

INCONTRO ANNUALE DEI RICERCATORI DI GEOTECNICA ORGANIZZATO  
DALL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CASSINO E DEL LAZIO MERIDIONALE

**Scuola di dottorato GNIG in Ingegneria Geotecnica 2024**

# L'ingegneria geotecnica e i sedimenti marini: tra caratterizzazione, consolidamento e gestione sostenibile

Claudia Vitone, Rossella Petti, Federica Cotecchia

# L'ingegneria geotecnica e i sedimenti marini: tra caratterizzazione, consolidamento e gestione sostenibile

- **Un SIN complesso: che modello concettuale di sito?**

- i. Contesto e approccio
- ii. Risultati



- **Focus sui sedimenti marini: da scarto a risorsa?**

- I. Le complessità della caratterizzazione
- II. Opzioni per il consolidamento e il riuso



- **La ricerca più recente e alcuni sviluppi**



## Taranto: Southern Italy's hidden treasure

Jonathan Hawkins, CNN

Updated 11:02 AM EDT, Tue August 31, 2021



Taranto: Photos of Italy's city between two seas

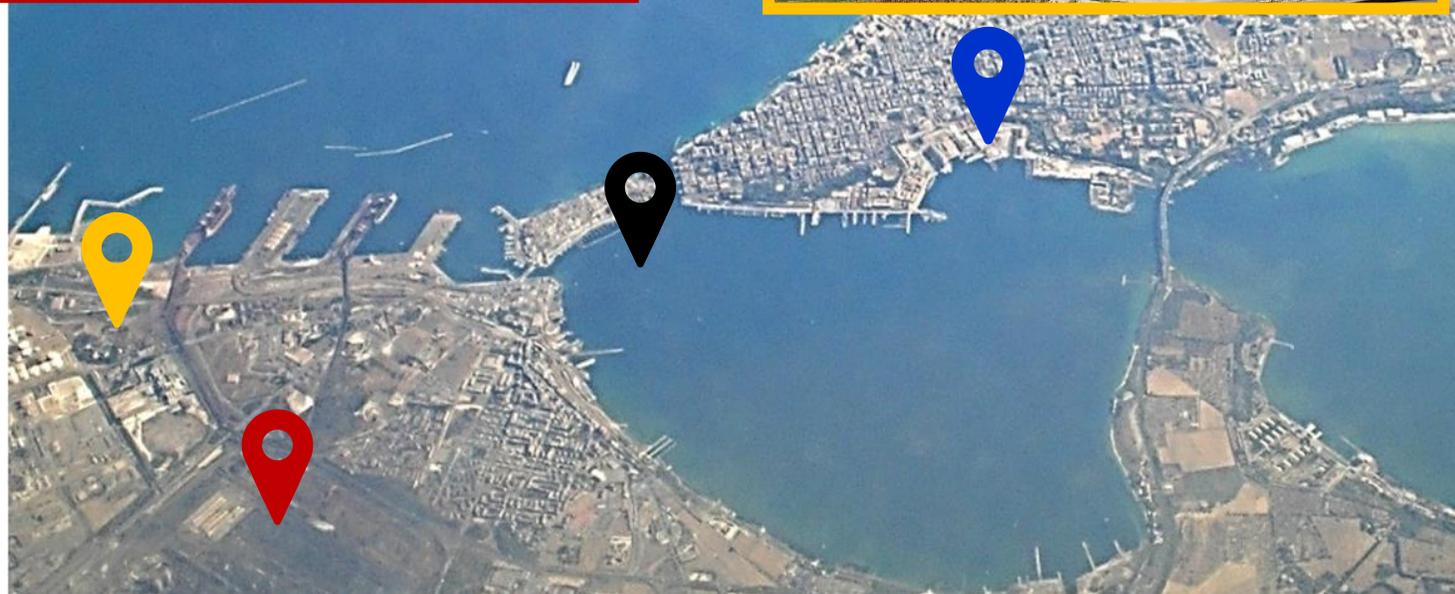
1 of 13

Handout/Thomas Lovelock for SailGP/Courtesy Municipality of Taranto



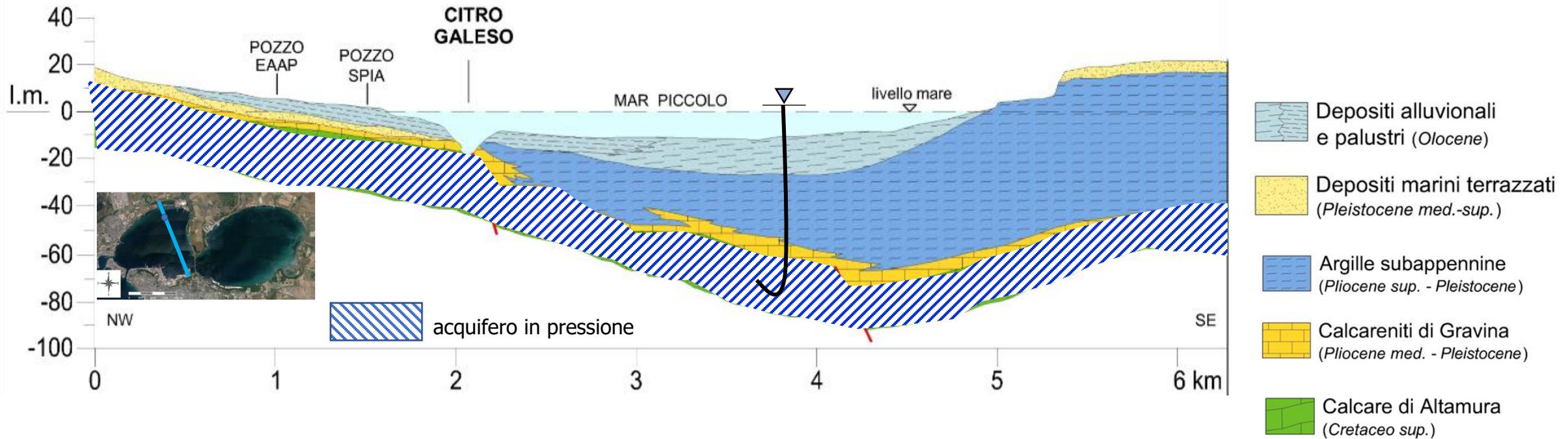


# il Mar Piccolo: complessità ambientale



# il Mar Piccolo: studi precedenti

## assetto geologico

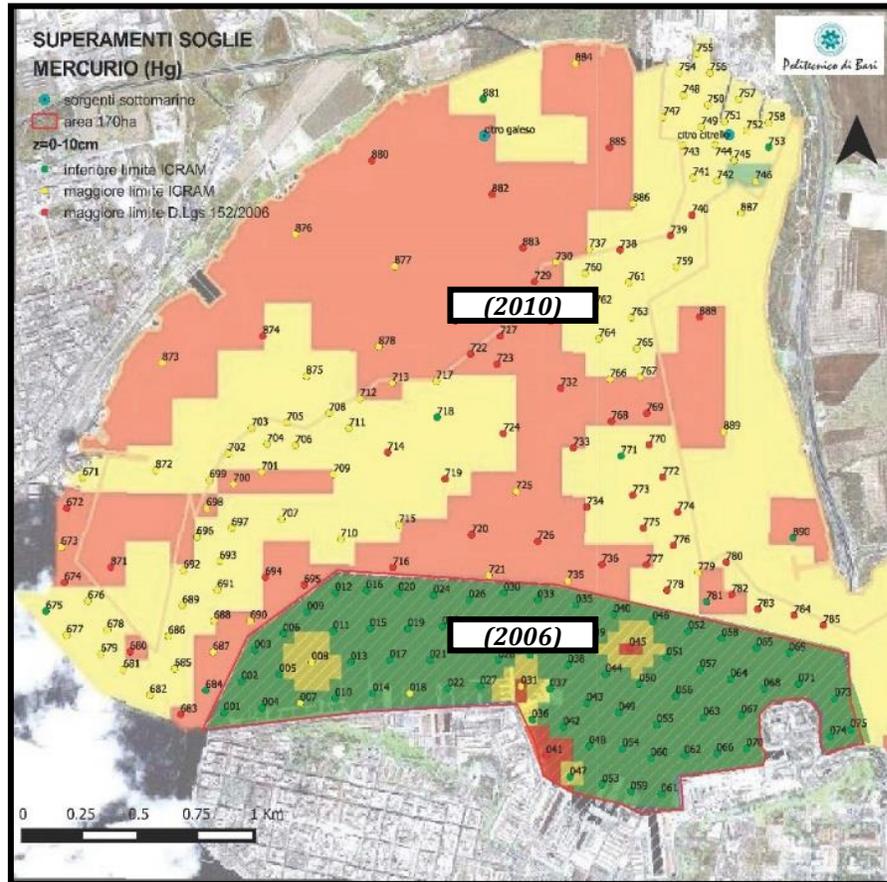


(V. Cotecchia 1991, 2017)

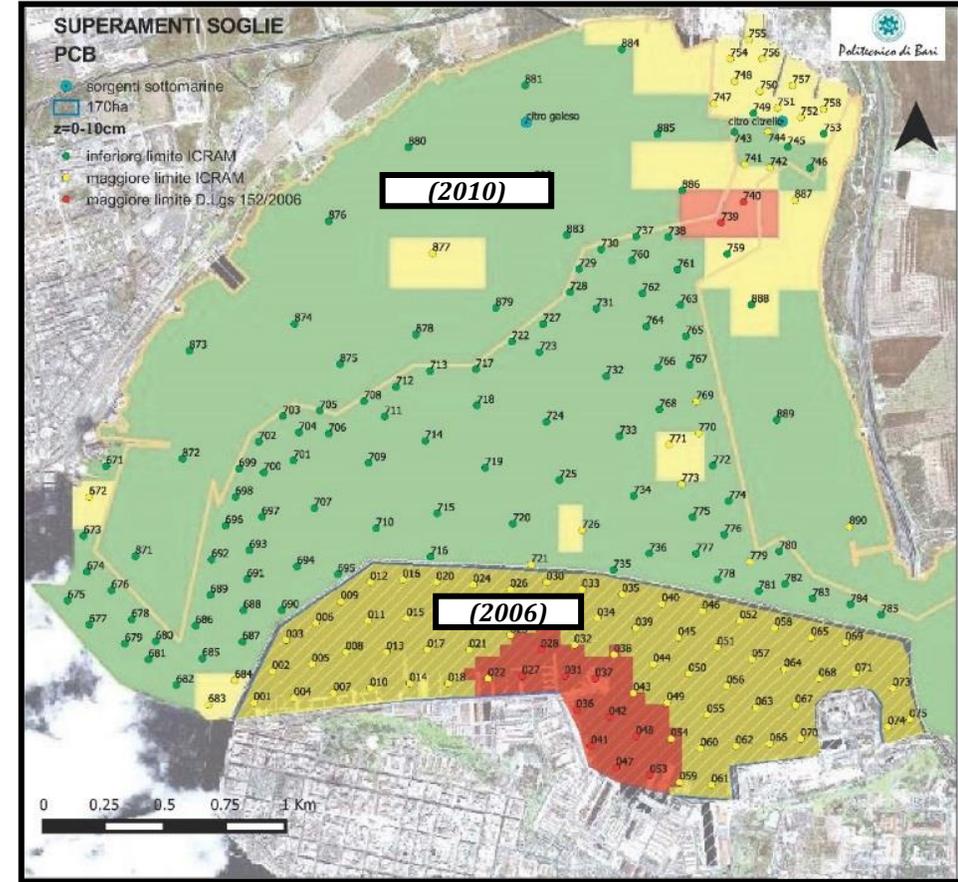
# il Mar Piccolo: studi precedenti

primi studi sullo stato di contaminazione (2.5 m dal fondale)

## Mercurio



## PCB



■ Superamento soglie sito specifiche (ICRAM 2004)

■ Superamento soglie di legge DLgs 152/2006

(Cotecchia et al., 2015)

# l'indagine più recente (2015-2019)

Decreto Legge - DL 5/01/2015 - «si riconosce la **strordinaria necessità ed urgenza di applicare misure per la mitigazione del rischio**, lo sviluppo, il rilancio della città di Taranto e le aree limitrofe.»

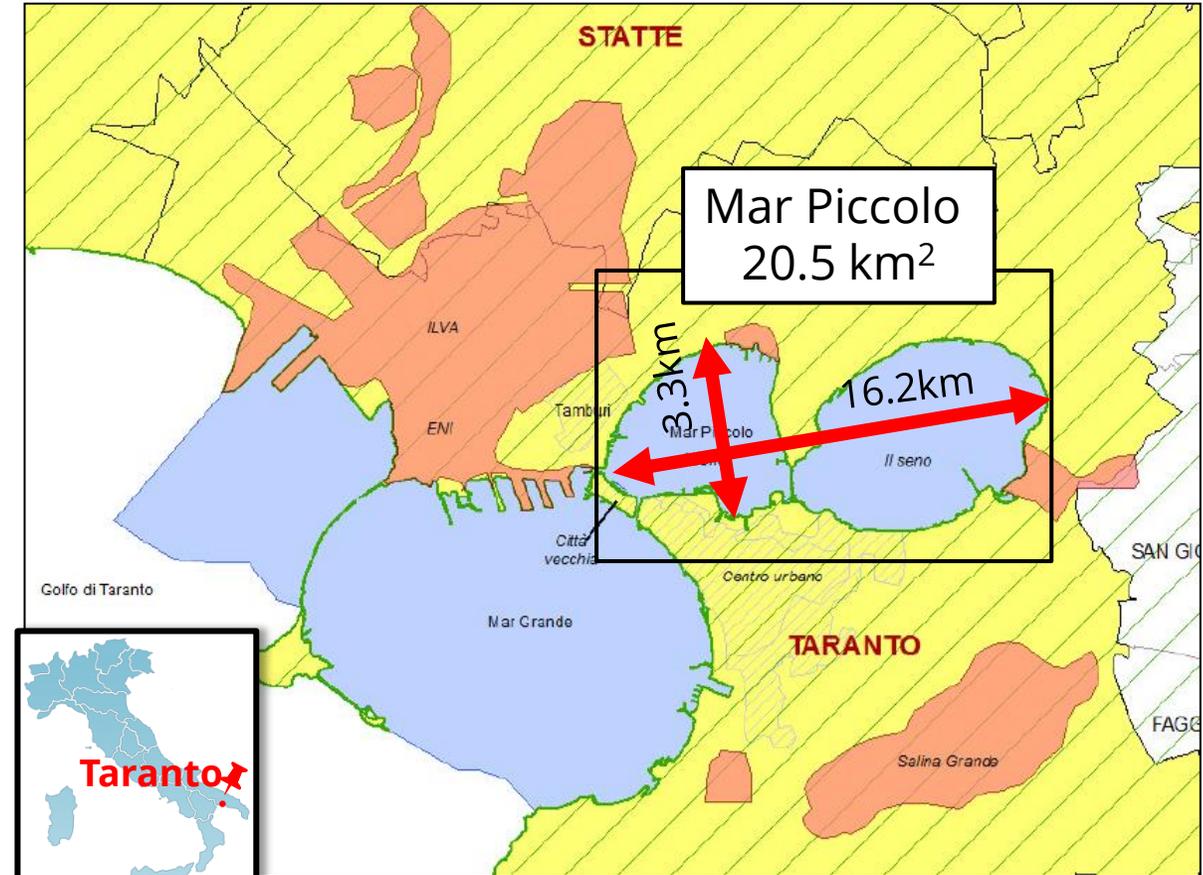


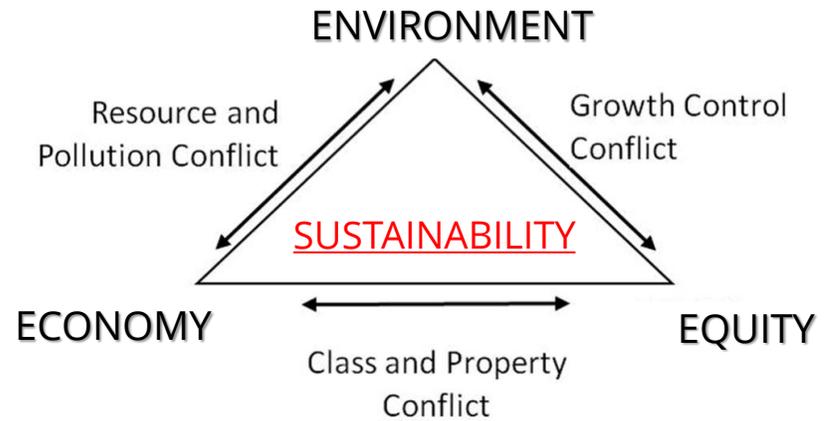
Dott.ssa Vera Corbelli

Commissario Straordinario di Governo per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione e riqualificazione di Taranto (D.P.C.M. 8 luglio 2014)

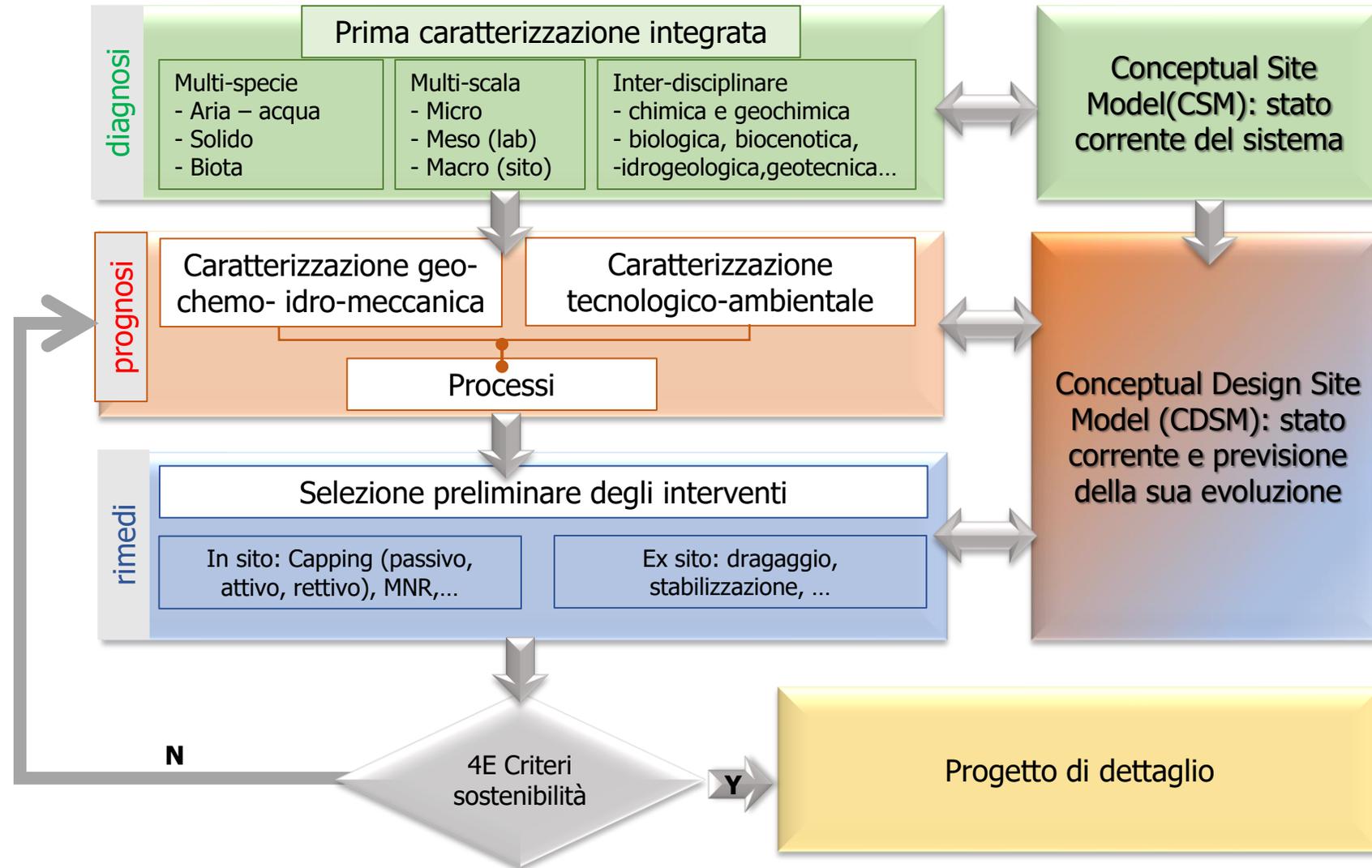


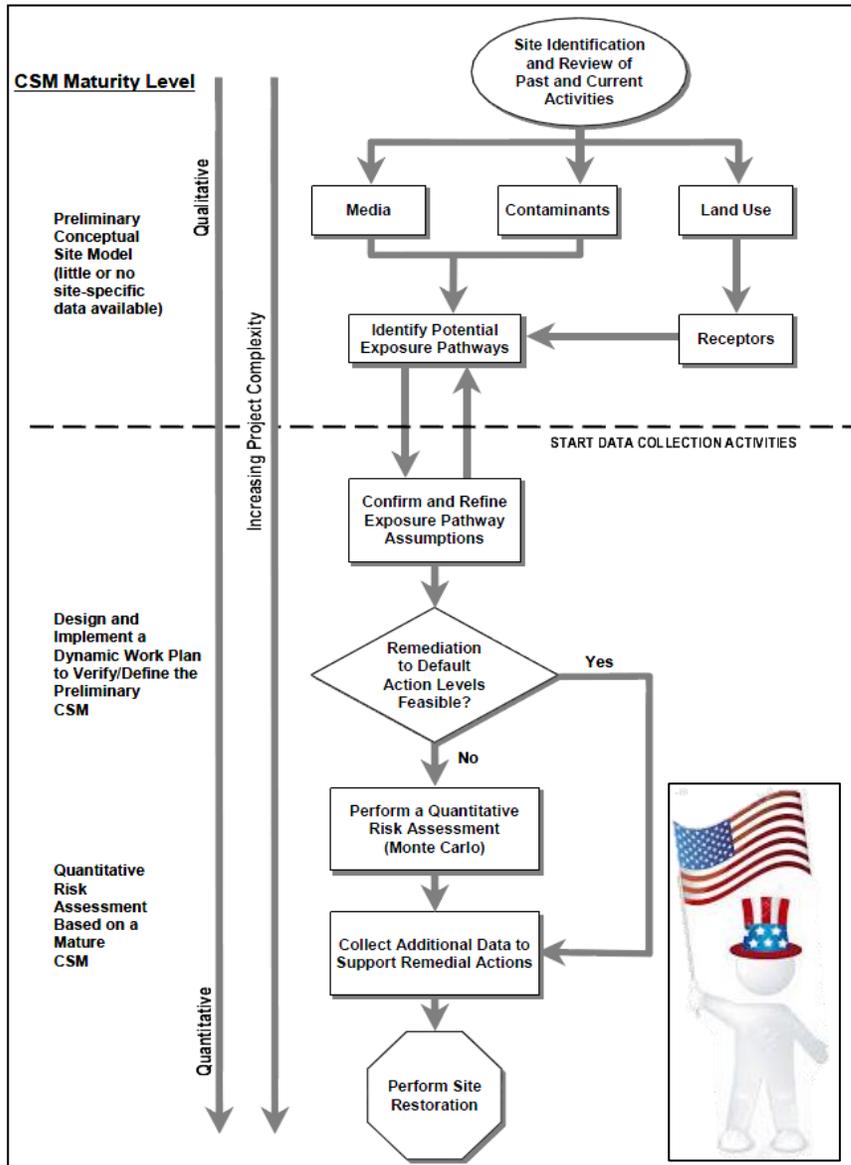
**SIN: 116.93 km<sup>2</sup>**  
 •Aree a terra: 43.83 km<sup>2</sup>  
 •Aree marine: 73.10 km<sup>2</sup>





(World Summit on Social Development, 2005)





(USEPA 2005)

Modello Concettuale di Sito (CSM): un modello dinamico di rappresentazione dei processi fisici, chimici, biologici che occorrono nel sito e dei recettori ambientali.

### 3.4.2.1 Geotechnical Properties

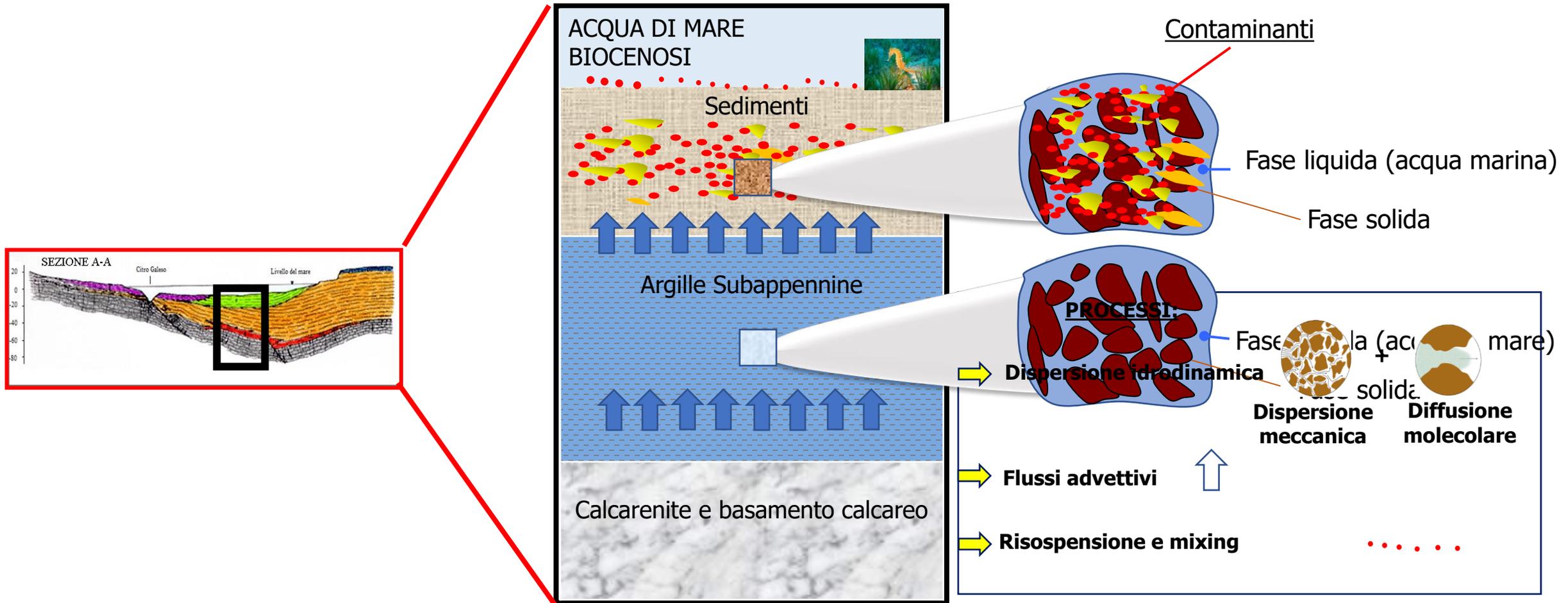
Geotechnical parameters strongly affect the physical disposition characteristics of the sediment bed and therefore affect the fate and transport of contaminants over space and time.

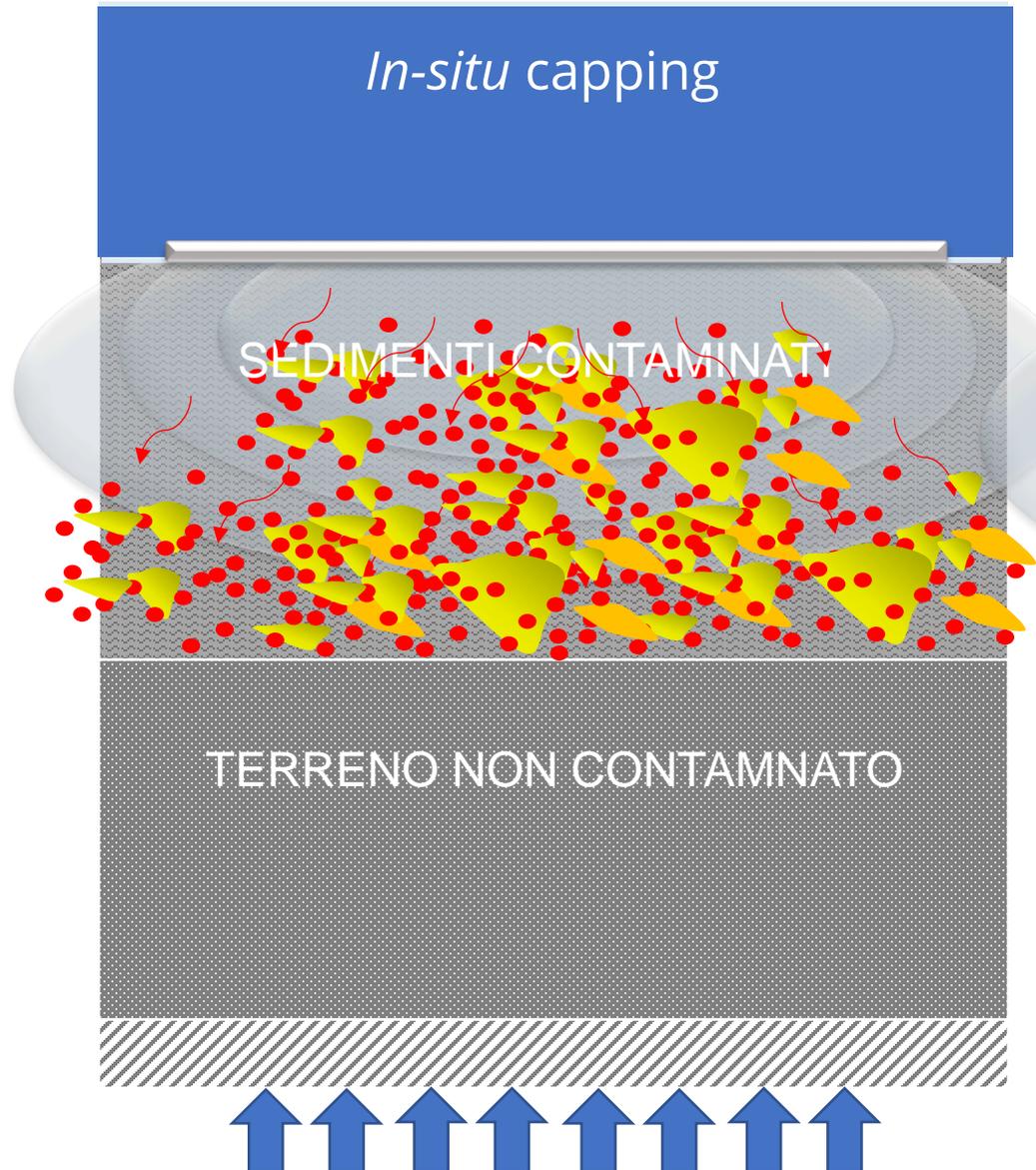


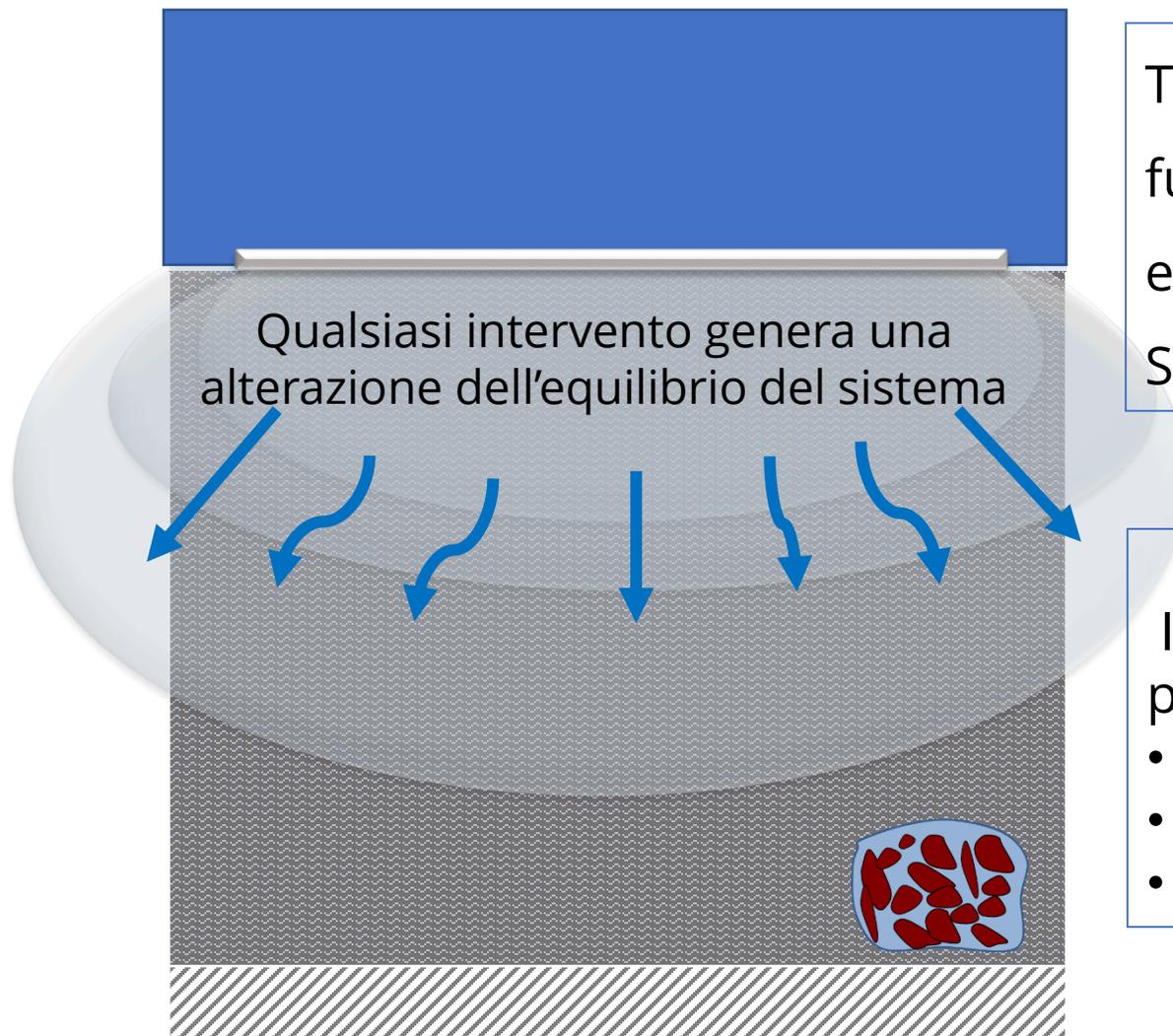
(ITRC, 2014; Canadian Council of Ministers of the Environment, 2016)

# Costruzione del Modello Concettuale di Sito di base per la progettazione (CDSM)

## stato attuale del sistema







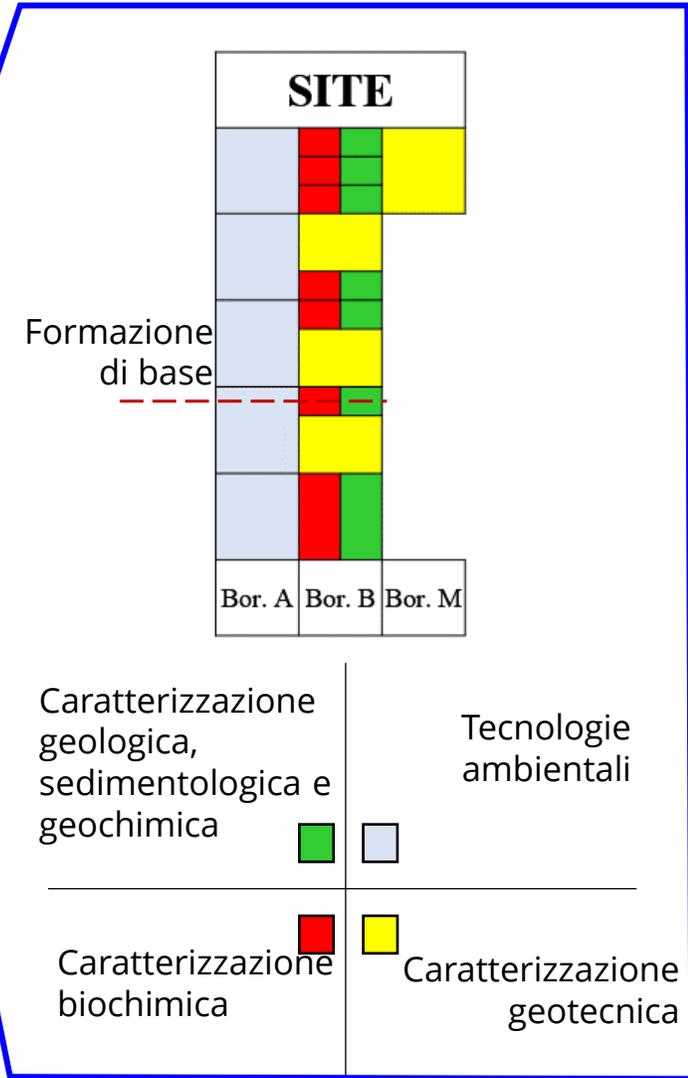
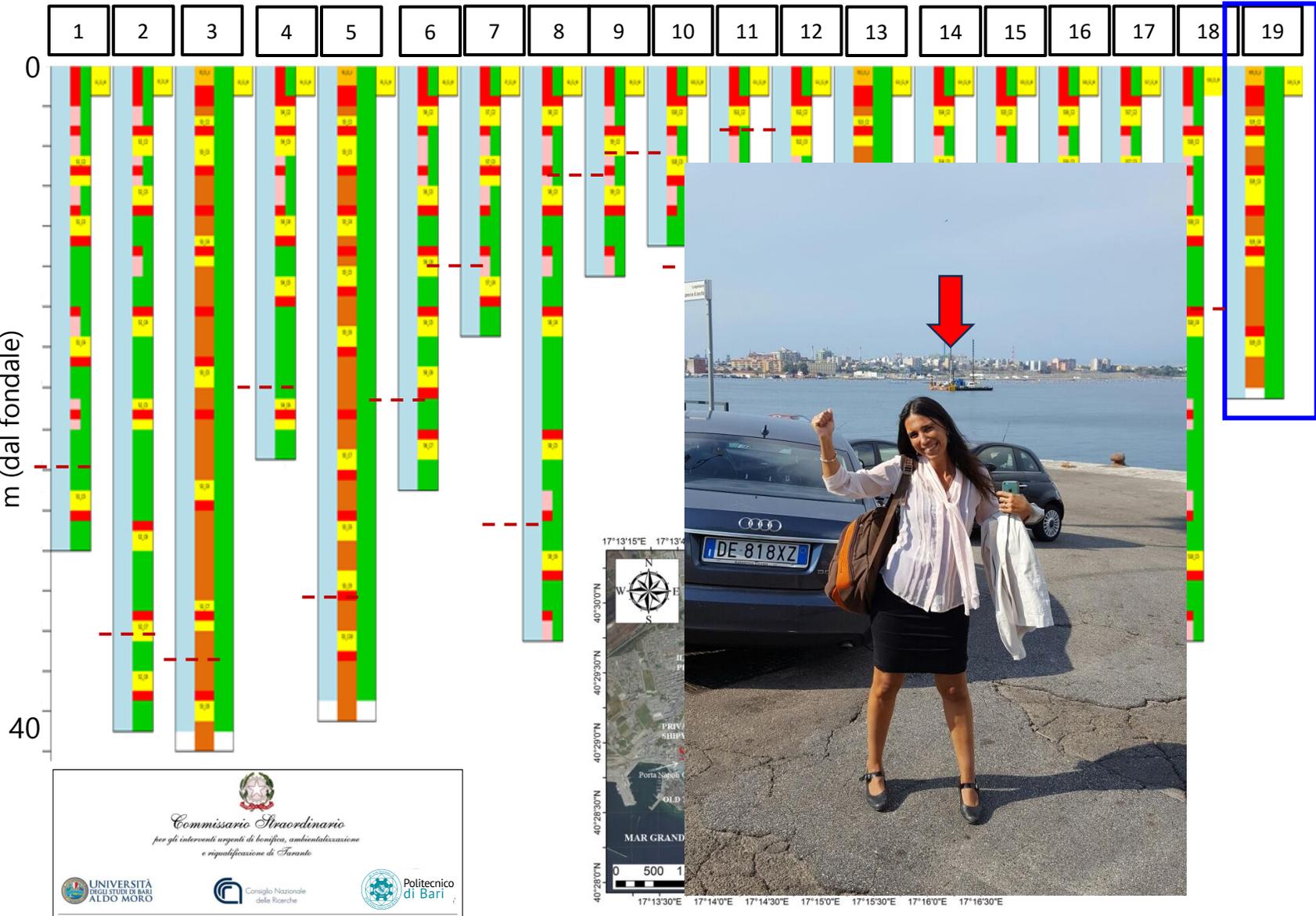
Tutte le indagini devono essere progettate in funzione del tipo di intervento da realizzare e devono coinvolgere il **VOLUME SIGNIFICATIVO**.

