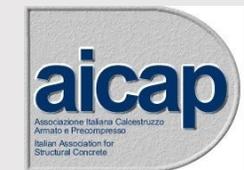


RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITÀ

Brescia, 16 novembre 2023

Aula Magna Ingegneria - Università di Brescia (UniBs)

Organizzato da:



Associazione italiana
cemento armato e
precompresso



Collegio dei
Tecnici della
industrializzazione
Edilizia



**Società
Italiana
Gallerie**
Italian Tunnelling Society

Con il patrocinio di:



Media Partner:



ADVANTEX – ricerca e innovazione per l'identificazione e l'uso dei materiali di scavo nel rivestimento a conci prefabbricati della linea ferroviaria Torino-Lione

Alessandro P. Fantilli



Angelo Farinetti



Indice

- Presentazione della prima parte del progetto
- Uso del materiale di scavo nei compositi cementizi
 - Malte
 - Calcestruzzi
- Uso del materiale di scavo con altri materiali di riciclo
 - Malte
 - Calcestruzzi
- Conclusioni

A long, brightly lit tunnel under construction. The tunnel is lined with large, curved concrete segments. In the distance, a group of workers wearing hard hats and safety gear are standing in a line. To the right, there is a large piece of equipment, possibly a conveyor belt or a support structure, with a metal grate. The overall atmosphere is industrial and well-lit.

Prima parte del Progetto

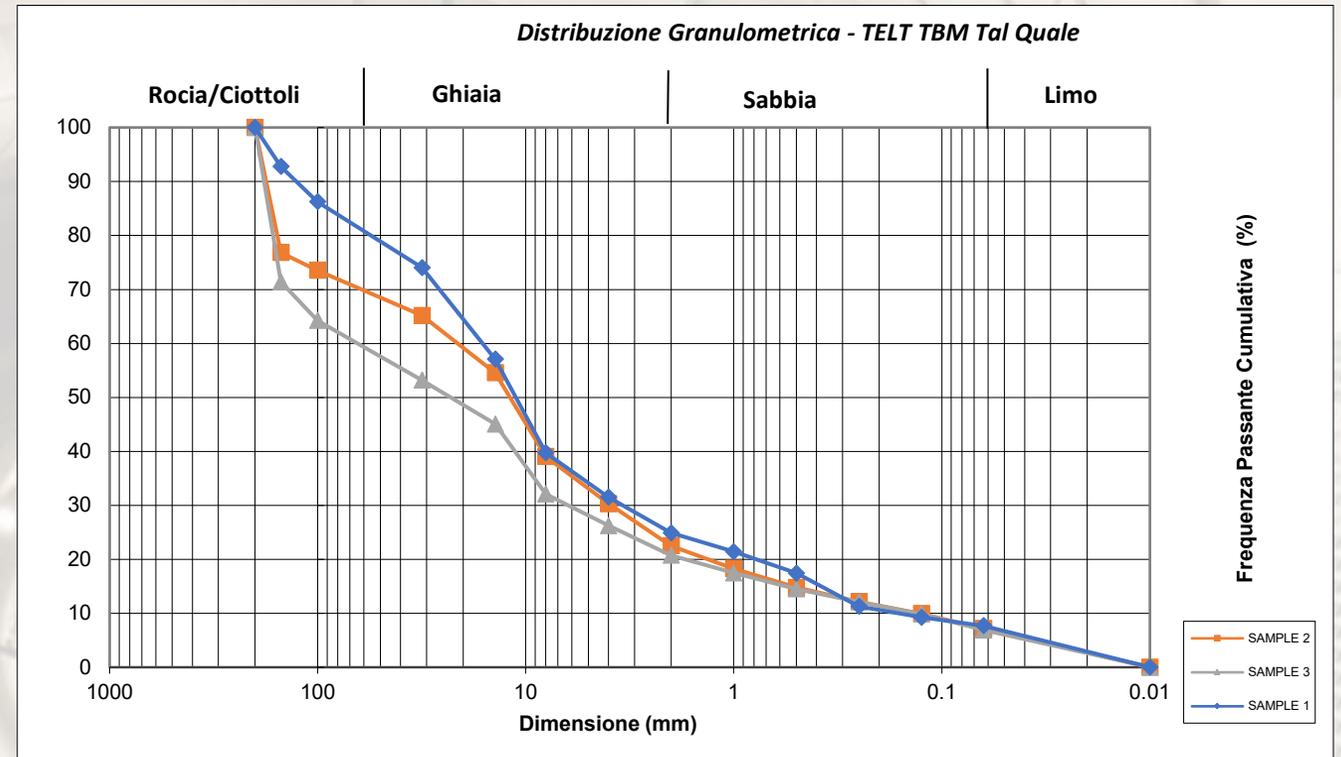
Analisi Granulometrica tradizionale del materiale tale quale proveniente dallo scavo meccanizzato



Massa Totale del materiale caratterizzato: 141 kg

Caratteristiche dimensionali:

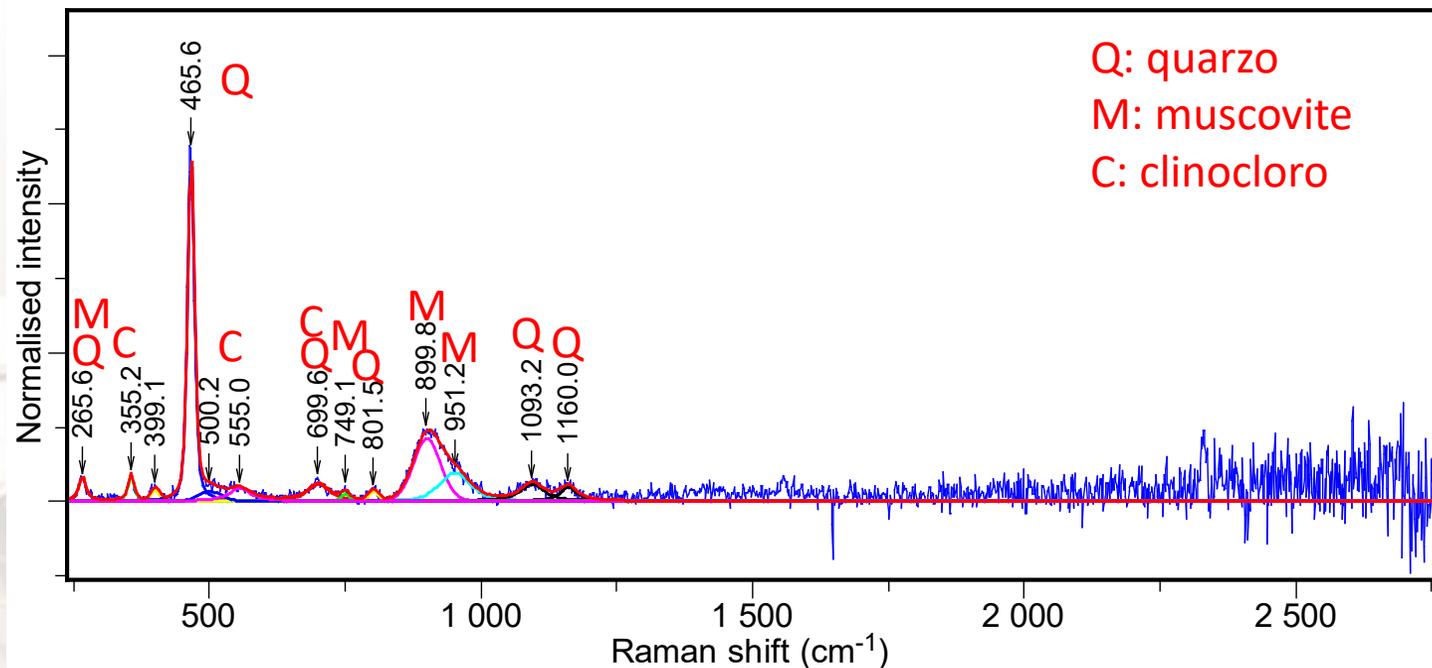
- $D_{80,avg} = 138 \text{ mm}$
- $D_{50,avg} = 16 \text{ mm}$
- $D_{20,avg} = 1,4 \text{ mm}$



