

FEDERAZIONE NAZIONALE INGEGNERIA CIVILE

L'economia circolare nell'ingegneria civile

Il riciclo di scarti geogenici e biogenici di origine marina:
esperienze e criticità tra ricerca e sviluppo tecnologico

Claudia Vitone

in Europa: 200000000 m³/anno



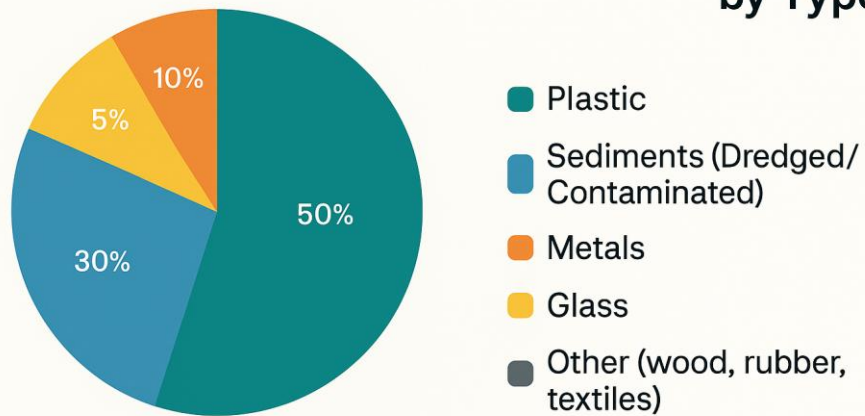
10000 edifici di 5 piani



OSPAR Commission (2023); SedNet 2023; CEDA & IADC (2019); Harral et al., 2024

sedimenti dragati: geoscarti critici

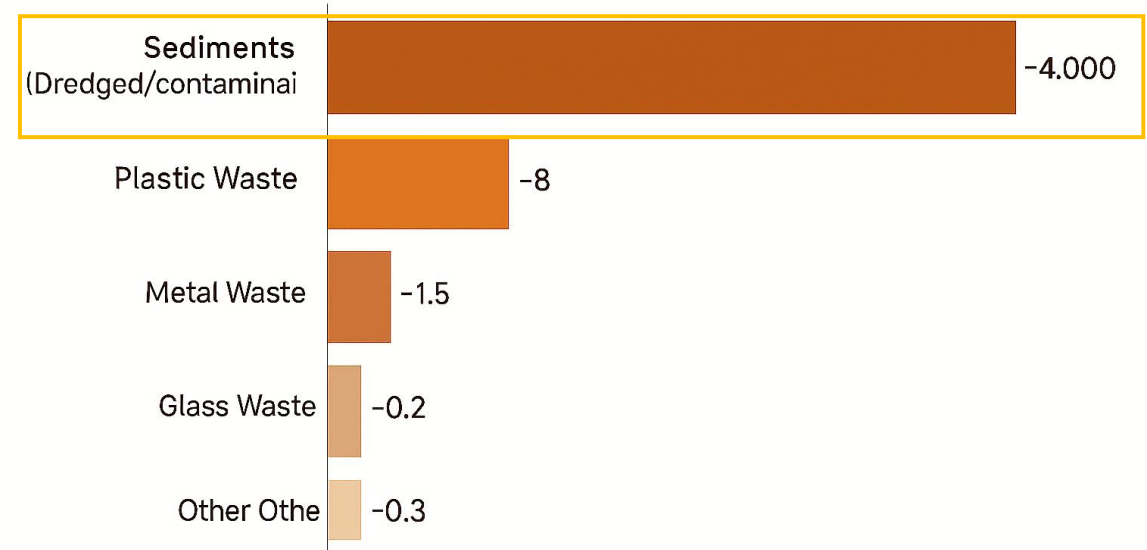
Estimated Composition of Marine Waste by Type



Sources: UNEP, OSPAR Commission, HELCOM, European Environment Agency (EEA)

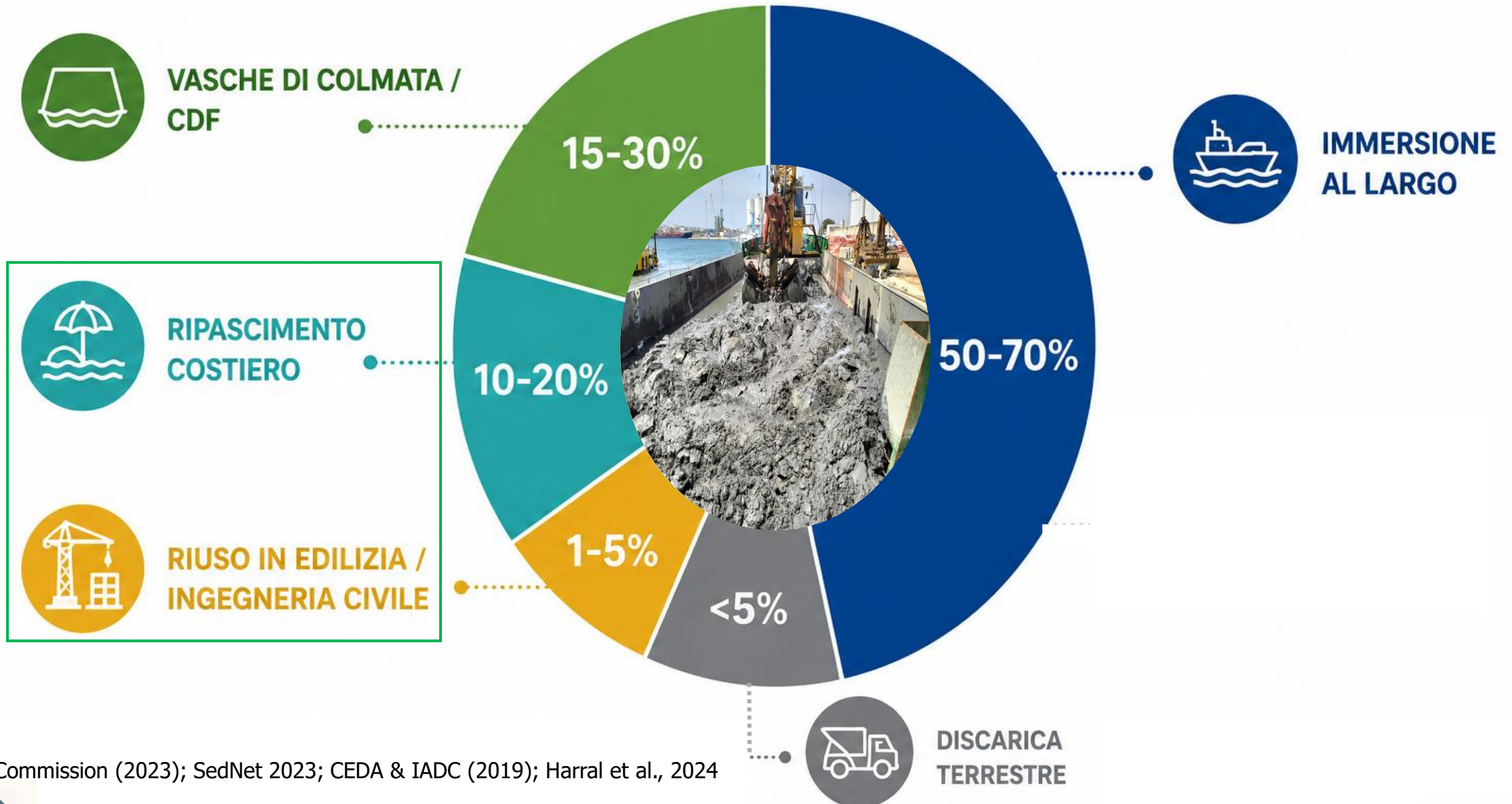
Estimated Annual Marine Waste Volumes by Type

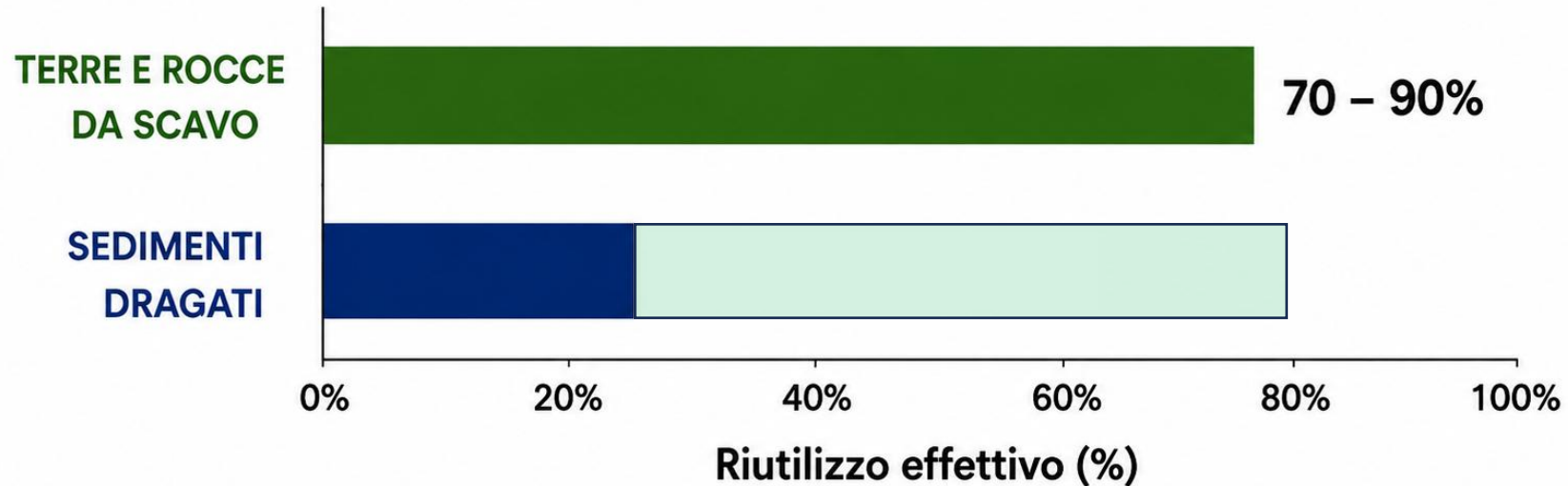
(in million tonnes)



Sources: UNEP, EEA

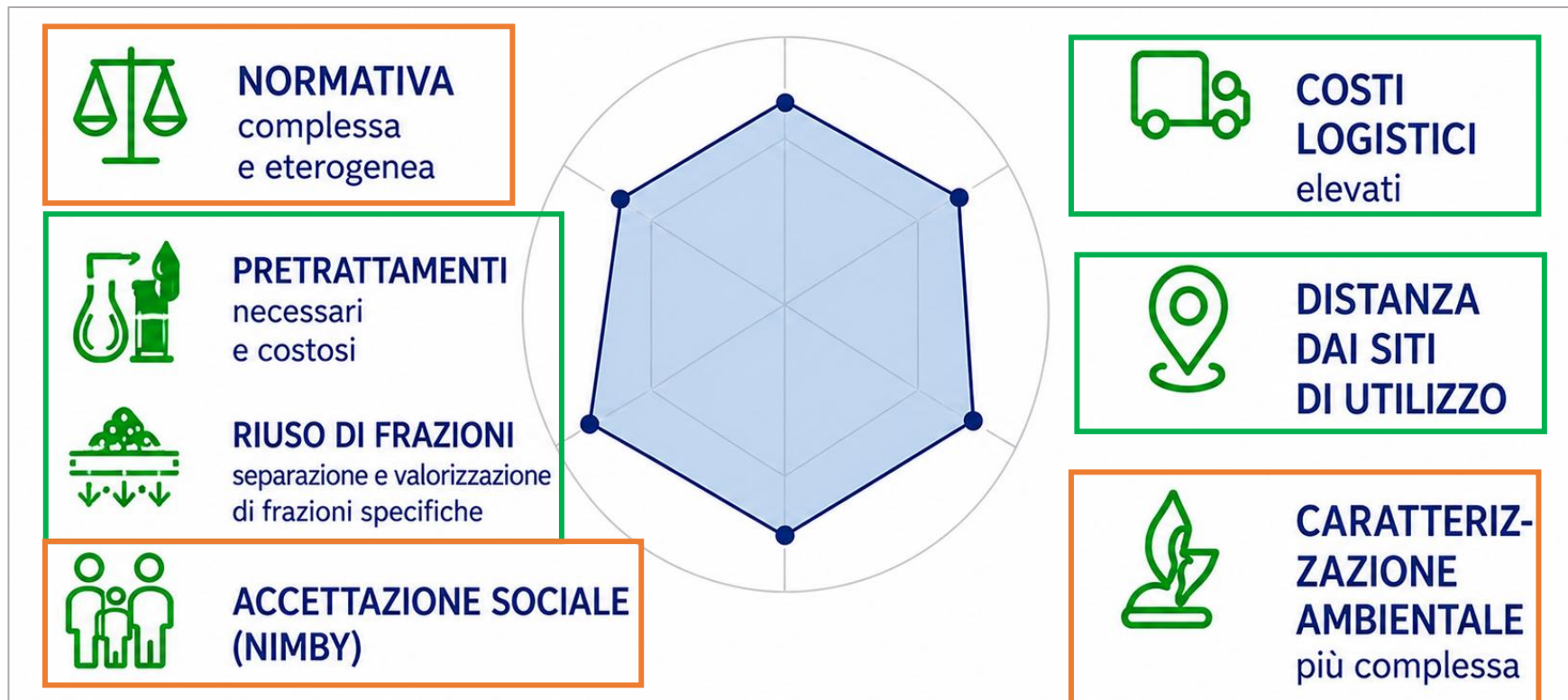
sedimenti dragati: destinazioni attuali in Europa





- ❑ Importante gap rispetto a un **potenziale di riutilizzo** di circa il **70-80%**.

