



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI  
 MESSA IN SICUREZZA DEL SISTEMA ACQUEDOTTISTICO  
 DEL PESCHIERA PER L'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO  
 DI ROMA CAPITALE E DELL'AREA METROPOLITANA

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO ING. PhD MASSIMO SESSA

SUB COMMISSARIO ING. MASSIMO PATERNOSTRO

**aceq**  
 acqua  
 ACEA ATO 2 SPA



**IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**

Ing. PhD Alessia Delle Site


**SUPPORTO AL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**

Dott. Avv. Vittorio Gennari

Sig.ra Claudia Iacobelli

Ing. Barnaba Paglia

**aceq**  
 Ingegneria  
 e servizi



**CONSULENTE**

Ing. Biagio Eramo

ELABORATO  
 A194PD S8 R003 4

COD. ATO2 APE10116

DATA **DICEMBRE 2019**      SCALA

Progetto di sicurezza e ammodernamento  
 dell'approvvigionamento della città  
 metropolitana di Roma  
 "Messa in sicurezza e ammodernamento del sistema  
 idrico del Peschiera",  
 L.n.108/2021, ex DL n.77/2021 art. 44 Allegato IV

AGG. N.	DATA	NOTE	FIRMA
1	MAR-20	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
2	GEN-21	AGGIORNAMENTO CARTIGLIO	
3	SETT-21	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
4	OTT-22	AGGIORNAMENTO UVP	
5			
6			
7			

**NUOVO TRONCO SUPERIORE ACQUEDOTTO  
 DEL PESCHIERA  
 dalle Sorgenti alla Centrale di Salisano**

CUP G33E17000400006

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TEAM DI PROGETTAZIONE**

**CAPO PROGETTO**  
 Ing. Angelo Marchetti

**ASPETTI AMBIENTALI E COORDINAMENTO SIA**  
 Ing. Nicoletta Stracqualursi

**Hanno collaborato:**  
 Ing. Geol. Eliseo Paolini  
 Ing. Viviana Angeloro  
 Paes. Fabiola Gennaro



PARTE 8

**STUDIO SPERIMENTALE PER LA  
 VALUTAZIONE DEI DOSAGGI DEGLI AGENTI  
 CHIMICI PER LO SCAVO MECCANIZZATO  
 DELLE GALLERIE**

**CONSULENTI:** GEEG – Geotechnical & Environmental Engineering Group



# GEEG

GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING GROUP

Startup di



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

*“Studio e sviluppo di attività sperimentali sugli agenti chimici per la valutazione dei dosaggi necessari allo scavo meccanizzato di gallerie per il supporto alla redazione del piano di utilizzo delle terre e rocce da scavo per la realizzazione del Nuovo Tronco Superiore dell’Acquedotto Peschiera”*

*Documento di sintesi dei risultati*

*Gennaio 2019*

## **Sommario**

1 - Introduzione .....	3
2 - I prodotti .....	11
3 - I campioni di terreno/roccia utilizzati.....	12
Prelievo di campioni .....	12
Preparazione e caratterizzazione preliminare dei campioni .....	12
4 - I parametri caratteristici della schiuma .....	14
5 - Prove di laboratorio preliminari.....	16
Peso specifico dei prodotti .....	16
Viscosità dei prodotti .....	17
Prove di semivita .....	18
Attrezzatura.....	18
Procedimento .....	18
Risultati delle prove eseguite.....	19
6 – Prove di laboratorio su campioni di terreno condizionato .....	22
Slump test .....	22
7 - Risultati delle prove su campioni di Conglomerato condizionato.....	24
Risultati ottenuti sul Campione denominato “Conglomerato” condizionato con il prodotto ACEA A .....	24
Risultati ottenuti sul Conglomerato condizionato con il prodotto ACEA C .....	25
Risultati ottenuti sul Conglomerato condizionato con il prodotto ACEA D .....	27
Risultati ottenuti sul Conglomerato condizionato con il prodotto ACEA F .....	28
8 - Considerazioni conclusive sui risultati ottenuti.....	29
9 - Sintesi conclusive .....	31
Parametri di condizionamento emersi dalle prove sul Conglomerato .....	31

Corrispondenze Prodotti commerciali – Codici Sperimentazione .....	31
10 - Elenco allegati.....	31

## 1 - Introduzione

L'approvvigionamento idrico dell'ATO2 - Lazio Centrale Roma, gestito da Acea Ato2 S.p.A., è assicurato da una articolata ed interconnessa rete di acquedotti e da oltre 250 fonti locali. Il principale sistema è sicuramente quello dell'acquedotto Peschiera-Capore, per una portata complessiva di 13,7mc/s (Tronco Superiore del Peschiera 9mc/s e Acquedotto delle Capore 4,7mc/s), che a valle del nodo di Salisano si ripartisce in due rami entrambi diretti verso la Capitale e l'ATO2 (Tronco inferiore in destra del Fiume Tevere e Tronco inferiore in sinistra del Fiume Tevere).

In termini di portate, il Sistema Peschiera-Capore rappresenta la principale risorsa destinata alla Capitale e all'approvvigionamento idrico dell'ATO2 e riveste pertanto un'importanza altamente strategica. Le motivazioni poste alla base del progetto del Nuovo Tronco Superiore dell'acquedotto del Peschiera (dalle Sorgenti alla centrale di Salisano) sono strettamente legate al superamento dei rischi insiti nell'approvvigionamento idrico della Città di Roma e di molti Comuni dell'ATO2 Lazio-Centrale ricadenti nell'area metropolitana a Nord e a Est della Capitale:

- l'acquedotto del Peschiera esistente risulta essere vetusto poiché realizzato alla fine degli anni '30 in esercizio ininterrotto da oltre 80 anni ed in esercizio ininterrotto;
- non risulta ispezionabile senza causare la totale interruzione dei 9mc/s trasportati con l'impossibilità di verificare quindi il suo stato di conservazione e, conseguentemente, la criticità di eseguire quindi manutenzione straordinaria;
- il sistema non ha, nella sua configurazione attuale, la possibilità di sorpasso dell'interno nodo di Salisano e quindi la possibilità di garantire l'alimentazione idropotabile a prescindere dell'operatività della centrale idroelettrica di Salisano e del manufatto bipartitore;
- il territorio interessato dalle opere è caratterizzato da problematiche geomorfologiche e da significativa sismicità;
- distanza delle tratte deboli dagli accessi e lunghezza dell'area dissestata;
- la capacità di trasporto dell'acquedotto del Peschiera esistente risulta essere di 9mc/s, ossia inferiore di 1mc/s rispetto alla Concessione di 10mc/s rilasciata per l'approvvigionamento idrico.

I principali obiettivi diretti sono connessi alla possibilità di abbattere il rischio di disservizio del sistema, attualmente elevato per la configurazione in serie delle opere di captazione, acquedotto e nodo di Salisano, nonché di consentire l'adduzione verso Roma della intera portata concessa di 10mc/s.

Il nuovo tronco superiore dell'acquedotto del Peschiera è un'opera che si estende sul lato nord del tronco esistente dell'acquedotto del Peschiera per una lunghezza complessiva di 24.535 m costituita da una serie di tunnel di diverse caratteristiche le quali attraversano formazioni geologiche e coperture molto diverse tra loro.

Il tracciato prevede infatti:

1. un primo tratto di collegamento dalle Sorgenti del Peschiera nella Piana dei Micciani;
2. una galleria (Ponzano) di lunghezza pari a circa 4694 m fino alla valle del Salto (DN 4000);
3. una galleria (Cognolo) di lunghezza pari a circa 2866 m di collegamento tra la valle del Salto e la valle del Turano (DN 4000);
4. una galleria (Zoccani) di lunghezza pari a circa 2080 m di collegamento tra la valle del Turano e la valle del Fosso Ariana (DN 4000);
5. una galleria (Monte Vecchio) di lunghezza pari a circa 13374 m di collegamento tra la valle del Fosso Ariana e il nodo S di Salisano (DN 7500);
6. una galleria (sorpasse della centrale di Salisano) di lunghezza pari a 1521 (DN 4000).

Più in dettaglio le tre gallerie (Ponzano, Cognolo e Zuccani) da realizzarsi con diametro nominale interno di DN 4000 m, lungo il tratto che collega le sorgenti del Peschiera (piano dei Micciani) con la piana delle Molette, passando per la valle del Salto e del Turano interessano le stesse formazioni.

