

"Sedimenti da invasi artificiali: possibilità di riutilizzo"

Valutazione del potenziale di riutilizzo dei sedimenti nel settore delle costruzioni

Ing. Roberto Saccone

Ing. Eleonora Longo

Prof. Marco Zerbinatti

Ing. Federico Vecchio

ITCOLD

Gruppo Marazzato

Politecnico di Torino

Politecnico di Torino



Perché il tema è urgente

Interrimento, consumi di materie prime e obiettivi di economia circolare

13–19%

capacità media di invaso già persa

120–600 t/km²·anno

produzione media nazionale di sedimenti

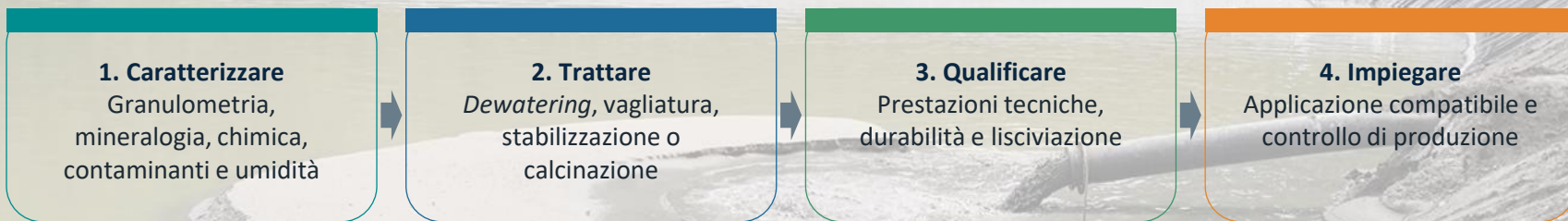
L'interrimento riduce la funzionalità degli invasi e rende necessari interventi di gestione dei materiali estratti.

La filiera delle costruzioni consuma grandi volumi di argille, sabbie, ghiaie e materie prime minerali.

Il riuso crea una risposta doppia: recupero della capacità degli invasi e sostituzione parziale di risorse vergini.

Da rifiuto a materia prima

La condizione è una filiera controllata, non un impiego indiscriminato



La variabilità litologica e l'eventuale contaminazione impongono protocolli sito-specifici.

Il dewatering è spesso la principale voce di costo: calore di scarto e geotubi sono opzioni da valutare.

La sostenibilità economica dipende soprattutto dalla logistica: filiere corte nell'ordine di 10–20 km.

Caratterizzazione dei Sedimenti da Invasi

Composizione chimica tipica

SiO_2	50 – 70%
Al_2O_3	10 – 20%
Fe_2O_3	4 – 8%
CaO	2 – 10%
$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	2 – 5%
Materia organica	< 5% (fini)

Classi granulometriche e criticità

Ghiaia / Sabbia grossolana (> 2 mm)

Direttamente riutilizzabile come
aggregato per calcestruzzo o riempimento

Sabbia fine / Limo (63 μm – 2 mm)

Adatta per aggregati, laterizi,
clinker; richiede trattamento minimo

Fini / Argilla (< 63 μm)

Sfida principale: elevato contenuto
idrico, compressibilità, potenziale contaminazione

Parametri chiave per la valutazione di idoneità al riutilizzo: PSD · Limiti di Atterberg · contenuto organico · VBS · metalli pesanti · lisciviabilità (CEN EN 12457)



Applicazioni Industriali: Destinazioni d'Uso nel settore costruzioni



Sei filiere applicative

L'impiego va scelto in funzione della frazione granulometrica e della composizione

Sottofondi

Limi e argille stabilizzati; sabbie e ghiaie come materiali granulari

UNI 11531-1

Requisiti: Stabilizzazione con calce/cemento · CBR

Cemento e leganti

Sostituzione parziale di argilla/calcare; argille calcinate per leganti a minor clinker

Requisiti: Fini ($< 63 \mu\text{m}$) · $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ dominanti · basso organico

10–15% sostituzione argilla

Laterizi

Miscelazione con argille naturali

Requisiti: Fini argillosi · T sinterizzazione $850\text{--}1100^\circ\text{C}$

20–40% sostituzione argilla

Aggregati per calcestruzzo

Frazioni sabbioso-ghiaiose in sostituzione parziale degli aggregati

UNI EN 12620

Requisiti: Sabbia/ghiaia ($> 63 \mu\text{m}$) · assenza metalli pesanti

Piastrelle ceramiche

Requisiti: Plasticità adeguata · Assenza ferro, solfati

4–8% in gres porcellanato

20–40% altre tipologie

Argilla espansa

Requisiti: Illite/clorite · gas a fusione incipiente · T $\sim 1150^\circ\text{C}$