SedNet 2021-2023, CEDA & IADC (2019), Harral et al., 2024



❑ **Ricerca e sviluppo tecnologico nel campo dell'ingegneria civile** possono rivestire un ruolo importante per ridurre tale gap.

SedNet 2021-2023, CEDA & IADC (2019), Harral et al., 2024

- Deagglomerazione a secco per **utilizzi nei calcestruzzi** (*Wang et al., 2022*).
- Uso come materiali grezzi per la **produzione di clinker** (*Solanki et al., 2023*).
- **Utilizzo delle frazioni grossolane** nella produzione del calcestruzzo (*Hamza et al., 2023*).
- **Miglioramento meccanico dopo pretrattamento** (e.g., lavaggio, asciugatura, separazione granulometrica) usando **leganti idraulici** (e.g., *Wang et al., 2018*).

- ❑ Pre-trattamenti pesanti, spesso soluzioni non sostenibili su larga scala in termini di costi di trasporto e consumo di CO₂.

1. **Trattamento diretto** (minimizzazione dei pre-trattamenti), eventualmente anche nello stesso sito di dragaggio.
2. Sviluppo e utilizzo di **leganti/additivi** a **basso impatto ambientale**.
3. Sviluppo di **biogeocompositi** e applicazioni in sito.



BINDERS
ADDITIVES
ADSORBENTS



❑ **Prerequisito:** **caratterizzazione integrata** (non solo **chimico-ambientale** ma anche **geo-idro-meccanica**) del sedimento prima e dopo il trattamento.

sedimenti: geomateriali complessi

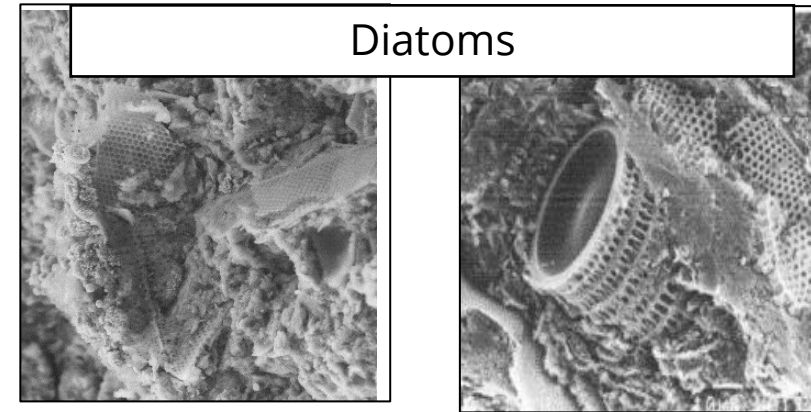
Consistency



Organic content



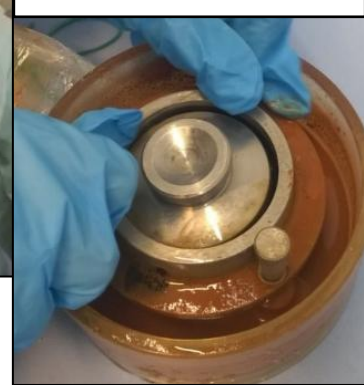
Diatoms



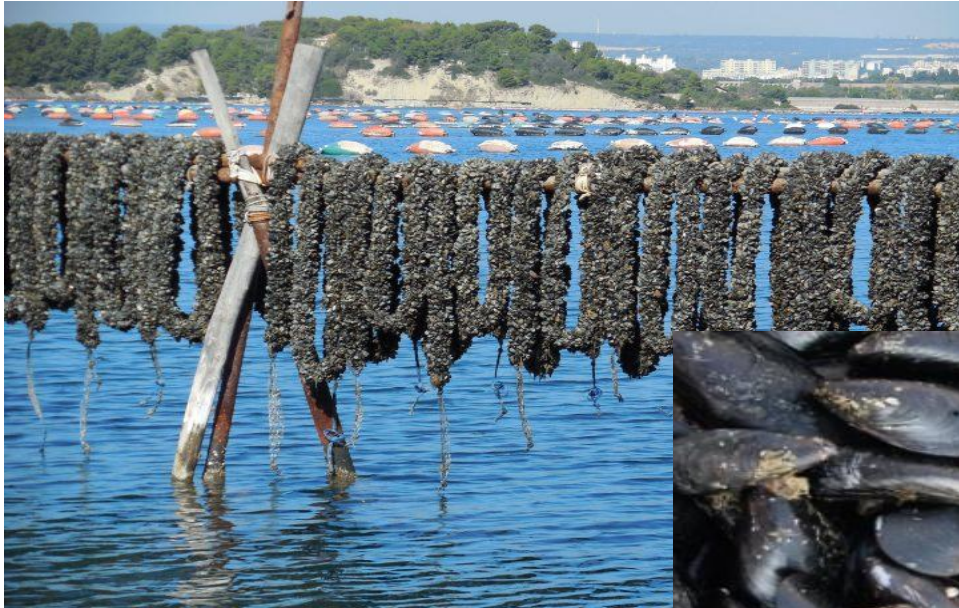
Microfossils, shells



Pollutants



Federico et al., 2014 CJG; Sollecito et al. 2023, *Géotechnique*; Cotecchia et al., 2021 *Scientific Reports*



- ❑ Europa: secondo produttore mondiale (500kt/anno).
- ❑ Rifiuto non compostabile.

 CARBONATO DI CALCIO (CaCO₃) • Plastiche • Vernici • Carta • Edilizia • Fertilizzanti	 OSSIDO DI CALCIO (CaO) • Trattamento acque • Stabilizzazione terreni • Cemento	 IDROSSIAPATITE • Impianti dentali • Sostituti ossei • Medicina rigenerativa	 BIOCOMPOSITI • Pannelli • Bioplastiche • Stampa 3D • Materiali da costruzione	 AMMENDANTI AGRICOLI • Correzione pH • Fertilizzanti • Agricoltura biologica	 AGGREGATI E GRANULATI • Calcestruzzi e malte ecologiche • Sottofondi stradali • Frangiflutti e opere costiere
 Masselli autobloccanti	 Frangiflutti e barriere costiere	 ALTRE APPLICAZIONI Integratori minerali per mangimi	 Vernici riflettenti "Cool Roof"	 Pannelli e materiale composito	 Terrazzo e superfici decorative

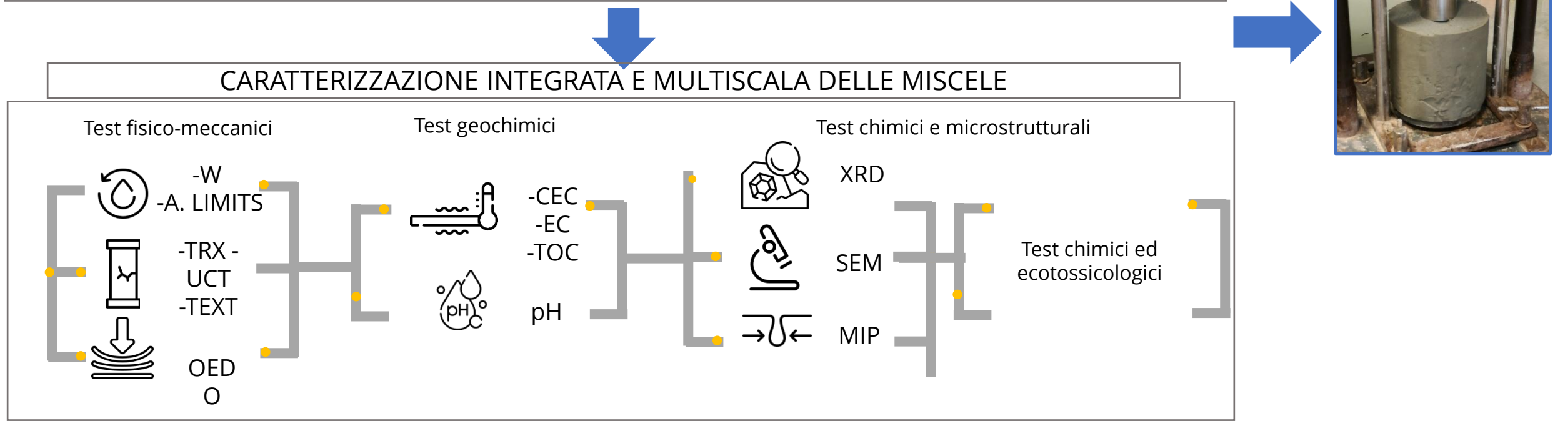
Azarian & Sutapun, 2022; Triunfo et al., 2022; Basile et al., 2024; Gimenes e Silva et al., 2026

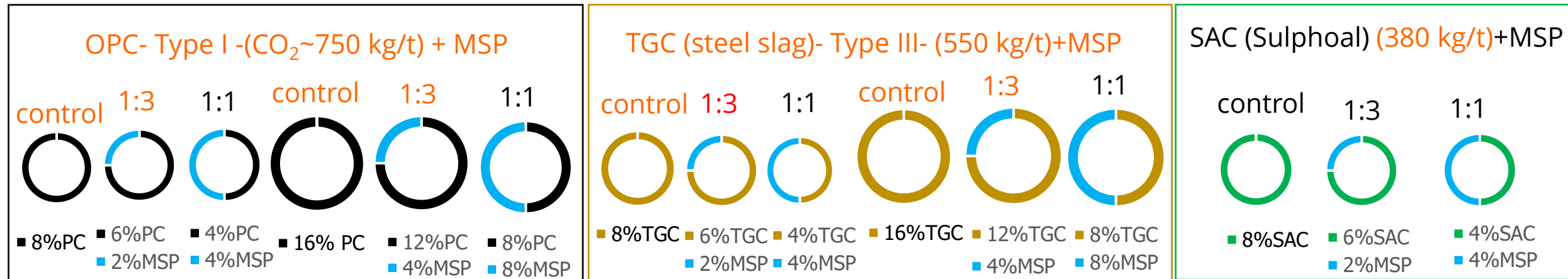
Azienda	Paese	Gusci trattati (indicativo)	Prodotto principale	Applicazioni	Valore di mercato
Ovive SA	Francia	≈3.700 t/anno	Granulati e polvere di CaCO_3	Agricoltura, mangimi, paesaggistica, industria	120–450 €/t
Providentiel Coquillages	Francia	>10.000 t/anno	CaCO_3 e ammendanti	Agricoltura, mangimi, correttivi del suolo	100–300 €/t
Calcinor	Spagna	n.d.	Carbonato di calcio biogenico	Plastiche, carta, vernici, edilizia	120–350 €/t
Cool Roof France	Francia	n.d.	Vernici riflettenti	Efficientamento energetico degli edifici	8–15 €/m ²
Oceanium	Regno Unito	n.d.	Biomateriali	Bioeconomia e ingredienti industriali	n.d.

❑ Diversi livelli di maturità delle filiere in Europa. L'Italia, considerando la grande produzione, appare indietro.