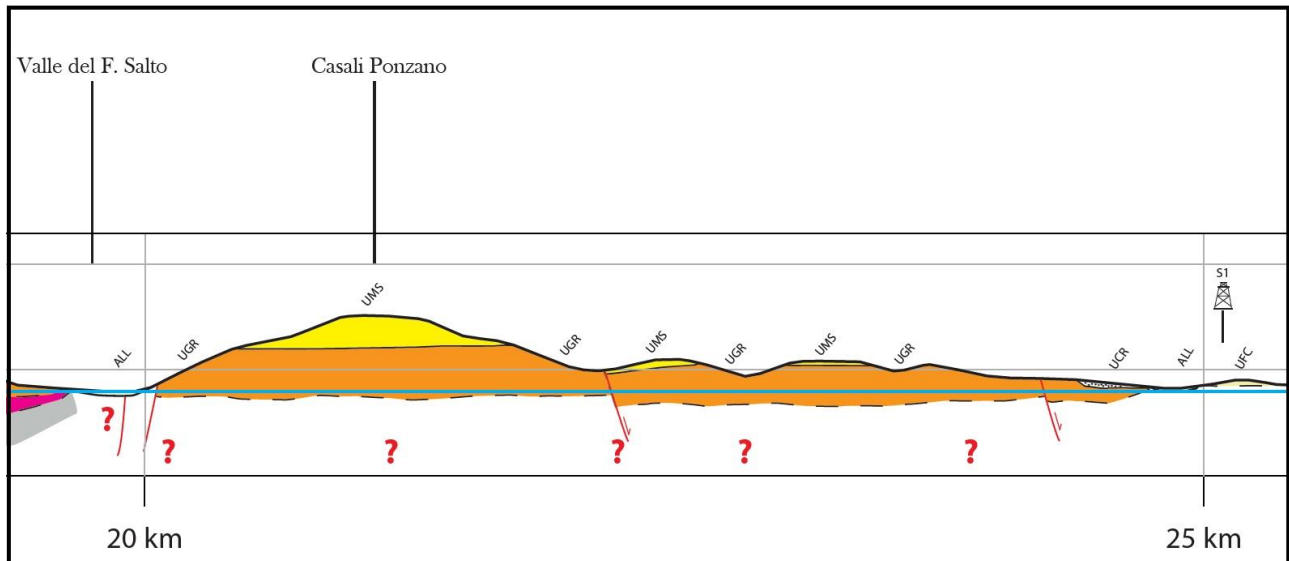


Figura 1 - Profilo geologico della galleria Ponzano.

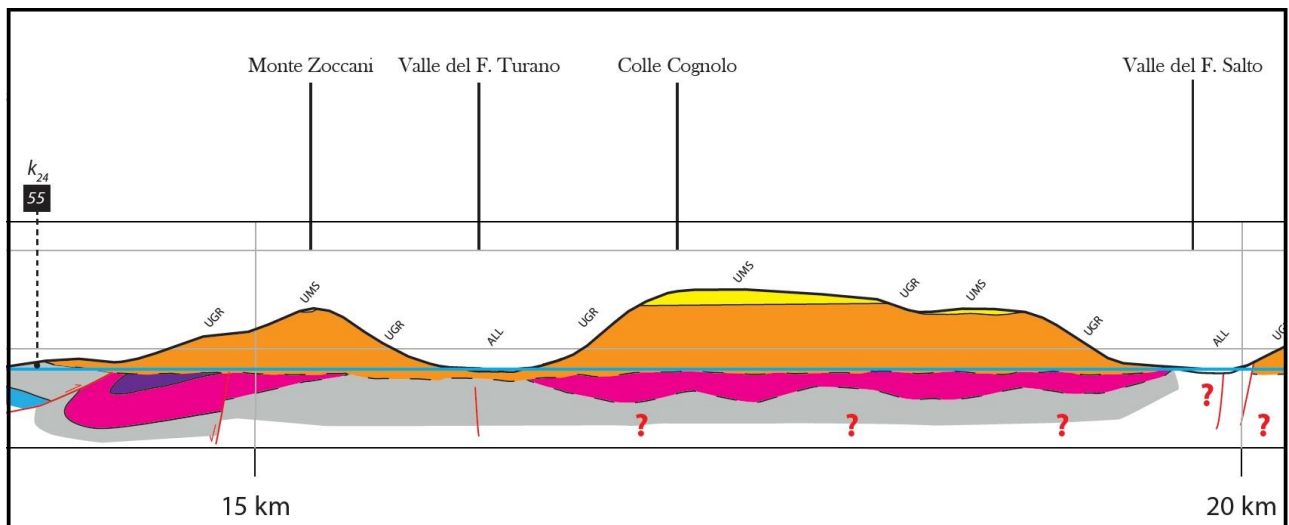


Figura 2 - Profilo geologico delle gallerie Cognolo e Zoccani.

Da una prima analisi geologica, infatti, il profilo risulta costituito principalmente dall'unità UGR costituita da conglomerati eterometrici clasto-sostenuti, con strati da decimetrici a metrici, spesso amalgamati a formare potenti bancate spesse da 5 a 20-30 metri, con orizzonti limoso-calcarenitici spessi fino a 2-3 metri. Nei settori nord-orientali si intercalano lenti di breccie caotiche fango-sostenute. / BIS E in misura minore in affioramento in superficie da marne, marne calcaree e calcari marnosi di colore grigio, avana e nero, localmente silicizzati, disposti in strati sottili e banchi. Sono presenti sottili interstrati marnoso argillosi, selce nera

concentrata in lenti e noduli e orizzonti vulcanoclastici a composizione acida. / SAA Più in profondità si riscontra la presenza di Alternanze di calcari marnosi, in strati sottili e medi, e marne, in strati e banchi, di colore rossastro ed avana, con selce rossa in liste e noduli. Sono presenti, inoltre, numerose intercalazioni di debriti in strati, lenti e bancate (spessore fino a 1 m), costituiti da calcareniti e calciruditi.

Tali conglomerati quindi si potranno presentare come una roccia di buone caratteristiche geomeccaniche ma anche con uno stato di alterazione estremamente marcato fino ad essere assimilabili ad una ghiaia con trovanti sabbiosi e marnosi.

La galleria Monte Vecchio, da realizzarsi con diametro nominale interno di 7.50 m di lunghezza 13374 m, interessa invece altre formazioni quali la Maiolica, Scaglia Bianca, Rossa Variegata e Cinerea e le Marne a Fucoidi.

Di seguito si riporta il profilo geologico della galleria Monte Vecchio.

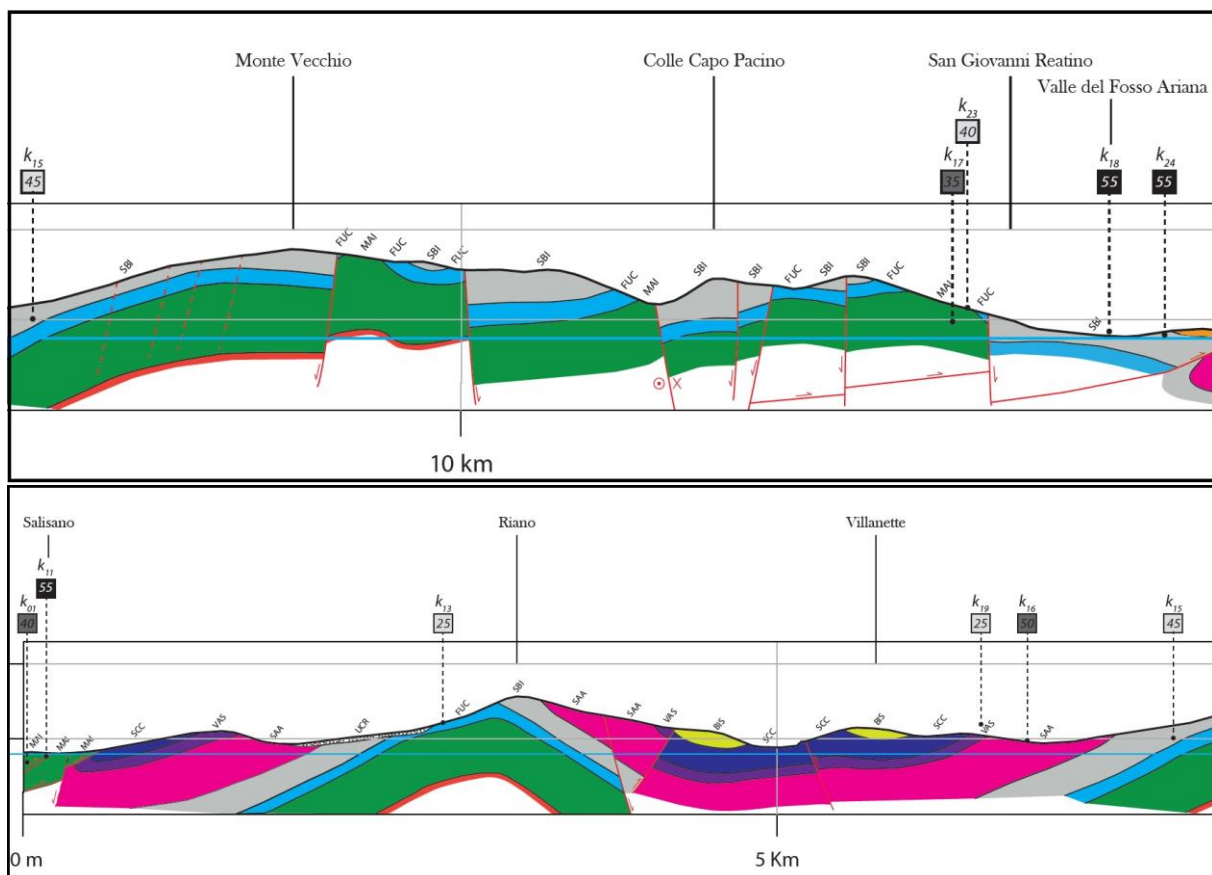


Figura 3 - Profilo geologico della galleria Monte Vecchio.

