

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE PROGETTAZIONE**

**S.O. INGEGNERIA AMBIENTALE E DEL TERRITORIO**

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE**

**NPP 0258: GRONDA MERCI DI ROMA - CHIUSURA ANELLO NORD**

**TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO**

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

**Relazione generale**

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

N R 4 E 1 2 R 6 9 R G T A 0 0 0 0 0 0 2 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per CSLLPP	F. Rocchi	Febbraio 2022	D. Bensaadi	Febbraio 2022	T. Paoletti	Febbraio 2022	ITALFERR S.p.A. Paoletti Novembre 2023 Ing. Paduosi Ordine degli Ingegneri di Roma n. 25827 sez.A
B	Emissione esecutiva	D. Bensaadi	Lug.2023	D. Putzu	Lug.2023	T. Paoletti	Lug.2023	
C	Emissione a seguito verifica RFI	D. Bensaadi	Nov.2023	D. Putzu	Nov.2023	F. Formato	Nov.2023	

File: NR4E12R69RGTA0000002C

n. Elab.:

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b></p>												
<p><b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  Relazione generale</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR4E</td> <td>12</td> <td>R69</td> <td>RG TA 00 00 002</td> <td>C</td> <td>2 di 81</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	2 di 81
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	2 di 81								

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>CONFORMITA' DEL PIANO DI UTILIZZO ALL'ALLEGATO 5 DEL D.P.R. 120/2017 .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>SITI DI PRODUZIONE.....</b>	<b>14</b>
4.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E TOPO-CARTOGRAFICO .....	14
4.1.1	CARATTERISTICHE DEL PROGETTO .....	16
4.1.2	IL TRACCIATO FERROVIARIO E LE OPERE PREVISTE .....	20
i)	<b>Sezioni tipo ferroviarie .....</b>	<b>20</b>
ii)	<b>Sezioni tipo in rilevato.....</b>	<b>20</b>
iii)	<b>Sezioni tipo in trincea.....</b>	<b>21</b>
iv)	<b>OPERE D'ARTE PRINCIPALI.....</b>	<b>22</b>
4.1.3	OPERE IN SOTTERRANEO .....	27
	<i>Nuove Gallerie: configurazione, requisiti geometrico-funzionali e metodi di scavo. ....</i>	<i>27</i>
4.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO .....	28
4.2.1	ASSETTO GEOLOGICO LOCALE.....	28
4.2.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO LOCALE.....	41
4.2.3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO LOCALE .....	43
4.2.4	DESCRIZIONE DEI SETTORI DI INTERVENTO.....	46
4.3	CAMPIONAMENTO ED ANALISI .....	53
4.3.1	INDAGINI AMBIENTALI SUI TERRENI LUNGO LINEA.....	53
<b>5</b>	<b>METODICHE DI SCAVO, ANALISI E OPERAZIONI SUI SOTTOPRODOTTI .....</b>	<b>57</b>
5.1	TECNICHE DI SCAVO.....	57
5.1.1	SCAVO TRADIZIONALE .....	57
5.1.2	SCAVO MECCANIZZATO.....	57

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	3 di 81

**Relazione generale**

5.2	QUADRO DEI MATERIALI DI SCAVO PRODOTTI .....	58
5.2.1	QUADRO DEI MATERIALI DI SCAVO PRODOTTI – LOTTO 1B.....	58
5.3	OPERAZIONI SUI MATERIALI DI SCAVO (NORMALE PRATICA INDUSTRIALE).....	59
5.4	ATTIVITÀ DI CONTROLLO E MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA .....	59
5.4.1	MODALITÀ DI CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI DI SCAVO .....	59
5.4.2	CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI ADDITIVATI PROVENIENTI DALLO SCAVO IN MECCANIZZATO .....	62
5.4.3	RISPETTO DEI REQUISITI DI QUALITÀ AMBIENTALE .....	62
5.4.4	MONITORAGGIO AMBIENTALE CONNESSO AL PIANO DI UTILIZZO (CO).....	63
<b>6</b>	<b>SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO .....</b>	<b>65</b>
6.1	DEPOSITO INTERMEDIO .....	65
6.1.1	SISTEMA DI CANTIERIZZAZIONE.....	65
6.1.2	MODALITÀ DI DEPOSITO DEI MATERIALI DI SCAVO .....	68
6.1.3	MODALITÀ DI TRASPORTO .....	70
6.2	CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE DI DEPOSITO INTERMEDIO .....	71
<b>7</b>	<b>SITI DI DEPOSITO FINALE .....</b>	<b>72</b>
7.1	BILANCIO E GESTIONE DEI MATERIALI DI RISULTA – LOTTO 1B .....	72
7.2	RIUTILIZZO FINALE INTERNO AL PROGETTO.....	73
7.3	RIUTILIZZO FINALE ESTERNO AL PROGETTO .....	73
7.4	CARATTERIZZAZIONE DEI SITI DI DEPOSITO FINALE INDIVIDUATI.....	77
7.4.1	MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO ED ESITI DELLA CARATTERIZZAZIONE .....	77
7.5	EFFICACIA DEL PIANO DI UTILIZZO .....	77

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 4 di 81

### ALLEGATI

**Allegato 1:** Quantitativi di materiali di scavo prodotti e Tabella di Riutilizzo

**Allegato 2:** Cronoprogramma lavori

**Allegato 3:** Attività di ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile ("GEEG – Geotechnical & Environmental Engineering Group" startup di "Sapienza – Università di Roma")

**Allegato 4:** Studio sperimentale sulla possibilità di riutilizzo come sottoprodotto delle terre e rocce da scavo derivanti dalla realizzazione di opere in sotterraneo ("GEEG – Geotechnical & Environmental Engineering Group" startup di "Sapienza – Università di Roma")

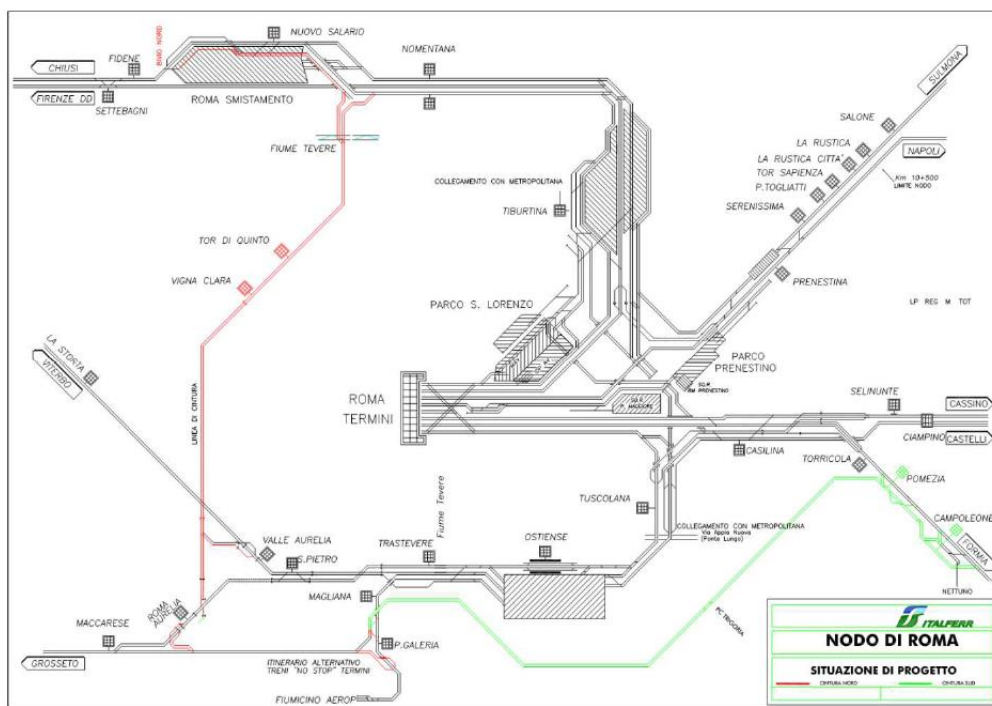


## 1 PREMESSA

Il progetto della chiusura dell'anello nord di Roma è stato oggetto di Progettazione Preliminare (Legge Obiettivo) nell'ambito del più ampio progetto di Gronda Merci di Roma, costituito dalla Cintura Nord e dalla Gronda Sud. Il progetto preliminare è stato oggetto di VIA nel 2004, che si è conclusa con parere positivo, ma con prescrizioni molto impattanti per il tracciato della gronda Sud.

Gli interventi si compongono nello specifico di un itinerario di gronda alla capitale per il traffico merci e un potenziamento per i servizi di tipo metropolitano, al fin di rendere la rete meno vulnerabile a crisi localizzate.

L'area interessata dall'intervento riguarda il territorio di Roma e provincia, ma l'area vasta di ripercussione dei suoi effetti ha carattere regionale e interregionale, essendo Roma un nodo cruciale di attraversamento tra nord e sud del Paese. In Figura 1 è rappresentato lo schematico del nodo di Roma secondo quanto previsto dalla legge obiettivo.



*Figura 1 Schematico del nodo di Roma secondo quanto previsto dalla legge obiettivo*

Per il suo valore trasportistico, è stato deciso di riprendere la progettazione della Cintura Nord, che consentirebbe di potenziare l'offerta commerciale nel nodo e creare un servizio a ring con vocazione prevalentemente di trasporto passeggeri.

Il presente progetto prevede, come stato di fatto, il progetto di riattivazione della tratta Valle Aurelia – Vigna Clara a doppio binario.

Del progetto oggetto della presente documentazione attualmente risultano realizzati:

- galleria Monte Mario;

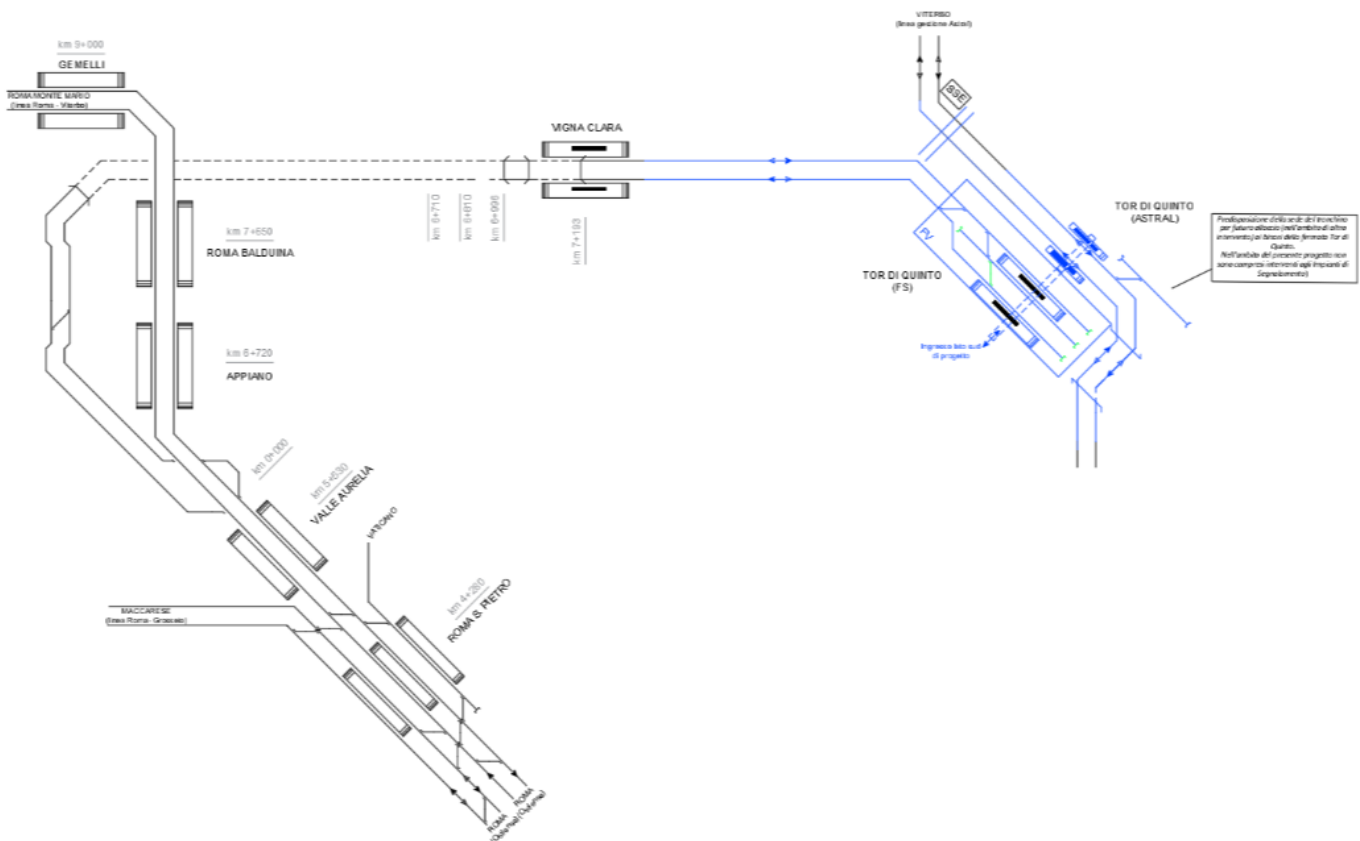
**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

**Relazione generale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	6 di 81

- sede ferroviaria da Valle Aurelia fino a Vigna Clara;
- stazione di Vigna Clara;
- raddoppio tratta Valle Aurelia - Vigna Clara

Di seguito il piano schematico di progetto.