❑ Possibili azioni per promuovere la valorizzazione







Petti et al., 2025 Géotechnique

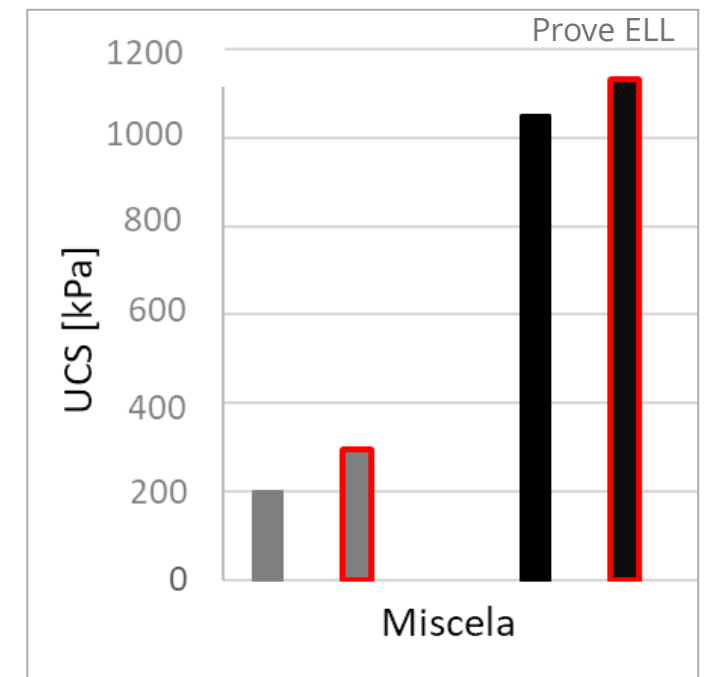
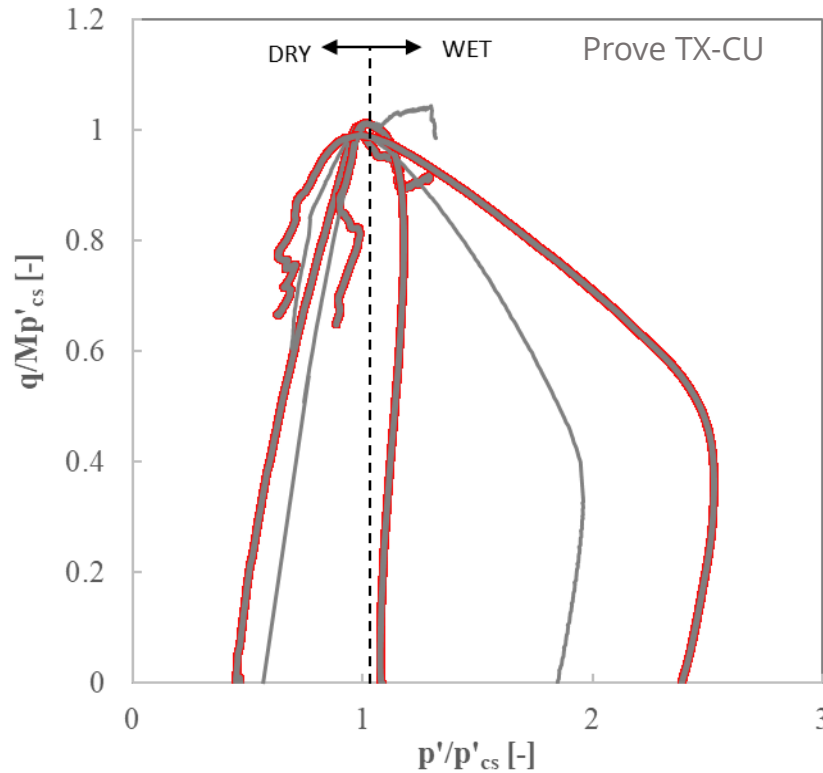
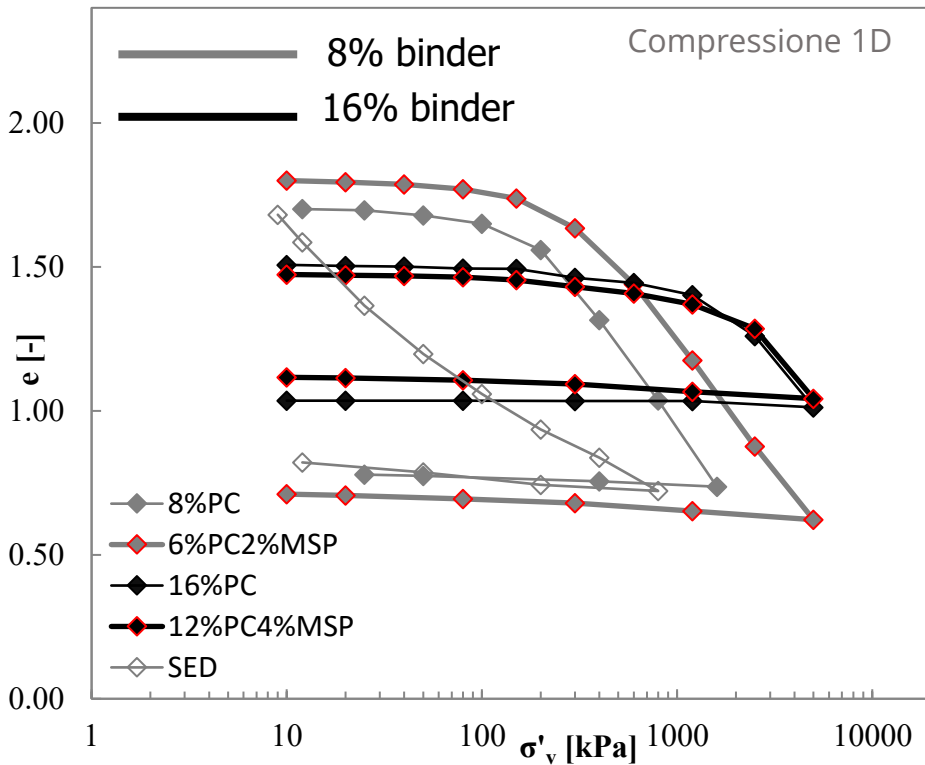


Sedimento

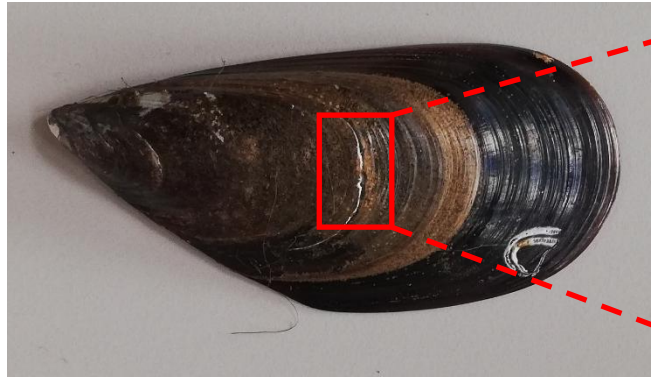
$w_0 = 73\%$

$w_L = 53.5\%$

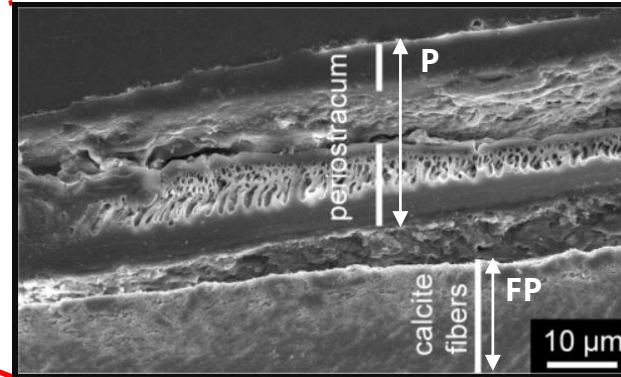
$CF = 30.4\%$



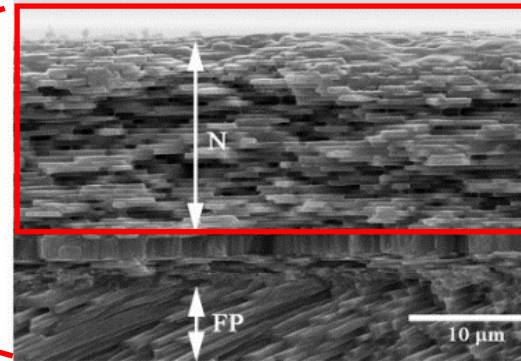
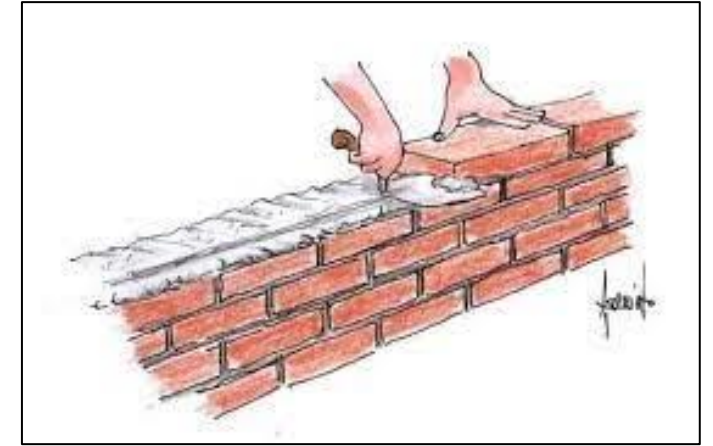
□ Tensione di snervamento, resistenza a compressione uniassiale



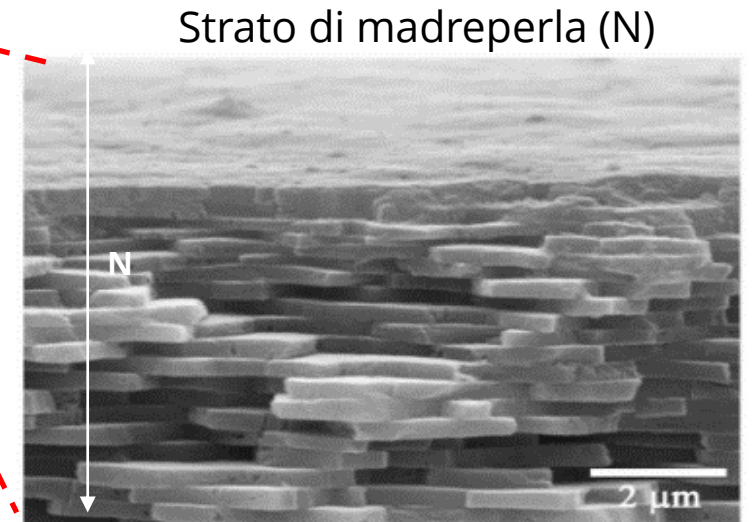
Mytilus galloprovincialis



Periostraco (P) e strato prismatico (FP)



Struttura prismatica (FP) e strato di madreperla (N)



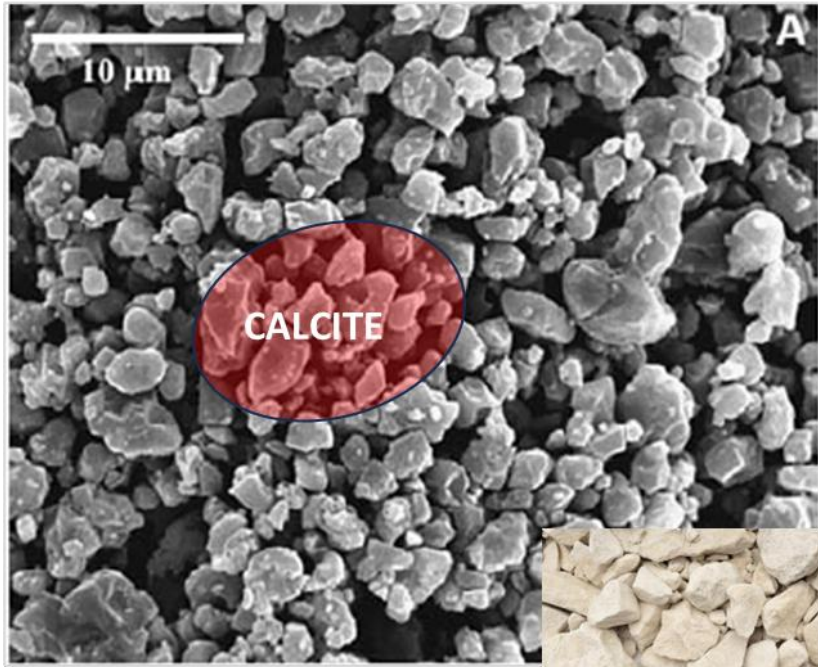
Strato di madreperla (N)

Ballester et al., 2007; Hahn, 2011; Gènio et al., 2014

- ❑ Gusci di mitili: **carbonato di calcio** con biostruttura ibrida a mattoni e malta organica e inorganica

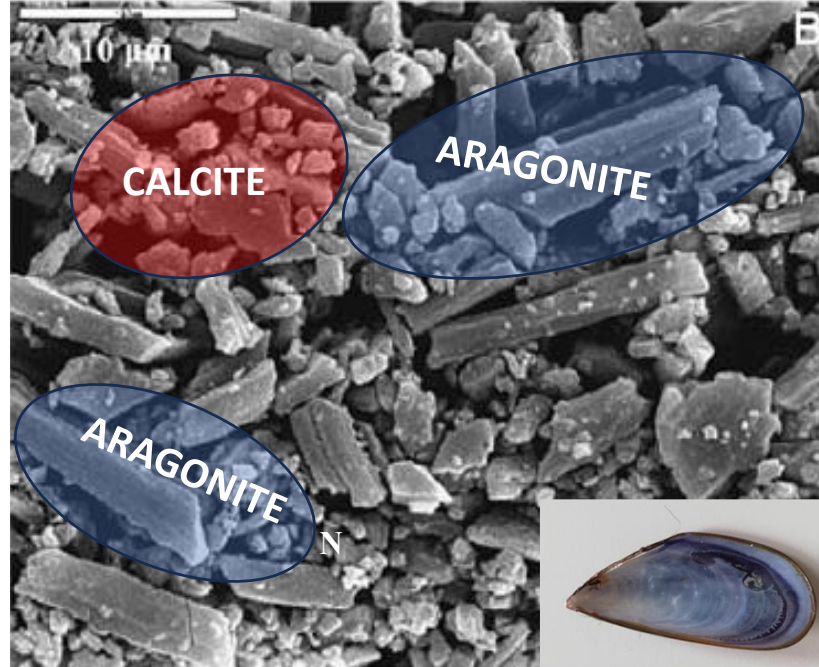
carbonato di calcio: geogenico (calcare) vs biogenico (mitili)

