



Gestione sostenibile delle Terre e Rocce da scavo Strumenti, normative e buone pratiche

Terre e Rocce da scavo e additivi: le sfide del presente e del futuro

Ing. Diego Sebastiani

Amm. Delegato

GEEG startup di Sapienza Università di Roma

Vice Presidente, Comm. Gallerie e Sistemi di scavo Innovativi

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

Roma, 09 Dicembre 2025



Indice

- **Le TRS e gli additivi: opportunità e problematiche**
- **Lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB**
- **Pali, perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM**
- **Conclusioni**
- **Spunti di riflessione**



Le TRS e gli additivi

- non esiste una definizione univoca del termine *additivo*
- diverse tecnologie di scavo richiedono l'utilizzo di *additivi* diversi
- gli *additivi* hanno un ruolo determinante nella buona riuscita delle attività di scavo / perforazione
- le tipologie di *additivi* più idonei, i dosaggi, l'efficacia, i rischi e gli effetti sono direttamente dipendenti dalle specifiche modalità di utilizzo
- la minimizzazione di tempi di lavoro e la massimizzazione delle performance di scavo hanno impatti diretti sulla sicurezza delle lavorazioni e più in generale sulla sostenibilità delle opere



Le TRS e gli additivi

l'utilizzo di additivi:

da elementi prettamente costruttivo a oggetto di progettazione

- possono esserne previsti tipologia e dosaggi necessari
- possono essere confrontate le performance di prodotti o soluzioni tecnologiche differenti
- possono esserne previste le modalità di utilizzo
- possono esserne previsti gli effetti



Le TRS e gli additivi

l'utilizzo di additivi:

da elementi prettamente costruttivo a oggetto di progettazione

- strumenti e metodologie calibrati sul livello di progettazione
- studi multidisciplinari
- studi rappresentativi delle reali condizioni di sito
- studi rappresentativi delle reali condizioni di utilizzo
- integrazione di piani di monitoraggio in corso d'opera



Le TRS e gli additivi nel DPR 120/2017

Le terre e rocce da scavo possono contenere anche i seguenti materiali: calcestruzzo, bentonite, polivinilcloruro (PVC), vetroresina, miscele cementizie e **additivi per scavo meccanizzato** [...]

Tra le operazioni più comunemente effettuate che rientrano nella normale pratica industriale, sono comprese le seguenti:

[...]

la stesa al suolo per consentire l'asciugatura e la maturazione delle terre e rocce da scavo al fine di conferire alle stesse migliori caratteristiche di movimentazione, l'umidità ottimale e favorire l'eventuale biodegradazione naturale degli **additivi utilizzati per consentire le operazioni di scavo**

Qualora per consentire le operazioni di scavo sia previsto l'utilizzo di **additivi** che contengono sostanze inquinanti non comprese nella citata tabella, **il soggetto proponente fornisce all'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e all'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) la documentazione tecnica necessaria a valutare il rispetto dei requisiti di qualità ambientale** di cui all'articolo 4.



Le TRS e gli additivi

Le attività di ingegneria (scavo / perforazione) che prevedono l'utilizzo di additivi sono varie. Le più rilevanti, in funzione dei volumi di terre e rocce da scavo generate e quindi da gestire, sono:

- scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB (Earth Pressure Balance)
- scavo meccanizzato di gallerie con TBM-SS (Slurry Shield)
- scavi e perforazioni con Tecnologie Trenchless (MicroTBM, TOC, Direct Pipe, ...)
- realizzazione di pali e diaframmi



Lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB (Earth Pressure Balance)



Lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB (Earth Pressure Balance)

Utilizzo di agenti condizionanti:

- Agenti schiumogeni (a base di tensioattivi)
- Polimeri
 - per agevolare le operazioni di scavo (anti-clogging, lubrificanti, ...)
 - per agevolare la gestione del terreno scavato (ritentori idrici, ...)
- Fluidi bentonitici



Lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB (Earth Pressure Balance)

Il soggetto proponente fornisce all'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e all'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) **la documentazione tecnica necessaria a valutare il rispetto dei requisiti di qualità ambientale**



Per verificare che siano garantiti i requisiti di protezione della salute dell'uomo e dell'ambiente, ISS e ISPRA prendono in considerazione il contenuto negli additivi delle sostanze classificate pericolose ai sensi del regolamento (CE) n. 1272/2008, relativo alla classificazione, etichettatura ed imballaggio delle sostanze e delle miscele (CLP), al fine di appurare che tale contenuto sia inferiore al «valore soglia» di cui all'articolo 11 del citato regolamento per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale e al «limite di concentrazione» di cui all'articolo 10 del medesimo regolamento per i siti ad uso commerciale e industriale.



L'ISS si esprime entro 60 giorni dal ricevimento della documentazione, previo parere dell'ISPRA. Il parere dell'Istituto Superiore di Sanità è allegato al piano di utilizzo.



Lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB (Earth Pressure Balance)

Gestione terre e rocce da scavo:

**INDIRIZZI METODOLOGICI E
VALUTAZIONI PROGRAMMATICHE
SUGLI STUDI SPERIMENTALI E SUL
PROTOCOLLO OPERATIVO DI
CORSO D'OPERA**

*(Redatto con la collaborazione di IRSA-CNR e
ISP-CNR)*

PFTE

- Relazione metodologia

PD/Contratto d'Appalto

- Indirizzi operativi per la predisposizione degli studi di condizionamento ed eco-tossicologica

PE

- Studio di condizionamento ed eco-tossicologico sito specifico

Corso d'opera

- Applicazione del protocollo operativo

*Intervento Ing. Daniela Putzu (Italferr) Convegno Ordine degli Ingegneri di Roma:
Progettazione e realizzazione delle gallerie ferroviarie: processi virtuosi di economia
circolare e di valorizzazione del territorio*



Lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB (Earth Pressure Balance)





Lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB (Earth Pressure Balance)

In questo momento:

- **+50 TBM**
- **LUNGHEZZA DI GALLERIA: +400 KM**
- **METRI CUBI DI SCAVO: +35 milioni m³**
- **SMARINO: +70 milioni ton**

+ Nuova Santomarco, le Metropolitane (Milano, Napoli, Roma, ...), ...





Lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB (Earth Pressure Balance)

Le evidenze attuali nella gestione terre e rocce da scavo:

- compatibilità dei protocolli di monitoraggio con l'operatività del cantiere
- sostanziale coerenza dei risultati emersi dagli studi effettuati in fase di progettazione con le evidenze riscontrate in campo durante la realizzazione
- importanza di misure ridondanti per avere un quadro d'insieme più ampio possibile per superare disomogeneità e dispersione sperimentale
- importanza dell'attento controllo di:
 - campionamento
 - modalità di preparazione dei campioni
 - esecuzione dei test



Lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB (Earth Pressure Balance)

Le sfide attuali nella gestione terre e rocce da scavo:

- costante evoluzione dei prodotti e necessità di continuo aggiornamento
- schede di sicurezza non sempre complete, aggiornate e coerenti
- necessità (in alcuni casi) di superare limiti dei protocolli operativi basati solo su test ecotossicologici
 - zone di transizione
 - formazioni geologicamente complesse
 - presenza di gas



Lo scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB (Earth Pressure Balance)

Le sfide attuali nella gestione terre e rocce da scavo:

- previsione delle caratteristiche geotecniche (consistenza, contenuto d'acqua, ...)
- conferire alle TRS *migliori caratteristiche di movimentazione, l'umidità ottimale e favorire l'eventuale biodegradazione naturale degli additivi*
 - trattamenti
 - asciugatura
- ampliamento dello spettro delle modalità di riutilizzo



Pali, perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM



Pali, perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM

Utilizzo di fluidi di perforazione:

- fluidi bentonitici
- fluidi polimerici
- ulteriori additivi in particolari circostanze: disperdenti, lubrificanti, ...

Utilizzo di additivi in fase di separazione:

- coagulanti
- flocculanti



Pali

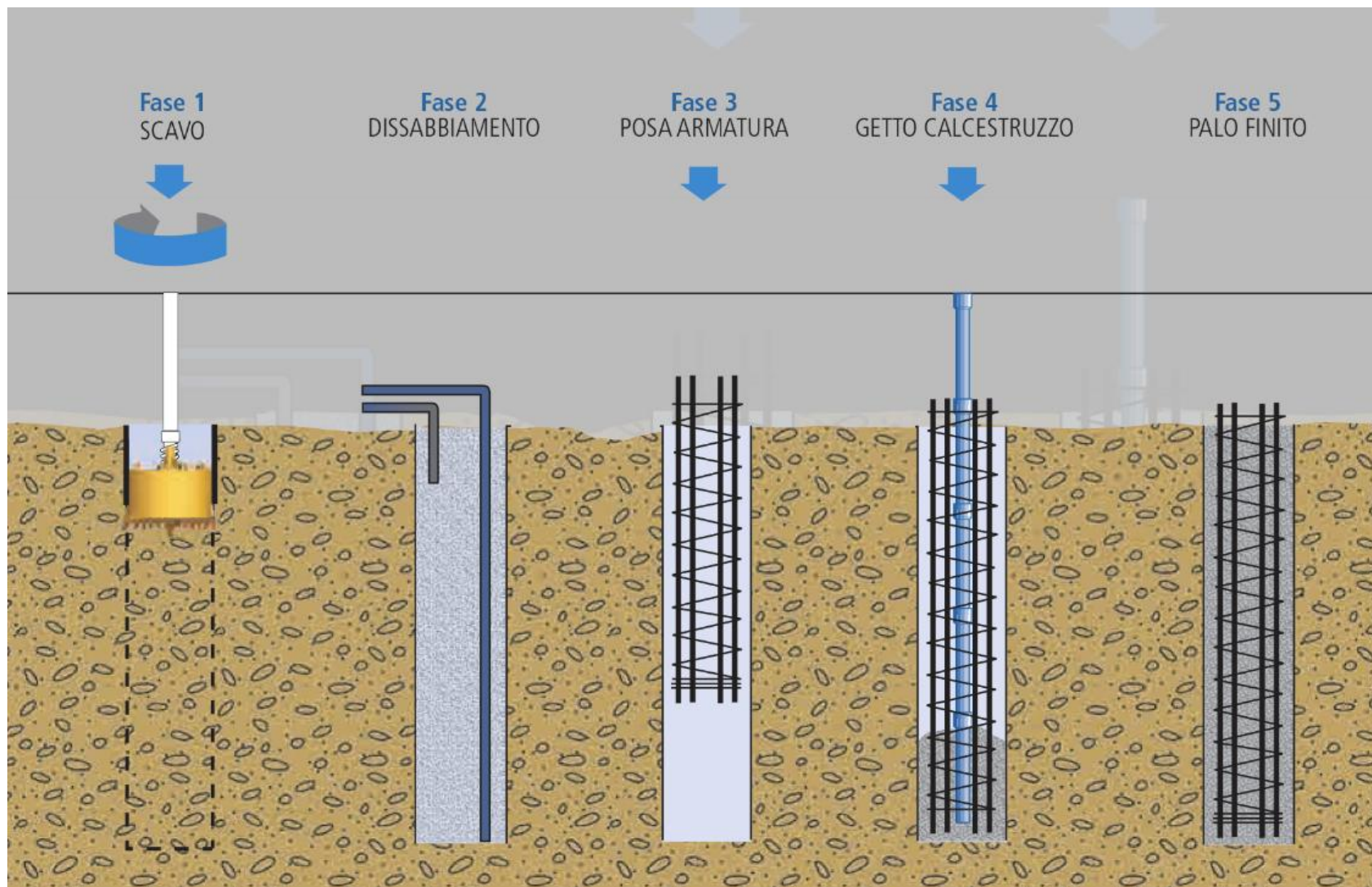
Utilizzo di fluidi di perforazione:

- fluidi bentonitici
- fluidi polimerici
- ~~— ulteriori additivi in particolari circostanze: disperdenti, lubrificanti, ...~~

~~Utilizzo di additivi in fase di separazione:~~

- ~~— coagulanti~~
- ~~— flocculanti~~

Pali





Pali

Utilizzo di fluidi di perforazione:

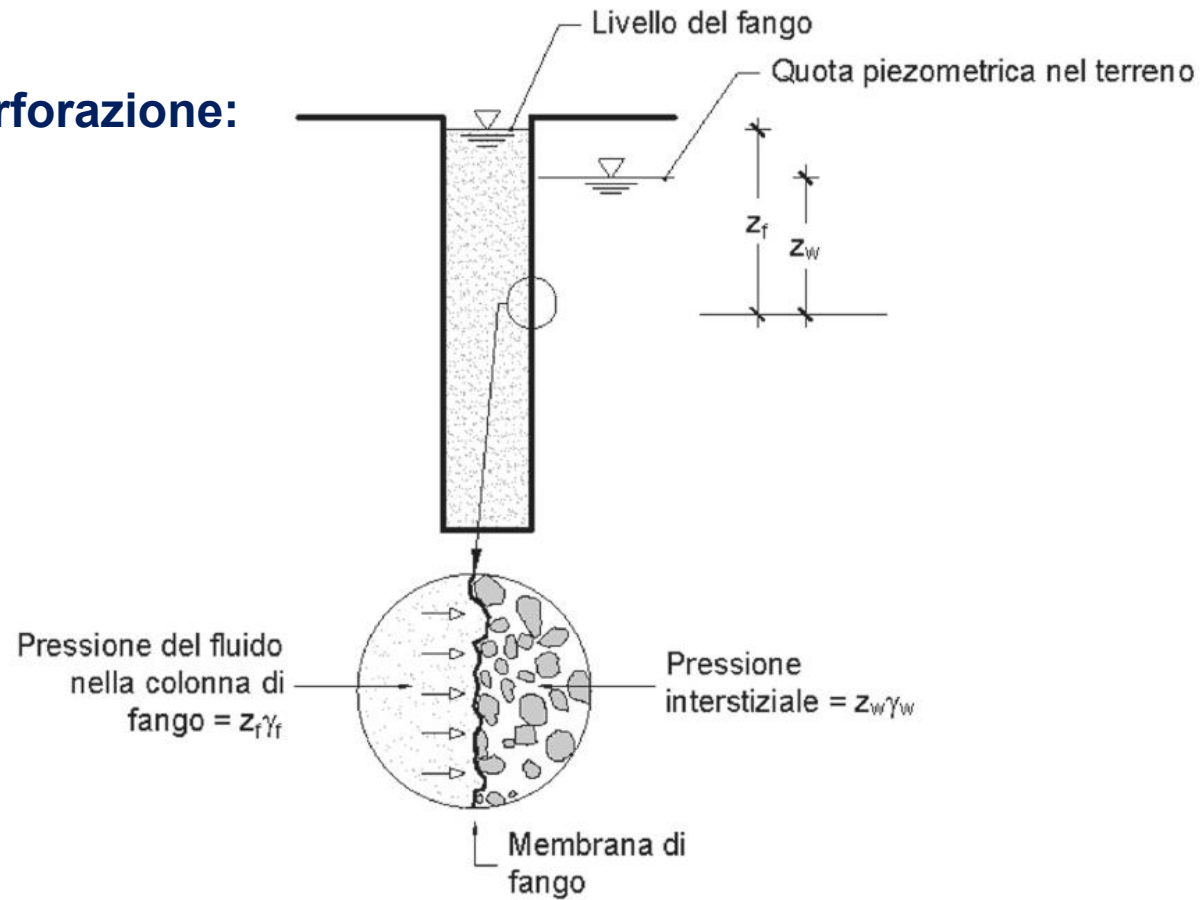
- fluidi bentonitici
- fluidi polimerici



Pali

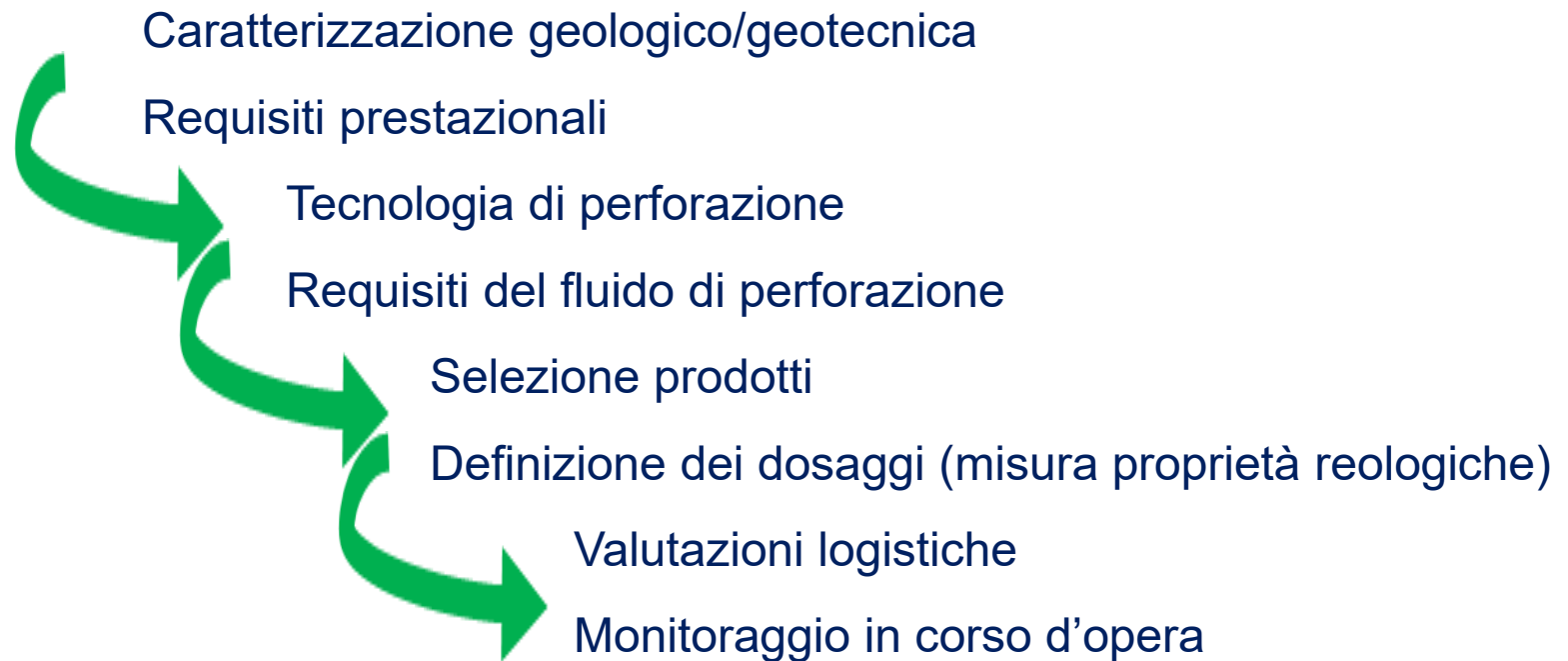
Utilizzo di fluidi di perforazione:

- fluidi bentonitici



Utilizzo di fluidi di perforazione:

- fluidi bentonitici





Pali

Utilizzo di fluidi di perforazione:

- fluidi bentonitici

Terre e Rocce da scavo

Le terre e rocce da scavo possono contenere anche i seguenti materiali: calcestruzzo, **bentonite**, polivinilcloruro (PVC), vetroresina, miscele cementizie e additivi per scavo meccanizzato [...]