50–100% sostituzione MP

Evidenze tecniche principali

I risultati citati nel documento mostrano fattibilità, con limiti applicativi chiari

15%

indice di portanza immediato raggiunto
nei sedimenti
trattati per sottofondi

>15 MPa

resistenze riportate per laterizi
con 20–40% di sedimenti

28–32 MPa

calcestruzzi con 15–30%
di sostituzione di aggregati

Sottofondi: l'aggiunta di calce, legante idraulico e correttori granulari può rendere idonei sedimenti altrimenti sensibili all'acqua.

Cemento: sedimenti fini ricchi di silice e allumina possono sostituire parte delle materie prime o diventare componenti pozzolanici dopo calcinazione.

Laterizi e ceramica: la cottura può immobilizzare contaminanti; restano centrali contenuto organico, plasticità e controllo del colore.

Calcestruzzo: idoneità subordinata ai requisiti UNI EN 12620, a sali, pulizia, granulometria e durabilità.

Applicazioni e invasi di provenienza

Casi e siti citati nel documento di riferimento

Filiera	Applicazione significativa	Sedimento / trattamento	Invasi o bacini di provenienza citati
Infrastrutture	Sottofondi stradali, ferroviari e aeroportuali	Limi/argille stabilizzati; sabbie-ghiaie selezionate	Studio EDF: 9 invasi di dighe francesi
Cemento e leganti	Clinker, argilla calcinata pozzolanica e leganti alternativi	Fini argillosi ricchi di SiO_2 e Al_2O_3 ; eventuale calcinazione	Diversi invasi EDF in Francia, nell'ambito della collaborazione EDF-Lafarge
Laterizi	Mattoni estrusi, pressati e prodotti in muratura	Sedimenti limo-argillosi in miscela con argilla	Dighe di Ridracoli (Emilia-Romagna) e Furore (Campania); bacino di Montedoglio (Toscana).
Ceramica	Piastrelle smaltate e gres	Fini con quarzo, feldspati e minerali argillosi	Fiume Douro (Portogallo); Diga delle Tre Gole/Yangtze (Cina); Montedoglio (Toscana); invasi Verbund (Austria); Serre-Ponçon (Francia).
Calcestruzzo	Aggregati per opere non strutturali, fondazioni e contenimenti	Frazioni sabbioso-ghiaiose lavate e classificate	Diga di Disueri (Sicilia); diga/Lago di Liscione-Guardialfiera (Molise); invaso dell'Appennino umbro-marchigiano

Conclusione: una filiera da progettare

Il riuso dei sedimenti è tecnicamente promettente se integrato nella pianificazione di invaso, industria e territorio



Priorità: mappare quantità, qualità e stagionalità dei sedimenti disponibili.

Sviluppare casi pilota con gestori di invasi, produttori e laboratori di prova.

Definire capitolati, criteri End of Waste/sottoprodotto e standard tecnici dedicati.

Misurare l'effettivo beneficio con analisi tecnico-economica e ambientale dell'intera filiera.

Messaggio finale: da costo di gestione a materia prima strategica per l'economia circolare delle costruzioni

Il contesto industriale

- **Mancanza di dati centralizzati:** non esiste un dato ufficiale su quanto fango di dragaggio venga estratto annualmente.

Questo accade perché le attività di dragaggio degli invasi non avvengono in modo continuo o regolare ogni anno, ma tramite interventi straordinari fortemente limitati da costi elevati, iter burocratici complessi e problemi di smaltimento.

Dati ISPRA

100.000 – 200.000 ton/anno

di fanghi di dragaggio prodotti in Italia come rifiuto

EER 170506

Applicazione della normativa ambientale

La classificazione del fango di dragaggio: da rifiuto a prodotto

Art. 184 Classificazione come rifiuto

Il fango di dragaggio viene qualificato e gestito come **rifiuto speciale** (codice **CER 17 05 06** per i non pericolosi o **CER 17 05 05*** per i pericolosi) qualora il detentore decida di disfarsene, imponendo il tracciamento tramite Formulare e il conferimento a impianti autorizzati al trattamento dei rifiuti

Art. 184 bis Classificazione come sottoprodotto

- 1) il residuo non è l'obiettivo primario del processo produttivo ma viene prodotto con esso
- 2) reimpiego garantito in un ciclo di produzione
- 3) utilizzo diretto senza lavorazioni oltre la normale pratica industriale.
- 4) garanzia di requisiti legali, ambientali e sanitari.