! Importante presenza di frazione fine (< 2mm),
circa 25% !

Analisi chimica tradizionale del materiale tale quale proveniente dallo scavo meccanizzato

- Minerali simili a quelli degli aggregate ordinari
- Assenza di minerali non idonei e/o pericolosi per la salute



Spettro Raman del campione 1 (zona chiara) dal big bag #2, lavato



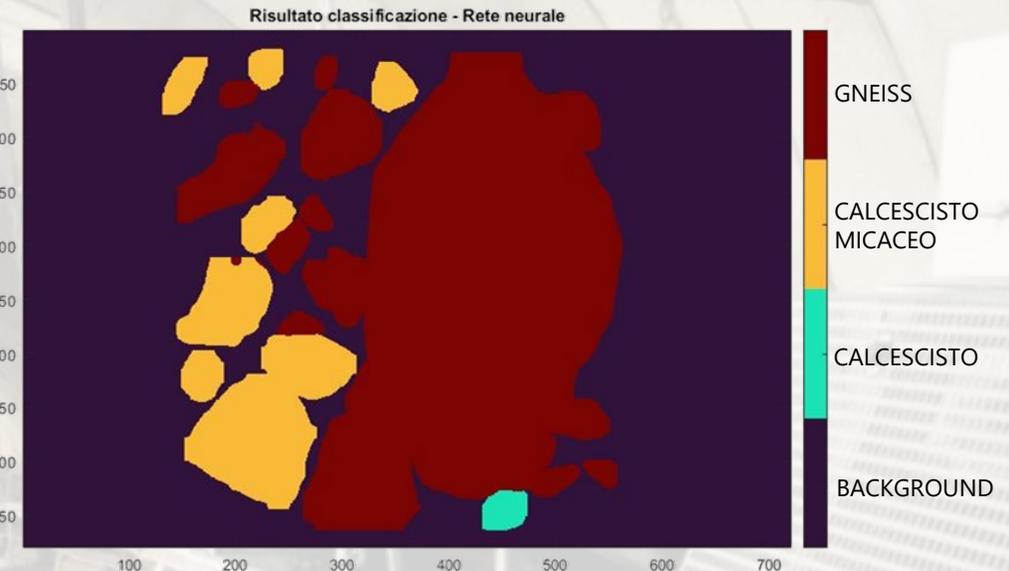
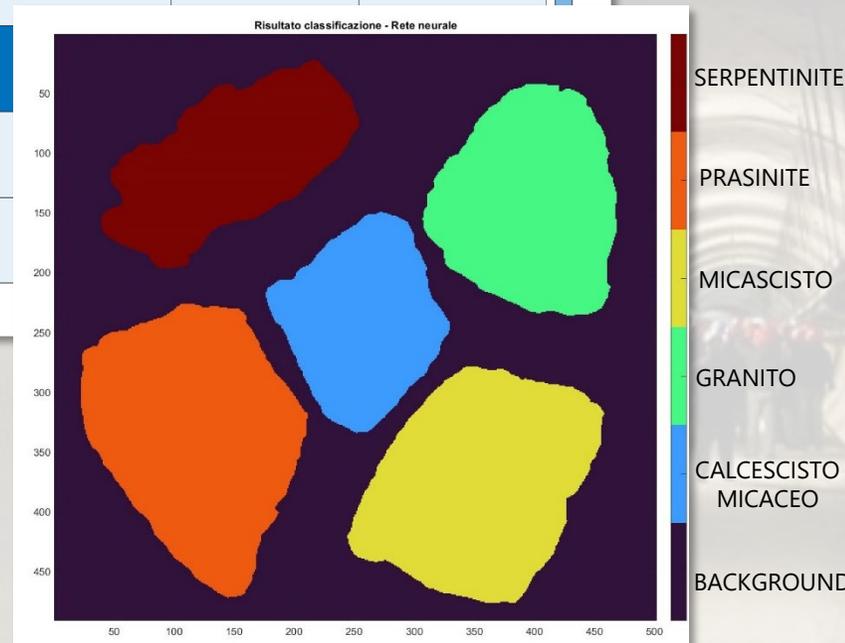
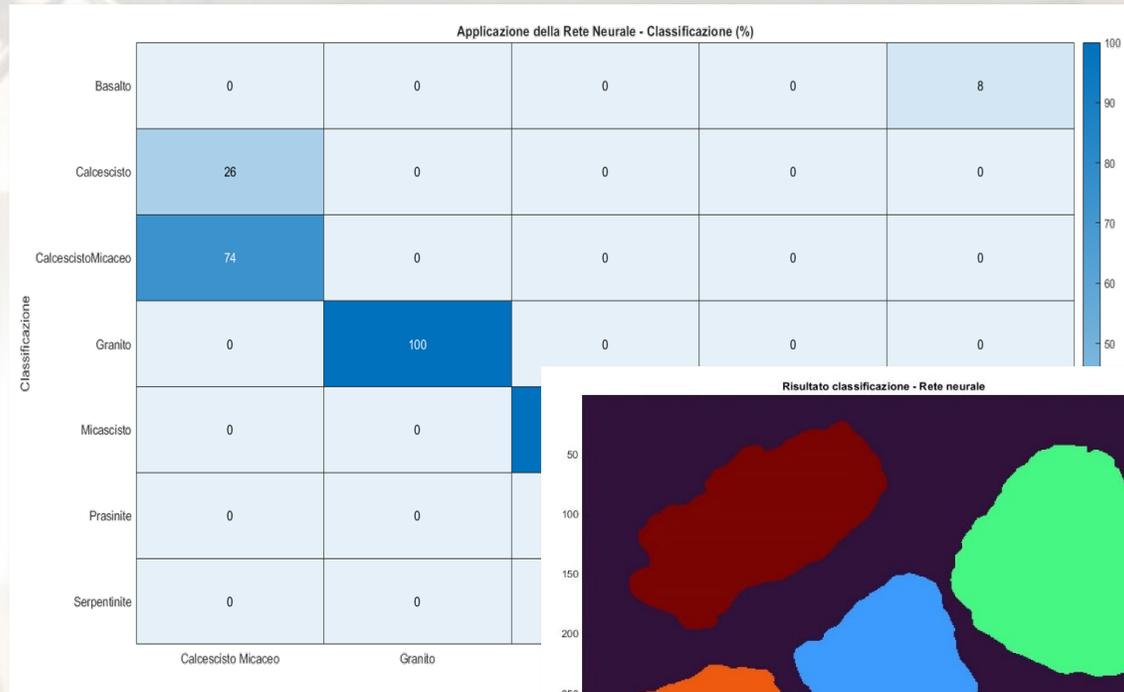
RISULTATI