Il **VOLUME SIGNIFICATIVO** dipende prevalentemente da:

- Tipo e dimensione dell'intervento
- Carichi applicati
- Caratteristiche dei terreni

(Norme Tecniche per le Costruzioni NTC, CAP. 6 – 2018)

# sedimenti marini: indagine in-sito



Commissione Straordinaria  
per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione  
e riqualificazione di Taranto

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI ALDO MORO

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Politecnico di Bari



*Commissario Straordinario*  
*per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione*  
*e riqualificazione di Taranto*



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI BARI  
ALDO MORO

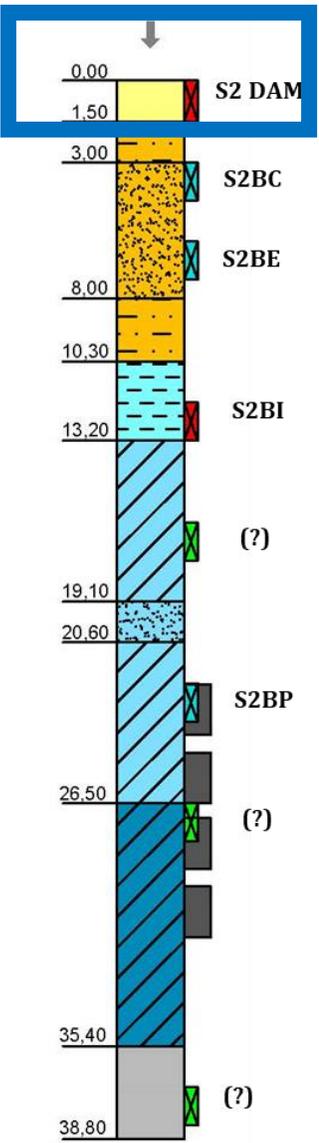


Consiglio Nazionale  
delle Ricerche

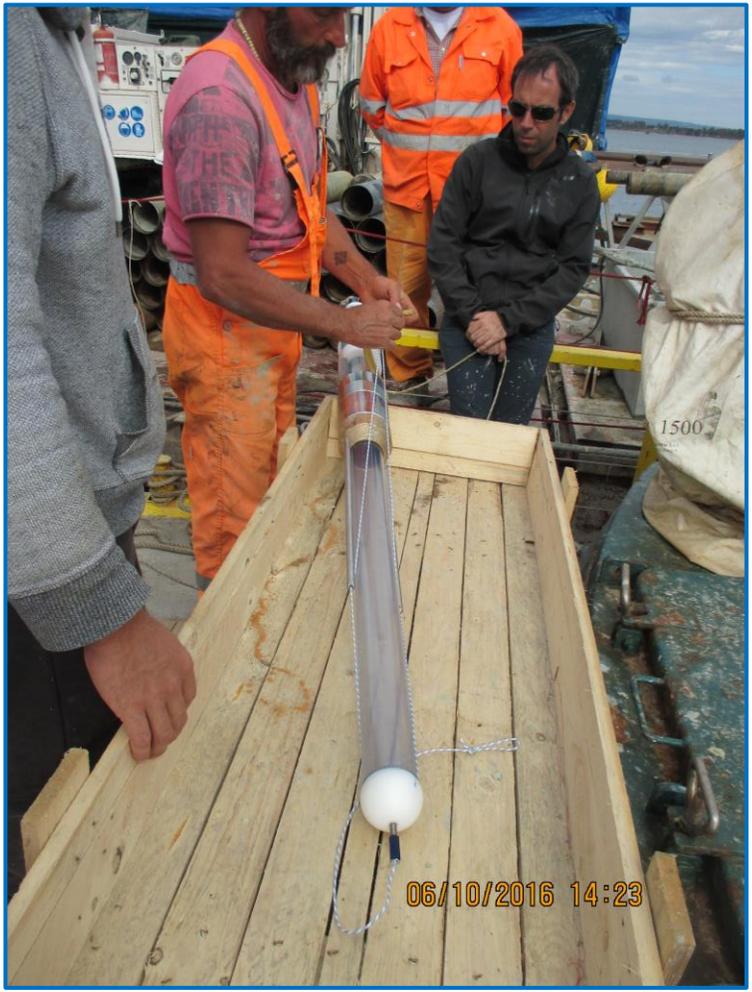


Politecnico  
di Bari

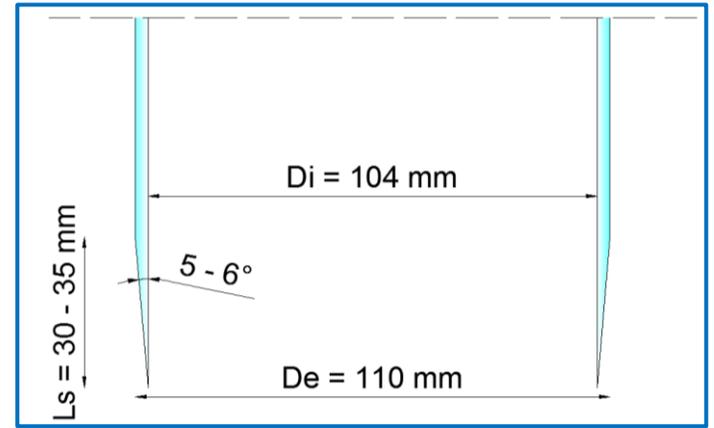
## Campionamento dei sedimenti superficiali [0 - 1.5 m dal fondale]



campionatore uwitec

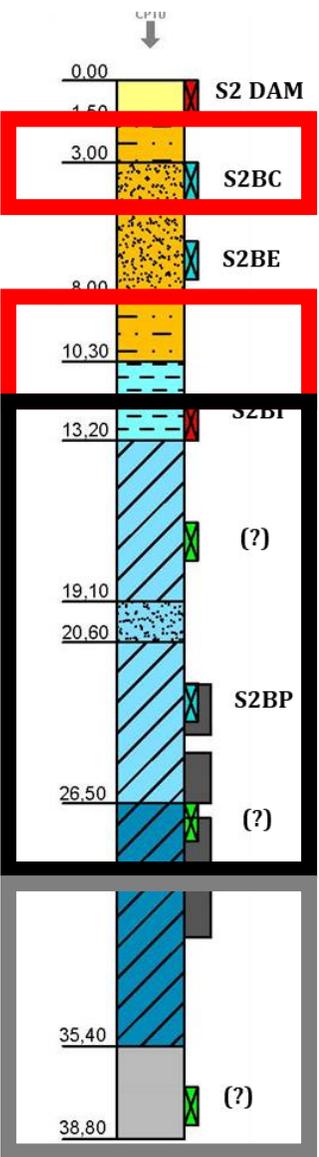


nuovo campionario manuale

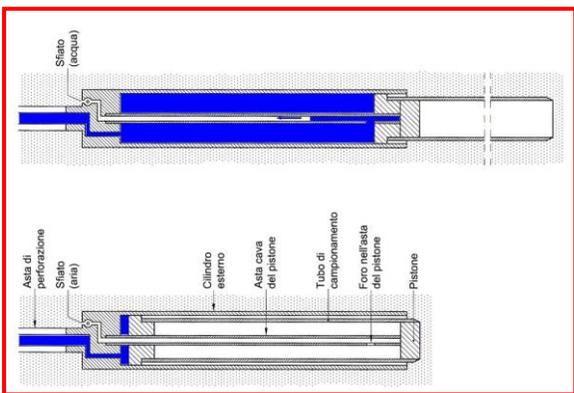


Commissario Straordinario  
 per gli interventi urgenti di bonifica, ambientotassazione  
 e riqualificazione di Taranto  
  
 UNIVERSITÀ  
 DEGLI STUDI DI BARI  
 ALDO MORO  
  
 Consiglio Nazionale  
 delle Ricerche  
  
 Politecnico di Bari

## Campionamento indisturbato di sedimenti e argille più profonde [15-39 m dal fondale]



- ### CAMPIONATORI PER LA CARATTERIZZAZIONE DI INGEGNERIA GEOTECNICA
- **OSTERBERG**
  - **SHELBY**
  - **DENISON**



Commissario Straordinario
   
 per gli interventi urgenti di bonifica, ambientazione
   
 e riqualificazione di Taranto

UNIVERSITÀ
   
 DEGLI STUDI DI BARI
   
 ALDO MORO

Consiglio Nazionale
   
 delle Ricerche

Politecnico
   
 di Bari



Federica Cotecchia

# scientific reports

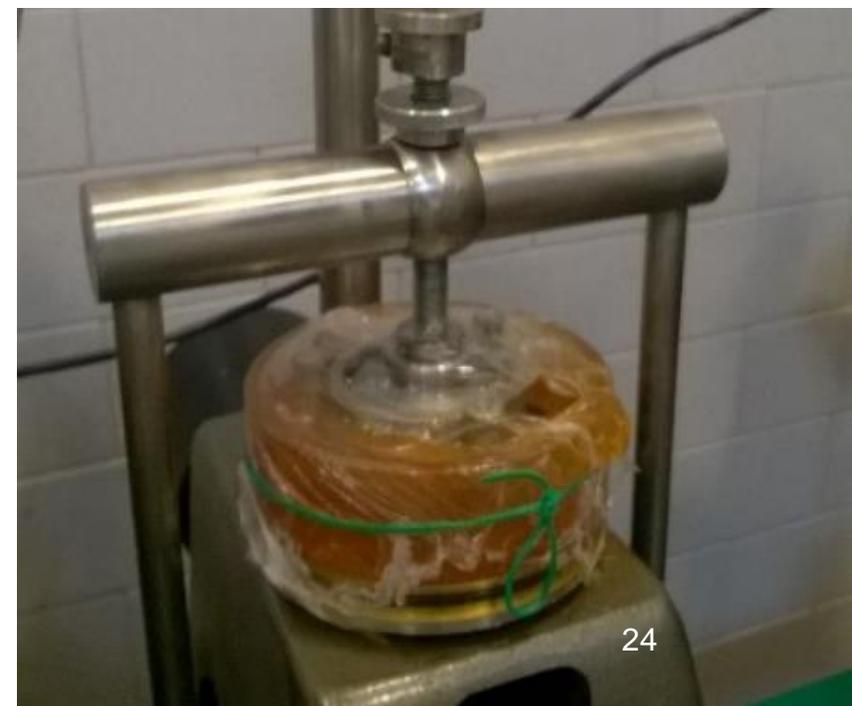
nature

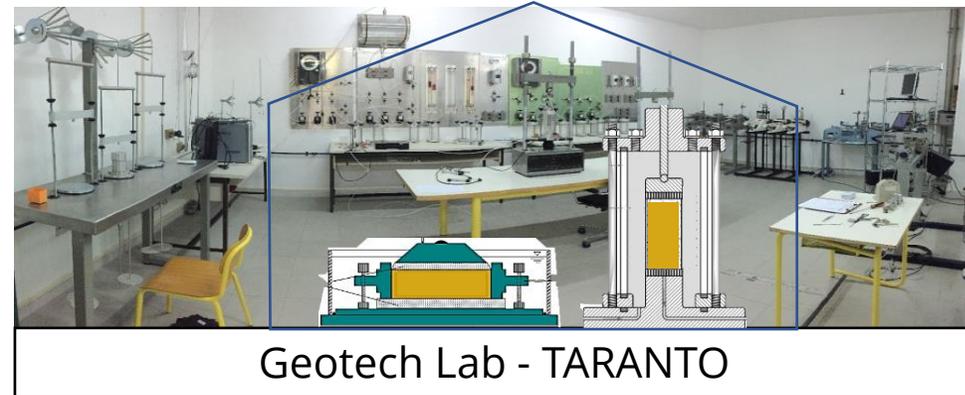
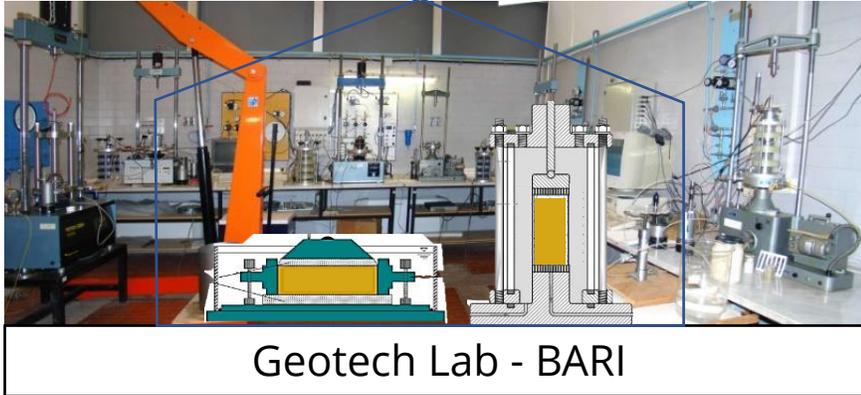
Check for updates

OPEN

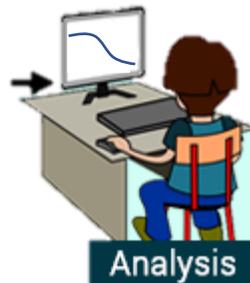
## A geo-chemo-mechanical study of a highly polluted marine system (Taranto, Italy) for the enhancement of the conceptual site model

F. Cotecchia<sup>1</sup>, C. Vitone<sup>1</sup>, F. Sollecito<sup>1,2</sup>, M. Mali<sup>1,2</sup>, D. Miccoli<sup>1</sup>, R. Petti<sup>1</sup>, D. Milella<sup>1</sup>, G. Ruggieri<sup>1</sup>, O. Bottiglieri<sup>1</sup>, F. Santaloia<sup>3</sup>, P. De Bellis<sup>1</sup>, F. Cafaro<sup>1</sup>, M. Notarnicola<sup>1</sup>, F. Todaro<sup>1</sup>, F. Adamo<sup>2</sup>, A. Di Nisio<sup>2</sup>, A. M. L. Lanzolla<sup>2</sup>, M. Spadavecchia<sup>2</sup>, M. Moretti<sup>4</sup>, G. Agrosi<sup>4</sup>, F. De Giosa<sup>4</sup>, P. Fago<sup>4</sup>, M. Lacalamita<sup>4</sup>, S. Lisco<sup>4</sup>, P. Manzari<sup>4</sup>, E. Mesto<sup>4</sup>, G. Romano<sup>4</sup>, G. Scardino<sup>4</sup>, E. Schingaro<sup>4</sup>, A. Siniscalchi<sup>4</sup>, G. Tempesta<sup>4</sup>, E. Valenzano<sup>4</sup>, G. Mastronuzzi<sup>4</sup>, N. Cardellicchio<sup>5</sup>, A. Di Leo<sup>5</sup>, L. Spada<sup>5</sup>, S. Giandomenico<sup>5</sup>, M. Calò<sup>5</sup>, V. F. Uricchio<sup>6</sup>, G. Mascolo<sup>6</sup>, G. Bagnuolo<sup>6</sup>, R. Ciannarella<sup>6</sup>, A. Tursi<sup>7</sup>, G. Cipriano<sup>7</sup>, P. Cotugno<sup>7</sup>, L. Sion<sup>7</sup>, R. Carlucci<sup>7</sup>, G. Capasso<sup>8</sup>, G. De Chiara<sup>8</sup>, G. Pisciotta<sup>8</sup>, R. Velardo<sup>8</sup> & V. Corbelli<sup>8</sup>

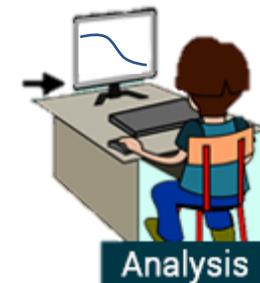




## GeoLab Data System Acquisition



- Acquisisce e processa dati geotecnici dai due lab
- Aumenta velocità di acquisizione e accuratezza del dato
- Incrementa la produttività
- Riduce i rischi da esposizione alla contaminazione

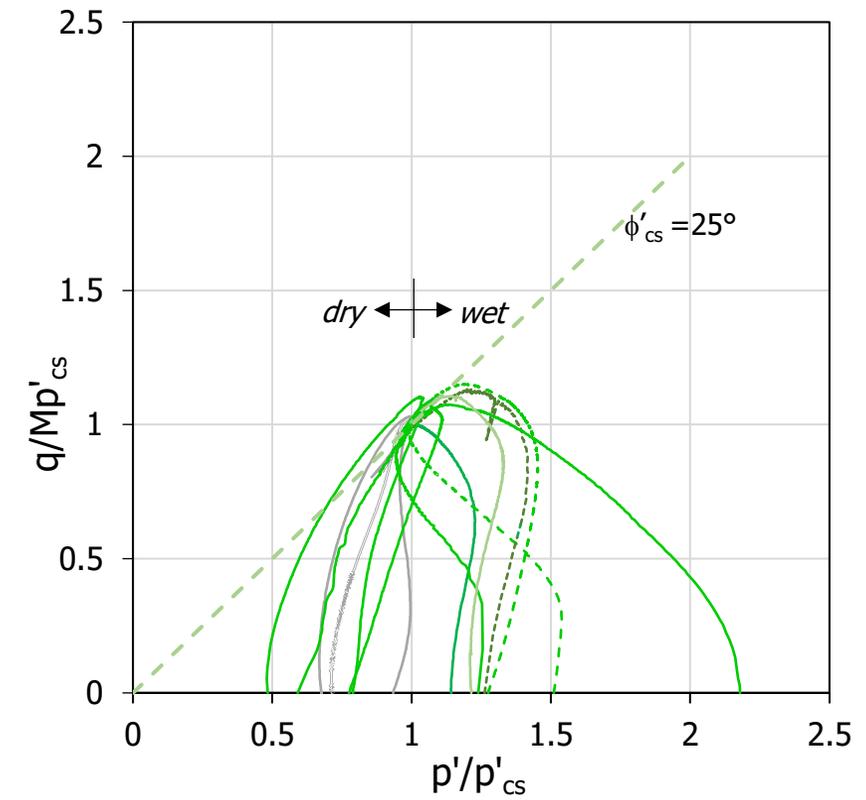
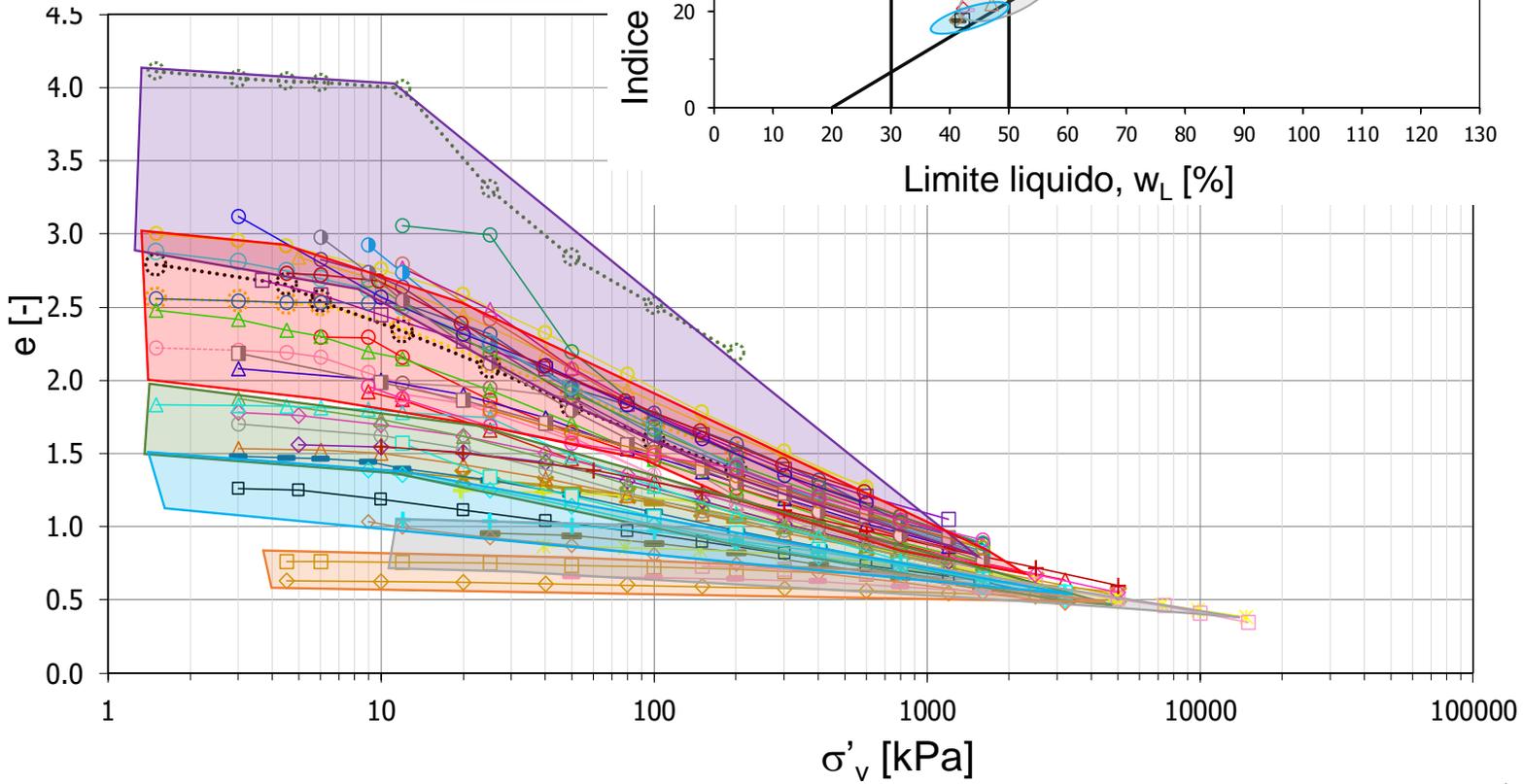
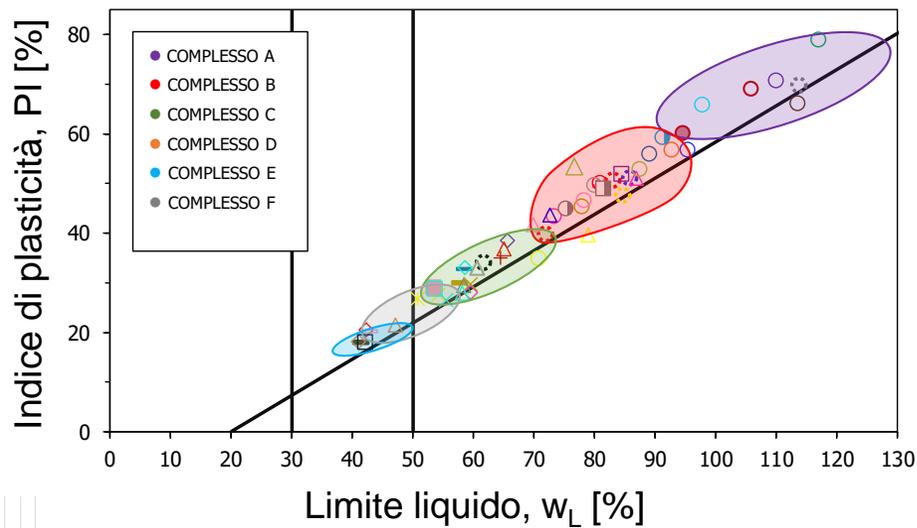


(Adamo et al., 2017 Measurement J.)



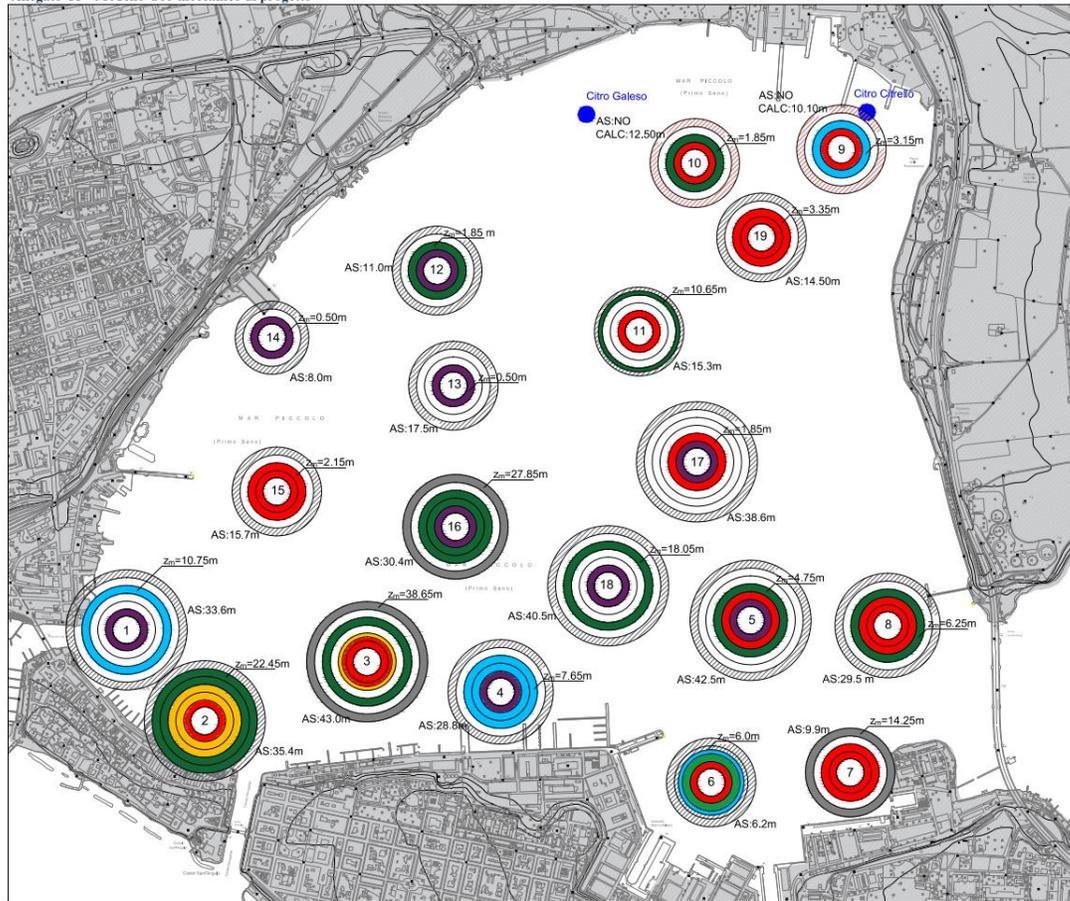


<b>ULTRA-SOFT SED</b>	<b>A</b>
<b>SOFT SED</b>	<b>B</b>
<b>Plastic CLAYS-SILTS</b>	<b>C</b>
<b>SANDS</b>	<b>D</b>
<b>SILTS (low plasticity)</b>	<b>E</b>
<b>Subapennine CLAYS</b>	<b>F</b>



(Vitone et al., 2016; Sollecito, Vitone, Cotecchia 2019)

Allegato C3 - Modello Geo-meccanico di progetto



### LEGENDA

**V:** Verticale di sondaggio  
 1: strato 1 0.0-1.5m bsf  
 2: strato 2 1.5-5.0m bsf  
 3: strato 3 5.0-10.0m bsf  
 4: strato 4 10-20m bsf  
 5: strato 5 20-30 m bsf  
 6: strato 6 >30m bsf

**z<sub>m</sub>=x.xx m** Campione più profondo esaminato

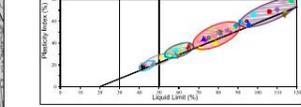
**AS: x.xx m** Profondità del tetto delle Argille Subappennine (Unità 5 e 6)

**CALC: x.xx m** Profondità del tetto dei calcari

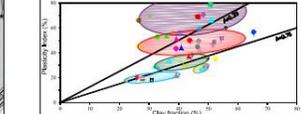
**Campioni esaminati:**

- MPS121 CC GT 11.8 - 12.5 m
- MPS122 CC GT 38.3 - 39 m
- MPS123 CC GT 4.4 - 5.1 m
- MPS124 CC GT 8.9 - 10.6 m
- MPS125 AM GT 0.0 - 0.25 m
- MPS126 AM GT 0.0 - 1.15 m
- MPS127 AM GT 4.4 - 5.1 m
- MPS128 AM GT 0.24 - 0.6 m
- MPS129 AM GT 0 - 1.20 m
- MPS130 P CC GT 22.1 - 22.8 m
- MPS131 AM GT 0 - 1.50 m
- MPS132 AM GT 0 - 1.50 m
- MPS133 K CC GT 13.5 - 15 m
- MPS134 AM GT 0.25 - 0.55 m
- MPS135 AM GT 0.0 - 1.13 m
- MPS136 AM GT 7.3 - 8 m
- MPS137 AM GT 13.7 - 18.4 m
- MPS138 H CC GT 10.4 - 11.1 m
- MPS139 C CC GT 0.3 - 1 m
- MPS140 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS141 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS142 AM GT 0 - 1.50 m
- MPS143 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS144 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS145 AM GT 0.0 - 1.13 m
- MPS146 F CC GT 27.5 - 28.2 m
- MPS147 AM GT 0.0 - 0.3 m
- MPS148 C CC GT 3 - 3.7 m
- MPS149 C CC GT 2.5 - 2.8 m
- MPS150 F CC GT 7.3 - 8.0 m
- MPS151 B CC GT 5.5 - 5.85 m
- MPS152 AM GT 0 - 0.18 m
- MPS153 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS154 AM GT 0.06 - 1.14 m
- MPS155 B CC GT 1.8 - 2.5 m
- MPS156 AM GT 0.0 - 0.35 m
- MPS157 AM GT 0.1 - 0.75 m
- MPS158 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS159 C CC GT 3 - 3.7 m
- MPS160 C CC GT 3 - 3.7 m
- MPS161 C CC GT 2.8 - 3.2 m
- MPS162 AM GT 0.0 - 1.5 m
- MPS163 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS164 AM GT 0 - 0.18 m
- MPS165 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS166 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS167 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS168 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS169 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS170 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS171 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS172 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS173 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS174 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS175 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS176 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS177 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS178 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS179 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS180 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS181 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS182 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS183 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS184 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS185 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS186 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS187 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS188 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS189 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS190 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS191 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS192 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS193 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS194 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS195 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS196 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS197 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS198 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS199 B CC GT 1.5 - 2.2 m
- MPS200 B CC GT 1.5 - 2.2 m

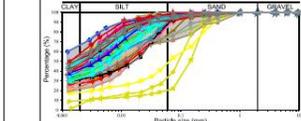
### Carta di plasticità di Casagrande



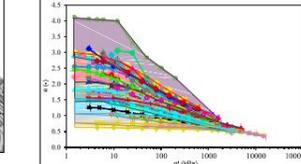
### Abaco di attività



### Granulometria



### Compressibilità



Commissione Straordinaria  
per gli interventi urgenti di bonifica, antinquinazione e riqualificazione di Taranto

Politecnico di Bari

ACCORDO DI COLLABORAZIONE  
(ex art. 15 della L. 241/90)  
stipulato in data 02.12.2014

ATTIVITÀ DI INTERESSE COMUNE PROPEDEUTICHE ALLA REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI PER LA BONIFICA, RIQUALIFICAZIONE DELL'AREA DI TARANTO DICHIARATA AD ELEVATO RISCHIO DI CRISI AMBIENTALE

## I SENO DEL MAR PICCOLO - TARANTO

### Allegato C3 MODELLO GEO-MECCANICO DI PROGETTO

Programma tecnico-economico-operativo-temporale

UNITÀ A: GEOTECNICA

Responsabile scientifico PTEOT

UNITÀ A - GEOTECNICA  
FEDERICA COTECCHIA

Politecnico di Bari  
Il Responsabile Scientifico dell'Accordo  
Magnifico Rettore