*Figura 2 Scenario Schematico di Progetto del Lotto*

La presente relazione si riferisce esclusivamente al riutilizzo in regime di sottoprodotto delle terre scavate per la realizzazione delle opere previste dal Lotto 1B.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  Relazione generale	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 7 di 81

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il Piano di Utilizzo dei materiali di scavo è stato redatto in conformità al D.P.R. 120/2017. Tuttavia, a titolo esemplificativo ma non esaustivo, si riportano di seguito le principali disposizioni normative nazionali e locali applicabili alle finalità del presente studio:

- **Decreto Ministero dell’Ambiente del 1 marzo 2019, n. 46** - Regolamento relativo agli interventi di bonifica, di ripristino ambientale e di messa in sicurezza, d'emergenza, operativa e permanente, delle aree destinate alla produzione agricola e all'allevamento, ai sensi dell'articolo 241 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.
- **Decreto del Presidente della Repubblica del 13 giugno 2017, n. 120** - “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell’articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164”;
- **Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i.** - “Norme in materia Ambientale”. Il D.Lgs. recepisce in toto l’articolato del Decreto Legislativo 5 febbraio 1997 n. 22 relativamente ai rifiuti;
- **Decreto Ministeriale 5 febbraio 1998 e s.m.i.** – Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22;

### 2.1 Definizione e condizioni di applicabilità del D.P.R. 120/17

Con particolare riferimento all’applicazione del D.P.R. 120/2017 e a quanto riportato all’art. 2 (Definizioni) comma 1 dello stesso, si riportano di seguito gli elementi chiave inerenti alla gestione delle terre e rocce da scavo in qualità di sottoprodotti provenienti dall’opera ferroviaria in progetto:

- si considerano lavori, tutte le attività di costruzione, scavo, demolizione, recupero, ristrutturazione, restauro e manutenzione relativi alla realizzazione della Gronda Merci di Roma;
- si considera come opera, ai sensi dell’art. 2 del D.P.R. 120/2017, l’insieme dei lavori di costruzione della Gronda Merci di Roma;
- sono considerate terre e rocce da scavo tutti i materiali derivanti dagli scavi finalizzati alla realizzazione dell’opera ferroviaria, anche contenenti materiali antropici (vedi definizione succitata), conformi ai limiti di cui alle colonne A e B, Tabella 1, allegato 5 alla parte IV del D.Lgs 152/06 e ss.mm.ii; le terre e rocce da scavo sono costituite da suolo derivante sia da attività di scavo attraverso tradizionali mezzi meccanici con l’utilizzo di materiali per il consolidamento delle

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	8 di 81

**Relazione generale**

opere in sottoterraneo e delle opere di fondazione; in particolare, il presente progetto prevede l'utilizzo di vtr, pvc e malta per il parziale consolidamento delle gallerie scavate con mezzi tradizionali e l'utilizzo di additivi per il condizionamento del materiale proveniente dallo scavo meccanizzato delle gallerie.

- l'Autorità Competente di cui all'art. 5, comma 1, lettera o) del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. è identificata nel Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare;
- i siti di produzione in cui sono generate le terre e rocce da scavo, sono le wbs/parti d'opera in cui è stata suddivisa l'opera, in funzione della loro ubicazione, così come individuati nel presente Piano di Utilizzo;
- i siti di deposito intermedio previsti sono le aree di stoccaggio denominate AS1-01 (lotto 1B) e i siti di deposito terre denominati DT01.
- i siti di destinazione sono wbs/parti d'opera facenti parte dell'opera stessa o siti esterni in cui il sottoprodotto verrà utilizzato come di seguito individuati;
- il Proponente che presenta il Piano di Utilizzo è RFI S.p.A. (di cui Italferr S.p.A. rappresenta il soggetto tecnico).
- il Produttore delle terre e rocce da scavo, sarà il soggetto (o più soggetti) incaricato da RFI S.p.A. affidatario dei lavori.
- l'Esecutore che attuerà il Piano di Utilizzo sarà il Produttore delle terre e rocce da scavo per le wbs/parti d'opera interne al cantiere nonché il soggetto (o più soggetti) incaricato da RFI S.p.A. e il Proprietario/Gestore dei siti di destinazione finale esterni.

Inoltre, in riferimento a quanto previsto dall'art. 4 (Criteri per qualificare le terre e rocce da scavo come sottoprodotti) del D.P.R. 120/2017 si riportano di seguito i requisiti che le terre e rocce da scavo oggetto del presente Piano di Utilizzo soddisfano per essere qualificate sottoprodotti, in dettaglio:

- le terre e rocce da scavo saranno prodotte dai lavori di realizzazione della Gronda Merci di Roma, il cui scopo primario non è la produzione di tale materiale;
- le terre e rocce da scavo prodotte saranno utilizzate secondo quanto definito nel presente Piano di Utilizzo in parte per la formazione di opere in terra e/o di opere di rinverdimento e mitigazione ambientale nell'ambito dei lavori in oggetto ed in parte per il rimodellamento dei siti di deposito definitivi individuati nel presente documento;
- le terre e rocce da scavo sono idonee ad essere utilizzate direttamente al termine del ciclo di produzione senza alcun ulteriore trattamento diverso dalle operazioni di normale pratica industriale;

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 9 di 81

- come riportato di seguito nel presente documento sulla base delle indagini di caratterizzazione ambientale ad oggi eseguite, il materiale da scavo soddisfa i requisiti di qualità ambientale secondo l'Allegato 4 del suddetto Decreto, riportante le *“Procedure di caratterizzazione chimico-fisica e accertamento delle qualità ambientali”*. Tali requisiti verranno inoltre confermati attraverso le ulteriori indagini che verranno eseguite in corso d'opera ai sensi dell'Allegato 9 *“Procedure di campionamento in corso d'opera e per i controlli e per le ispezioni”*, nonché in riferimento agli indirizzi scaturiti dagli studi sperimentali condotti in fase progettuale sulla quota parte dei materiali additivati da scavo meccanizzato.

Il comma 3 definisce sia la percentuale in peso pari al 20% massimo di componente antropico possibile presente affinché una terra e roccia da scavo possa essere qualificata come riporto e quindi come sottoprodotto, nonché quali sono i parametri di qualità ambientale per tali materiali oltre ai requisiti già fissati al comma 2.

Pertanto, in caso di scavo di materiale di riporto, suddetti requisiti saranno verificati rispettivamente secondo la metodica riportata in Allegato 10 del Decreto, ed effettuato il Test di Cessione secondo le metodiche di cui al decreto del Ministro dell'ambiente del 5 febbraio 1998, recante «Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero», pubblicato nel supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 88 del 16 aprile 1998, per i parametri pertinenti, ad esclusione del parametro amianto, al fine di accertare il rispetto delle concentrazioni soglia di contaminazione delle acque sotterranee, di cui alla Tabella 2, Allegato 5, al Titolo 5, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, o, comunque, dei valori di fondo naturale stabiliti per il sito e approvati dagli enti di controllo.

In caso di terre e rocce da scavo contenenti amianto presente in affioramenti geologici naturali, come definito al comma 4, il limite applicabile per tale parametro ai fini del loro utilizzo quali sottoprodotti è riferito alla Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo n. 152 del 2006, secondo quanto previsto dall'allegato 4 al presente regolamento. Il parametro amianto è escluso dall'applicazione del test di cessione.

Il comma 5 del suddetto articolo afferma inoltre che *“La sussistenza delle condizioni di cui al comma 2 del presente articolo è comprovata dal proponente tramite il Piano di Utilizzo”*.

Relativamente alle condizioni di applicabilità del D.P.R. 120/2017, si precisa che in fase di Progetto Definitivo e di redazione del presente PUT si è posta particolare attenzione nell'individuazione dei siti di deposito intermedio, dove le terre e rocce da scavo verranno temporaneamente depositate in attesa del loro trasferimento al sito di destinazione finale, aventi una capacità complessiva tale da assicurare il deposito delle stesse in qualità di sottoprodotti, anche nel caso in cui la possibilità di dare esecuzione al

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 10 di 81

Piano di Utilizzo venisse meno in corso d'opera per eventi eccezionali quali, per esempio: la rescissione del contratto o il fallimento dell'Esecutore del PUT, la necessità di riappaltare l'opera secondo le onerose procedure previste dalla normativa vigente in materia di opere pubbliche, la sopraggiunta indisponibilità di uno o più siti di destinazione finale dei sottoprodotti individuati nel PUT, ecc.

Appare evidente, infatti, che qualora si verificasse una o più delle suddette ipotesi, le terre e rocce da scavo oggetto del presente PUT non risulteranno "abbandonate" e pertanto non vi sarà alcuna volontà di disfarsene da parte del Produttore o del Proponente del PUT; essendo del tutto assente, pertanto, il requisito soggettivo inerente la volontà di disfarsi del bene - necessario per la qualifica in qualità di rifiuti - le terre e rocce da scavo continueranno ad essere gestite in qualità di sottoprodotti in attesa di presentare all'Autorità Competente, ove necessario, un'eventuale Variante al PUT approvato ai sensi dell'art. 15 del D.P.R. 120/2017.

Occorre infine precisare che il Programma Lavori relativo alle opere in progetto potrà essere dettagliato solo in fase di sviluppo della Progettazione Esecutiva ed in relazione alle specifiche esigenze operative di cantiere, pertanto ai fini della completa tracciabilità dei materiali di scavo, le eventuali modifiche rispetto a quanto previsto all'interno del presente PUT - anche se ritenute non sostanziali né comportanti Varianti al PUT (ridistribuzione dei riutilizzi interni senza variazione dei quantitativi in gioco, redistribuzione dei sottoprodotti nelle diverse aree di stoccaggio, dettaglio sul conferimento dei materiali di scavo provenienti dalla tratta in esecuzione) verranno opportunamente comunicate all'Autorità Competente.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  Relazione generale	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 11 di 81

### 3 CONFORMITA' DEL PIANO DI UTILIZZO ALL'ALLEGATO 5 DEL D.P.R. 120/2017

Il Piano di Utilizzo è stato pertanto redatto sulla base dei contenuti richiesti dall'Allegato 5 del D.P.R. 120/2017; ad evidenza di quanto affermato si riporta di seguito la puntuale corrispondenza delle tematiche affrontate nel PUT e negli elaborati tecnici ad esso allegati ai singoli contenuti richiesti dall'Allegato 5 del D.P.R. 120/2017.

Secondo quanto previsto dal suddetto allegato *“Il Piano di Utilizzo indica che i materiali da scavo derivanti dalla realizzazione di opere o attività manutentive di cui all'articolo 1, comma 1 lettera a) del presente regolamento saranno utilizzate, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi purché esplicitamente indicato.*

Nel dettaglio il piano di utilizzo indica:

1. *l'ubicazione dei siti di produzione delle terre e rocce da scavo con l'indicazione dei relativi volumi in banco suddivisi nelle diverse litologie;*

Nel presente Piano di Utilizzo il tema è affrontato nel CAP. 4 e documento correlato **NR4E12R69SHTA0000001A;**

2. *l'ubicazione dei siti di destinazione e l'individuazione dei cicli produttivi di destinazione delle terre e rocce da scavo qualificate sottoprodotti, con l'indicazione dei relativi volumi di utilizzo suddivisi nelle diverse tipologie e sulla base della provenienza dai vari siti di produzione. I siti e i cicli produttivi di destinazione possono essere alternativi tra loro;*

l'ubicazione dei siti di destinazione delle terre e rocce da scavo nonché gli approfondimenti tecnici degli stessi, sono riportati nei CAP. 6-7-8 e nei documenti correlati **NR4E12R69SHTA0000002A** e **NR4E12R69SHTA0000003A.**

3. *le operazioni di normale pratica industriale finalizzate a migliorare le caratteristiche merceologiche, tecniche e prestazionali delle terre e rocce da scavo per il loro utilizzo, con riferimento a quanto indicato all'allegato 3;*

Al fine di migliorare le caratteristiche merceologiche dei materiali di scavo e renderne l'utilizzo maggiormente produttivo e tecnicamente efficace, come descritto all'interno del Piano di Utilizzo nel par. 5.

4. *le modalità di esecuzione e le risultanze della caratterizzazione ambientale delle terre e rocce da scavo eseguita in fase progettuale in conformità alle previsioni degli allegati 1, 2 e 4, precisando in particolare:*



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 12 di 81

- *i risultati dell'indagine conoscitiva dell'area di intervento (ad esempio, fonti bibliografiche, studi pregressi, fonti cartografiche) con particolare attenzione alle attività antropiche svolte nel sito o di caratteristiche geologiche-idrogeologiche naturali dei siti che possono comportare la presenza di materiali con sostanze specifiche;*

Nel presente Piano di Utilizzo il tema è affrontato nel CAP. 4 e nel documento correlato **NR4E12R69SHTA0000001A (allegato 1)**;

- *le modalità di campionamento, preparazione dei campioni e analisi con indicazione del set dei parametri analitici considerati che tenga conto della composizione naturale delle terre e rocce da scavo, delle attività antropiche pregresse svolte nel sito di produzione e delle tecniche di scavo che si prevede di adottare, esplicitando quanto indicato agli allegati 2 e 4;*

Nel presente Piano di Utilizzo il tema è affrontato nei CAP. 4 e 5 e documento correlato **NR4E12R69SHTA0000001A (allegato 4)**;

- *la necessità o meno di ulteriori approfondimenti in corso d'opera e i relativi criteri generali da seguire, secondo quanto indicato nell'allegato 9, parte A;*

Nel Piano di Utilizzo, come descritto al par. 5.3, sono stati riportati i criteri generali di esecuzione della caratterizzazione in corso d'opera, conformemente a quanto stabilito dall'Allegato 9 del D.P.R.;

5. *l'ubicazione degli eventuali siti di deposito intermedio in attesa di utilizzo, anche alternativi tra loro, con l'indicazione della classe di destinazione d'uso urbanistica e i tempi del deposito per ciascun sito;*

All'interno del Piano di Utilizzo, nel documento correlato **NR4E12R69SHTA0000002A (allegato 1)** e nel CAP. 7 si riporta l'ubicazione dei siti di deposito temporaneo, delle aree tecniche e delle aree di stoccaggio nonché l'indicazione delle classi di destinazione urbanistica e i tempi di deposito;