Applicazione della normativa ambientale

La classificazione del fango di dragaggio: da rifiuto a prodotto

Art. 184 ter Cessazione della qualifica di rifiuto

Stabilisce il principio generale secondo cui un fango inizialmente classificato come rifiuto **cessa di esserlo dopo essere stato sottoposto a un'operazione di recupero**. A condizione che il materiale sia destinato a scopi specifici, risponda a requisiti tecnici, trovi un mercato e non comporti impatti negativi sull'ambiente o sulla salute

Art. 184 quater End of Waste

Disciplina la **procedura specifica per la cessazione della qualifica come rifiuto dei fanghi di dragaggio recuperati** (CER 17 05 06) sottoposti a trattamento in impianti o casse di colmata

La filiera industriale ideale

Il riuso dei sedimenti è tecnicamente promettente se integrato nella pianificazione di invaso, industria e territorio

ESTRAZIONE E DISIDRATAZIONE

Sedimenti estratti dall'invaso e disidratati sul posto per risparmio nel trasporto

Operazione eseguita da aziende specializzate in dragaggio, a bacino asciutto con benne ed escavatori o a bacino pieno con pompe sommerse.

I materiali in uscita dal cantiere escono e viaggiano come rifiuti

SEPARAZIONE GRANULOMETRICA

Trasporto nell'impianto più vicino per la separazione di ghiaia, sabbia e limo

Operazione eseguita da aziende specializzate in trattamento rifiuti con impianti autorizzati.

I materiali in uscita dall'impianto sono definiti *End of Waste*

RECUPERO DEL MATERIALE

Vendita di ghiaia e sabbia al settore delle costruzioni e riutilizzo specifico del limo tramite geopolimerizzazione

Processo di geopolimerizzazione e produzione manufatti

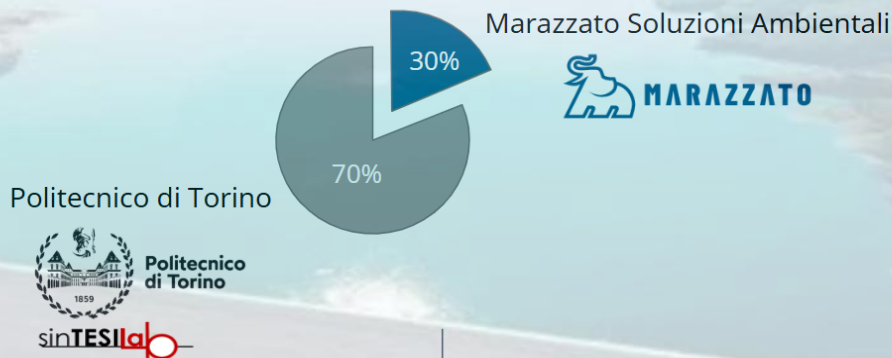
Geopolimeri da fanghi di dragaggio

La ricerca applicata ai bacini della Valle D'Aosta del gestore CVA



Data deposito:
31 Luglio 2024

Domanda di brevetto italiana N. 102024000017923



Industrializzazione:
realizzazione di un
impianto di produzione
manufatti geopolimerici

Applicazioni

91

studi

12

campi di applicazione

36

edilizia

Ambiente & depurazione

Trattamento acque (blu di metilene, ammonio), catalisi per biodiesel.

Edilizia & strutture

Elementi strutturali, *precast*, grandi elementi, riparazioni. Il filone più maturo **(36/116)**

Funzionali avanzate

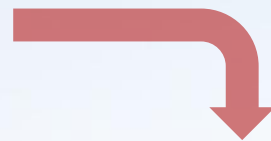
Assorbimento microonde/EMI, sensori di temperatura e *self-healing*, isolamento termico.

Frontiera

Ceramici tecnici ad alta T (*celsian*, Ti-Si-C), *habitat* spaziali, scorie radioattive.