Pali

Utilizzo di fluidi di perforazione:

- fluidi bentonitici

Terre e Rocce da scavo

La bentonite è un materiale commerciale costituito prevalentemente da minerali argillosi naturali appartenenti al gruppo dei fillosilicati, famiglia delle smectiti, caratterizzati da struttura cristallina stratificata, elevata capacità scambio cationico

- *le tracce residue di fluidi bentonitici nelle TRS sono in genere limitate*
- *la quantità di bentonite presente nel fluido è generalmente modesta (2-6%)*



Pali

Utilizzo di fluidi di perforazione:

- fluidi bentonitici

Terre e Rocce da scavo

la bentonite può contenere naturalmente metalli

Il rispetto dei requisiti di qualità ambientale di cui all'articolo 184-bis, comma 1, lettera d), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti, è garantito quando il contenuto di sostanze inquinanti all'interno delle terre e rocce da scavo, comprendenti anche gli additivi utilizzati per lo scavo, sia inferiore alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC), di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, con riferimento alla specifica destinazione d'uso urbanistica, o ai valori di fondo naturali.

Utilizzo di fluidi di perforazione:

- fluidi polimerici

un polimero consiste in un numero di molecole individuali chiamate monomeri, che possono essere unite per formare catene di diverse lunghezze e configurazioni.

Polimeri di origine naturale:

- (bio)polimeri naturali derivanti da processi di fermentazione (Xanthan Gum)
- Polimeri derivati della Cellulosa (CMC, PAC, ...)
- Altri polimeri naturali (Guar Gum, ...)
- Polimeri derivanti dalla Lignina (Lignosulfonati, ...)

Polimeri di origine sintetica:

- Polimeri derivati dagli idrocarburi (Poliacrilammidi, ...)



Pali

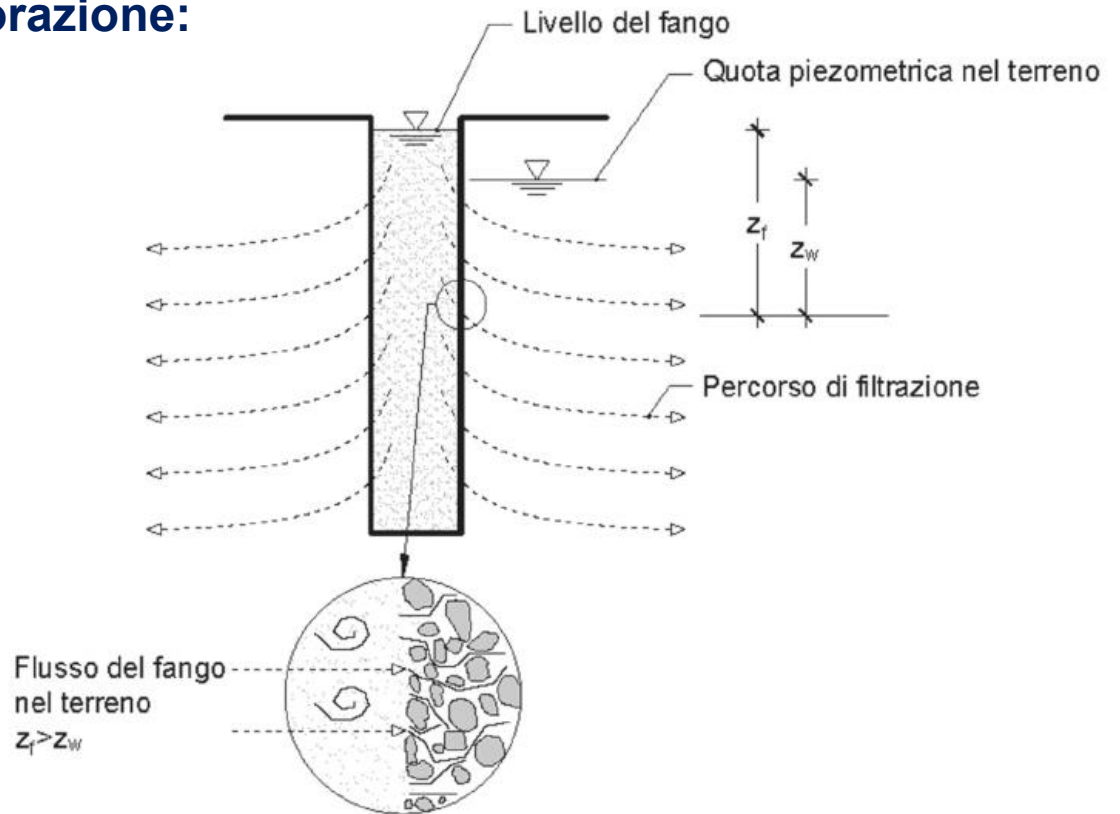
Utilizzo di fluidi di perforazione:

- fluidi polimerici
- non hanno lo stesso comportamento reologico dei fluidi bentonitici
- non sempre possono efficacemente sostituire i fluidi bentonitici
- non devono essere utilizzati con le stesse strumentazioni (sistema di miscelazione) utilizzati per i fluidi bentonitici

Pali

Utilizzo di fluidi di perforazione:

- fluidi polimerici





Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM

Utilizzo di fluidi di perforazione:

- fluidi bentonitici
- fluidi polimerici
- ulteriori additivi in particolari circostanze: disperdenti, lubrificanti, ...

Utilizzo di additivi in fase di separazione:

- coagulanti
- flocculanti



Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM

Utilizzo di fluidi di perforazione:

Fluido di perforazione: (per qualsiasi tecnologia) generalmente privo di additivi per massimizzare l'effetto di pulizia del fronte scavo e non impattare sui processi di rimozione dei solidi sospesi.

Fluido di lubrificazione: (nel caso di MicroTBM) fluido di base bentonitico con additivi anti-clogging / lubrificanti e atti alla riduzione della attrito di contatto terreno - calcestruzzo.

L'utilizzo di fluidi polimerici in alternativa ai più comuni fluidi bentonitici è limitato a pochissimi casi particolari di perforazioni trenchless



Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM

Terre e Rocce da scavo

Le terre e rocce da scavo possono contenere anche i seguenti materiali: calcestruzzo, **bentonite**, polivinilcloruro (PVC), vetroresina, miscele cementizie e additivi per scavo meccanizzato [...]

Va posta attenzione sull'eventuale utilizzo di additivi per migliorare le performance dei fluidi di perforazione (anti-clogging, lubrificanti, ...)