6. *i percorsi previsti per il trasporto delle terre e rocce da scavo tra le diverse aree impiegate nel processo di gestione (siti di produzione, aree di caratterizzazione, siti di deposito intermedio, siti di destinazione e processi industriali di impiego), nonché delle modalità di trasporto previste (ad esempio, a mezzo strada, ferrovia, slurrydotto, nastro trasportatore);*

All'interno del Piano di Utilizzo, le modalità di trasporto previste per la movimentazione delle terre e rocce da scavo dai siti di produzione, depositi intermedi e siti di destinazione sono descritte nel



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>												
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  Relazione generale	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR4E</td> <td>12</td> <td>R69</td> <td>RG TA 00 00 002</td> <td>C</td> <td>13 di 81</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	13 di 81
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	13 di 81								

CAP. 6 e nei documenti correlati **NR4E12R69SHTA0000002A (allegato 2)** e **NR4E12R69CZTA0000001A;**

*Al fine di esplicitare quanto richiesto, i punti 1. 2. 3. 4. e 5. sono esplicitati nei documenti correlati:*

**NR4E12R69SHTA0000001A – PIANO DI UTILIZZO – SCHEDE TECNICHE DEI SITI DI PRODUZIONE**

**NR4E12R69SHTA0000002A – PIANO DI UTILIZZO – SCHEDE TECNICHE DEI SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO**

**NR4E12R69SHTA0000003A – PIANO DI UTILIZZO – SCHEDE TECNICHE DEI SITI DI DEPOSITO FINALE**

**NR4E12R69CZTA0000001A – COROGRAFIA VIABILITA' DI CONFERIMENTO AI SITI DI DESTINAZIONE FINALE**

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  Relazione generale	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 14 di 81

## 4 SITI DI PRODUZIONE

Al fine di fornire un quadro completo delle caratteristiche dei siti di produzione delle terre sono state prodotte delle schede cartografiche riportanti per ogni sito (doc. correlato **NR4E12R69SHTA0000001A – PIANO DI UTILIZZO – SCHEDE TECNICHE DEI SITI DI PRODUZIONE**) le seguenti informazioni:

### Inquadramento territoriale:

- denominazione dei siti, desunta dalla toponomastica del luogo;
- ubicazione dei siti (comune, via, numero civico se presente);
- estremi cartografici da Carta Tecnica Regionale (CTR);
- corografia.

### Inquadramento urbanistico:

- individuazione della destinazione d'uso urbanistica attuale.

### Inquadramento geologico ed idrogeologico:

- -descrizione del contesto geologico della zona, anche mediante l'utilizzo di informazioni derivanti da pregresse relazioni geologiche e geotecniche;
- descrizione del contesto idrogeologico della zona (presenza o meno di acquiferi e loro tipologia) anche mediante indagini pregresse;
- livelli piezometrici degli acquiferi principali, direzione di flusso, con eventuale ubicazione dei pozzi e piezometri se presenti (cartografia preferibilmente a scala 1:5.000).

### Descrizione delle attività svolte sul sito:

- uso pregresso del sito e cronistoria delle attività antropiche svolte sul sito.

### Piano di campionamento e analisi:

- descrizione delle indagini svolte e delle modalità di esecuzione;
- localizzazione dei punti mediante planimetrie;
- elenco delle sostanze ricercate;
- descrizione delle metodiche analitiche e dei relativi limiti di quantificazione.

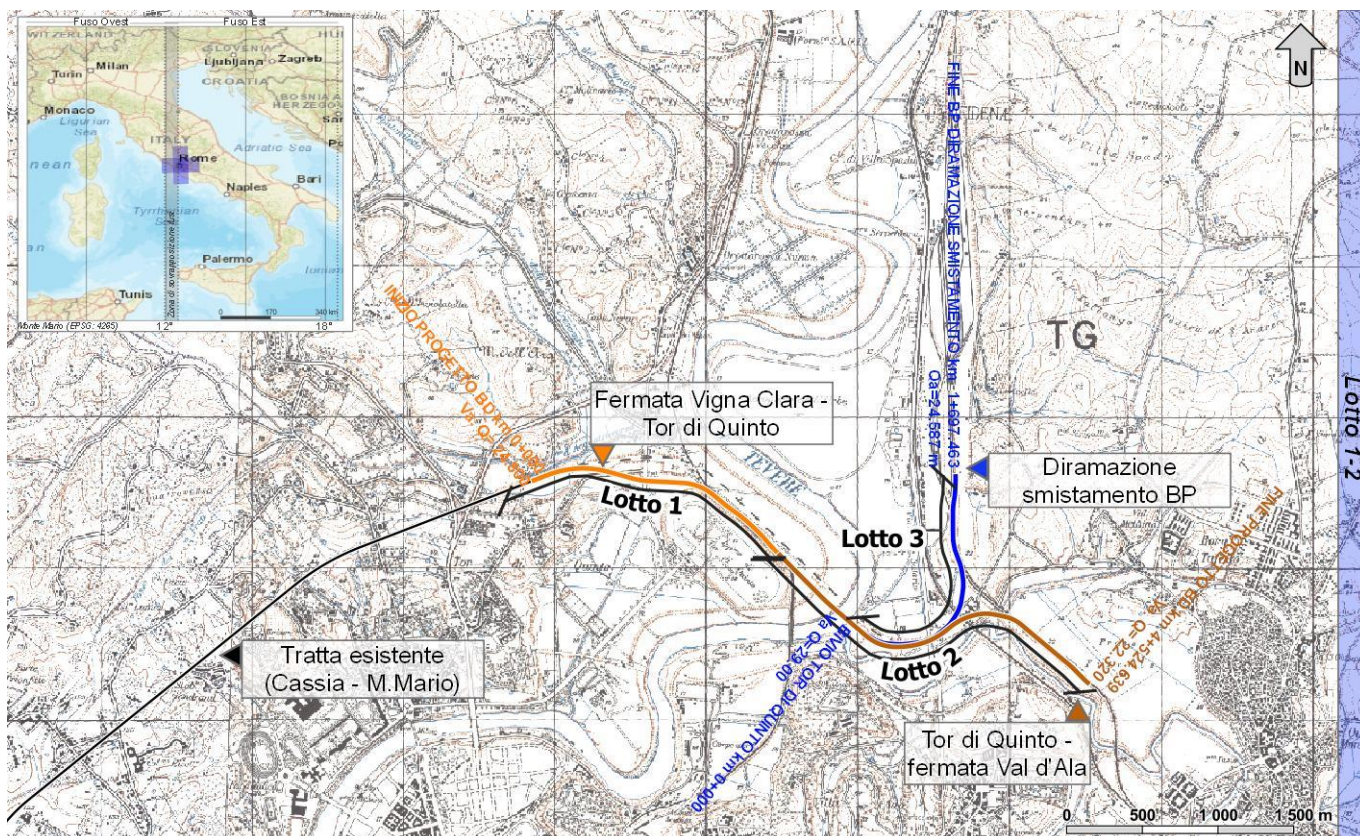
### 4.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E TOPO-CARTOGRAFICO

L'area di studio si colloca nel centro abitato di Roma, in particolare nel settore centro-occidentale e centro-settentrionale dell'abitato. Il progetto è suddiviso in quattro distinti tratti: la tratta "Bivio Pineto –

Stazione Aurelia BD” (Lotto 3), la tratta “Fermata Vigna Clara – Tor di Quinto” (Lotto 1), la tratta “Tor di Quinto – Fermata Val d’Ala” (Lotto 2) e la tratta “Diramazione smistamento BP” (Lotto 3).

Le tratte “Fermata Vigna Clara – Tor di Quinto” e “Tor di Quinto – Fermata Val d’Ala” si sviluppano da W nel municipio Roma XV a SE nel municipio Roma III. Tale tratta si sviluppa per una lunghezza di circa 4+524 km.

Con riferimento alla Carta Topografica d’Italia edita dall’Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.), l’area oggetto di studi è individuabile all’interno del Foglio 149 (Cerveteri) e all’interno del Foglio 150 (Roma) in scala 1:100000, nelle Tavolette 149-I-SE (Roma Ovest), 149-I-NE (Monte Mario) e 150-IV-NO (Roma Nord), in scala 1:25000 e, con riferimento alla Carta Tecnica Regionale della Regione Lazio, negli elementi 374091, 374104, 374063, 374022, 374061, 374074, 374033 in scala 1:5000.



*Figura 3 – Stralcio di ubicazione in scala 1:50000 dell’area di studio geologico con individuazione della tratta ferroviaria “Fermata Vigna Clara Fermata-Tor di Quinto” (Lotto 1), “Tor di Quinto-Val d’Ala BD” (Lotto 2) e “Diramazione smistamento BP” (Lotto 3).*

Il principale corso d’acqua dell’area è rappresentato dal Fiume Tevere che, nascendo del Monte Fumaiolo (1268 m s.l.m. - Appennino Tosco-Emiliano), attraversa un esteso settore dell’Italia centrale per sfociare nel Mar Tirreno. In corrispondenza dell’area urbana di Roma il F. Tevere presenta un

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 16 di 81

andamento circa NNE-SSW e risulta caratterizzato da numerose anse e meandri. Il reticolo idrografico secondario, invece, risulta fortemente inibito a causa della forte antropizzazione subita dall'area nel corso degli ultimi due millenni. In particolare, la tratta “Tor di Quinto – Fermata Val d’Ala” attraversa direttamente il Fiume Tevere. Mentre, a sud della “Diramazione smistamento BP” e della “Tor di Quinto – Fermata Val d’Ala” è presente il Fiume Aniene affluente in sinistra idrografica del più importante Fiume Tevere.

#### 4.1.1 CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

Si riporta di seguito una sintetica descrizione dell'intervento, rimandando per ogni maggiore dettaglio alla Relazione Generale e agli specifici elaborati di progetto.

La chiusura dell'Anello Ferroviario prevede la connessione della stazione di Valle Aurelia con la linea che da Roma Smistamento porta a Tiburtina passando per le fermate/stazioni di Vigna Clara e di Tor di Quinto.

Del progetto oggetto della presente documentazione attualmente risultano realizzati:

- galleria Monte Mario;
- sede ferroviaria da Valle Aurelia fino a Vigna Clara;
- stazione di Vigna Clara;

Il progetto prevede, come stato di fatto, il progetto a cura RFI di riattivazione della tratta Valle Aurelia – Vigna Clara a doppio binario. Di tale progetto precedente è prevista la posa in opera di un solo binario.

Il presente progetto prevede:

- la posa del secondo binario della tratta Valle Aurelia – Vigna Clara in conformità con il progetto di riattivazione della tratta Valle Aurelia – Vigna Clara;
- il nuovo collegamento tra la fermata Vigna Clara e la stazione Val d’Ala, comprensiva della nuova stazione di Tor di Quinto e della diramazione per Roma Smistamento (dal Bivio Tor di Quinto);
- l'Interconnessione con la linea Roma – Grosseto (Bivio Pineto-Stazione Aurelia).
- gli interventi sui binari previsti in Stazione Tiburtina.

Il progetto si articola in 3 lotti funzionali (figura 4):

- **LOTTO 1A e LOTTO 1B** composto da:
  - raddoppio tratta Valle Aurelia - Vigna Clara, sviluppo 7200 m



**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

Relazione generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	17 di 81

- o nuovo collegamento Vigna Clara - Tor di Quinto con interscambio a Tor di Quinto tra la nuova linea e la linea Roma Civitacastellana Viterbo, sviluppo 2100 m

Attivazione 2027;

- **LOTTO 2** composto da:

- o tratta Tor di Quinto – Val d'Ala, sviluppo 2400 m
- o modifiche PRG Tiburtina.

Attivazione 2030;

- **LOTTO 3**

- o tratta Bivio Pineto – Stazione Aurelia, sviluppo 4400 m
- o tratta Bivio Tor di Quinto – Roma Smistamento, sviluppo 1700 m

Attivazione 2035.

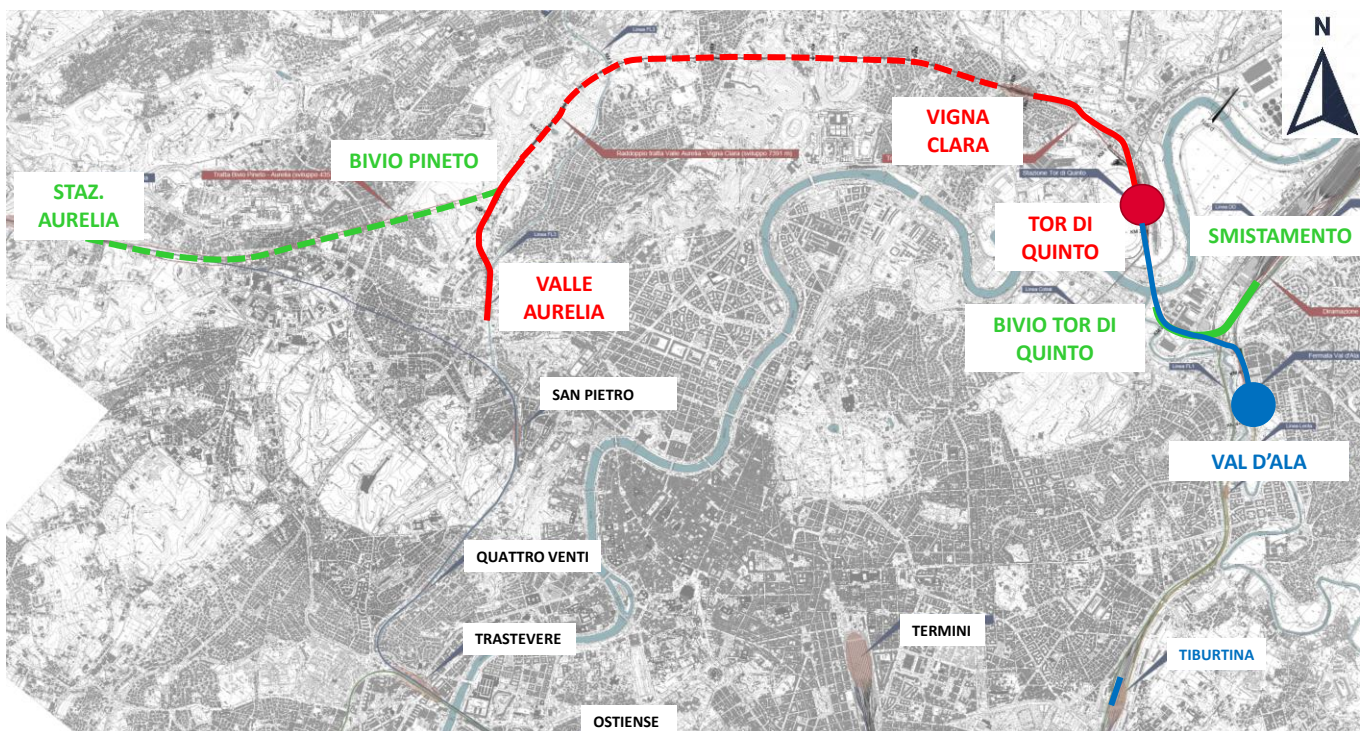


Figura 4 – Individuazione dei 3 Lotti

Per il lotto 1 nel tratto Valle Aurelia – Vigna Clara è prevista la sola posa in opera del secondo binario e l'elettrificazione in conformità al progetto già esistente, in cui sono inclusi gli interventi propedeutici alla realizzazione del doppio binario. Inoltre, non sono previsti interventi nell'ambito della fermata Vigna Clara esistente.