Il profilo è costituito principalmente da rocce / SAA costituite da alternanze di calcari marnosi, in strati sottili e medi, e marne, in strati e banchi, di colore rossastro ed avana, con

selce rossa in liste e noduli. Sono presenti, inoltre, numerose intercalazioni di detriti in strati, lenti e bancate (spessore fino a 1 m), costituiti da calcareniti e calciruditi. / SCC Marne, a luoghi calcaree, con fauna a foraminiferi planctonici, e marne argillose spesso intensamente foliate, di colore grigio verdastro, a volte rossastro; sono disposte in strati decimetrici. Sono frequenti intercalazioni, di spessore decimetrico, di calcareniti e brecciole calcaree, di colore avana, ricche in macroforaminiferi. / MAI Calcari micritici di colore bianco, grigio, giallastro o nocciola chiaro, disposti in strati di 10-40 cm, con liste e noduli di selce grigio chiaro. A questi si intercalano calcari finemente detritici bianchi. Al tetto della formazione sono presenti calcari scuri, con selce nerastra, e intercalazioni via via più frequenti di livelli pelitici. / SBI /FUC.

Le considerazioni evidenziate nel documento di fattibilità delle alternative progettuali (DOCFAP) relativamente alle condizioni di tracciato, alla geologia e geotecnica dei litotipi in esame, e relativamente alle condizioni idrauliche da rispettare, sottolineano le complessità che intervengono nell'ambito della realizzazione delle gallerie. Queste in particolare prendono in esame la variabilità dei litotipi da attraversare, le coperture che lungo il tracciato variano da 0 a 400m, i rischi connessi alla presenza di faglie e alle venute d'acqua.

Si è optato conseguentemente ad una attenta analisi dei rischi, correlati ai costi e benefici per l'impiego di metodologie di scavo meccanizzato rispetto alle comuni tecniche di scavo in tradizionale.

La tecnologia di scavo meccanizzato con TBM è attualmente il modo più efficiente e sicuro di eseguire lo scavo di gallerie in grado di:

- eseguire lo scavo a piena sezione mediante il movimento rotatorio della testa di scavo, opportunamente equipaggiata mediante utensili di scavo predisposti in base alla litologia da scavare;
- rimuovere il terreno dal fronte e trasportarlo automaticamente in continuo verso l'esterno della galleria mediante l'ausilio di un nastro di trasporto;
- mettere in opera il rivestimento definitivo della galleria realizzato attraverso conci di cls prefabbricati.

L'utilizzo di TBM fornisce una serie di vantaggi brevemente riassumibili in:

- elevati standard in termini di sicurezza delle maestranze le quali si trovano ad operare a distanza dal fronte, non venendo praticamente mai a contatto con la roccia e rimanendo al riparo da eventuali crolli o distacchi anche parziali o da improvvise venute d'acqua;



- elevate performance in termini di produzione, garantendo velocità di avanzamento di gran lunga superiori a quelle raggiungibili attraverso lo scavo in modalità “tradizionale”;
- elevata rapidità e precisione nell’installazione del rivestimento definitivo, realizzato mediante conci in cls prefabbricato, trasportati all’interno della galleria e automaticamente posti in opera mediante l’apposito erettore;
- elevati standard per la qualità del monitoraggio e possibilità di controllare costantemente, anche in remoto, ogni fase di scavo e installazione del rivestimento oltre che lo stato di funzionamento della TBM e i valori di ogni singolo parametro.

Ulteriori vantaggi sono costituiti dai minori impatti e disturbi dello scavo rispetto all’ammasso in cui la galleria deve essere realizzata, maggiore durabilità delle opere e maggiore capacità di adattare lo scavo alle mutevoli caratteristiche del terreno o della roccia da scavare.

Il numero delle gallerie da realizzare nell’ambito del Progetto in oggetto, la variabilità delle formazioni interessate dallo scavo e le differenti combinazioni di diametri di scavo richiesti ha portato alla necessità di pensare a modalità di scavo differenti.

In particolare, le opere descritte verranno realizzate attraverso tre tecnologie esecutive di scavo meccanizzato: Micro-Tunneling, Rock Tunnel Boring Machines (Rock TBM) e Tunnel Boring Machines con tecnologia di scavo Earth Pressure Balance (TBM-EPB) combinate in modo differente secondo le fasi funzionali riportate successivamente, in funzione delle caratteristiche meccaniche e geometriche delle formazioni geologiche individuate lungo il tracciato:

<b>SCAVO TBM</b>		
<b>TRATTA</b>	<b>LUNGHEZZA [m]</b>	<b>SEZIONE</b>
PONZANO	4.694	DN4000
COGNOLO	2.866	DN4000
ZOCCANI	2.080	DN4000
MONTE VECCHIO	13.374	DN7500
SORPASSO SALISANO	1.521	DN4000

<b>MICROTUNNELING</b>		
<b>TRATTA</b>	<b>LUNGHEZZA [m]</b>	<b>SEZIONE</b>
M1 - NMP*	129	2 x DN2500
M1 - M2	254	2 x DN2500
M3 - M2	344	2 x DN2500
M3 - M4	450	2 x DN2500
M5 - M4	650	2 x DN2500
M5 - M6	1.047	2 x DN2500

<b>MICROTUNNELING SIFONI (Salto e Turano)</b>		
<b>TRATTA</b>	<b>LUNGHEZZA [m]</b>	<b>SEZIONE</b>
SALTO 1 - SALTO 2	564	2 x DN2500
TURANO 1 - TURANO 2	521	2 x DN2500

Il Progetto, quindi, prevede la realizzazione di tre gallerie denominate Ponzano, Cognolo e Zoccani da realizzarsi mediante l'impiego di Tunnel boring Machines (TBM) le quali, qualora i conglomerati si dovessero presentare privi di cementazione e quindi assimilabili ad una ghiaia con sabbia potrebbero richiedere l'utilizzo della tecnologia Earth Pressure Balance (EPB) e il condizionamento, ovvero l'iniezione di acqua e agenti chimici sottoforma di schiuma, durante le operazioni di scavo.

Il processo di condizionamento è necessario per modificare le caratteristiche del terreno stesso e renderlo adatto a trasferire correttamente una pressione al fronte, riducendo allo stesso tempo una serie di rischi, quali il clogging nel caso di terreni a grana fine (limi e argile), ovvero l'adesione di porzioni di terreno alle parti metalliche della carpenteria della testa di scavo con conseguente aumento di sforzi, temperatura e consumi fino al blocco della TBM, o l'eccessiva abrasione nel caso dei terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie) in grado di consumare gli utensili installati sulla tesa di scavo con conseguente riduzione delle performance di scavo e la necessità di ricorrere a costose e rischiose operazioni di sostituzione degli stessi.

In generale quindi, l'attento dosaggio di acqua e agenti condizionanti al fronte è necessario all'esecuzione di uno scavo di gallerie in modo sicuro per le maestranze coinvolte, in modo da minimizzare gli effetti indotti nell'ambiente circostante e in modo da massimizzare le performance di scavo riducendo tempi, rischi e consumi.

Per il condizionamento del terreno sono in commercio una numerosa serie di prodotti differenti per finalità, tipologia di terreno da condizionare e conseguentemente composizione chimica.

Nonostante il processo di condizionamento sia tipicamente gestito direttamente in sito durante le operazioni di scavo, nel tempo sono state sviluppate attività sperimentali, standard e apparecchiature di laboratorio finalizzate all'esecuzione di studi utili ad individuare il prodotto o la combinazione di prodotti più efficaci per lo specifico progetto e a prevederne il corretto dosaggio.

Queste attività hanno un duplice obiettivo: da una parte fornire utili indicazioni a chi dovrà realizzare lo scavo sulla scelta del prodotto e dei parametri di condizionamento più efficaci e dall'altra prevedere le caratteristiche geotecniche e fisico/chimiche del terreno di risulta dalle attività di scavo. Questa seconda informazione serve anche per lo sviluppo delle attività sperimentali di carattere chimico ed eco-tossicologico propedeutiche alla redazione del Piano di Utilizzo delle Terre e Rocce da scavo.

GEEG (Geotechnical and Environmental Engineering Group) Startup innovativa dell'Università di Roma "La Sapienza" ha da tempo messo a punto, all'interno dei laboratori del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica e del Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente, una serie di apparecchiature e strumentazioni finalizzate alla corretta esecuzione di tali studi ed ha messo a punto una serie di protocolli sperimentali e standard utili a riprodurre in modo controllato la generazione della schiuma, l'iniezione della stessa e la miscelazione al terreno in modo da replicare, negli aspetti fondamentali, il processo di condizionamento del terreno che avviene al fronte di scavo e nella camera di scavo della TBM.

In questo documento sono sinteticamente riassunti i risultati delle attività sperimentali sviluppate, su richiesta di ACEA Elabiori, al fine di verificare le differenze esistenti tra differenti prodotti, il loro corretto dosaggio e le caratteristiche del terreno condizionato.

Coerentemente con gli standard interni di GEEG, messi a punto al fine di garantire la totale indipendenza delle valutazioni fornite, l'attività deve essere considerata a tutti gli effetti un "blinded-experiment" in quanto i campioni di prodotti da testare sono stati travasati prima dell'inizio dell'attività sperimentale in taniche contrassegnate da ACEA con un codice ed una lettera progressiva, il che ha portato all'esecuzione di tutte le attività di laboratorio descritte in questo documento senza che nessuno del personale coinvolto nelle attività sperimentali potesse ricollegare in alcun modo il singolo prodotto al fornitore.