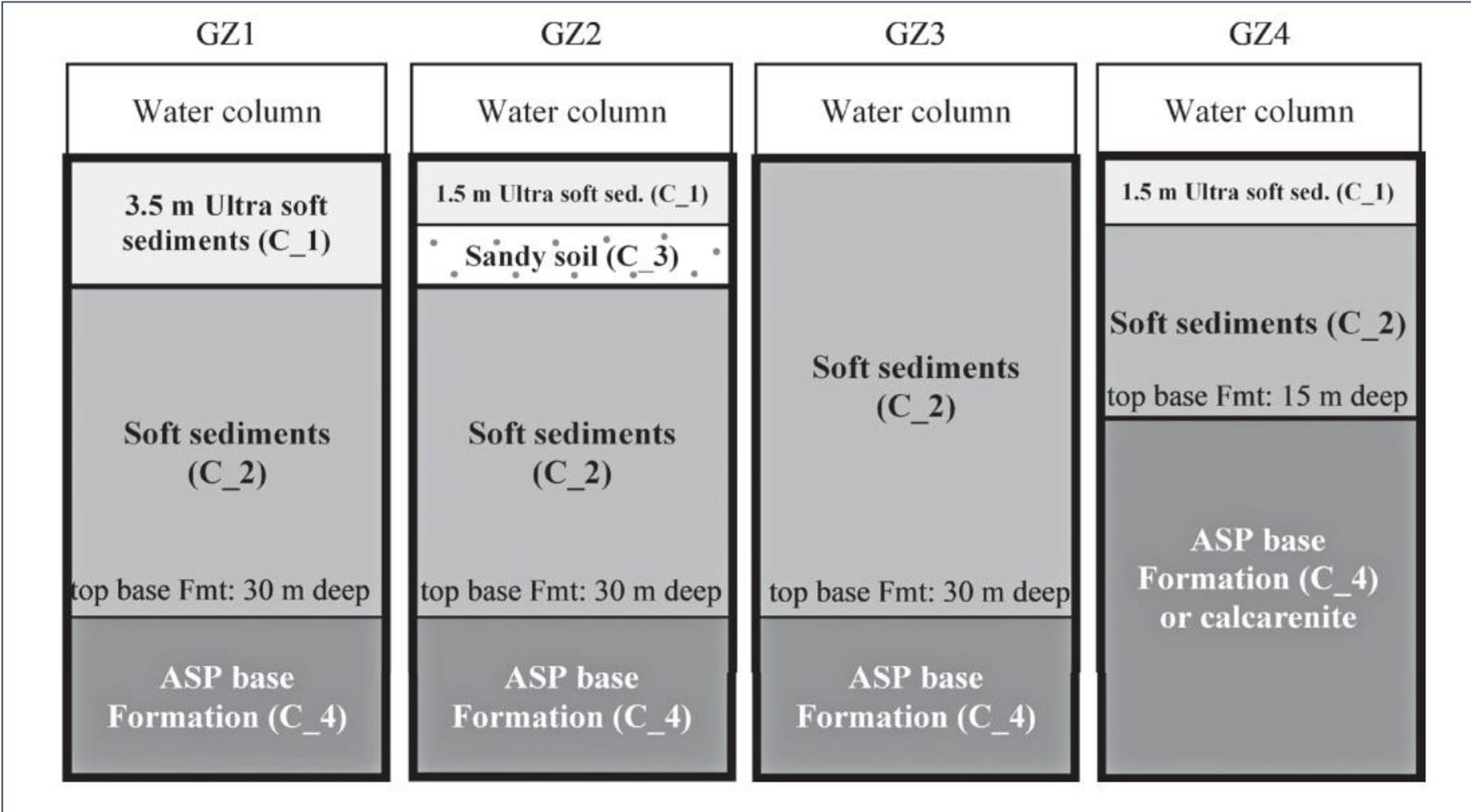
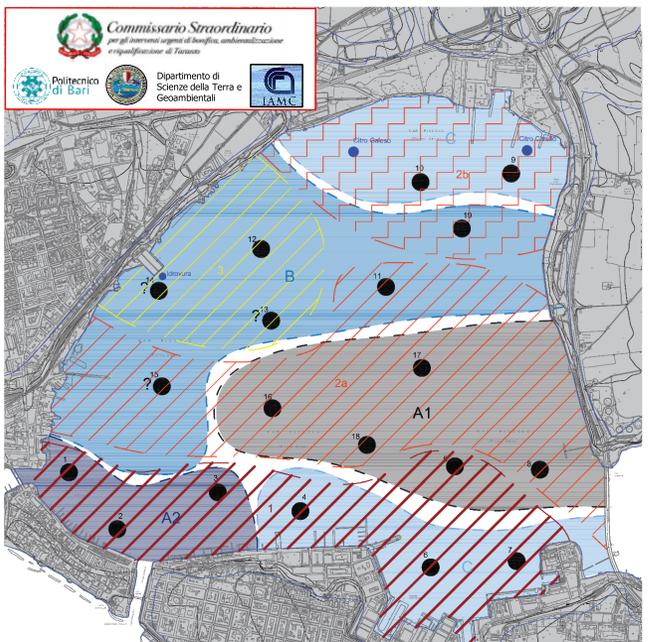
Nome file: Allegato C3 - Modello Geo-meccanico di progetto.pdf

Data: 10/06/2017

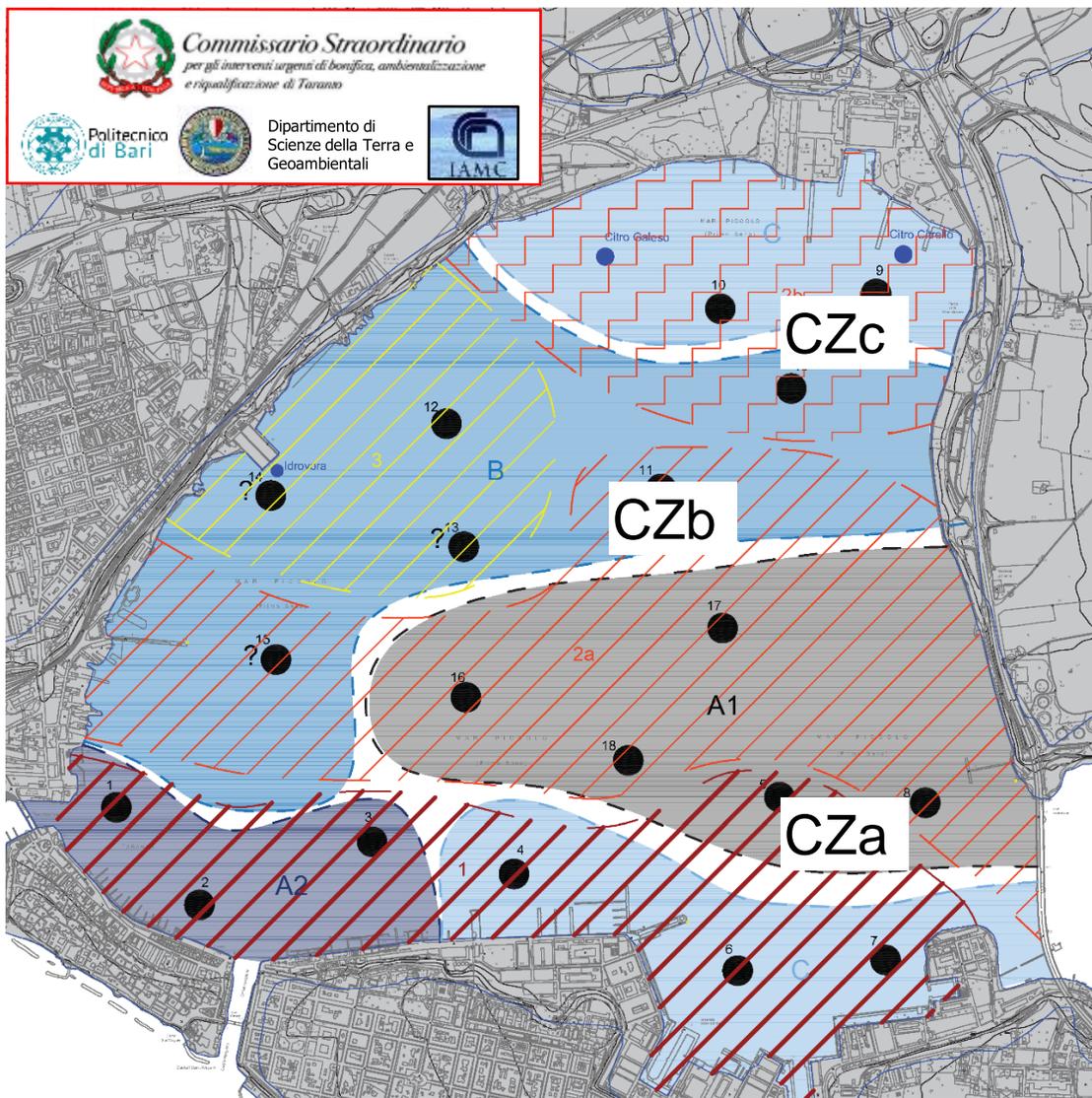
	z bsf	SF		MF		CF		w <sub>L</sub>		PI		LI		A		OM		c <sub>c</sub>		c <sub>s</sub>		k(e=1.5)		k(e <sub>0</sub> )		c <sub>v</sub>		c <sub>d</sub>		φ <sub>p</sub>		φ <sub>cs</sub>		c <sub>u</sub>		D <sub>h</sub>	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max		
		m	m	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
ULTRA-SOFT SED	A	0.1	0.6	2.8	29.4	30.5	51.0	26.6	65.4	91.2	117.0	56.7	78.8	1.0	2.7	0.87	2.49	8.0	18.0	0.80	1.50	0.09	0.15	1E-11	8E-11			0.7	0.9	-	-	27.2	33.0	1.7	3.2	-	-
SOFT SED	B	0.1	3.4	2.3	16.0	38.6	58.8	26.7	54.6	69.9	89.0	34.9	55.9	0.9	2.7	0.66	1.70	13.0	18.0	0.50	0.90	0.03	0.15	6E-11	7E-09			0.3	1.2	-	-	21.3	39.8	1.8	7.1	-	-
Plastic CLAYS-SILTS	C	1.9	22.5	0.5	10.9	44.8	60.6	32.1	49.9	53.6	65.6	27.6	38.4	0.7	1.6	0.57	0.91	7.0	15.0	0.35	0.61	0.07	0.12	3E-10	3E-09			0.4	0.6	-	-	25.0	35.3	4.0	25.0	-	-
SANDS	D	3.0	6.3	52.8	79.8	10.5	29.1	4.7	18.1	18.7	22.5	-	-	-	-	-	-	4.0	9.0	0.04	0.05	0.01	0.01	-	-	1E-07	1E-07			-	-	42.0	42.0	-	-	33.4	59.0
SILTS (low plasticity)	E	1.9	10.8	8.0	23.5	48.7	69.5	22.5	39.1	41.0	47.1	18.0	21.5	0.7	2.0	0.55	0.81	5.0	12.0	0.21	0.40	0.04	0.10	1E-09	7E-08			0.3	0.4	-	-	32.9	33.1	6.3	17.6	-	-
Subappennine CLAYS	F	10.3	38.7	3.2	16.2	43.2	56.4	27.3	49.5	42.9	55.5	20.2	29.0	0.1	0.4	0.56	0.74	6.0	10.0	0.14	0.33	0.04	0.10	4E-09	2E-06			0.2	0.3	19.4	28.4	27.9	30.0	40.6	92.7	-	-

		z bsf		SF		MF		CF		w <sub>L</sub>		PI		LI		A		OM		c <sub>c</sub>		c <sub>s</sub>		k(e=1.5)		k(e <sub>0</sub> )		c <sub>k</sub>		c' <sub>p</sub>	φ' <sub>p</sub>	φ' <sub>cs</sub>		c <sub>u</sub>		D <sub>R</sub>	
		m	m	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
<b>ULTRA-SOFT SED</b>	<b>A</b>	0.1	0.6	2.8	29.4	30.5	51.0	26.6	65.4	91.2	117.0	56.7	78.8	1.0	2.7	0.87	2.49	8.0	18.0	0.80	1.50	0.09	0.15	1E-11	8E-11			0.7	0.9	-	-	27.2	33.0	1.7	3.2	-	-
<b>SOFT SED</b>	<b>B</b>	0.1	3.4	2.3	16.0	38.6	58.8	26.7	54.6	69.9	89.0	34.9	55.9	0.9	2.7	0.66	1.70	13.0	18.0	0.50	0.90	0.03	0.15	6E-11	7E-09			0.3	1.2	-	-	21.3	39.8	1.8	7.1	-	-
<b>Plastic CLAYS-SILTS</b>	<b>C</b>	1.9	22.5	0.5	10.9	44.8	60.6	32.1	49.9	53.6	65.6	27.6	38.4	0.7	1.6	0.57	0.91	7.0	15.0	0.35	0.61	0.07	0.12	3E-10	3E-09			0.4	0.6	-	-	25.0	35.3	4.0	25.0	-	-
<b>SANDS</b>	<b>D</b>	3.0	6.3	52.8	79.8	10.5	29.1	4.7	18.1	18.7	22.5	-	-	-	-	-	-	4.0	9.0	0.04	0.05	0.01	0.01	-	-	1E-07	1E-07	-	-	-	-	42.0	42.0	-	-	33.4	59.0
<b>SILTS (low plasticity)</b>	<b>E</b>	1.9	10.8	8.0	23.5	48.7	69.5	22.5	39.1	41.0	47.1	18.0	21.5	0.7	2.0	0.55	0.81	5.0	12.0	0.21	0.40	0.04	0.10	1E-09	7E-08			0.3	0.4	-	-	32.9	33.1	6.3	17.6	-	-
<b>Subapennine CLAYS</b>	<b>F</b>	10.3	38.7	3.2	16.2	43.2	56.4	27.3	49.5	42.9	55.5	20.2	29.0	0.1	0.4	0.56	0.74	6.0	10.0	0.14	0.33	0.04	0.10	4E-09	2E-06			0.2	0.3	19.4	28.4	27.9	30.0	40.6	92.7	-	-

# Zonazione del sistema: zone geomeccaniche



*Criticità per soluzioni tecnologiche*



**Commissario Straordinario**  
per gli interventi urgenti di bonifica, ambientalizzazione  
e riqualificazione di Taranto

Politecnico di Bari Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali IAMC

**LEGENDA ZONAZIONE GEOMECCANICA**  
Dati COMMISSARIO STRAORDINARIO 2016/2017

<p><b>A1:</b> Criticità geomeccanica MOLTO ELEVATA</p> <p>0,0-3,5m dal fondale presenza dei complessi di compressibilità elevata A e B</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevato spessore dei sedimenti (tetto complesso F&gt;30m)</li> </ul>	<p><b>B:</b> Criticità geomeccanica MEDIO-ELEVATA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 0,0-1,5/3,0m dal fondale: prevalenza del complesso B</li> <li>- Al di sotto dei complessi A e B, presenza di strati con caratteristiche migliori (complessi C ed E)</li> <li>- Medio spessore dei sedimenti (tetto complesso F&lt;30m)</li> </ul> <p><small>*sulla base dei dati ad oggi disponibili la classificazione delle verticali S13, S14, S15, S19 è da ritenersi provvisoria</small></p>
<p><b>A2:</b> Criticità geomeccanica ELEVATA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 0,0-1,5m dal fondale: prevalenza del complesso fluido A</li> <li>- Presenza di livelli sabbiosi mediamente addensati (complesso D) intercalati a strati di compressibilità medio elevata (complessi B, C ed E)</li> <li>- Elevato spessore dei sedimenti (tetto complesso F&gt;30m)</li> </ul>	<p><b>C:</b> Criticità geomeccanica MEDIA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 0-1,5m dal fondale presenza del complesso fluido B</li> <li>- Al di sotto del complesso B, presenza di strati con caratteristiche migliori (complessi C ed E)</li> <li>- Medio-basso spessore dei sedimenti (tetto complesso F/tetto carbonati&lt;15m)</li> </ul>

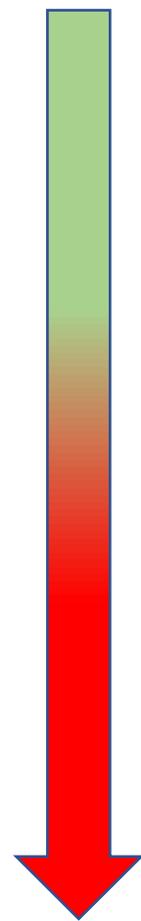
**LEGENDA ZONAZIONE CHIMICA**  
Dati COMMISSARIO STRAORDINARIO 2016/2017

**ZONA 1.** Presenza locale di:  
Idrocarburi pesanti con superamento della soglia "rossa" in superficie  
PCB con superamento della soglia "gialla" in superficie (in alcuni casi anche in profondità, z max=3,55m)  
PCB con superamento della soglia "rossa" in superficie (entro 0,5m in Mappa 2, entro 1,5m in Mappa 3)  
Metalli con superamento della soglia "gialla" in superficie (in alcuni casi anche in profondità)  
Mercurio con superamento della soglia "gialla" in superficie (in alcuni casi anche in profondità, z max=3,75m)  
Mercurio con superamento della soglia "rossa" in superficie (in alcuni casi anche in profondità, z max=2,25m)  
IPA con superamento della soglia "gialla" in superficie.

**ZONA 2a.** Presenza locale di:  
Idrocarburi pesanti con superamento della soglia "gialla" in superficie  
PCB con superamento della soglia "gialla" in superficie  
Metalli con superamento della soglia "gialla" in superficie (in alcuni casi anche in profondità, z max= 12m)  
Mercurio con superamento della soglia "gialla" in superficie  
IPA con superamento della soglia "gialla" in superficie.

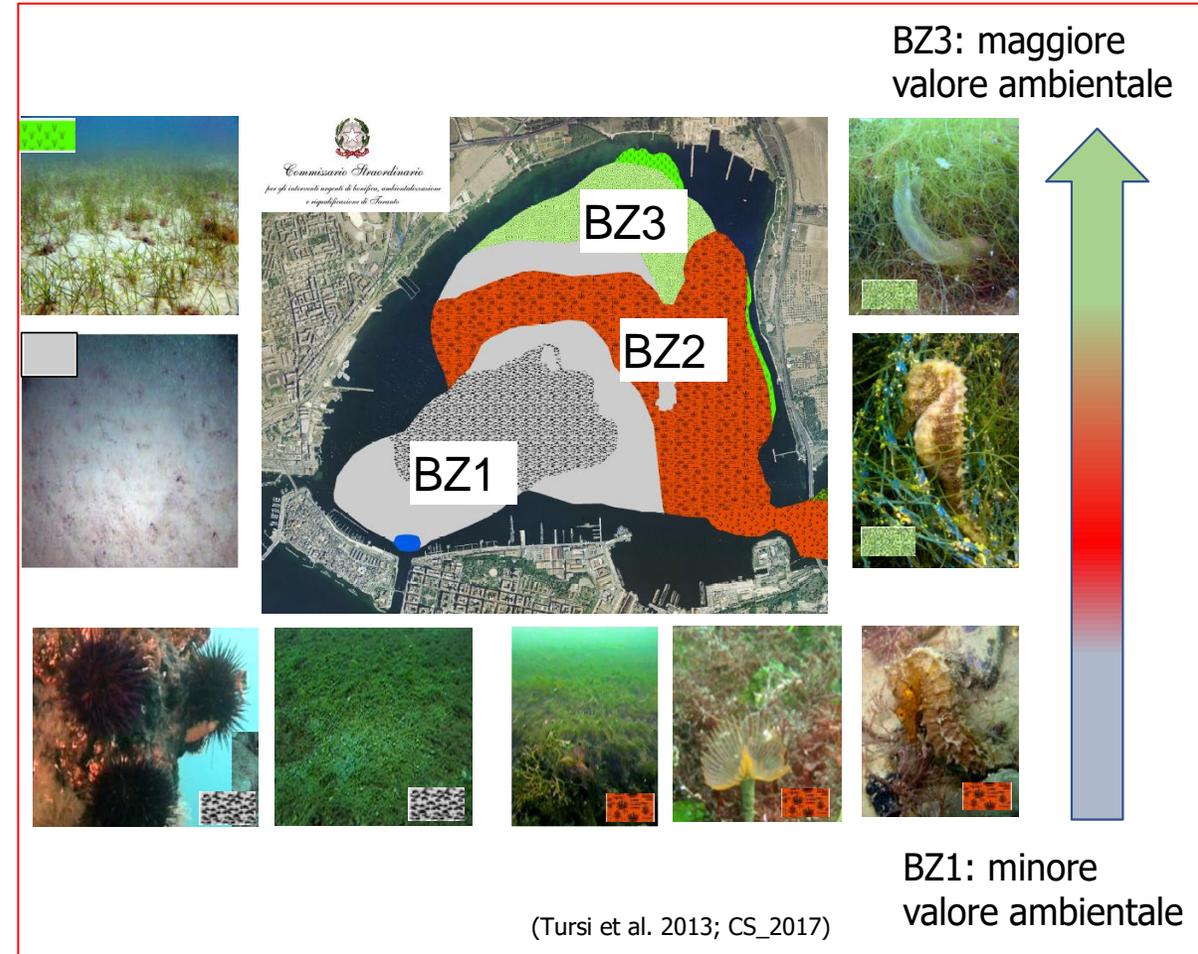
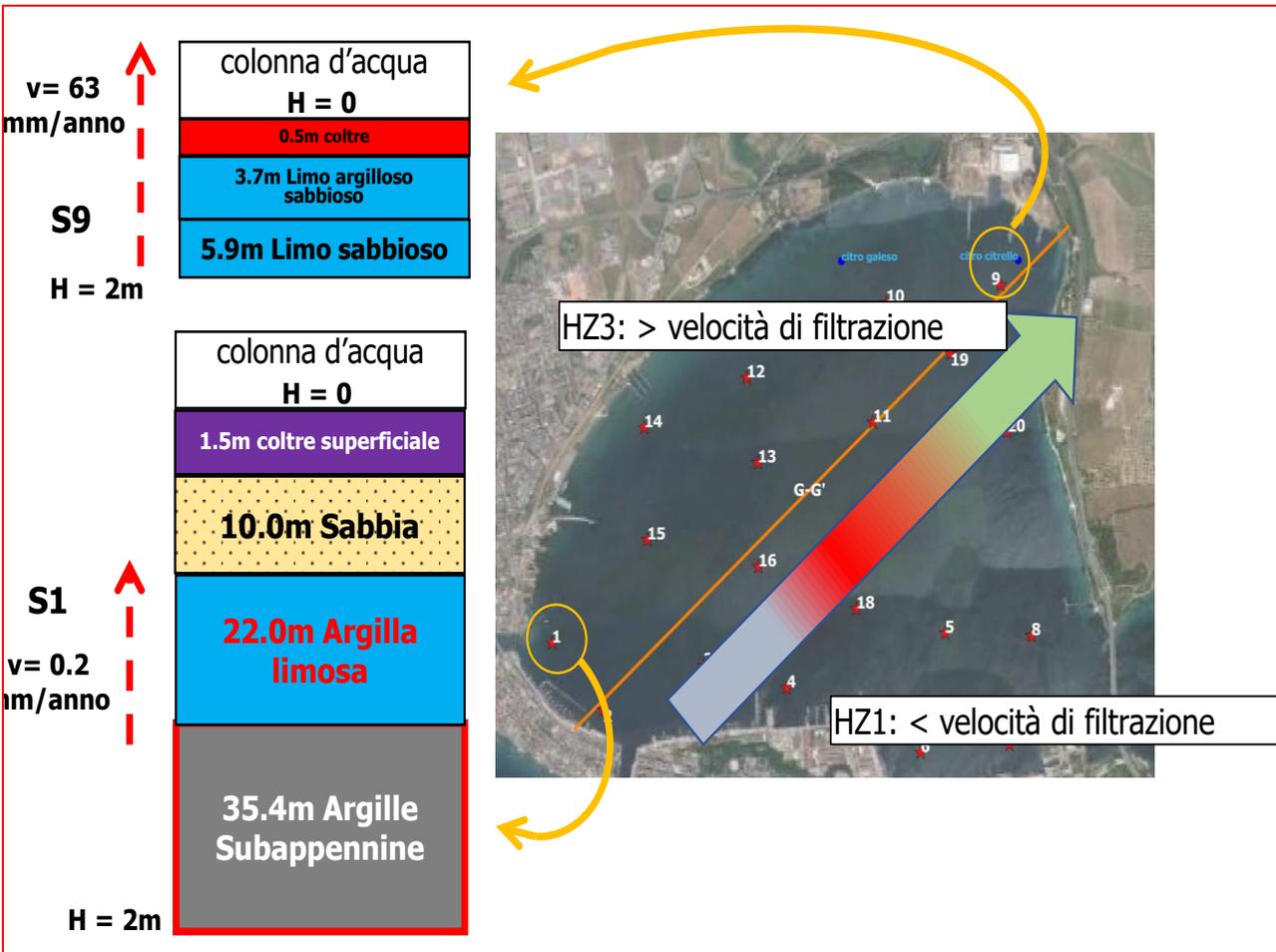
**ZONA 2b.** Presenza locale di:  
PCB con superamento della soglia "gialla" in superficie  
Mercurio con superamento della soglia "gialla" in superficie

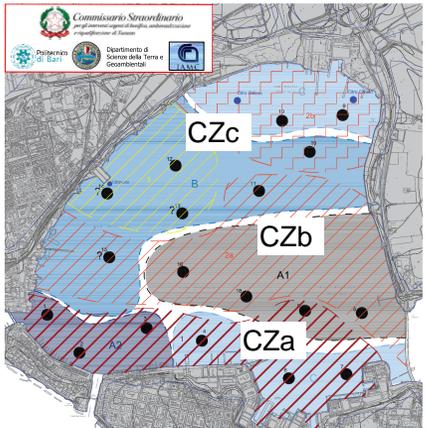
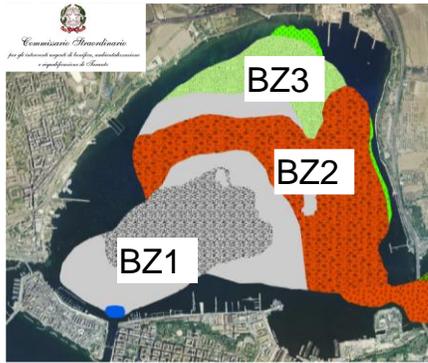
**ZONA 3.** Valori di concentrazione chimica sotto soglia con presenza locale di Metalli con superamento della soglia "gialla" in superficie in prossimità dell'idrovora.



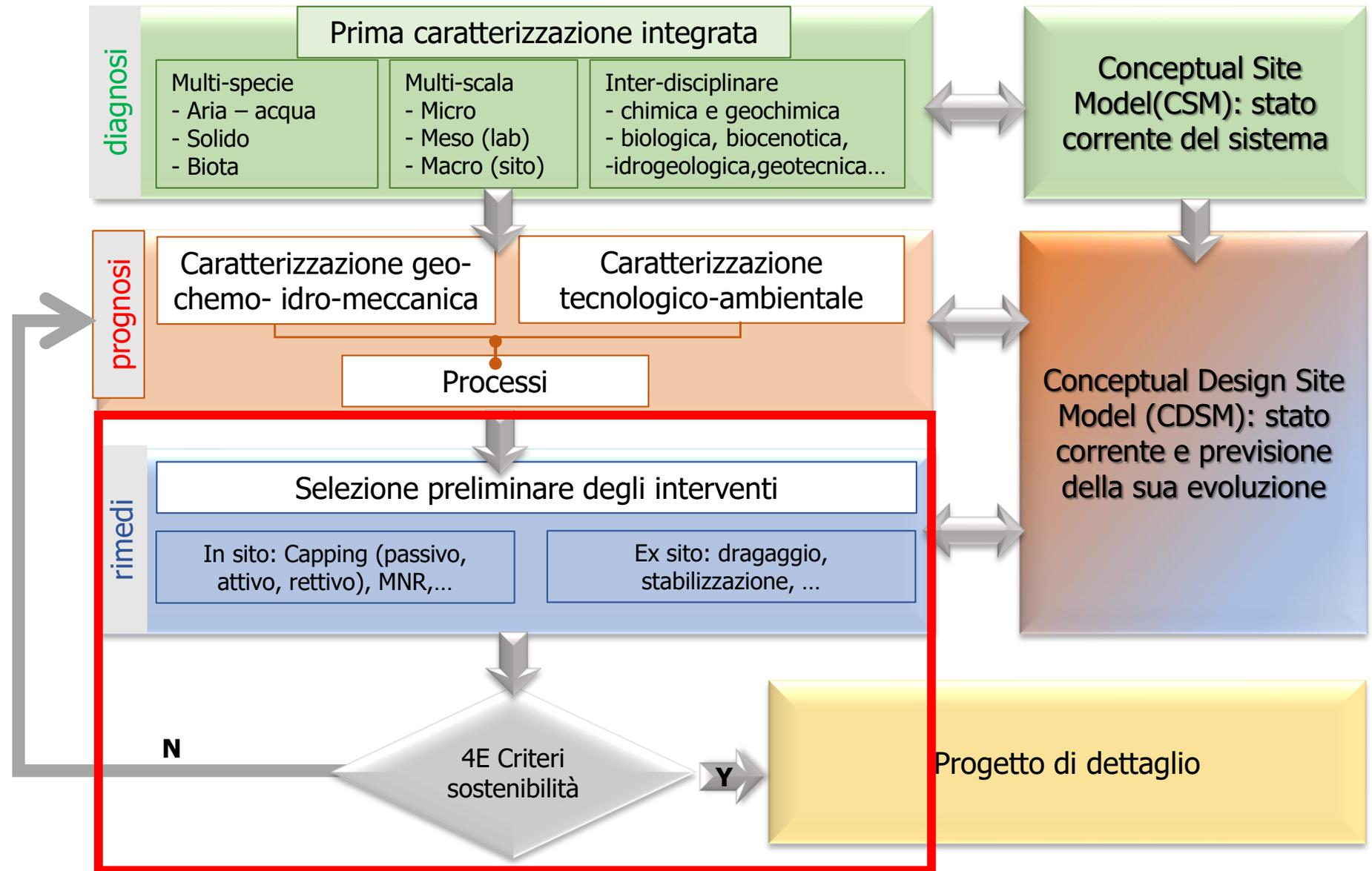
*CZc: lower pollution*

*CZa: higher pollution*



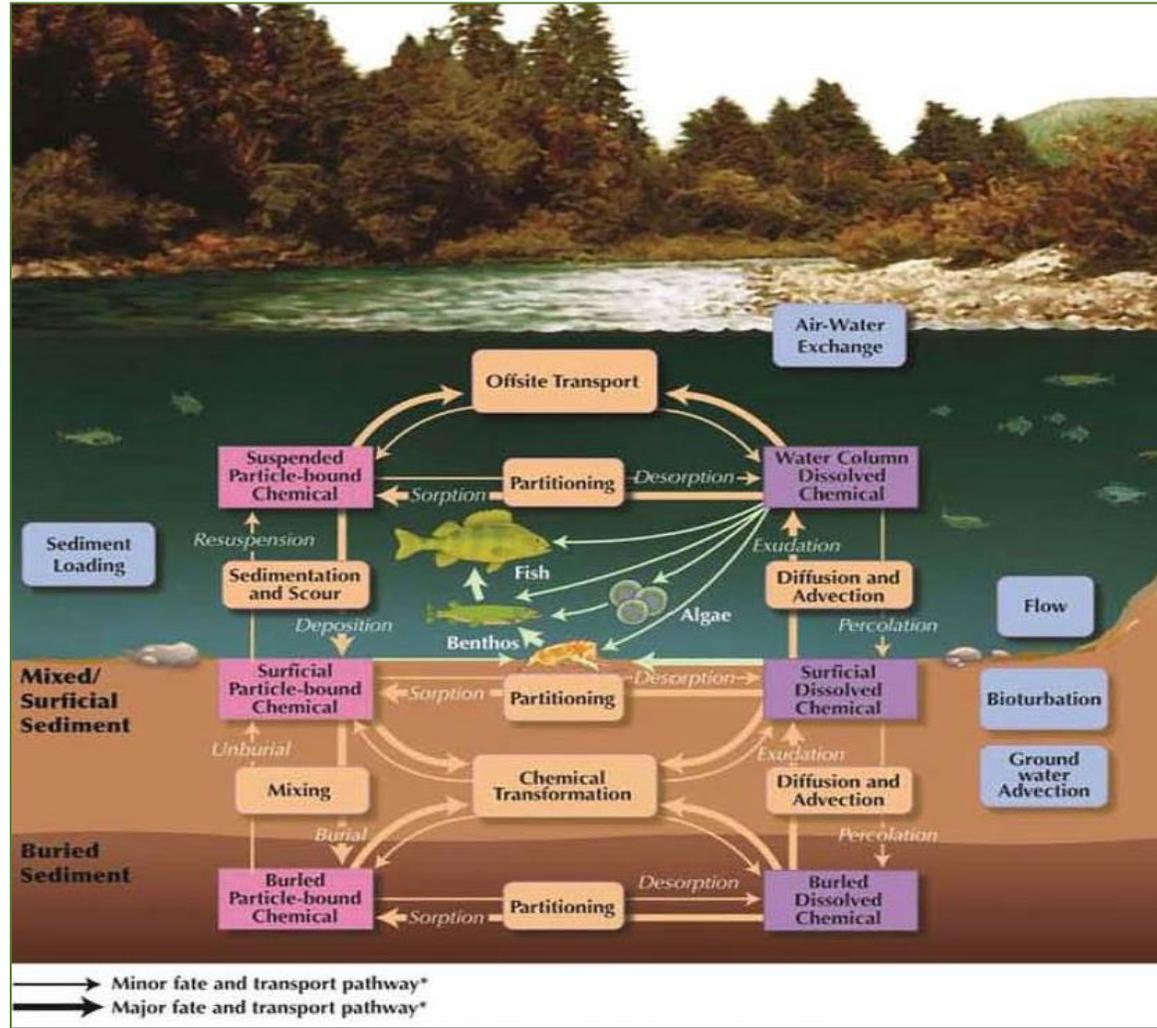
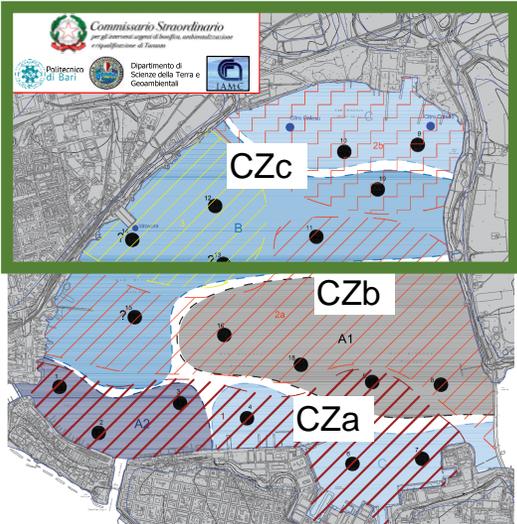


		ENGINEERING (GEOTECHNICAL AND HYDRAULIC ZONES)								
		GZ-HZany	GZany - HZ1-2	GZany - HZ 3	GZ1-2 - HZany	GZ3-4 - HZany	GZ3 - HZ1-2	GZ3 - HZ3	GZ4 - HZ1-2	GZ4 - HZ3
ENVIRONMENT (CHEMICAL AND BIOCLONIC ZONES)	CZa - BZ1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CZa - BZ2	-	1	1-2	-	-	-	-	-	-
	CZa - BZ3	1-2-3	1-2-3	1-2-3	1-2-3	1-2-3	1-2-3	1-2-3	1-2-3	1-2-3
	CZb - BZ1	-	-	-	1-2	2	-	-	-	-
	CZb - BZ2	-	-	-	1-2	-	2	2-3	2	2-3
	CZb - BZ3	-	-	-	1-2-3	-	2-3	3	2-3	3
	CZc - BZany	3	3	3	3	3	3	3	3	3

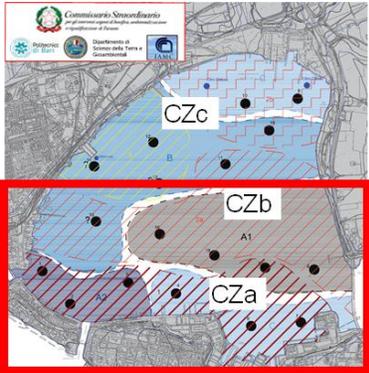


## Recupero Naturale Monitorato

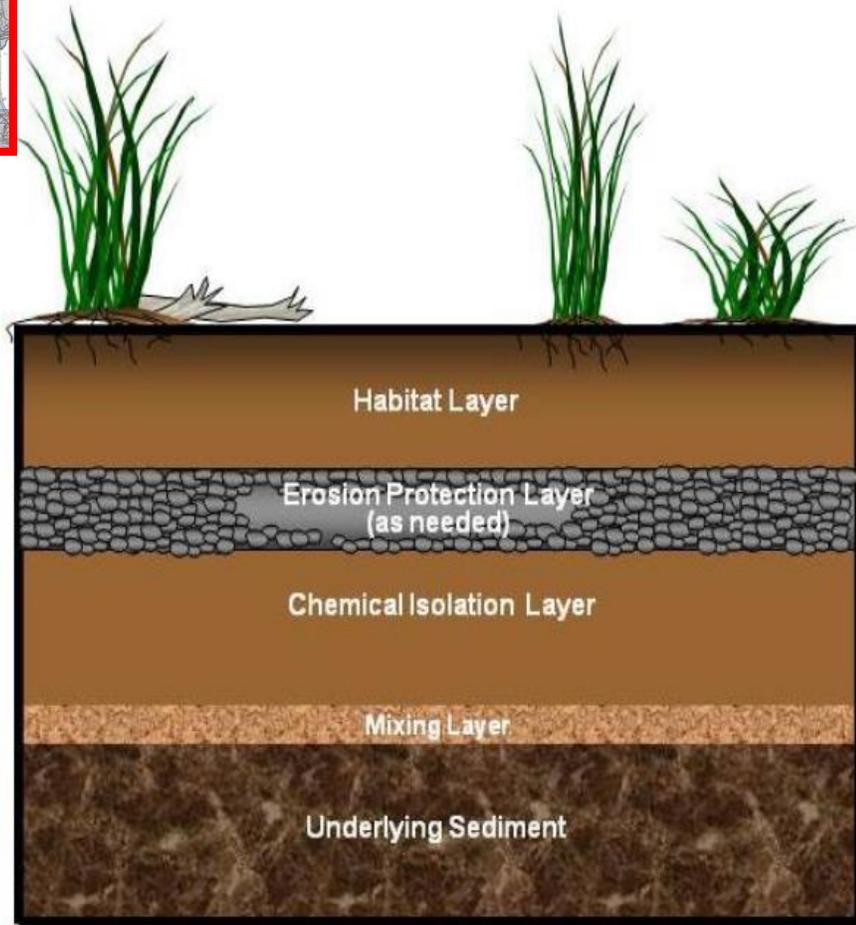
*Si tratta di un intervento a tutti gli effetti e consiste nel monitorare il sistema e la sua evoluzione e quella di tutti i numerosi processi in atto.*