Di seguito gli interventi principali previsti nel LOTTO 1B:

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 18 di 81

- Viadotto Flaminia di lunghezza circa 800 m doppio binario con impalcato a sezione mista acciaio/cls;
- Nuova stazione Tor di Quinto interamente su una struttura scatolare. La livelletta ferroviaria è tale quindi da consentire lo scavalco della linea Roma Nord, che mantiene la sua quota a piano campagna e che trova la sua nuova posizione planimetrica all'interno dello scatolare di sottoattraversamento ferroviario;
- Nuova viabilità della stazione Tor di Quinto;
- Modifiche alla stazione Tor di Quinto della linea Roma Civitacastellana Viterbo
- Farfalla di scavalco della linea Roma Civitacastellana Viterbo

Il progetto prevede interventi di mitigazione acustica mediante realizzazione di barriere antirumore, impianti di trazione elettrica e di LFM per l'alimentazione delle utenze di stazione e cabina TE, impianti RED, impianti IS, quali apparati di sicurezza tipo PPM gestiti da Posti Centrale Multistazione, impianti TLC, interventi sulla LC, armamento.

Lo scenario di riferimento da cui si sviluppa il progetto è riportato nello schematico nella seguente figura 5.

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

Relazione generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	19 di 81

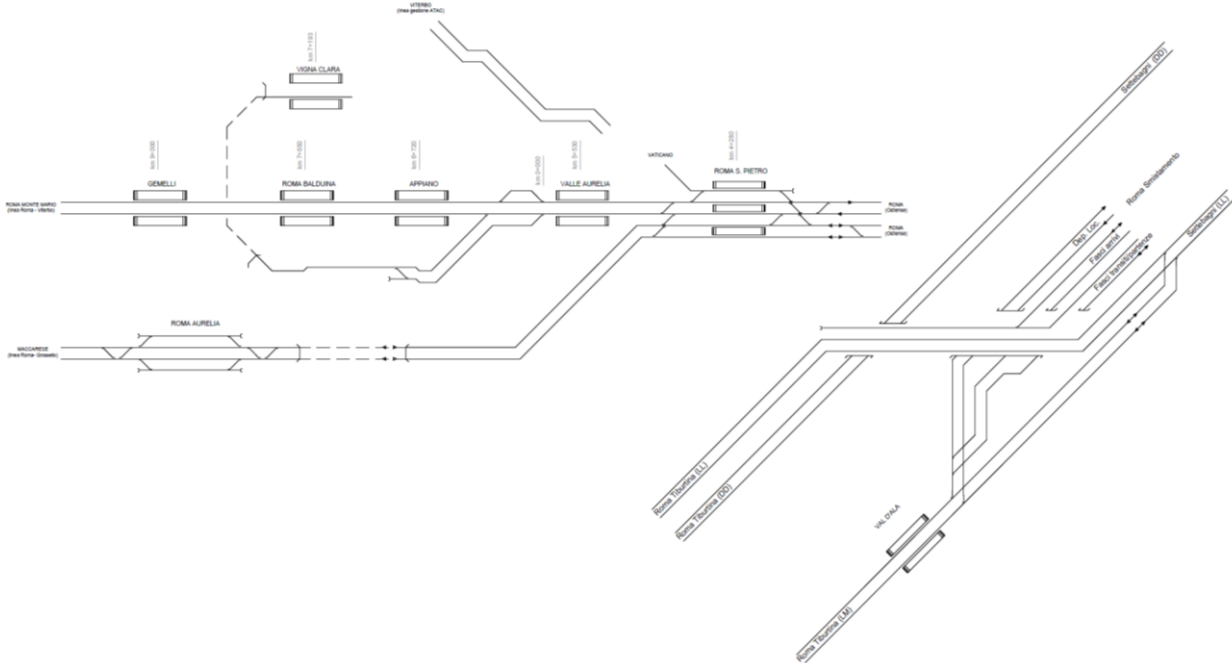


Figura 5 – Scenario di riferimento

Lo scenario finale di progetto è riportato nello schematico in figura 6.

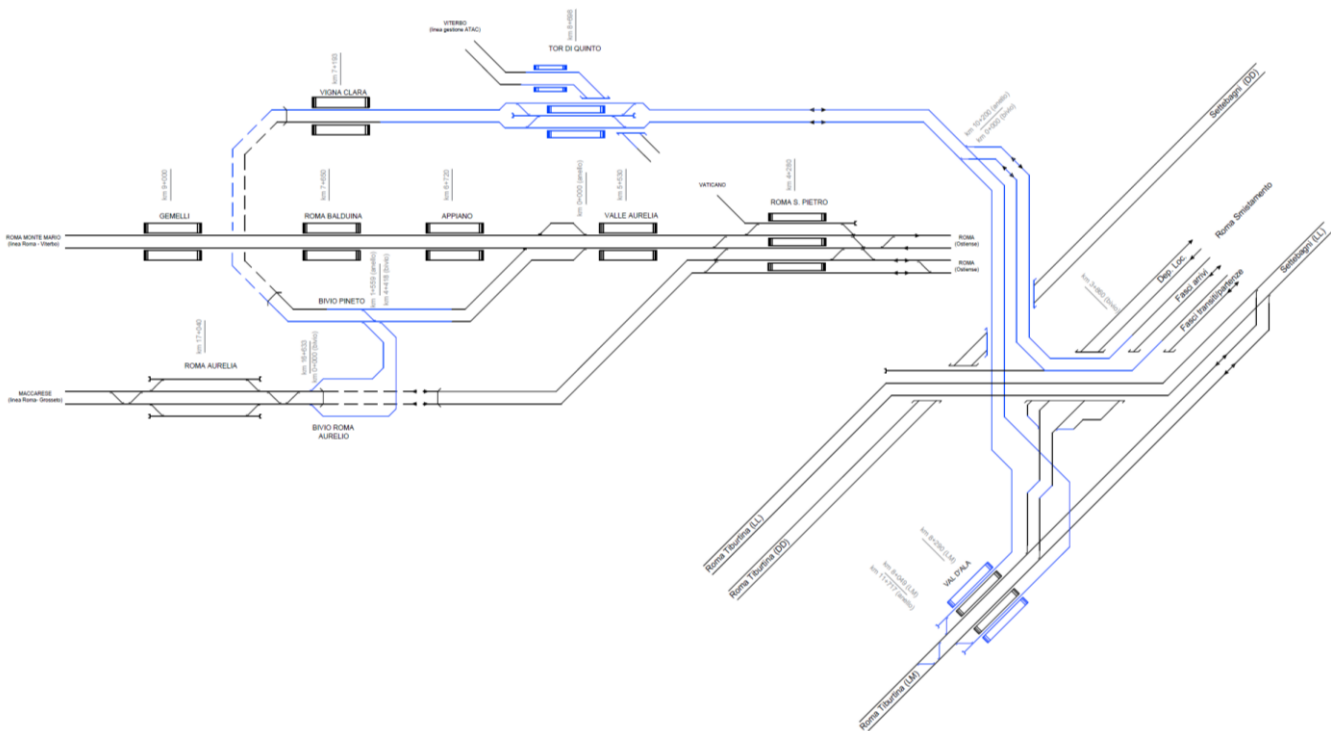


Figura 6 – Scenario di progetto

Per ulteriori dettagli sulle opere in progetto si rimanda agli elaborati specifici.

#### 4.1.2 IL TRACCIATO FERROVIARIO E LE OPERE PREVISTE

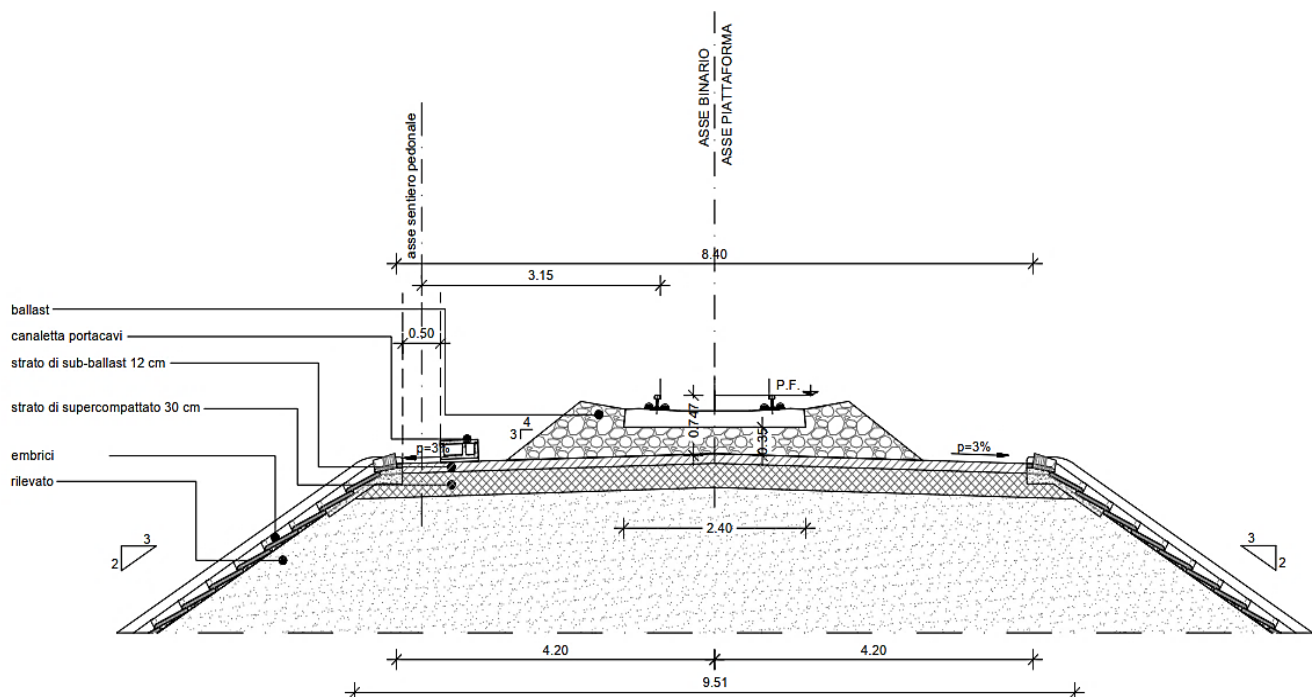
##### i) Sezioni tipo ferroviarie

Le sezioni tipo ferroviarie adottate in rilevato e in trincea sono:

- **sezione a singolo binario per velocità  $V \leq 200$  km/h** che, secondo le indicazioni del “Manuale di Progettazione RFI 2020 – Corpo Stradale”, prevede una piattaforma ferroviaria di larghezza pari a 8,40 m. La sovrastruttura è costituita dall'accoppiamento di strato di super-compattato e sub-ballast in conglomerato bituminoso, aventi spessore rispettivamente pari a 30 cm e 12 cm;
- **sezione a doppio binario per velocità  $V \leq 200$  km/h** che, secondo le indicazioni del “Manuale di Progettazione RFI 2020 – Corpo Stradale”, prevede una piattaforma ferroviaria di larghezza pari a 12,70 m. La sovrastruttura è costituita dall'accoppiamento di strato di super-compattato e sub-ballast in conglomerato bituminoso, aventi spessore rispettivamente pari a 30 cm e 12 cm. L'interasse tra i binari è pari a 4.00m.