GEOGENIC CALCIUM CARBONATE

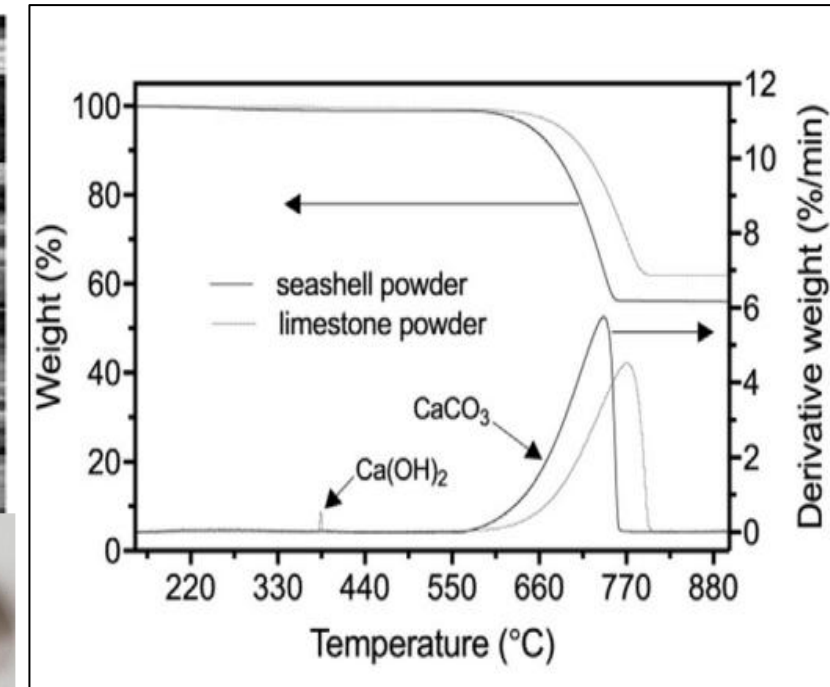


S_B BET calcare = 1.5 m²/g,
1.78% Aragonite

BIOGENIC CALCIUM CARBONATE



S_B BET mitili = 3.433 m²/g
26.7% Aragonite

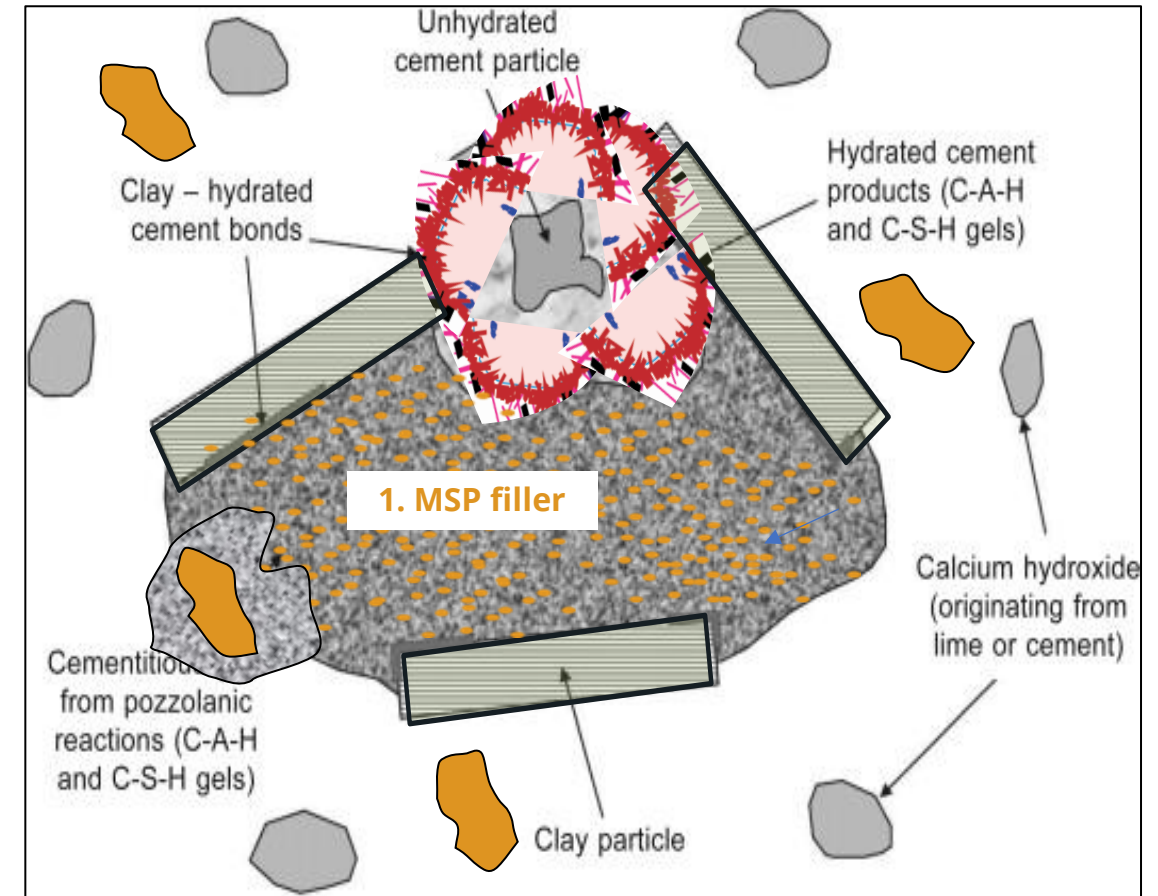


- ❑ Bio-CaCO₃: diversa morfologia e composizione, meno stabile.

miscele **sed+cemento+bio**CaCO₃(MS): primo modello

Effetti della polvere di gusci di mitili (anche se non calcinata):

- ❑ **Meccanico: filler.**
- ❑ **Fisico: incremento dei siti di nucleazione.**
Favorisce la precipitazione di ulteriori prodotti di idratazione.
- ❑ **Chimico: ulteriore idratazione del cemento.** Parziale dissoluzione chimica e precipitazione di calcio e carbonato per ambiente alcalino.



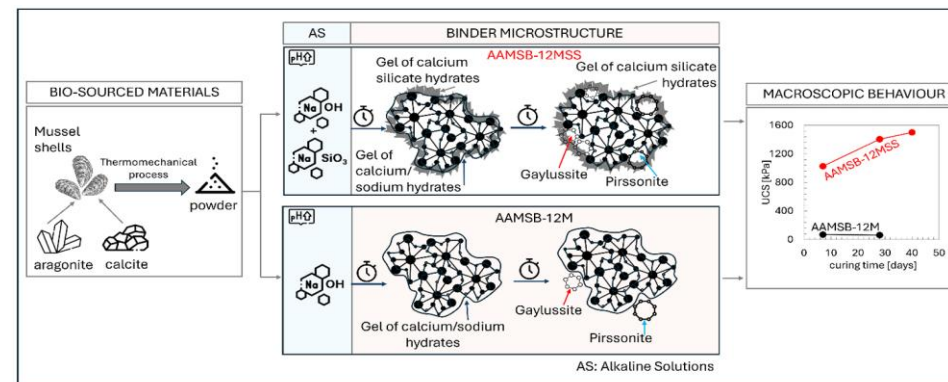
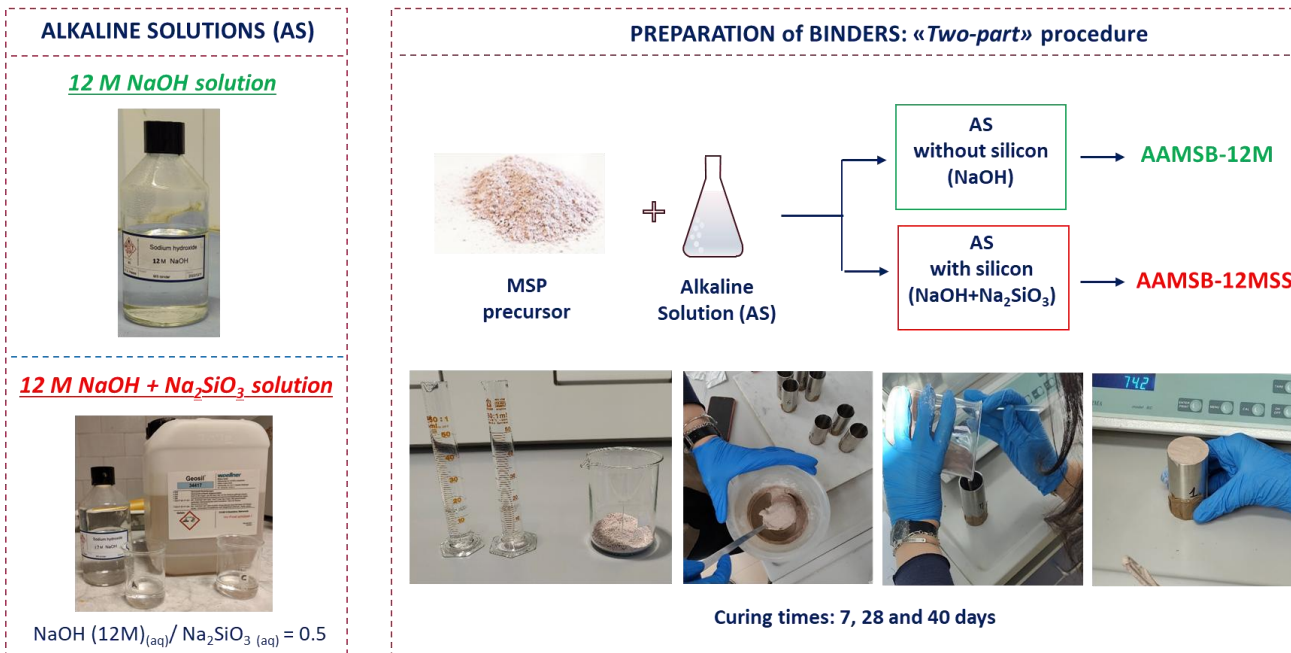
2. MSP per siti di nucleazione

3. Calcio dissociato (da MSP)

Petti et al. 2026, *Cleaner Materials*

la ricerca più recente

Precursori nei leganti ad attivazione alcalina



Vitale, Pesce et al., 2026 Biogeotechnics



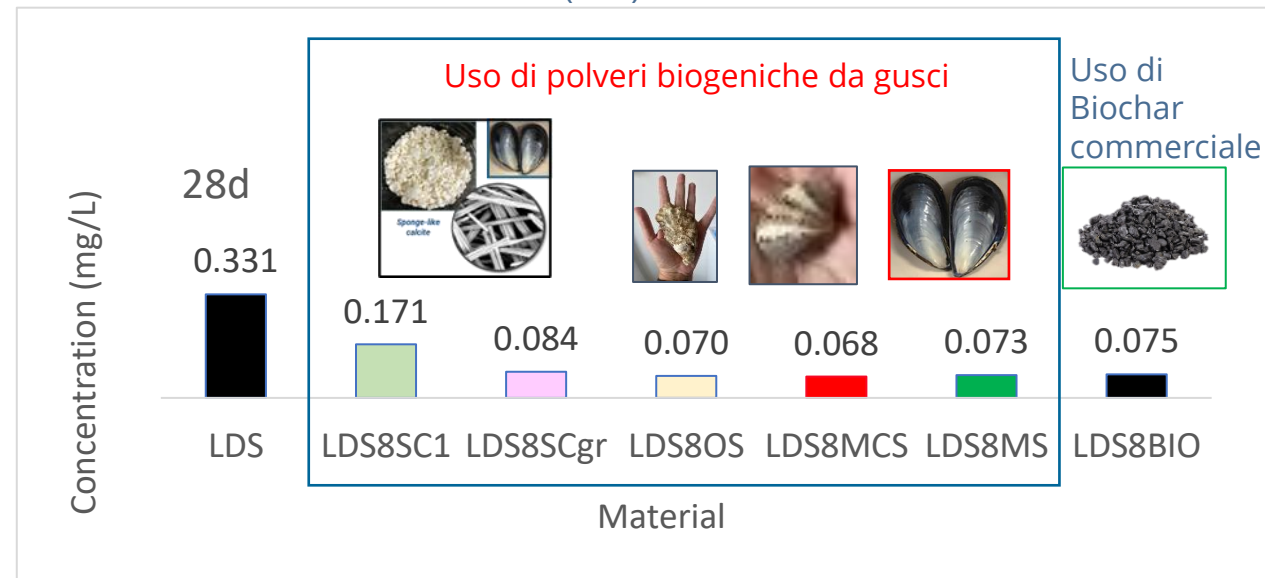
**Sponge-like
SOFT CALCITE (SC)**



Candy-floss texture



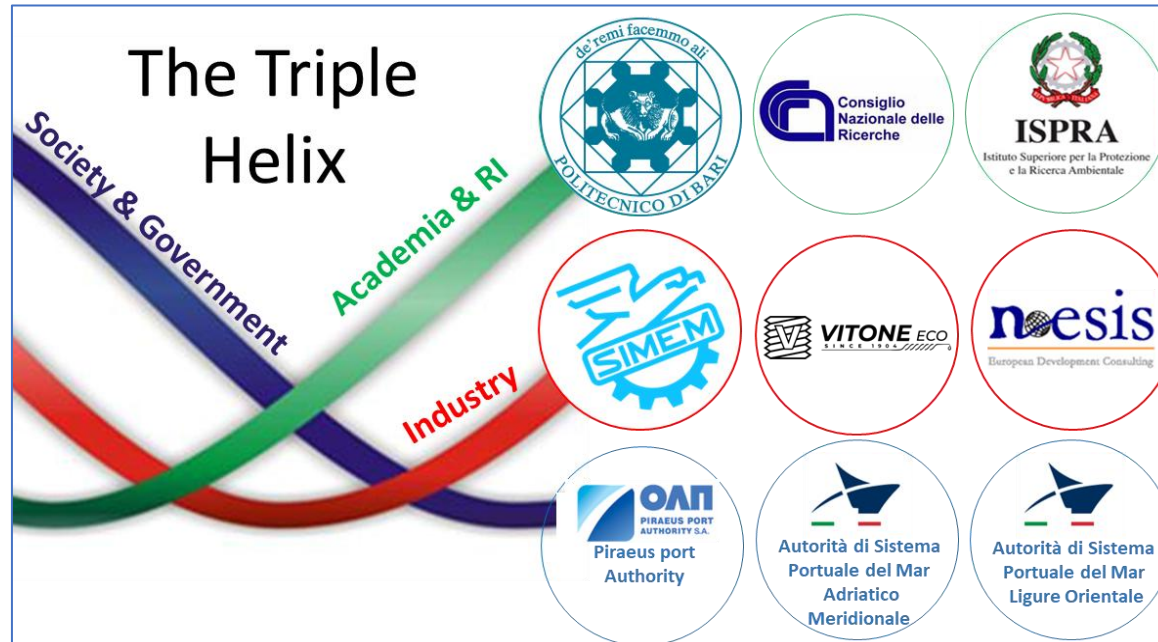
Sedimento contaminato da Piombo (LDS) e LDS con assorbenti