Obiettivo strategico, “di territorio”

Utilizzo completo dello scarto



... realisticamente, un progressivo aumento dell' utilizzo dello scarto



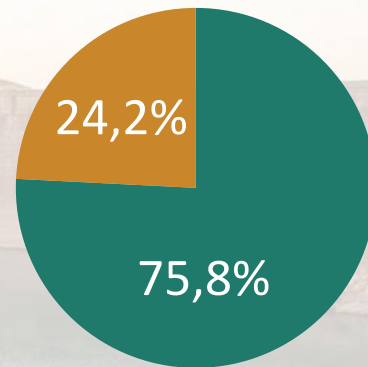
Elementi stampati in 3D

~76% — frazioni fini, adatte all'estrusione



Conglomerati / blocchi

~24% — frazioni grossolane, per blocchi e unità modulari



- Stampa 3D (4 classi più fini)
- Conglomerati (frazioni grossolane)

Formulazione di miscele

Formulazione di nuove miscele per materiali alcali attivati a base di limi di dragaggio

Obiettivi: ottenere **materiali sostenibili** (sempre più sostenibili) **e sistemi innovativi**

Differenti
miscele

Ottimizzazione

Trasferimento

TRASFERIRE LA TECNOLOGIA
NON I MATERIALI

Mix
Design

Cambio
di
paradigma

GOAL
Miglioramento
prestazionale

Le Fasi

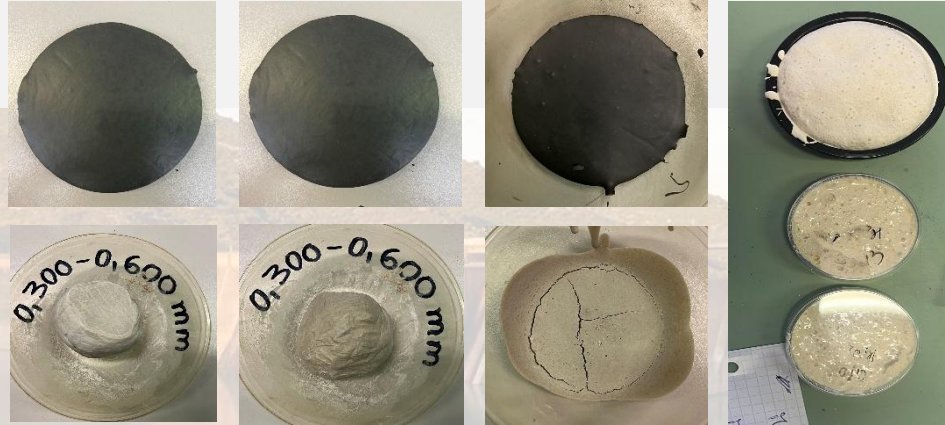
Caratterizzazione

Confezionamento di provini per test su proprietà meccaniche.



Mix design

Realizzazione di serie di miscele con differenti rapporti di componenti *



*MPS / Limi / Scarto
Metacaolino
Soluzione attivante
Acqua
(eventuali additivi)