##### ii) Sezioni tipo in rilevato

Le sezioni tipo in rilevato sono rappresentate nelle figure seguenti:



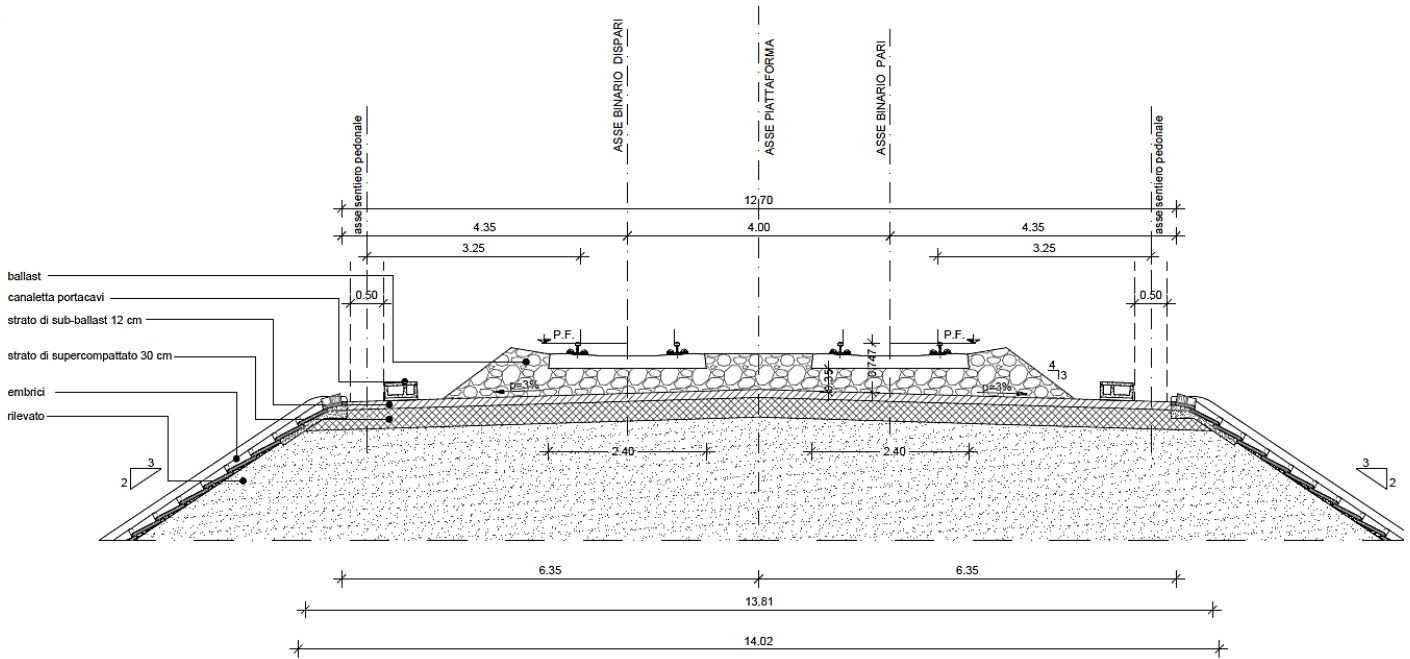


**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

Relazione generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	21 di 81

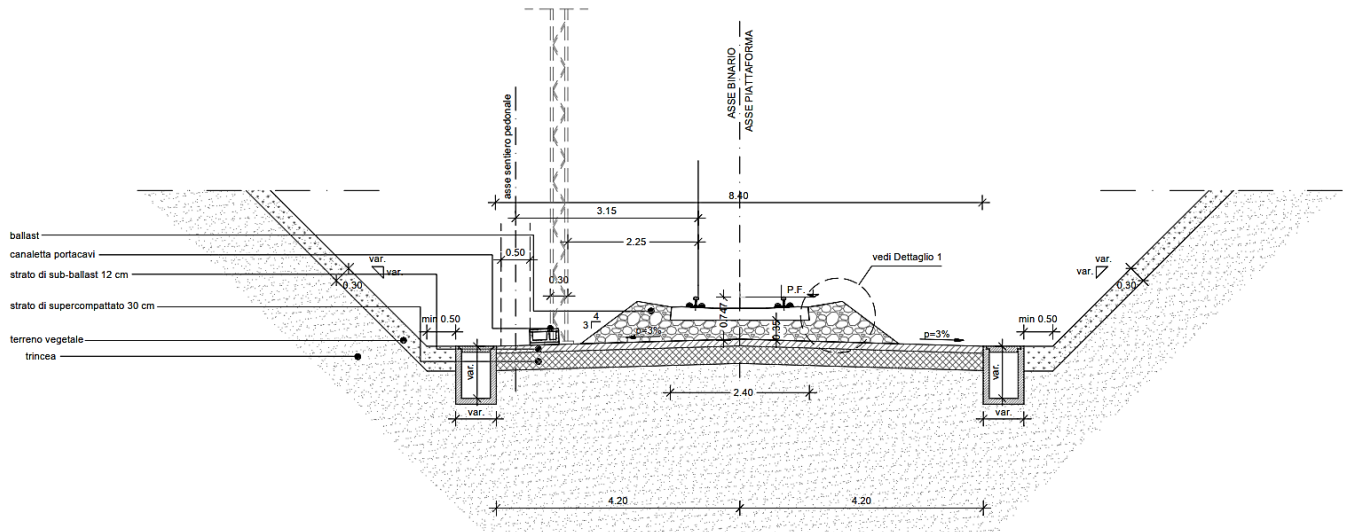
**Sezione tipo in rilevato – singolo binario**



**Sezione tipo in rilevato – doppio binario**

**iii) Sezioni tipo in trincea**

Le sezioni tipo in trincea sono rappresentate nelle figure seguenti:

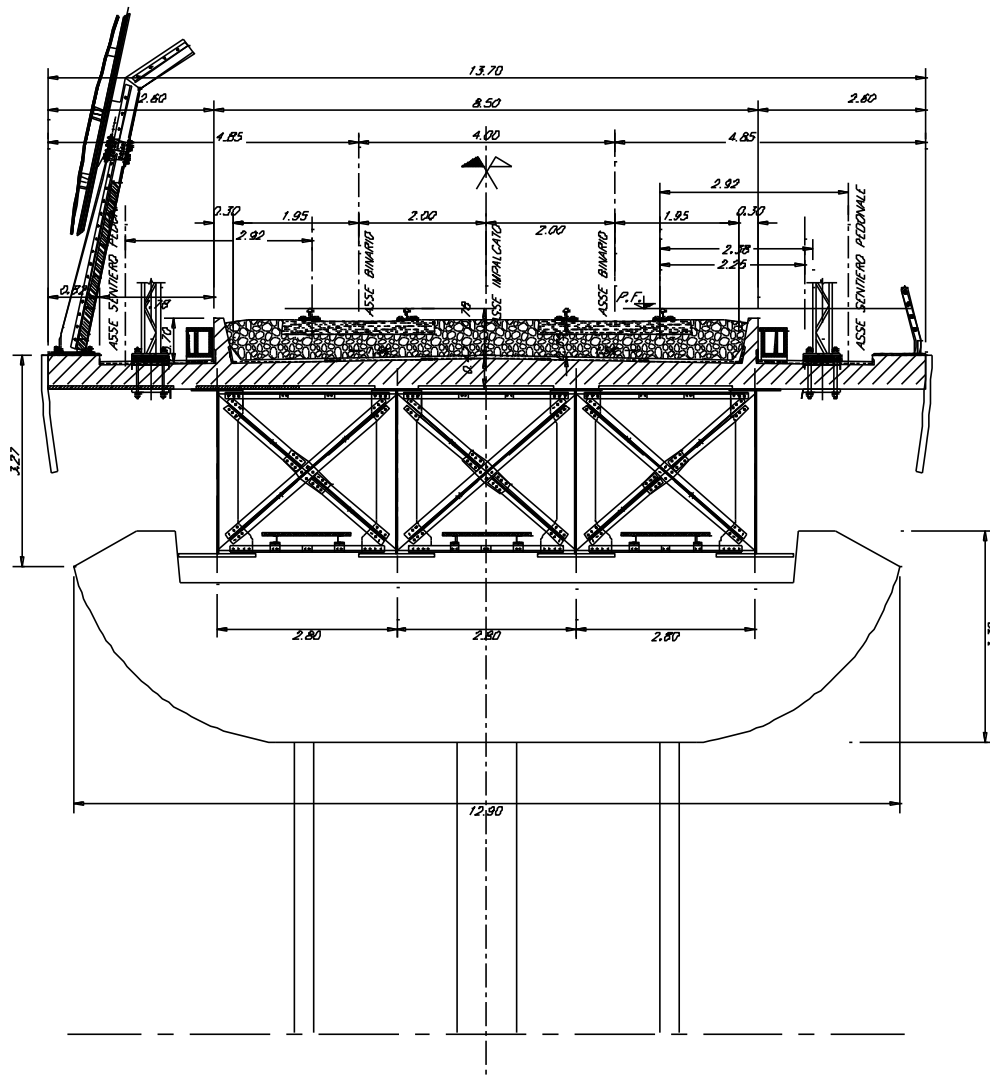


**Sezione tipo in trincea - singolo binario**



conseguente riduzione delle dimensioni delle opere di fondazione. Le sezioni sono predisposte per l'impiego di barriere antirumore, ove necessario.

Di seguito si riporta una vista di una sezione tipo utilizzata per i viadotti a sezione mista acciaio-calcestruzzo.



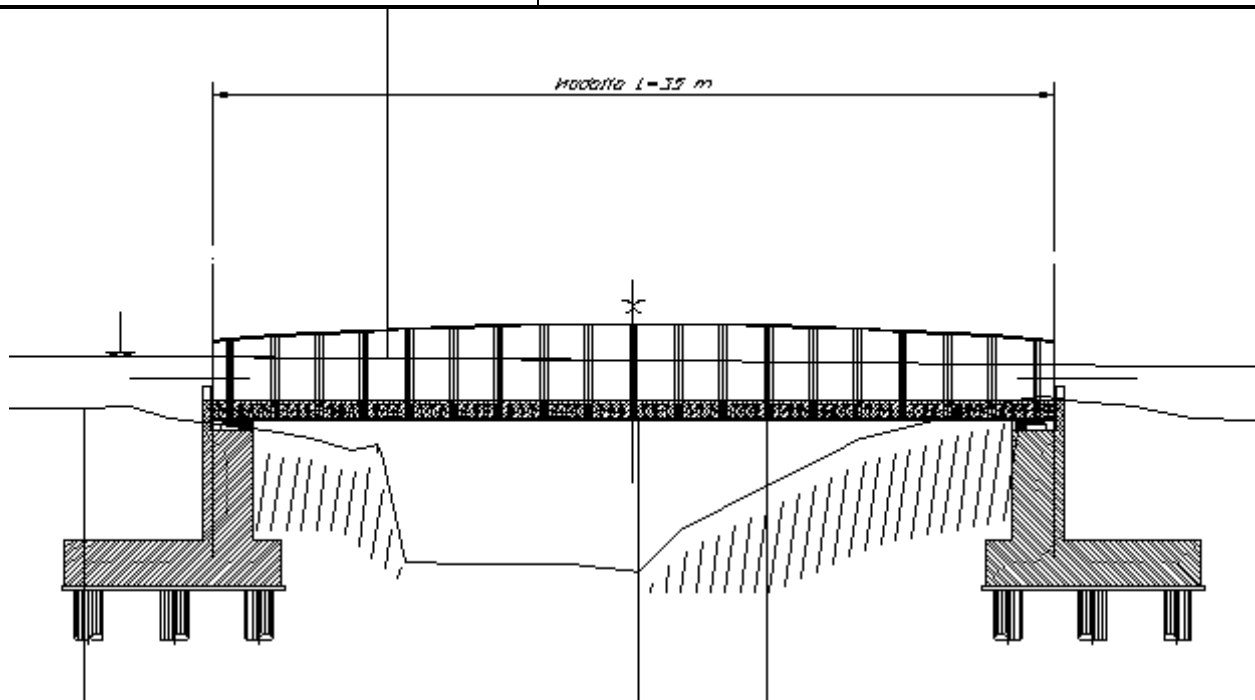
Sezione tipo in viadotto – Sezione mista acciaio-calcestruzzo DB

In alcuni casi si è resa necessaria l'adozione di soluzioni volte ad ottimizzare il pacchetto "p.f.- intradosso implacato", per esigenze legate al franco con le viabilità sottostanti. In questi casi è stata adottata la soluzione di impalcato a via inferiore a parete piena in acciaio.

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

Relazione generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	24 di 81



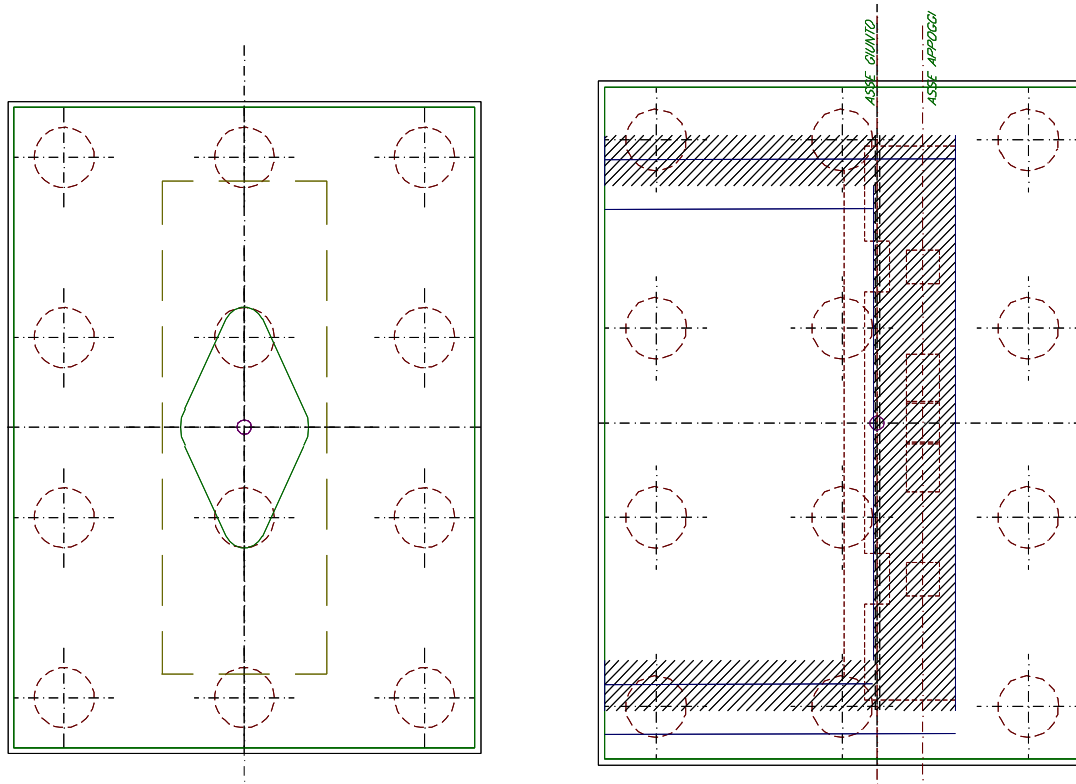
**Sezione tipo in viadotto – Sezione a parete piena**

Le spalle sono realizzate in c.a. gettato in opera, fondate su pali di grande diametro ( $12\Phi 1500$ ). In relazione alle luci previste, è stato previsto l'impiego di pali di grande diametro anche per le fondazioni delle pile ( $12\Phi 1500$ ). Le pile sono a sezione piena in c.a.