Riconoscimento non tradizionale

RETE NEURALE – ANALISI MINERALOGICA



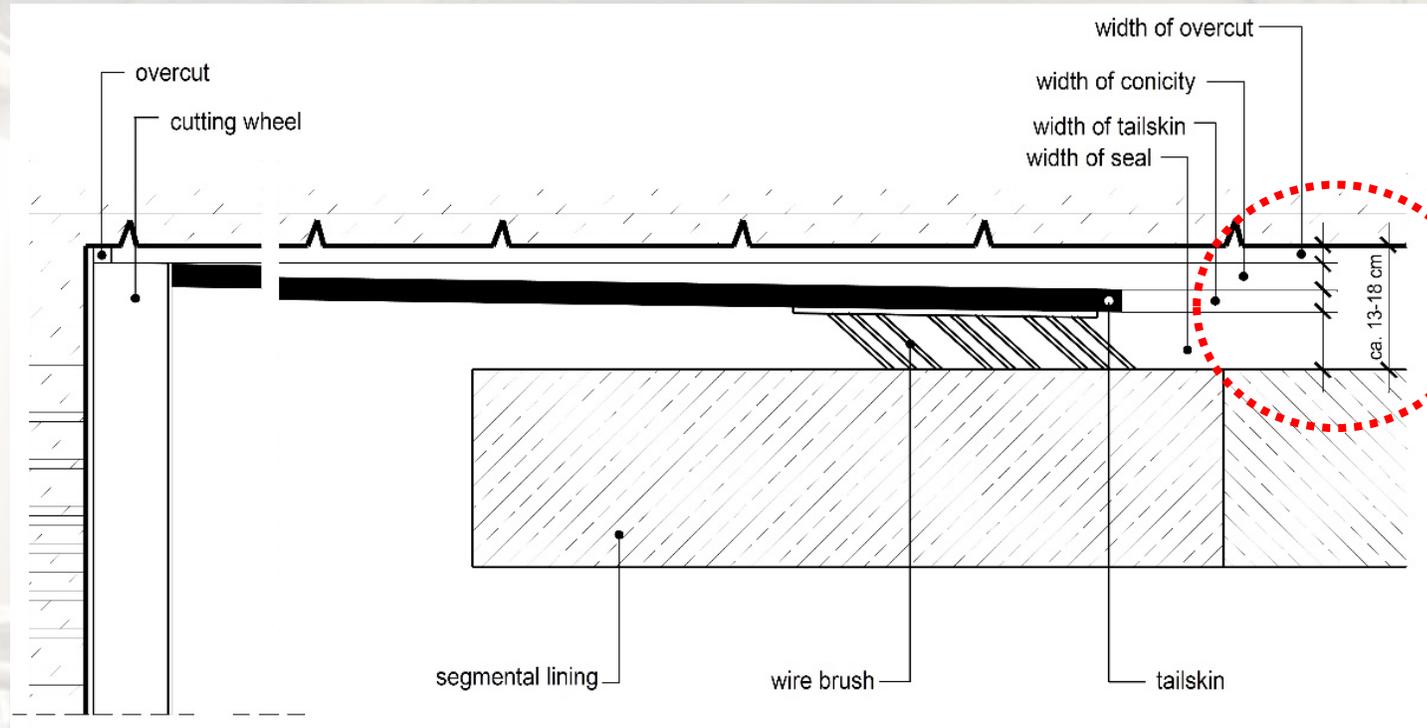
APPLICAZIONE SU MATERIALE DI SCAVO
PER RICONOSCIMENTO MINERALOGICO



PROCESSING TIME

SID-SAM: Classification	14 seconds
CNN: Training (18 classes, 40 epochs)	19 min 50 sec
CNN: 1x1x198 hycubes production	57 seconds
CNN: Classification	32 seconds

