



ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA ORSARA – BOVINO  
PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO  
Relazione Generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
IF20	00	E 69 RG	TA0000 001	A

## ALLEGATO 5: ATTIVITÀ DI RICERCA SULL'IMPATTO AMBIENTALE DELLE BENTONITI PER APPLICAZIONI DI INGEGNERIA CIVILE



# GEEG

GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING GROUP

Startup di



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle  
bentoniti per applicazioni di ingegneria civile

*Report 1*

20 Ottobre 2020



*Diego Sebastian*

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

## INDICE

1	Introduzione .....	1
2	L'utilizzo dei fanghi bentonitici e dei fluidi polimerici .....	1
2.1.1	Sostegno del foro.....	2
2.1.2	Il trasporto dei detriti.....	3
2.1.3	L'azione lubrificante / la riduzione dell'attrito.....	3
2.1.4	La separazione .....	4
3	Bentoniti.....	4
3.1	Il materiale, i prodotti commerciali e la composizione mineralogica.....	4
3.2	Il processo produttivo .....	5
3.3	I prodotti commerciali.....	7
4	Aspetti ambientali legati all'utilizzo delle bentoniti.....	7
4.1	Indicazioni generali .....	7
4.2	Il riutilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto.....	8
4.3	L'utilizzo di bentoniti nella realizzazione di pali e diaframmi .....	9
4.3.1	Densità .....	10
4.3.2	Viscosità Marsh.....	11
4.3.3	Fluid loss .....	12
4.3.4	pH .....	12
4.3.5	Spessore del filtercake .....	13
4.3.6	Commenti .....	13
5	Conclusioni .....	13
6	Bibliografia.....	16

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

## 1 Introduzione

Nell'ambito delle attività di progettazione sviluppate da Italferr è emersa la necessità di rispondere a specifiche prescrizioni di approfondimenti in merito all'utilizzo dei fluidi bentonitici utilizzati durante la realizzazione di pali e diaframmi in relazione ai rischi per l'ambiente e per la salute umana.

Italferr ha affidato a GEEG, startup innovativa di "Sapienza" Università di Roma, lo sviluppo di una attività di Ricerca in supporto alla progettazione di opere in sotterraneo sviluppate da Italferr, finalizzata ad approfondire la composizione e l'impatto ambientale delle attività di realizzazione dei pali e dei diaframmi con particolare riferimento all'utilizzo di fluidi/fanghi bentonitici anche in relazione al potenziale utilizzo del materiale di smarino come sottoprodotto nell'ambito della normativa sulle terre e rocce da scavo.

L'attività di Ricerca, attualmente in corso, ha portato innanzitutto a definire in modo chiaro le informazioni, i dati e le evidenze disponibili in letteratura e acquisite da GEEG in anni di ricerca sperimentale sui prodotti commerciali (bentoniti) utilizzati per la preparazione dei fluidi di perforazione, sulle loro specifiche tecniche, sulle modalità di utilizzo e sugli eventuali rischi legati all'interazione con l'ambiente in fase di utilizzo, durante la vita utile delle opere realizzate e in relazione al riutilizzo, come sottoprodotto, delle terre e rocce da scavo poste a contatto con tali fluidi.

Inoltre, la stessa attività di Ricerca porterà alla messa a punto di specifici protocolli sperimentali finalizzati ad acquisire direttamente in laboratorio informazioni specifiche e aggiuntive rispetto a quanto disponibile in letteratura al fine di fornire un quadro completo ed esaustivo dell'interazione tra i fluidi/fanghi bentonitici e le terre e rocce da scavo.

Il presente documento contiene una descrizione dei principali elementi in merito ai materiali, alle modalità di utilizzo e all'interazione con l'ambiente utili a mettere a fuoco eventuali rischi, verificare le opportune contromisure, affinare gli strumenti di mitigazione e impostare le attività di controllo da eseguire in sito durante la realizzazione degli interventi previsti dal progetto.

Le informazioni inserite all'interno di questo documento saranno integrate durante le fasi successive dell'attività di ricerca sperimentale con dati e misure sperimentali eseguite su materiali effettivamente utilizzati nella realizzazione di pali e diaframmi.

## 2 L'utilizzo dei fanghi bentonitici e dei fluidi polimerici

La bentonite è un prodotto commerciale diffusamente impiegato nell'ingegneria civile che trova anche larghissimo impiego in molti altri ambiti quali il trattamento e la purificazione delle acque, come supporto nell'agricoltura e nel giardinaggio, nella produzione del vino, nell'industria dei cosmetici, in quella alimentare e in una lunga lista di processi di produzione tra i quali quelli dei mangimi, della carta e della ceramica.

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

Limitatamente alle applicazioni di ingegneria civile i due macro-settori in cui la bentonite è ampiamente utilizzata da decenni, in soluzione acquosa sottoforma di fluidi, sono la realizzazione di perforazioni (pali e diaframmi) e lo scavo di gallerie con TBM, Micro-TBM e altre tecnologie no-dig.

Nelle perforazioni l'utilizzo di sospensioni di bentonite permette la stabilizzazione del foro, sigillandone le pareti, impedendo il collasso durante le operazioni, e garantisce il trasporto fuori dallo scavo del residuo solido prodotto (smarino).