Carcagni et al., 2026

EU LIFE project GREENLIFE4SEAS (GL4S: 2024-2028)

GR^{een} EN^{gineering} solutions:
a new LIFE for SE^{diments} AN^d SH^{ells}



GREENLIFE4SEAS: network esteso



ETH zürich



भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, मुंबई
पवई, मुंबई-400 076, भारत

Indian Institute of Technology, Bombay
Powai, Mumbai-400 076, India

Ministero della Transizione Ecologica

DIPARTIMENTO SVILUPPO SOSTENIBILE



**Ministero
delle Infrastrutture e dei Trasporti**
Direzione Marittima di Bari



COMUNE DI BARI



COMUNE DI TARANTO
GABINETTO SINDACO



W3DS S.r.l.
Nuova vita ai gusci di mitili



VIBROTEK
SPECIALISTI IN PAVIMENTAZIONI ULTRA RESISTENTI



Tecom
tecnologie multifunzionali



Autorità di Sistema Portuale
del Mare Adriatico Orientale
Porti di Trieste e Monfalcone



Geosintex



SOUTHAGRO
il mare che nutre la terra



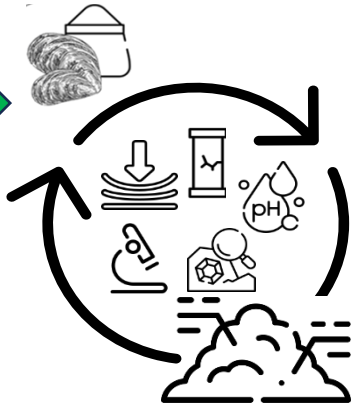
GREENLIFE4SEAS: layout di progetto



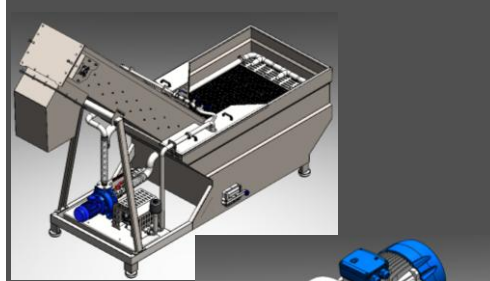
PRELIEVO DA 4 PORTI



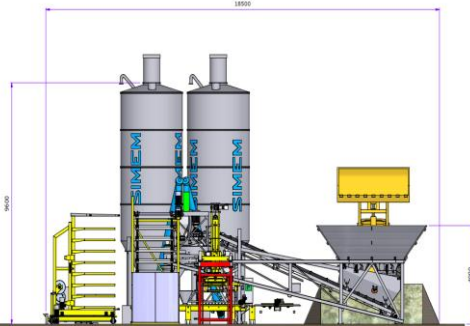
CARATTERIZZAZIONE INTEGRATA E MULTISCALE E MIX DESIGN (bioremediation se pericolosi)



PRODUZIONE INDUSTRIALE



Impianto per aggregati e polvere di gusci

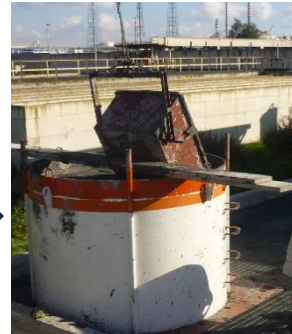


Impianto tratt. sedimenti e realizzaz. prodotti

PROTOTIPI



Masselli da esterno



Modelli fisici



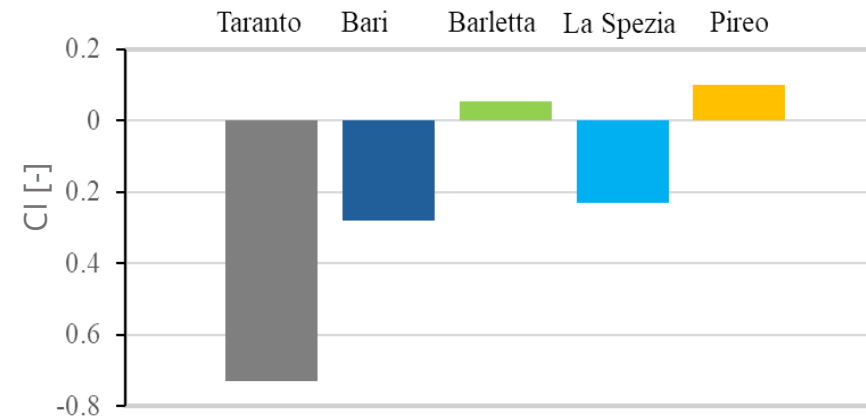
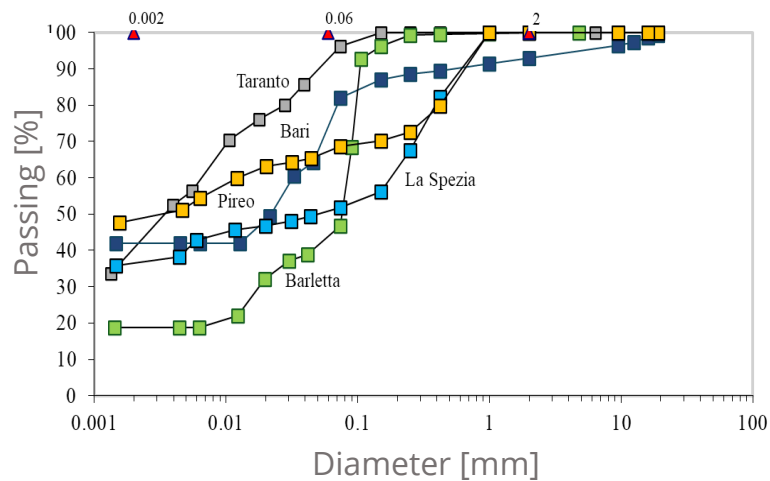
Massi frangiflutti

IN SITU

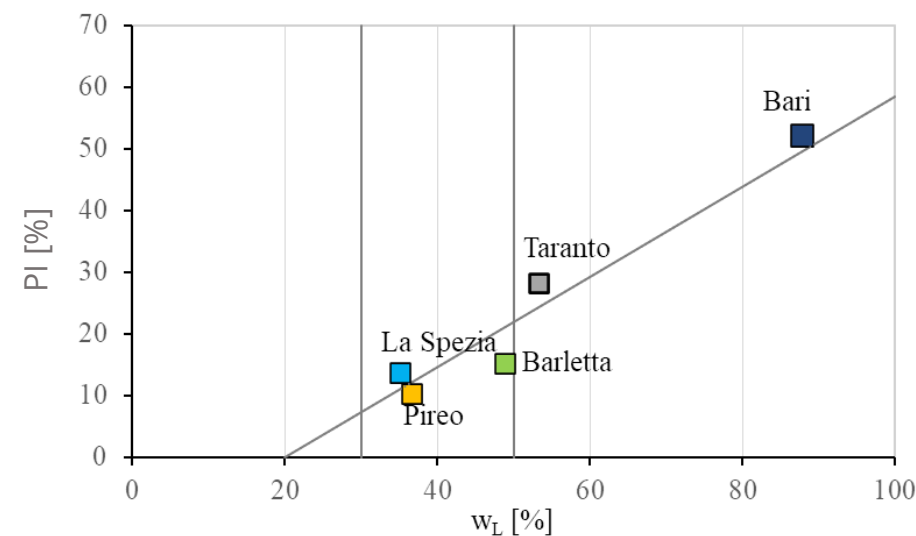
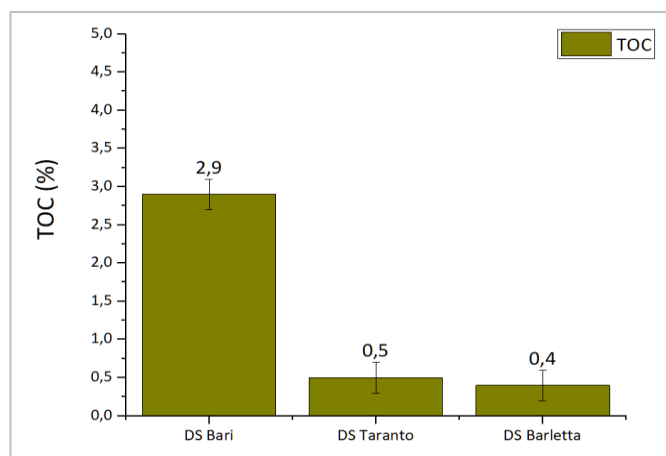
Applicazioni in 4 PORTI

- PIREO (GR)
- LA SPEZIA (IT)
- BARLETTA (IT)
- BARI (IT)





Miscele per modelli fisici





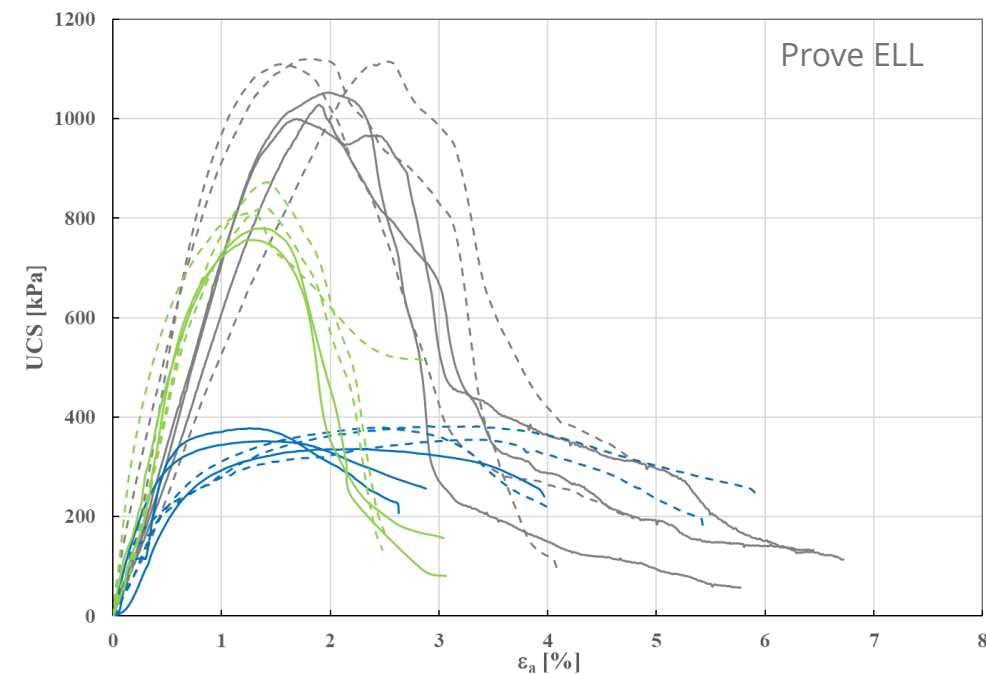
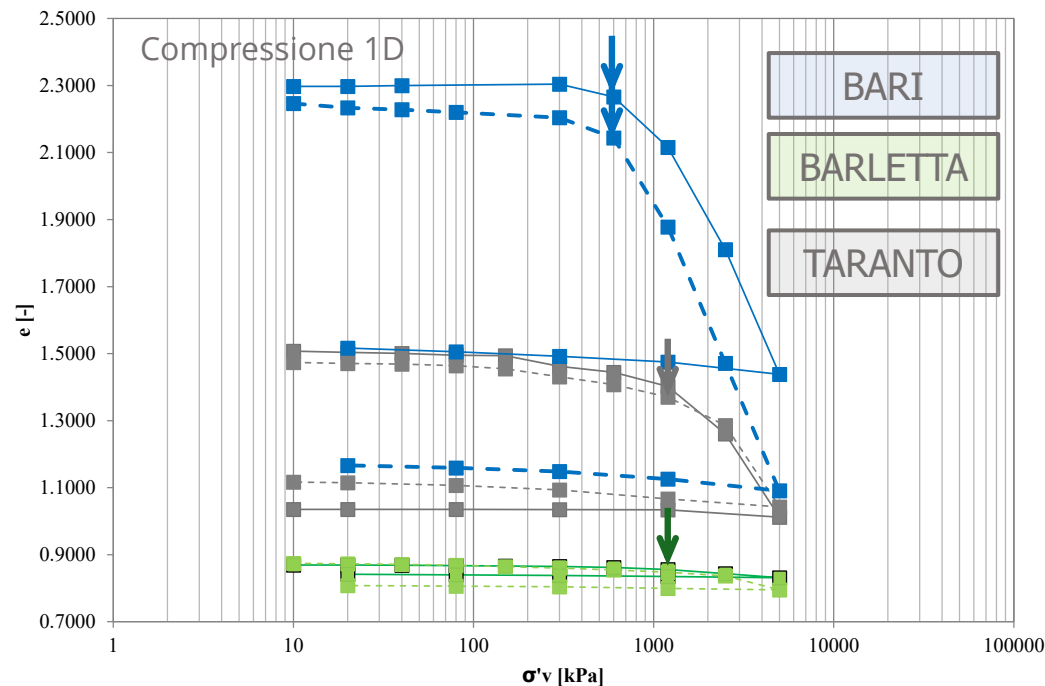
$w/b = 4.7; 28 \text{ gg}$