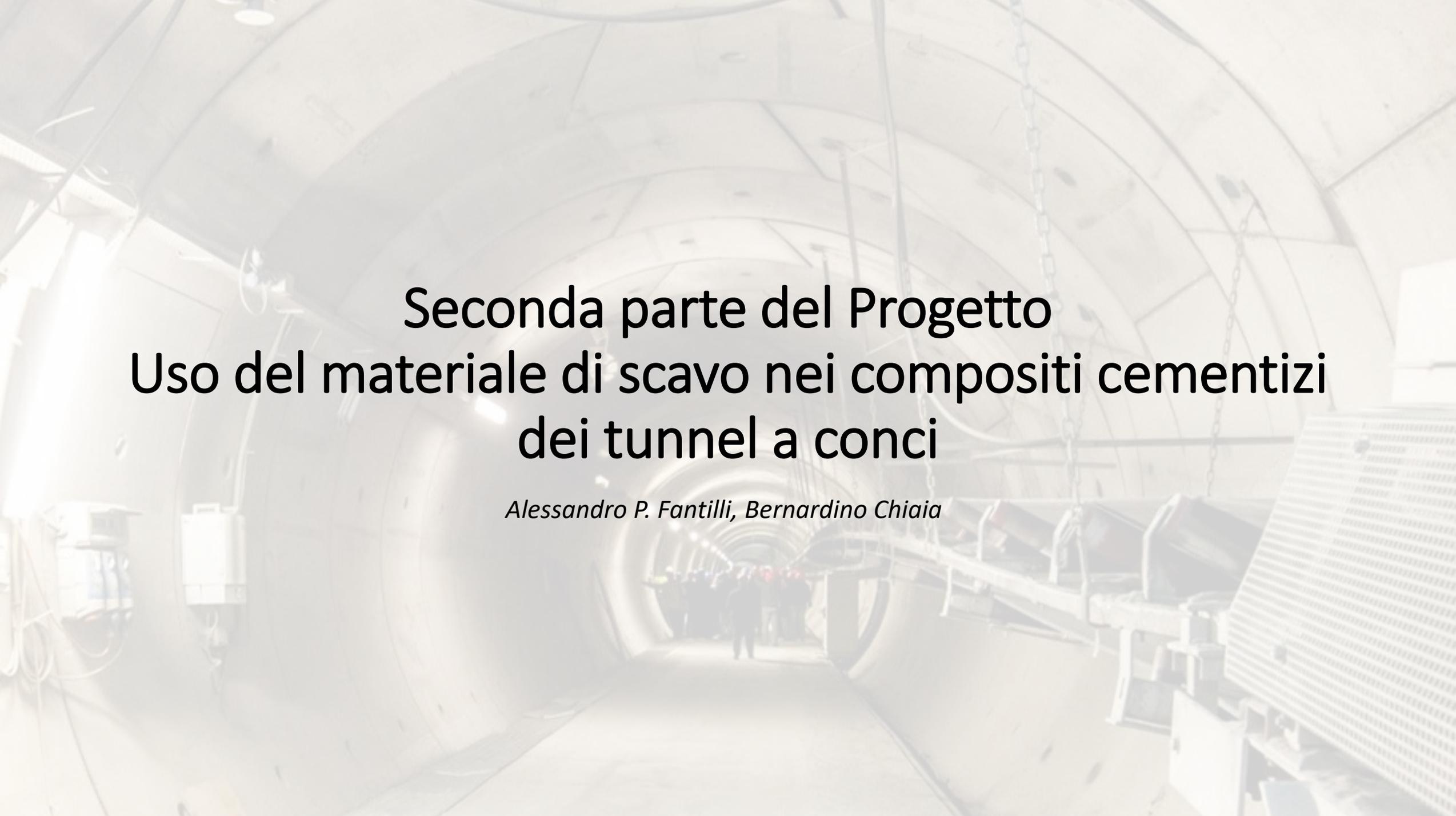
Application come backfilling in macchine scudate



Vuoto anulare oggetto del riempimento a tergo

CLASSIFICAZIONE PER I MATERIALI DA BACKFILLING (EFNARC, 2005)

- active grout: il material iniettato contiene legante che si idrata in modo completo (Es: cemento Portland) con un dosaggio superiore ai $300\text{kg}/\text{m}^3$;
- inert grout: non ci sono leganti all'interno del materiale iniettato. Pea gravel è un esempio;
- semi-inert grout: il materiale iniettato ha una base simile a quella dell'"inert grout", tuttavia vi è un'aggiunta nel mix design di un legante in grado di produrre un processo di idratazione. Il dosaggio del legante è tipicamente inferiore ai $100\text{ kg}/\text{m}^3$;

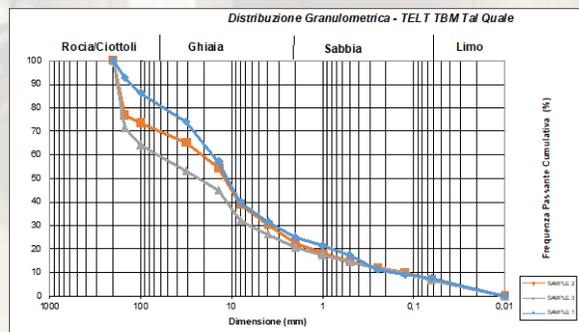


Seconda parte del Progetto Uso del materiale di scavo nei compositi cementizi dei tunnel a conci

Alessandro P. Fantilli, Bernardino Chiaia

Dal marino all' aggregato

Il marino

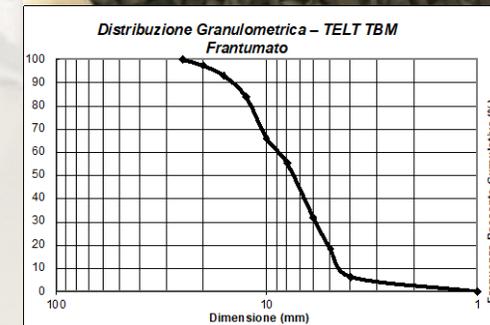


Il marino dopo la frantumazione

Aggregato fine (0-4 mm)



Aggregato grossolano (4-20 mm)



Uso dell'aggregato fine (0-4 mm)



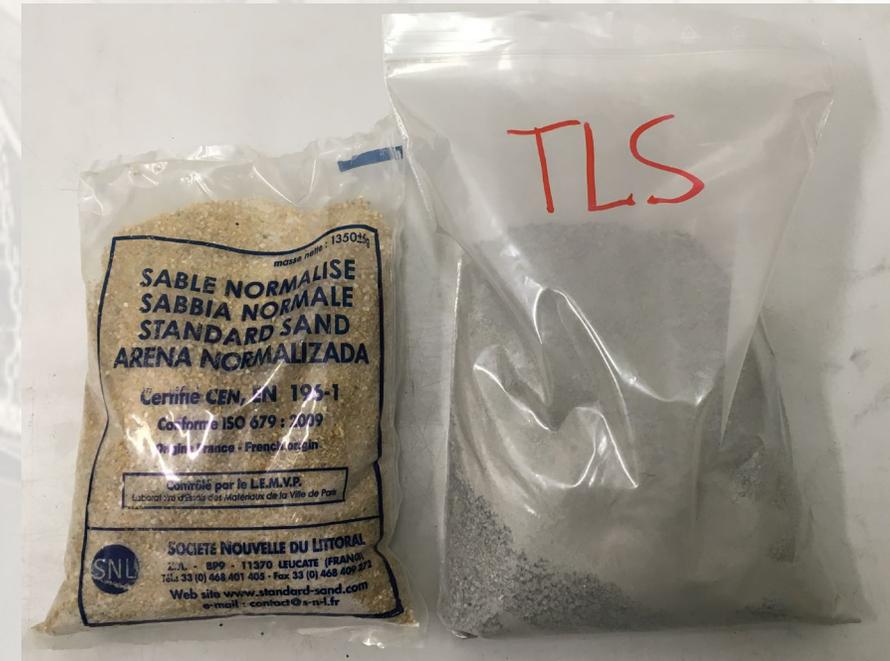
La sabbia standard

- UNI-EN 196-1 - Metodi di prova dei cementi. Parte 1: Determinazione delle resistenze meccaniche
- Cemento, acqua (rapporto acqua/cemento $w/c = 0.5$) e 1350 g di sabbia standard per 1 dm³ di malta
- Composizione della sabbia Standard (CEN sand)