Nel caso del Tunnelling e del MicroTunnelling invece il ruolo della bentonite è duplice, da una parte serve come nel caso dei pali e dei diaframmi a stabilizzare il cavo prima dell'installazione del rivestimento definitivo e al trasporto dello smarino verso l'esterno, dall'altra serve come lubrificante evitando o riducendo l'usura degli utensili di scavo.

Un fluido di perforazione deve svolgere diverse funzioni:

- sostegno del foro;
- trasporto dei detriti in superficie;
- riduzione dell'attrito tra gli utensili di scavo e le pareti del foro;
- raffreddamento e pulizia degli utensili di scavo.

A tale scopo nel tempo ha preso piede e si è ampiamente diffuso l'utilizzo dei fluidi bentonitici ottenuti aggiungendo all'acqua poche unità percentuali in peso di bentonite (di norma tra il 4.5% e il 9%), miscelando e lasciando a riposo per garantire la dispersione e l'idratazione delle particelle.

### 2.1.1 Sostegno del foro

Il fango bentonitico possiede proprietà tixotropiche: con tixotropia si intende il comportamento di un fluido non newtoniano in cui la viscosità diminuisce all'aumentare del tempo di applicazione dello sforzo di taglio a parità di tutte le altre condizioni.

La tixotropia permette al fluido bentonitico di stabilizzare le pareti dello scavo per il tempo necessario a eseguire il getto grazie alla formazione sulle pareti del foro di un film di spessore millimetrico praticamente impermeabile denominato *cake*, *mudcake* o *filtercake*.

Affinché si formi tale membrana scarsamente permeabile è necessario che la pressione del fluido all'interno della perforazione sia sempre superiore alla pressione interstiziale, in questo modo il fango tende a penetrare di pochi millimetri nel terreno circostante; tale filtrazione porta a una riduzione della velocità del fluido e, per quanto detto precedentemente, a un aumento della propria viscosità, andando quindi a creare sul contorno del cavo realizzato mediante la perforazione una parete caratterizzata da coefficienti di permeabilità molto bassi (Figura 1). La bassissima permeabilità che caratterizza il *filtercake* consente di applicare sulla superficie del cavo una tensione efficace stabilizzante pari alla differenza tra la pressione del fango all'interno della perforazione e la pressione dell'acqua interstiziale del terreno.

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

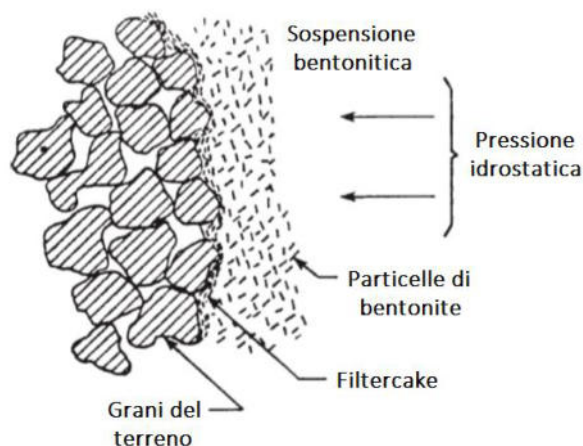


Figura 1: Formazione del filtercake.

Questo procedimento permette di sostenere la superficie scavata (le pareti del foro del palo o del diaframma) fino al momento del getto del calcestruzzo garantendo la possibilità di realizzare il palo o il diaframma con delle geometrie necessarie ad assolvere utilmente il proprio compito.

### 2.1.2 Il trasporto dei detriti

Oltre alla primaria necessità di garantire la stabilità del foro durante la realizzazione del palo o del diaframma (e, conseguentemente, la minimizzazione degli effetti di detensionamento nelle zone di terreno limitrofe), il fango bentonitico è utilizzato per trasportare verso la superficie e successivamente all'esterno del foro il materiale rimosso dalle attrezzature di scavo, detto smarino.

A seconda delle tecnologie di scavo utilizzate i flussi di fluido bentonitico in ingresso e di fango bentonitico (fluido bentonitico più smarino) in uscita sono gestiti in modo leggermente differenti; tuttavia in tutte le tecnologie un ruolo determinante è svolto dalla densità del fango bentonitico, necessaria a mantenere in sospensione lo smarino e la sua stabilità, intesa come capacità della bentonite di rimanere omogeneamente dispersa nell'acqua e non comportare fenomeni di separazione o sedimentazione.

### 2.1.3 L'azione lubrificante / la riduzione dell'attrito

Nell'ambito della realizzazione di opere in sotterraneo (gallerie idrauliche, ferroviarie o stradali) sono ampiamente utilizzate tecnologie trenchless quali microtunnelling, spingitubo o, nel caso di grandi diametri, Tunnel Boring Machines.

In questo tipo di applicazioni, le principali funzioni dei fanghi di perforazione sono sia il supporto del foro che l'impermeabilizzazione, per le quali è sufficiente un comportamento tixotropico già descritto, ma anche la lubrificazione per la quale spesso si fa ricorso all'aggiunta di polimeri o alle bentoniti definite "estese" di cui si parlerà approfonditamente nei capitoli seguenti.