—— DS+Cem

----- DS+Cem+MSP (Cem/MSP 3:1)

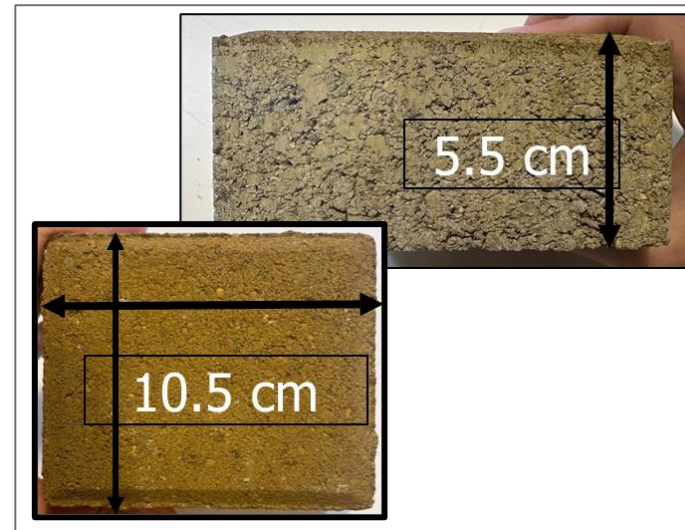
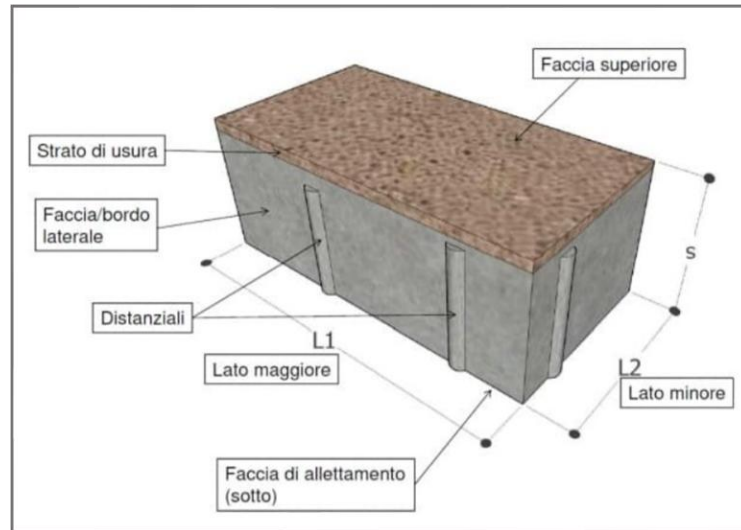


Miscele per
modelli fisici



- ❑ La soluzione con MSP sembra ancora efficace.
- ❑ Il comportamento delle miscele dipende dalle **caratteristiche geotecniche dei sedimenti**.

prodotti commerciali



Componenti: Sabbia 0.5-2.5 mm (65%), ghiaia fine (15%), Cemento e acqua (20%)

Reference standard UNI EN 1338

masselli da esterno: mix design

Sedimenti (DS)



Legante biogenico ibrido
(cemento e MSP)

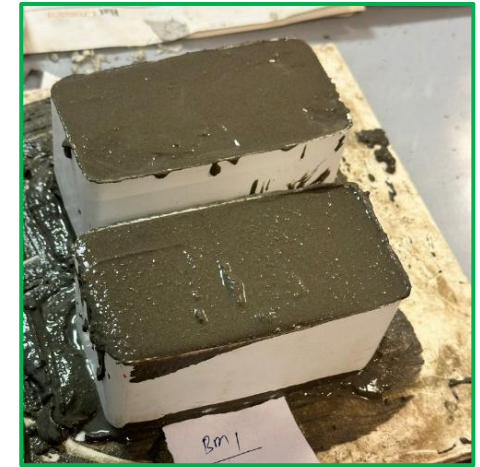
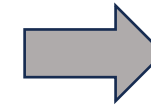


Sabbia
0.5-4 mm



e sostituzione con

Aggregato di gusci
(MSA) 0.5-2.5 mm



Aggregato di MS o sabbia / Sedimento secco = 1, 1.25, 1.5

Caratterizzazione fisica e meccanica

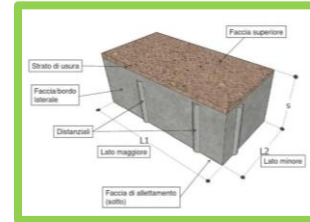
Compression and flexural tests



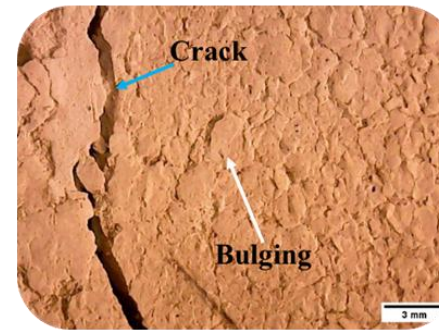
Flow test



Indirect tensile tests



Water stability, efflorescence, cracking



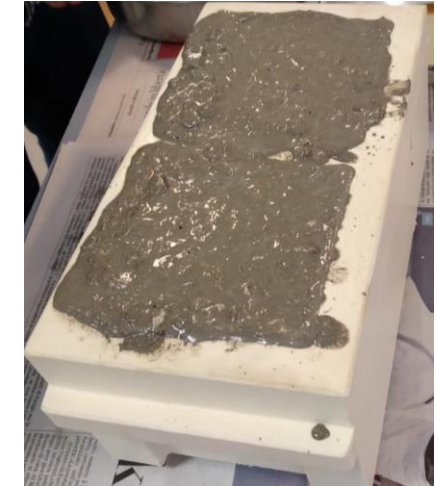
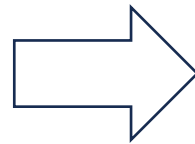
Leaching tests



mix design per massi frangiflutti



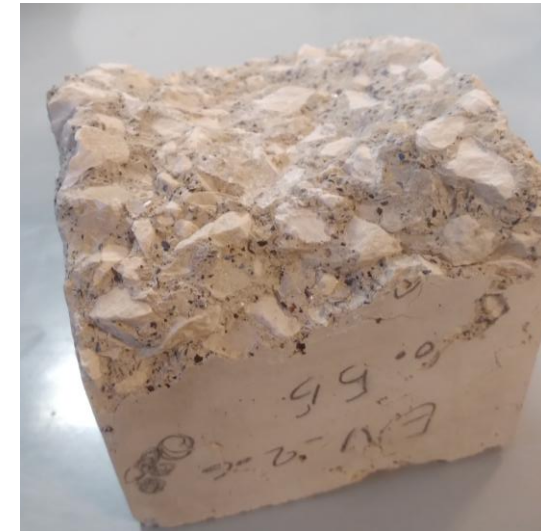
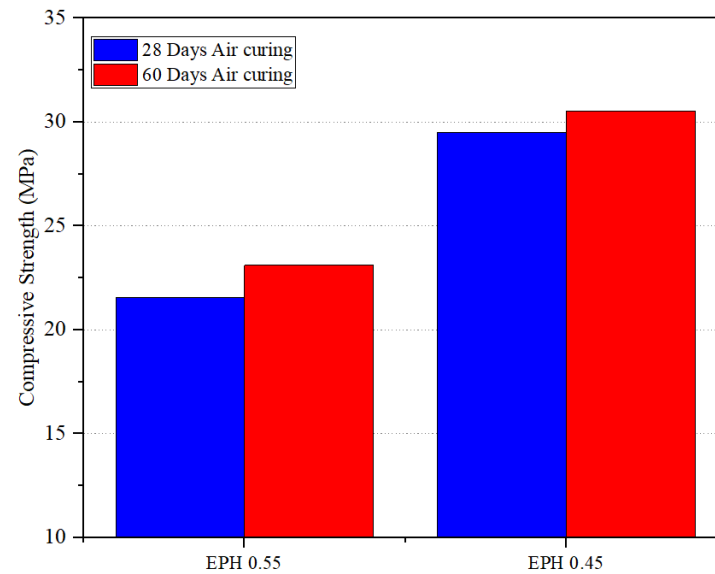
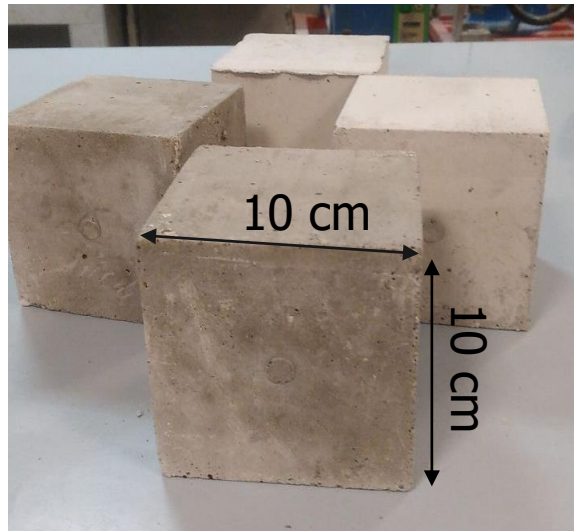
Miscele per
massi
frangiflutti

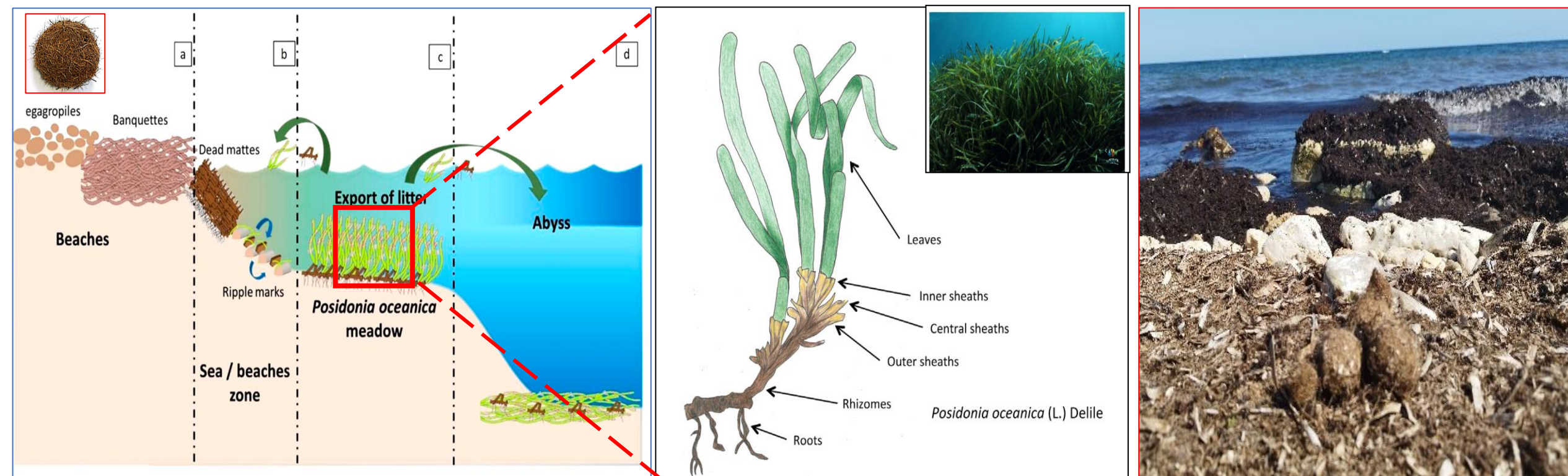


EN 206, ACI 318 standards, modified



Miscele per
massi
frangiflutti



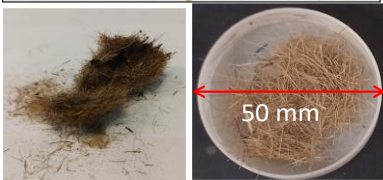


Si tratta di una pianta sottomarina composta di emicellulosa (19%), **cellulosa** (48%) e lignina (23%). Nel Mediterraneo si raccolgono sulle coste circa 5 Milioni di tonnellate di Posidonia Oceanica e la maggior parte viene attualmente conferita in discarica.