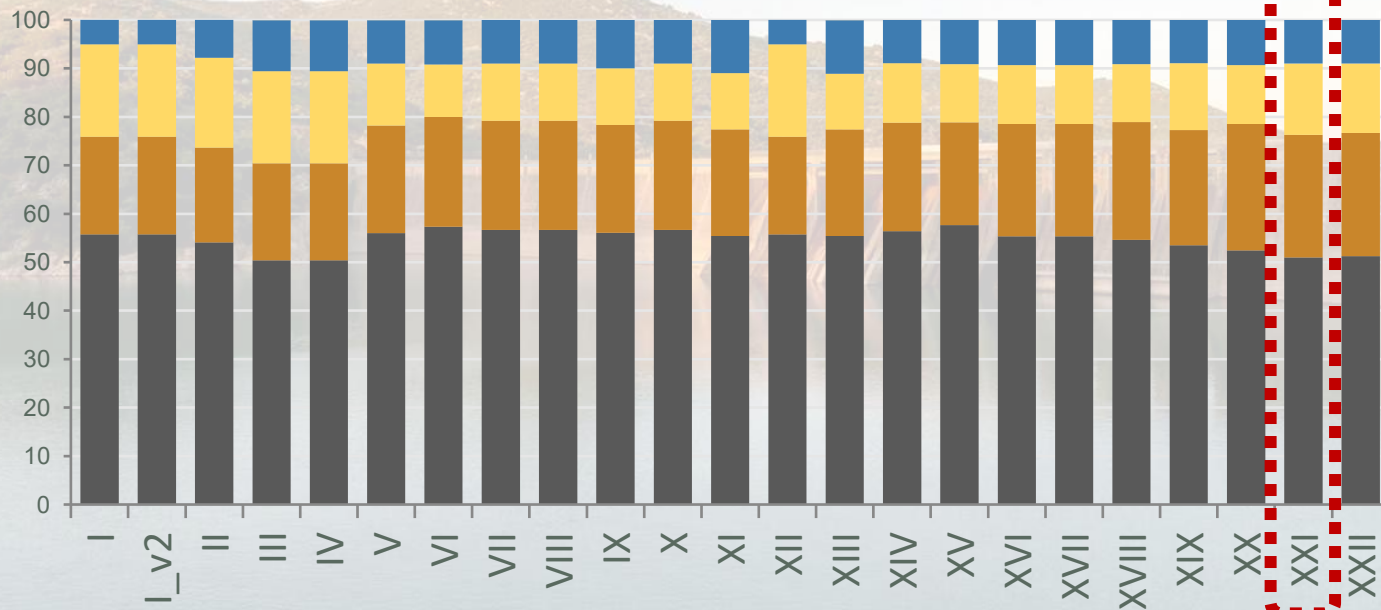
Ottimizzazione di miscele

Dai risultati, variazioni di *mix design* per raggiungere le proprietà desiderate.

Valutazione comparativa

Formulazioni di serie per la valutazione speditiva del comportamento* di miscele

% componente



* Reologia
Lavorabilità
Stabilità
Tempo "aperto"

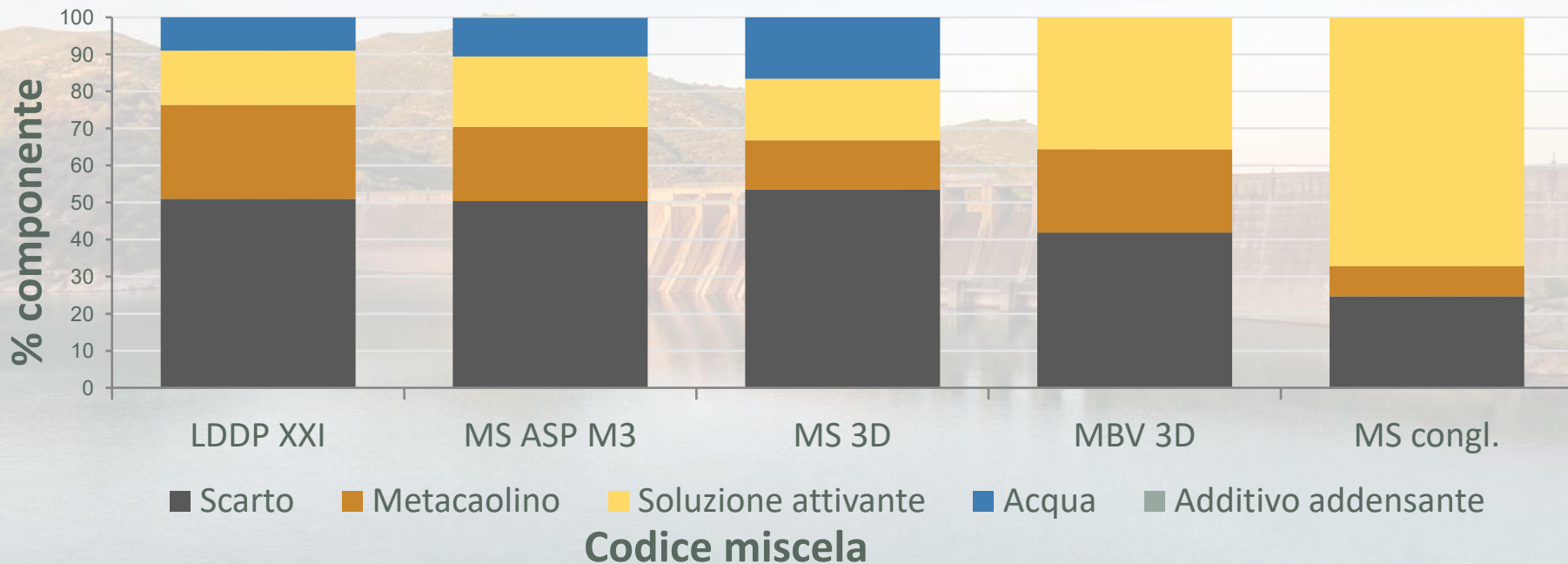
■ Additivo addensante
■ Acqua
■ Soluzione attivante
■ Metacolino
■ Scarto