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

L'azione lubrificante serve infatti laddove, a causa delle dimensioni del fronte di scavo e conseguentemente dell'entità degli attriti che si generano tra gli utensili di scavo e il terreno/roccia, è necessario ridurre l'usura degli utensili utilizzando lo stesso fango bentonitico anche come lubrificante.

**Nelle applicazioni ingegneristiche che prevedono l'utilizzo di microtunnelling e altre tecnologie no-dig, quindi, spesso si fa ricorso all'utilizzo di bentoniti estese o additivate in cantiere mediante l'aggiunta dei polimeri.**

Gli aspetti legati alla composizione delle bentoniti saranno approfonditamente trattati nel seguito di questo documento.

#### 2.1.4 La separazione

Come detto, nel caso di utilizzo dei fanghi bentonitici per la realizzazione di pali e diaframmi, la necessità è quella da una parte di sostenere il cavo durante il tempo necessario a completare la perforazione fino alla quota di progetto e a eseguire il getto di calcestruzzo, ma anche convogliare verso la bocca del foro il materiale scavato.

Durante la realizzazione del foro, infatti, il sistema di circolazione dei fanghi include una linea che convoglia il fluido di perforazione contenente i detriti di scavo in sospensione a un impianto di separazione.

**La separazione è essenzialmente descrivibile come una separazione meccanica delle particelle più grossolane (detriti) dal fluido (acqua) e dalle particelle più piccole (bentonite) e comporta una serie di passaggi consecutivi. Il processo è suddiviso in diverse fasi che prevedono una successione di vagli meccanici utili a separare i detriti più grossolani e una centrifuga, un sistema di filtropresse o delle semplici vasche di decantazione per separare le particelle più sottili dall'acqua con l'ausilio di idrocycloni.**

La separazione consente da una parte il recupero dello smarino sotto forma di solido privato della maggior parte del fango bentonitico e dall'altra il recupero della bentonite che viene reimpressa in circolo incrementando la velocità di perforazione e riducendo il consumo delle pompe e delle parti soggette a usura.

### 3 Bentoniti

#### 3.1 Il materiale, i prodotti commerciali e la composizione mineralogica

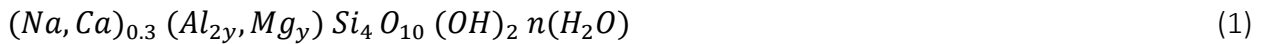
Con bentonite (numero EC 215-108-5, numero CAS 1302-78-9) si intende il nome commerciale di una serie di prodotti a base di argille, principalmente montmorillonite sodica, calcica e potassica; in particolare le bentoniti comunemente in commercio non contengono meno del 60% di smectite e nella maggior parte dei casi superano il 70%. La montmorillonite, infatti, appartiene al gruppo delle smectiti ed è un fillosilicato di alluminio e magnesio la cui struttura cristallina è composta da strati



Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

ottaedrici di allumina ( $Al_2O_3$ ) interposti tra due strati di tetraedri di silice ( $SiO_2$ ), la cui formula chimica (1) è di seguito espressa:



Ulteriori minerali che compongono la restante parte della bentonite possono essere altri minerali argillosi quali illite, caolinite etc. oltre che quarzo, cristobalite, zeolite, mica, feldspato e calcite.

La bentonite è originata dalla devetrificazione o decomposizione parziale di ceneri vulcaniche vetrose, di tufi vulcanici o colate laviche, o anche dalla decomposizione di intrusivi ipoabissali.

**La bentonite è di per sé una risorsa naturale non rinnovabile che si trova nel sottosuolo di particolari zone in Italia e nel mondo, estratta mediante procedimenti meccanici tipici della tradizione mineraria.**

A causa della sua composizione mineralogica di natura impura di fillosilicato di alluminio, le particelle di bentonite hanno una notevole capacità di assorbimento dell'acqua: consistono infatti in sottilissimi fogli cristallini di minerali argillosi con carica negativa raggruppati in pacchetti da ioni positivi di sodio, potassio, magnesio o calcio in uno strato di acqua assorbita. Gli ioni calcio forniscono un legame più forte rispetto agli ioni sodio, per cui la montmorillonite calcica, così come quella magnesiacca, è meno efficace nel trattenere molecole d'acqua rispetto a quella sodica. Gli ioni potassio stabiliscono legami ancora più forti tra i foglietti di argilla in quanto la loro dimensione è tale da non permettere che ci siano spazi tra questi. Dunque la sostituzione del sodio con calcio, magnesio o potassio nella montmorillonite riduce notevolmente la capacità di assorbimento dell'acqua.

Da quanto detto si evince che la tipologia di bentonite più efficace per gli scopi ingegneristici è quella sodica.

### 3.2 Il processo produttivo

Il processo produttivo prevede, a partire dal materiale estratto, una prima fase di purificazione al fine di ridurre la presenza di eventuali impurezze mineralogiche indesiderate. Successivamente può essere necessaria l'attivazione, qualora si tratti di bentonite calcica o magnesiacca: tramite l'aggiunta di carbonato di sodio ( $Na_2CO_3$ ) o soda ( $NaOH$ ) si favorisce la sostituzione tra i cationi  $Ca^{2+}$  ( $Mg^{2+}$ ) e  $Na^+$  nello spazio intra-lamellare al fine di ottenere una bentonite sodica con migliori prestazioni in termini di assorbimento d'acqua e potere rigonfiante (Figura 2, Figura 3).



Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

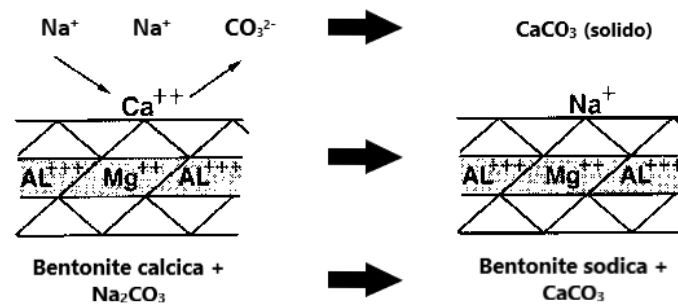


Figura 2: Schema di attivazione della bentonite calcica con carbonato di sodio.

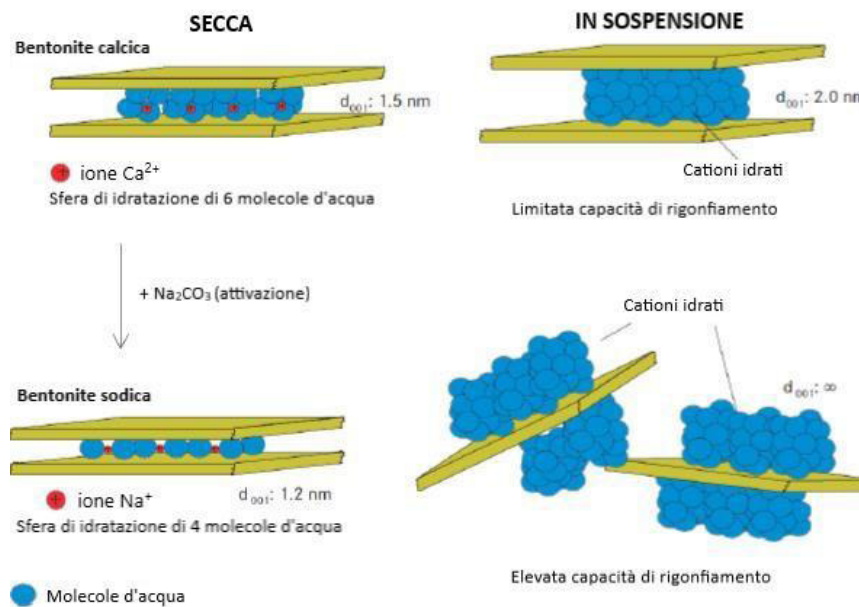


Figura 3: Confronto tra bentonite calcica e sodica.

Segue una fase di essiccazione a temperatura controllata (non oltre i 500°C) per ridurre l'umidità evitando la rimozione dell'acqua interstiziale che inertizzerebbe la bentonite. Infine viene eseguita la macinazione o il setacciamento a seconda del tipo di applicazione per conferire alla bentonite la granulometria desiderata.

Per alcune specifiche applicazioni la bentonite viene additivata, o più propriamente "estesa", con l'aggiunta di additivi a seconda della funzione da assolvere. In questa fase che caratterizza alcuni prodotti commerciali vengono introdotti polimeri naturali come amidi e cellulose, sintetici come i poliacrilati (PA), o ancora semi-sintetici come le carbossimetilcellulose (CMC) o le cellulose polianioniche (PAC). Gli additivi comunemente utilizzati nei fluidi di perforazione sono classificati in:

- viscosizzanti;
- fluidificanti;
- disperdenti;
- emulsionanti;

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

- inibitori di corrosione;
- flocculanti;
- controllori di pH;
- inibitori dell'attività delle argille;
- conservanti.

### **3.3 I prodotti commerciali**

In commercio esistono diversi prodotti che rispondono al nome di "bentonite". Questi prodotti commerciali includono bentoniti calciche e sodiche, naturali ed estese (mediante l'aggiunta di polimeri naturali o sintetici).

Questi prodotti devono essere accompagnati da una scheda tecnica che le identifichi nelle categorie sopra menzionate con specifico riferimento alla presenza di additivi. La dicitura "non estesa", "priva di additivi/polimeri" o "polymer free" è necessaria per escludere la presenza di additivi naturali o sintetici.

Nel caso di bentoniti estese, l'eventuale presenza di sostanze pericolose per l'uomo o per l'ambiente deve essere specificata mediante l'accompagnamento di schede di sicurezza del prodotto contenente tutte le classi di rischio e le informazioni necessarie a trattare il prodotto con le opportune precauzioni.

## **4 Aspetti ambientali legati all'utilizzo delle bentoniti**

### **4.1 Indicazioni generali**

Dal punto di vista ambientale e della salvaguardia della salute, la bentonite non è considerata pericolosa né per l'ambiente né per l'uomo secondo il Regolamento EC 1272/2008 e la Direttiva 67/548/EC attualmente in vigore.

La bentonite non è separatamente classificata dall'Occupation Health and Safety Administration (OSHA) e non è stata classificata come cancerogeno dall'OSHA, dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) e dal Programma Tossicologico Nazionale (NTP).