FANGO DI PERFORAZIONE
(FLUIDO DI PERFORAZIONE + TRS)

MICRO TBM

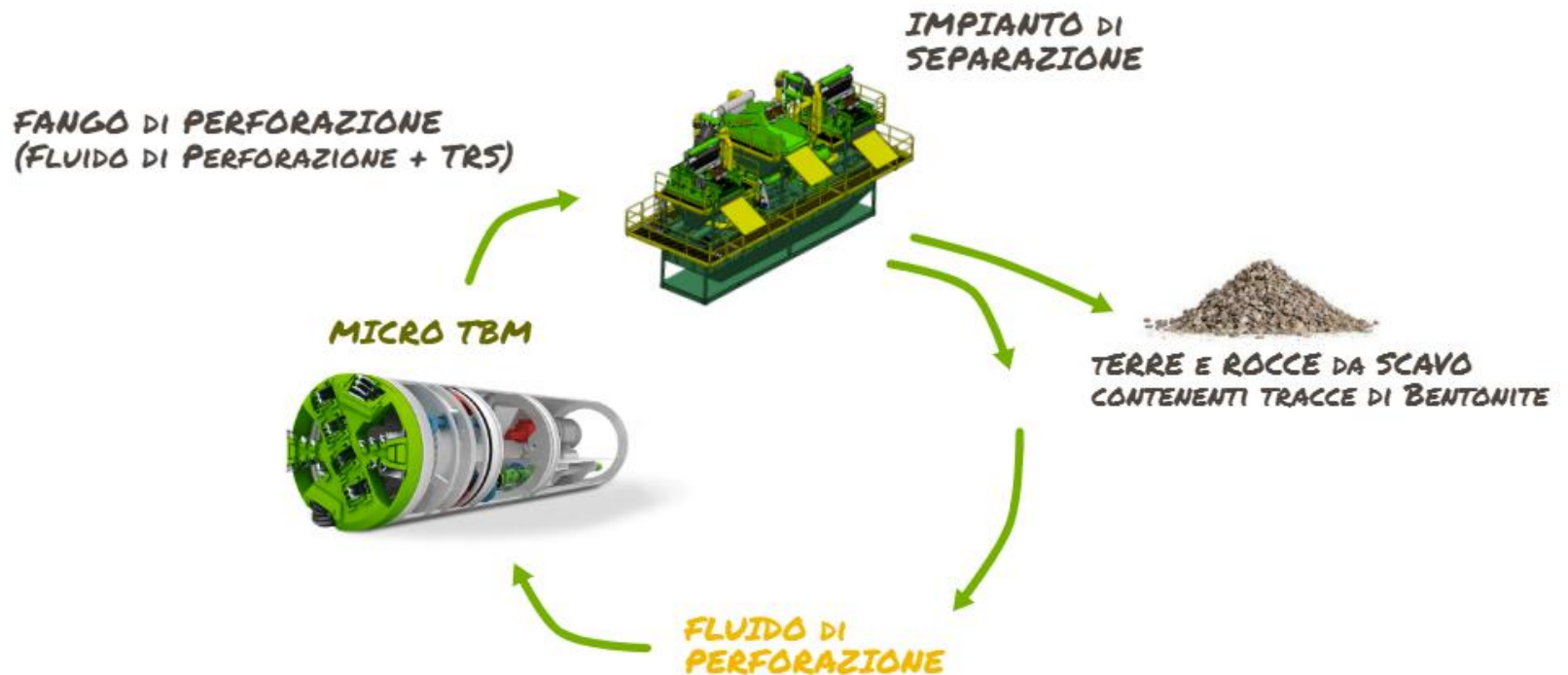


FLUIDO DI
PERFORAZIONE



Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM

Processo di scavo ?



Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM

Processo di scavo



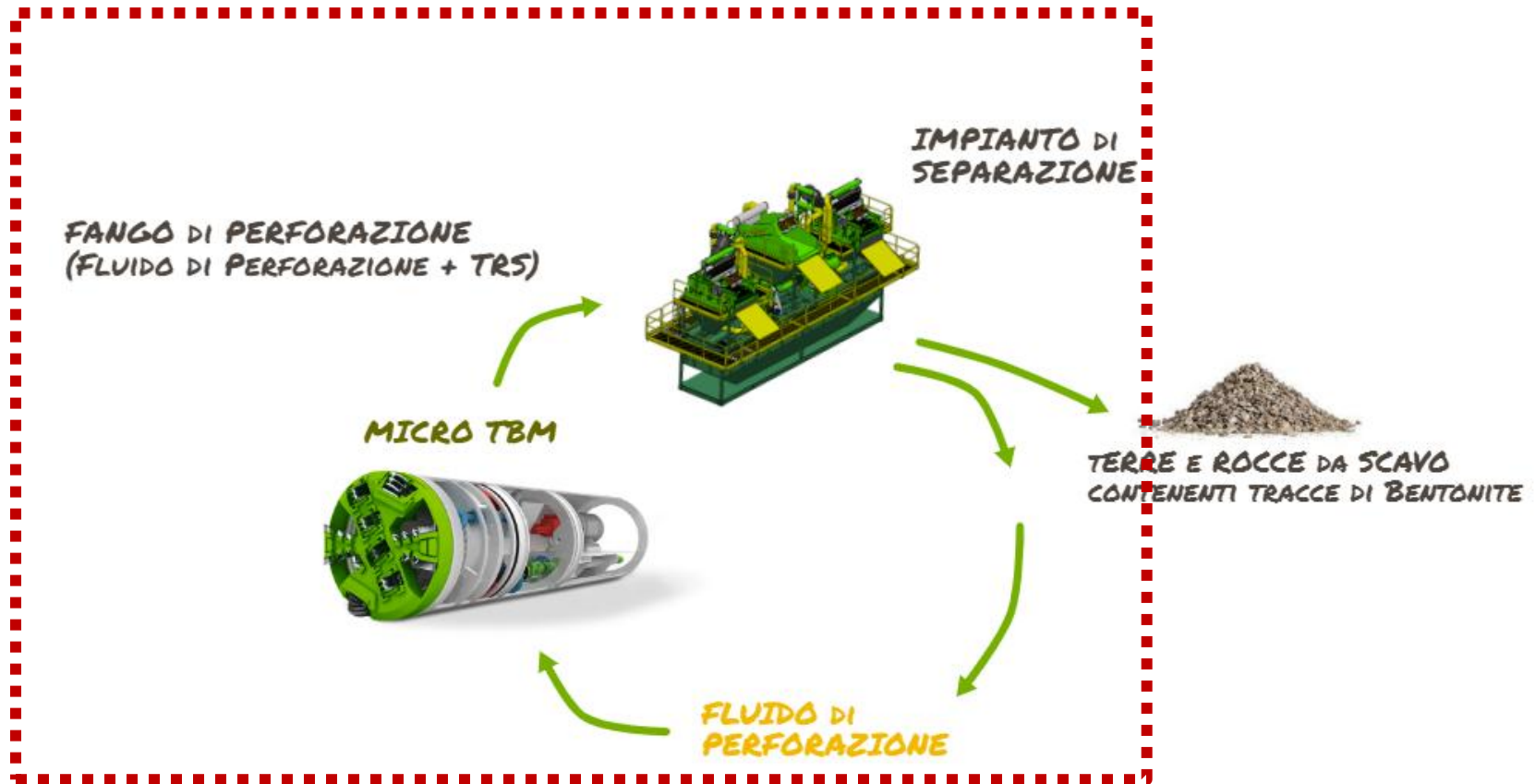
- sono costituiti da principalmente da acqua (+ bentonite + TRS)
- non ci si vuole disfare dei fanghi di perforazione
- non li si può riutilizzare né si intende farlo se non tramite processi (separazione) che ne modificano significativamente le caratteristiche/proprietà
- per i fanghi esistono codici EER

È ragionevole immaginare che i materiali di risulta del processo di perforazione (quindi creazione di un cavo rimuovendo terreno) siano i fanghi (che utilizzo per facilitare le operazioni di scavo e per trasportare all'esterno le TRS)?