Miscela con
caratteristiche
adequate

Caratterizzazione di miscele piu'promettenti per ogni serie

La selezione delle miscele per la caratterizzazione meccanica

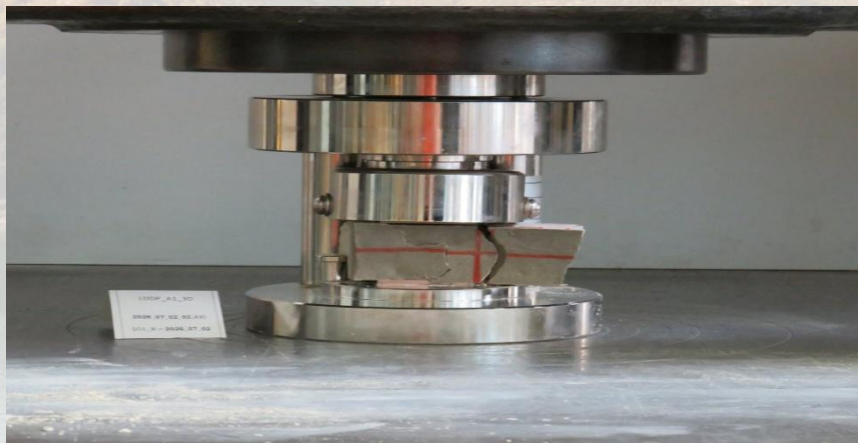
Grafico per la comparazione delle composizioni (percentuale in peso)



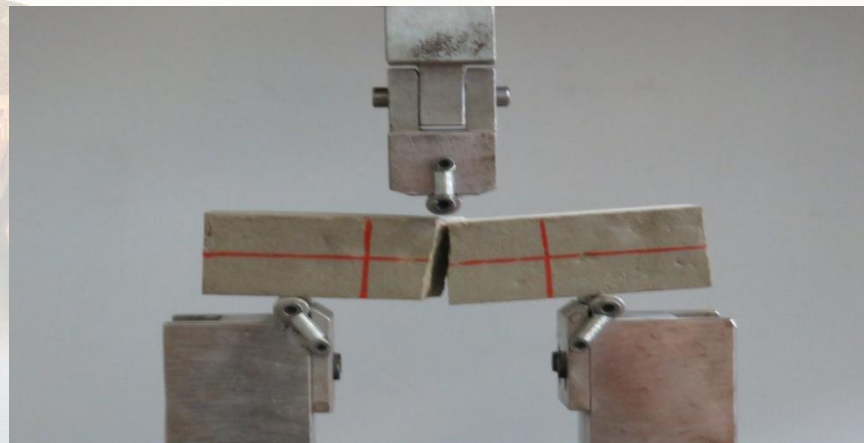
Caratterizzazione di miscele piu'promettenti per ogni serie

Caratterizzazione meccanica dei provini *normalizzati*

Prove di caratterizzazione svolte su provini di dimensioni standard, definendo cicli di carico modificati in funzione dei valori presunti con riferimento alla Norma UNI EN 196-1 «Metodi di prova per la determinazione della resistenza meccanica a flessione e a compressione di malte di cemento».