La bentonite è esente dalla Registrazione REACH secondo l'allegato V.7. Una valutazione del rischio è stata condotta con la supervisione della European Bentonite Association (EUBA) e il risultato è che la bentonite non è una sostanza pericolosa. Perciò, in assenza di rischi identificati, l'impiego della sostanza è considerato sicuro.

Nelle bentoniti estese la presenza di composti organici polimerici o monomerici nei prodotti commerciali impiegati per la preparazione dei fanghi bentonitici provoca l'instaurarsi di interazioni fra la miscela e il terreno con cui entra in contatto, in particolare con la microflora e/o la microfauna. L'interazione può causare effetti eco-tossici a seconda della tipologia di interazione che si instaura in

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

funzione delle condizioni ambientali e del terreno, della presenza o meno di ossigeno disciolto, delle caratteristiche intrinseche dei composti presenti nella miscela bentonitica e della compresenza di determinati composti nello stesso ambiente, in parte o del tutto provenienti dalla miscela bentonitica e in parte dal terreno.

Nonostante non siano tossici, i polimeri sintetici a base di poliacrilati degradano molto lentamente e di conseguenza permangono nel materiale di scavo. Materiali semi-sintetici come le carbossimetilcellulose (CMC) o le cellulose polianioniche (PAC) degradano molto più velocemente e non sono tossiche. Recentemente è stato registrato un incremento dell'utilizzo di polimeri naturali biodegradabili, i quali sono però spesso trattati con biocidi per controllare il tasso di decomposizione e rallentare i fenomeni di degradazione delle caratteristiche fisiche e reologiche dei fluidi. Agenti condizionanti particolarmente sicuri dal punto di vista ambientale sono quelli basati su materiali naturali come la gomma Guar, gli Xanthani o i gel di semi di carruba.

**In ogni caso, da questo punto di vista, non sembra ragionevole a priori estendere quanto inserito nei primi capoversi di questo paragrafo indistintamente a tutte le bentoniti intese come prodotti commerciali, includendo in questa categoria anche le bentoniti estese mediante l'aggiunta di polimeri sintetici o naturali.**

Esiste in questi casi la possibilità di eseguire studi sperimentali finalizzati a definire potenziali effetti eco-tossicologici in relazione a specifici prodotti, applicazioni e terreni interessati.

Lo studio per individuare il possibile impatto ambientale delle miscele bentonitiche deve quindi partire dallo studio del materiale solido commerciale, analizzandone in primis parametri aggregati caratterizzanti, quali pH e carico organico totale (TOC). Successivamente si deve individuare l'eventuale presenza di metalli pesanti, che potrebbero essere presenti come "by-products" durante il processo di lavorazione del materiale (in quanto vengono impiegati come catalizzatori nella produzione degli additivi organici). Infine, una volta preparata la miscela bentonitica, è bene studiare le caratteristiche della fase liquida, dopo aver eseguito il processo di separazione liquido/solido, così da individuare eventuali fenomeni di trasporto di materia dal materiale solido alla fase liquida in contatto.

Gli additivi organici, comunemente denominati "polimeri", possono essere aggiunti anche durante la miscelazione della bentonite commerciale con l'acqua di miscelazione, per i motivi già brevemente discussi. La caratterizzazione di questi additivi risulta essere simile a quella eseguita sulla fase liquida della miscela bentonitica, in quanto prevede sia una fase di caratterizzazione chimica che ecotossicologica.

#### **4.2 Il riutilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto**

In base al DPR 120/2017 è possibile definire il terreno scavato quale sottoprodotto in funzione di determinate caratteristiche chimico-fisiche. Nel dettaglio, rispetto alla classe dei sottoprodotti, il DPR riporta quanto segue: il rispetto dei requisiti di qualità ambientale di cui all'articolo 184-bis, comma

---

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

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.

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.

**Senza la pretesa di essere esaustivi in questo paragrafo si vuole sottolineare come, per quanto contenuto nel presente documento, nel caso delle bentoniti non estese, si può escludere la presenza di sostanze inquinanti e pertanto, ai fini della caratterizzazione come sottoprodotto, sarà sufficiente l'esecuzione dei test 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 previsti in ogni caso.**

Nel caso in cui invece si volesse inserire la possibilità di utilizzo delle bentoniti estese, e in particolar modo per le bentoniti estese con polimeri di origine non naturale, in assenza di informazioni sul profilo eco-tossicologico dei citati polimeri, sembra più opportuno in via del tutto cautelativa riferirsi al caso in cui "sia previsto l'utilizzo di additivi che contengono sostanze inquinanti" e pertanto che il soggetto proponente fornisca 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.

### **4.3 L'utilizzo di bentoniti nella realizzazione di pali e diaframmi**

Nell'ambito della realizzazione di pali e diaframmi la bentonite è contenuta dal filter cake all'interno del foro scavato; lo strato di pochi millimetri di spessore (variabile a seconda della granulometria del terreno) infatti è proprio ciò che isola il foro e permette contestualmente la stabilizzazione dello stesso. **La tenuta del filter cake consente quindi di escludere anche fenomeni di interazione tra la bentonite e il terreno scavato all'interno del palo/diaframma con l'ambiente circostante.**

A questo proposito si deve ricordare come, nell'ingegneria ambientale, i pannelli di bentonite trovano una delle più apprezzate applicazioni proprio come sistemi di isolamento e contenimento degli inquinanti organici e inorganici.