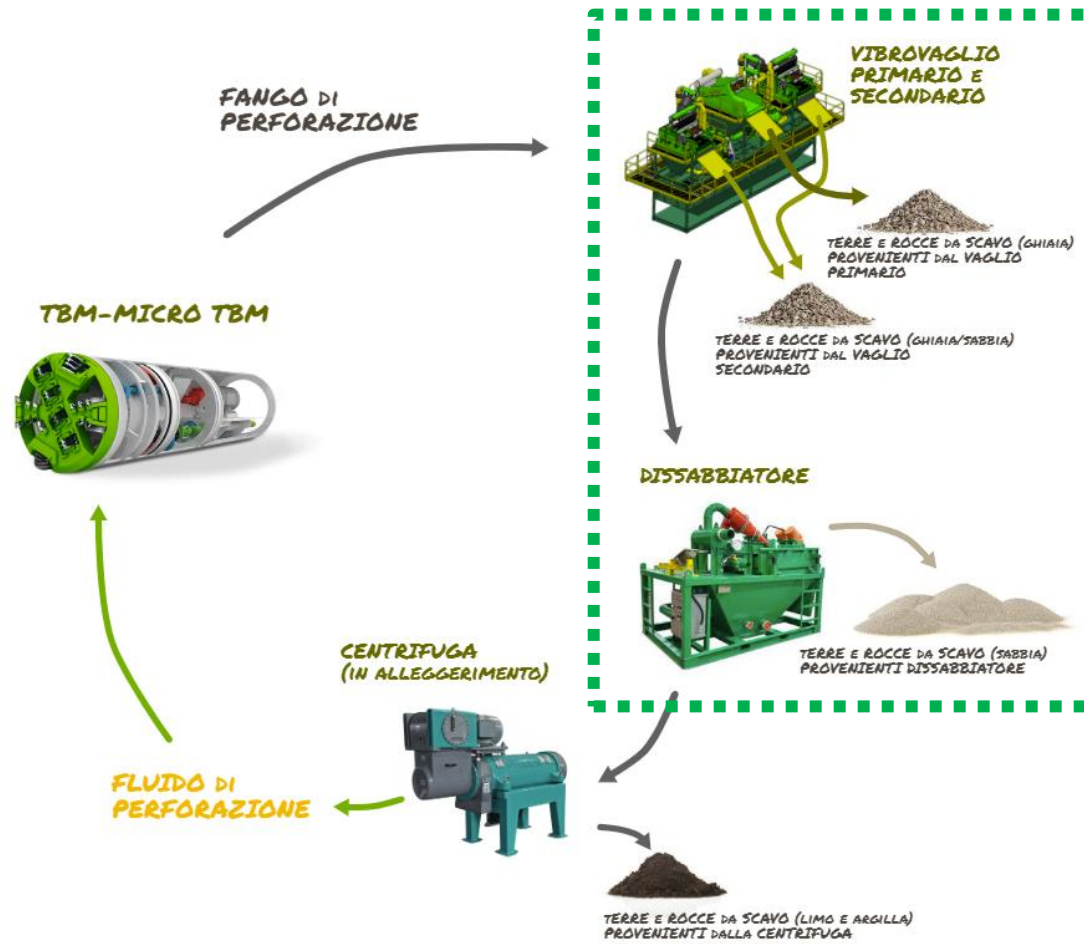
Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM

Processo di scavo





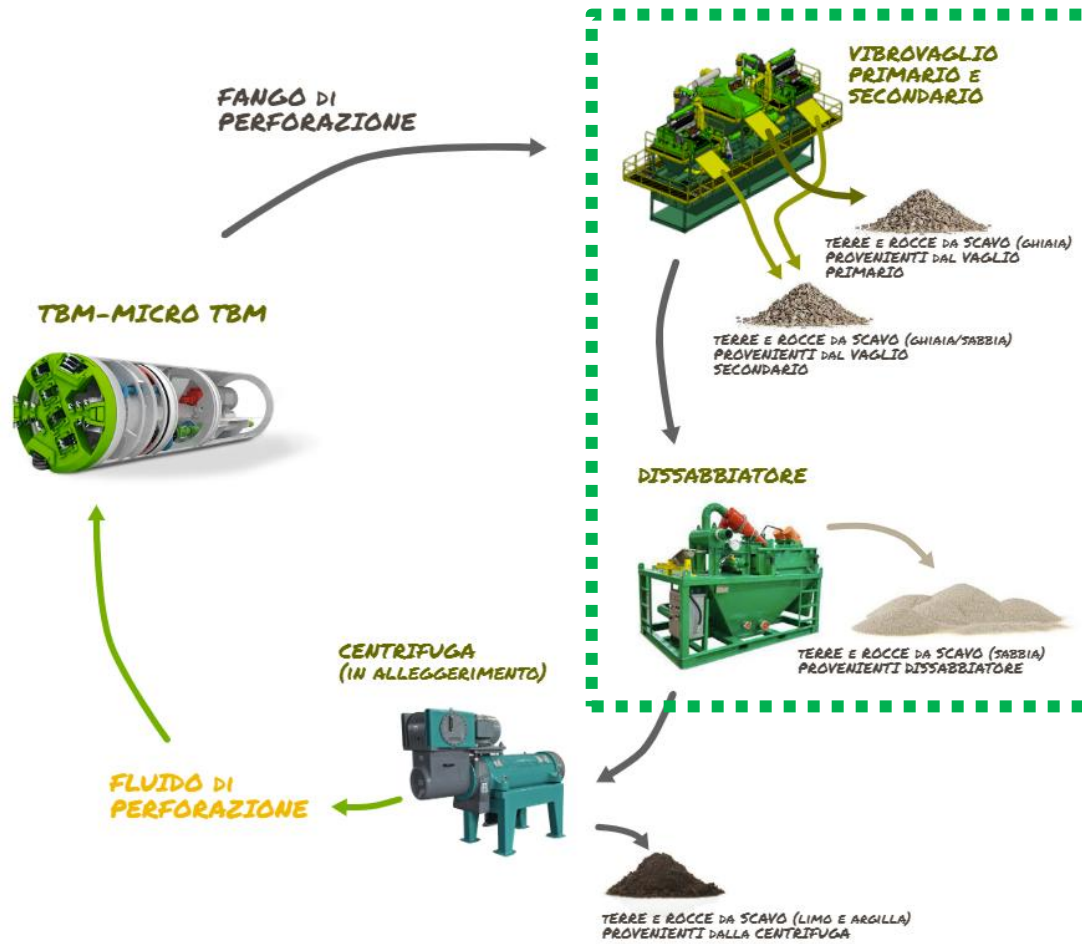
Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM



No additivi

Parte del processo di scavo

Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM



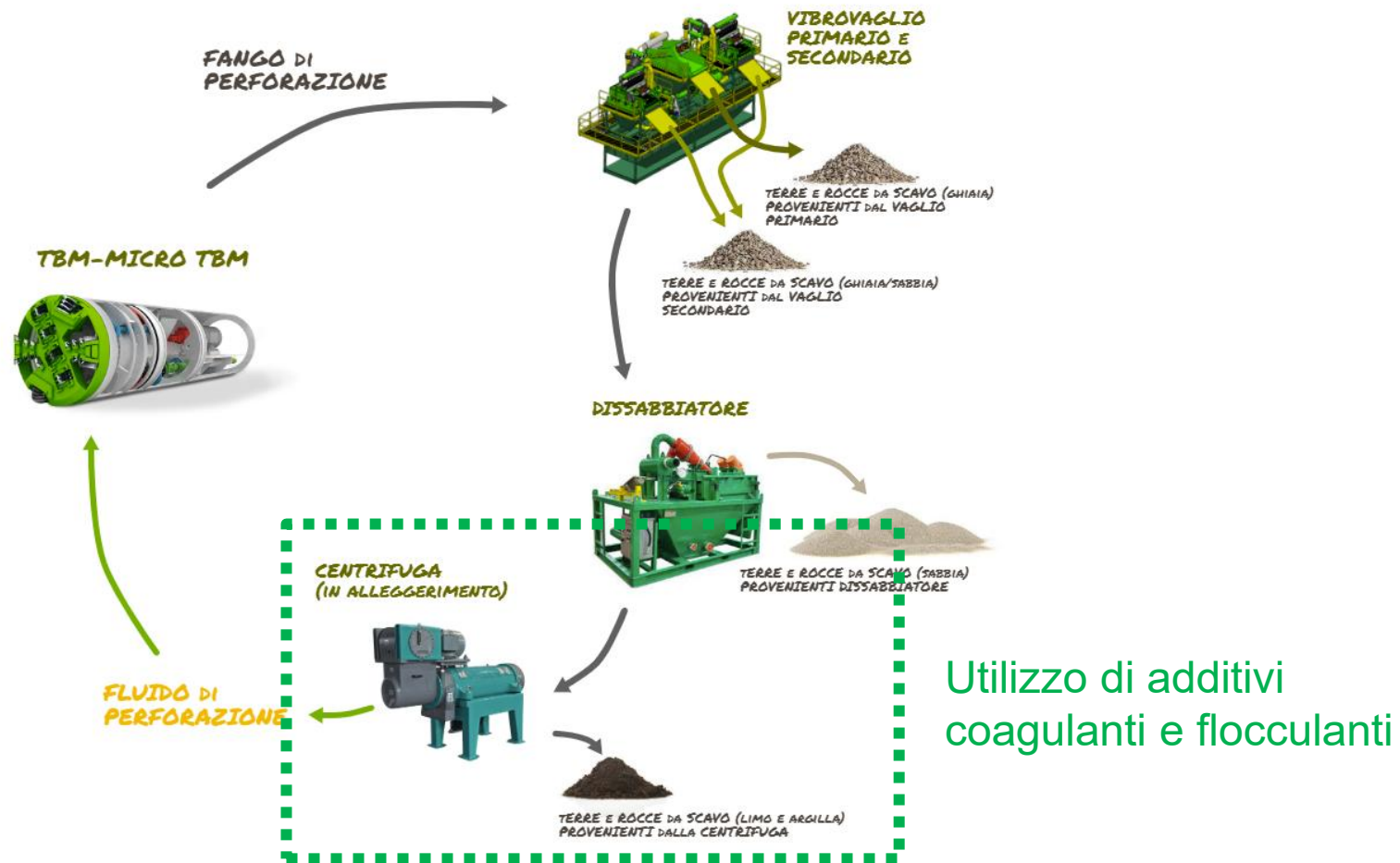
No additivi

Tra le operazioni più comunemente effettuate che rientrano nella **normale pratica industriale**, sono comprese le seguenti:

- la **selezione granulometrica** delle terre e rocce da scavo, con l'eventuale eliminazione degli elementi/materiali antropici;
- [...]



Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM





Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM

Principali flocculanti

Poliacrilammidi (PAM)

Anioniche: adatte per fanghi con particelle a carica positiva o neutra.

Cationiche: utilizzate quando le particelle hanno carica negativa.

Non ioniche: impiegate in condizioni neutre o quando si vuole evitare interazioni elettrostatiche forti.

Polielettroliti sintetici

Derivati da acrilammide e altri monomeri funzionalizzati.

Possono essere formulati per avere pesi molecolari e cariche specifiche in base al tipo di fango.

Flocculanti naturali

Amido modificato, gomma di guar, chitosano – meno comuni ma utilizzati in particolari contesti.



Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM

Principali coagulanti

Sali di alluminio

- Alluminio solfato ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) – comunemente noto come allume.
- Policloruro di alluminio (PAC) – più efficace e stabile rispetto all'allume, spesso usato in ambienti con pH variabile.

Sali di ferro

- Cloruro ferrico (FeCl_3)
- Solfato ferroso (FeSO_4)

Questi coagulanti sono particolarmente efficaci in presenza di elevate concentrazioni di solidi sospesi.

Coagulanti organici

- Polidiammine e poliammine – utilizzati in alcune formulazioni per migliorare la compatibilità con altri additivi.