## 2 - I prodotti

Trattandosi di “blinded-experiment”, i prodotti utilizzati per la sperimentazione geotecnica in laboratorio sono stati denominati:

- ACEA A;
- ACEA C;
- ACEA D;
- ACEA F.

Si tratta di agenti condizionante per lo scavo di gallerie con tecnologia TBM-EPB suggeriti dai fornitori per lo specifico scavo delle gallerie per la realizzazione del Nuovo Tronco Superiore dell’acquedotto Peschiera.

Nella figura 4 seguente sono riportate le foto dei prodotti in laboratorio.

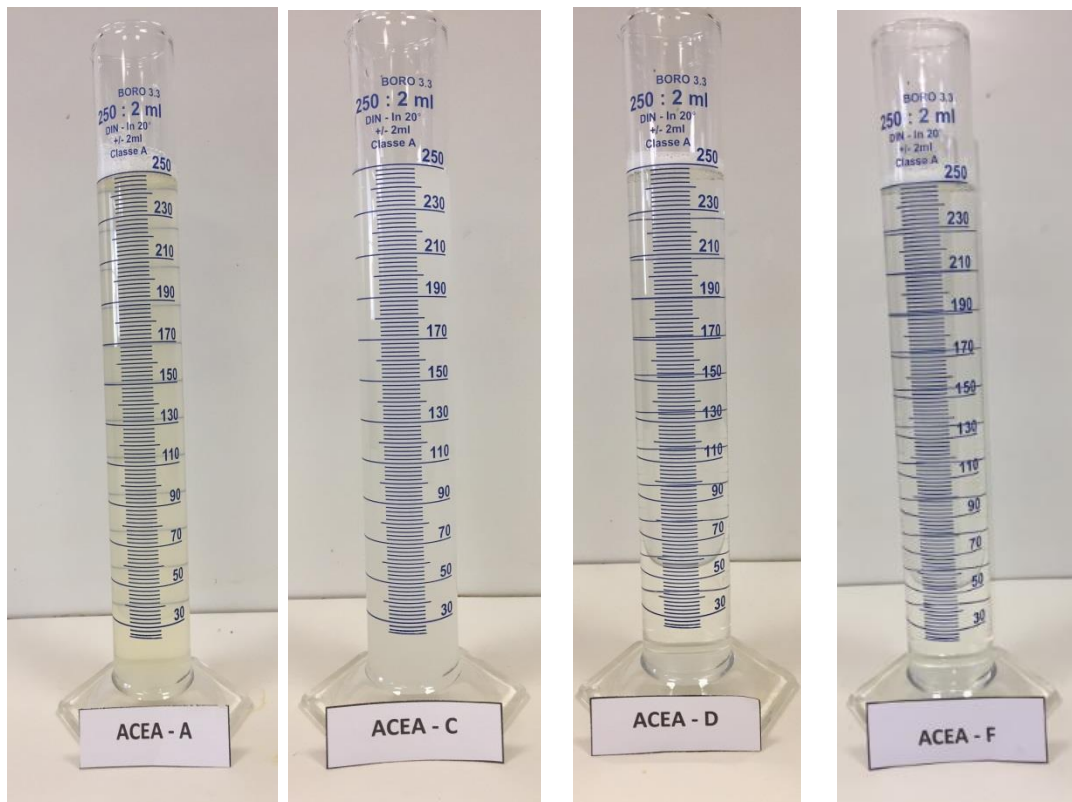


Figura 4 – Prodotti condizionanti selezionati per le prove di laboratorio.

### **3 - I campioni di terreno/roccia utilizzati**

#### **Prelievo di campioni**

Come detto in precedenza, all'interno di questo stesso documento, dalle informazioni in possesso in fase di progettazione è stato ritenuto opportuno prevedere il condizionamento dell'unità UGR costituita da conglomerati eterometrici clasto-sostenuti in particolar modo nel caso in cui questi si dovessero presentare in forma meno cementata o in assenza di cementazione e quindi nella circostanza in cui questi possano essere assimilati ad una ghiaia con sabbia.

Dovendo considerare nell'attività sperimentale tale fattispecie in cui, durante lo scavo, si dovesse aver bisogno di ricorrere agli agenti condizionanti, a valle della caratterizzazione geologica e geomeccanica dell'intera area interessata dal progetto, è stato ritenuto opportuno andare a ricercare e prelevare i conglomerati nel punto in cui questa formazione si presentava nelle condizioni di maggiore alterazione possibile, così da creare in modo più fedele possibile anche nelle caratteristiche iniziali del materiale prima del condizionamento, la situazione più simile possibile a quella del sito.

Per tale motivo, di concerto con il team di progettazione, è stata individuata la zona definita TURANO nella quale precedenti ispezioni avevano riscontrato le caratteristiche ricercate.

Effettivamente, in data 17 luglio 2019, è stato possibile identificare una zona in affioramento nella quale i conglomerati si presentavano effettivamente in condizioni molto alterate fino ad essere assimilabili ad una ghiaia; questa è infatti la fattispecie per la quale l'utilizzo di agenti condizionanti e la modalità EPB è considerata necessaria.

Questo studio preliminare e il supporto del team di geologi del CERI ha permesso non solo il prelievo di campioni che rappresentano la condizione peggiore per lo scavo (e quindi più cautelativa per le risultanze dello studio) possibile per il profilo geomeccanico delle gallerie, ma ha permesso anche il prelievo di un quantitativo di materiale, più di 400 kg in totale, assolutamente adeguato all'esecuzione di una attività sperimentale esaustiva.

#### **Preparazione e caratterizzazione preliminare dei campioni**

Per l'attività sperimentale la litologia oggetto dello studio è stata denominata CONGLOMERATO-TURANO di cui in tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche e in Figura 5 è riportata la granulometria.

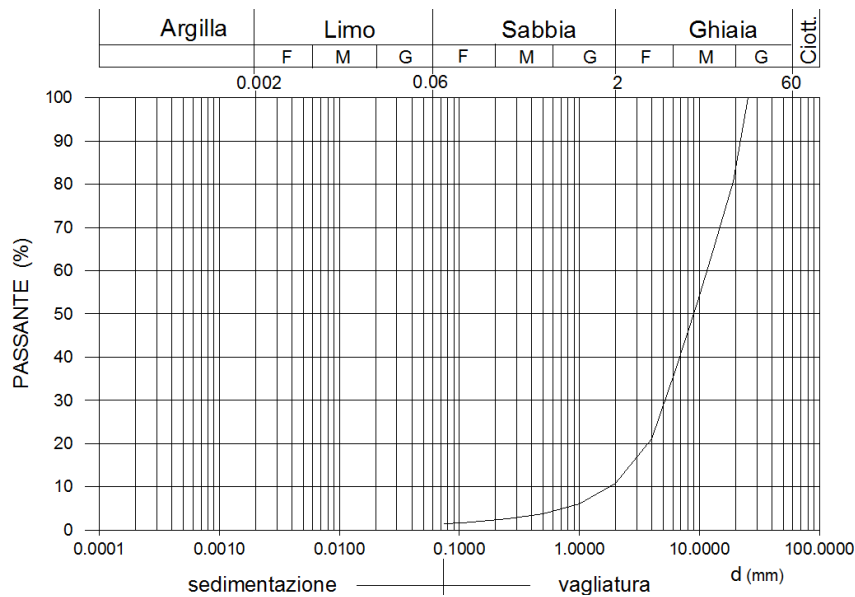


Figura 5 – Curva granulometrica del campione di terreno TURANO ricevuti in laboratorio ed utilizzati per la sperimentazione.

Tabella 1 - Caratteristiche dei campioni di terreno utilizzati per le prove di laboratorio.

Campione	Granulometria				Limiti di Atterberg		
	ghiaia	sabbia	limo	argilla	LL	LP	Ip
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
TURANO	89	9	2	0	-	-	-

Al fine di simulare il processo di scavo, il materiale laddove necessario è stato frantumato artificialmente fino a ridurlo a porzioni compatibili con le caratteristiche della testa di scavo della TBM e con le caratteristiche delle più comuni apparecchiature di laboratorio.

Questa operazione, come in realtà anche la scelta delle caratteristiche del campione da prelevare, deve essere considerata come una scelta cautelativa in quanto è ampiamente dimostrato in letteratura, nella comune pratica di laboratorio e di cantiere, che al ridursi della granulometria è maggiore il quantitativo di agenti condizionanti da utilizzare e quindi più severe sono le condizioni che si stanno considerando ai fini dello studio in esame dal punto di vista del profilo ambientale del materiale di risulta.

Nelle immagini di seguito in Figura 6 sono mostrati i campioni di materiale prelevato.



Figura 6 – Campione di conglomerato nella sua forma alterata utilizzato per lo studio.