Gli eventuali rischi legati all'utilizzo della bentonite si devono quindi andare a ricercare, non tanto durante le attività di realizzazione del palo o del diaframma, quanto nell'interazione con il terreno

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

scavato e nelle eventuali successive fasi di riutilizzo dello smarino e di smaltimento del fango bentonitico alla fine delle attività.

In questo senso l'unico elemento potenzialmente critico sembra legato all'utilizzo di bentoniti estese e, in particolare, ai prodotti estesi mediante polimeri di origine non naturale.

Nell'ambito della realizzazione dei pali e dei diaframmi, come specificato nei capitolati relativi a pali e micropali e relativi a paratie di pali, diaframmi e palancole di Italferr, le norme di riferimento riguardanti le proprietà dei fanghi stabilizzanti sono:

- UNI EN 1536:2015 "Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Pali trivellati";
- UNI EN 1538:2015 "Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Diaframmi".

Vengono riportate nella sottostante Tabella 1 le caratteristiche della sospensione di bentonite fresca indicate dalle normative.

Tabella 1: Caratteristiche della sospensione di bentonite fresca indicate dalle normative

Proprietà	Valore	Unità di misura
Densità	< 1.10	g/cm <sup>3</sup>
Viscosità Marsh	32 ÷ 50	s
Fluid loss	< 30	cm <sup>3</sup>
pH	7 ÷ 11	-
Spessore filtercake	<3	mm

Ai fini della valutazione dell'impatto ambientale delle bentoniti utilizzate per queste attività è dirimente riuscire a determinare se tali applicazioni possono essere eseguite secondo le prescrizioni dei capitolati precedentemente citati utilizzando bentoniti non estese.

In merito, nei seguenti paragrafi sono stati raccolti dati sperimentali di letteratura acquisiti nell'ambito da attività di Ricerca svolte alla Sapienza utili a dimostrare che esistano bentoniti commerciali non estese in grado di garantire il soddisfacimento di tali requisiti senza la necessità di aggiungere polimeri o altri additivi di qualsiasi natura.

I dati proposti fanno riferimento a prodotti commerciali (Laviosa Bentosund 120 E e Laviosa Bentosund 120 ET) disponibili sul mercato e attualmente utilizzati per la realizzazione di pali e diaframmi. L'utilizzo di prodotti commerciali è finalizzato a dimostrare concretamente la possibilità di realizzare pali e diaframmi senza fare ricorso a bentoniti estese. Le successive fasi sperimentali dell'attività di Ricerca in corso contemplerà l'utilizzo di più prodotti commerciali da diversi fornitori.

#### 4.3.1 Densità

In riferimento ad attività sperimentali condotte, sono riportati nella seguente Figura 4 i valori di densità ottenuti da prove eseguite su un fango costituito da bentonite sodica naturale (Laviosa Bentosund 120 ET) a diverse concentrazioni ed il limite imposto dalla normativa.



Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

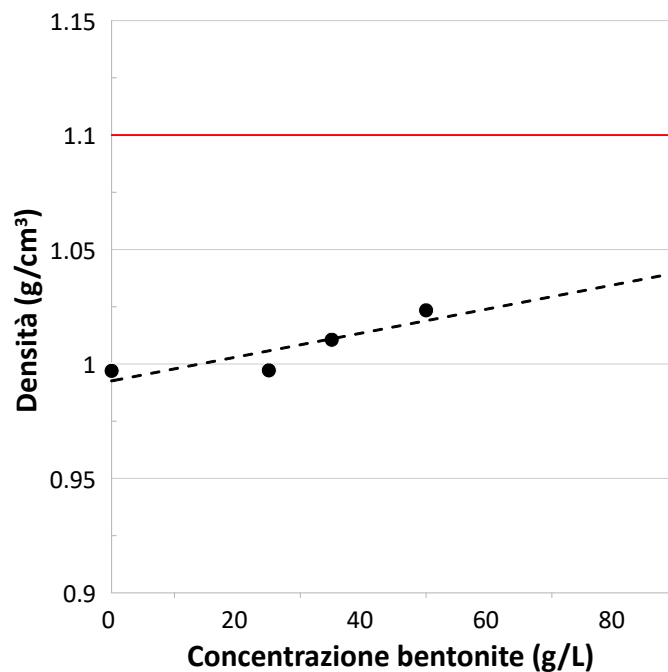


Figura 4: Valori di densità ottenuti a diverse concentrazioni di bentonite, interpolazione lineare di tali valori e limite imposto dalla normativa.

Dai risultati ottenuti e dall'interpolazione effettuata è possibile osservare come i limiti di normativa siano ampiamente rispettati per le concentrazioni di bentonite sodica naturale testate pari a 25 g/L, 35 g/L e 50 g/L, corrispondenti alle percentuali in peso di 2.5%, 3.5% e 5% e fino a circa il 9%.

#### 4.3.2 Viscosità Marsh

In riferimento ad attività sperimentali condotte, sono riportati nella seguente Figura 5 i valori di viscosità Marsh ottenuti da prove eseguite su un fango costituito da bentonite sodica naturale (Laviosa Bentosund 120 ET) a diverse concentrazioni e i limiti imposti dalla normativa.



Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

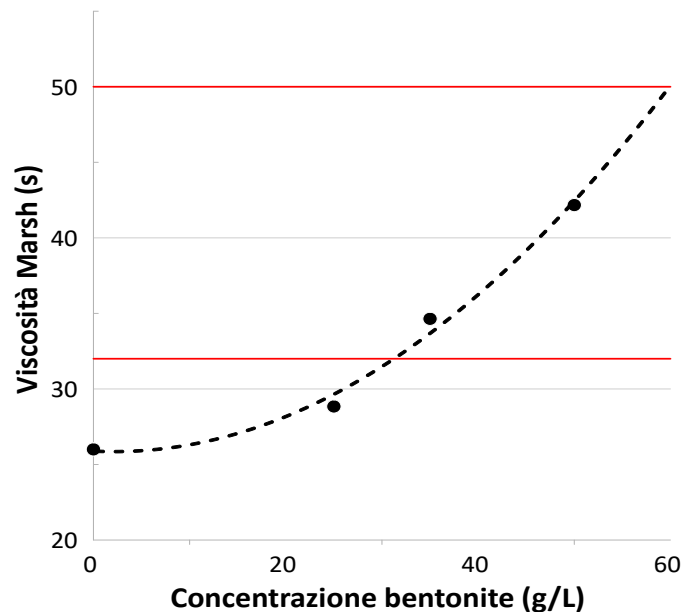


Figura 5: Valori di viscosità Marsh ottenuti a diverse concentrazioni di bentonite, interpolazione polinomiale di tali valori e limite imposto dalla normativa.

Dai risultati ottenuti e dall'interpolazione effettuata è possibile osservare come per concentrazioni di bentonite sodica naturale comprese tra 32 g/L e 60 g/L (ovvero 3.2% e 6%) i limiti di normativa siano rispettati.

#### 4.3.3 Fluid loss

Dalla scheda tecnica delle bentoniti sodiche naturali Laviosa Bentosund 120E ed ET, è possibile apprendere come, per una concentrazione pari al 5%, il fluid loss del fango bentonitico dopo 24 ore di maturazione sia rispettivamente compreso tra 20-25 e inferiore a 25 ml e dunque rispetti i limiti di normativa.

#### 4.3.4 pH

In riferimento ad attività sperimentali condotte, è possibile osservare come il valore di pH ottenuto analizzando il liquido derivante dalla centrifugazione del fango bentonitico costituito da bentonite sodica naturale (Laviosa Bentosund 120 ET) ad una concentrazione del 4.5% risulti essere pari a 9.6 e dunque rispetti i limiti imposti dalla normativa.

Inoltre, dalla scheda tecnica delle bentoniti sodiche naturali Laviosa Bentosund 120E ed ET è possibile apprendere come, per una concentrazione pari al 5%, il valore di pH ottenibile dal fango bentonitico dopo 24 ore di maturazione sia rispettivamente compreso tra 8.5-10.5 e 7- 11 e dunque rispetti i limiti di normativa.

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

#### 4.3.5 Spessore del filtercake

Dalla scheda tecnica delle bentoniti sodiche naturali Laviosa Bentosund 120E ed ET è **possibile apprendere come, per una concentrazione pari al 5%, lo spessore del filtercake ottenibile dal fango bentonitico dopo 24 ore di maturazione sia rispettivamente compreso tra 1-1.5 e inferiore a 3 mm e dunque rispetti i limiti di normativa.**

#### 4.3.6 Commenti

Appare quindi chiaro come sia appropriato, in questa fase progettuale fare riferimento alle bentoniti naturali in quanto è stata verificata l'esistenza di più di una bentonite naturale non estesa disponibile in commercio in grado di garantire il rispetto dei requisiti previsti dai capitolati e dalle normative di riferimento senza includere composti potenzialmente dannosi per l'ambiente. Questo rende non necessario l'utilizzo di bentoniti estese ai fini della realizzazione degli interventi previsti dal Progetto.

La possibilità di proporre, nelle successive fasi progettuali (Progettazione Esecutiva) l'utilizzo di bentoniti estese o di polimeri o additivi non è comunque da escludere ma si ritiene sia opportuno subordinare tale utilizzo, soprattutto nel caso di bentoniti estese con polimeri non naturali, allo svolgimento di studi di caratterizzazione chimica ed eco-tossicologica degli stessi finalizzata ad escludere effetti dannosi sull'ambiente.

## 5 Conclusioni

A conclusione della seguente trattazione, appare utile raccogliere alcuni dei punti più rilevanti raccolti nel presente documento.

- con bentonite si intende il nome commerciale di una serie di prodotti contenenti non meno del 60% e generalmente almeno il 70% di smectite (solitamente montmorillonite, fillosilicato di alluminio e magnesio) considerata, dal punto di vista geotecnico, ricadente nella categoria delle argille;
- per la restante parte le bentoniti naturali, o non estese, includono la presenza di altri minerali argillosi quali illite, caolinite, oltre che quarzo, cristobalite, zeolite, mica, feldspato e calcite, mentre nel caso delle bentoniti estese si trova inoltre l'aggiunta di additivi o polimeri naturali come amidi e cellulose, sintetici come i poliacrilati (PA), o ancora semi-sintetici come le carbossimetilcellulose (CMC) o le cellulose polianioniche (PAC);
- in commercio esistono diversi prodotti commerciali che rispondono al nome di "bentonite" tra i quali bentoniti calciche, magnesiache e sodiche, naturali ed estese (mediante l'aggiunta di polimeri naturali o sintetici);
- dal punto di vista dei rischi per la salute dell'uomo e dell'ambiente la bentonite:
  - o non è considerata pericolosa né per l'ambiente né per l'uomo secondo il Regolamento EC 1272/2008 e la Direttiva 67/548/EC attualmente in vigore;