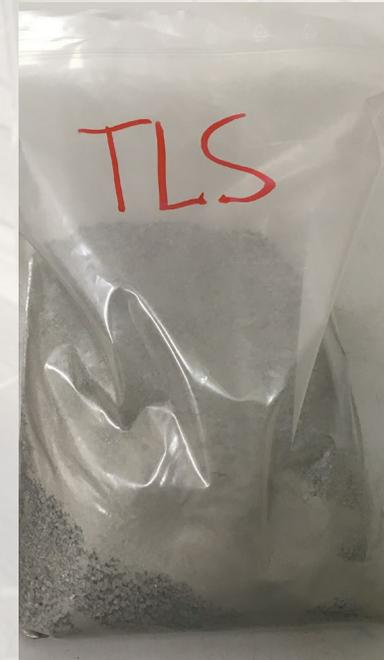
Table 3 — Particle size distribution of the CEN Reference sand

Square mesh size (mm)	2,00	1,60	1,00	0,50	0,16	0,08
Cumulative sieve residue (%)	0	7 ± 5	33 ± 5	67 ± 5	87 ± 5	99 ± 1
1 sacco da 1350 g	0 g	94.5 g	351 g	459 g	270 g	175.5 g

- TLS (Torino-Lione Sand) ha la stessa composizione della CEN sand, ma è fatta con il marino



Materiali e malte



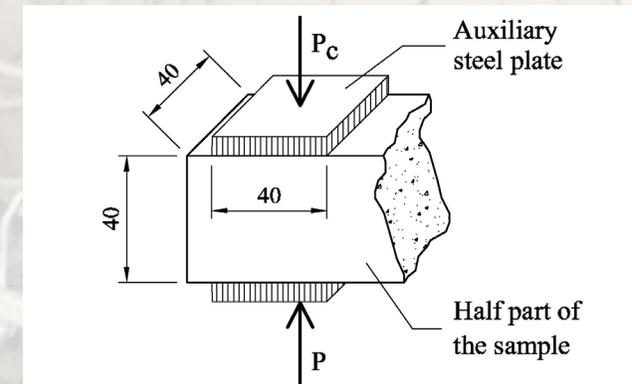
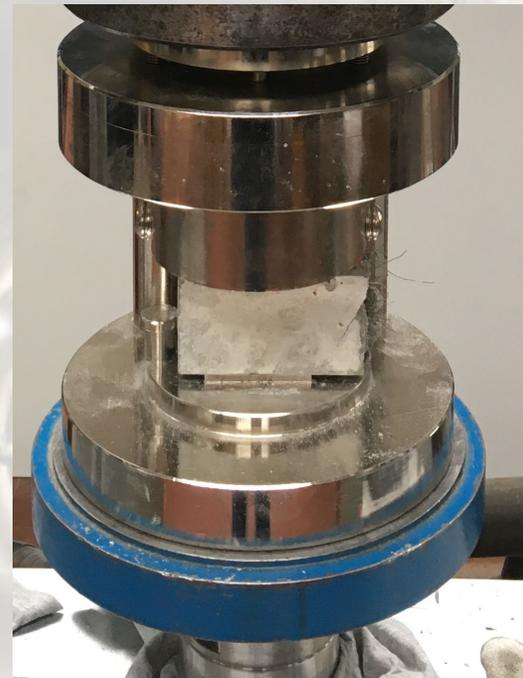
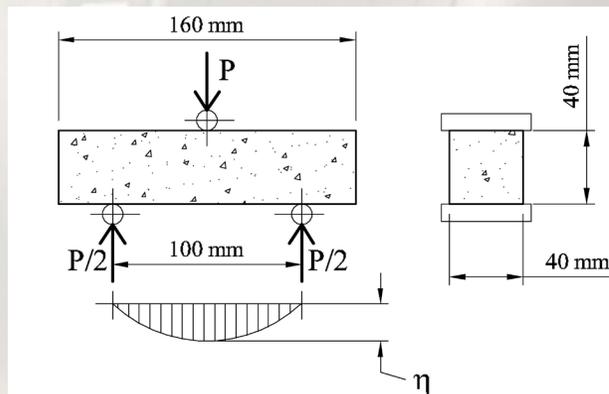
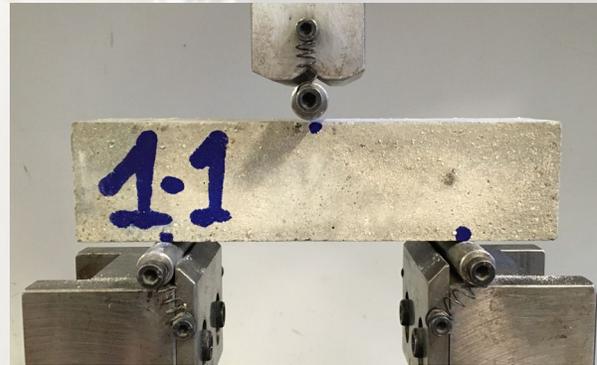
CEM II A-LL 42.5 R

- 2 malte (3 provini per ogni malta), confezionate per valutare la resistenza dei compositi cementi fatti con TLS, e confrontarla con quella dei provini realizzati con sabbia standard

	water	cement (1)	aggregate	Superplaticizer (2)		
mortar	(g)	(g)	type	(g)	date of casting	date of testing
1	225	450	CEN Sand	4,5	30/01/23	27/02/23
2			TLS			

UNI EN 196-1

- Prove di flessione su prismi ($40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$)
- Prove di compressione sulle metà dei prismi rotti a flessione



- 6 prove di flessione e 12 di compressione

Resistenze medie

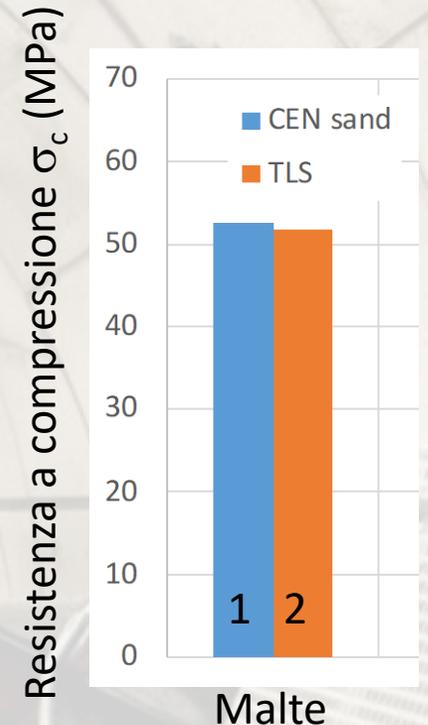
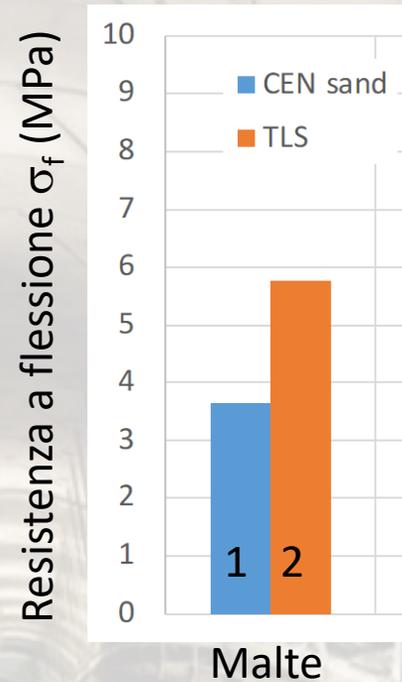
- Resistenza a flessione