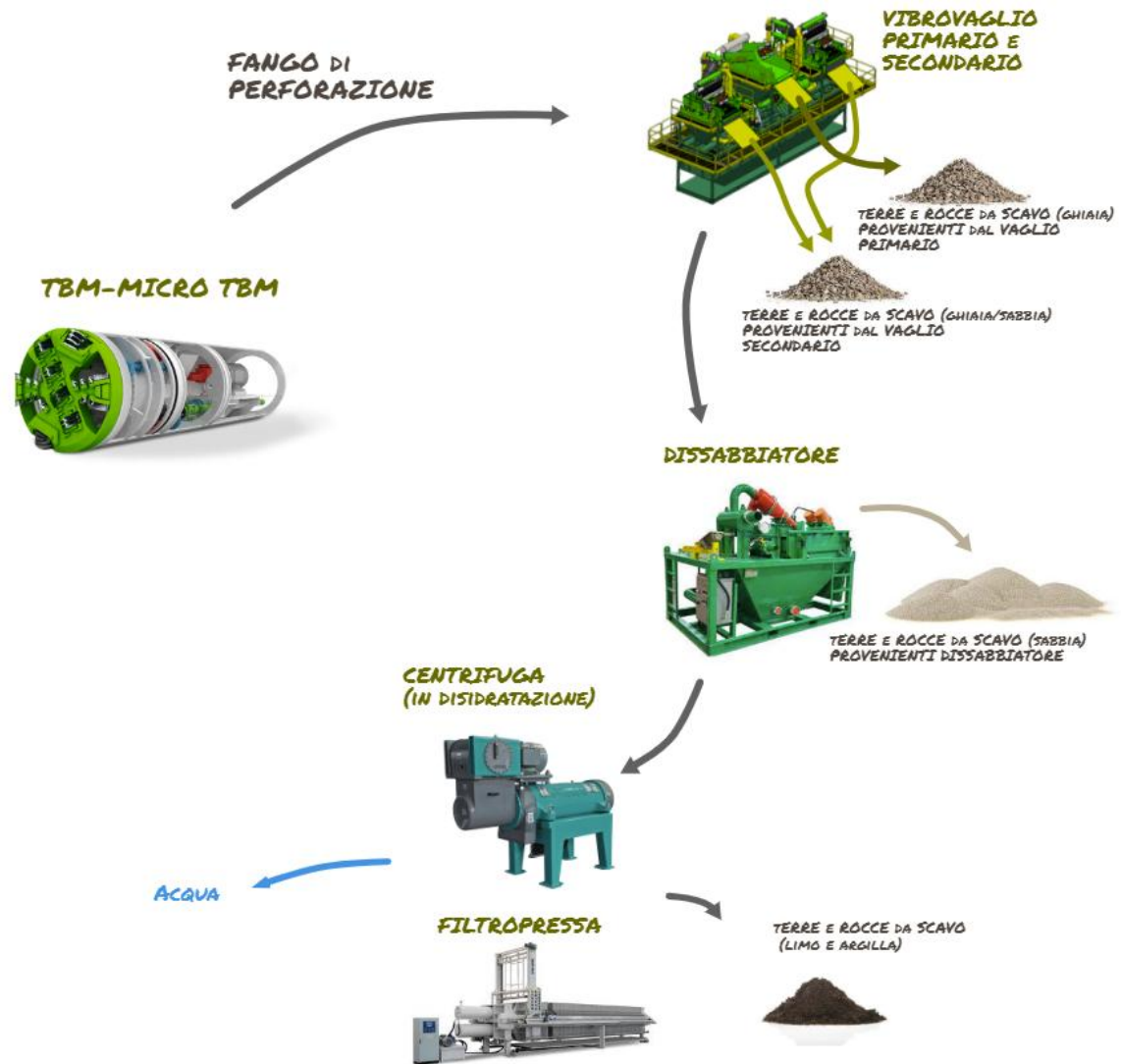
Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM

Terre e Rocce da scavo





Perforazioni trenchless, Slurry Shield TBM





Conclusioni

Gli additivi sono un elemento fondamentale per la buona riuscita di una attività di scavo in termini di:

- performance di scavo
- gestione delle terre e rocce da scavo
- sicurezza delle maestranze
- tempi
- costi
- implicazioni logistiche
- impatti e di sostenibilità complessiva



Conclusioni

Gli additivi sono un elemento fondamentale per la buona riuscita di una attività di scavo

Il loro utilizzo non è più un elemento costruttivo, ma ha implicazioni profonde su diversi elementi progettuali

Il numero di progetti che coinvolgono attività di scavo e più in generale l'utilizzo del sotterraneo è in costante aumento

Il numero, la tipologia, le modalità di utilizzo degli additivi nelle attività di scavo è enorme, variegato e in continuo aumento, serve collaborazione, trasparenza, un approccio multidisciplinare



Conclusioni

Lo studio dell'utilizzo di additivi nelle attività di scavo:

- deve essere approfondito nel corso dello sviluppo del progetto fino alle fasi realizzative in modo proporzionato/calibrato
- non può prescindere da una conoscenza specifica degli additivi utilizzati, della loro composizione chimica e delle modalità di utilizzo
- deve replicare quanto più fedelmente possibile, modalità di utilizzo e dosaggi effettivi in sito
- deve essere seguito da una attenta fase di monitoraggio in corso d'opera



Conclusioni

- la normativa, per quanto dettagliata e in costante aggiornamento, non può dirimere ogni fattispecie né essere esaustiva; occorre applicare una interpretazione estensiva guidata dai principi e dal buon senso
- sulla base dell'ultima bozza disponibile del nuovo Regolamento, non ci si aspetta rilevanti modifiche rispetto alle attuali prassi consolidate sviluppate per grandi opere / cantieri (principalmente TBM-EPB); sarà importante capire se e in che modo applicare tali buone pratiche ai cantieri medio/piccoli e alle tecnologie di scavo meno diffuse



Spunti di riflessione

- **stiamo imparando tanto**, stiamo acquisendo una mole rilevante di dati, stiamo correlando in modo sempre più solido le attività di laboratorio a quanto succede in sito; è fondamentale sfruttare questo periodo di grandi investimenti in infrastrutture in sotterraneo per acquisire conoscenze
- **stiamo generando ingenti volumi di TRS**, serve continuare a pensare a nuove, più virtuose, circolari e sostenibili modalità di riutilizzo per ridurre gli impatti sui territori, i tempi, i costi e i rischi connessi alla realizzazione delle opere; questo periodo può rappresentare un banco di prova importante
- **ogni processo, modalità di progettazione e di utilizzo di additivi e di gestione delle terre e rocce da scavo è guidato da persone, serve investire nella formazione perché si abbia conoscenza e consapevolezza nell'operare**



References

Position Paper AIS: Il recupero delle terre e rocce da scavo

<https://infrastrutture sostenibili.org/practice/pp-10-il-recupero-delle-terre-e-rocce-da-scavo/>

Prassi di Riferimento UNI (IATT): Requisiti e raccomandazioni per la gestione dei fanghi bentonitici nelle lavorazioni trenchless

Pubblicazioni GEEG / Sapienza Università di Roma

<https://www.geeg.it/services/pubblicazioni/>



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Ing. Diego Sebastiani
diego.sebastiani@geeg.it - +39 3343595775