#### 4 - I parametri caratteristici della schiuma

La schiuma è stata prodotta mediante l'utilizzo del generatore di schiuma rappresentato in figura 3; tale generatore è stato messo a punto in modo da replicare in tutti gli aspetti principali il sistema di generazione utilizzato sulle TBM; i parametri caratteristici della schiuma sono gli stessi che vengono misurati in tempo reale durante le varie fasi di scavo e permettono un confronto tra quanto ricavato in laboratorio e quanto sperimentato in cantiere, una volta tenuto in debito conto le inevitabili differenze tra quanto avviene in cantiere e lo scavo mediante TBM (effetto scala). Tutte le operazioni sono gestite attraverso l'interfaccia, mostrata sempre in figura 7, la quale misura (ed eventualmente registra) in ogni momento i flussi e le pressioni di aria ed acqua.



Figura 7 - Generatore di schiuma messo a punto presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica (DISG) dell'Università di Roma "Sapienza".

Si ritiene utile rilevare che prove di laboratorio eseguite utilizzando schiuma prodotta con sistemi di generazione differenti potrebbero fornire risultati che si discostano anche

notevolmente da quanto riportato in questo documento e indurre conclusioni che potrebbero non trovare riscontro al momento dell'utilizzo in cantiere.

Per ridurre ulteriormente le differenze tra le condizioni riprodotte in laboratorio e le condizioni di cantiere, tra i diversi tipi a disposizione, è stata montata nell'impianto di generazione una lancia (o cannone) per la generazione della schiuma (Fig.8) del tutto identica a quella montata sulle TBM con le quali verosimilmente verrà realizzato lo scavo delle gallerie.

La possibilità di riprodurre la generazione della schiuma con gli stessi parametri e con elementi dell'impianto identici a quelli dell'impianto della TBM aumenta la precisione delle prove e, come ampiamente dimostrato, aumenta la qualità/stabilità della schiuma generata la quale, se generata con strumentazioni in scala ridotta "da laboratorio" risulta essere meno stabile nel tempo.



Figura 8 – Lancia di generazione della schiuma disponibile presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica (DISG) della Sapienza utilizzata per la sperimentazione.

Sinteticamente di seguito sono definiti i principali parametri ai quali ci si riferirà nel documento.

### **Concentration Factor Cf (concentrazione dell'agente schiumogeno in acqua)**

Il Concentration Factor, Cf, la concentrazione con la quale il tensioattivo viene miscelato all'acqua per formare la parte liquida della schiuma:

$$Cf = 100 \cdot \frac{m_{ags}}{m_{ssc}}$$

dove  $m_{ags}$  è la massa dell'agente schiumogeno iniettato e  $m_{ssc}$  la massa della soluzione schiumogena formata dall'agente schiumogeno e dall'acqua. Il valore del parametro Cf è generalmente compreso tra 0.5 e 5% (mediamente 2.0 %) e varia in base al singolo prodotto disponibile in commercio.

### **Foam Expansion Ratio FER (rapporto di espansione della schiuma)**



Il FER è un indice della consistenza della schiuma; è per definizione il rapporto tra il volume della schiuma (aria + acqua + agente schiumogeno) e il volume di soluzione schiumogena (acqua + agente schiumogeno):

$$FER = \frac{V_s}{V_{ssc}}$$

dove  $V_s$  è il volume complessivo della schiuma e  $V_{ssc}$  è il volume della soluzione schiumogena.

Il FER è generalmente compreso tra 5 e 20 (mediamente 8-15); al crescere del FER la schiuma risulta più asciutta. Il valore del FER da impiegare in cantiere è principalmente correlato alla granulometria del terreno da trattare e alla presenza della falda.

### **Foam Injection Ratio FIR (rapporto di iniezione della schiuma)**

Il FIR è un indice che esprime la quantità di schiuma iniettata durante la fase di avanzamento della TBM per condizionare un determinato volume di terreno, essendo il rapporto tra il volume di schiuma immessa ed il volume nominale di terreno scavato.

$$FIR = 100 \cdot \frac{V_s}{V_t}$$

essendo  $V_s$  il volume della schiuma iniettata e  $V_t$  il volume di terreno scavato.

Il FIR è in genere compreso tra il 10% e l'80% ma può raggiungere valori anche superiori al 100% (mediamente si impiegano valori compresi tra il 30% e il 60%); il FIR rappresenta il volume di schiuma iniettata per m<sup>3</sup> di terreno scavato.

## **5 - Prove di laboratorio preliminari**

Prima di utilizzare i prodotti per generare la schiuma sono state eseguite alcune prove preliminari; tali prove costituiscono una caratterizzazione minima generale di ogni singolo prodotto così come ricevuto in laboratorio e sono indispensabili a rendere accurati gli specifici dosaggi nel processo di generazione della schiuma.

Tali prove di caratterizzazione saranno ripetute come test di accettazione in cantiere nel momento in cui uno (o più di uno) dei prodotti testati dovessero essere utilizzati durante lo scavo, così da verificarne la rispondenza delle caratteristiche chimico/fisiche.

### **Peso specifico dei prodotti**

Nella tabella 2 sono riportati i valori medi delle 3 misurazioni del peso specifico dei prodotti.

Tabella 2 - Pesì specifico dei prodotti oggetto dell'attività sperimentale.

ACEA - A	ACEA - C	ACEA -D	ACEA -F
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )

---

1.022 ± 0.001    1.012 ± 0.001    1.024 ± 0.001    1.050 ± 0.001

---

### Viscosità dei prodotti

Nella tabella 3 sono riportati i risultati delle misure della viscosità al cono di Marsh (Fig.9) eseguite sui prodotti.



Figura 9 – Cono di Marsh per la determinazione della viscosità dei prodotti.

Considerando, come riferimento, che la stessa prova eseguita con acqua a 21°C fornisce come risultato il valore standard di 26 s, si può notare come il prodotto Metro C-4 ha una viscosità molto bassa e che gli altri valori si dispongono progressivamente crescenti fino al prodotto Metro C-5 il quale possiede una viscosità ben più elevata.

Tabella 3 - Viscosità dei prodotti oggetto dell'attività sperimentale.

ACEA – A	ACEA – C	ACEA – D	ACEA – F
Viscosità*	Viscosità*	Viscosità*	Viscosità*
(s)	(s)	(s)	(s)
37	52.2	28	31

\* valore medio su 3 misure eseguite.

Si osserva che la viscosità è intimamente legata alla resistenza del fluido al moto lungo i tubi tramite i quali il tensioattivo viene pompato e che, conseguentemente, per ottenere un dosaggio accurato del prodotto durante lo scavo se ne dovrebbe tenere conto al momento

della taratura della pompa di iniezione dell'agente condizionante dell'impianto delle schiume della TBM.

### Prove di semivita

La prova di semivita è un modo diretto ed efficace per valutare e confrontare i diversi prodotti; tale test permette di valutare come e soprattutto di quanto variano le caratteristiche della schiuma al variare dei parametri ( $C_f$  e FER principalmente). Sempre tramite questo stesso test è possibile valutare l'efficacia di aggiunte in fase di generazione della schiuma di polimeri di varia natura.

### Attrezzatura

L'apparecchio per la prova, illustrato in figura 10, è composto da un cilindro in vetro e da un imbuto; tra i due elementi sono interposti un filtro non assorbente e due guarnizioni che assicurano la tenuta del collegamento. L'apparecchiatura è alloggiata su un apposito supporto.

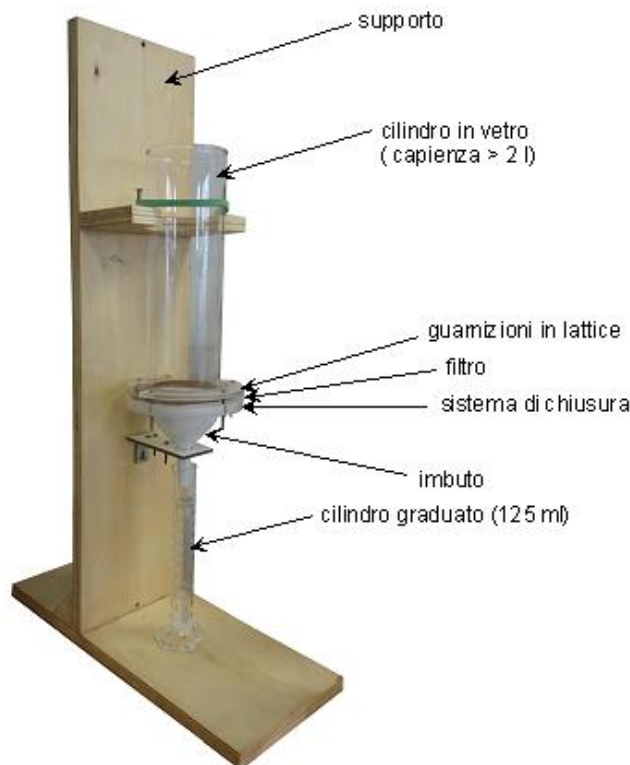


Figura 10 – Apparecchiatura per la prova di semivita.

### Procedimento

Si preleva la schiuma dal generatore e se ne versano 80 g nel cilindro di vetro avviando contemporaneamente il cronometro. Si misura il volume di liquido raccolto dal cilindro graduato nel tempo ad intervalli regolari fino al raggiungimento di 40 ml.

Il tempo necessario alla schiuma di drenare 40 ml di liquido è definito tempo di semivita o half-life time, *hlt*.