$$\sigma_f = \frac{3 P_f L}{2 B H^2}$$

- Resistenza a compressione

$$\sigma_c = \frac{P_c}{40 \cdot 40}$$

- La resistenza a compressione non cambia
- A flessione, la resistenza della malta con TLS è il 50% più alta di quella con sabbia CEN
- L'inerte fine proveniente dallo scavo può essere utilizzato nei compositi cementizi



Materiali e calcestruzzi

- Il calcestruzzo 1 è ottenuto con un rapporto A/C = 0.46, ed è utilizzato da un'industria di prefabbricati (predalle)
- La composizione del calcestruzzo 2 è simile a quella del calcestruzzo 1
- La frazione 4-20 mm di inerte tradizionale è stata sostituita dalla stessa frazione (4-20 mm) di marino

Calcestruzzo 1

plain concrete mixture in 1 cubic meter	
CEM I 52.5 R	384 kg
fine 0-2	360 kg
average 0-8	813 kg
coarse 4-20	800 kg
additive	3 l
water	176 kg

Calcestruzzo 2

plain concrete mixture in 1 cubic meter	
CEM I 52.5 R	384 kg
fine 0-2	384 kg
average 0-8	813 kg
recycled coarse 4-20	800 kg
additive	3 l
water	176 kg



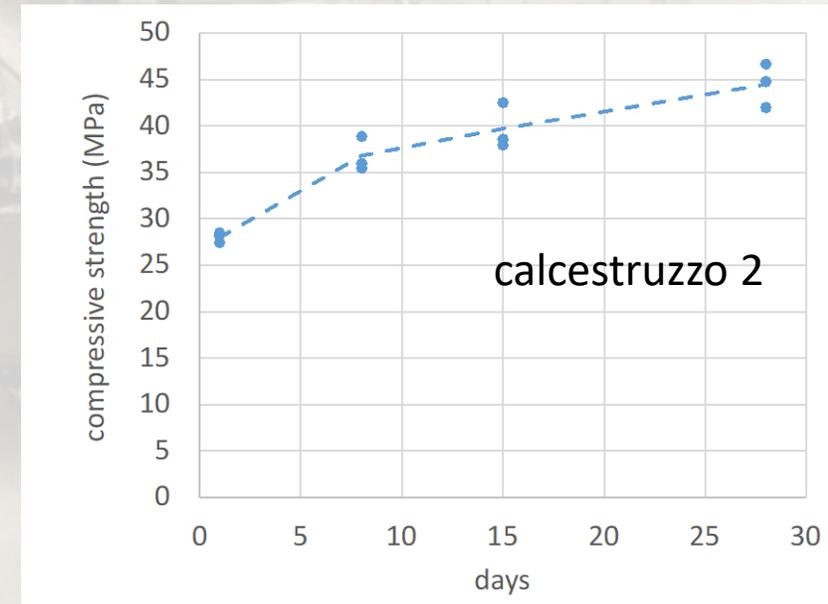
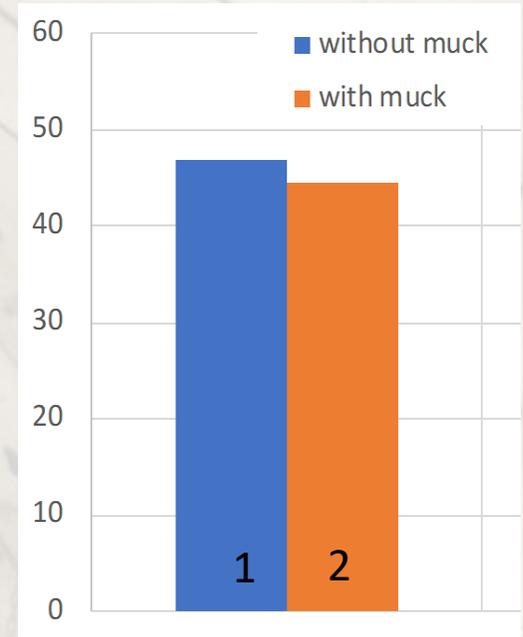
Ghiaia di marino

Resistenza a compressione

- Il calcestruzzo 1 e il calcestruzzo 2 hanno pressappoco la stessa resistenza
- Nel calcestruzzo 2, il valore medio della resistenza a compressione aumenta a partire dal giorno di confezionamento
 - Dopo 1 giorno da getto, $\sigma_c = 28$ MPa
 - Dopo 28 giorno dal getto, $\sigma_c = 45$ MPa (fck = 37 MPa)
- Anche il calcestruzzo 2 può essere usato per confezionare elementi strutturali prefabbricati



Resistenza a compressione σ_c (MPa)



Recycled steel fibers (RSF)



Nuovi calcestruzzi

- Il calcestruzzo 3 è simile al calcestruzzo 1, usato in prefabbricazione, ma con 48 kg/m³ di RSF
- Calcestruzzo 4 è simile al calcestruzzo 2 (con il marino), ma con 48 kg/m³ di RSF

Calcestruzzo 3

FRC mixture in 1 cubic meter	
CEM I 52.5 R	384 kg
fine 0-2	360 kg
average 0-8	813 kg
coarse 4-20	800 kg
RSF	48 kg
additive	3 l
water	176 kg

Calcestruzzo 4

FRC mixture in 1 cubic meter	
CEM I 52.5 R	384 kg
fine 0-2	384 kg
average 0-8	813 kg
recycled coarse 4-20	800 kg
RSF	48 kg
additive	3 l
water	176 kg