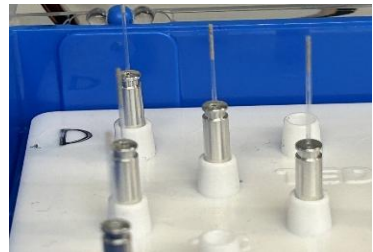
Petrounias et al., 2023; Restaino et al., 2023; D'Imperio et al., 2021

La bio-fibra di Posidonia (ESRF)

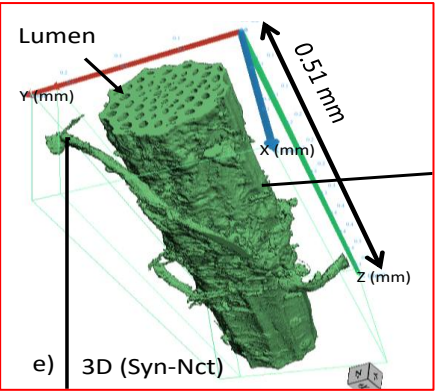
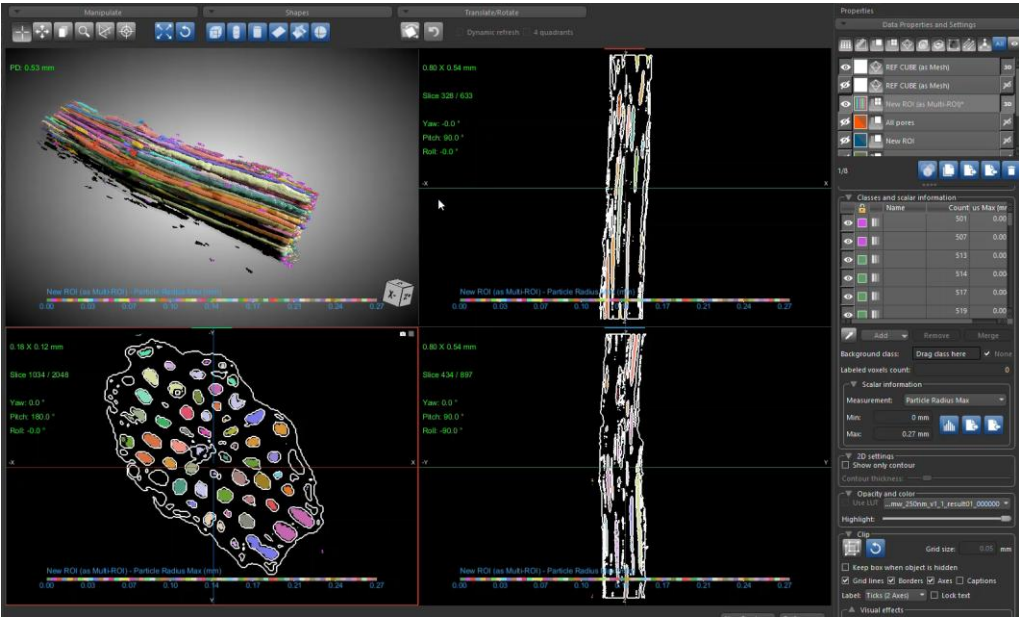
APERTURA E PREPARAZIONE
DELLE FIBRE (air-dried, AD,
and pre-soaked, PS,
conditions)



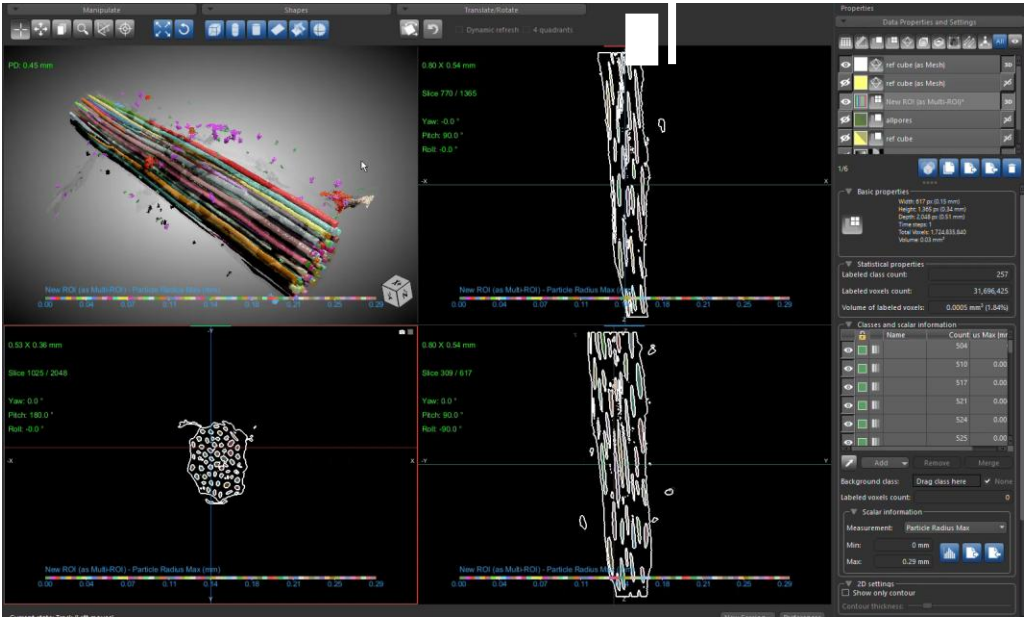
Tubi capillari di vetro
borosilicato
(d=0.3 mm)



Pre-Soaked (PS) fibre



Air-Dried (AD) fibre



Karimiazar et al., 2026, *Scientific Reports*



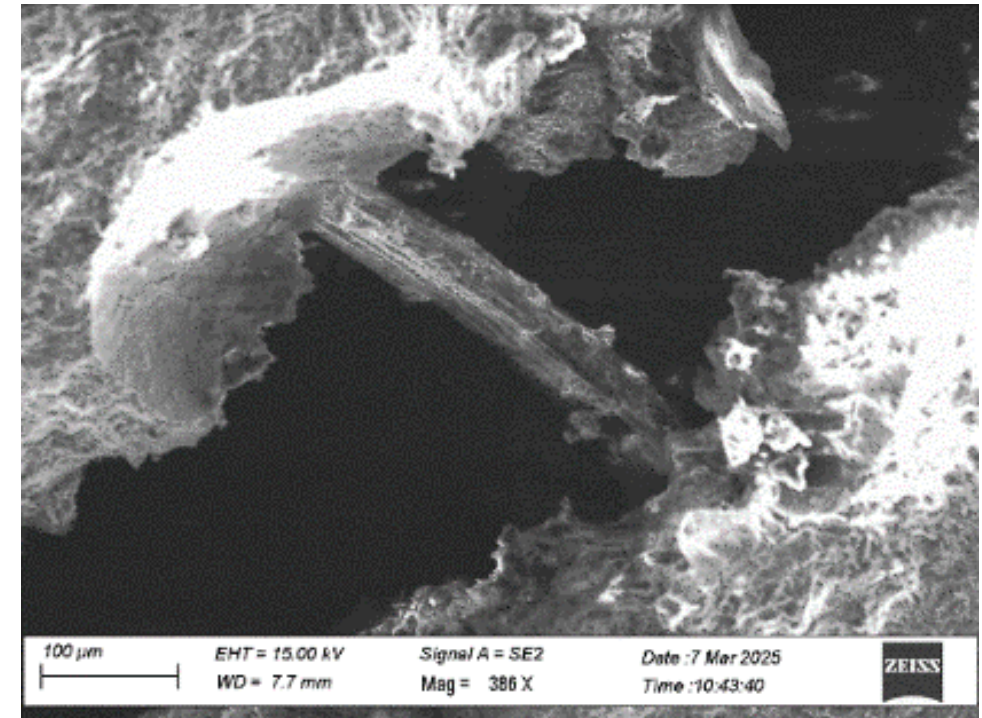
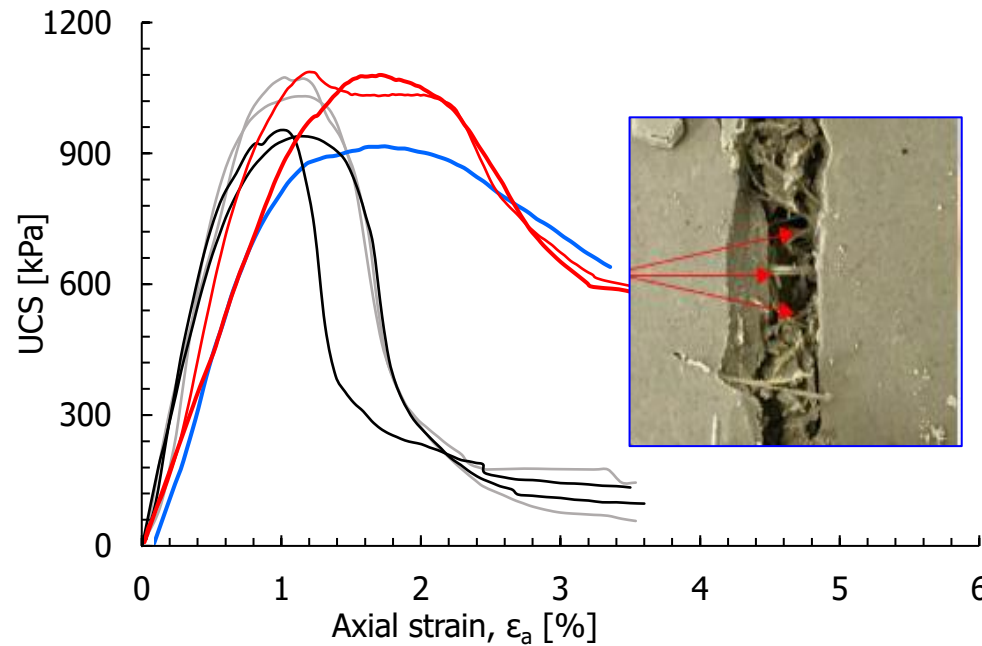
Taranto Sed

$w_0 = 73\%$

$w_L = 53.5\%$

CF = 30.4%

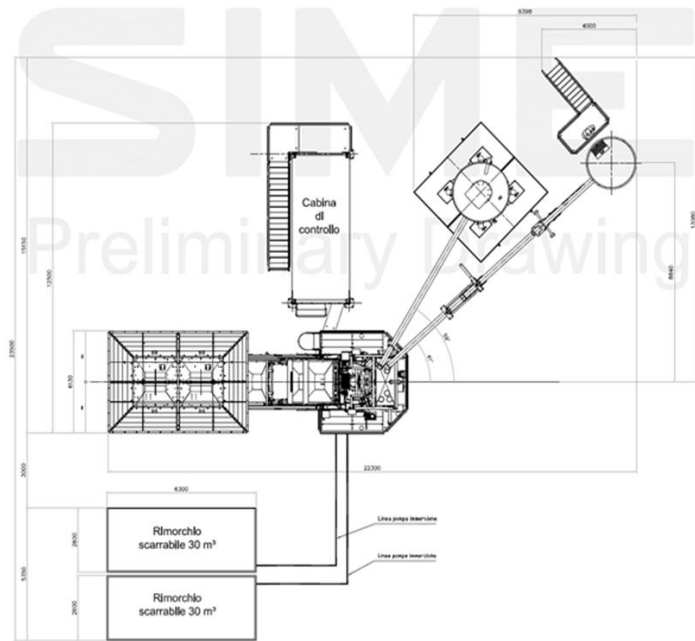
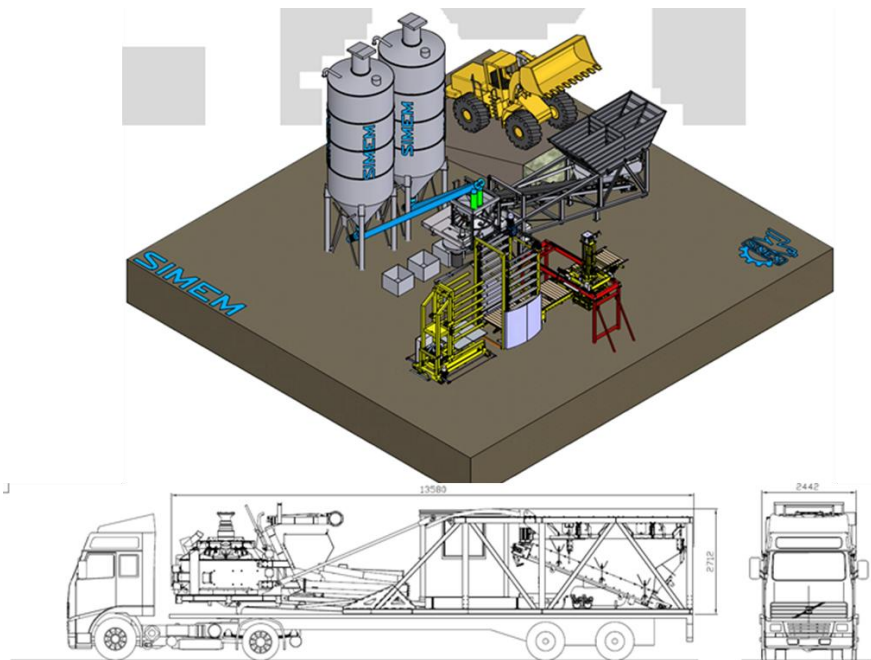
■ 16%Cem ■ 12%Cem-4%MSP ■ 12%Cem-4%MSP-1%PO air-dried ■ 12%Cem-4%MSP-1%PO pre-soaked



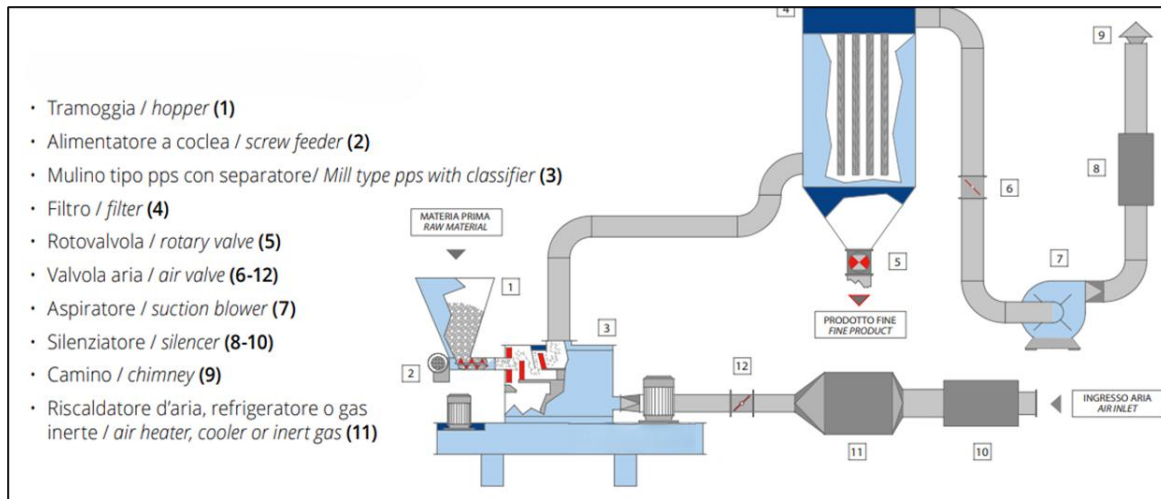
□ Biofibre: incremento della duttilità post-picco.

happy end?

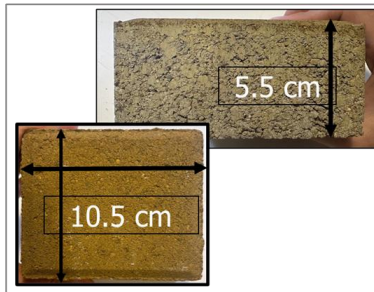
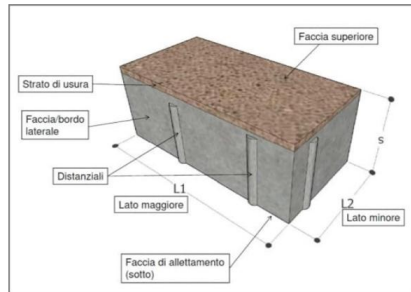
andiamo nel backstage



impianto di produzione di aggregato (MSA) e polvere di gusci (MSP)



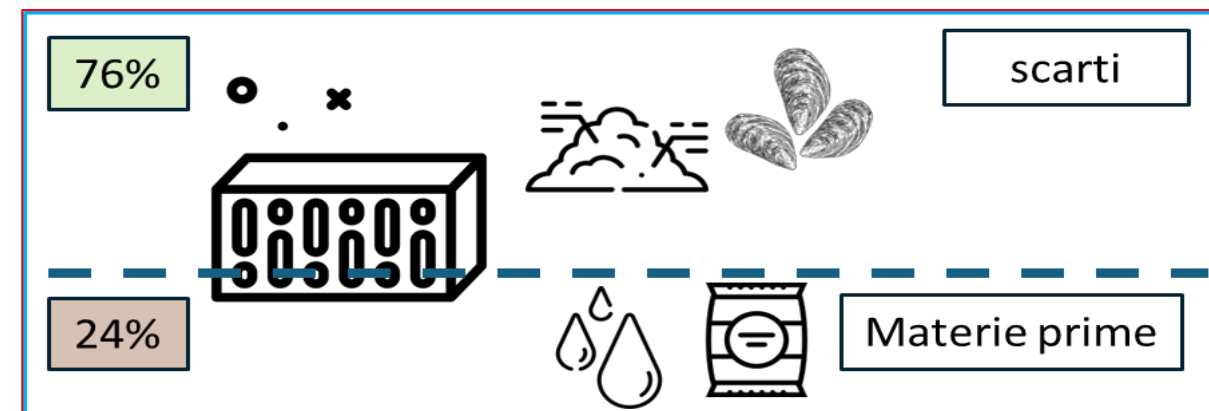
prodotti commerciali



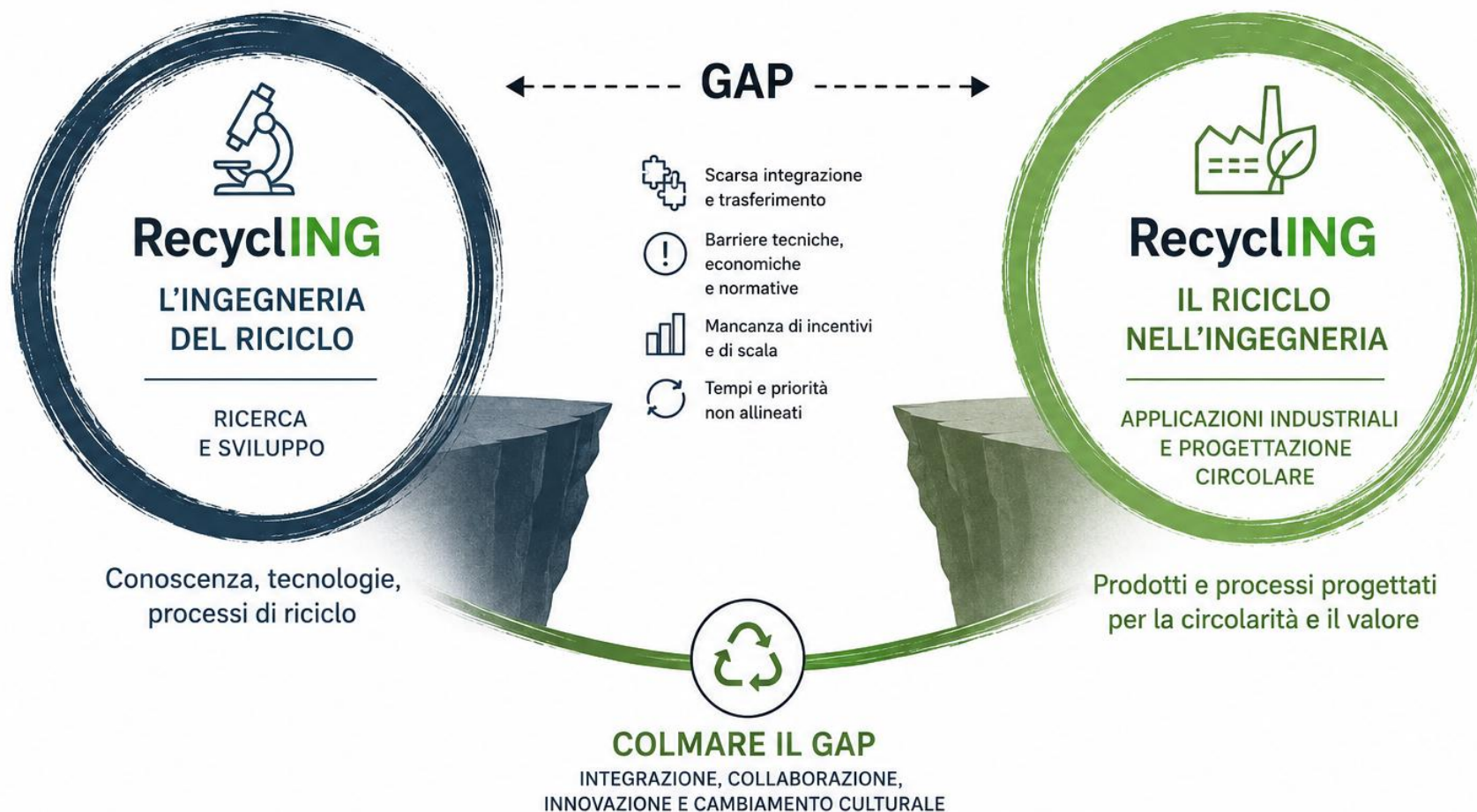
Componenti: Sabbia 0.5-2.5 mm (65%), ghiaia fine (15%), Cemento e acqua (20%)



nuovi materiali



RecyclING: dall'ingegneria del riciclo al riciclo nell'ingegneria



alcuni compagni di viaggio



Enrique Romero



Alexander Puzrin



Cino Viggiani



Joel Torres



Giacomo Russo



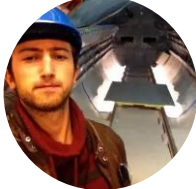
Michael Ploetze



Gustavo Pinzon

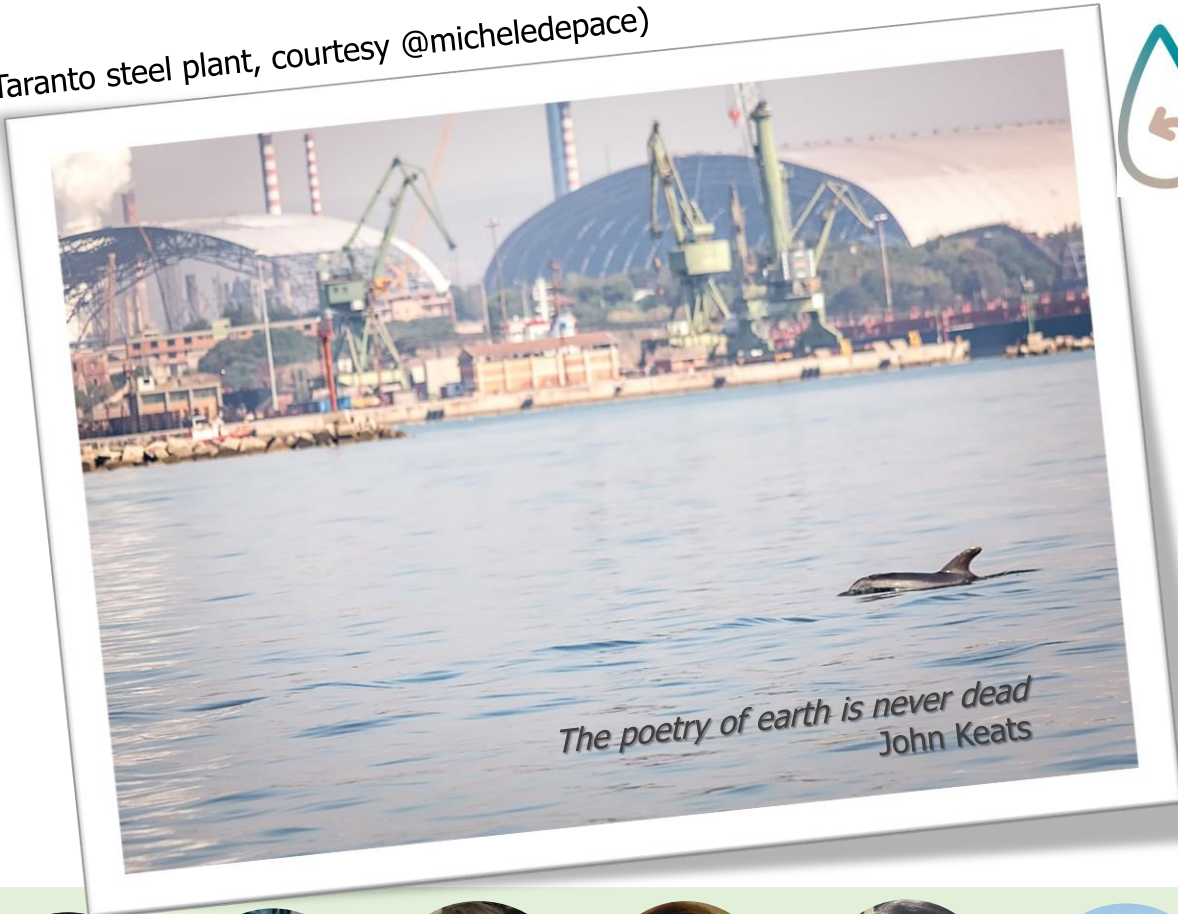


Enza Vitale



Alessandro Fraccica

(Taranto steel plant, courtesy @micheledepace)



Greenlife
4 seas
GREEN Engineering
solutions: a new LIFE
for SEDIMENTS AND SHELLS



Rossella Petti



Andrea Petrella



Michele
Notarnicola



Francesco Todaro



Matilda Mali



Jafar Karimiazar
PhD student



Martina Carcagni
PhD student



Gian Pietro Pesce
PhD student



Marzieh Kianimehr
PhD student



Pravendra Yadav
PhD student



Hossein Sadighi
PhD student