### Risultati delle prove eseguite

In figura 11 sono riportati i risultati della prova di semivita eseguita su campioni di schiuma generata secondo le modalità descritte in precedenza utilizzando il prodotto ACEA - A. Come ben noto, il tempo di semivita aumenta con l'aumentare del FER secondo una relazione lineare nel range di FER oggetto delle prove effettuate.

Prodotto	$C_f$	FER	Tempo di semivita		
(-)	(%)	(x:1)	(s)		
ACEA - A	2	10.5	126	137	148
ACEA - A	2	11	175	158	170
ACEA - A	2	13	231	210	223
ACEA - A	2	14.5	299	273	275

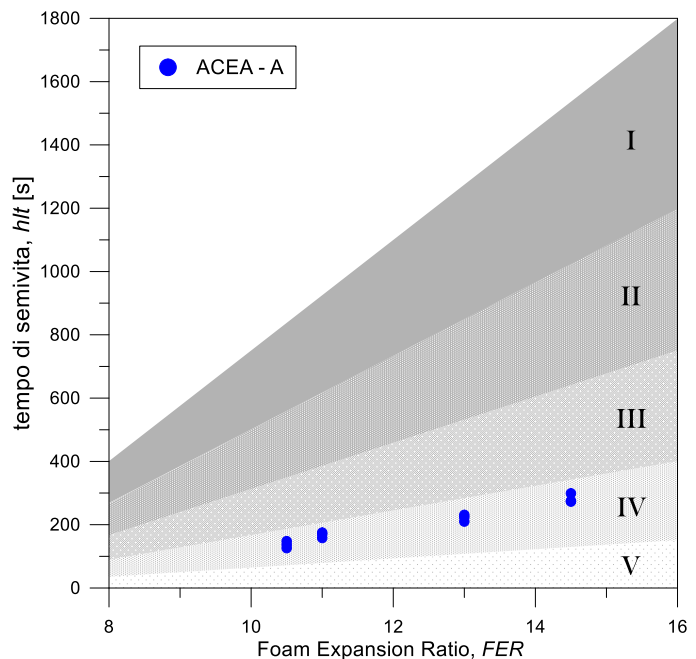


Figura 11 – Risultati delle prove di semivita al variare del FER per il prodotto ACEA – A.

In figura 12 sono riportati i risultati della prova di semivita eseguita su campioni di schiuma generata secondo le modalità descritte in precedenza utilizzando il prodotto ACEA - C.

Anche le prove di semivita eseguite sulla schiuma generata con tale prodotto mostrano un andamento crescente della semivita al crescere del FER, come per altro ben noto in letteratura.

Prodotto	$C_f$	FER	Tempo di semivita		
(-)	(%)	(x:1)	(s)		
ACEA - C	2	10.5	144	128	127
ACEA - C	2	11.5	176	153	162
ACEA - C	2	13.5	207	196	195
ACEA - C	2	15.5	250	262	256

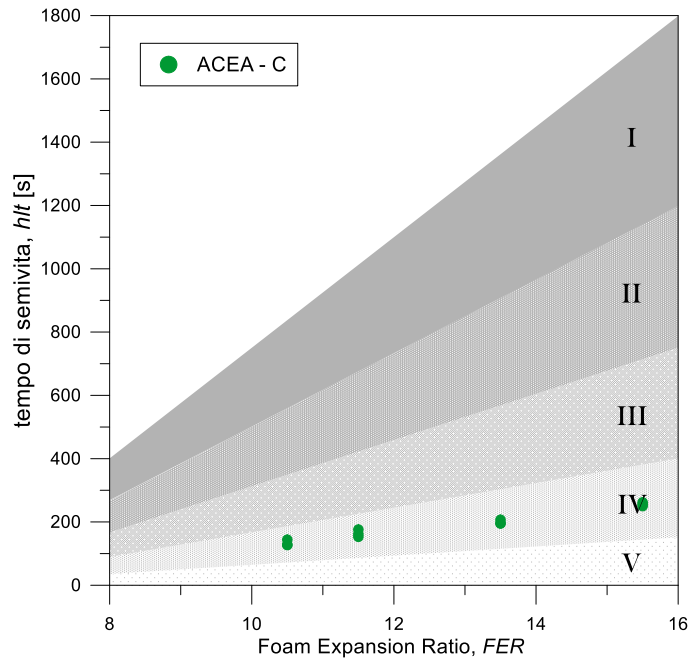


Figura 12 – Risultati delle prove di semivita al variare del FER per il prodotto ACEA - C.

In figura 13 sono riportati i risultati della prova di semivita eseguita su campioni di schiuma generata secondo le modalità descritte in precedenza utilizzando il prodotto ACEA - D.

Prodotto	$C_f$	FER	Tempo di semivita		
(-)	(%)	(x:1)	(s)		
ACEA - D	2	10	106	111	100
ACEA - D	2	10.5	127	132	
ACEA - D	2	11.5	127	129	122
ACEA - D	2	12.5	189	179	173
ACEA - D	2	14	216	230	229

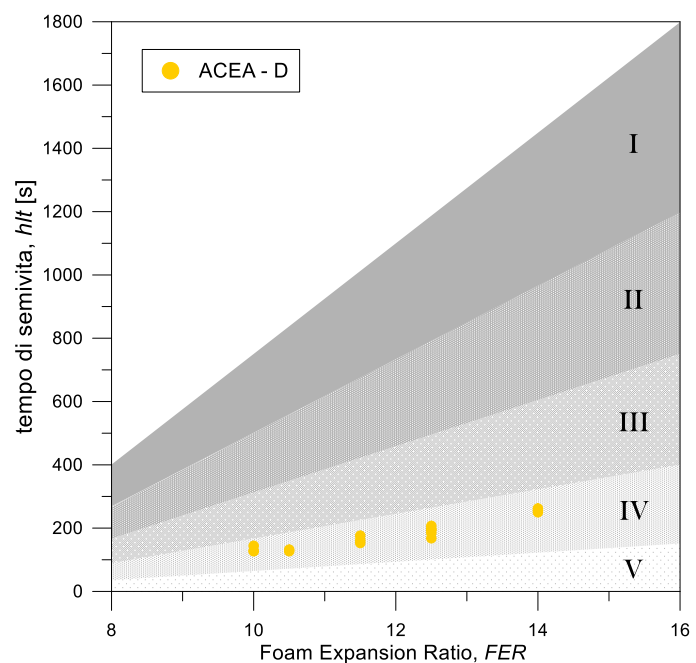


Figura 13 – Risultati delle prove di semivita al variare del FER per il prodotto ACEA - D.

Infine, in figura 14, sono riportati i risultati della prova di semivita eseguita su campioni di schiuma generata secondo le modalità descritte in precedenza utilizzando il prodotto ACEA - E.

Prodotto	$C_f$	FER	Tempo di semivita		
(-)	(%)	(x:1)	(s)		
ACEA - E	2	10.5	126	131	119
ACEA - E	2	11.5	154	147	125
ACEA - E	2	13.5	180	183	195
ACEA - E	2	15.5	248	249	252

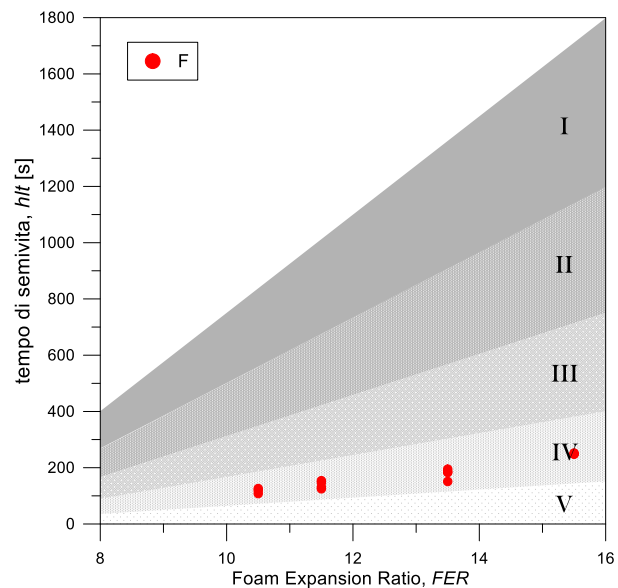


Figura 14 – Risultati delle prove di semivita al variare del FER per il prodotto ACEA - E.

In figura 15 sono riportati i risultati delle prove di semivita eseguite sui prodotti selezionati.

I risultati sono stati sovrapposti ad un sistema di classificazione messo a punto nel Laboratorio di Geotecnica della Sapienza Università di Roma sulla base di numerose prove di semivita eseguite su più di 30 differenti prodotti; tali prove hanno portato a definire 5 classi di stabilità delle schiume in funzione del FER che vanno dalla Classe I nella quale ricadono i prodotti in grado di generare una schiuma estremamente stabile nei range di FER solitamente utilizzati nello scavo meccanizzato di gallerie con TBM-EPB mentre nella Classe V ricadono i prodotti la cui schiuma è nel complesso meno stabile nel tempo.

Si ritiene utile sottolineare che tale sistema di classificazione si basa esclusivamente sulle prove di semivita e quindi le indicazioni che se ne possono trarre sono unicamente legate alla stabilità della schiuma nel tempo, fattore estremamente importante nello scavo in terreni a grana grossa (condizione alla quale può essere assimilato lo scavo di gallerie nei conglomerati particolarmente alterati) e generalmente meno rilevante nello scavo di terreni a grana fine.