(Reible, 2014)



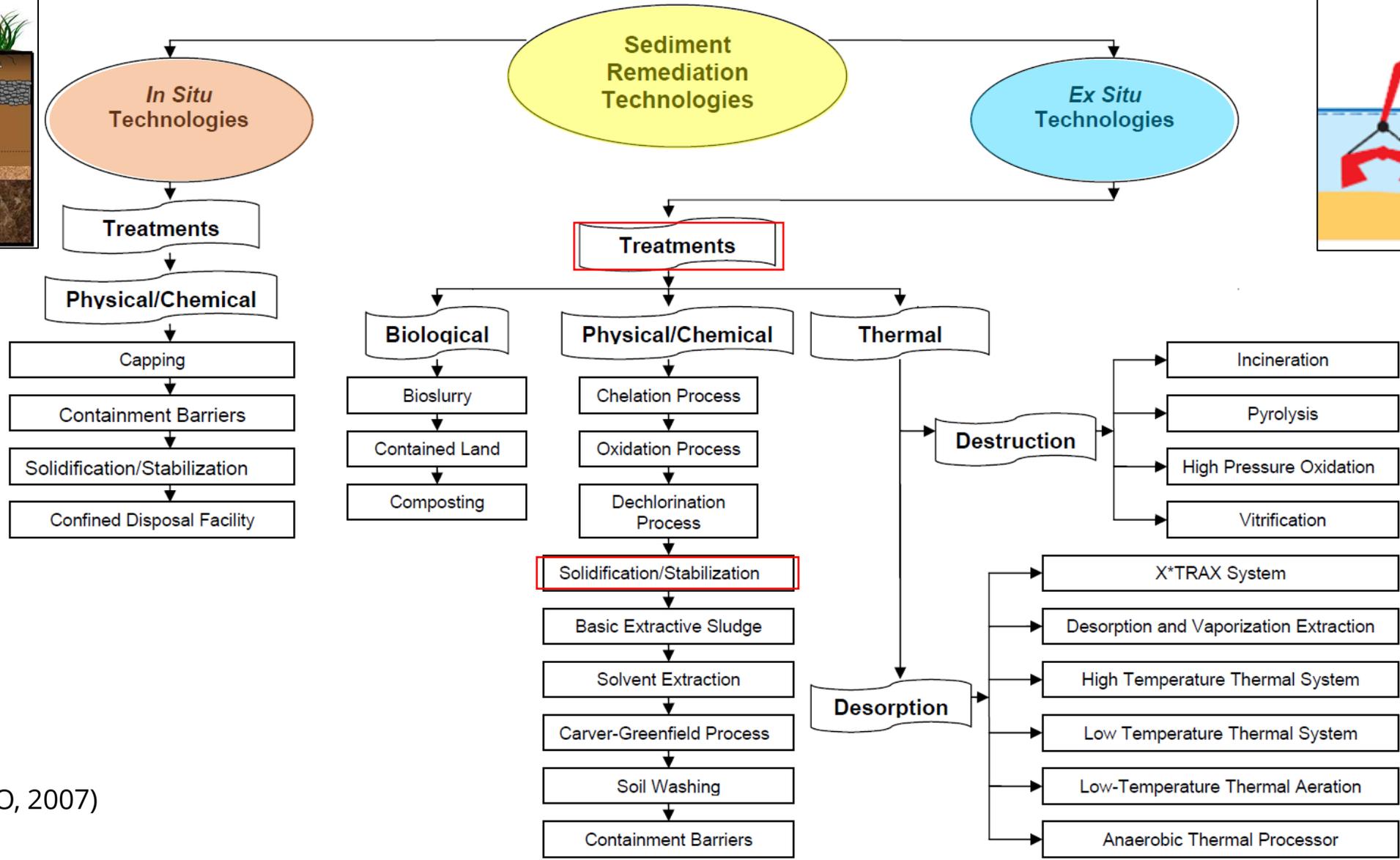
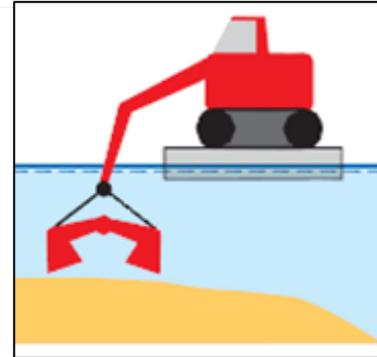
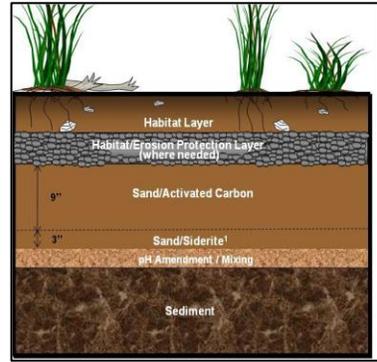
## Interventi in-situ



## Interventi ex-situ

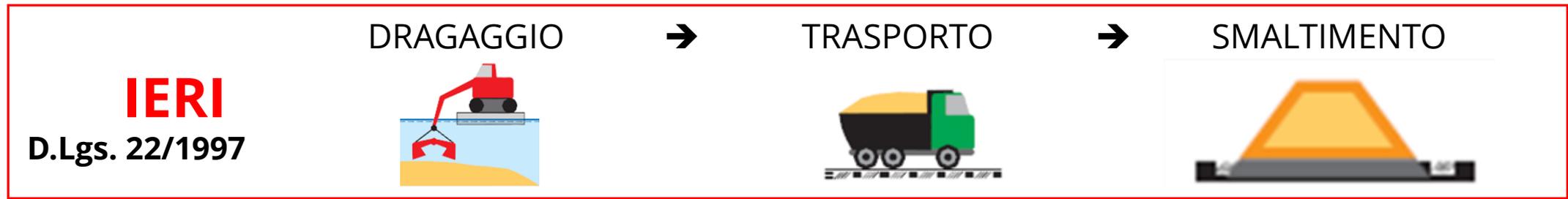


# e dove la resilienza è bassa?



(ICS UNIDO, 2007)

# • i sedimenti dragati: da rifiuto a risorsa



**RIFIUTO**

CER 17 05 05\*  
CER 17 05 06



Porto di Taranto. Gennaio 2018



**RISORSA**

SOTTOPRODOTTO  
DA ATTIVITÀ  
INDUSTRIALE

in Europa: 200000000m<sup>3</sup>/anno



10000 edifici di 5 piani



# e la geotecnica?

## Improvement and reuse of sediments

- ❑ **Mechanical-chemical combined method**, vacuum-solidification (*Yin et al., 2023*).
- ❑ **Dry deagglomeration** of river **sediments** for concrete mixtures (*Wang et al., 2022*).
- ❑ **Use of sediments** as a raw materials in Portland cement **clinker** production (*Solanki et al., 2023*).
- ❑ Addition of **sediments** to clay for bricks of low thermal conductivity (*Slimanou et al., 2020*).
- ❑ **Sandy and fine fractions of sediments** used **for concrete preparation** (*Hamza et al., 2023*).
- ❑ **Chemical treatment for mechanical improvement by hydraulic binders or other additives** (e.g., *Federico et al., 2015; Horpibulsuk et al., 2014*).
- ❑ ...

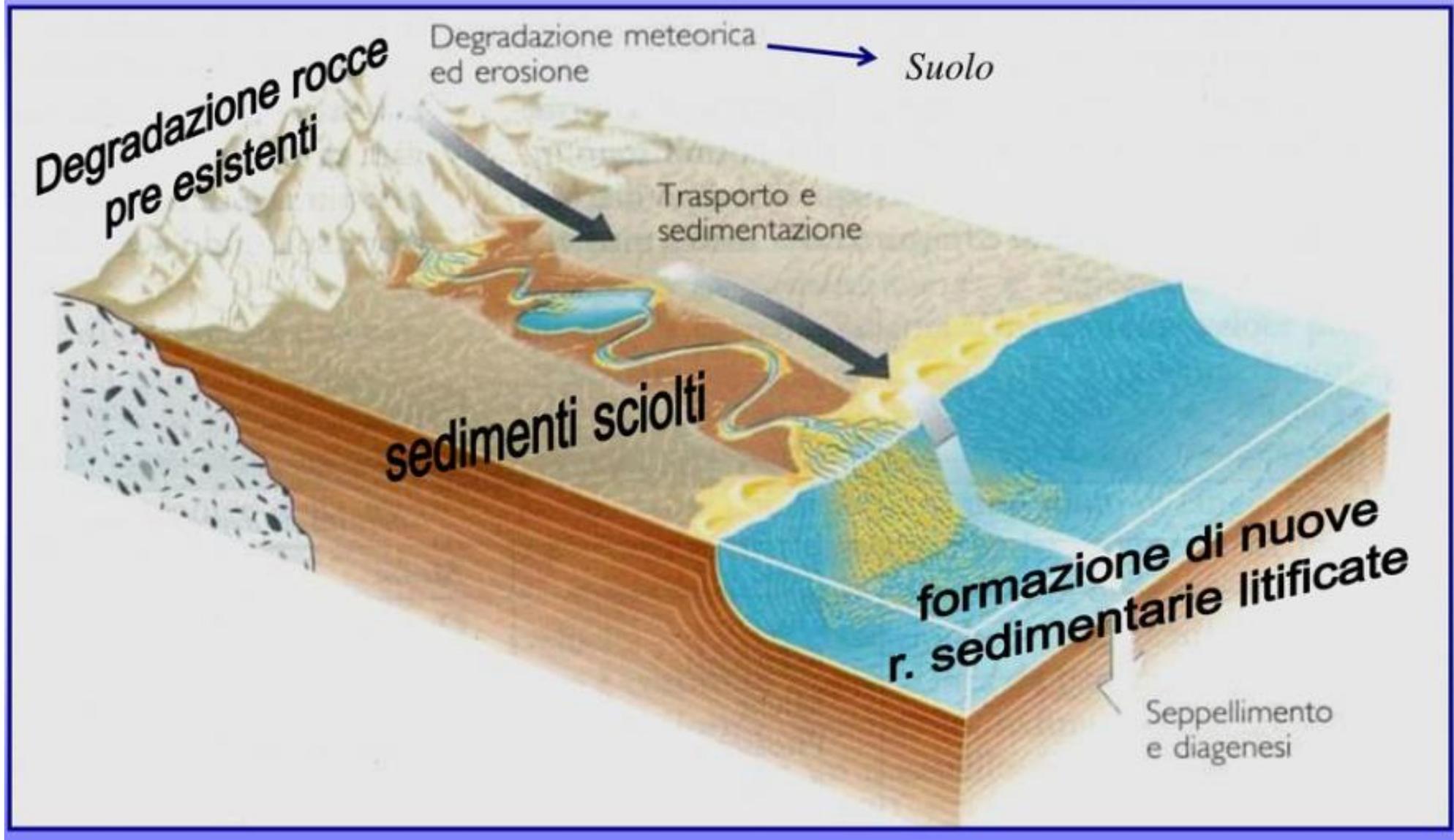


Keller, 1982; Consoli et al., 2000; Tang et al., 2001; Horpibulsuk et al., 2001, 2004, 2014; Tremblay et al., 2001, 2002; Lorenzo & Bergado, 2004; Xiao et al., 2009; Grubb et al., 2010; Chiu et al., 2009; Sasanian & Newson, 2014; Rios et al., 2014; ...

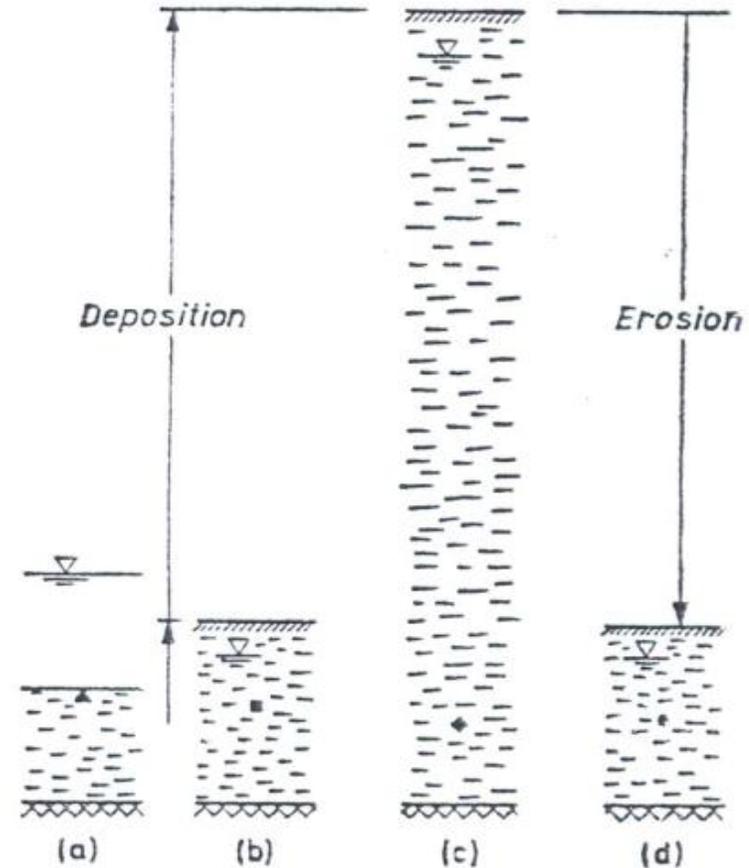
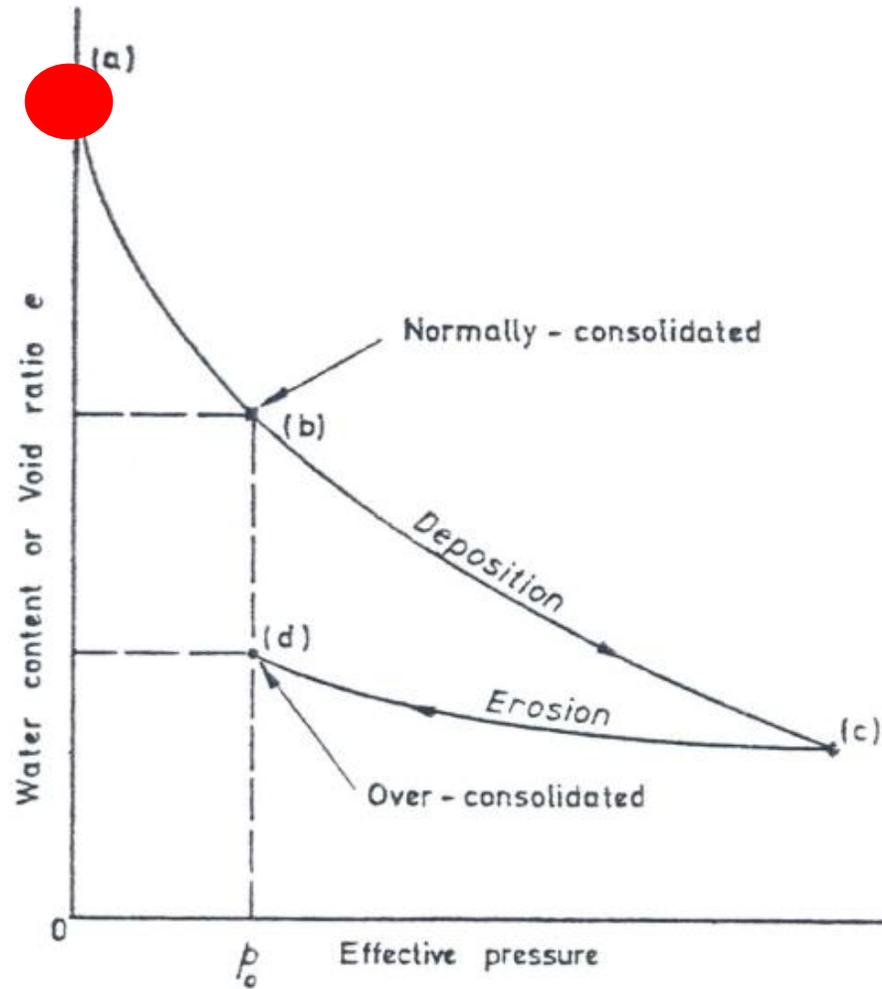
- Focus sui sedimenti marini

Cosa sono?

# cosa sono i sedimenti marini?

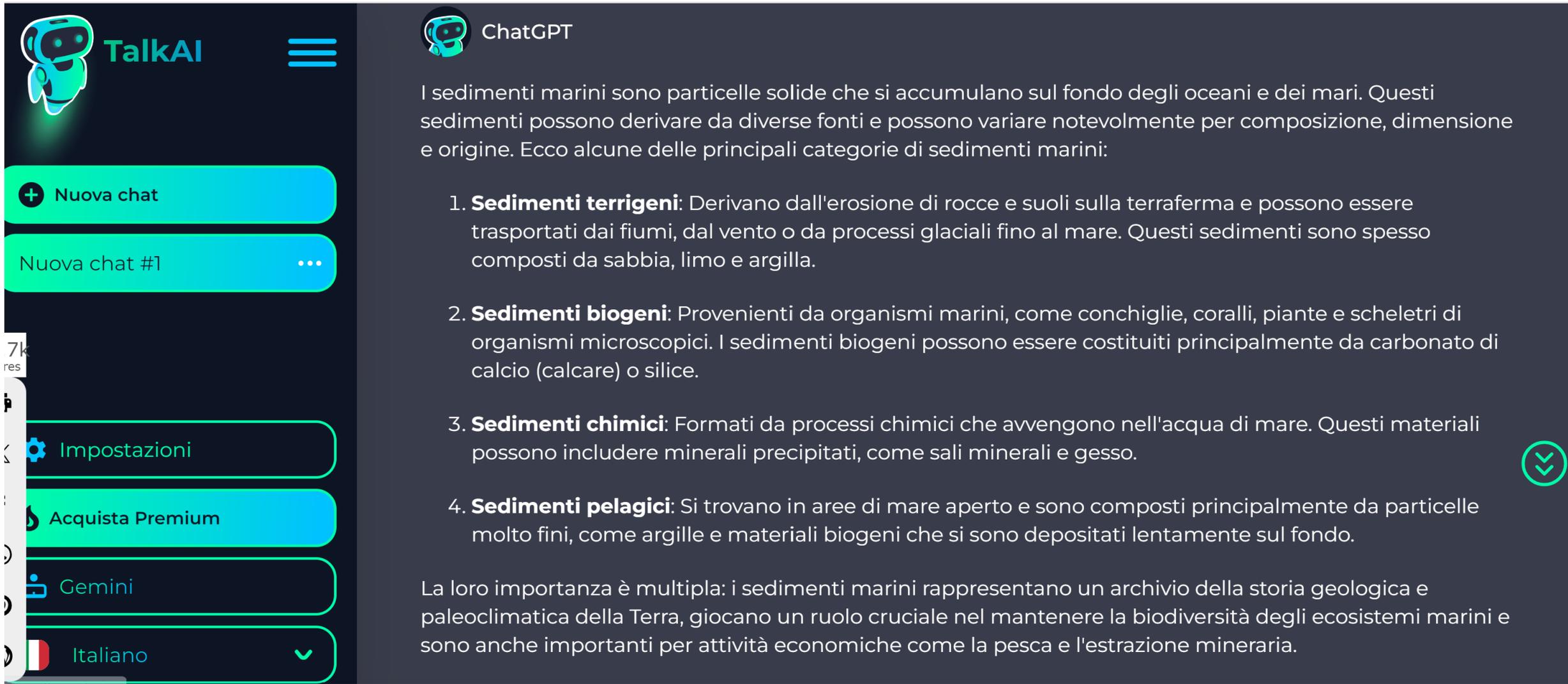


# cosa sono i sedimenti marini?



(Skempton, 1970)

# cosa sono i sedimenti marini?



**TalkAI**

**ChatGPT**

I sedimenti marini sono particelle solide che si accumulano sul fondo degli oceani e dei mari. Questi sedimenti possono derivare da diverse fonti e possono variare notevolmente per composizione, dimensione e origine. Ecco alcune delle principali categorie di sedimenti marini:

1. **Sedimenti terrigeni:** Derivano dall'erosione di rocce e suoli sulla terraferma e possono essere trasportati dai fiumi, dal vento o da processi glaciali fino al mare. Questi sedimenti sono spesso composti da sabbia, limo e argilla.
2. **Sedimenti biogeni:** Provenienti da organismi marini, come conchiglie, coralli, piante e scheletri di organismi microscopici. I sedimenti biogeni possono essere costituiti principalmente da carbonato di calcio (calcare) o silice.
3. **Sedimenti chimici:** Formati da processi chimici che avvengono nell'acqua di mare. Questi materiali possono includere minerali precipitati, come sali minerali e gesso.
4. **Sedimenti pelagici:** Si trovano in aree di mare aperto e sono composti principalmente da particelle molto fini, come argille e materiali biogeni che si sono depositati lentamente sul fondo.

La loro importanza è multipla: i sedimenti marini rappresentano un archivio della storia geologica e paleoclimatica della Terra, giocano un ruolo cruciale nel mantenere la biodiversità degli ecosistemi marini e sono anche importanti per attività economiche come la pesca e l'estrazione mineraria.

# i sedimenti marini sono **geomateriali**



The Alliance of Laboratories in Europe for Education, Research and Technology (ALERT) “Geomaterials” has been **created in 1989** by ***Roberto Nova, Manuel Pastor, Ian Smith, Peter Vermeer, Olek Zienkiewicz and Félix Darve*** as a pioneering (at that time!) effort to develop a **European School of Thinking in the field of the Mechanics of Geomaterials.**

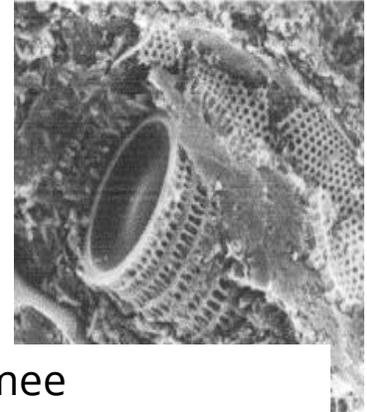
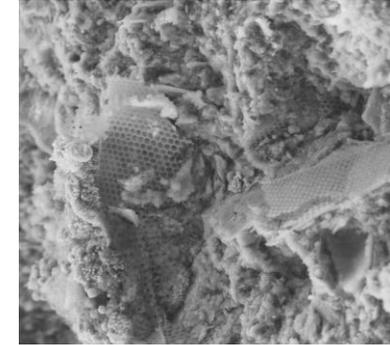
The generic name “**Geomaterials**” is viewed as gathering together **materials, whose mechanical behaviour depends on the pressure level**, which can be dilatant under shearing and which are multiphase because of their porous structure.



Consistenza fluida



Elevato organico

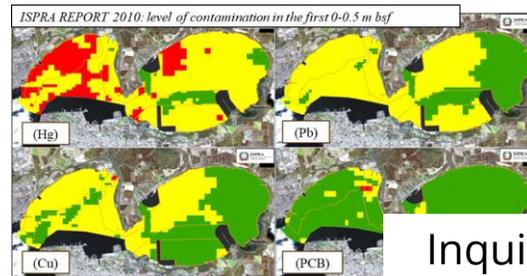


Diatomee

## sedimenti marini



Microfossili,  
mitili e  
conchiglie



Inquinanti organici ed inorganici

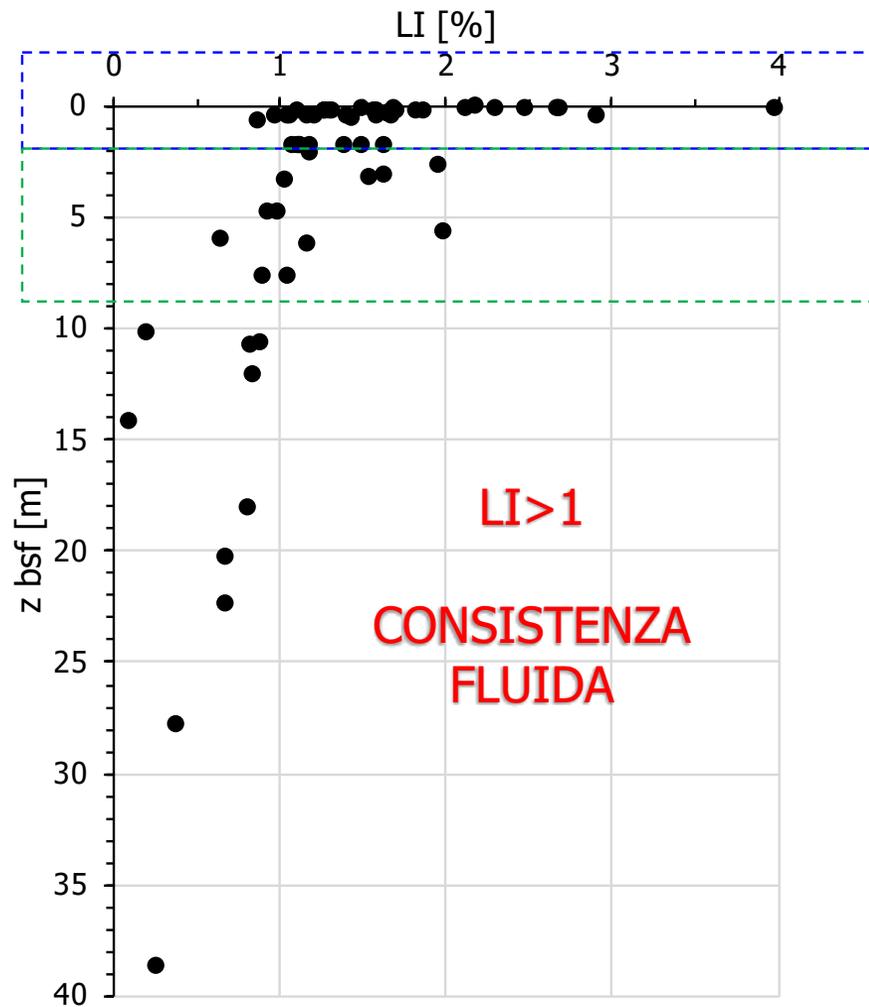


*The main causes of complexity may be found in the **heterogeneous** and **discontinuous nature** of deposits both at the scale of laboratory samples (**mesostructure**) and at the scale of engineering problems (**macrostructure**).*

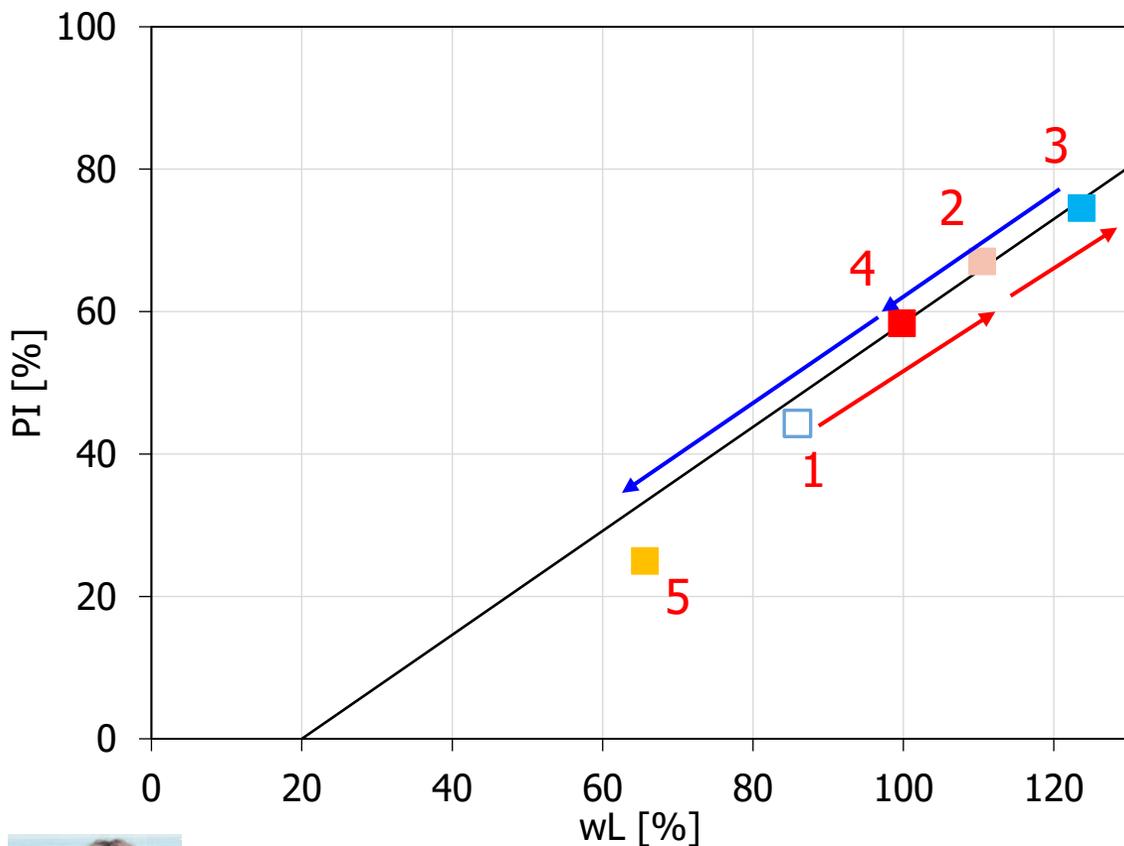
**Arrigo Croce, 1971**

fissured clays as complex systems  
(multiphase + multiscale)





(Vitone et al., 2016; Sollecito et al., 2019)



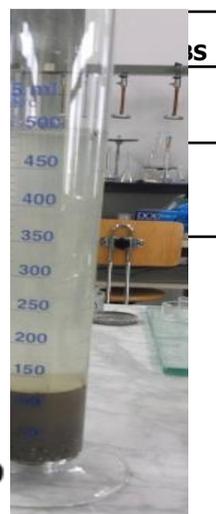
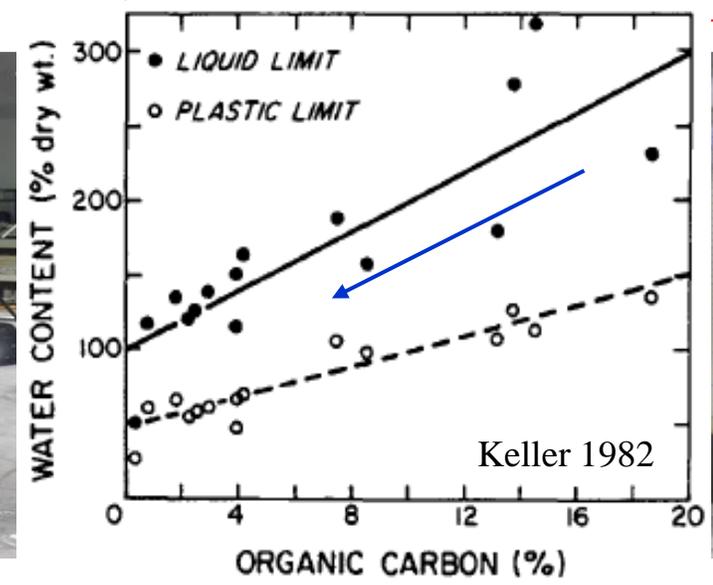
- Determinazioni 2014
- Determinazioni 2016
- Lavato con acqua distillata

	Hg	
	mg/kg	m
<b>S3M (1m bsf)</b>	<b>38.36</b>	

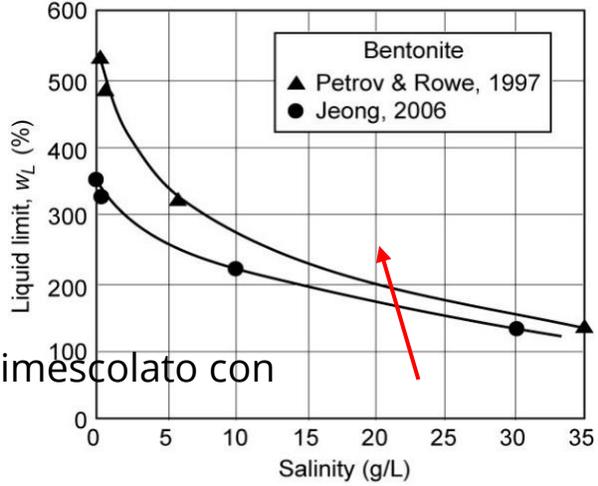
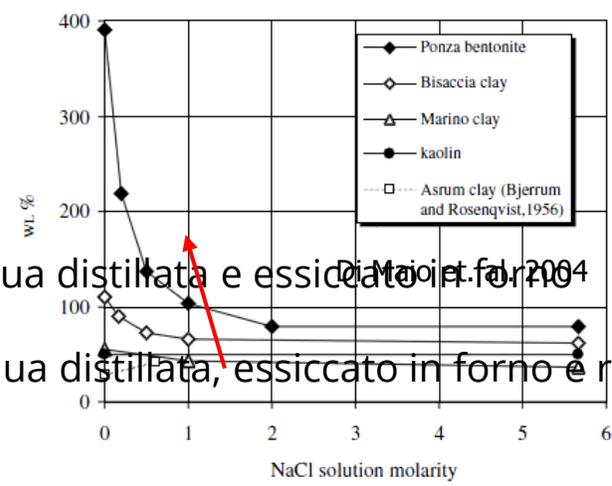


a)