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

Relazione generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	25 di 81



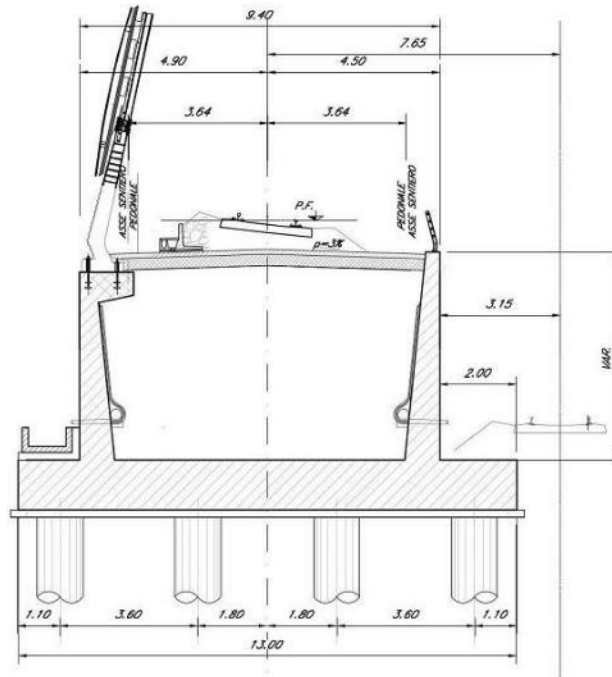
**Pile e spalle tipo**

Infine, la determinazione delle luci in viadotto in corrispondenza del fiume Tevere è stata determinata da vincoli di carattere idraulico oltre che di tracciato e strutturali. Per il superamento del fiume si è reso necessario l'impiego di una campata isostatica di grande luce ( $L=120$  m) a via inferiore, realizzata con archi in acciaio e pendini metallici. La soluzione prevista consente di evitare l'esecuzione di pile all'interno dell'alveo inciso del Tevere, come meglio definito all'interno del § relativo all'idrologia ed idraulica della presente relazione.

Dove necessario, per esigenze di inserimento delle opere di linea i tratti di rilevato sono stati previsti come rilevato tra muri. Tale soluzione ha facilitato l'inserimento del tracciato all'interno delle aree oggetto di intervento, riducendo lo spazio necessario alla realizzazione dei manufatti.

*SEZIONE RILEVATO TRA MURI RIO2*

Scala 1:100



Sezione tipo rilevato tra muri

Di seguito si riporta in forma tabellare l'elenco delle principali opere d'arte di linea.

opera	Nome	Tipo	L	Prog.iniz.	Progr.fin.	Tipologia
VI01	Viadotto Flaminia	-	242	0+670,00	0+912,00	struttura mista acc-cls DB
VI02	Via Stazione Tor di quinto	-	495	0+970,00	1+465,00	struttura mista acc-cls DB
VI03	Scatolare Stazione Tor di Quinto	-	174	1+469,00	1+633,00	Scatolare c.a. DB
GA01	Galleria Artificiale Stazione Tor di quinto	-	220	1+908,00	2+128,00	Farfalla c.a. DB
VI04	Viadotto Tevere	-	610	2+135,00	2+745,00	struttura mista acc-cls DB + arco in acciaio a via inferiore
RI01	Rilevato Tevere-Salaria	-	113	0+263,00	0+376,00	Rilevato tra muri su pali DB
MU01	Muro Tevere-Salaria 1	-	260	0+000,00	0+260,00	Muro
MU02	Muro Tevere-Salaria 2	-	260	2+740,00	3+000,00	Muro
VI05	Viadotto Salaria 2	-	279	0+383,00	0+662,00	struttura mista acc-cls DB
VI06	Viadotto Salaria – Prati Fiscali	-	787	3+005,00	3+792,00	struttura mista acc-cls DB
GA02	Galleria Artificiale Val d'Ala	-	96	3+796,00	3+892,00	Galleria Artificiale in c.a.
RI02	Rilevato Val d'Ala	-	240	3+839,00	4+079,00	Rilevato tra muri su pali SB
VI07	Viadotto Val d'Ala	-	160	3+892,00	4+052,00	struttura mista acc-cls SB
VI08	Viadotto Villa spada	-	35	0+755,00	0+790,00	Parete piena SB a via inferiore
RI03	Rilevato tra muri Smistamento 1	-	124	2+433,00	2+557,00	Rilevato tra muri su pali SB
GA03	Galleria Artificiale Smistamento	-	199	2+434,00	2+633,00	Galleria Artificiale in c.a.
VI09	Viadotto Nuovo Smistamento	-	154	2+633,00	2+787,00	struttura mista acc-cls SB
RI04	Rilevato tra muri Smistamento 2	-	455	2+787,00	3+242,00	Rilevato tra muri su pali SB

Tabella principali opere d'arte di nuova costruzione



#### 4.1.3 OPERE IN SOTTERRANEO

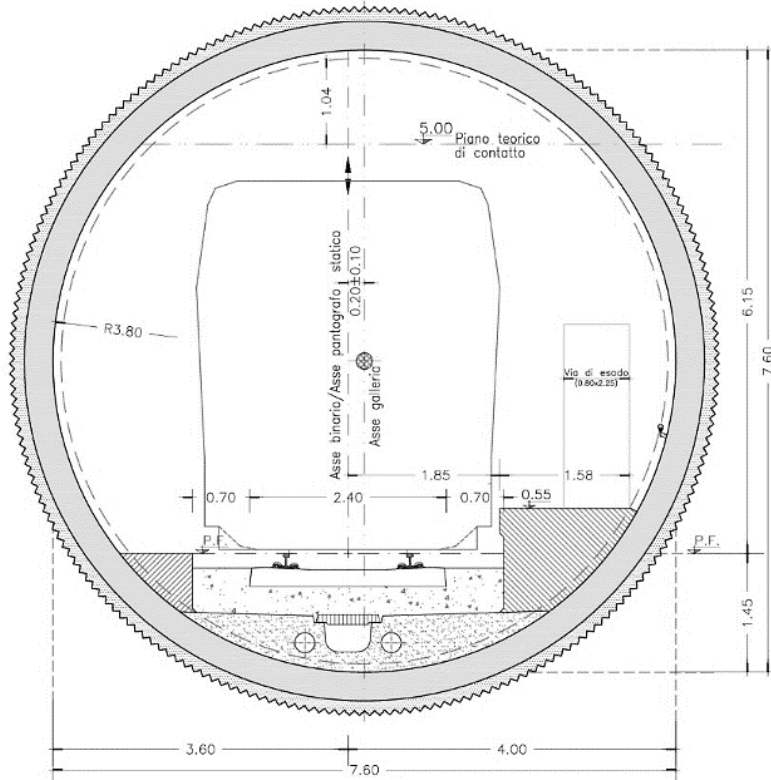
##### Nuove Gallerie: configurazione, requisiti geometrico-funzionali e metodi di scavo.

La soluzione prescelta prevede la realizzazione di una nuova galleria a doppia canna singolo binario delle lunghezze di 3.931 metri circa per il binario pari e 4.066 metri per il binario dispari.

La nuova opera in sotterraneo si colloca nel settore Nord-Ovest della città di Roma, attraversando depositi costituiti da alternanze di sabbie, limi e argille sotto falda. Le gallerie sottopassano per gran parte del loro sviluppo un contesto urbanizzato caratterizzato da numerose e significative preesistenze in superficie e interferiscono in alcuni punti con le infrastrutture di trasporto sotterraneo della città (rete ferroviaria e metropolitana).

In considerazione del contesto geotecnico e delle preesistenze, sia in superficie che in sotterraneo, la realizzazione delle gallerie richiede l'adozione del metodo di scavo meccanizzato tramite TBM. Le sezioni d'intradosso previste, tutte a semplice binario, sono adatte al transito del Gabarit B1 (a cui corrisponde il P.M.O. n°3) ad una velocità massima di 160 Km/h, sono conformi a quanto stabilito dal Manuale di Progettazione di RFI e sono predisposte per l'inserimento dell'armamento di tipo tradizionale e dell'alimentazione a 3kV in c.c.

La direzione di avanzamento procederà dall'imbocco Nord (Bivio Pineto) verso l'imbocco Ovest (Bivio Aurelia) in quanto nella zona più occidentale del tracciato non vi sono gli spazi necessari ad installare dei cantieri che possano alimentare anche il verso di avanzamento contrario a quello appena descritto.



Sezione tipo in galleria – scavo meccanizzato

## 4.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Si riporta di seguito una sintesi degli aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici che caratterizzano l'area di indagine e che hanno consentito di poter valutare i rapporti tra l'opera in oggetto ed il territorio circostante.

### 4.2.1 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE

Il centro urbano di Roma e la sua periferia ricadono prevalentemente a SW della confluenza tra il F. Tevere e il F. Aniene, nella porzione di territorio compresa tra la Catena Appenninica a est e il Bacino Tirrenico ad ovest (Funciello & Giordano 2008). In particolare, l'area urbana della capitale si colloca in corrispondenza della zona di transizione tra il Distretto Vulcanico Sabatino a NW e il Vulcano dei Colli Albani a SE (De Rita et al. 1996; Giordano et al. 2006; Funciello & Giordano 2008).

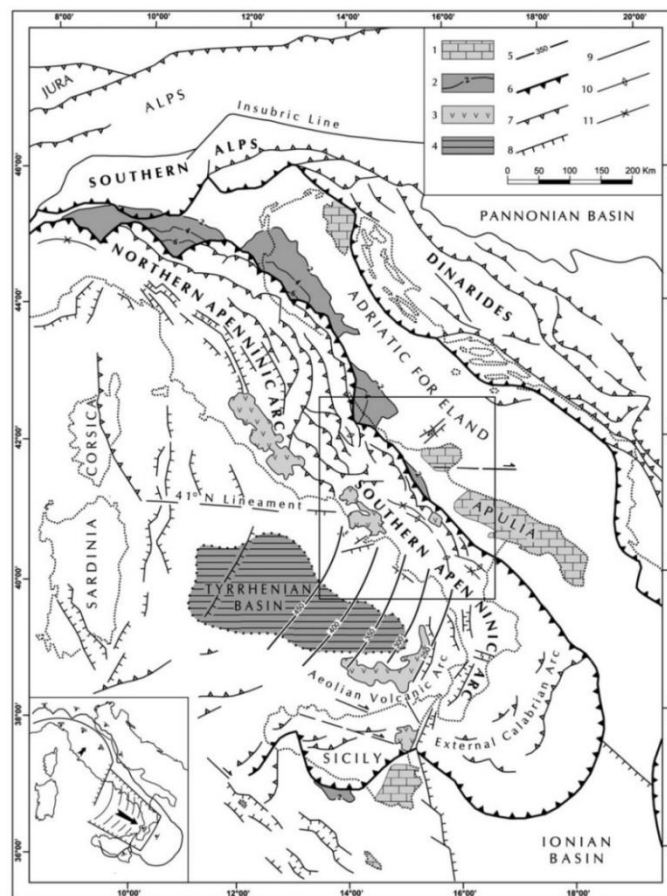


Figura 7 – Schema strutturale della penisola italiana ed aree adiacenti, mostrante la suddivisione della Catena Appenninica in due archi principali: l'Arco Appenninico Settentrionale e l'Arco Appenninico Meridionale; nel riquadro in basso a sinistra è schematizzata la diversa struttura litosferica nei due archi: 1) carbonati mesozoici delle aree di avampaese; 2) profondità (in km) della base dei depositi plio-pleistocenici nei bacini di avanfossa; 3) principali edifici vulcanici quaternari; 4) aree del Mar Tirreno a crosta oceanica o continentale assottigliata; 5) zona di Wadati-Benioff nell'area tirrenica meridionale (profondità in km); 6) fronte delle Maghrebidi,



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2<sup>A</sup> FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 29 di 81

dell'Appennino, delle Alpi meridionali e delle Dinaridi; 7) altri sovrascorrimenti principali; 8) faglie normali; 9) faglie ad alto angolo, soprattutto faglie trascorrenti; 10) asse di anticlinale; 11) asse di sinclinale (da Patacca & Scandone 2007).

Nel suo complesso l'Appennino rappresenta un tipico *thrust and fold belt* con vergenza orientale (Mostardini & Merlini 1986; Doglioni et al. 1991; Bigi et al. 1992; Bonardi et al. 2009), compreso tra il Bacino Tirrenico ad ovest e l'Avampaese Apulo ad est (Scrocca et al. 2007; Bonardi et al. 2009). L'Appennino è quindi una catena per pieghe e sovrascorrimenti (figura 5) connessa all'arretramento flessurale della Litosfera Apulo-Adriatica (Malinverno & Ryan 1986; Doglioni et al. 1991), che si struttura verso l'Avampaese Apulo a partire dal Miocene inferiore (Bally et al. 1986; Mostardini & Merlini 1986; Patacca & Scandone 2007; Bonardi et al. 2009).

L'assetto tettonico della Catena Appenninica è schematizzabile attraverso la giustapposizione di due grandi archi: uno settentrionale, che va dal Monferrato fino al Lazio-Abruzzo, e uno meridionale, che arriva fino alla Sicilia (Patacca et al. 1992; Scrocca & Tozzi 1999). Questi due archi, la cui giunzione si realizza lungo la Linea Ortona-Roccamonfina, si differenziano per direzioni di movimento, entità dei raccorciamenti e stili deformativi (Di Bucci & Tozzi 1992). Ogni arco maggiore è formato da *thrust sheet* scollati nelle dolomie triassiche, alla base delle successioni sedimentarie meso-cenozoiche (Scrocca & Tozzi 1999).