Inoltre, per completezza, va considerato che aumentando o diminuendo il valore di  $C_f$  rispetto al valore standard utilizzato pari al 2.0% la semivita della schiuma generata risulterà di poco più alta o più bassa rispettivamente.

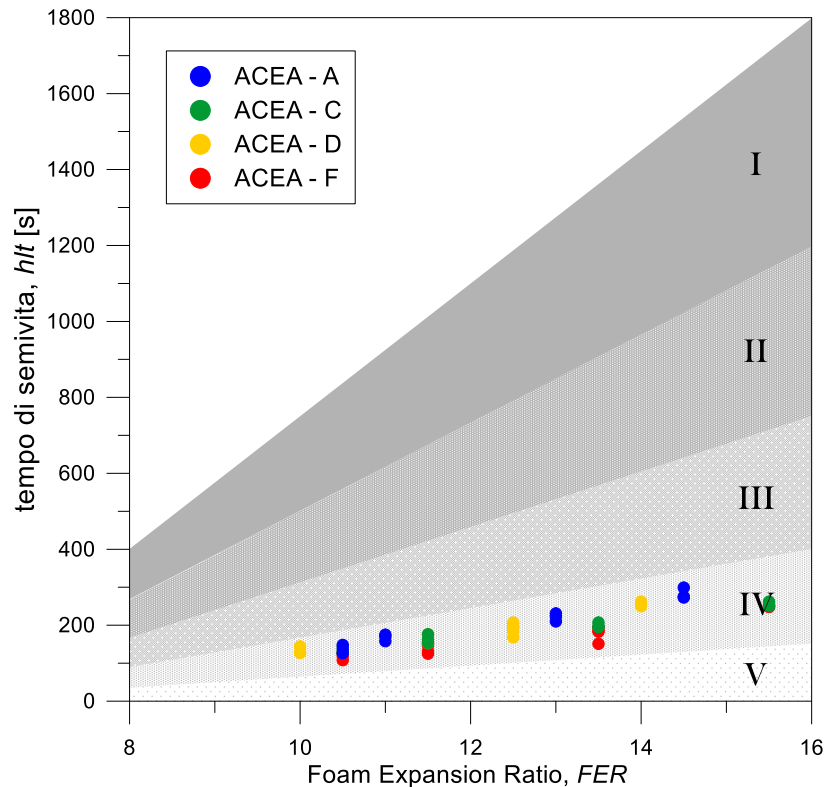


Figura 15 – Valutazione comparativa dei risultati delle prove di semivita eseguite.

Come si può notare dal grafico precedente tutti i prodotti ricadono nella categoria IV di stabilità della schiuma generata. Per tale motivo i prodotti sono da considerarsi adeguati per la generazione di una schiuma adeguata per lo scavo di gallerie; in generale, tuttavia, si suggerisce di non ridurre la concentrazione di utilizzo ( $C_f$ ) al di sotto del 2.0% in quanto questo potrebbe comportare il rischio di generare una schiuma poco stabile e disomogenea.

## 6 – Prove di laboratorio su campioni di terreno condizionato

Al fine di definire i dosaggi e i parametri del condizionamento più efficaci necessari a condizionare il terreno e agevolare le operazioni di scavo sono state eseguite una serie di prove di laboratorio su campioni di terreno appartenenti al litotipo descritto condizionati in un discreto range dei parametri del condizionamento. Le stesse prove sono state eseguite su tutti i prodotti oggetto della sperimentazione. Per ciascuna prova eseguita sono stati prelevate aliquote di campione per le misure dei contenuti d'acqua.

### Slump test

Queste prove permettono di valutare l'effetto delle combinazioni di parametri legati al condizionamento (tipo di schiuma,  $C_f$ , FER, FIR, acqua aggiunta, eventuali polimeri, etc.) su un determinato tipo di terreno.

Lo scopo della prova è quello di individuare il campo delle coppie di valori dei volumi di acqua e di schiuma da aggiungere ad un determinato terreno per conferirgli caratteristiche ottimali di consistenza.

### **Attrezzatura**

Tali prove vengono solitamente eseguite utilizzando il cono di Abrams la cui procedura di prova è sinteticamente descritta di seguito.

### **Procedimento**

1. Preparazione della miscela di terreno condizionato: svuotare nel recipiente un determinato quantitativo di terreno, unire l'acqua e miscelare fino a completa omogeneizzazione del tutto dopodiché introdurre la schiuma e rieseguire la miscelazione fino al raggiungimento della totale omogeneità del terreno condizionato;
2. inumidire lo stampo e la piastra di base;
3. riempire lo stampo distribuendo uniformemente il terreno ed utilizzando l'apposita asticella per evitare la creazione di vuoti all'interno del cono;
4. rendere regolare la superf. superiore dello stampo rimuovendo l'eventuale terreno in eccesso e ripulire il piano di lavoro;
5. rimuovere con cura lo stampo evitando movimenti laterali o torsionali
6. registrare lo l'abbassamento (o slump) rispetto all'altezza iniziale pari a 30 cm.



Figura 16 – Cono di Abrams e tavola a scosse utilizzati per le prove di laboratorio.



## 7 - Risultati delle prove su campioni di Conglomerato condizionato

### Risultati ottenuti sul campione denominato "Conglomerato" condizionato con il prodotto ACEA A

Per il Conglomerato ed il prodotto ACEA A sono state eseguite una serie di prove in un range limitato di valori di FER, FIR e di acqua aggiunta, considerando i quantitativi di materiale a disposizione e le particolari caratteristiche del litotipo, menzionate in precedenza.

I risultati delle prove di miscelazione sono riportati nella tabella e nella figura seguenti.

Tabella 4 - Risultati delle prove eseguite su campioni condizionati con il prodotto ACEA A.

cod. prova	vagliatura	Umidità	w	Cf	FER	FIR	Slump	Esito
		%	%	%	:1	%	cm	
ACEA GEEG A-01	< 1,07"	7.44	5	2	10.5	15.5	16.5	Accettato
ACEA GEEG A-02	< 1,07"	8.74	7	2	10.5	12.5	19.5	Accettato
ACEA GEEG A-03	< 1,07"	8.94	7	2	11	10	17.5	Accettato
ACEA GEEG A-ALT	< 1,07"	5.6	7	2	13	11	19	Borderline



Figura 17 – Fotografie delle prove di slump eseguite su campioni di Conglomerato condizionato con prodotto ACEA A.

Dalle immagini e dai risultati riportati si può notare come i risultati delle prove sono stati tutti spostati verso il limite inferiore del range di risultati accettabili per una prova di slump (10-20 cm) a causa della bassa percentuale di materiale fino necessario a creare omogeneità nel campione di terreno condizionato.

I valori di FER, tra 10.5 e 13, sono in linea con quelli comunemente utilizzati per lo scavo di gallerie in terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie) ai quali può essere assimilato il conglomerato nella forma alterata sottoposto a prova. I valori di FIR sono decisamente bassi a causa, anche in questo caso, alla scarsa componente fine dei campioni. Per ulteriori commenti generali si rimanda alle considerazioni conclusive raccolte alla fine di questo documento.

### Risultati ottenuti sul campione denominato “conglomerato” condizionato con il prodotto ACEA C

Le stesse prove sono state ripetute per il Conglomerato ed il prodotto ACEA C e i risultati delle prove di miscelazione sono riportati nella tabella e nella figura seguenti.

Tabella 5 - Risultati delle prove eseguite su campioni condizionati con il prodotto ACEA C.

cod. prova	vagliatura	Umidità %	w %	Cf %	FER :1	FIR %	Slump cm	Esito
ACEA GEEG C-01	< 1,07"	8.71	7	2	10.5	11	18.5	Accettato
ACEA GEEG C-02	< 1,07"	7.68	5	2	11.5	14.5	19.5	Borderline
ACEA GEEG C-03	< 1,07"	9.47	7	2	11.5	7	20	Non accettato
ACEA GEEG C-ALT	< 1,07"	3.71	7	2	13.5	10	19	Borderline





Figura 18 – Fotografie delle prove di slump eseguite su campioni di Conglomerato condizionato con prodotto ACEA C.

Dalle immagini e dai risultati riportati si può notare come, anche in questo caso, i risultati delle prove sono stati tutti spostati verso il limite inferiore del range di risultati accettabili per una prova di slump (10-20 cm) a causa della bassa percentuale di materiale fino necessario a creare omogeneità nel campione di terreno condizionato.

Come già notato nel caso del prodotto ACEA A, i valori di FER, tra 10 e 13.5, sono in linea con quelli comunemente utilizzati per lo scavo di gallerie in terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie) ai quali può essere assimilato il conglomerato nella forma alterata sottoposto a prova. I valori di FIR sono decisamente bassi a causa, anche in questo caso, alla scarsa componente fine dei campioni che porta, nel caso di aumento del FIR all'impossibilità da parte del campione di trattenere la schiuma e i liquidi omogeneamente. Per ulteriori commenti generali si rimanda alle considerazioni conclusive raccolte alla fine di questo documento.

## Risultati ottenuti sul campione denominato “conglomerato” condizionato con il prodotto ACEA D

Le stesse valutazioni sono state fatte nel caso del prodotto ACEA D; sono state riproposte le stesse prove in un range di valori di FER, FIR e di acqua aggiunta simili.