## SEI STEP DI LAVAGGIO



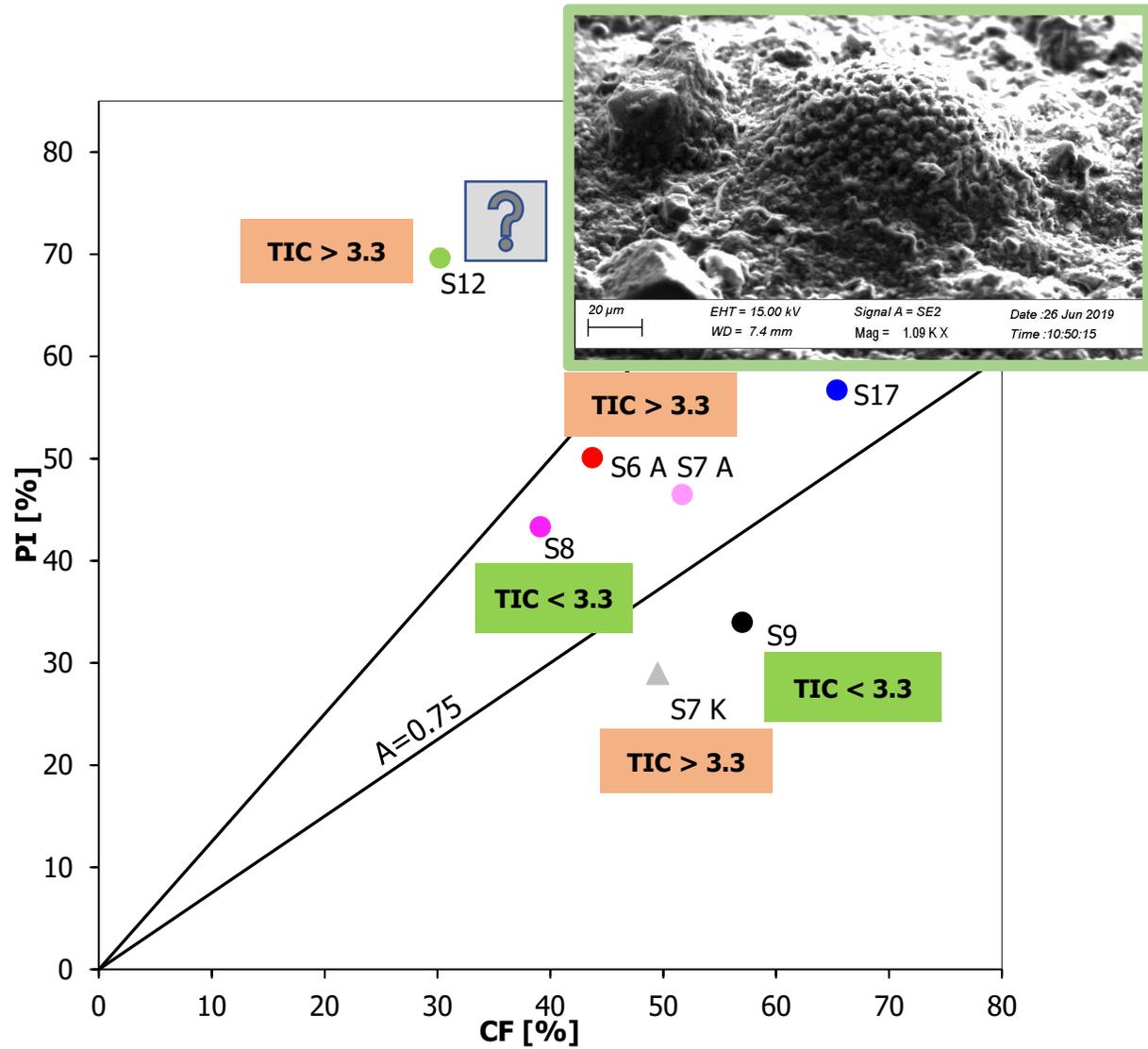
## Mineralogie attive



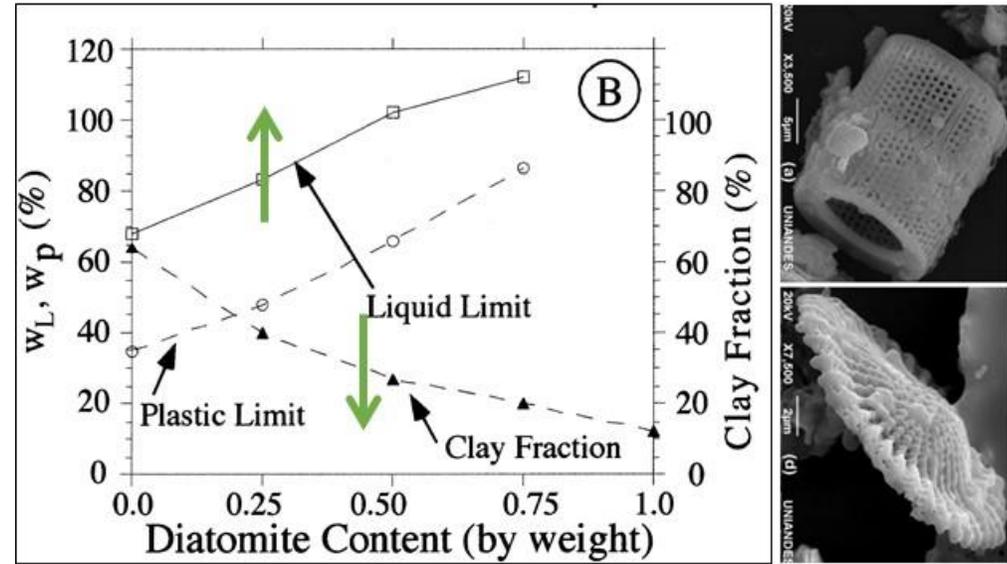
- Lavato con acqua distillata e essiccato in forno
- Lavato con acqua distillata, essiccato in forno e rimescolato con acqua marina



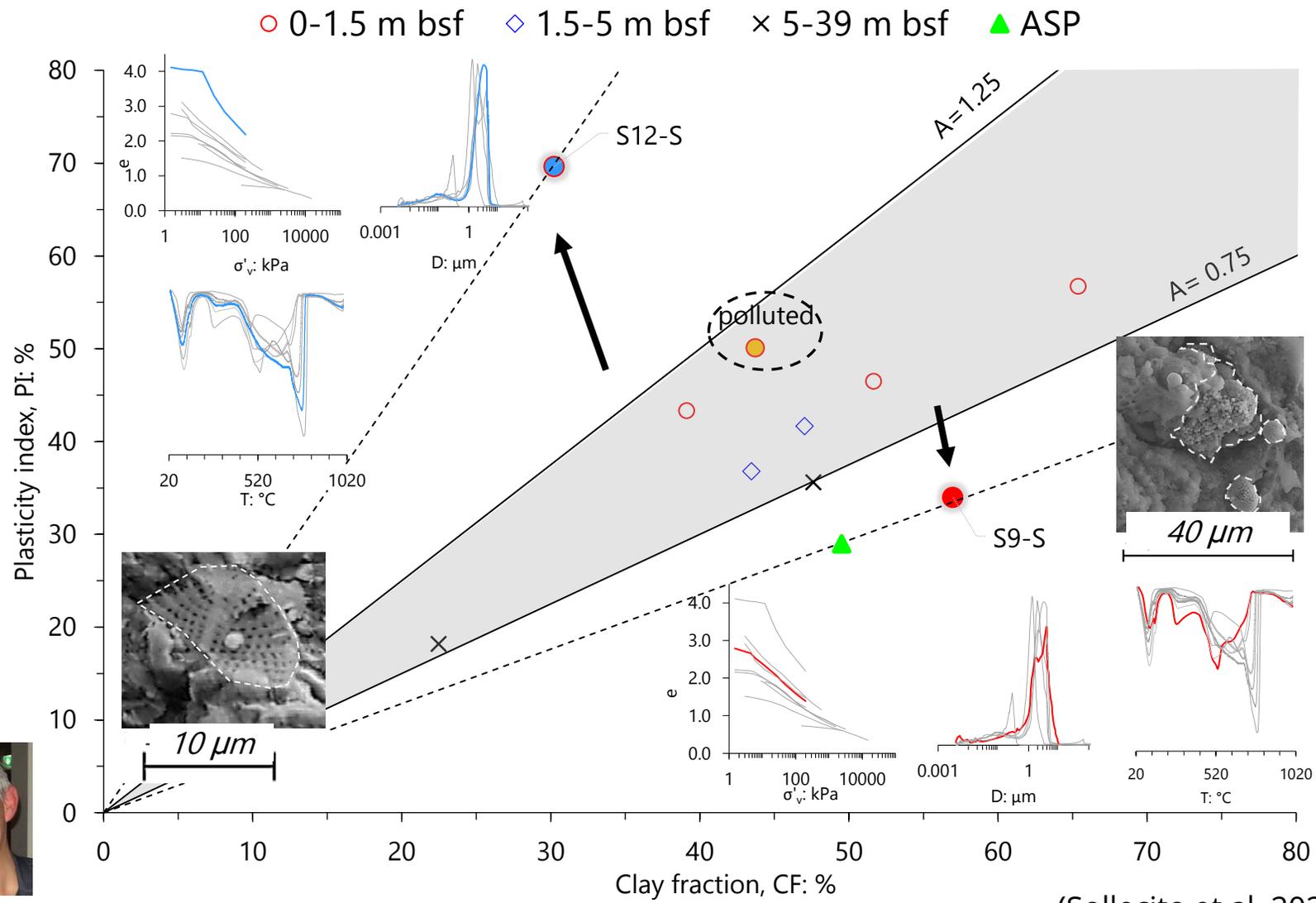
PhD Sollecito 2019



↑ diatomee

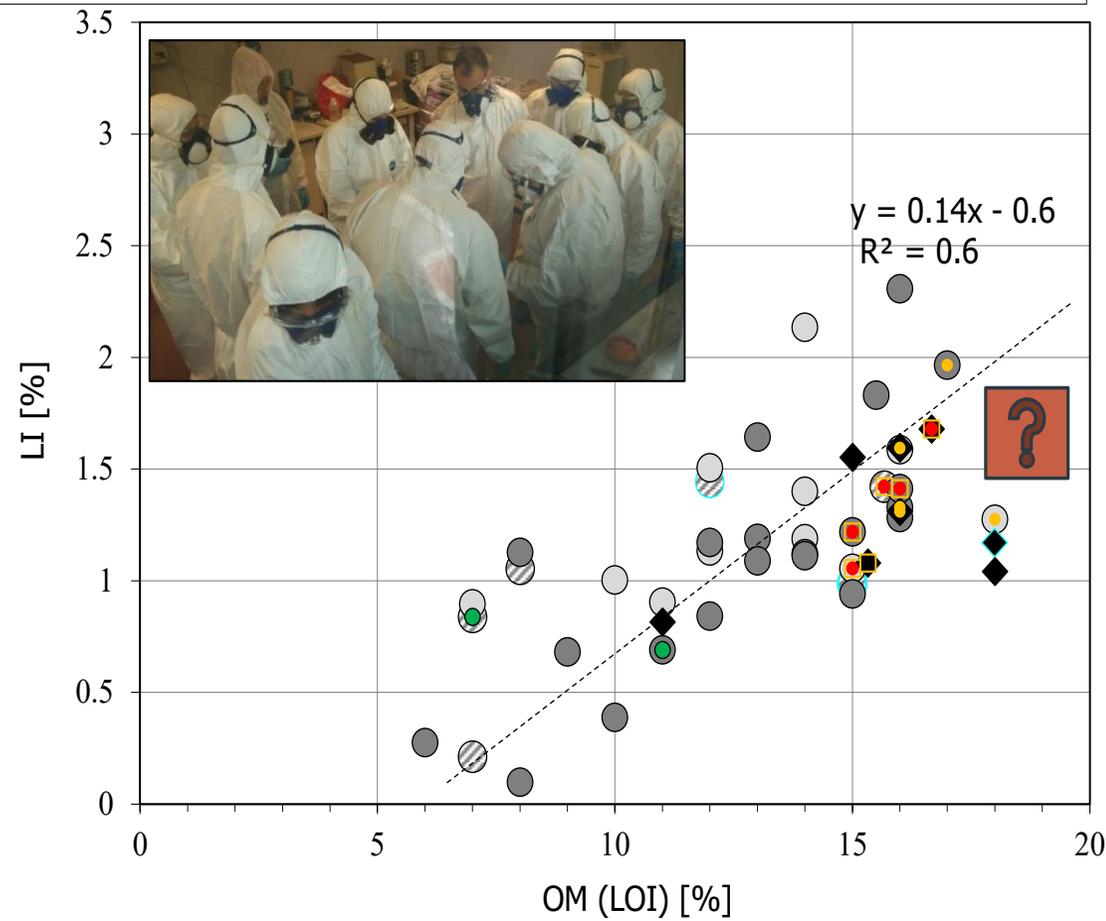
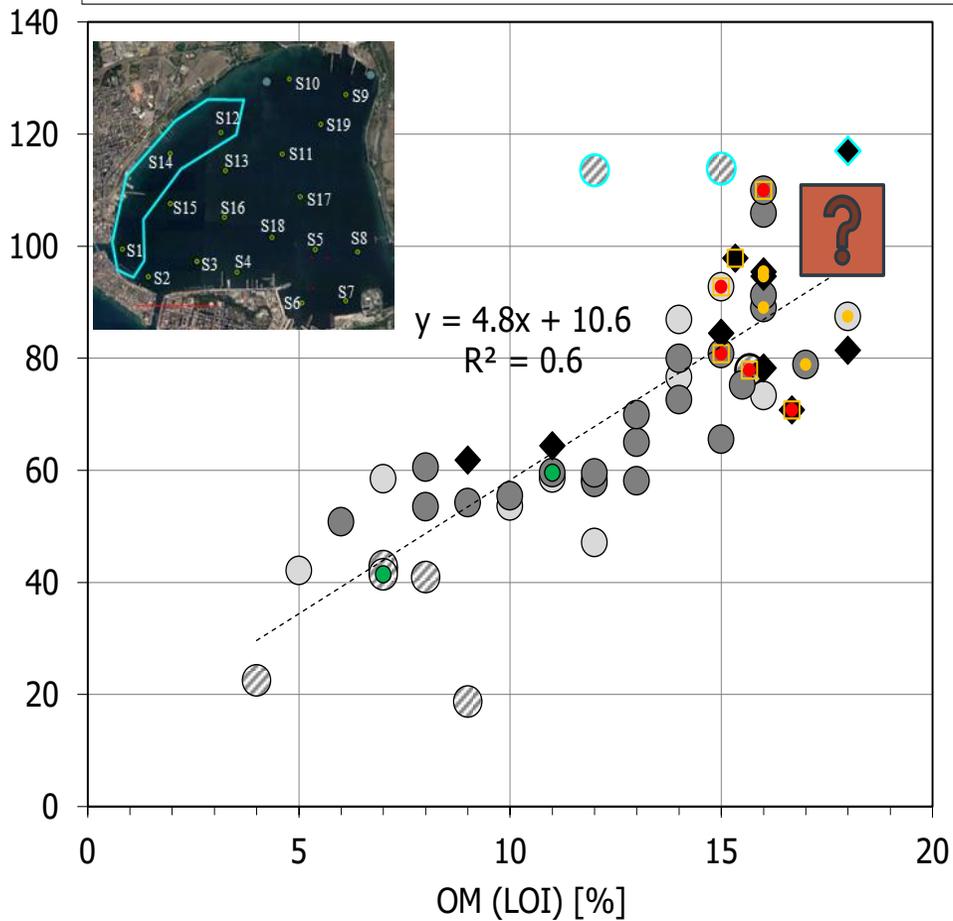
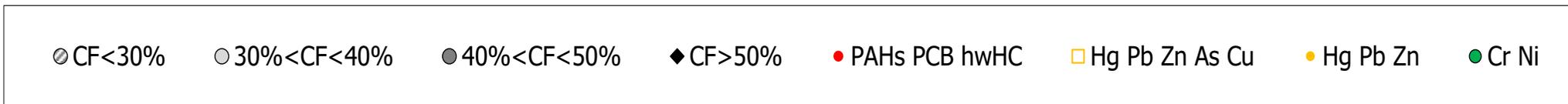


(Tanaka & Locat, 1999)



A. Puzrin & M. Plotze

(Sollecito et al. 2021 Géotechnique)



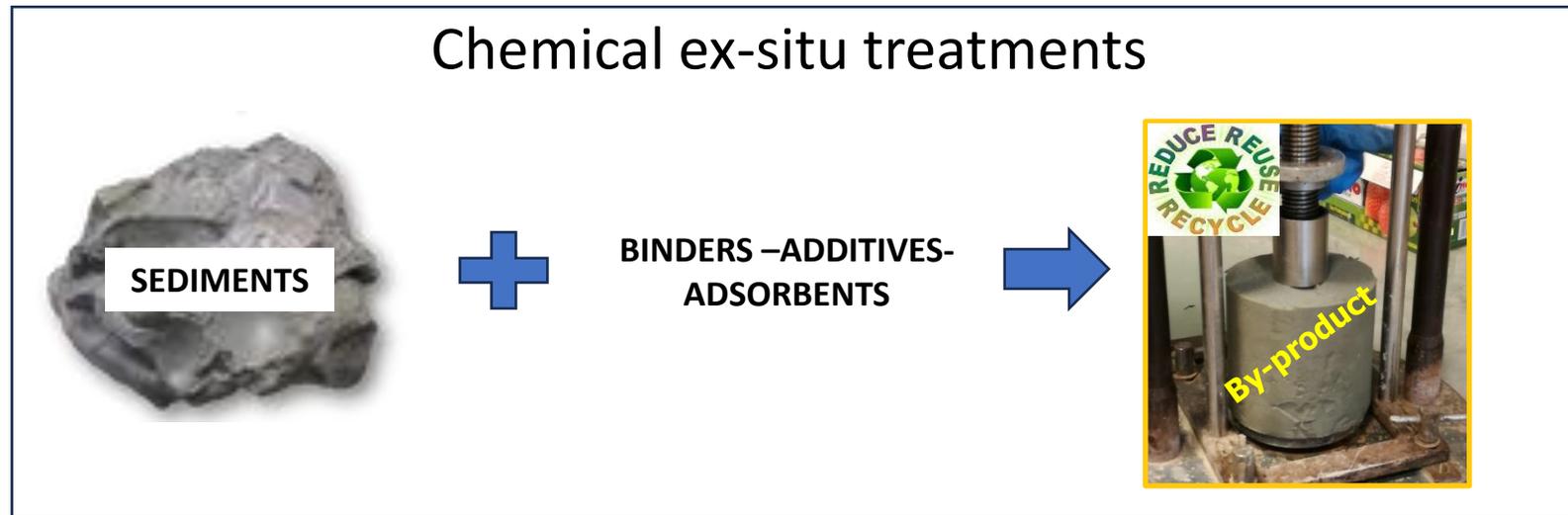
Beatrice Baudet



Matthew Coop

(Sollecito et al., 2021; Sollecito et al., in prep.)

Come sempre e, forse, ancor più  
è fondamentale la  
caratterizzazione (integrata)





## **Materiale da stabilizzare:**

Sedimenti dragati dal Porto di Taranto

CF=33%

MF=52%

SF=15%

$w_L=55\%$ ;  $PI=29\%$



## **Additivi usati**

Cemento Portland

Calce

Miscela di calce e cemento

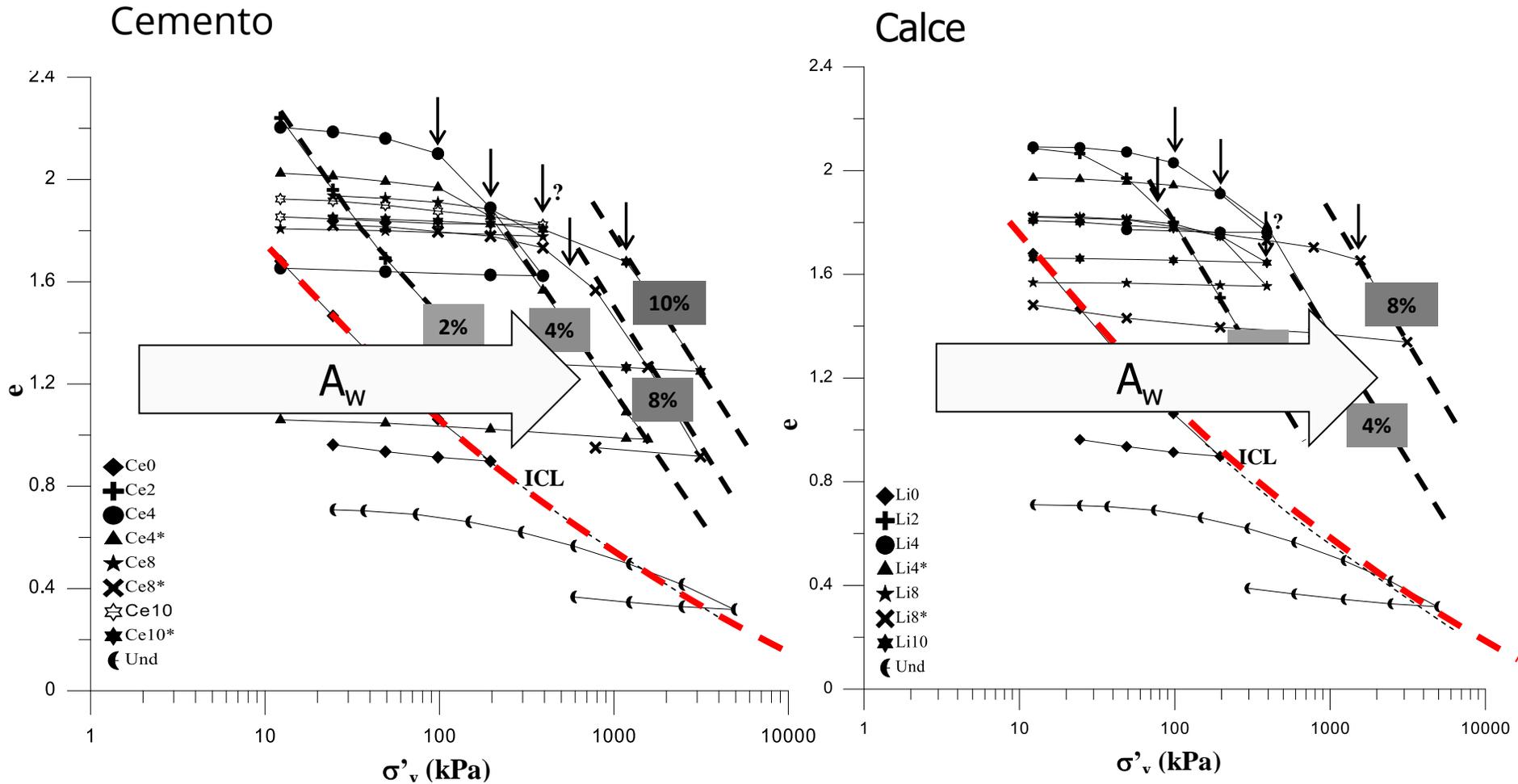
## **Quantità e stagionatura:**

- 2%; 4%; 8%

- 2, 7, 28 giorni e 3 anni

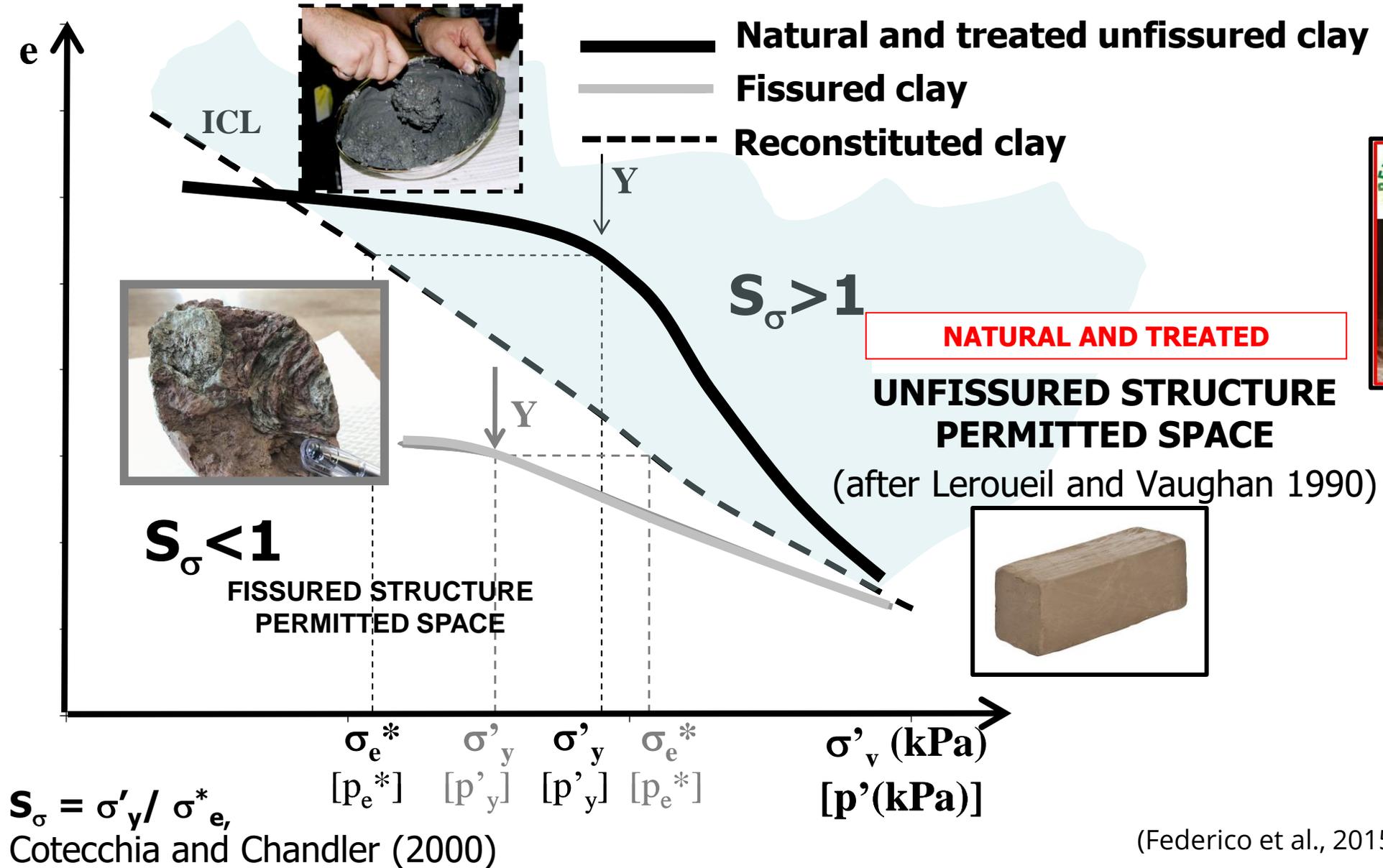
(Federico et al., 2015 Canadian G. J.)

## Effetto del trattamento sul comportamento in compressione monodimensionale



(Federico et al., 2015 Canadian G. J.)

# I sedimenti dopo il consolidamento: geomateriali a $S_\sigma > 1$



(Federico et al., 2015 Canadian G. J.)

# sedimenti contaminati: miglioramento chemo-meccanico

<i>IN SITO</i> (acqua di mare)	<b>MIX 1</b>	Sed. + 5% Organoclay ( <b>OC</b> )
	<b>MIX 2</b>	Sed + 5% Carbone attivo ( <b>AC</b> )
	<b>MIX 3</b>	Sed + 5% Biochar ( <b>BC</b> )



<i>EX SITO</i>	<b>CEM 1</b>	Sed. + 10 % CEM
	<b>CEM 3</b>	Sed. + 10 % CEM + 5% <b>AC</b>
	<b>CEM 4</b>	Sed. + 10 % CEM + 2.5% <b>AC</b> + 2.5% <b>OC</b>
	<b>CEM 5</b>	Sed. + 10 % CEM + 5% <b>BC</b>
	<b>CALCE 1</b>	Sed. + 10 % CALCE
	<b>CALCE 3</b>	Sed. + 10 % CALCE + 5% <b>AC</b>
	<b>CALCE 4</b>	Sed. + 10 % CALCE + 2.5% <b>AC</b> + 2.5% <b>OC</b>
	<b>CALCE 5</b>	Sed. + 10 % CALCE + 5% <b>BC</b>

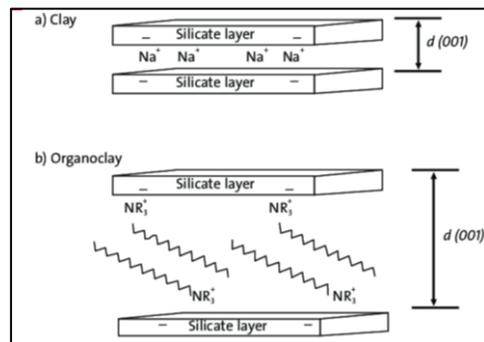


PhD Todaro, 2019

# additivi impiegati



## ORGANOCLAY



Argilla bentonitica modificata con ammine quaternarie, efficace nell'adsorbire derivati dal petrolio, agenti tensioattivi e solventi (Bullock 2009) e nell'immobilizzare i metalli (Park et al. 2011).

Organoclay PM 199  
(CETCO, Hoffman Estates, IL)

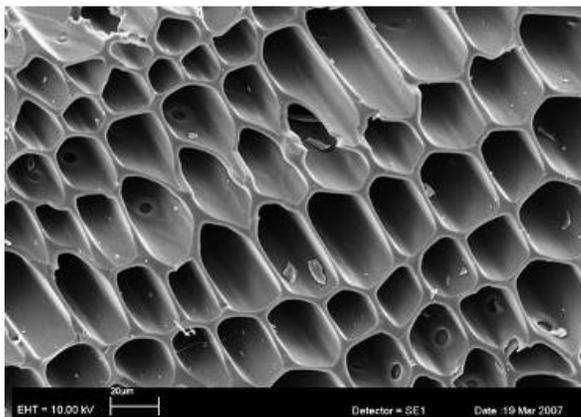
## CARBONE ATTIVO



LIQPRO CS 1100

Composto da carbonio amorfo è un forte adsorbente dei composti organici idrofobici.

## BIOCHAR



Verora GmbH (Switzerland)

- **Sottoprodotto** carbonifero derivante dalla produzione di energia elettrica da residui agricoli.
- **Utilizzato per migliorare la qualità del TERRENO:** l'alta porosità aumenta la ritenzione idrica rendendo i nutrienti più a lungo disponibili per le piante (Chan et al., 2007).
- **Alternativa low-cost agli adsorbenti tradizionali** (Oliveira et al., 2017; Silvani et al., 2017).

# sedimenti contaminati: miglioramento chemo-meccanico

Dati chimici e geotecnici	Unit	MIX_2
pH	u. pH	8.82
Eh	mV	-100.7
Conducibilità	mS/cm	4.78
$w_0$	%	44.63
PI	%	50
OM (LOI)	%	10.86
SF	%	19.44
MF	%	43.18
CF	%	37.38

Contaminanti	Unit	MIX_2
Hg	mg/kg ss	1.99
Pb	mg/kg ss	91.5
Cu	mg/kg ss	59.0
Zn	mg/kg ss	172.7
PAHs	$\mu\text{g/kg ss}$	5732
PCBs	$\mu\text{g/kg ss}$	1523



superamenti soglie sito-specifiche (ICRAM, 2004)

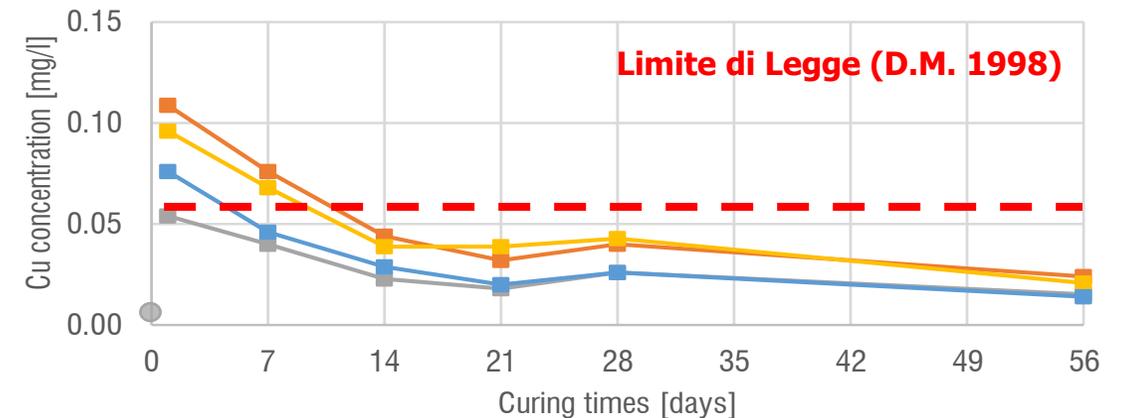
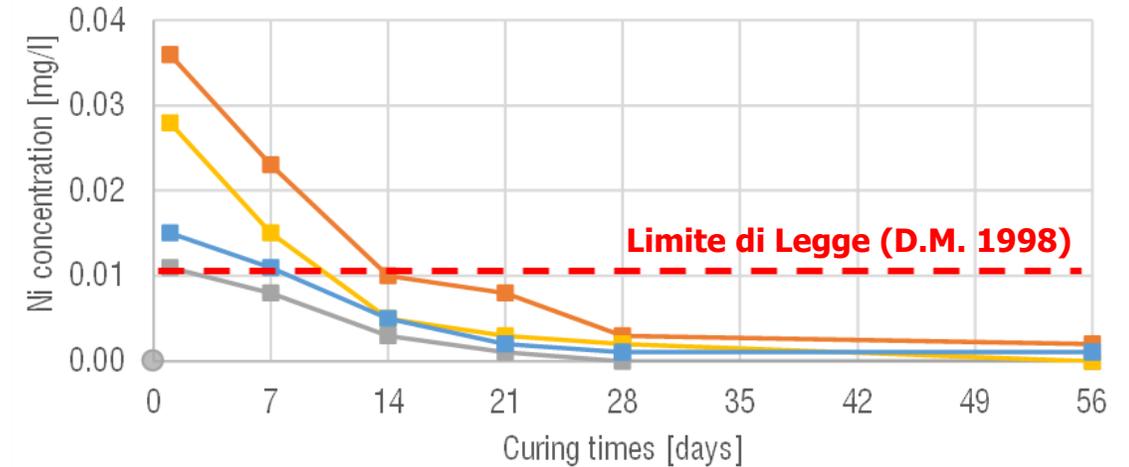
# sedimenti contaminati: miglioramento chemo-meccanico

## test chimici

- Sedimento marino **contaminato** da IPA, PCB e metalli pesanti (Hg, Pb, Cu, Ni, Zi).
- Test di cessione sul materiale per verificare il rispetto dei limiti di legge per il riutilizzo del sedimento (UNI 125457).