In particolare, lo stile della deformazione compressiva nella porzione di catena dove si trovano successioni carbonatiche sia di bacino che di piattaforma, si esplica essenzialmente per embrici in progressione verso l'Avampaese Apulo (Patacca & Scandone 1989; Di Bucci et al. 1999). Nella porzione di catena in cui sono prevalenti i depositi bacinali a dominante pelitica, invece, lo stile della deformazione compressiva è dato da estesi *thrust sheet* che ricoprono i depositi plio-pleistocenici più recenti (Di Bucci et al. 1999; Buonanno et al. 2007). Al di sotto di tali strutture, il dominio dell'Avampaese Apulo sepolto si deforma in una serie di *horses* ricoperti da un complesso sistema di tipo *duplex* (Patacca & Scandone 1989; Lentini et al. 1990; Di Bucci et al. 1999; Patacca & Scandone 2007). Tutte queste strutture sono a loro volta sovrastanti a un *floor thrust* profondo, che le porta in accavallamento sui domini più esterni in flessurazione (Bonardi et al. 2009).

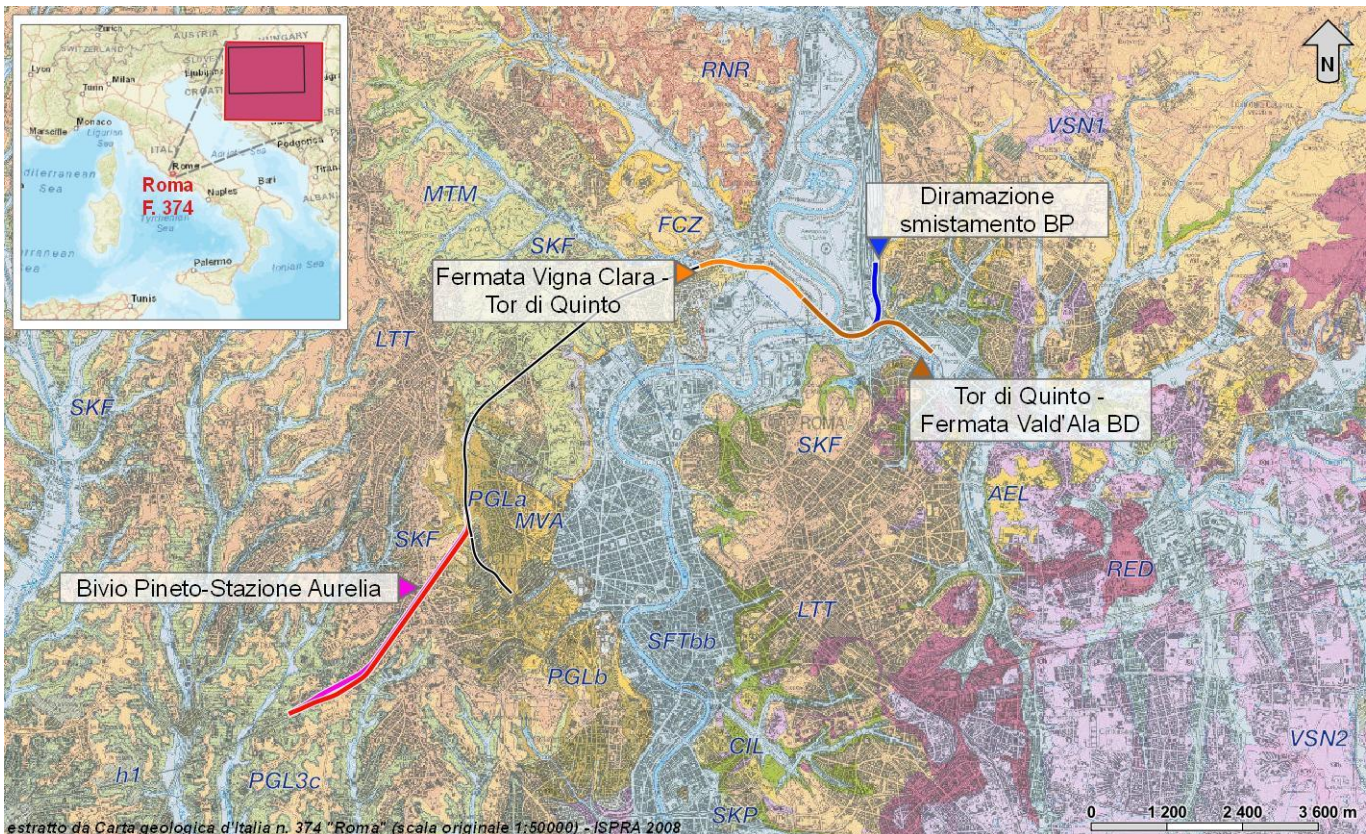
La successione meso-cenozoica costituente la struttura profonda della catena non affiora nei settori più occidentali della regione, in quanto ricoperta da spessi depositi tardo-cenozoici di natura sedimentaria e vulcanoclastica (Funicello & Giordano 2008). La successione meso-cenozoica è costituita da una spessa sequenza calcareo-marnosa dei Bacini Toscano e Sabino, passante verso l'alto ad una sequenza terrigena sin-orogena nota in letteratura come *Flysch Ligure* (Funicello & Parotto 1978). La successione risulta organizzata in una serie di *horst and graben* connessi alla tettonica estensionale più

recente, spesso sovrainposta su *thrust* preesistenti a direzione circa NW-SE (Di Filippo & Toro 1995; Funciello & Giordano 2008).

### Caratteristiche Stratigrafiche

Con diretto riferimento a quanto riportato nel Foglio CARG n. 374 "Roma" (ISPRA 2008) (Figura 8), i termini litologici più antichi affioranti nell'area di studio sono riferibili all'**Unità del Substrato Pliocenico**, qui rappresentato unicamente dalla Formazione di Monte Vaticano (Funciello & Giordano 2008):

- **Formazione di Monte Vaticano:** tale unità è formata da argille marnose di colore grigio (**MVA**), stratificate, da consolidate a molto consolidate, di ambiente batiale superiore, alternate a sabbie fini micacee di colore grigio, giallo e ocre in strati da sottili a banchi, affioranti lungo la struttura di Monte Mario-Gianicolo, viale Tiziano e nella zona Marco Simone. Età comprese tra la zona a *Globorotariapunctulata* presente nell'area della Farnesina-Monte Mario e la zona a *Globorotariaaemiliana* – *Globorotariainflata*, presenti nell'area di Marco Simone. Questa formazione presenta uno spessore massimo in affioramento di circa 100 m, in riva destra del Fiume Tevere, e di oltre 70 m, nella zona di Marco Simone ed è riferibile all'intervallo Pliocene superiore *p.p.* – Pliocene inferiore *p.p.*





	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2<sup>A</sup> FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 31 di 81

Figura 8 – Stralcio della Carta geologica d'Italia n. 374 "Roma" scala originale 1:50000, riprodotto in scala 1:120000, con indicazione delle tratte di progetto.

In appoggio sull'unità precedentemente descritta si rinvia il **Supersistema Acquatraversa (AE)**. L'*unconformity* basale del supersistema Acquatraversa è una superficie planare di troncatura erosiva, con una blanda pendenza verso NW. Questa discordanza ha un significato regionale e segna l'inizio di un significativo sollevamento avvenuto tra il Pliocene superiore ed il Pleistocene inferiore basale. Nell'area di studio questo supersistema è rappresentato dalla Formazione di Monte Mario e dalla ben nota Formazione di Monte delle Picche (Funicello & Giordano 2008):

- **Formazione di Monte Mario:** si tratta di sabbie di colore grigio ad *Arctica islandica* (**MTM**), ricche di malacofauna, passanti verso l'alto a sabbie di colore giallo, con intercalazioni di arenarie in orizzonti e lenti di spessore compreso tra 5 e 15 cm. Gli strati sono di spessore compreso tra 1 e 2 m e a laminazione incrociata a basso angolo; ambiente da infralitorale a spiaggia. Verso l'alto si intercalano livelli di argille verdi a *Cerastoderma edulis*, da decimetrici a metrici, di ambiente salmastro. Tale formazione presenta uno spessore massimo in affioramento di circa 140 m nella zona della Farnesina ("Sabbie gialle di Monte Mario" *Auctt.*) ed è ascrivibile al periodo Pleistocene inferiore *p.p.*
- **Formazione di Monte delle Picche:** tale unità è costituita da argille e argille sabbiose di colore grigio e grigio-azzurro con locali fiamme giallastre (**MDP**), plastiche e fittamente stratificate, con frequenti livelli sabbioso-limosi di colore grigio e giallo, contenenti resti di *Hyalinea balthica*. La presente unità, di ambiente infralitorale, mostra uno spessore massimo di circa 135 m ed è riferibile al Pleistocene inferiore *p.p.* (Emiliano).

Tale supersistema è a sua volta ricoperto dal Supersistema Aurelio-Pontino. La superficie di base del **Supersistema Aurelio-Pontino (AU)** è l'*unconformity* che segna il definitivo passaggio, nell'area romana, ad ambienti continentali. La superficie è complessa e rappresenta l'inviluppo di più superfici diacrone, sviluppatasi a partire dalla parte alta del Pleistocene inferiore sia per motivi legati al sollevamento regionale del margine tirrenico, sia all'azione della tettonica locale e principalmente al sollevamento dell'alto di Monte Mario, sia a fattori climatici. La sedimentazione al di sopra di questa *unconformity* è inizialmente influenzata solo dagli apporti del paleo-Tevere (Sistema Magliana), e prosegue con il contributo prevalente, ma discontinuo, degli apporti vulcanoclastici (Sistema Flaminia, Sistema Villa Gori, Sistema Torrino, Sistema Quartaccio, Sistema Fiume Aniene).

Alla base del Supersistema si rinvengono i depositi del **Sistema Magliana (MNL)**. L'*unconformity* alla base del sistema Magliana è una superficie polifasica planare posizionata tra i 25 ed i 10 m s.l.m. nei quadranti occidentali, dislocata ai 50 ed i 60 m s.l.m. nella zona di Monte Mario e ribassata lungo una direttrice NNO-SSE fino a -90 m nella zona tra la confluenza del F. Tevere col F. Aniene e la zona di

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 32 di 81

Cinecittà. Questa superficie è relativa alla definitiva continentalizzazione dell'area romana ed all'arrivo dei primi depositi di transizione del paleo-Tevere. Nell'area di studio tale sintema è rappresentato dalla ben nota Formazione di Ponte Galeria e dalla Formazione del Fosso della Crescenza (Funicello & Giordano 2008):

- **Formazione di Ponte Galeria:** è composta da una successione complessa di sedimenti di ambiente da transizionale a continentale (**PGL**), affiorante nella zona occidentale di Roma. La successione è suddivisibile in diversi membri e litofacies, caratterizzati da rapporti e spessori localmente variabili nelle diverse zone di affioramento, ed è ascrivibile all'intervallo Pleistocene inferiore *p.p.* - Pleistocene medio *p.p.*.
  - **litofacies conglomeratica:** ghiaie a clasti calcarei e di selce molto evolute (**PGLa**), eterometriche, intercalate a livelli di sabbie quarzose a laminazione incrociata. Tale litofacies presenta uno spessore massimo di 30 m., nella zona Balduina ("Unità Monte Ciocci" *Auctt.*), ed è ascrivibile ad un ambiente di spiaggia.
  - **litofacies argilloso-sabbiosa:** depositi argillosi con *Venerupis senescens* e sabbie grossolane ocracee (**PGLb**) a stratificazione incrociata di ambiente eolico e sabbie-limose ossidate. Spessore massimo 24 m, nella zona di via Gregorio VII.
  - **Conglomerati di Casale dell'Infernaccio:** tale membro non affiora direttamente nell'area di studio, ma si rinviene in profondità immediatamente al di sopra dei terreni della Formazione di Monte delle Piche. È formato da ghiaie con ciottoli eterometrici arrotondati e appiattiti (**PGL1**), calcarei e secondariamente silicei, con stratificazione incrociata a basso angolo, in genere fortemente cementate al tetto. Il membro in questione, di ambiente prettamente fluviale ("Conglomerati basali" *Auctt.*), presenta uno spessore massimo di circa 10 m ed è riferibile al Pleistocene inferiore *p.p.*.
  - **Argille ad Helicella:** questo membro non affiora direttamente nell'area di studio. Si tratta di argille e limo sabbiosi di colore grigio e grigio-azzurro (**PGL2**), più sabbiosi verso il tetto, contenenti *Ostreae dulis* e *Venerupis senescens* e *Helicella ericetorum*. Tale membro presenta uno spessore compreso tra circa 4 e 6 m., è riferibile al Pleistocene inferiore *p.p.* ed è ascrivibile ad un ambiente lagunare e litorale.
  - **Membro della Pisana:** costituisce la parte alta della successione e si rinviene ampiamente nei settori di intervento (**PGL3**). L'unità è riferibile al Pleistocene medio *p.p.* e nell'area di studio è costituita da una singola litofacies a dominante pelitico-sabbiosa:
    - **litofacies conglomeratico-sabbiosa:** ghiaie a stratificazione incrociata a basso angolo in matrice sabbioso-quarzosa (**PGL3a**), costituite da ciottoli eterometrici, arrotondati e/o appiattiti, calcarei e secondariamente silicei, con intercalate lenti sabbiose. Questa litofacies

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

Relazione generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	33 di 81

presenta uno spessore massimo di circa 35 m. ("Sabbie e ghiaie a laminazione incrociata" Auctt.) ed è riferibile ad un ambiente fluvio-deltizio.