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

- non è separatamente classificata dall'Occupation Health and Safety Administration (OSHA);
  - non è stata classificata come cancerogeno dall'OSHA, dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) e dal Programma Tossicologico Nazionale (NTP);
  - è esente dalla Registrazione REACH secondo l'allegato V.7;
  - è stata definita una sostanza non pericolosa a seguito di una valutazione del rischio condotta con la supervisione della European Bentonite Association (EUBA).
- nonostante non siano tossici, i polimeri sintetici presenti nelle bentoniti estese degradano molto lentamente e di conseguenza permangono nel materiale di scavo; i polimeri naturali basati su materiali naturali come gomma di Guar, Xanthani o gel di semi di carruba sono generalmente considerati particolarmente sicuri dal punto di vista ambientale;
  - la tenuta del filter cake che si crea al contorno del foro scavato necessaria alla corretta realizzazione di pali e diaframmi consente di escludere in ogni caso fenomeni di interazione tra la bentonite e il terreno scavato all'interno del palo/diaframma con l'ambiente circostante. Il meccanismo è concettualmente analogo a quello dei pannelli di bentonite che trovano una delle più apprezzate applicazioni proprio come sistemi di isolamento e contenimento degli inquinanti organici e inorganici;
  - nel caso delle bentoniti non estese, si può escludere la presenza di sostanze inquinanti e pertanto, ai fini della caratterizzazione come sottoprodotto, sarà sufficiente l'esecuzione dei test 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;
  - nel caso invece delle bentoniti estese, e in particolar modo per le bentoniti estese con polimeri di origine sintetica o semi-sintetica, in assenza di informazioni sul profilo eco-tossicologico dei citati polimeri, sembra più opportuno in via del tutto cautelativa riferirsi al caso in cui "sia previsto l'utilizzo di additivi che contengono sostanze inquinanti" e pertanto che il soggetto proponente fornisca 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;
  - esistono bentoniti naturali non estese disponibili in commercio in grado di garantire il rispetto dei requisiti dai capitolati e dalle normative di riferimento per la realizzazione di pali e diaframmi senza includere composti potenzialmente dannosi per l'ambiente; questo rende non necessario l'utilizzo di bentoniti estese ai fini della realizzazione degli interventi descritti.
  - la possibilità di proporre, nelle fasi successive della progettazione (Progetto Esecutivo), l'utilizzo di bentoniti estese o di polimeri o additivi per la realizzazione di pali e diaframmi non è comunque da escludere ma si ritiene sia opportuno subordinare tale utilizzo, soprattutto nel caso di bentoniti

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

estese con polimeri non naturali, allo svolgimento di studi di caratterizzazione chimica ed ecotossicologica degli stessi finalizzata ad escludere effetti dannosi sull'ambiente.

Attività di Ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile.

---

## 6 Bibliografia

- Bohnhoff G., Shackelford C., Malusius M., Scalia J., Benson C., Edil T., Di Emidio G., Katsumi T., Mazzieri F., "Novel bentonites for containment barrier applications", 2013.
- Decreto legislativo 3 aprile 2006 numero 152, "Norme in materia ambientale (DL 152/06)", 2006.
- Decreto del presidente della Repubblica 13 giugno 2017 numero 120, "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo (DPR 120/17)", 2017.
- Ente Italiano di Normazione, "Esecuzione dei lavori geotecnici speciali – Pali trivellati (UNI EN 1536:2015)", 2015.
- Ente Italiano di Normazione, "Esecuzione dei lavori geotecnici speciali – Diaframmi (UNI EN 1538:2015)", 2015.
- Ente Italiano di Normazione, "Industrie del petrolio e del gas naturale – Materiali per fluidi di perforazione – Specificazioni e prove (UNI EN ISO 13500:2011)", 2011.
- Inglethorpe S. D. J., Morgan D. J., Highley D. E., Bloodworth A. J., "Industrial Minerals Laboratory Manual: Bentonite", 1993.
- Karagüzel C., Çetinel T., Boylu F., Çinku K., Çelik M. S., "Activation of (Na, Ca)-bentonites with soda and MgO and their utilization as drilling mud", 2010.
- Laviosa Chimica Mineraria SpA, "Bentosund 120 E Technical Data Sheet".
- Laviosa Chimica Mineraria SpA, "Bentosund 120 ET Technical Data Sheet".
- Luckham P. F., Rossi S., "The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions", 1999.
- Mewis J., Wagner N. J., "Thixotropy", 2009.
- Miliziano S., Mascarucci Y., Rotisciani G. M., Sacconi S., Marcellino P., "Pali trivellati", 2019.
- Milligan G., "Lubrication and soil conditioning in tunnelling, pipe jacking and microtunnelling", 2000.
- Singh Dhiman A., "Rheological properties and corrosion characteristics of drilling mud additives", 2012.