I risultati delle prove di miscelazione sono riportati nella tabella e nella figura seguenti.

Tabella 6 - Risultati delle prove eseguite su campioni condizionati con il prodotto ACEA D.

cod. prova	vagliatura	umidità %	w %	Cf %	FER :1	FIR %	Slump cm	Esito
ACEA GEEG D-01	< 1,07"	9.46	7	2	10	10	18.5	accettato
ACEA GEEG D-02	< 1,07"	6.42	5	2	11.5	10.5	18	accettato
ACEA GEEG D-03	< 1,07"	8.84	7	2	11.5	9.5	17	accettato
ACEA GEEG D-ALT	< 1,07"	5.1	7	2	12.5	9	19.5	non accettato



Figura 19 – Fotografie delle prove di slump eseguite su campioni di Conglomerato condizionato con prodotto ACEA D.

Anche per il prodotto ACEA D, dalle immagini e dai risultati riportati si può notare come i risultati delle prove sono stati tutti spostati verso il limite inferiore del range di risultati accettabili per una prova di slump (10-20 cm) a causa della bassa percentuale di materiale fino necessario a creare omogeneità nel campione di terreno condizionato.

Come già notato nel caso di entrambi i prodotti testati in precedenza, i valori di FER, tra 10 e 12.5, sono in linea con quelli comunemente utilizzati per lo scavo di gallerie in terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie) ai quali può essere assimilato il conglomerato nella forma alterata sottoposto a prova. I valori di FIR sono decisamente bassi in generale e leggermente più bassi rispetto ai valori testati per i prodotti precedenti a causa, anche in questo caso, alla scarsa componente fine dei campioni che porta, nel caso di aumento del FIR all'impossibilità da parte del campione di trattenere la schiuma e i liquidi omogeneamente. Per ulteriori commenti generali si rimanda alle considerazioni conclusive raccolte alla fine di questo documento.

## Risultati ottenuti sul campione denominato "conglomerato" condizionato con il prodotto ACEA F

Infine, anche per il prodotto ACEA F sono state riproposte le stesse prove.

I risultati delle prove di miscelazione sono riportati nella tabella e nella figura seguenti.

Tabella 11 - Risultati delle prove eseguite su campioni condizionati con il prodotto ACEA F.

cod. prova	vagliatura	Umidità %	w %	Cf %	FER :1	FIR %	Slump cm	Esito
ACEA GEEG F-01	< 1,07"	8.82	7	2	10.5	13	20	Borderline
ACEA GEEG F-02	< 1,07"	7.28	5	2	11.5	10	17.5	Accettato
ACEA GEEG F-03	< 1,07"	7.96	7	2	11.5	8	19	Accettato
ACEA GEEG F-ALT	< 1,07"	4.12	7	2	12.5	9	19.5	Borderline





Figura 20 – Fotografie delle prove di slump eseguite su campioni di Conglomerato condizionato con prodotto ACEA F.

## 8 - Considerazioni conclusive sui risultati ottenuti

Dall'insieme delle prove eseguite possiamo concludere che:

- il litotipo denominato Conglomerato, per via delle sue caratteristiche di granulometria è risultato essere un materiale particolarmente complesso da condizionare; in generale infatti, come peraltro previsto dal progetto, il condizionamento di tale formazione e l'utilizzo della TBM con la camera di scavo in pressione, deve essere vista come una soluzione limite nel caso di particolari situazioni di scavo da affrontare mediante una adeguata attività di condizionamento;
- in generale, in questa fase di sviluppo del progetto, risulta comunque corretto e cautelativo prevedere questa eventualità e sviluppare tutti gli studi necessari per verificare la compatibilità tecnica e ambientale del condizionamento del terreno con e modalità di riutilizzo delle terre e rocce da scavo;
- tutti i prodotti utilizzati nell'attività sperimentale sono risultati idonei a condizionare i campioni di terreno in un range di valori di Cf, FER e FIR piuttosto simili; naturalmente tra i prodotti testati esistono differenze, sinteticamente descritte di seguito:
  - o in termini di viscosità il prodotto C risulta decisamente più viscoso degli altri; questa caratteristica, pur non pregiudicando in alcun modo il suo utilizzo, deve essere adeguatamente considerata nel momento della taratura della pompa di iniezione degli agenti condizionanti nella TBM, al fine di evitare significativi errori nella concentrazione effettivamente utilizzata; gli altri prodotti sono sostanzialmente in linea con gli standard;
  - o in termini di stabilità i prodotti risultano sostanzialmente analoghi nel range di valori di FER sottoposti a prova e ricadono nella Classe IV secondo il sistema di classificazione menzionato in precedenza;

- i parametri del condizionamento ottimali emersi dall'insieme delle prove eseguite risultano piuttosto simili tra i vari prodotti, segno di una buona riproducibilità complessiva delle prove e di una affidabilità dei risultati;
  - i test sono stati eseguiti tutti a valori di concentrazione Cf 2.0%; tale valore medio potrebbe essere variato leggermente durante lo scavo; in questa fase però, visto il numero di prove eseguite e in mancanza di elementi più precisi si ritiene opportuno considerare un valore del 2.0%; inoltre, come detto in precedenza, considerato il fatto che la stabilità della schiuma generata con i prodotti esistenti risulta essere accettabile ma non particolarmente elevata, si suggerisce di non scendere sotto tale valore di concentrazione per non incorrere nel rischio di generare e iniettare in camera di scavo una schiuma poco stabile e disomogenea;
  - i valori di FER utilizzati (10-13) ricadono nel range di valori solitamente utilizzati per lo scavo di terreni a grana grossa; durante lo scavo potrebbe essere possibile modificare leggermente tali valori; in merito si sottolinea che la riduzione di FER comporta anche una riduzione della stabilità della schiuma generata e che l'utilizzo di valori di FER eccessivamente bassi (inferiori a 6) comporta una significativa riduzione dell'efficienza del sistema di iniezione e del funzionamento delle lance (cannoni);
  - i valori di FIR utilizzati sono relativamente bassi, anche rispetto ai valori proposti in letteratura; esistono lievi differenze tra i vari prodotti che vedono i prodotti A e C necessitare di valori di FIR relativamente più alti rispetto ai prodotti D e F, anche se, il numero di prove eseguite e le peculiari caratteristiche dei campioni rendono complesso approfondire ulteriormente tali considerazioni.
- L'approfondimento delle valutazioni, della campagna di indagini geotecniche e l'esecuzione di prove di abrasione potrebbe permettere l'integrazione di questo studio e l'acquisizione di maggiori informazioni in merito alla gestione del condizionamento in fase di scavo; in questa fase, pertanto, dovendo comunque sviluppare gli studi di compatibilità ambientale necessari alla redazione del Piano di Utilizzo delle terre e rocce da scavo si suggerisce di utilizzare, per il litotipo denominato "conglomerato" i dosaggi, riportati nella tabella seguente, cautelativamente incrementati, nel valore del FIR rispetto ai valori utilizzati durante le prove. Considerando infatti tutte le incertezze esistenti in questa fase del progetto e il fatto che lo sviluppo delle successive analisi chimiche e ambientali utilizzando valori dei dosaggi superiori a quelli strettamente emersi dalle analisi sperimentali sia una soluzione cautelativa, si suggerisce, per quanto possibile, di sviluppare le successive analisi tenendo in considerazione eventuali incrementi di tali dosaggi.

Di seguito, elencati come sintesi conclusive, è riportata una tabella riepilogativa dei dosaggi ottimali considerati e una tabella in cui vengono riportate le risposdenze tra i codici attribuiti nella fase di esecuzione dell'attività sperimentale e i nomi commerciali dei prodotti corrispondenti.

## 9 - Sintesi conclusive

### Parametri di condizionamento emersi dalle prove sul Conglomerato

	W %*	FER	FIR	Cf %	q (kg/l)	Tr (l/m <sup>3</sup> )	Tr (g/kg)
<b>A</b>	12	10	18	2	1.02	0.36	0.128
<b>C</b>	12	10	18	2	1.03	0.36	0.127
<b>D</b>	12	10	15	2	1.02	0.3	0.107
<b>F</b>	12	10	16	2	1.04	0.32	0.111

### Corrispondenze Prodotti commerciali – Codici Sperimentazione

Nella tabella di seguito vengono riportate le corrispondenze tra i codici assegnati ai prodotti nella fase sperimentale e i nomi commerciali degli stessi al fine di rendere possibile, a posteriori, confronti e considerazioni di carattere tecnico/economico.

ACEA A	LAMBERTI - FOAMEX SNG-MD
ACEA C	MAPEI - Polyfoamer ECO100 PLUS
ACEA D	BASF – MasterRoc SLF 32
ACEA F	SIKA - FOAM TBM 510 LS

## 10 - Elenco allegati

Allegati alla presente documentazione:

- Scheda di Sicurezza prodotto LAMBERTI Foamex SNG MD;
- Scheda di Sicurezza prodotto MAPEI Polyfoamer ECO 100 Plus;
- Scheda di Sicurezza prodotto BASF MasterRoc SLF 32;
- Scheda di Sicurezza prodotto SIKA FOAM TBM 510 LS