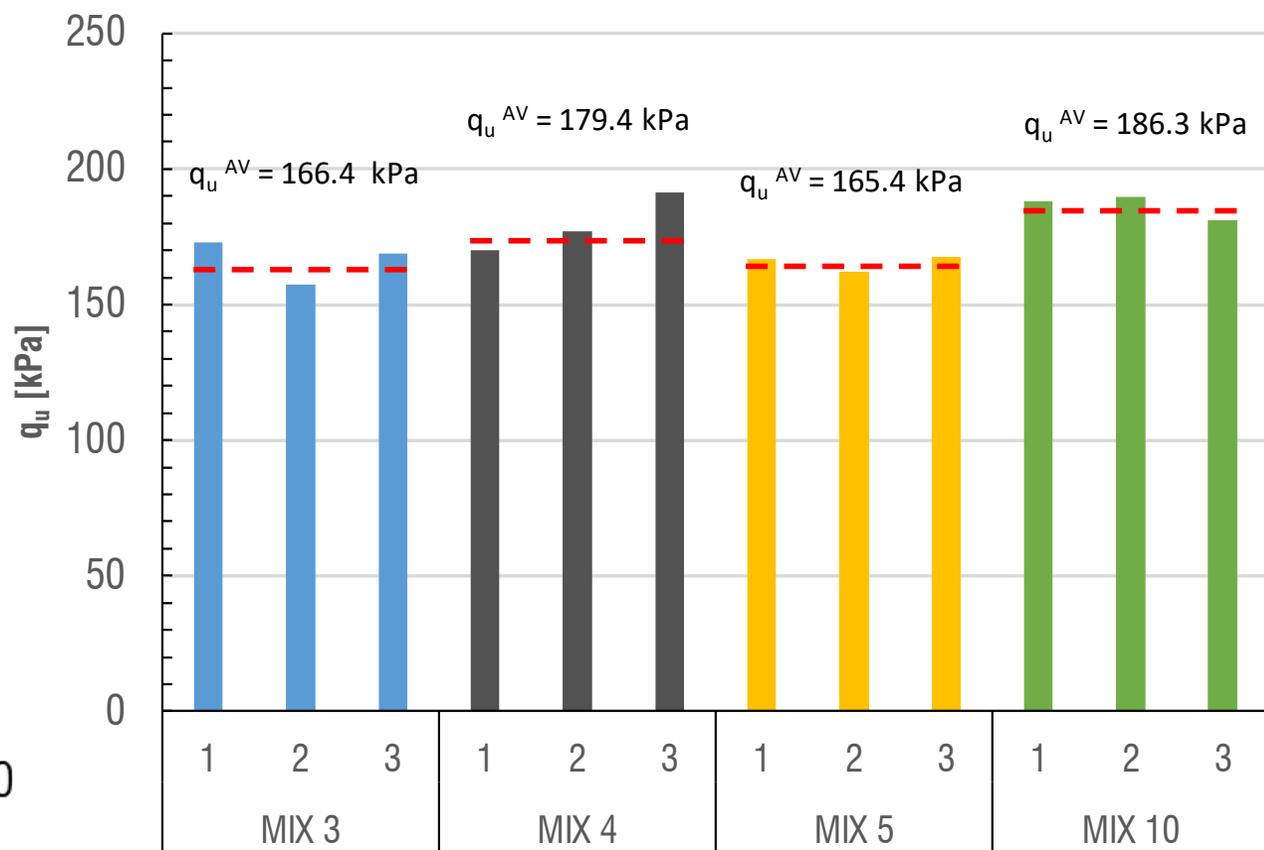
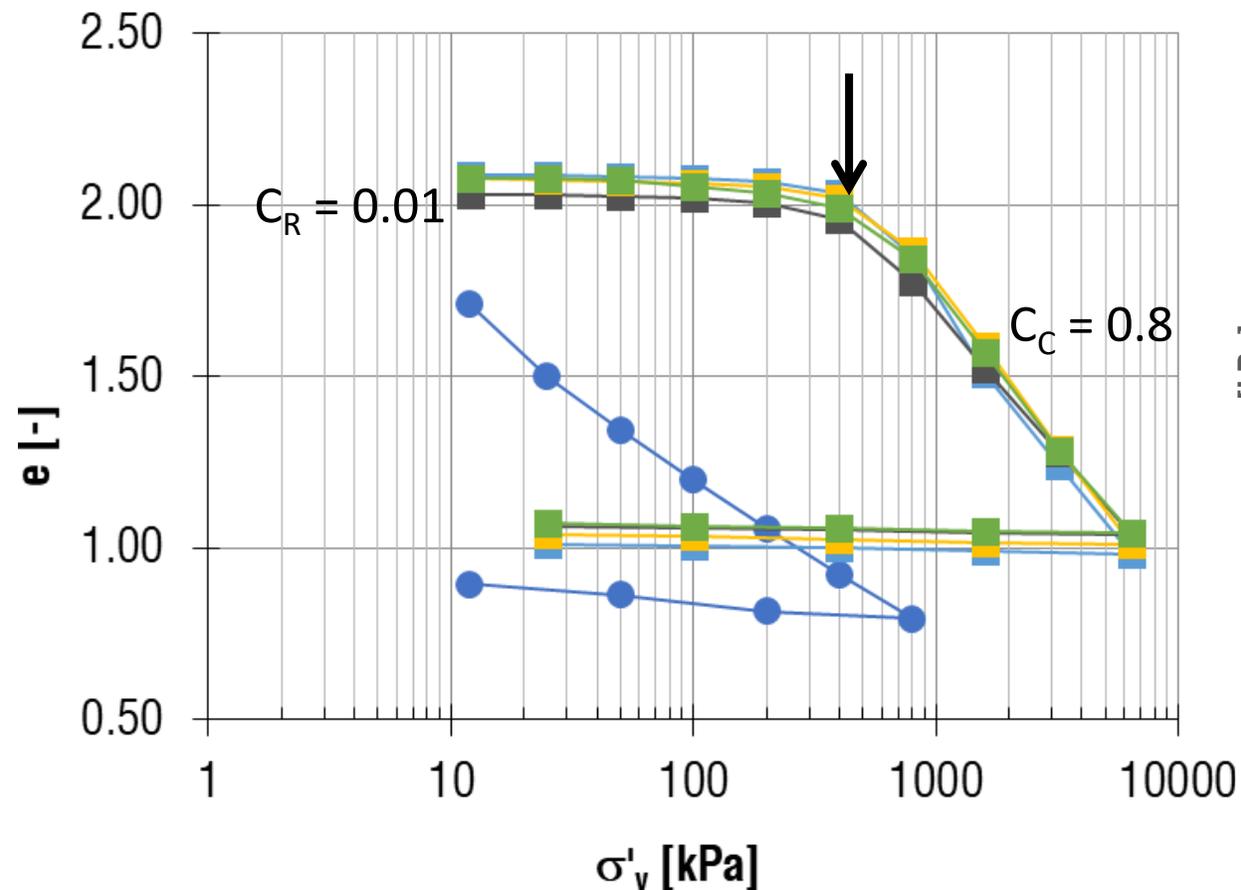


- Sed. + 10% CEM
- Sed. + 10% CEM + 5% OC
- Sed. + 10% CEM + 5% AC
- Sed. + 10% CEM + 2.5% AC + 2.5% OC



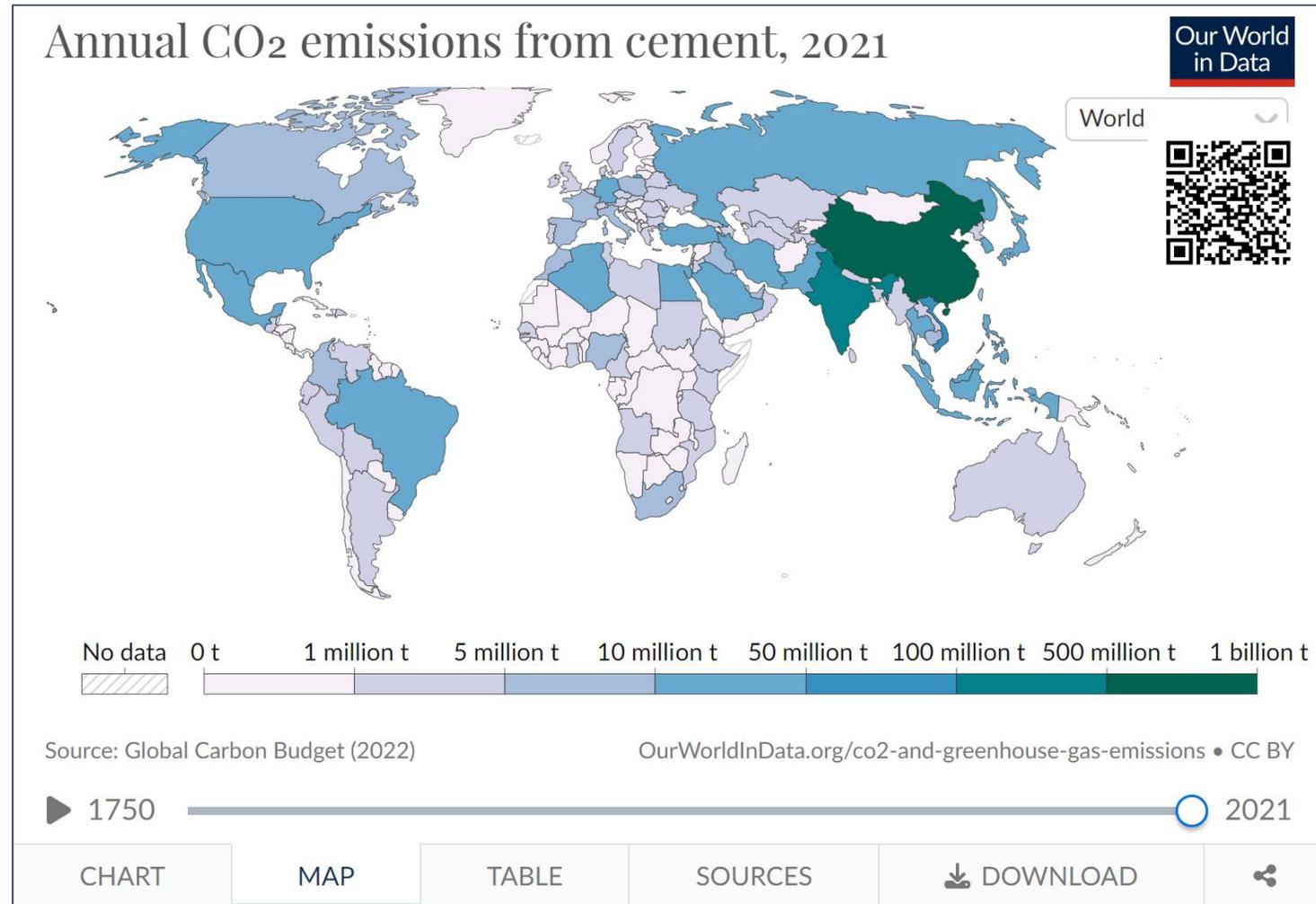
(Todaro & Notarnicola, 2019)

cemento Portland e assorbenti: 28 giorni di stagionatura

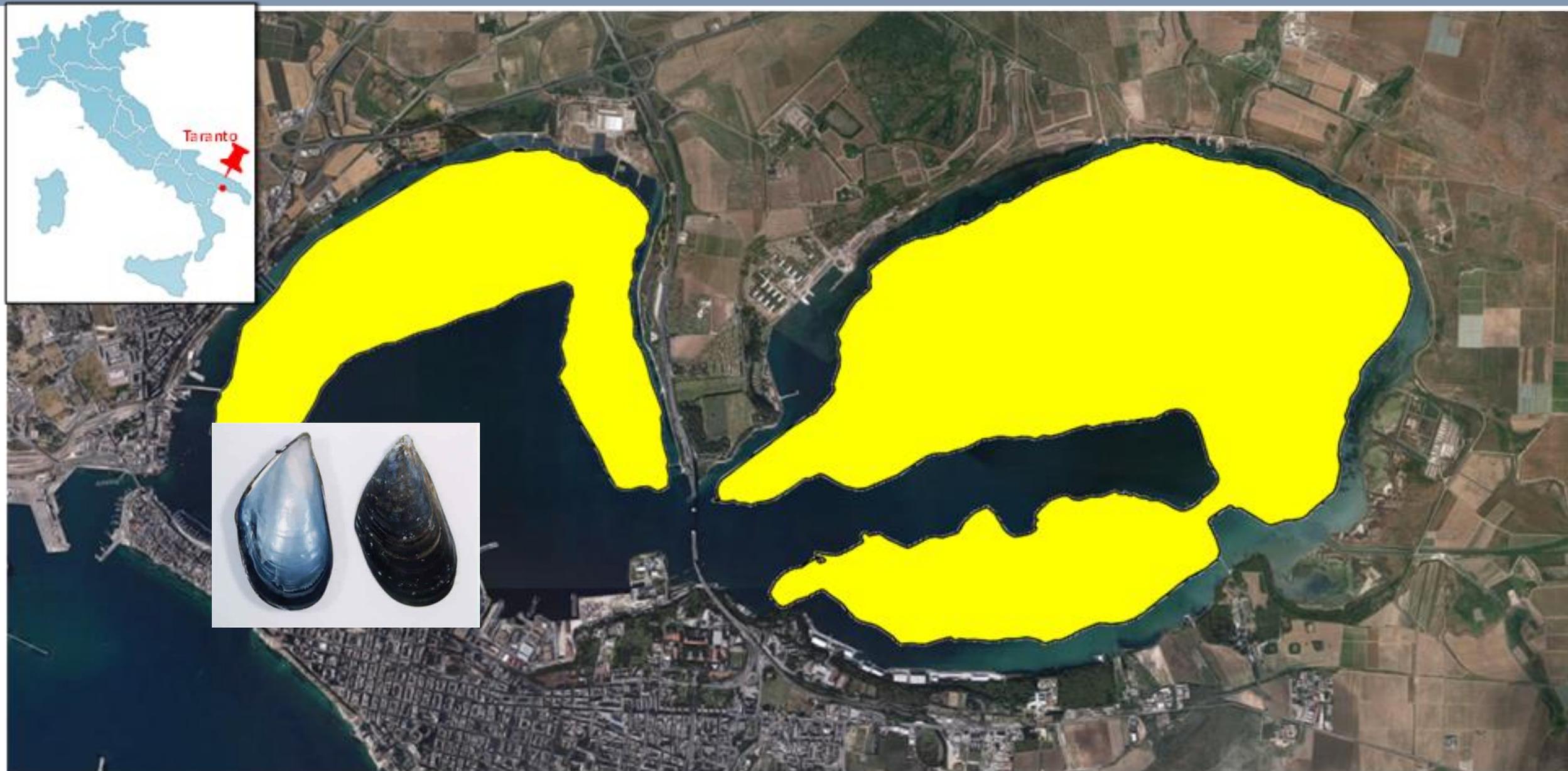


- Sedimento non trattato
- Sed. + 10 % CEM+ 5% AC
- Sed. + 10 % CEM
- Sed. + 10 % CEM + 2.5% OC + 2.5% AC
- Sed. + 10 % CEM + 5% BC

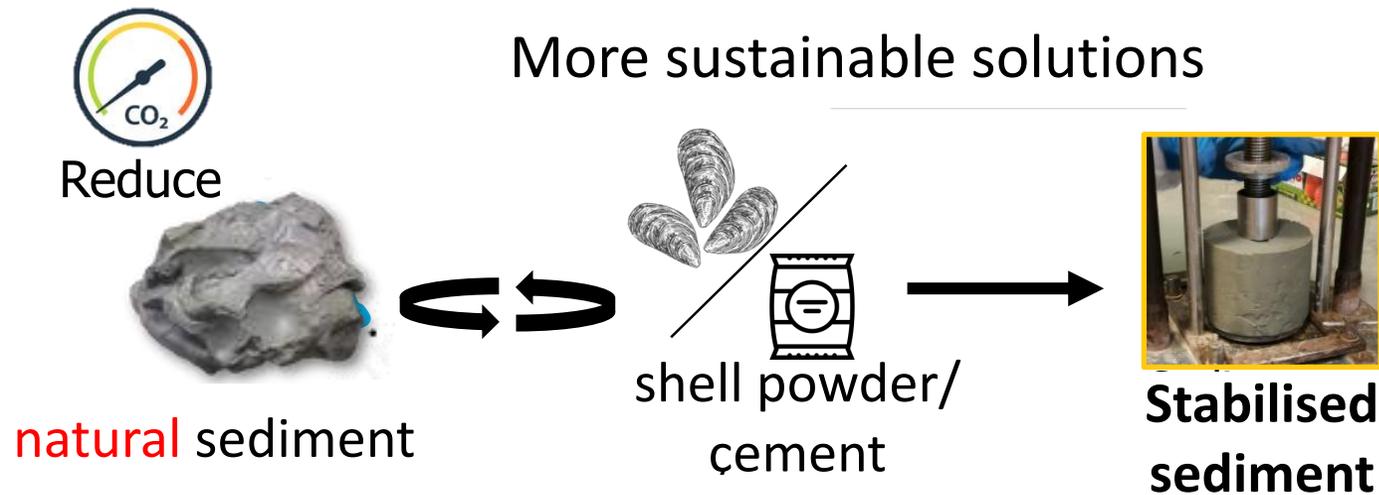
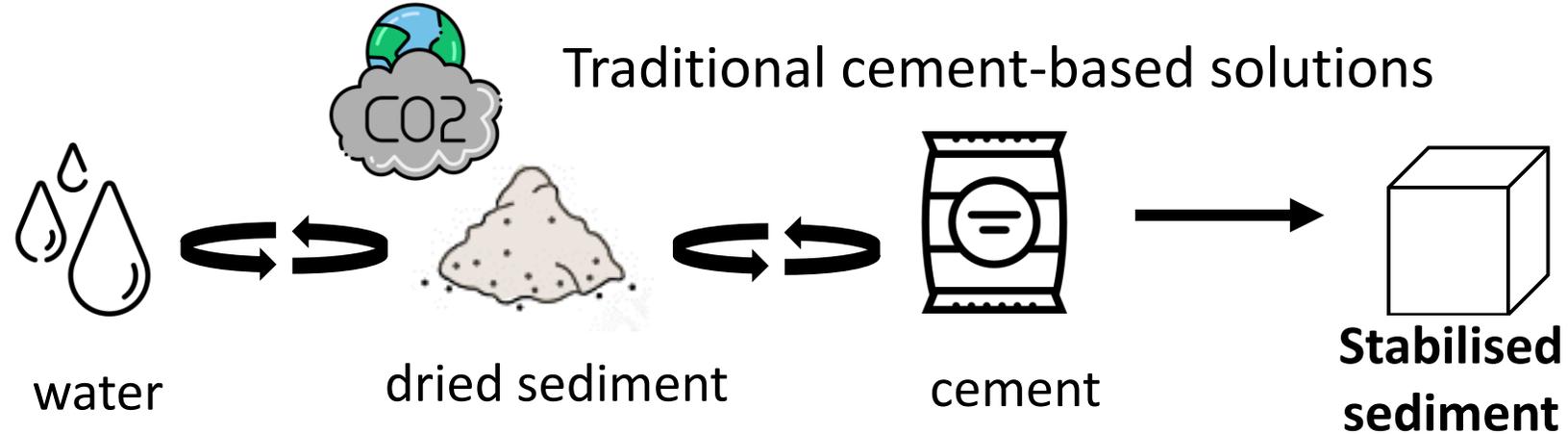
(Vitone et al., 2018, 2020)



Eggshell (Consoli et al., 2020), ground glass (Consoli et al., 2021), eggshell lime/ rice husk ash (Ferreira et al., 2023), Sugarcane (Tonini de Araújo et al., 2023), Steel slags (Mica et al., 2023; Pinhero et al., 2019)...



# sedimenti e gusci di mitili: da rifiuto a risorsa



(PhD Rossella Petti)

(Patent number: N. 1021000025103)

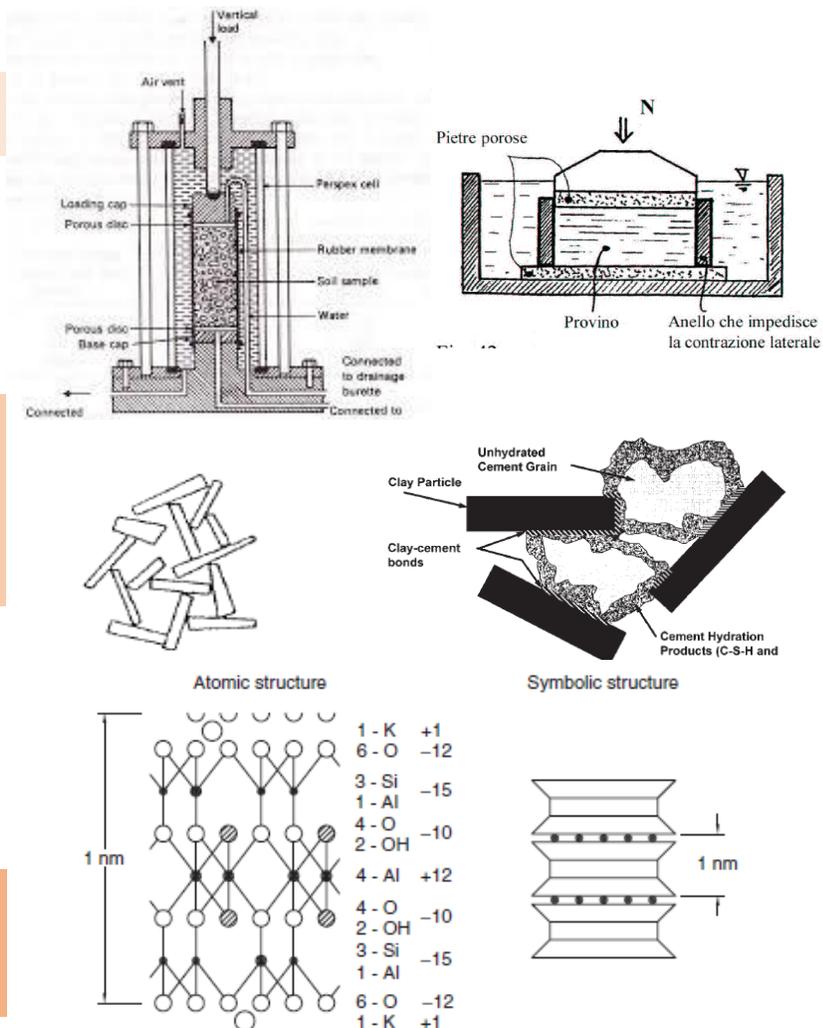
Meso-scale (lab) behaviour



Micro-scale: particle arrangement and aggregation



Micro to nano-scale: particle level

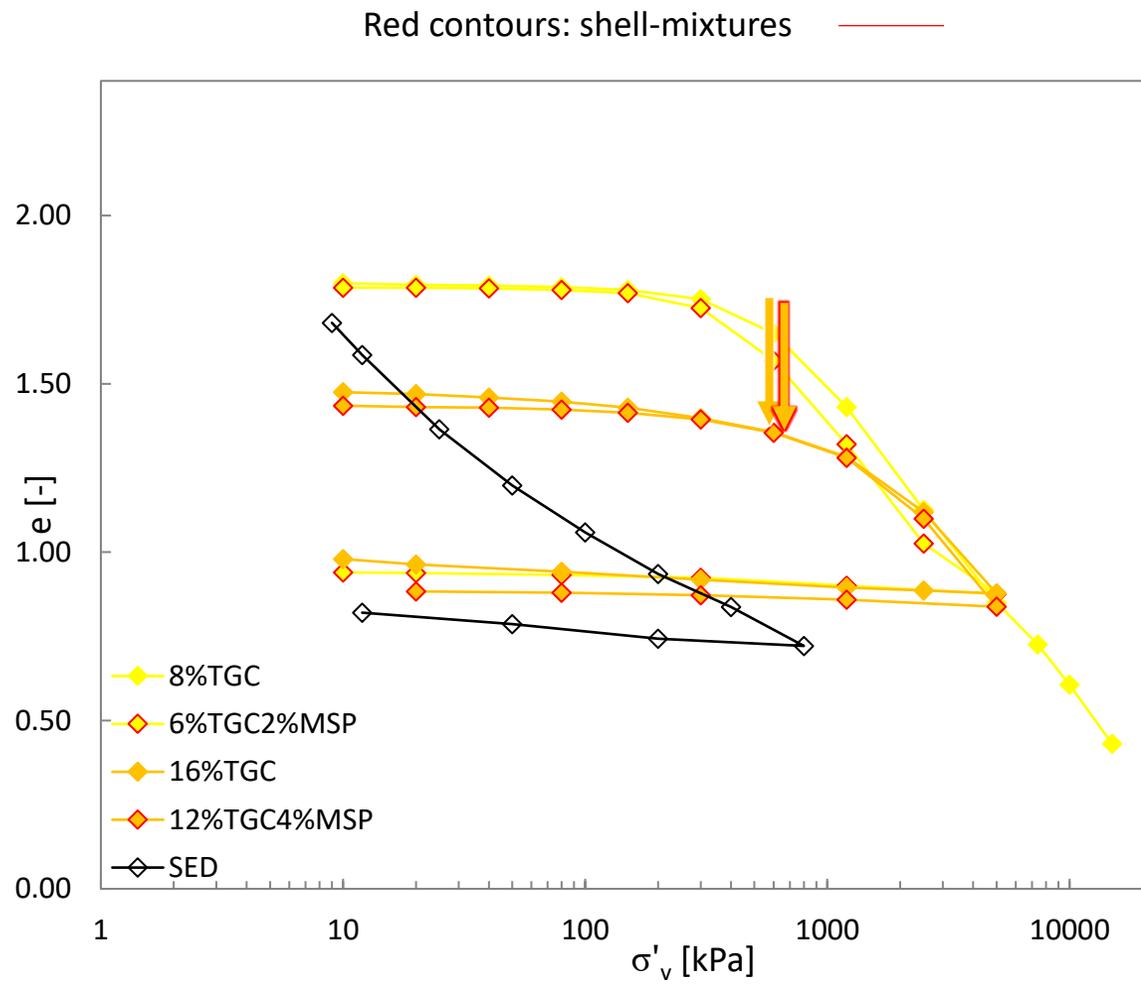


- Physical properties
- 1-D compression test
- Texturometer
- UCT
- Triaxial test

- Scanning Electron Microscopy (SEM)
- Mercury Intrusion Porosimetry (MIP)

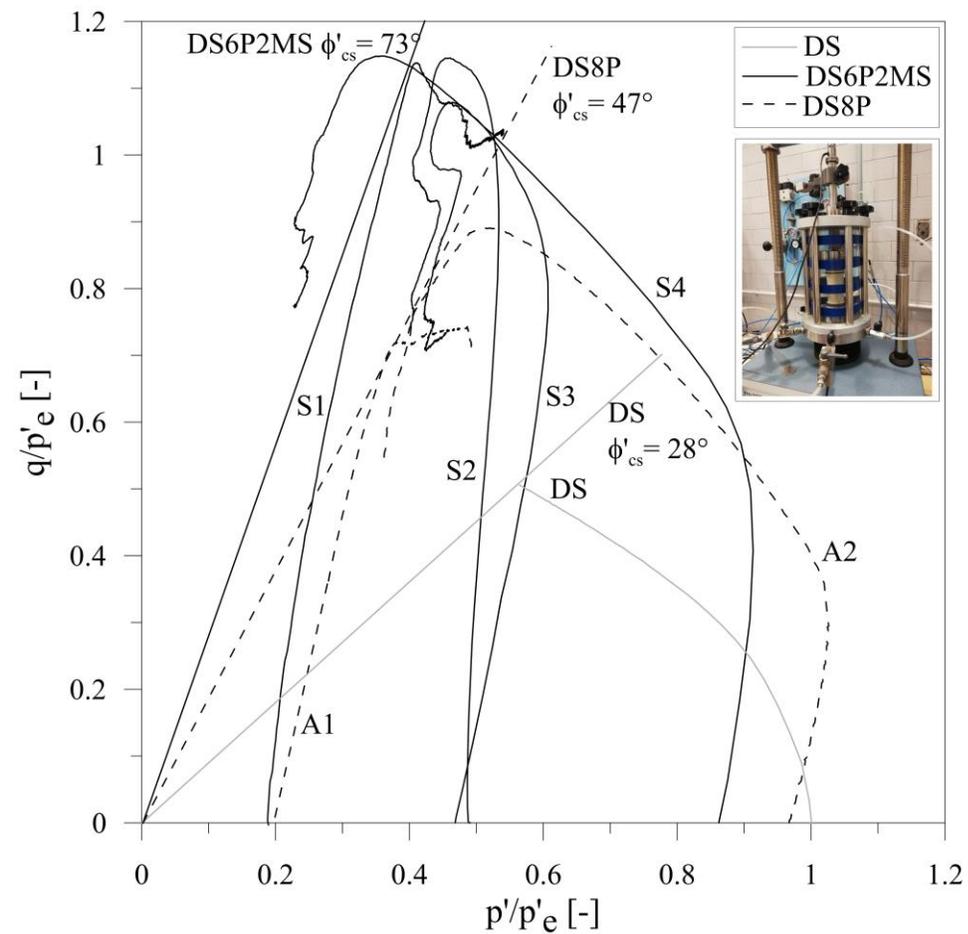
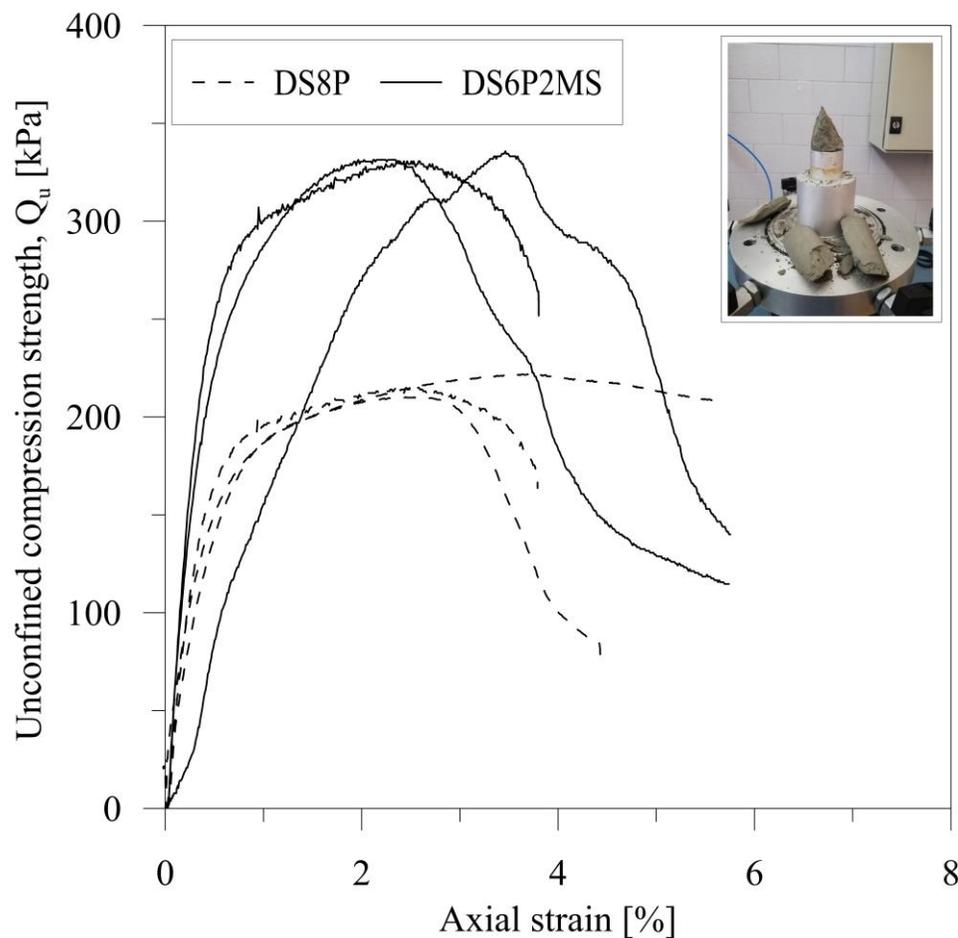
- X-Ray diffraction (XRD)
- FT-IR
- Chemical analyses
- Mineralogical analyses

# alcuni risultati (28d)



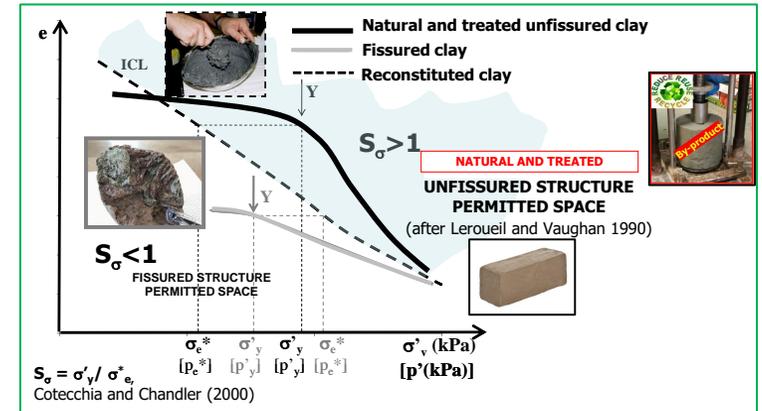
(Petti et al., 2024 Géotechnique)

# alcuni risultati (28d)



(Petti et al., 2024, Géotechnique)

- ✓ Comportamento delle miscele gusci-sedimenti-cementi confrontabile con quello sedimenti-cementi.

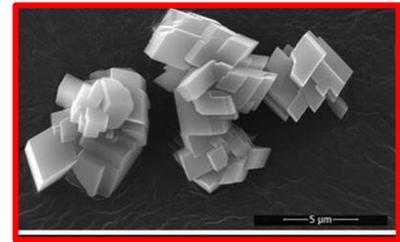


- ✓ Geomateriali

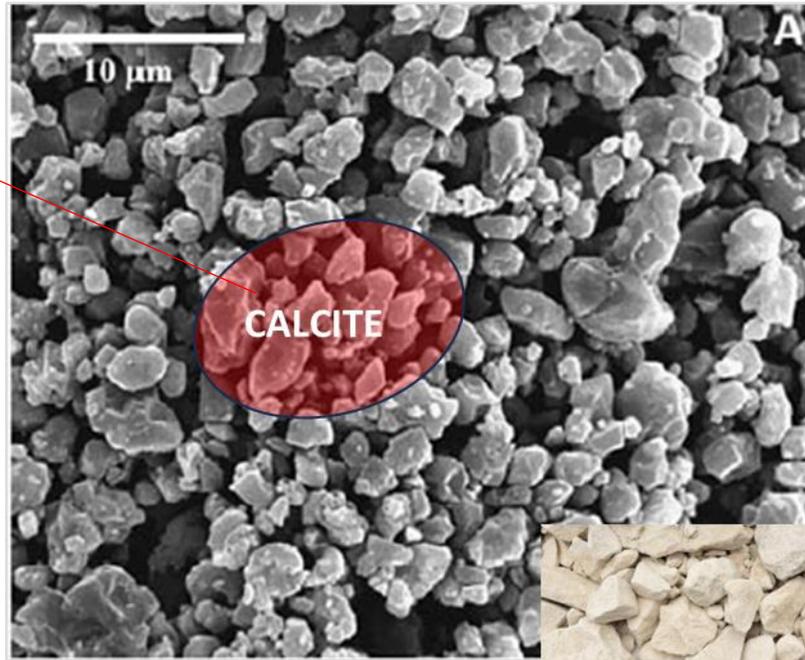


## Perché?

# geogenico (calcare) vs biogenico (gusci di mitili)

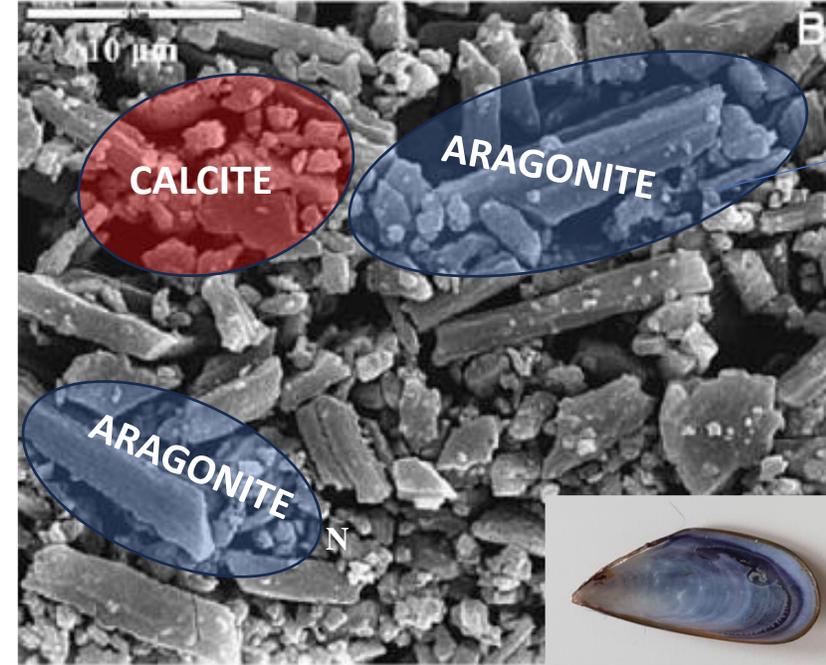


GEOGENIC CALCIUM CARBONATE

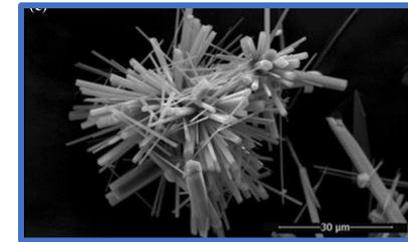


$S_g$ BET calcare di cava= 1.5 m<sup>2</sup>/g,  
1.78% Aragonite

BIOGENIC CALCIUM CARBONATE

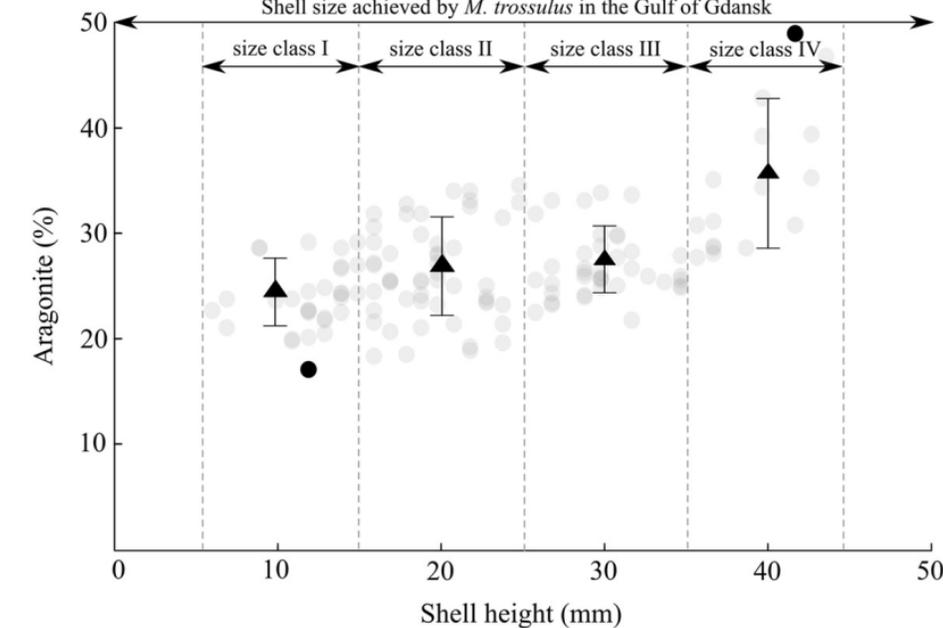
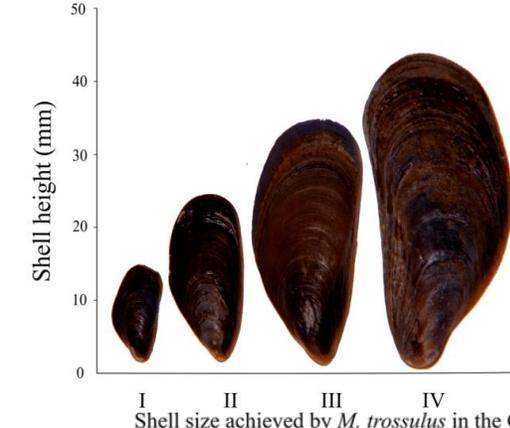
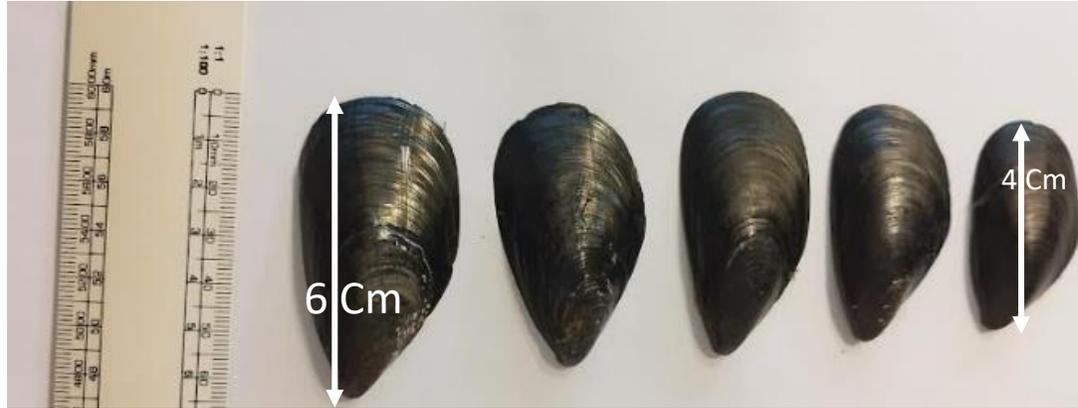


$S_g$ BET mitili = 3.433 m<sup>2</sup>/g  
26.7% Aragonite



- Bio-CaCO<sub>3</sub>: diversa morfologia e composizione, meno stabile.

# da cosa sono composti i gusci di mitili?



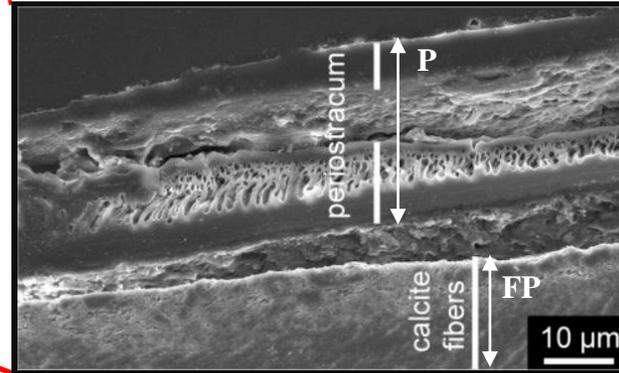
(Piwoni-Piórewicz et al., 2017)



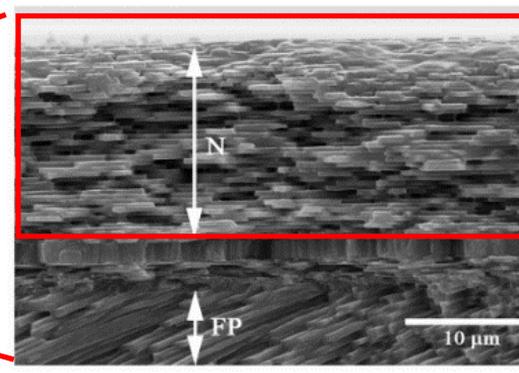
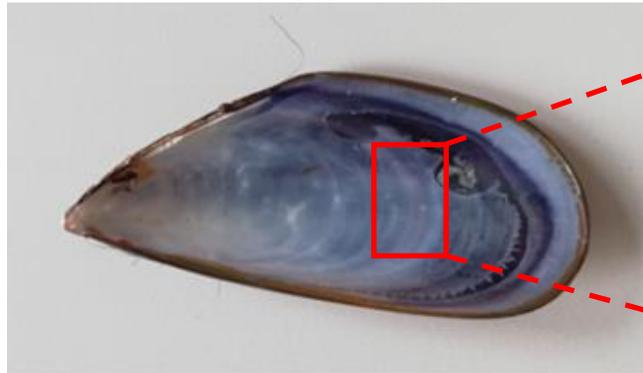
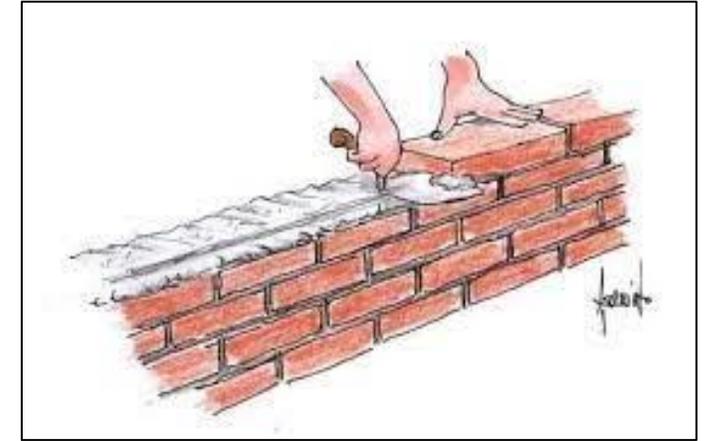
# da cosa sono composti i gusci di mitili?



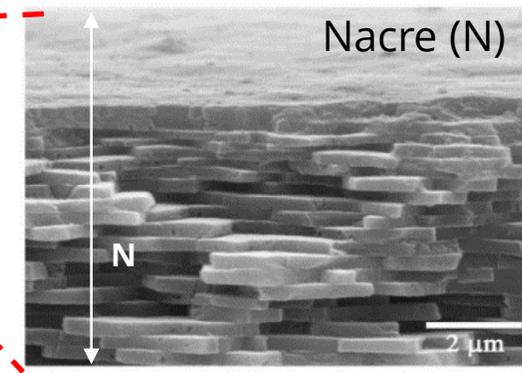
*Mytilus galloprovincialis*



Periostracum (P) and prismatic layer (FP)

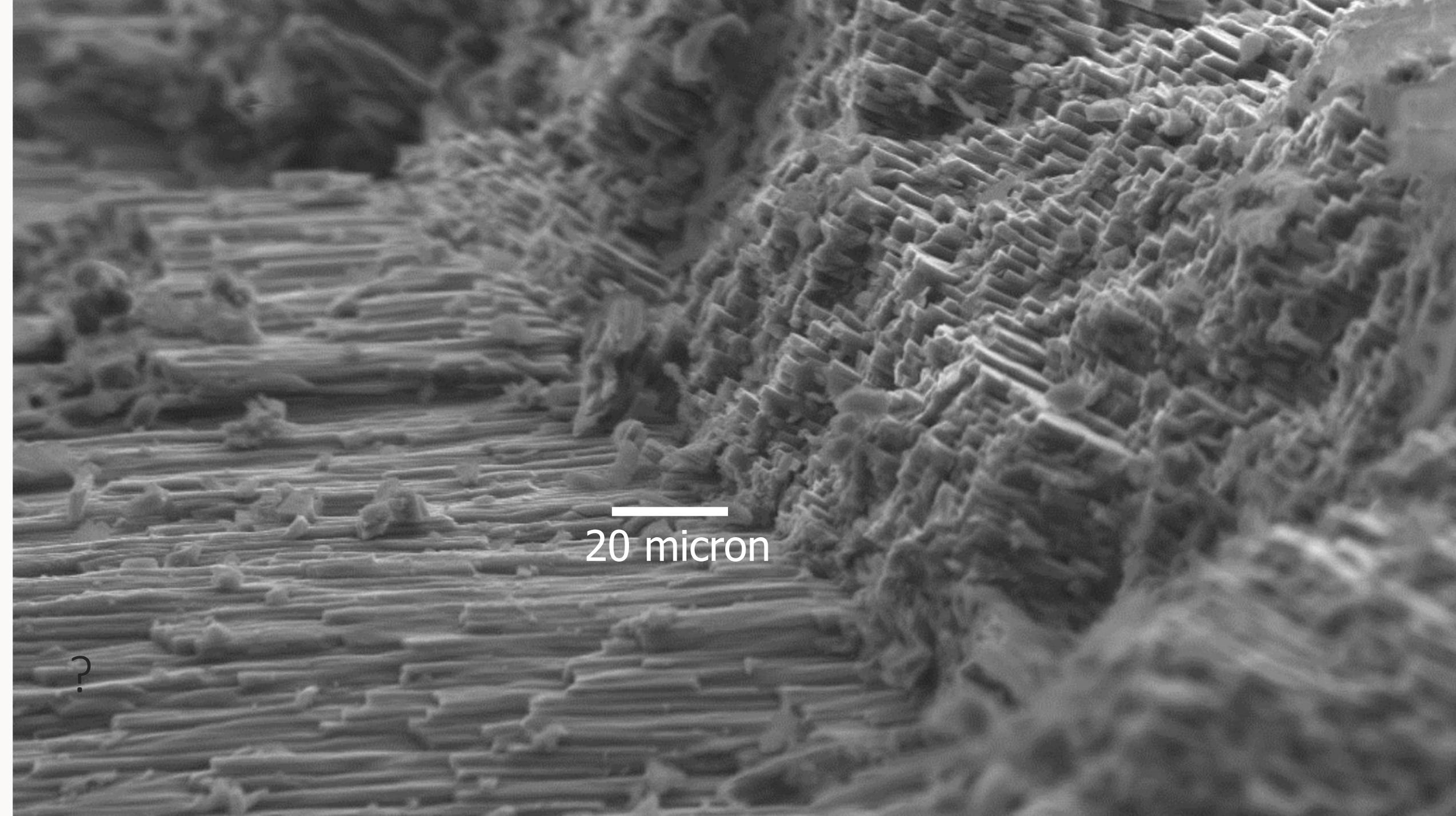


Prismatic structure (FP) and nacre (N)



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

- biostruttura ibrida del tipo 'mattoni e malta' organica e inorganica

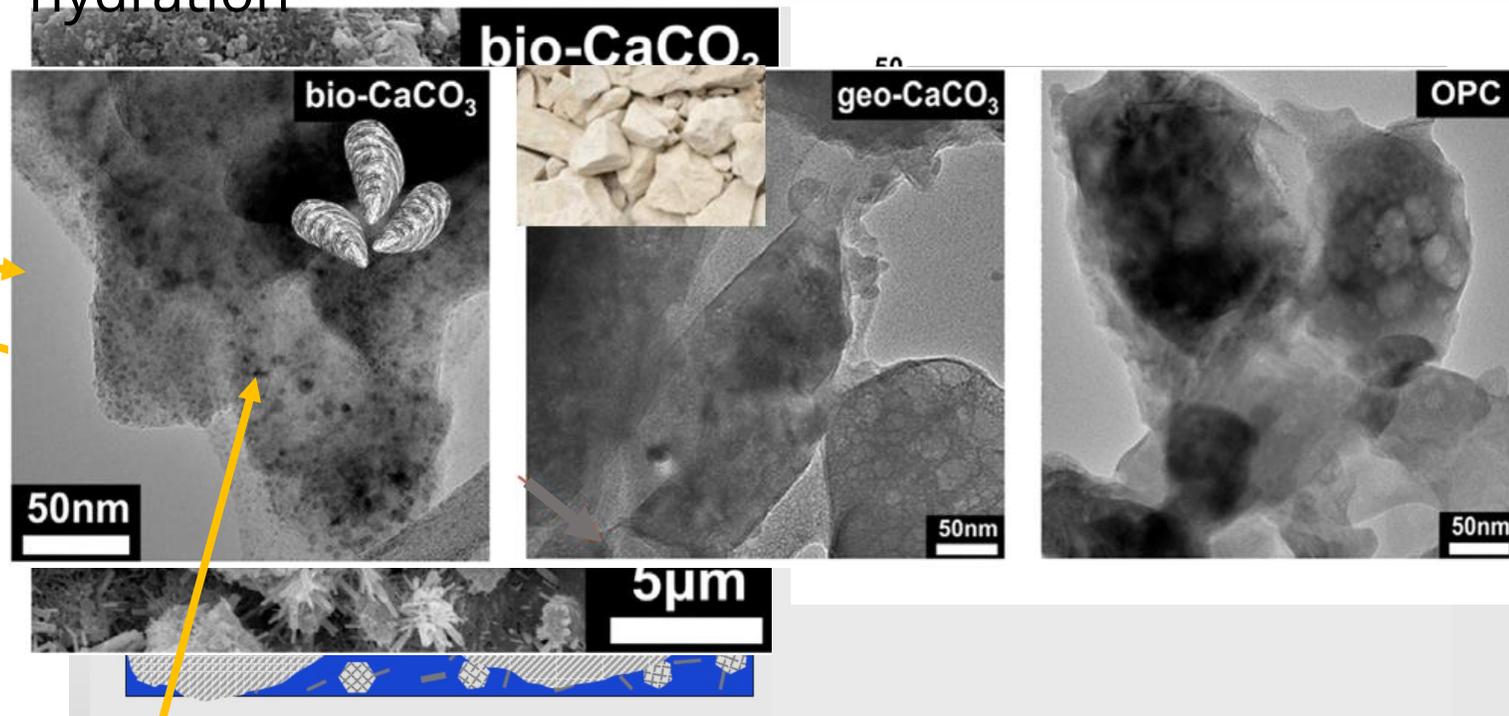
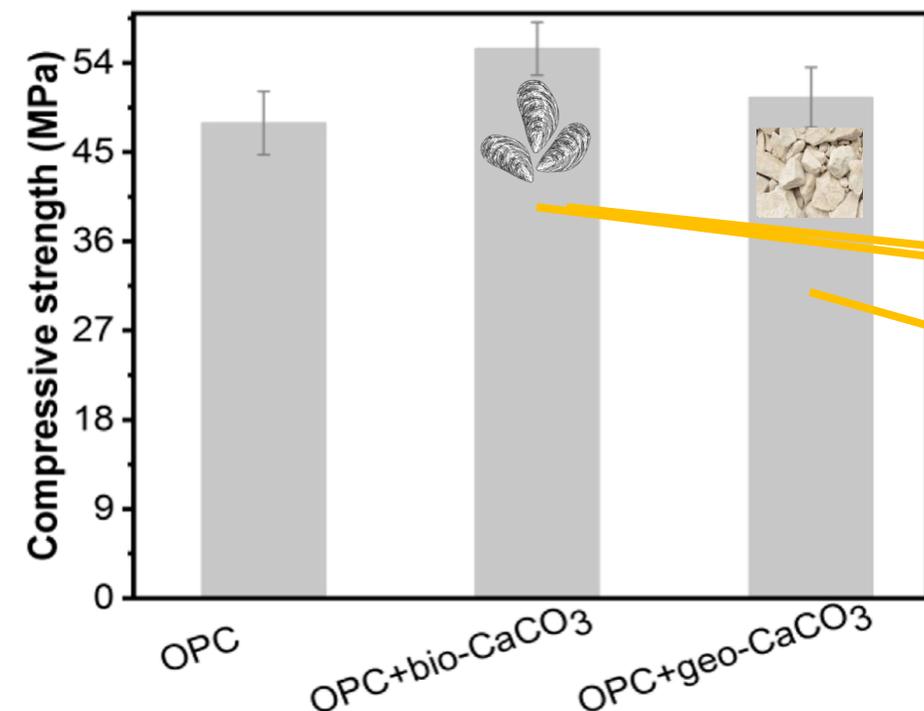


20 micron

?

# Miscela cemento-acqua-CaCO<sub>3</sub>: geogenico vs biogenico (28d)

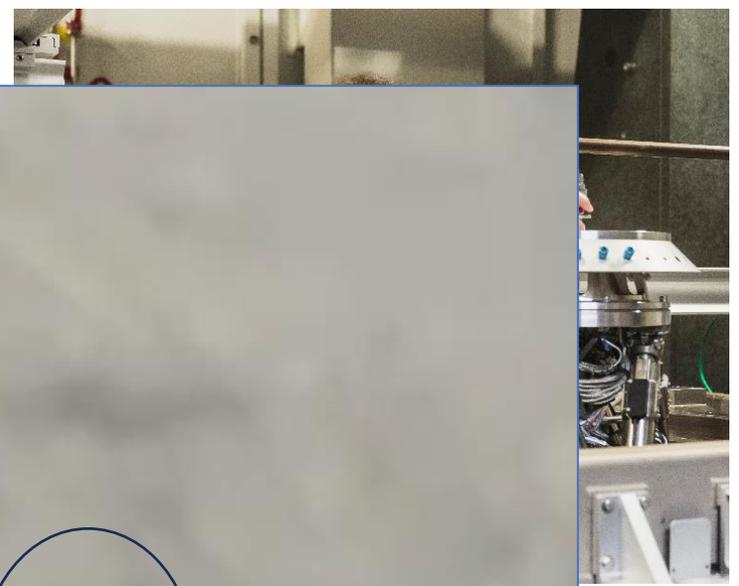
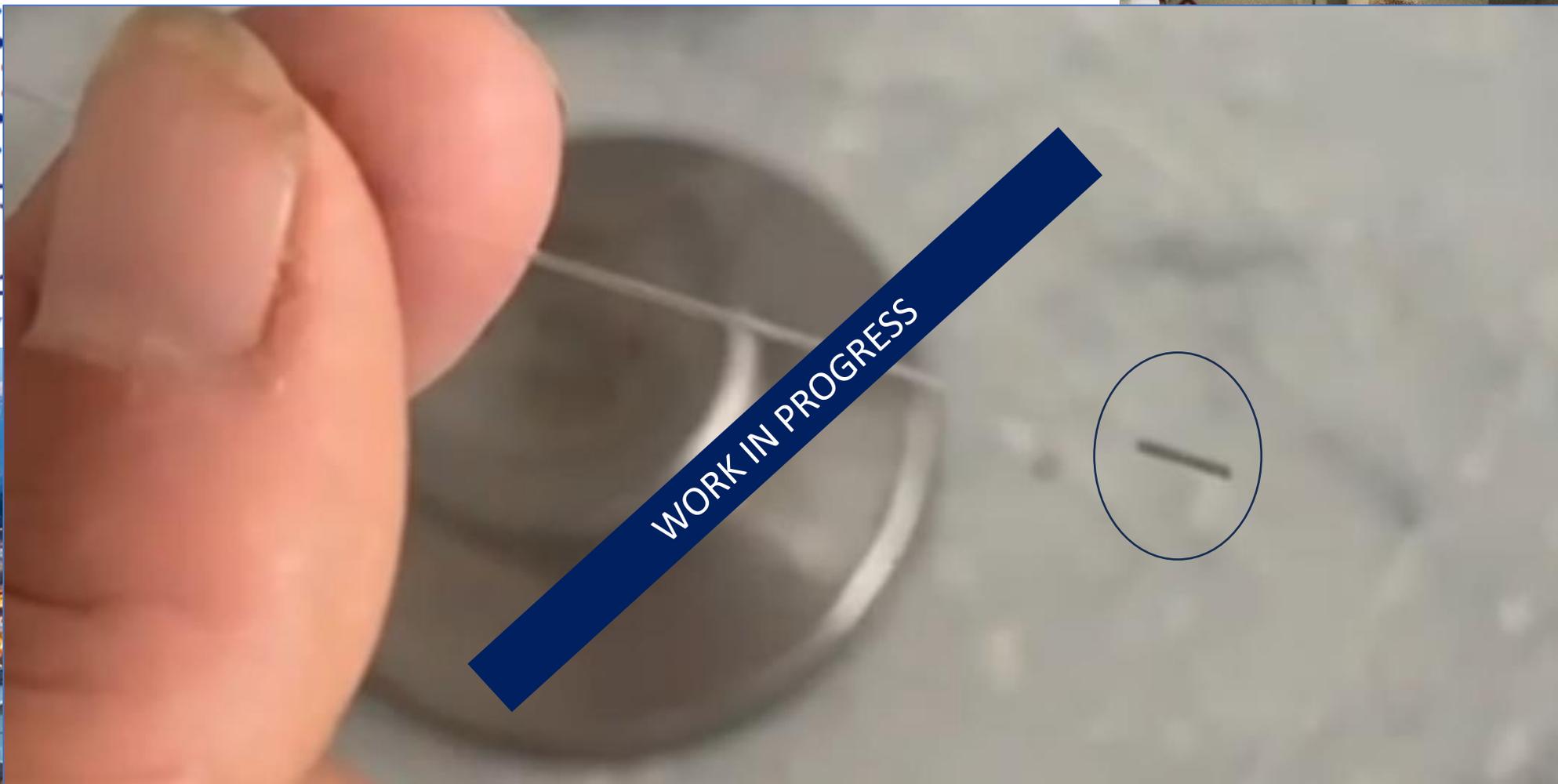
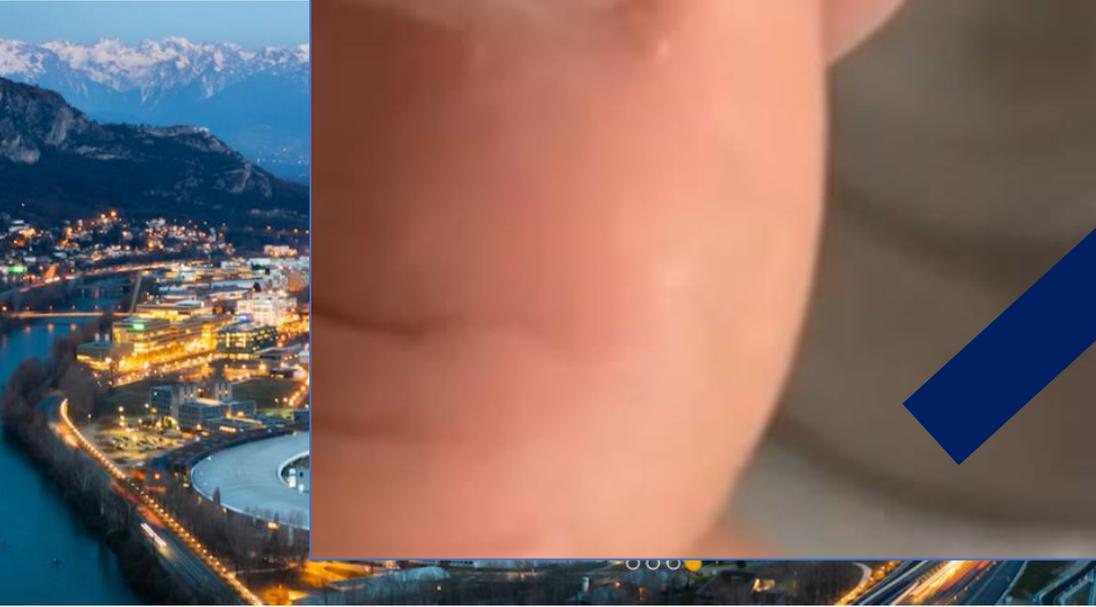
Biogenic CaCO<sub>3</sub> participation to cement hydration  
 Geogenic and biogenic CaCO<sub>3</sub> nucleator sites



- ❑ Bio-CaCO<sub>3</sub>: even more acts as nucleator site for hydration products (higher  $S_s$  and metastability).
- **Partial chemical dissolution** of bio-CaCO<sub>3</sub> due to high alkaline hydrating cement environment.
- Further hydration products (the **nanosized clusters**): from the dissociated calcium and carbonate of MS.

(Wang et al., 2019; Zhou et al., 2017; Cyr et al., 2007; Ouyang et al., 2017)





Grenoble, to beamlines, each equipped with state-of-the-art instrumentation, operating 24 hours a day, seven days a week.

most  
100  
rays,  
by the  
r tunnel  
he to

- La ricerca più recente e alcuni sviluppi

Sedimenti



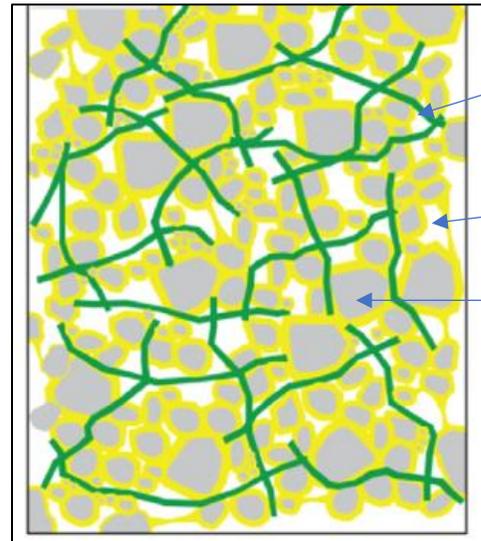
Gusci di mitili



Foglie di Posidonia



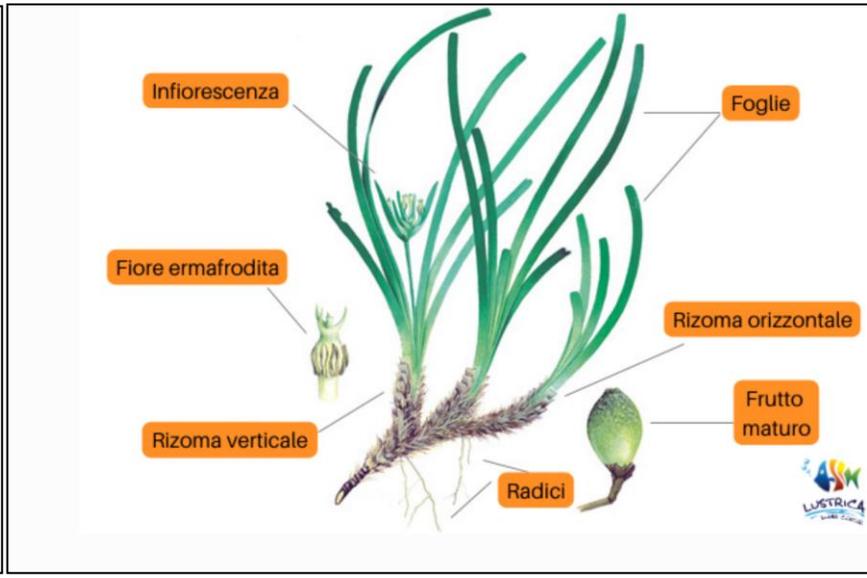
Aghi di Posidonia



Aghi di Posidonia

Polvere di gusci di mitili e cemento

Sedimenti



Nel Mediterraneo si raccolgono sulle coste circa 5 Milioni di tonnellate di Posidonia Oceanica e la maggior parte viene attualmente conferita in discarica. (Restaino et al., 2023; D'Imperio et al., 2021)



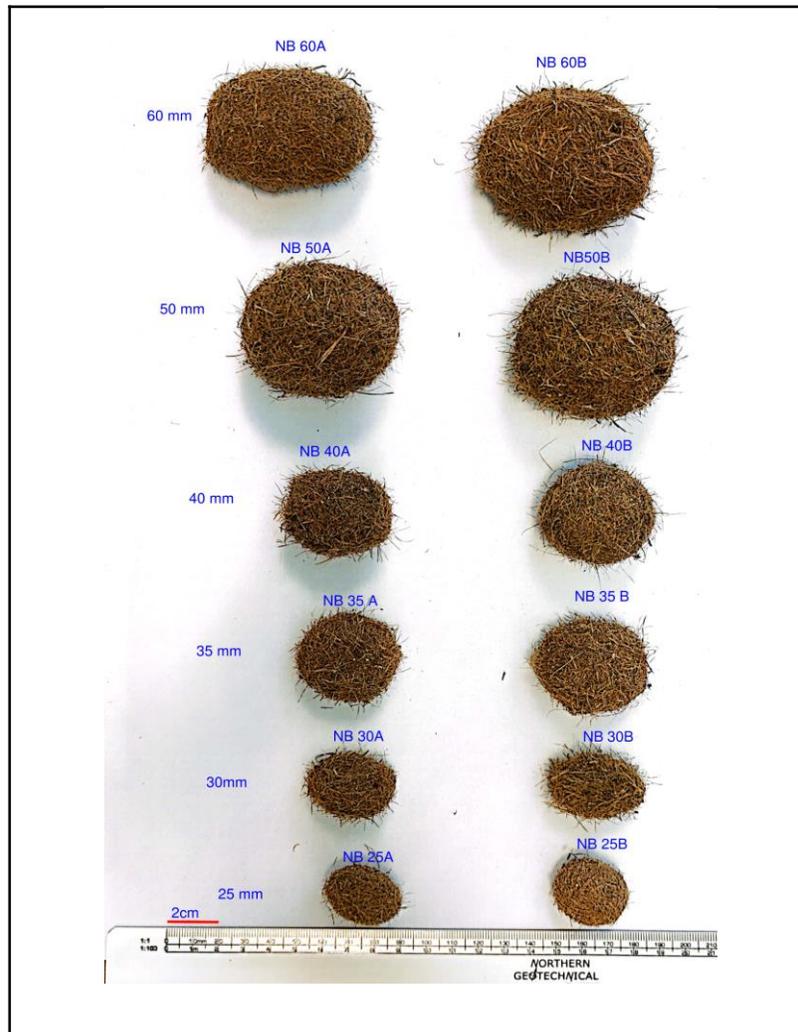
PhD Karimiazar, ongoing



Enrique Romero



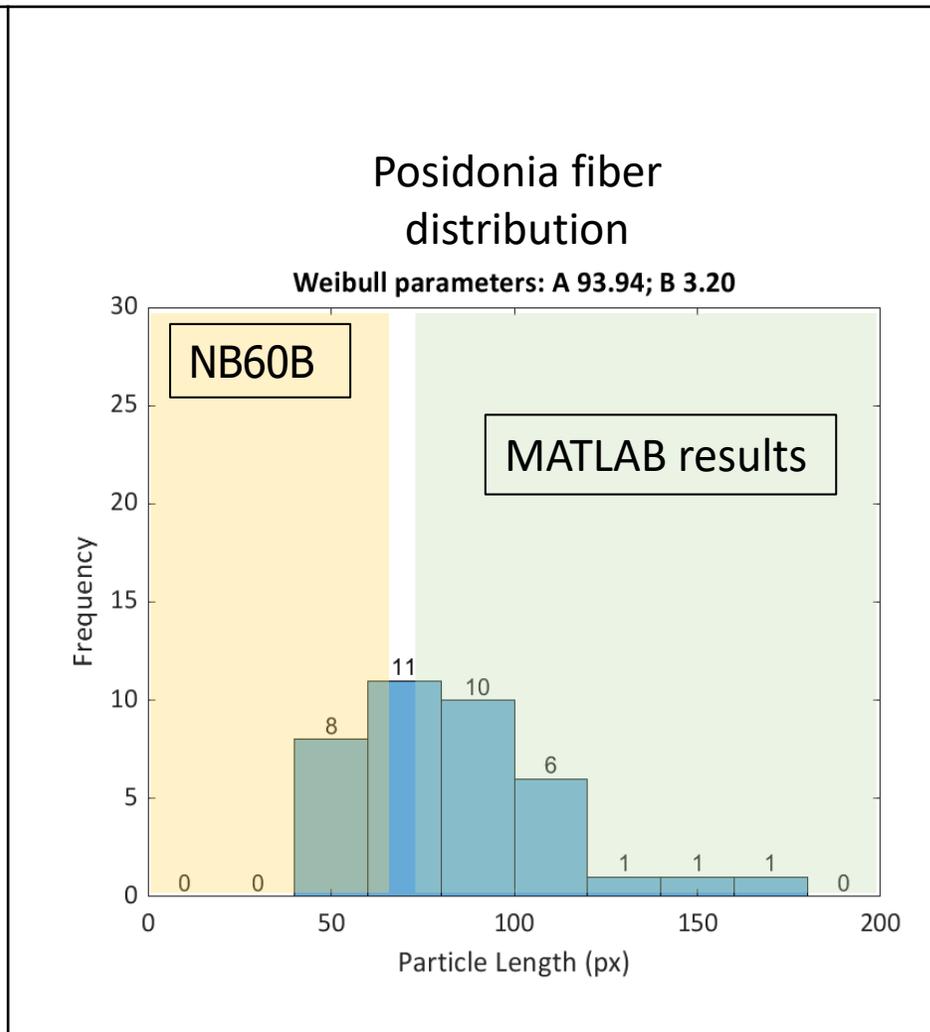
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH



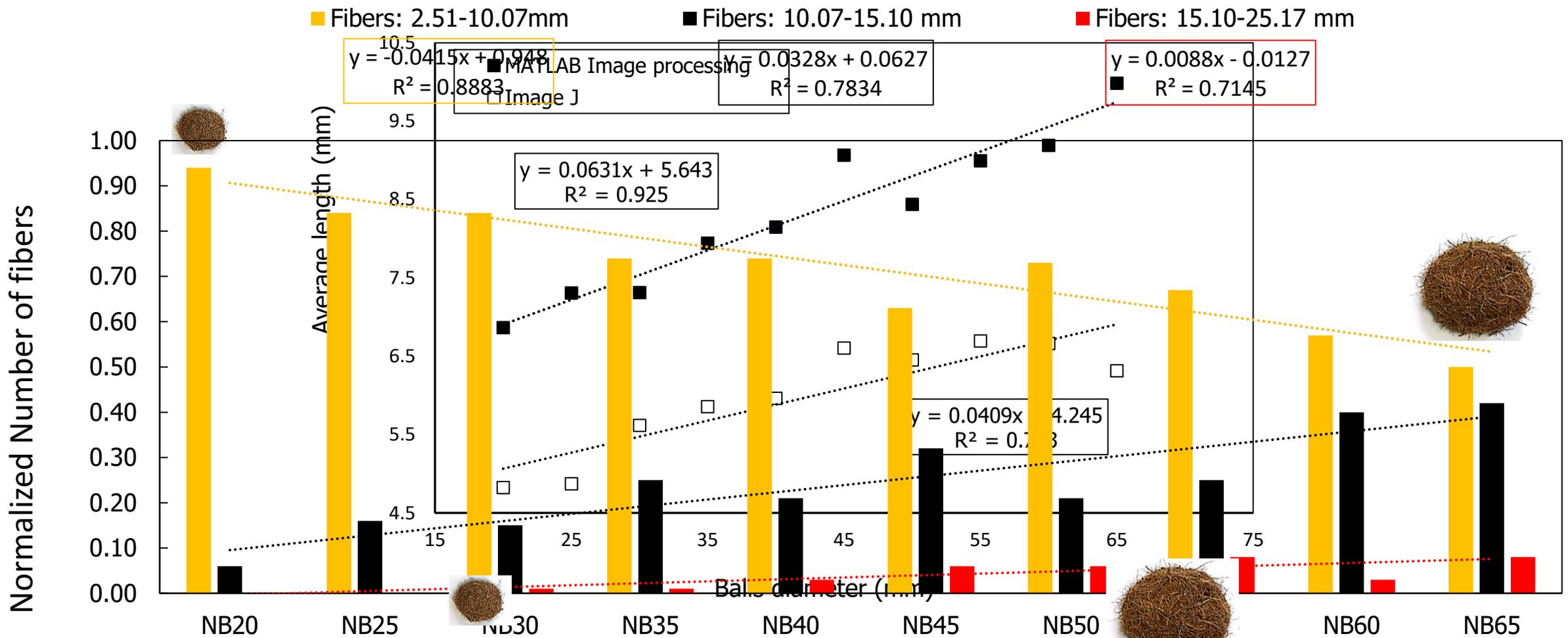
6 different Balls diameters, two balls of each diameter.



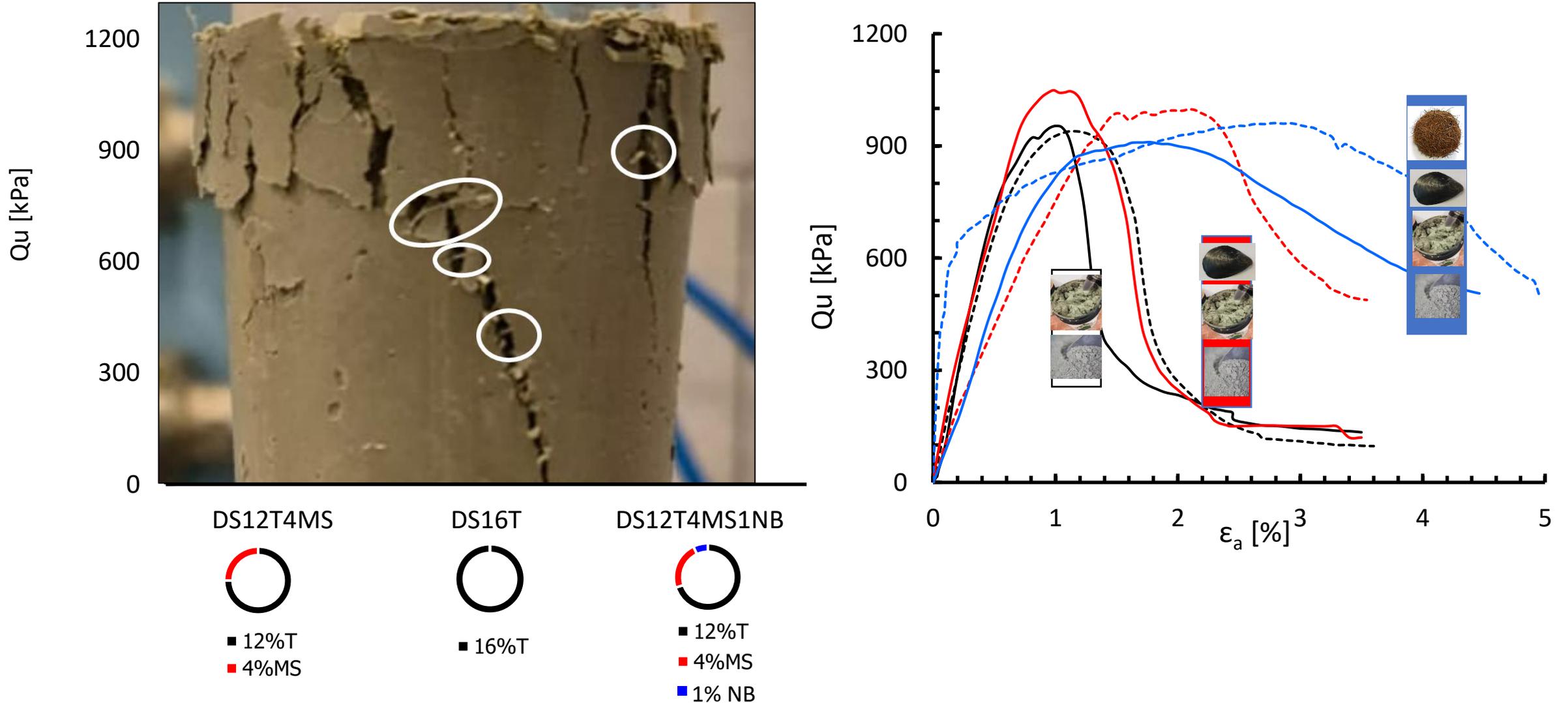
NB 60A-B

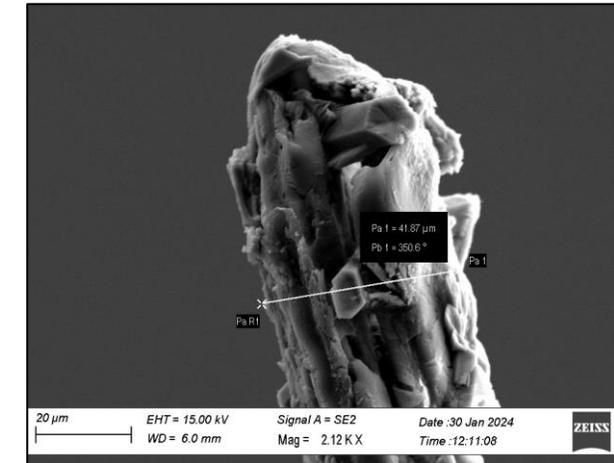
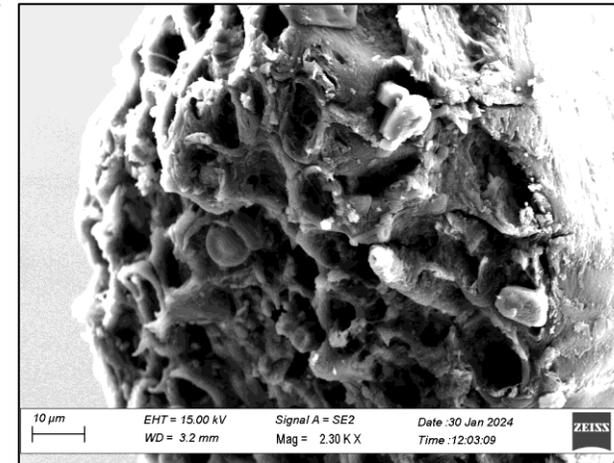
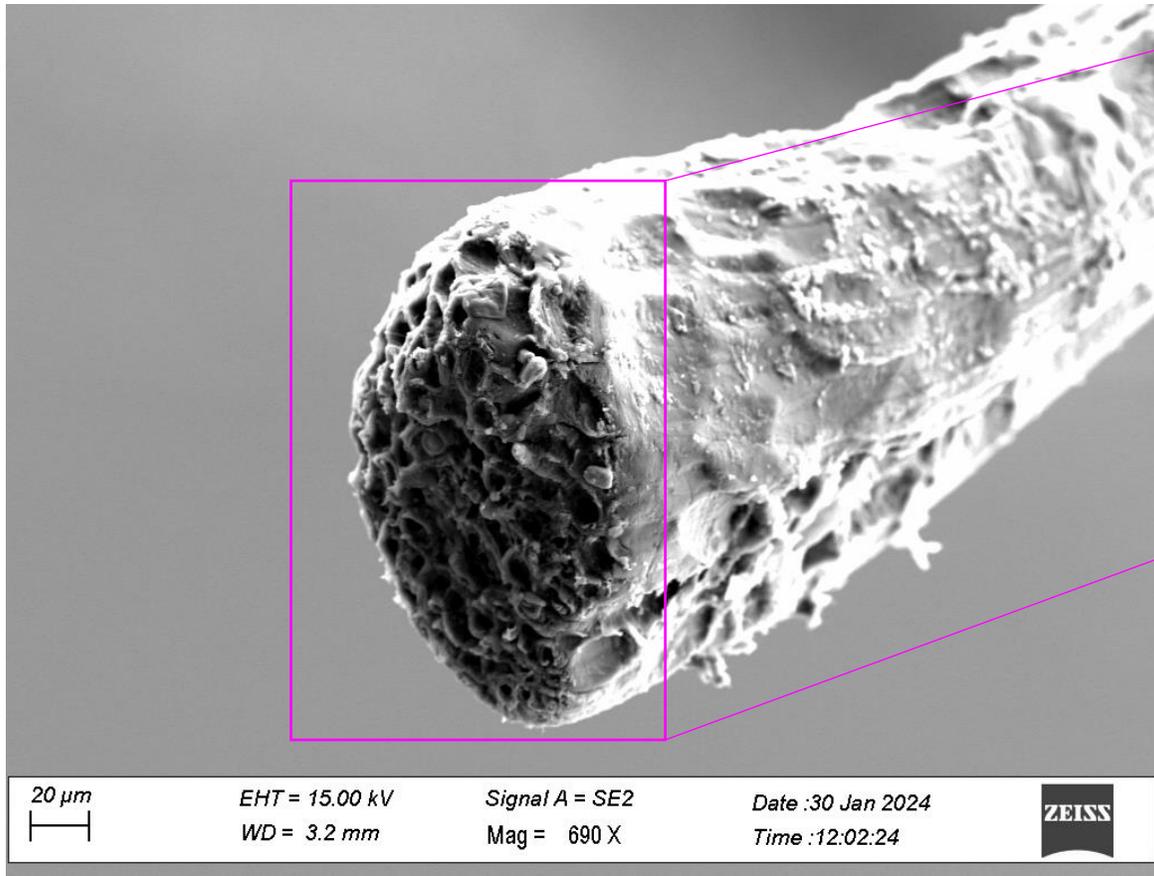


NB 60A-B



# miscela: resistenza a compressione uniassiale





***Karimiazar et al. Toward sustainable sediment reinforcement...***  
**5 settembre 2024 ore 11 - IARG 2024**

- Alcuni sviluppi

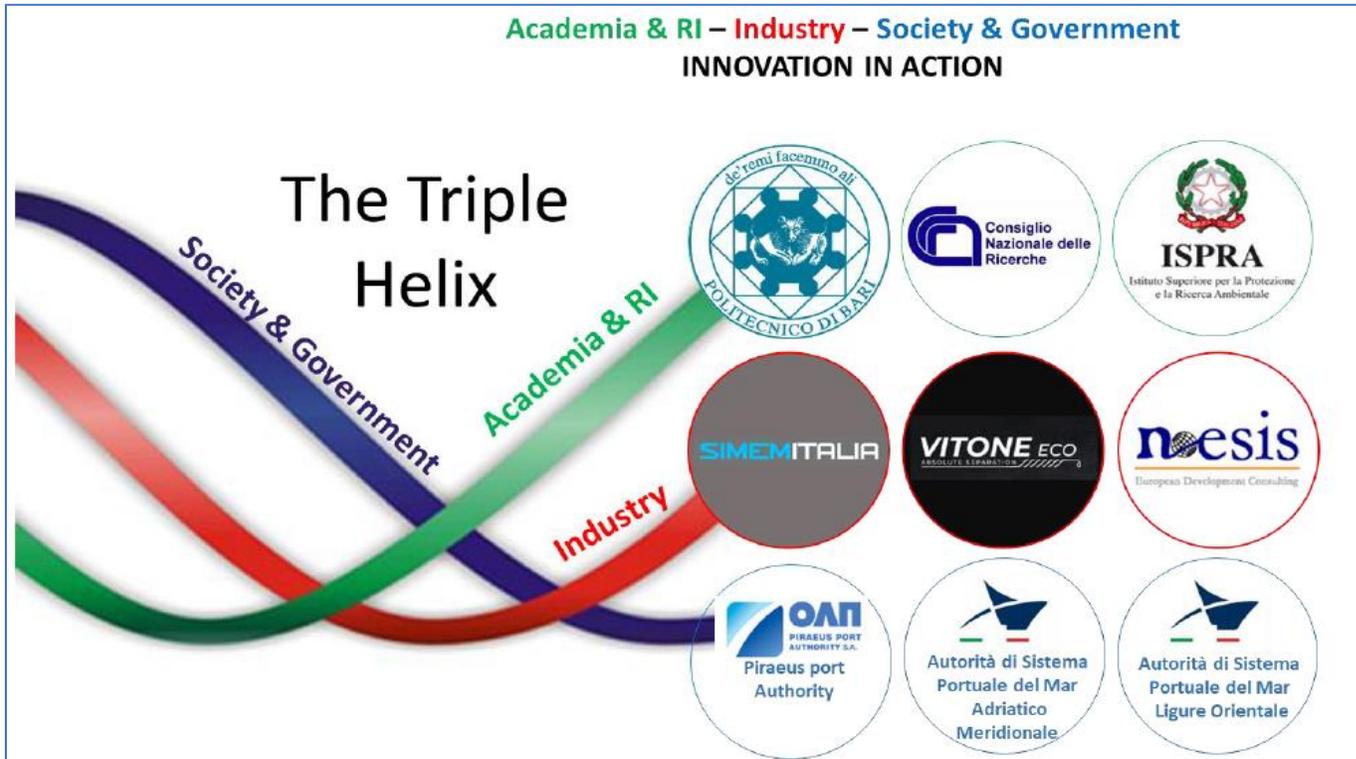


Co-funded by the European Union

# GREENLIFE4SEAS Project (GL4S)



## GR<sup>een</sup> EN<sup>gineering</sup> solutions: a new LIFE for SE<sup>diments</sup> And S<sup>hells</sup>



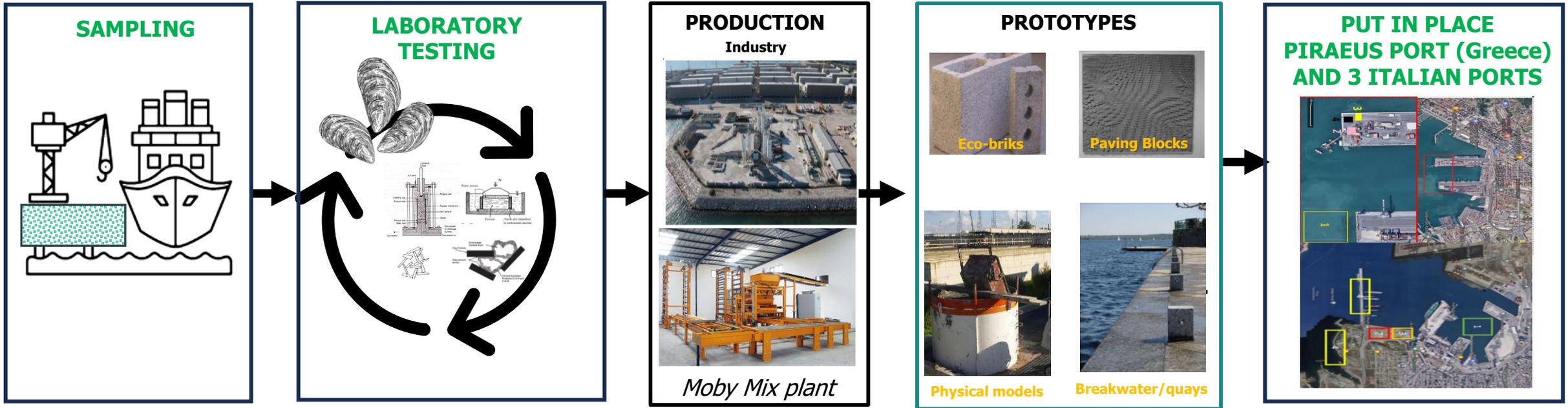


Co-funded by the European Union

# GREENLIFE4SEAS Project (GL4S)



## GR<sup>een</sup> EN<sup>gineering</sup> solutions: a new LIFE for SE<sup>diments</sup> And Shells





Co-funded by the European Union

# GREENLIFE4SEAS: network esteso



Ministero della *Transizione Ecologica*  
DIPARTIMENTO SVILUPPO SOSTENIBILE



COMUNE DI BARI



REMTECH EXPO





Co-funded by  
the European Union

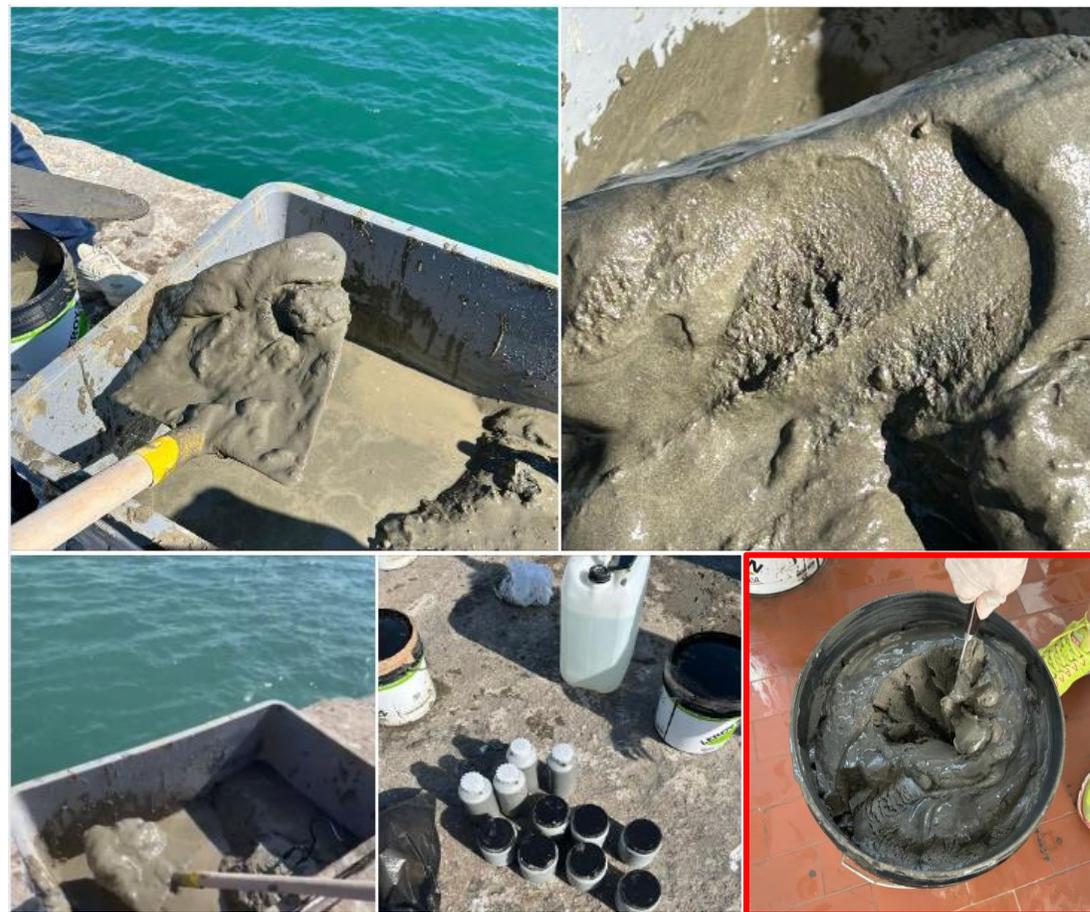
# Primi campionamenti

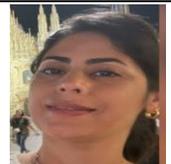
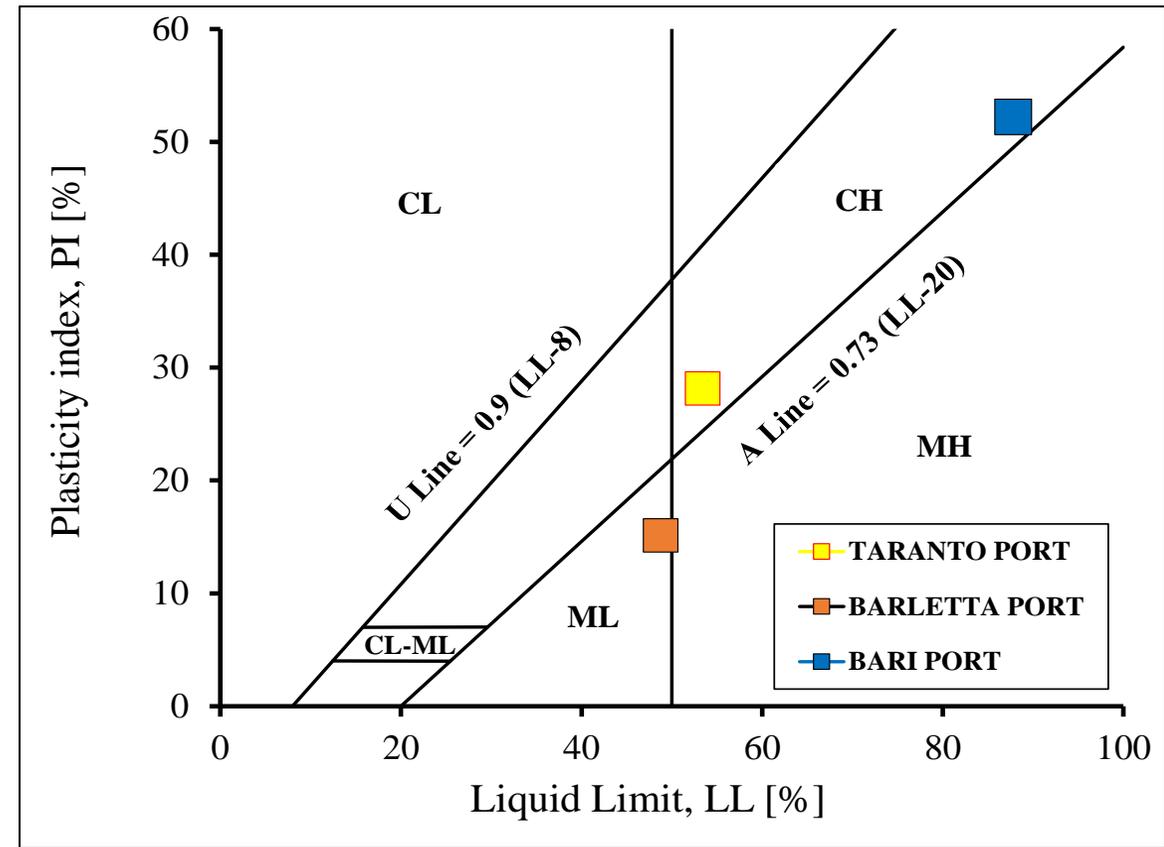
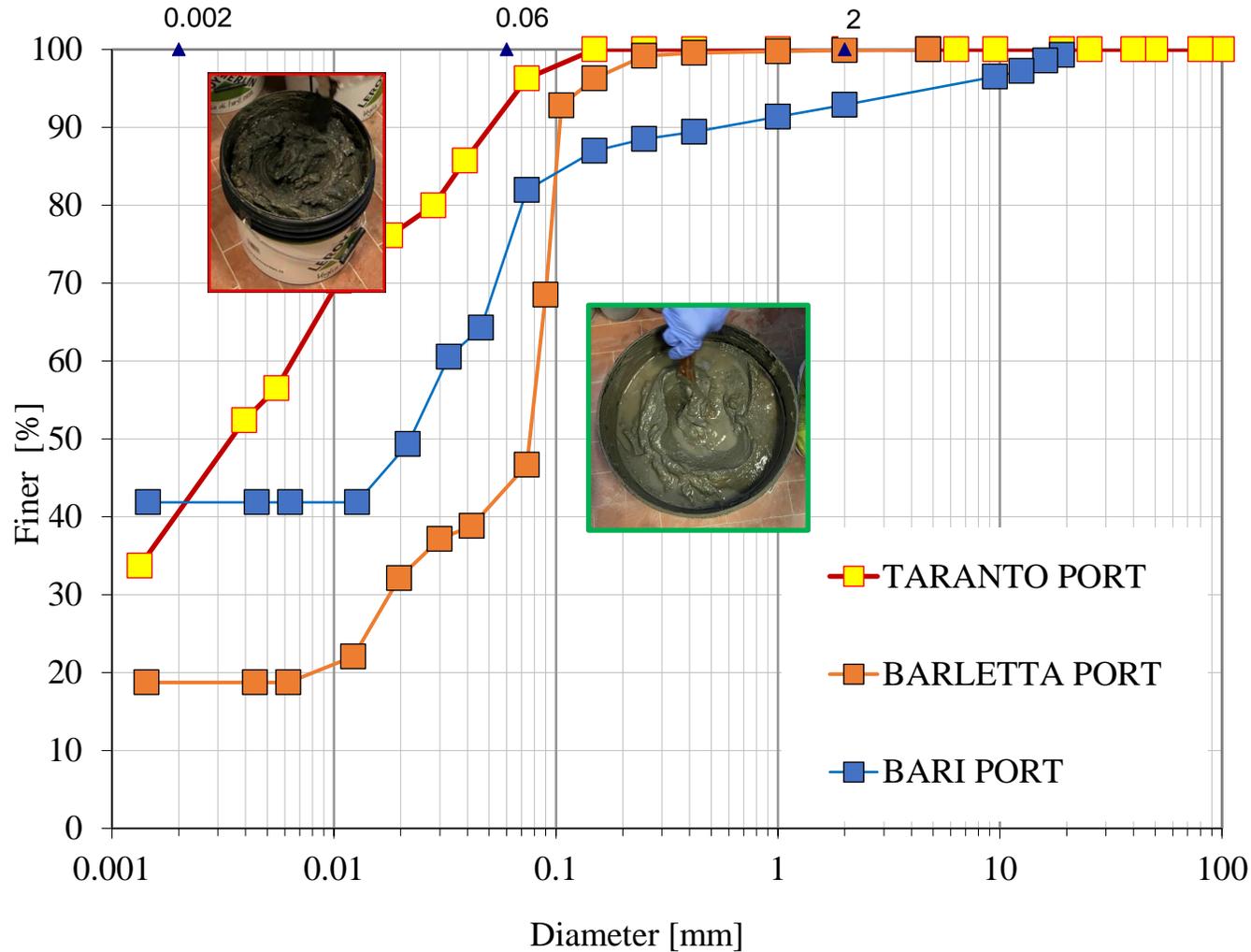


## Porto di Bari

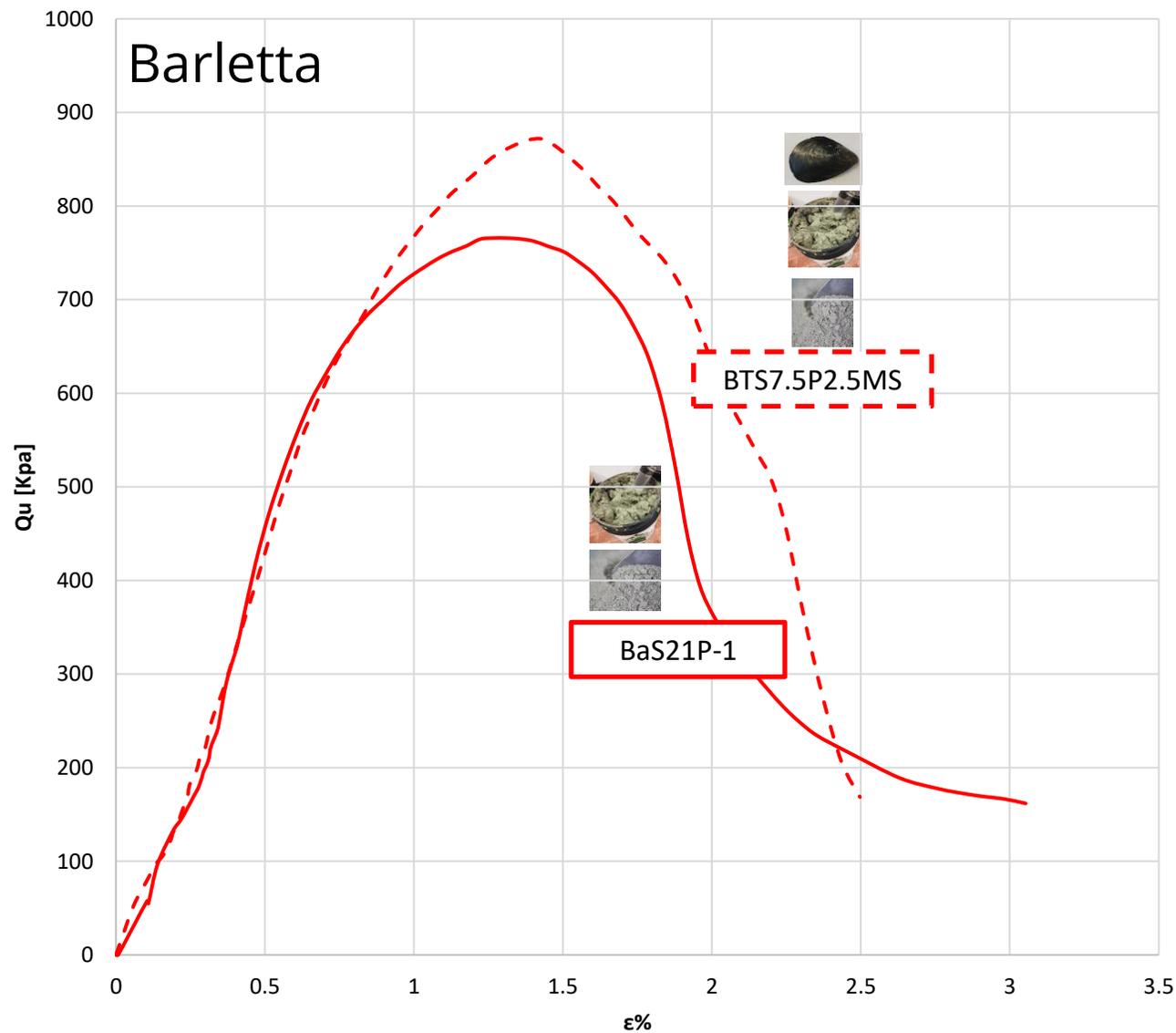
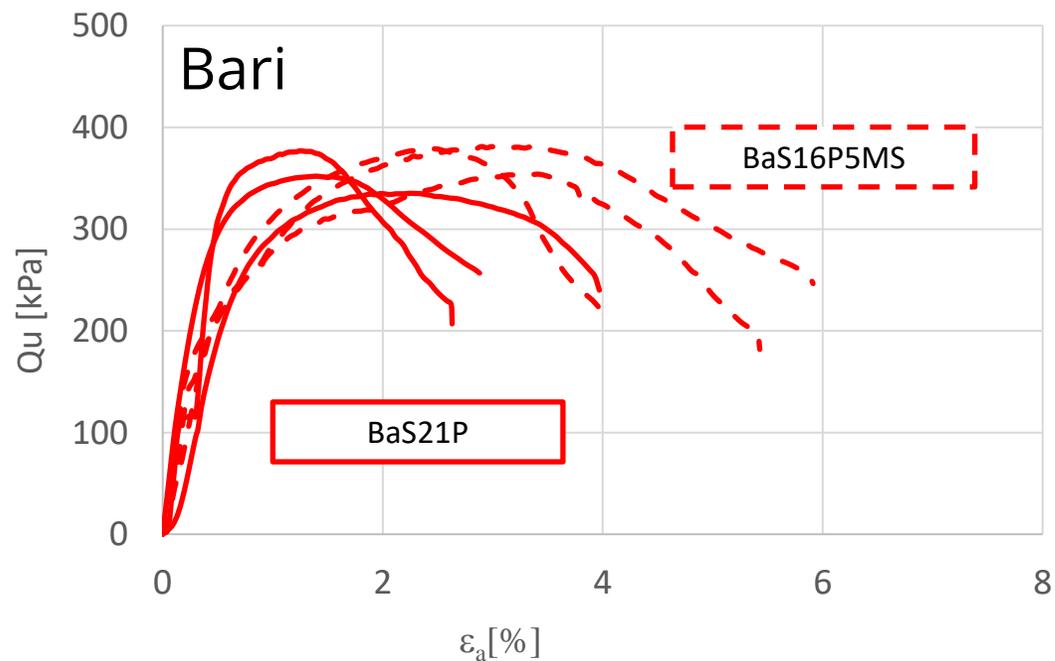


## Porto di Barletta





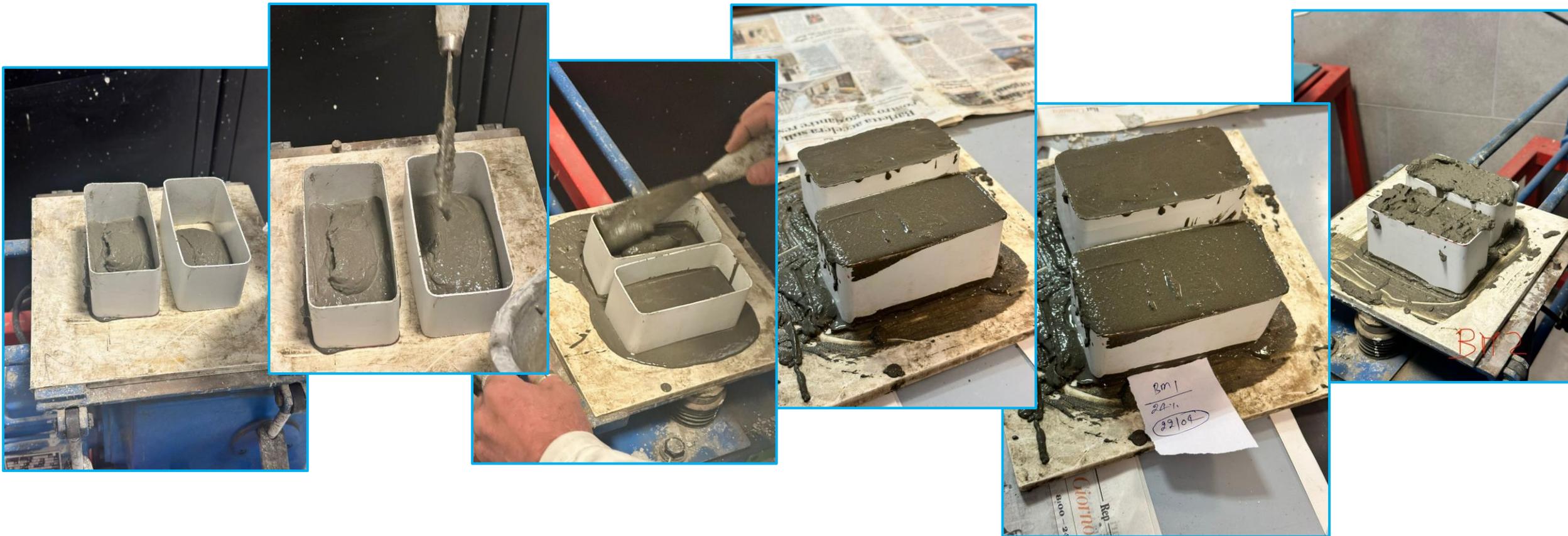
PhD Kianimeher, ongoing





Co-funded by  
the European Union

# Primi risultati: prototipi di masselli

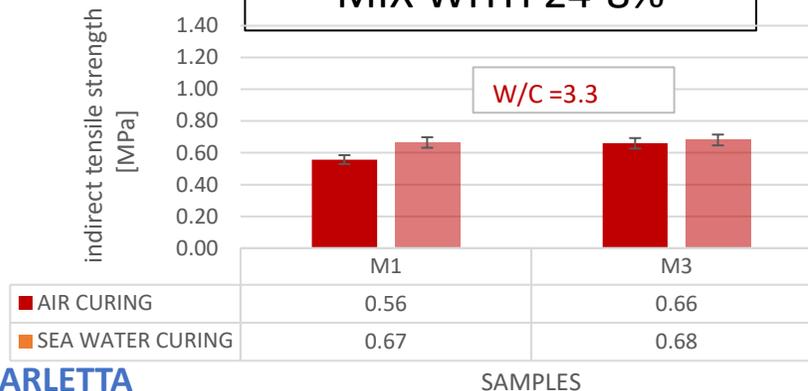


## Prove a trazione indiretta



### TARANTO

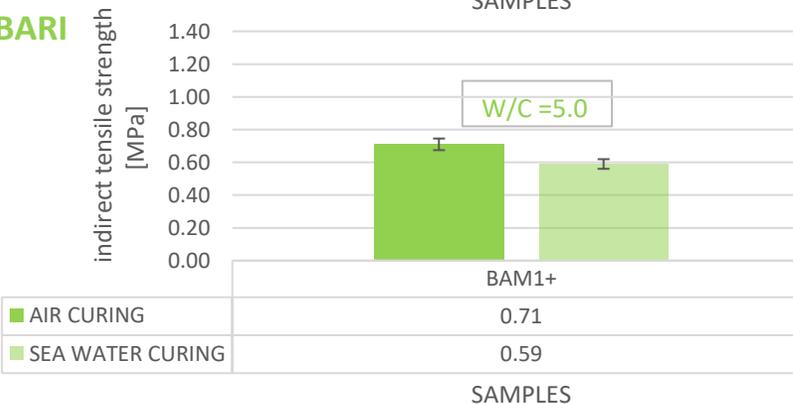
#### MIX WITH 24-8%



### BARLETTA

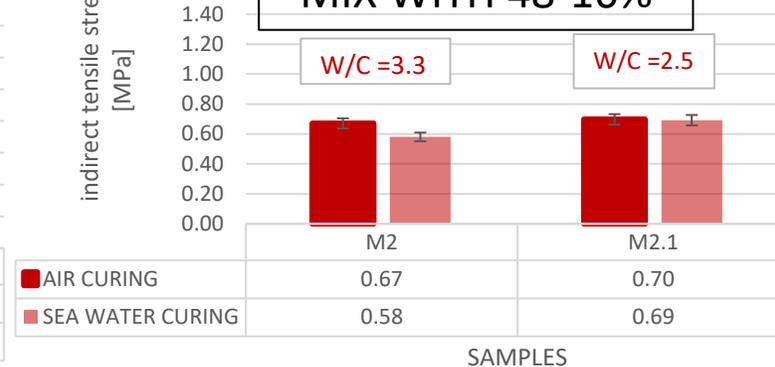


### BARI

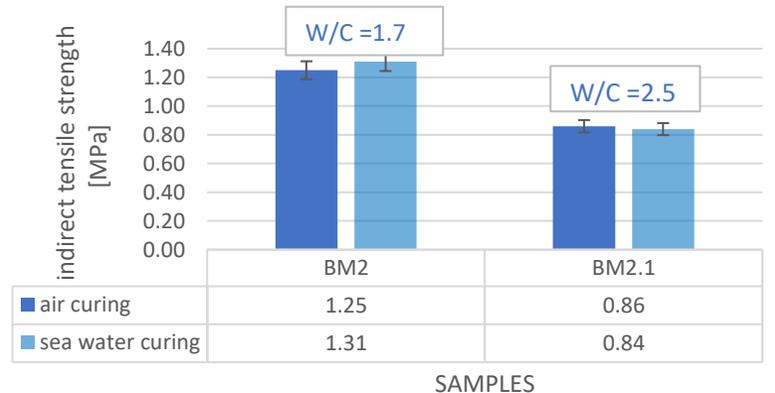


### indirect tensile strength [MPa]

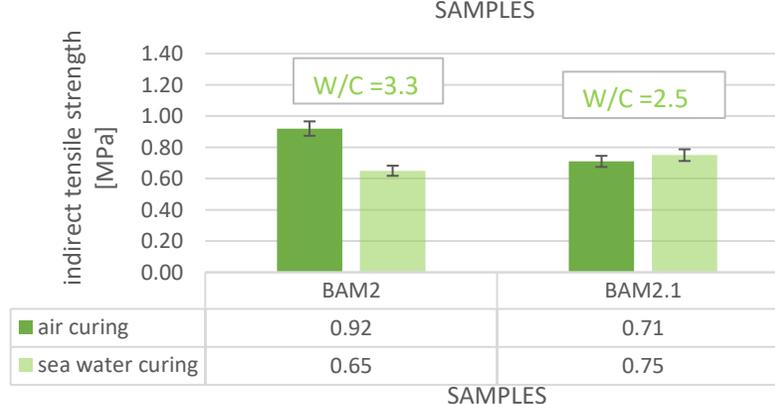
#### MIX WITH 48-16%



### indirect tensile strength [MPa]



### indirect tensile strength [MPa]





*The poetry of earth is never dead*  
John Keats

A tra poco  
per il piccolo  
Laboratorio!