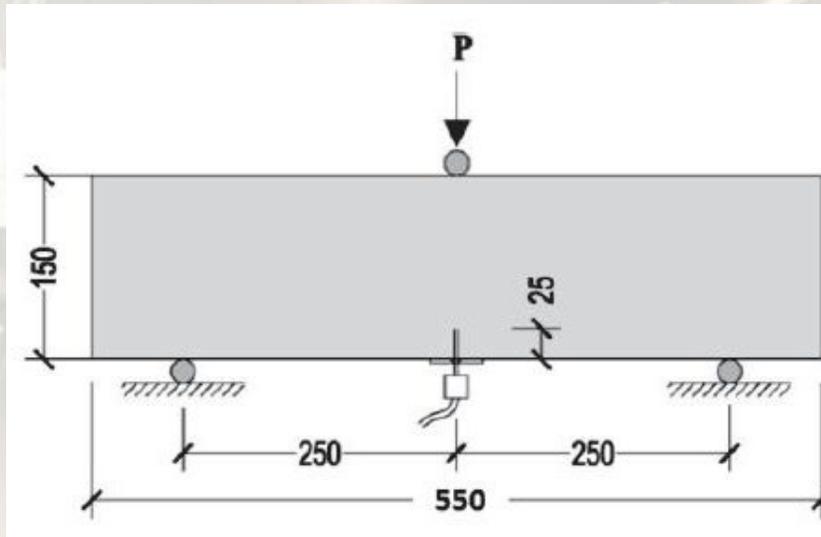
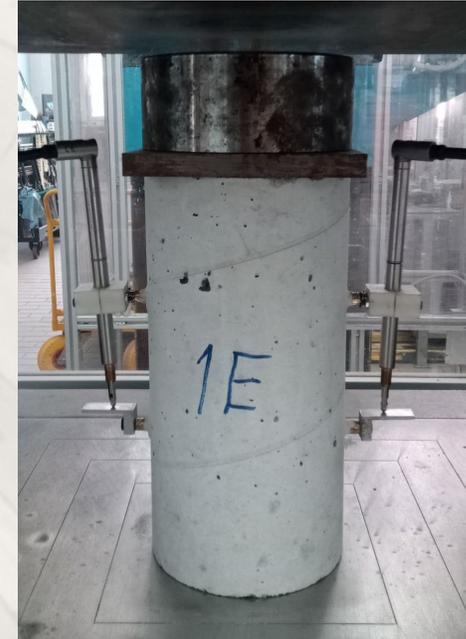


RSF

Ghiaia da marino

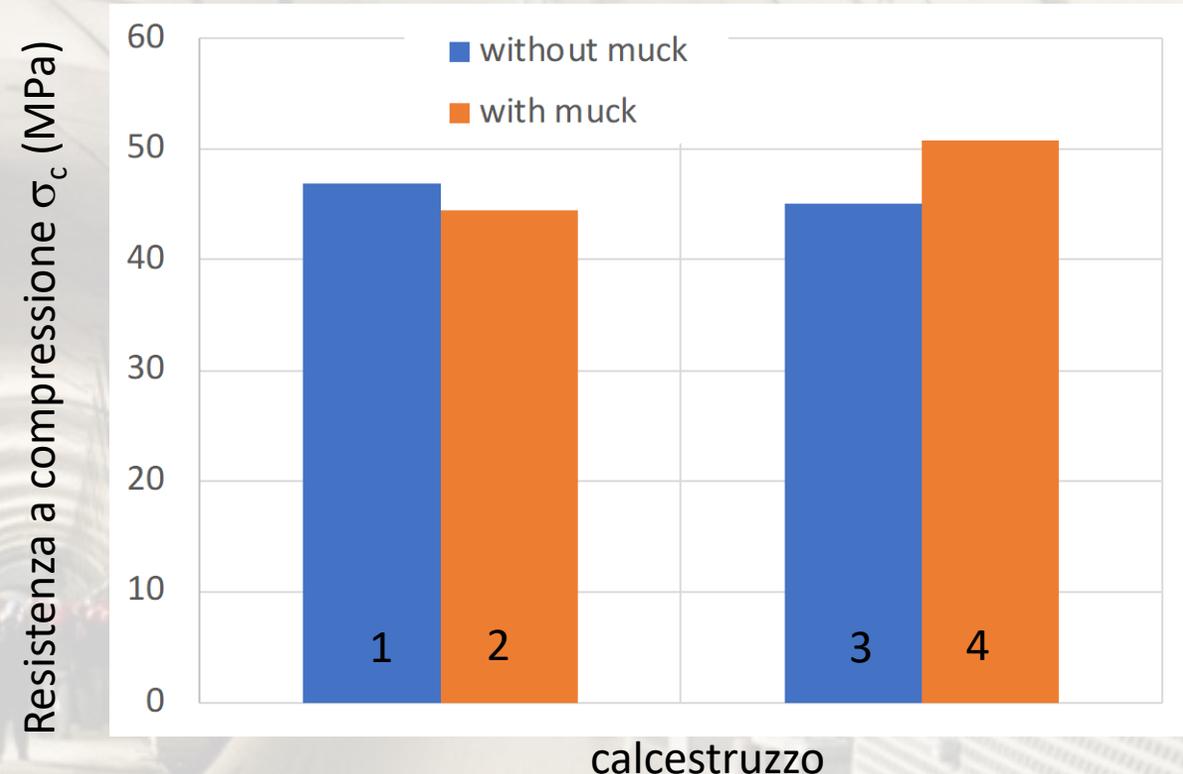
Le indagini sperimentali

- Prove di compressione mono-assiale su cilindri di altezza = 300 mm e diametro = 150 mm (UNI EN 12390-13)
- Prove di flessione sui provini di FRC (UNI EN 14651)