- litofacies argilloso-sabbiosa: è formata da alternanze irregolari di argille grigie e limi sabbiosi (**PGL3b**), più sabbiose verso il tetto, con abbondanti resti di *Cerastoderma Lamarkii*, *Ostrea edulis* e *Venerupis senescens*. Tale litofacies presenta uno spessore di circa 5 m. ("Argille a *Venerupis senescens*" Auctt.) ed è riferibile ad un ambiente da lagunare a litorale.
- litofacies sabbiosa: sabbie e sabbie limose prevalentemente silicee (**PGL3c**), con locali *stone lines* composti da ciottoli silicei e frequenti patine di ossidazione, rubefatte o grigiastre. Questa litofacies presenta uno spessore compreso tra 4 e 10 m ("Sabbie salmonate" Auctt p.p.) ed è riferibile ad un ambiente eolico e di piana tipo *braided*.

- **Formazione del Fosso della Crescenza**: si tratta di ghiaie calcaree e silicee (**FCZ**) in matrice sabbioso-quarzosa arrossata con pirosseni; a luoghi cementate passanti verso l'alto a sabbie finilimose giallo ocra quarzose con lenti sabbiose poligeniche (scorie grigie, selce, pomici) e ad argille grigie verdastre con frustoli vegetali, verso il tetto marne siltose e sabbie. Ambiente fluviale e fluvio-lacustre. Tale formazione presenta uno spessore massimo in affioramento 42 m ed è riferibile al Pleistocene medio p.p.

Al di sopra di tali terreni, si rinvengono quindi ai depositi del **Sintema Flaminia (LMN)**. La superficie di base di tale sintema si presenta come una superficie di *unconformity* molto articolata, ad alto rilievo, relativa all'incisione fluviale del paleo-Tevere e dei suoi affluenti che da questo momento acquisiscono una configurazione simile a quella attuale. Nel settore in esame tale sintema è rappresentato dalla Formazione di S. Cecilia, dall'unità di Tor de' Cenci e dall'Unità della Via Tiberina (Funciello & Giordano 2008):

- **Formazione di S. Cecilia**: è formata da un'alternanza ed interstratificazioni di conglomerati, sabbie e limi (**CIL**) di ambiente fluviale ad elementi vulcanici (zona di Ponte Galeria). Alternanze di strati cineritici a lapilli accrezionari, pomici e ceneri avana con orizzonti pedogenizzati (zona Flaminia). I due livelli vulcanici presentano uno spessore fino a 40 m e sono riferibili al Pleistocene medio p.p. (614±15ka e 605±11 ka)
- **Unità di Tor de' Cenci**: si tratta di un deposito piroclastico prevalentemente cineritico (**TDC**), di colore grigio-giallastro, da massivo e caotico a stratificato, con lapilli accrezionari fino a 3 cm in diametro, sia nella matrice che in livelli stratificati. Lo scheletro è composto da litici lavici e scorie di diametro <3 cm e cristalli di leucite analcimizzata, clinopirosseno e biotite. Si rinvengono frequenti impronte d'albero e un deposito di scorie di ricaduta alla base della sequenza. L'unità presenta un chimismo K-foiditico ed è riferibile ad una eruzione freatomagmatica di grande volume con meccanismi da colata piroclastica del litosoma Vulcano Laziale ("Tufi Antichi" o "Tufi

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 34 di 81

Pisolitici" *Auctt. p.p.*). La sequenza presenta uno spessore massimo di circa 10-15 m ed è ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.* (561±1 ka).

- **Unità della Via Tiberina:** si tratta di un deposito piroclastico avana-giallastro (**TIB**) a matrice cineritica, massivo, con pomici centimetriche giallo-biancastre e cristalli di leucite, sanidino e pirosseno in generale litoide per zeolitizzazione. Nella parte basale sono presenti pisoidi di cenere. Gli spessori massimi raggiungono i 15 m. La composizione chimica è da tefritica a tefritico-fonolitica. L'unità è riferibile ad una eruzione ignimbratica di grande volume dal settore orientale del Distretto Vulcanico Sabatino. "Tufo Giallo della Via Tiberina" *Auctt. p.p.* L'unità presenta un'età radiometrica è stimata 550 ka ed è ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.*

I litotipi precedentemente descritti risultano a loro volta ricoperti dai depositi quaternari del **Sintema Villa Glori (VGL)**. L'*unconformity* di base di questo sintema è una superficie ad alto rilievo correlabile all'incisione del paleo-Tevere durante il basso stazionamento del mare relativo allo *stage* isotopico 14. È evidente lungo tutto il corso del Tevere, in riva destra tra la Via Flaminia e la zona di Vigna Clara-Corso Francia, mentre in riva sinistra nella zona compresa tra Villa Glori e Valle Giulia e poi ancora nella zona dell'EUR a quote che variano tra i 15 ed i 20 s.l.m.. Nell'area di studio tale sintema è rappresentato dalla Formazione di Valle Giulia, dall'Unità del Palatino, dall'Unità di Prima Porta, dall'Unità di Casale del Cavaliere e dai Tufi stratificati varicolori di Sacrofano (Funicello & Giordano 2008):

- **Formazione di Valle Giulia:** è costituita alla base da ghiaie minute poligeniche a stratificazione incrociata (**VGU**), passanti a sabbie limi sabbiosi a concrezioni carbonatiche con stratificazione sub-orizzontale. Verso l'alto sono presenti travertini fitoclastici in banchi. Questa formazione, di ambiente fluviale e fluvio-lacustre, presenta uno spessore massimo di circa 30 m ed è ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.*.
- **Unità del Palatino:** si tratta di un deposito piroclastico massivo, generalmente semicoerente o litoide, a matrice cineritica grigio-nerastra (**PTI**) con scorie grigie o nere, cristalli di leucite alterata, pirosseno o biotite, clasti centimetrici di lava. Localmente sono presenti clasti di ghiaie calcaree del substrato. Alla base sono frequenti impronte di tronchi d'albero. Alla base è presente un livello tabulare di scorie millimetriche da caduta, di spessore da 7 a 25 cm. Verso l'alto è presente intercalato un livello cineritico ricco di lapilli accrezionari spesso fino a 30 cm. L'unità presenta uno spessore massimo di 10 m. La composizione chimica è fono-tefritica. L'unità è riferibile ad una eruzione ignimbratica a componente freatomagmatica del litosoma Vulcano Laziale. "Tufi Antichi" e "Tufi pisolitici" *Auctt. p.p.* L'unità presenta un'età riferibile al Pleistocene medio *p.p.* (533±5 ka).
- **Unità di Prima Porta:** si tratta di un deposito piroclastico a matrice cineritica, con cristalli di leucite e pomici grigio chiare e verdi (**PPT**), scorie nere e litici lavici, olocristallini e sedimentari; la

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2<sup>A</sup> FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 35 di 81

struttura è massiva, caotica; l'unità è costituita da una facies inferiore incoerente, ed una facies superiore litoide per zeolitizzazione. Spessore massimo 10 m. la composizione chimica è tefritico-fonolitica. L'unità è riferibile ad una eruzione ignimbratica di grande volume del settore orientale del distretto vulcanico Sabatino. "Tufo Giallo della Via Tiberina" *Auctt. p.p.*; "Tufo Giallo di Prima Porta". L'unità è ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.* (514±3 ka.).

- **Unità di Casale del Cavaliere:** si tratta di un'alternanza di livelli a granulometria da cineritico fine a cineritico grossolana (**KKA**), più raramente lapillosi, con scorie e litici lavici; fra i cristalli è prevalente la leucite, con pirosseno e biotite subordinati. Nell'unità sono presenti orizzonti a lapilli accrezionari. Sono presenti stratificazioni incrociate ad impronte di tronco. Alla base del deposito è presente un livello scoriaceo lapilloso da ricaduta spesso fino a 20 cm. Spessore massimo 3 m. L'unità è interpretabile come un deposito da flusso piroclastico relativo ad una eruzione freatomagmatica di grande volume del litosoma Vulcano Laziale. "Tufi Antichi" e "Tufi pisolitici" *Auctt. p.p.* L'unità presenta un'età riferibile Pleistocene medio *p.p.*
- **Tufi stratificati varicolori di Sacrofano:** si tratta di una successione di depositi piroclastici lapillosi e cineritici (**SKF**), organizzati in strati contenenti scorie e litici lavici da ricaduta di dimensioni centimetriche e intercalati a livelli vulcanoclastici rimaneggiati, orizzonti pedogenizzati e depositi limo-palustri. Nella parte intermedia della successione i livelli primari sono costituiti da pomici di ricaduta bianco-giallastre a sanidino e clinopirosseno, suddivisi in tre banchi con areali di affioramento differenziati. La provenienza prevalente dei depositi di questa successione è dai Vulcani Sabatini. L'unità presenta uno spessore massimo di circa 14 m ed è riferibile al Pleistocene medio *p.p.* (488±2 ka).

Al di sopra di tali terreni, si rinvencono quindi i litotipi del **Sintema Torrino (TNO)**. La superficie di base di questo sistema ha morfologia ad alto rilievo ed è evidente lungo il corso del F. Tevere, in riva destra lungo la Via Flaminia e più a sud tra Magliana e Fosso Galeria ed in riva sinistra nella zona tra l'EUR e Torrino. Lungo il F. Aniene essa si presenta da planare a basso rilievo, caratterizzata da estesi paleosuoli. Le quote più basse della superficie sono a circa 0 m s.l.m. e sono correlabili all'incisione del paleo-Tevere durante il basso stazionamento del mare relativo allo *stage* isotopico 12. Nei settori di intervento tale sintema è rappresentato dalle Lave di Vallerano, dalle Pozzolane Rosse, dalla Formazione di Fosso del Torrino, dal Tufo rosso a scorie nere sabatino, dai Tufi stratificati varicolori di La Storta, dalle Pozzolane nere e dalla Formazione di Fontana Centogocce (Funicello & Giordano 2008):

- **Lave di Vallerano:** sono formate da lave grigie, a frattura da concoide a scheggiosa (**LLL**), da afiriche a debolmente porfiriche, con pasta vetrosa o microcristallina con rari cristalli di leucite e clinopirosseno. Raggiungono spessori massimi di 30 m. La composizione chimica è K-foiditica. L'unità è ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.* (460±4ka).



**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

**Relazione generale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	36 di 81

- **Pozzolane Rosse:** sono rappresentate da depositi piroclastici massivi e caotici (**RED**), generalmente semicoerenti, di colore da rosso a viola vinaccia a grigio scuro, a matrice scoriacea povera della frazione cineritica, con scorie di dimensioni fino a 24 cm, litici lavici, sedimentari termometamorfosati e olocristallini di dimensioni fino a 20 cm e abbondanti cristalli di leucite, clinopirosseno e biotite. Composizione da tefritica a tefritico-fonolitica. Il deposito si presenta a geometria tabulare ed è riferibile ad una eruzione ignimbratica di grande volume del litosoma Vulcano Laziale ("Pozzolane inferiori", Pozzolane di San Paolo" *Auctt.*). L'unità presenta uno spessore fino a 15 m in affioramento e 35 da dati di sondaggio ed è ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.* (457±4 ka).
- **Formazione di Fosso del Torrino:** è composta da ghiaie, sabbie e limi poligenici (**FTR**), con elementi vulcanici derivanti prevalentemente dall'erosione delle Pozzolane Rosse, delle Pozzolane Nere e del Tufo rosso a scorie nere Sabatino. Si rinvengono inoltre alternanze irregolari di argille e limi calcarei talora fortemente cementati, che passano lateralmente a depositi di travertini fitoclastici e livelli cementati. L'unità è costituita da depositi in facies fluviale e fluvio-lacustre con uno spessore massimo di circa 37 m ("Formazione di San Cosimato" *Auctt. p.p.* "Unità di San Paolo" *Auctt. p.p.*) ed è interamente riferibile al Pleistocene medio *p.p.*. Localmente, all'interno della successione è possibile individuare un membro conglomeratico-sabbioso di notevole spessore.
- **Conglomerato Giallo:** depositi vulcanoclastici di natura sabbioso-ghiaiosa (**FTR1**), da classati a mal-classati e generalmente mal-stratificati in grossi banchi, costituiti da scorie arrotondate gialle e rosse, litici lavici eterometrici, e cristalli di clinopirosseno, biotite e leucite analcimizzata. Tale membro presenta uno spessore massimo di circa 37 m ed è rappresentato da una successione da lahar con meccanismi da flusso *iperconcentrato* e *debris flow*, passanti lateralmente a depositi fluviali.
- **Tufo rosso a scorie nere sabatino:** si tratta di un deposito piroclastico a matrice cineritica poco coerente con abbondanti scorie nere (**RNR**) decimetriche ricche in cristalli di sanidino e leucite spesso analcimizzata, caotico e massivo a composizione alcali-trachitica. Localmente può presentarsi litoide per zeolitizzazione e di colore giallo-rossastro. Alla base è localmente presente un livello di pomice di ricaduta. Spessori fino a 20 m. L'unità è riferibile ad una eruzione ignimbratica di grande volume del Distretto Vulcanico Sabatino. "Tufo Rosso a Scorie Nere" *Auctt. p.p.* La formazione presenta un'età riferibile al Pleistocene medio *p.p.* (449±1 ka e 430 ka).
- **Tufi stratificati varicolori di La Storta:** si tratta di una successione costituita da un'alternanza di livelli vulcanoclastici rimaneggiati e piroclastiti primarie cineritico-lapillose di scorie grigie e pomice da ricaduta (**LTT**), con locali orizzonti pedogenizzati. La provenienza dei depositi di tale sequenza è dai Vulcani Sabatini. L'unità è caratterizzata da uno spessore massimo di circa 10 m ed è



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 37 di 81

ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.* (416±6 ka).

- **Pozzolane nere:** si tratta di un'unità piroclastica di colore nero (**PNR**), in facies massiva e caotica, localmente con *gas-pipes*, a matrice scoriaceo-cineritica, nella quale sono dispersi scorie, di dimensioni fino a 15 cm, litici lavici, olocristallini e sedimentari di dimensioni fino a 8 cm e cristalli di leucite, biotite e clinopirosseni. