DICATAM

UNIVERSITY OF BRESCIA

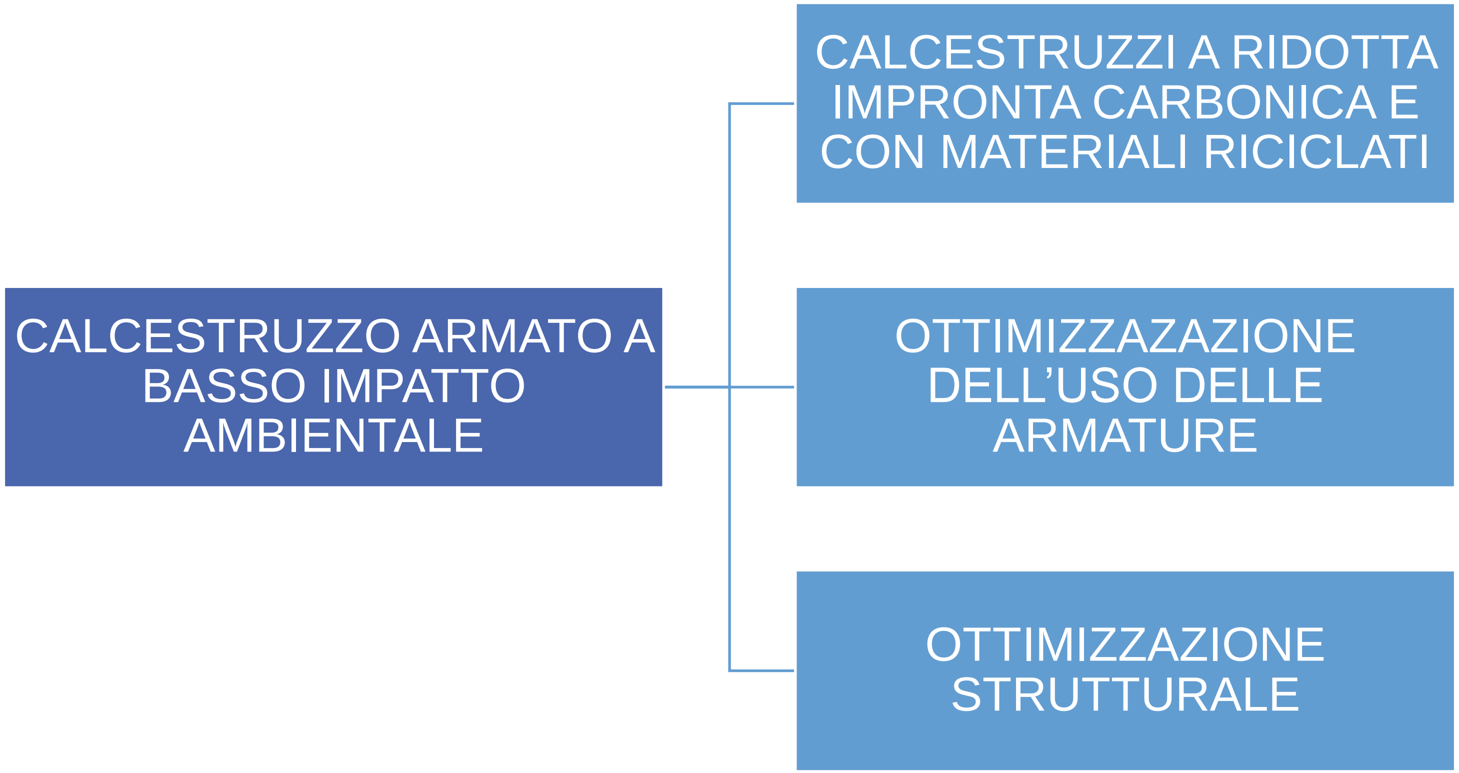
STRATEGIA: Carbon capture and storage

THE CARBON CAPTURE AND STORAGE PROCESS



Provided by the Global CCS Institute

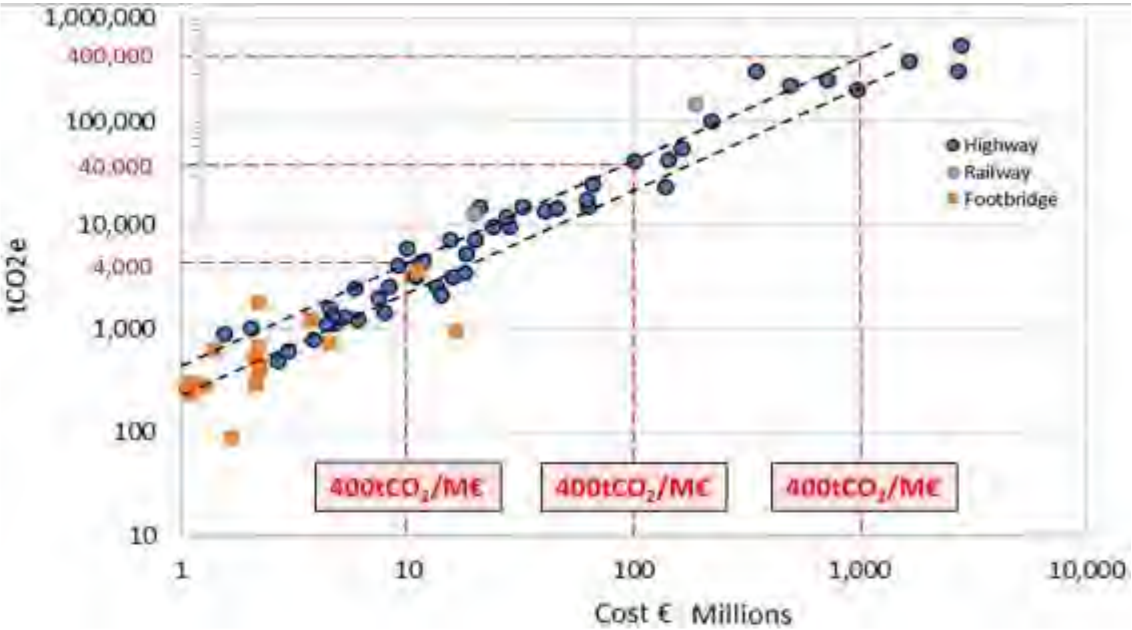
Ridurre il peso del calcestruzzo armato sull’ambiente.



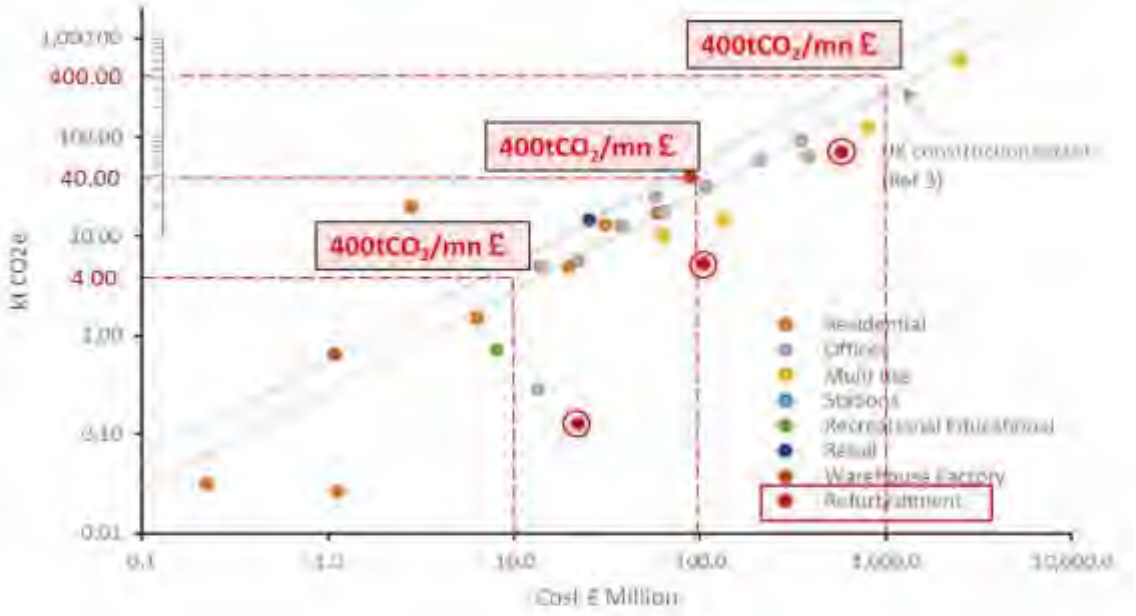
Impatti nel ciclo di vita.
SLIDES AGGIUNTIVE

Data Base of Carbon Footprint in Stage A

Bridge

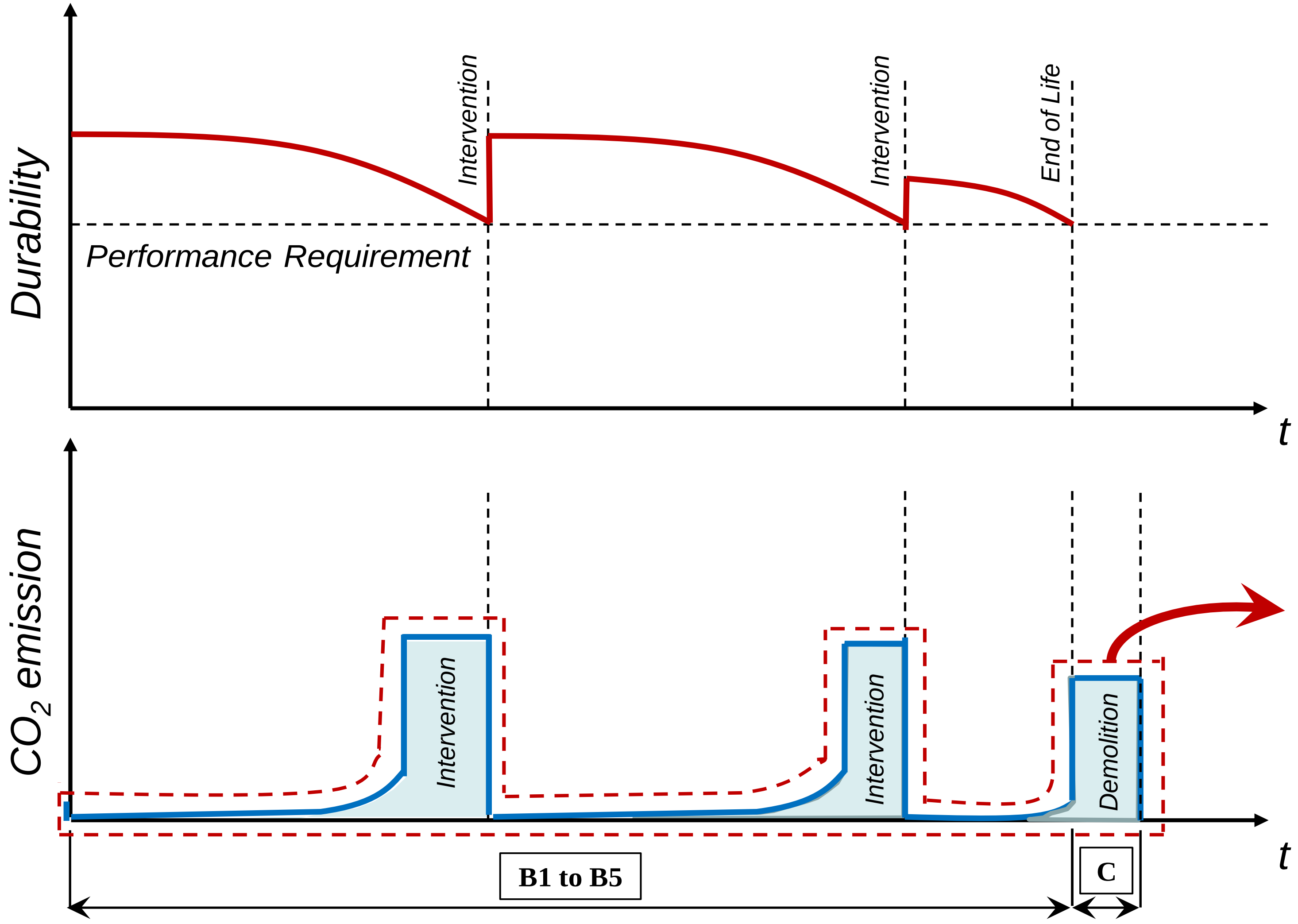


Building



- ✓ Such a database of approximate CO_2 emissions will be useful in developing a strategy until the platform is ready.
- ✓ This kind of data of tunnel construction in EU will be collected by TG1.4.

Data Base of Durability and CO_2 Emissions in Stage B & C

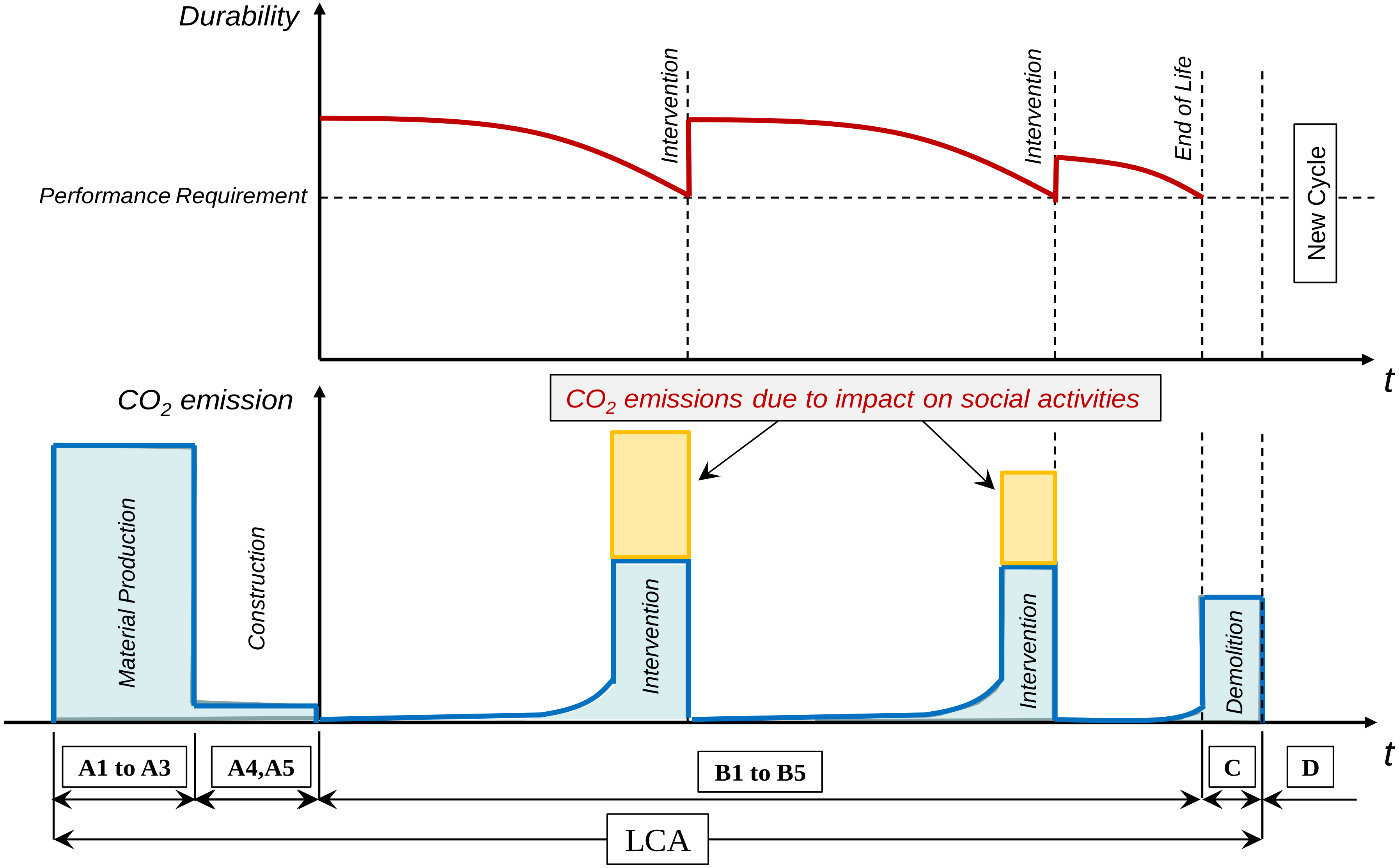


How to calculate the index

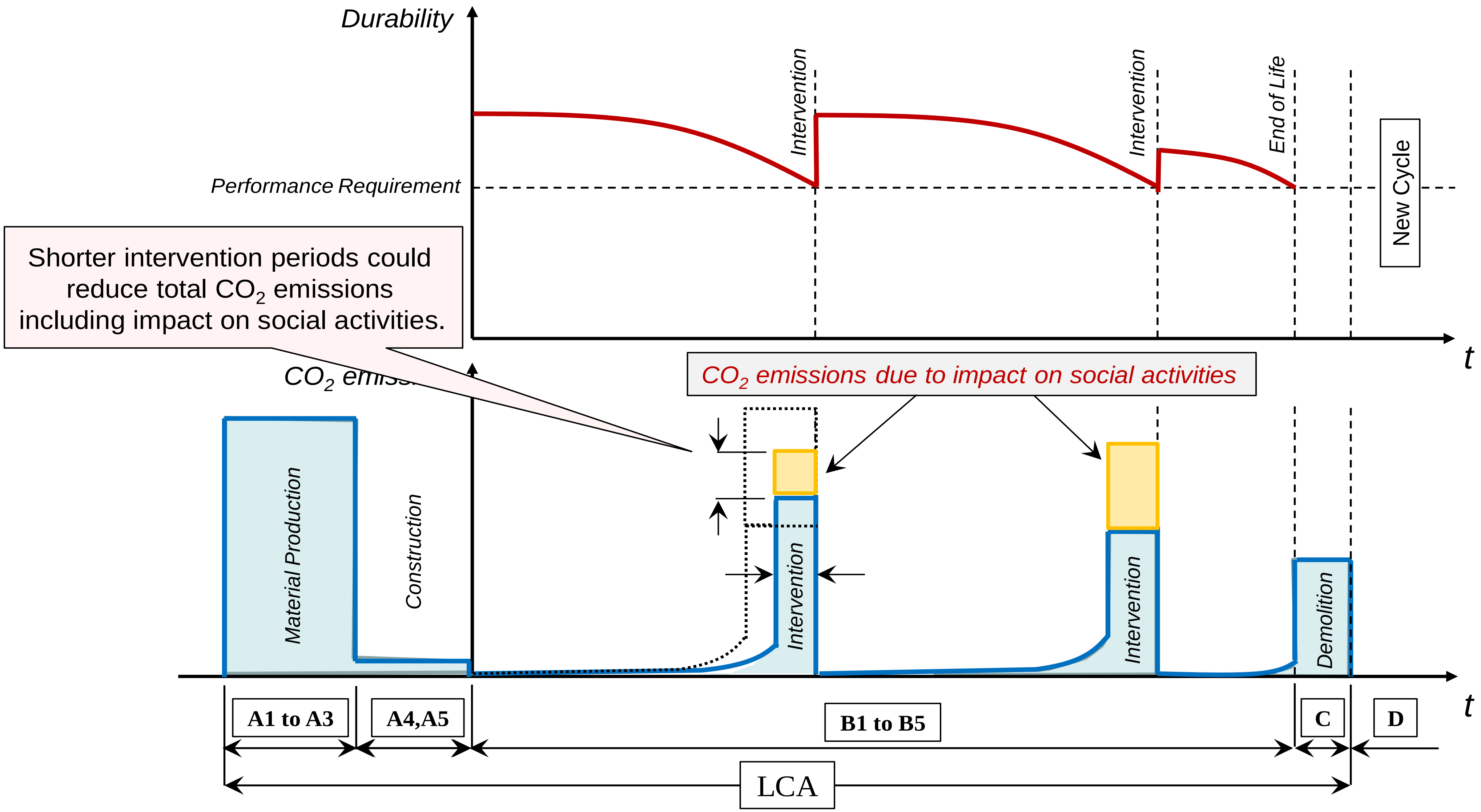
$$\alpha = \frac{\text{Total } CO_2 \text{ emission in B \& C}}{\text{Total intervention cost of B \& C}}$$

$= \quad 400 \text{ to } 600tCO_2/mn€ \ ?$

CO_2 Emissions due to Impact on Social Activities in Stage B



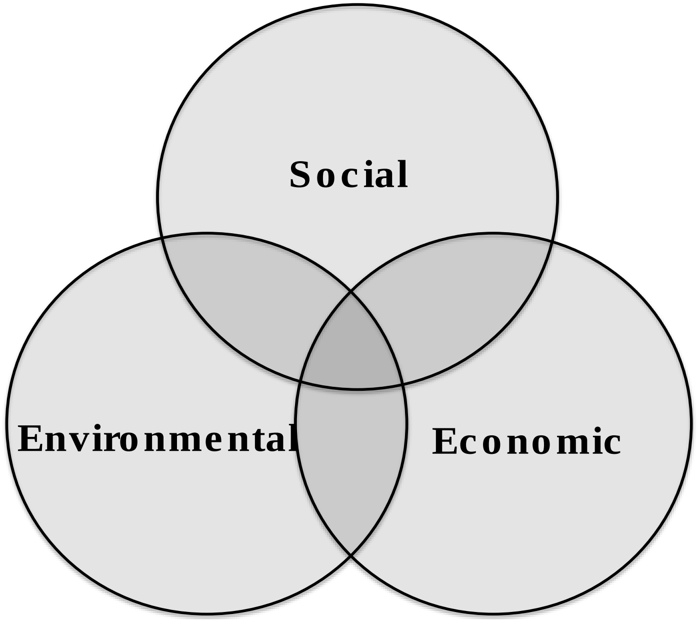
Minimizing CO_2 Emissions including Impact on Social Activities



Come valutare gli impatti?
SLIDES AGGIUNTIVE

Integrated - Conceptual approach

MC2020, refers not only to traditional demands **safety** and **serviceability**, but takes **sustainability** as a fundamental requirement for high quality design and operation of concrete structures
– considering crucial **social**, **environmental** and **economic aspects**.



Social performance of concrete structures

Structural performance

- Structural safety
- Serviceability
- Durability
- Robustness
- Structural resilience

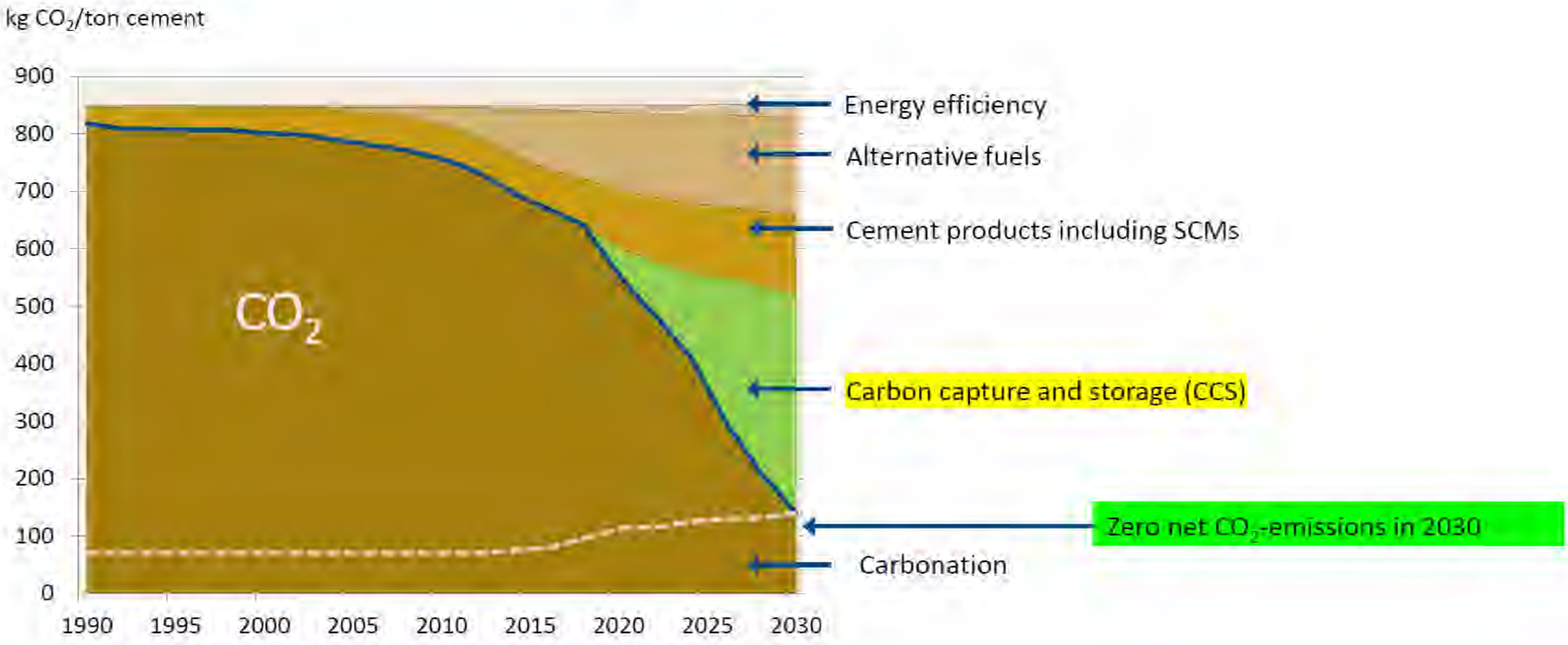
Hurricane Michael - 2018
Florida – Mexico Beach

Evaluation of sustainability criteria

Sustainability is implemented into MC2020
in accordance with appropriate international standards

- **Social criteria**: standard technical requirements and assessments according to technical standards
- **Environmental criteria: LCA – Life Cycle Assessment** – defined in ISO, CEN, ACI ... (e.g. ISO 14040 and related standards)
- **Economy criteria: LCC – Life Cycle Cost** – standard LCC evaluation defined in ISO, CEN, ACI, … (e.g. ISO 15686-5 and related standards)

Heidelberg Materials; Zero Carbon Vision



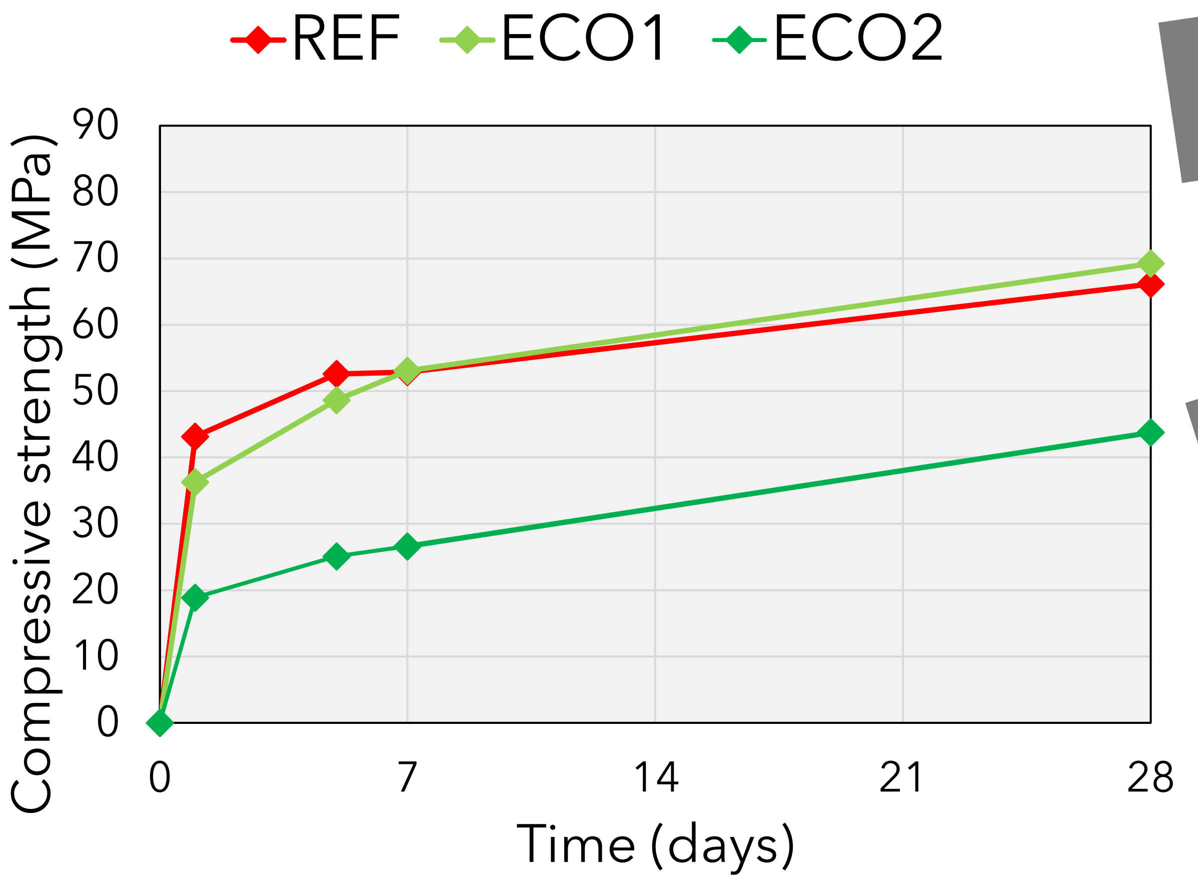
STRATEGIA:
Utilizzo di materiali alternativi.
SLIDES AGGIUNTIVE

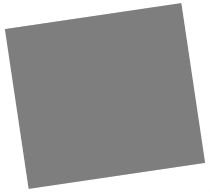
Prova industriale: MOSOLE S.p.A.

Aggregato riciclato selezionato
da demolizione di strutture
in calcestruzzo

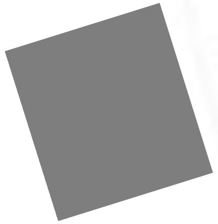
Impianto di recupero rifiuti non pericolosi
e produzione calcestruzzi

Calcestruzzi a ridotta impronta carbonica e con materiali riciclati: resistenza a compressione.





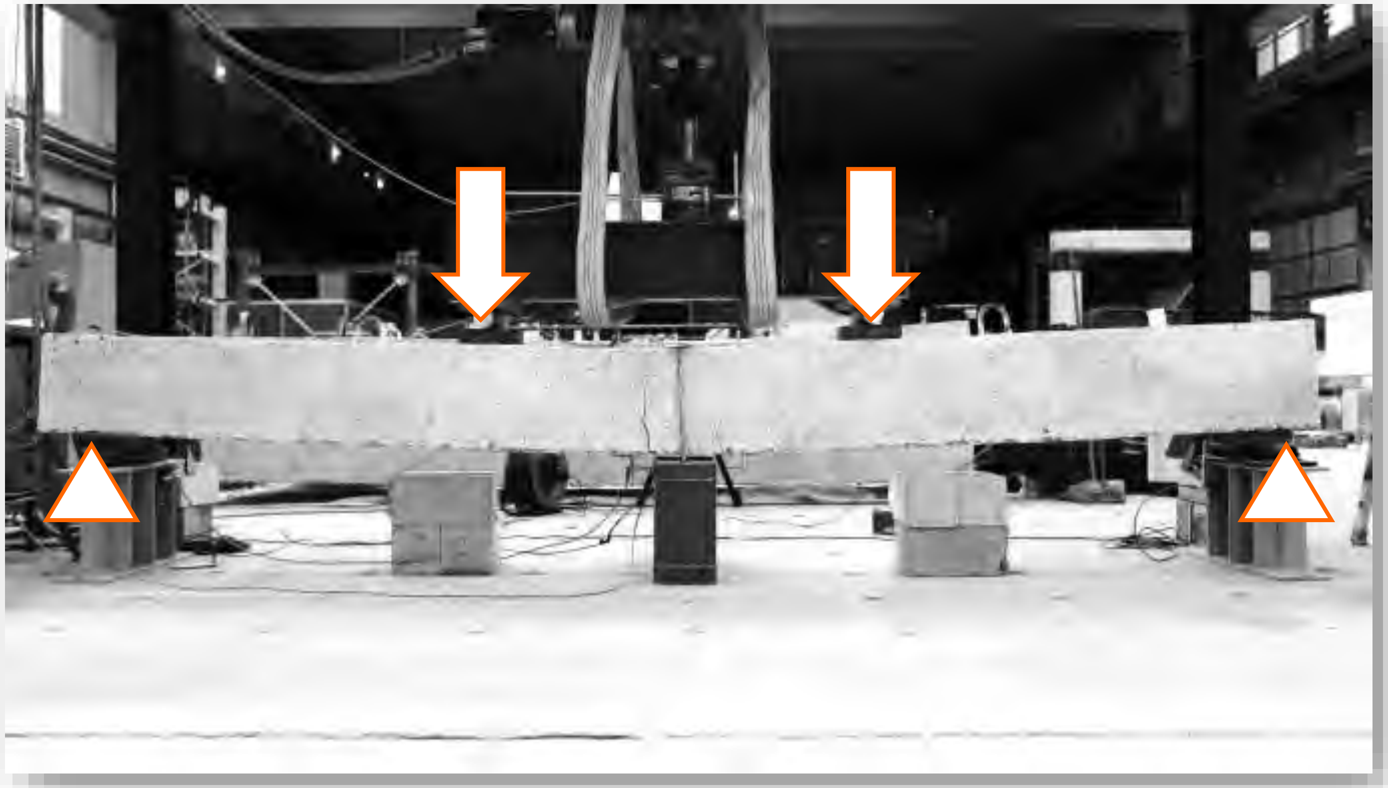
Conforme alle NTC



100% aggregato riciclato

Prove di flessione sui travi: test set-up.

Prova di flessione a 4 punti di carico (4PBT)



Prova di carico monotona a rottura in controllo di spostamento

Digital Image Correlation (DIC)

Linear Voltage Displacement Transducers (LVDTs)

Calcestruzzi a ridotta impronta carbonica e con materiali riciclati: composizione della miscela.

MATERIALI	UNITÀ DI MISURA	RIF	ECO1	ECO2
CEM II A LL 42.5 R	kg/m^3	400	-	-
CEM IV 42.5 R (CEMENTO POZZOLANICO)	kg/m^3	-	310	310
ACQUA	lt/m^3	165	150	155
SABBIA NATURALE	kg/m^3	885	1090	
GHIAIA NATURALE	kg/m^3	985	360	
SABBIA RICICLATA	kg/m^3	-	-	850
GHIAIA RICILATA	kg/m^3	-	300	450
AGGREGATO ARTIFICIALE DA SCORIA DI ACCIAIERIA	kg/m^3	-	150	475
MATERIALI CEMENTIZI SUPPLEMENTARI (SCMs)	kg/m^3	-	80	120
ADDITIVO SUPERFLUIDIFICANTE	lt/m^3	2,6	3,5	4,0
ADDITIVO INTEGRATORE DI RESISTENZA	lt/m^3	-	3,0	4,0
FIBRE POLIMERICHE	kg/m^3	-	4,0	4,0

ECO1 contiene aggregato riciclato al massimo consentito dalle NTC (24%)

ECO 2 è realizzato con il 100% aggregato riciclato

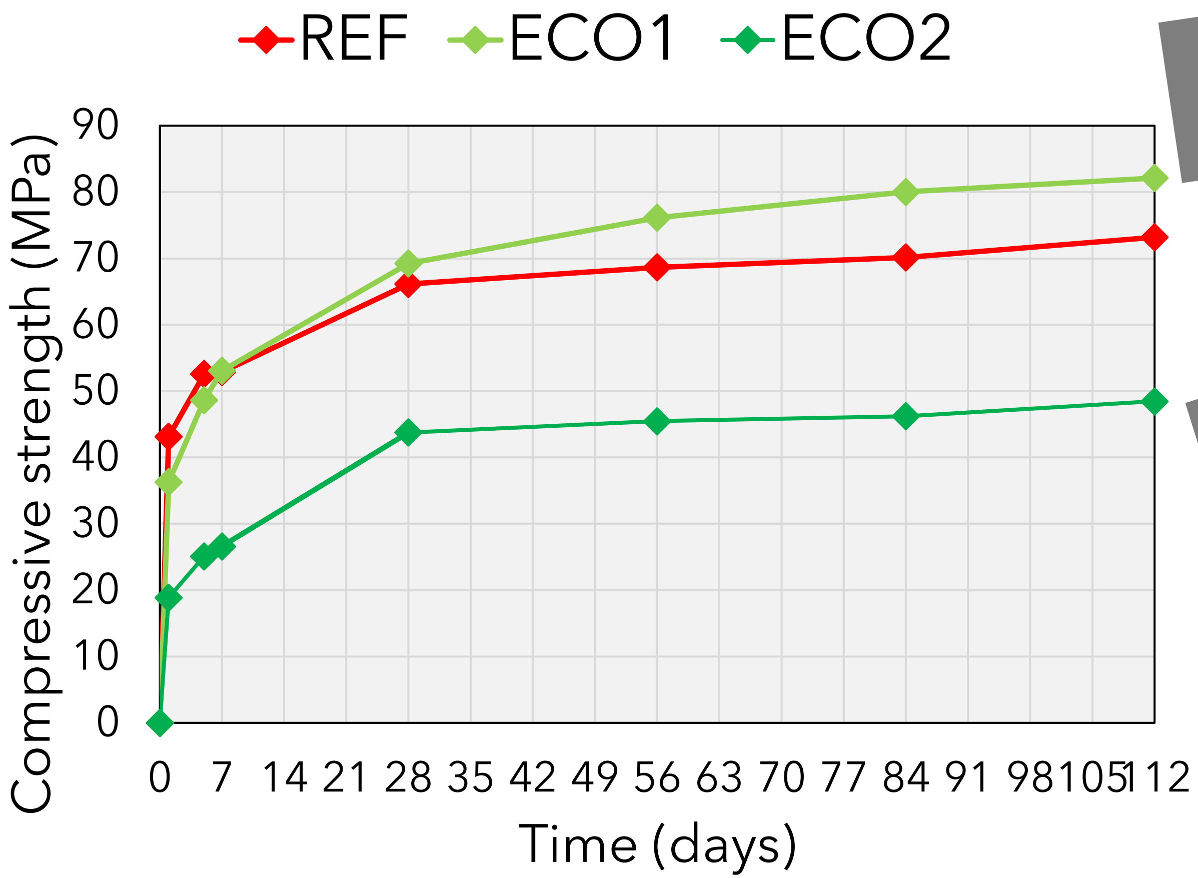
Calcestruzzi a ridotta impronta carbonica e con materiali riciclati: resistenza a compressione.

PERFORMANCE	UNITÀ DI MISURA	RIF	ECO1	ECO2
SLUMP*	mm	240	240	210
RESISTENZA A COMPRESSIONE @ 24 ORE	MPa	43,2	36,3	18,9
RESISTENZA A COMPRESSIONE @ 7 GIORNI	MPa	52,9	53,1	25,1
RESISTENZA A COMPRESSIONE @ 28 GIORNI	MPa	66,2	**69,2 (+5%)**	43,8 (-34%)
DENSITÀ	Kg/m^3	2503	2418 (-3%)	2207 (-12%)

ECO1 è realizzato con 90 kg/m^3 (-23%) di cemento in meno della miscela di riferimento

ECO 2 è realizzato con il 100% aggregato riciclato

Calcestruzzi a ridotta impronta carbonica e con materiali riciclati: resistenza a compressione.

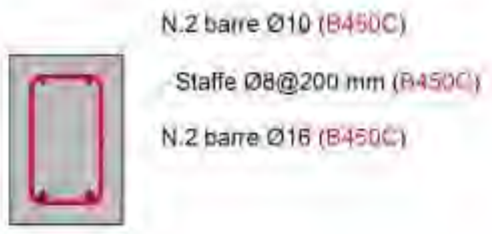


Conforme alle NTC

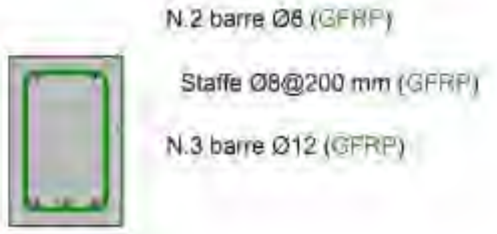
100% aggregato riciclato

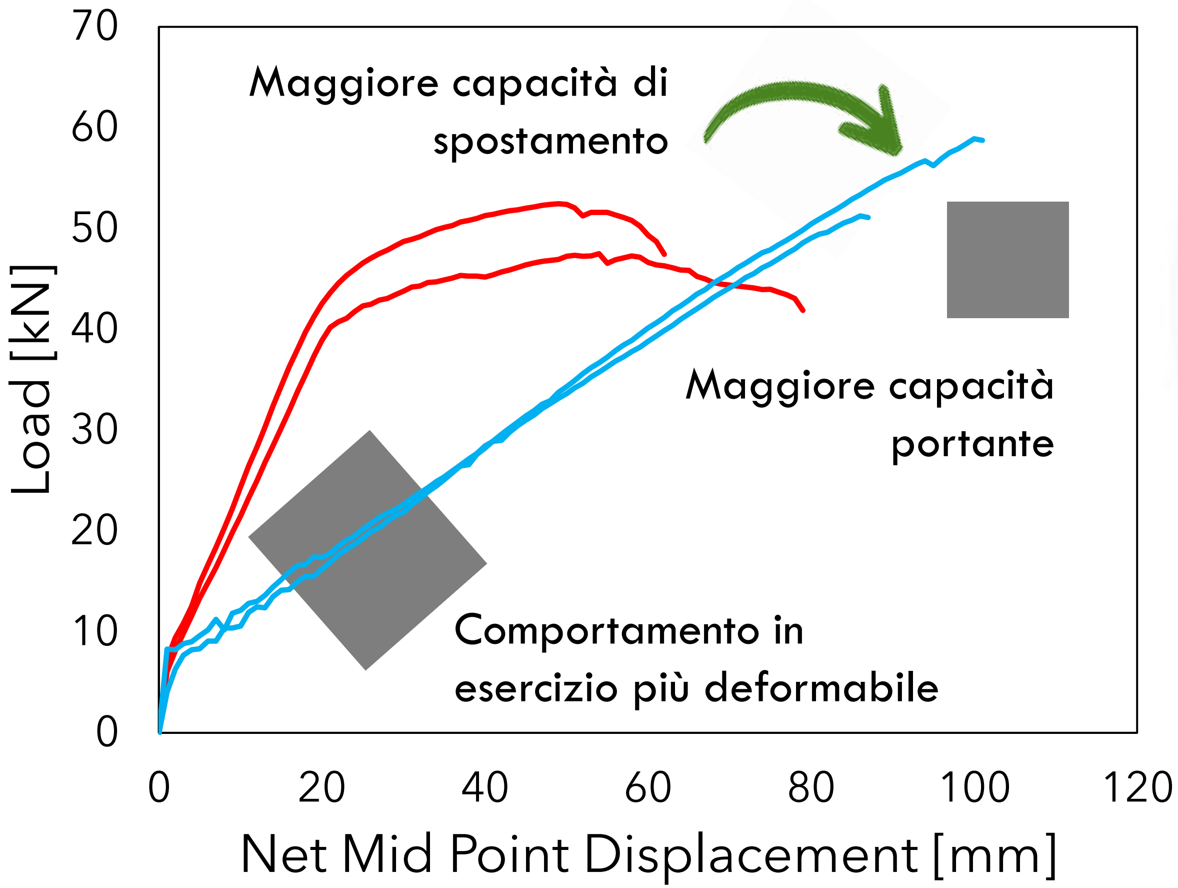
Nuove soluzioni strutturali per la riduzione degli impatti ambientali: Beams #1 vs. Beams #2.

BEAMS #1



BEAMS #2



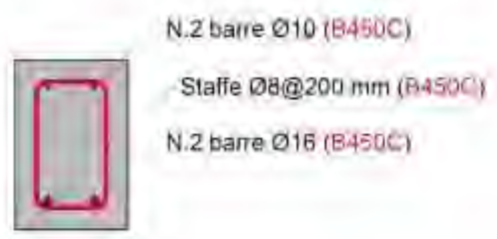


BEAMS #1
Soluzione tradizionale ACCIAIO

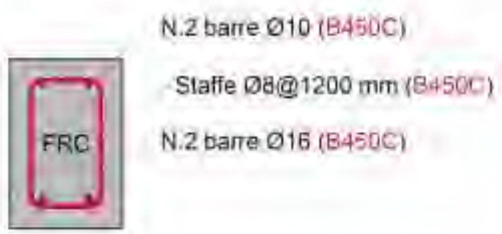
BEAMS #2
Soluzione innovativa GFRP + GFRP

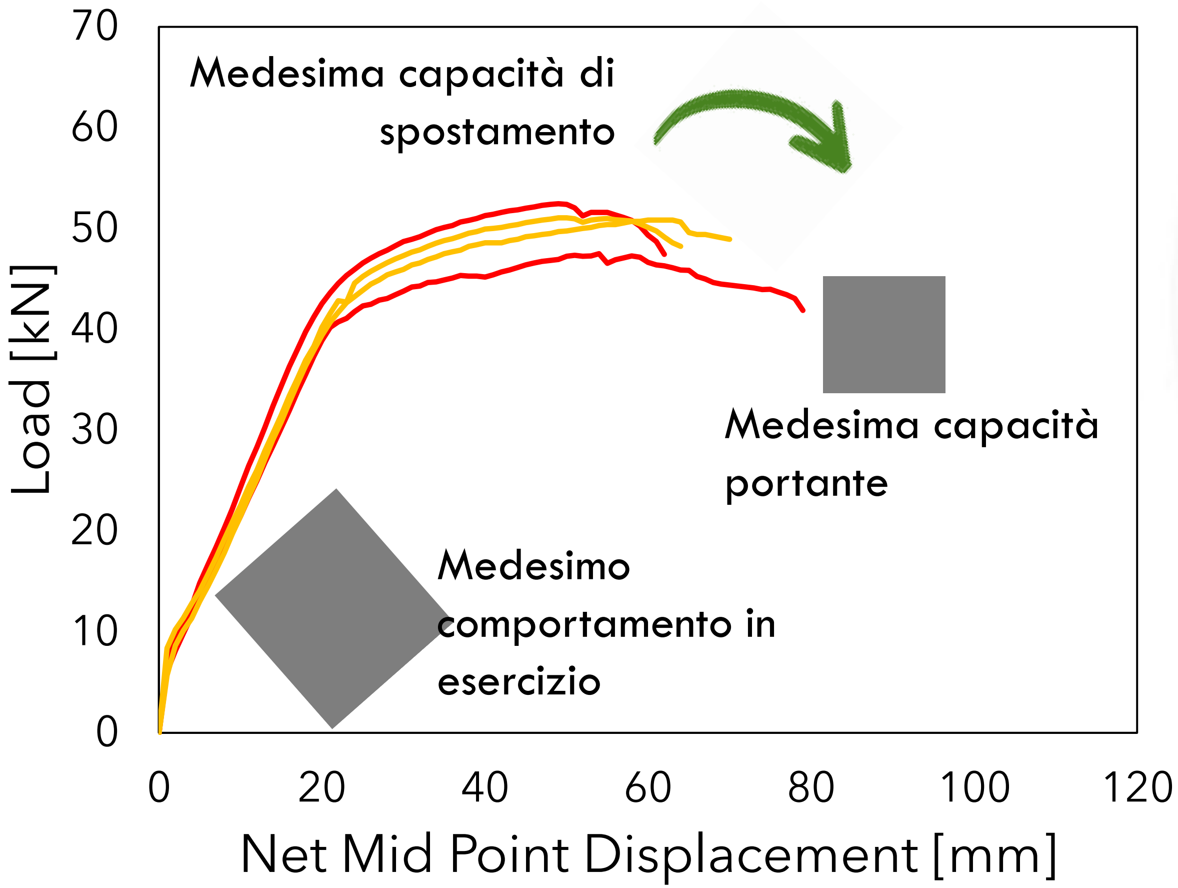
Nuove soluzioni strutturali per la riduzione degli impatti ambientali: Beams #1 vs. Beams #3.

BEAMS #1



BEAMS #3





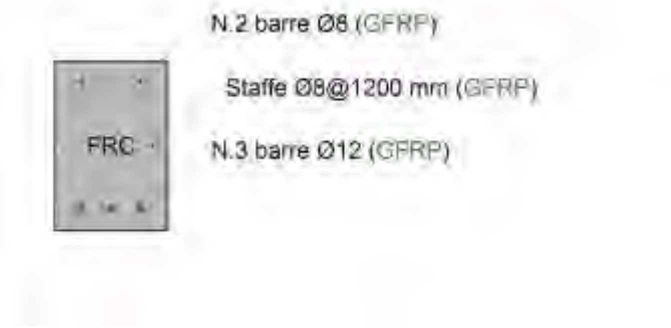
BEAMS #1
Soluzione tradizionale
ACCIAIO

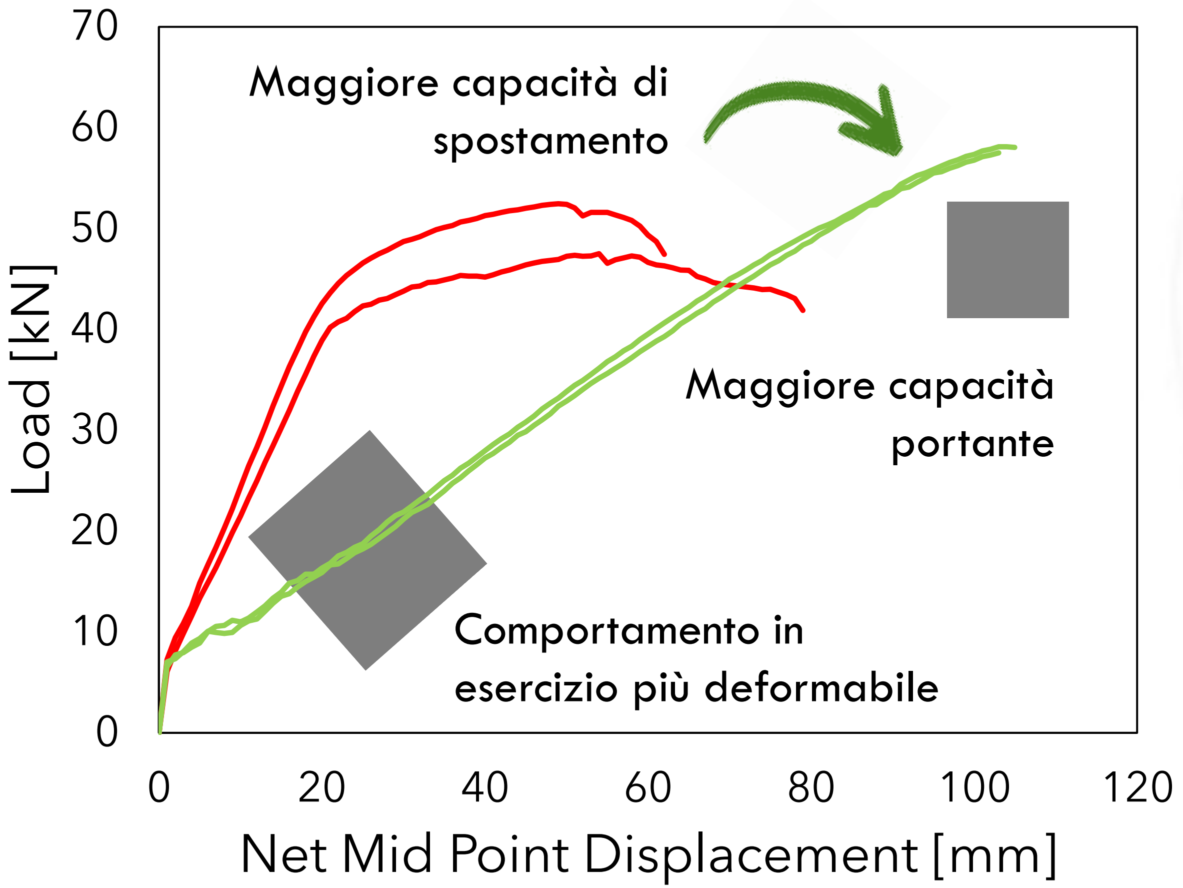
BEAMS #3
Soluzione innovativa
ACCIAIO + FRC

Nuove soluzioni strutturali per la riduzione degli impatti ambientali: Beams #1 vs. Beams #4.

BEAMS #1

BEAMS #4





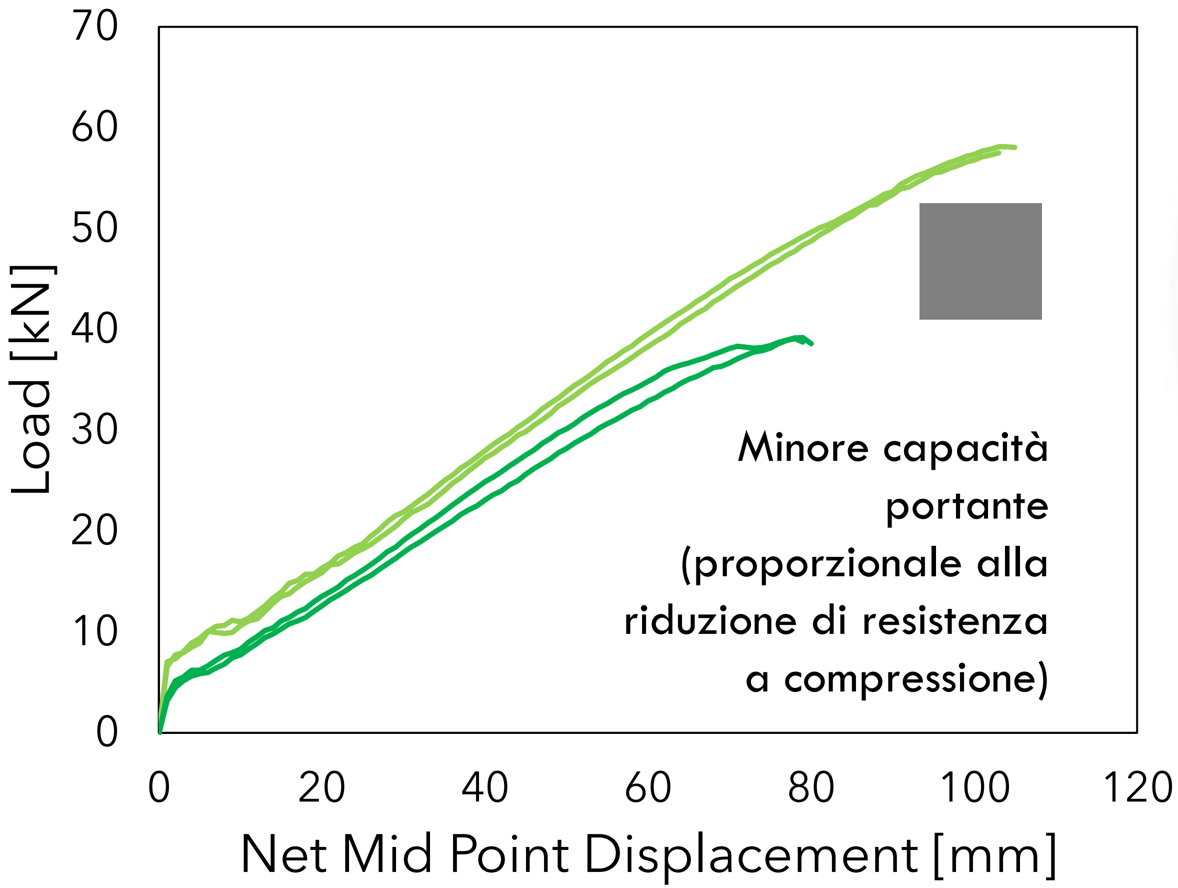
BEAMS #1
Soluzione tradizionale ACCIAIO

BEAMS #4
Soluzione innovativa FRC + GFRP

Nuove soluzioni strutturali per la riduzione degli impatti ambientali: Beams #4 vs. Beams #5.

BEAMS #4

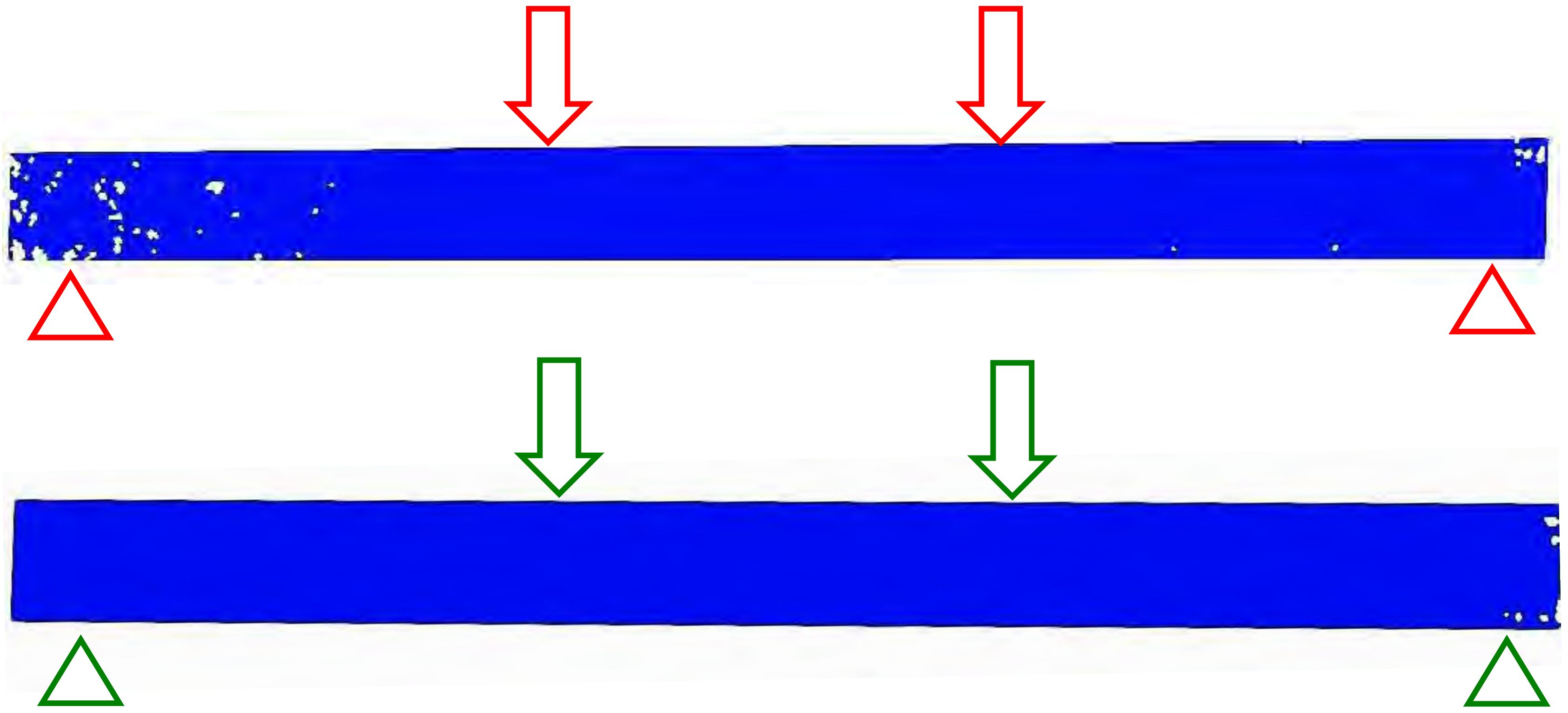
BEAMS #5



BEAMS #4
Soluzione innovativa FRC + GFRP

BEAMS #5
Soluzione innovativa FRC + GFRP

Nuove soluzioni strutturali per la riduzione degli impatti ambientali: quadro fessurativo.



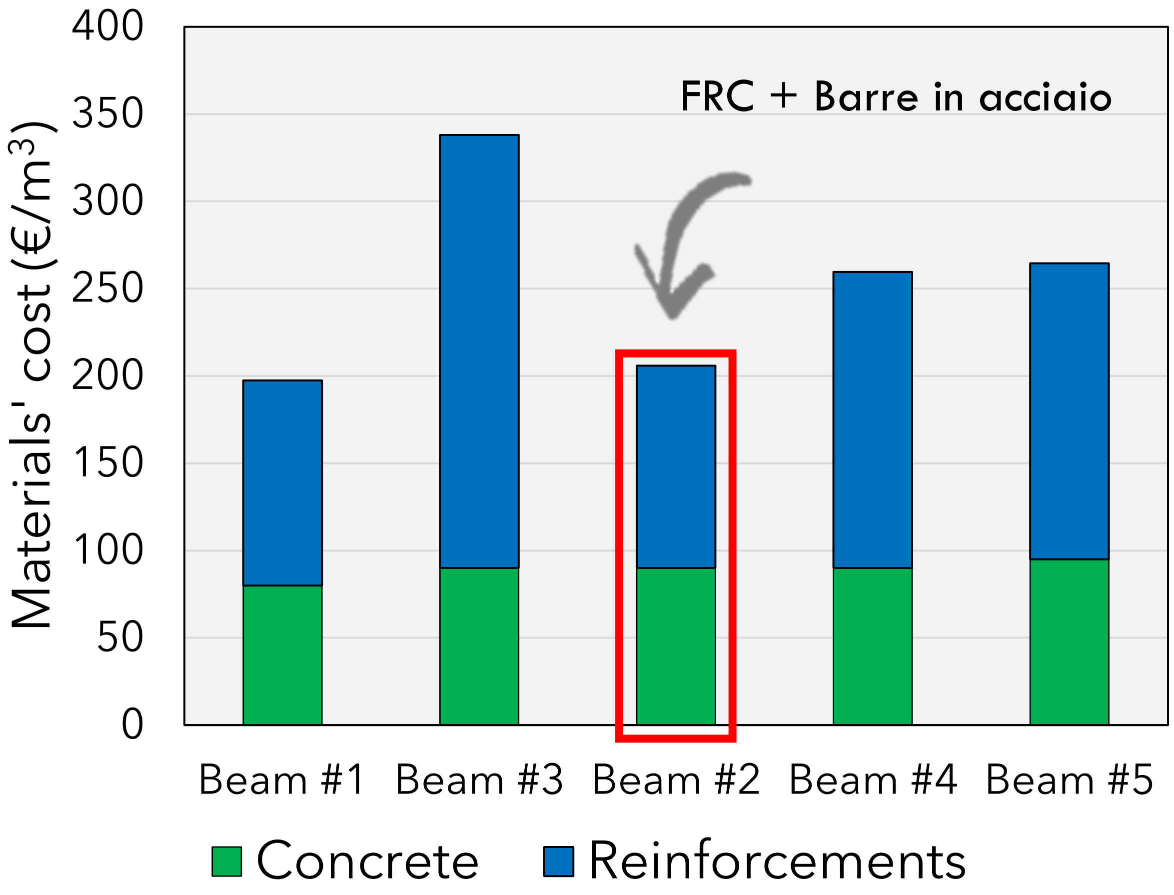
BEAMS #1
Soluzione tradizionale ACCIAIO

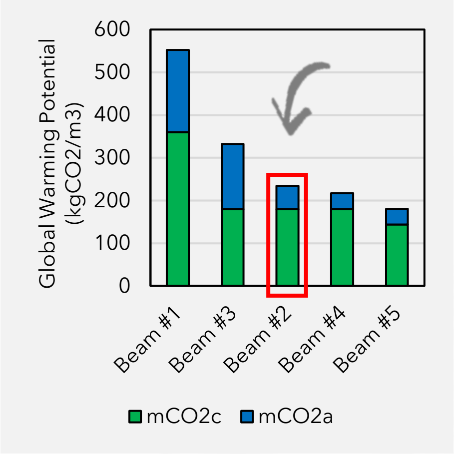
BEAMS #4
Soluzione innovativa FRC + GFRP

La stima dei costi.

Costi relativi alla fornitura dei rinforzi

Costi relativi alla fornitura del calcestruzzo

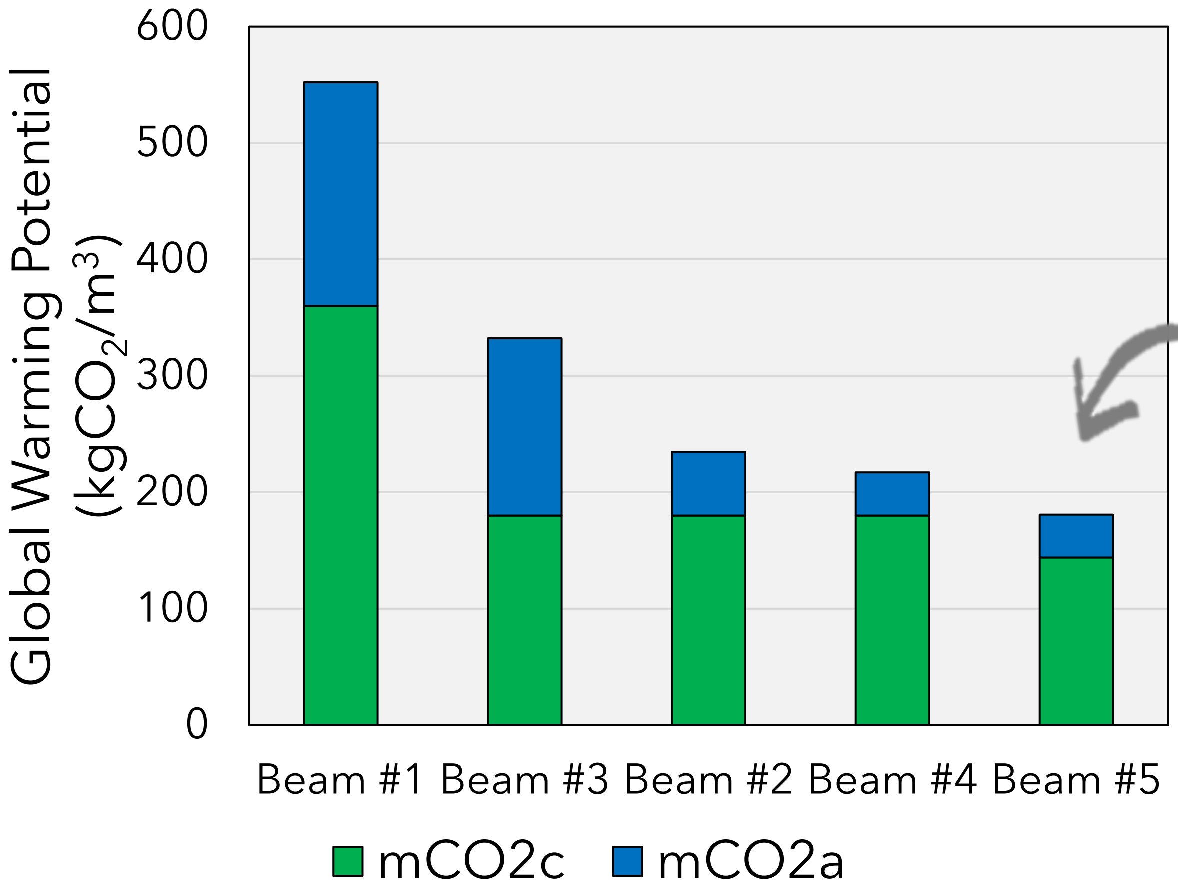


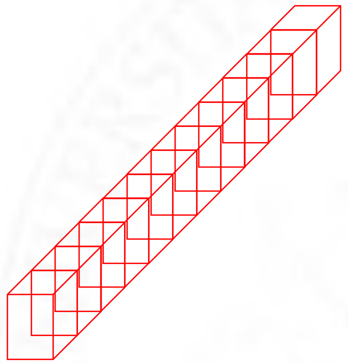


Valutazione degli impatti ambientali: Global Warming Potential (A1+A2+A3).

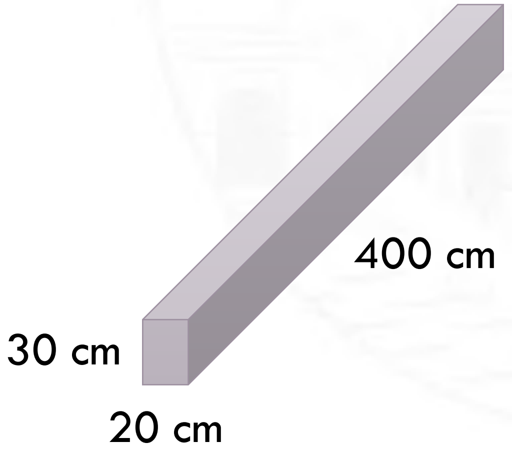
Emissioni relative alla produzione dei rinforzi

Emissioni relative alla produzione del calcestruzzo

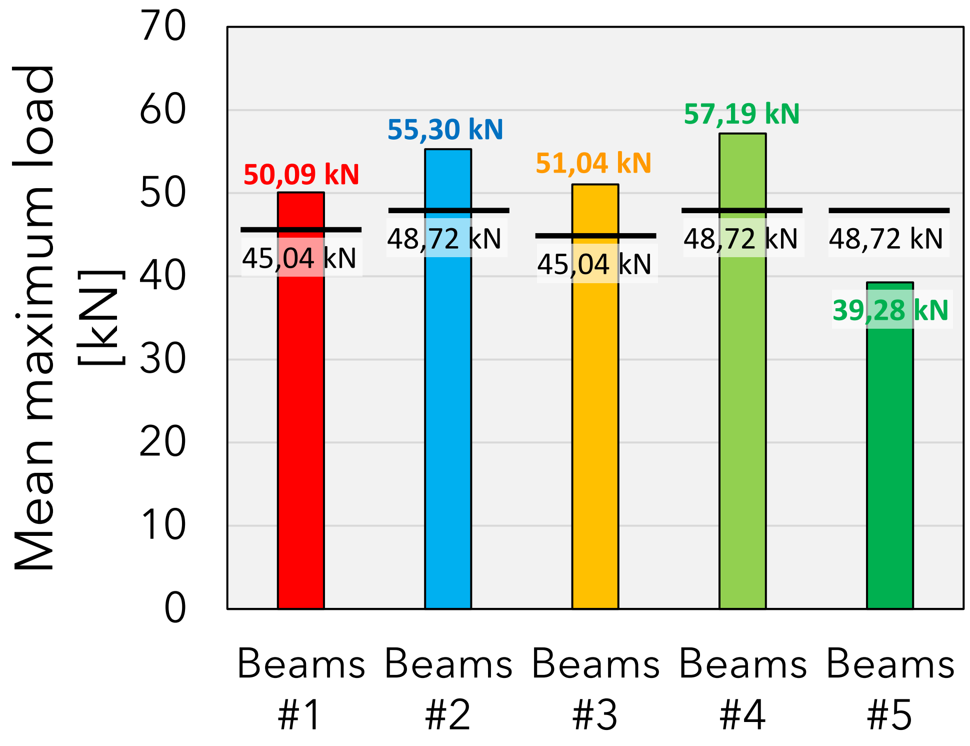




Riduzione fino al 70%



Nuove soluzioni strutturali per la riduzione degli impatti ambientali: capacità portante.



	M_{Rd} (kNM)	P_{max} (kN)	Failure (-)
Beams #1	54,05	**45,04**	Concrete compression
Beams #2	58,46	**48,72**	Concrete compression
Beams#3	54,05	**45,04**	Concrete compression
Beams #4	58,46	**48,72**	Concrete compression
Beams #5	58,46	**48,72**	Concrete compression