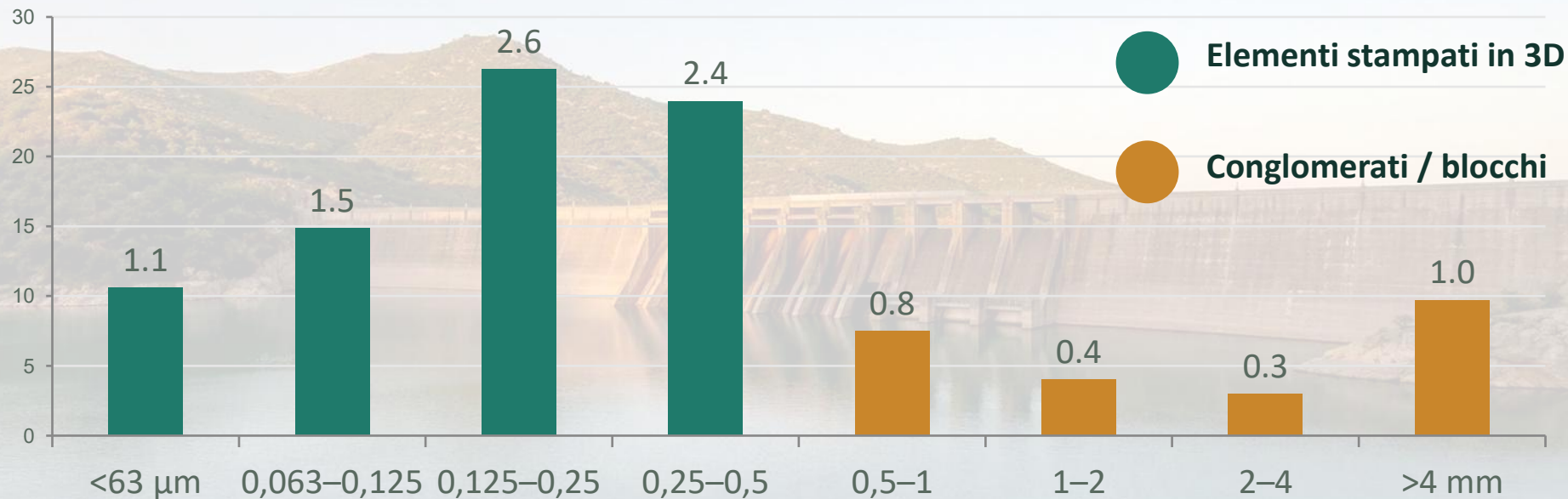
Prova a Compressione



Prova a Flessione (3 punti)

Utilizzo di differenti fusi granulometrici

Distribuzione granulometrica dei limi di dragaggio prelevati dalla Diga di Perrères (Aosta)



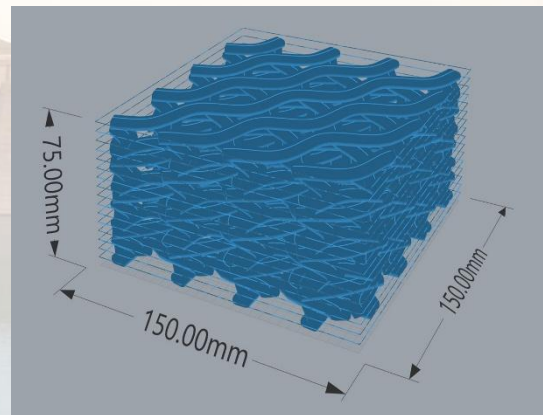
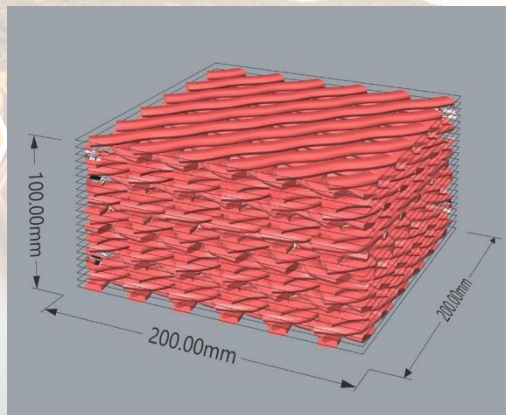
Casi studio: 1

TPMS "Superfici minime *triplamente* periodiche"

Prime prove esplorative per la realizzazione di elementi modulari con le miscele oggetto di studio, mediante applicazione di stampa 3D

Innovazioni emergenti: "mattoni freddi"

Blocco da costruzione la cui struttura interna (geometria a celle) favorisce il raffrescamento per evaporazione



Casi studio: 2

Pavimentazioni per piste ciclabili

Progetto di riqualificazione
delle aree verdi al Parco del
Valentino:

“Torino. Il suo parco. Il suo
fiume: memoria e futuro”.

Stratigrafia delle
pavimentazioni dei percorsi

Alternative sostenibili ai
materiali usati per
progetti virtuosi

Tappetino di usura:
conglomerato con legante alcali-
attivato

Strato drenante:
Pietrisco derivante dallo scarto di
lavorazione del granito