Resistenza a compressione

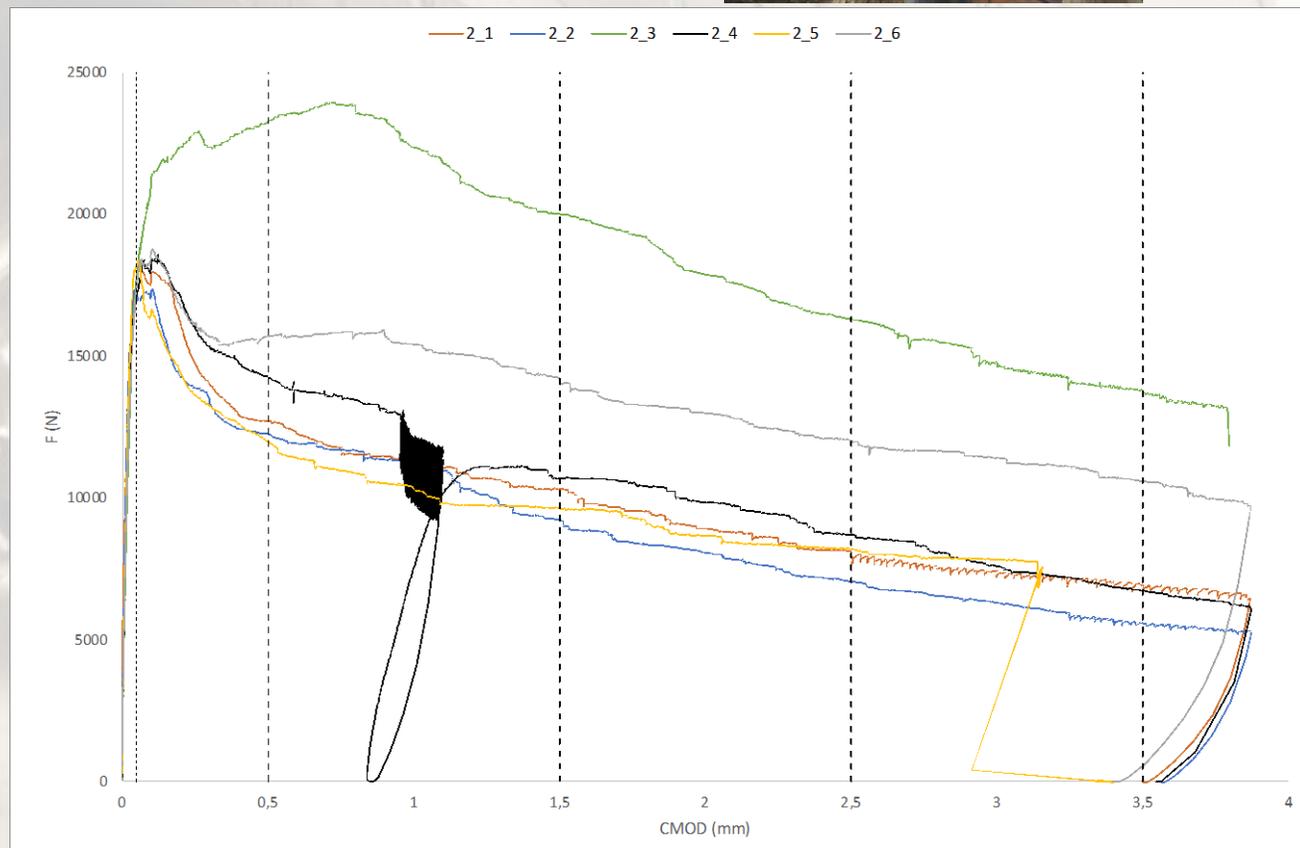
- La resistenza a compressione in assenza di fibre è leggermente minore in presenza di marino
- Viceversa, in presenza of RSF, la resistenza a compressione del calcestruzzo 4 (con il marino) è il 10% più alta del calcestruzzo 3 (senza marino)
- L'aggiunta di RSF può essere utile a compensare la variazione di resistenza che si rileva quando cambia il tipo di aggregato



Prove di flessione (calcestruzzo 4)

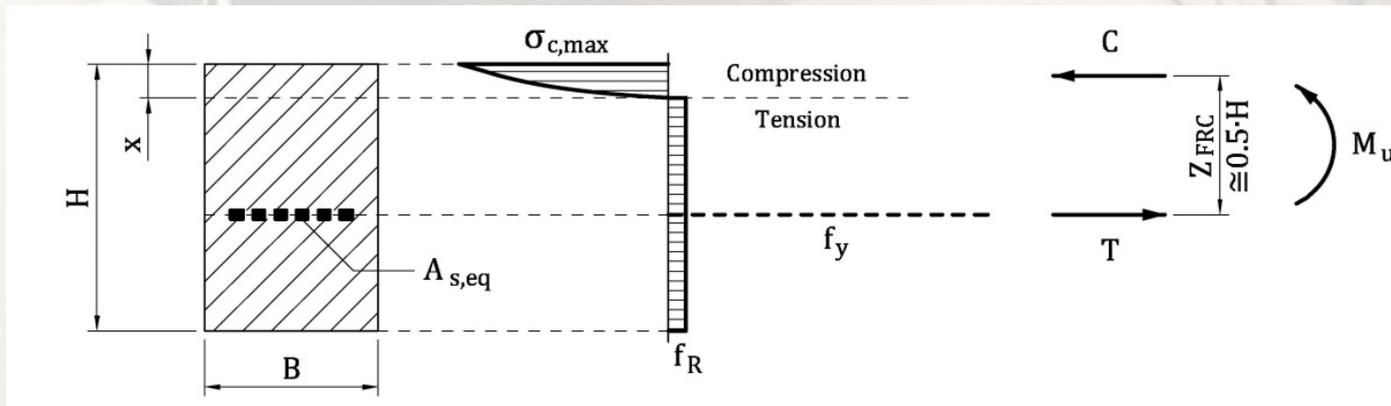
- Si misurano le resistenze residue al $\text{CMOD}_1 = 0.5 \text{ mm}$ e $\text{CMOD}_3 = 2,5 \text{ mm}$
- In accordo con la classificazione internazionale dei FRC, i valori caratteristici di f_{R1} e f_{R3} sono quelli della classe 2.5a

class 2.5 a	$f_{R,1}$	$f_{R,3}$
	(MPa)	(MPa)
average	4,77	3,20
s.d.	1,39	1,13
5th percentile	2,49	1,35



Il momento resistente equivalente

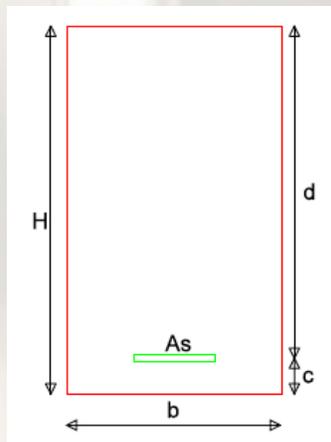
- Calcolo del momento ultimo M_u del travetto in FRC (calcestruzzo 4)



$$M_u = f_{R,3m} B H \frac{H}{2}$$

H=	124,8	mm
B=	151,8	mm
$f_{R,3m}$ =	3,20	MPa
M_u	3,78	kN m

- Nella stessa sezione, lo stesso momento flettente può essere fornito da



$$\frac{M_u}{f_y 0.9 d} = A_s$$

M_u =	3,78	kN m
d =	112,3	mm
f_y =	500	MPa
A_s =	74,84	mm ²
Φ =	9,762	mm

una barra con un diametro di circa 10 mm

Conclusioni

- Il materiale di scavo della galleria Torino-Lione si può utilizzare nei compositi cementizi di elementi strutturali prefabbricati.
- In particolare:
 - Se l'aggregato fine (0-2 mm) sostituisce quello tradizionale delle malte, la resistenza a flessione aumenta.
 - La resistenza a compressione delle malte rimane pressappoco la stessa.
 - Se la ghiaia (4-20) è utilizzata nei calcestruzzi strutturali (circa il 30% in massa), la resistenza a compressione si reduce leggermente, ma in presenza di fibre aumenta.
 - Nella fase post-fessurativa dei calcestruzzi con il marino, si asserva la presenza di tensioni residue equivalenti alle barre d'armature.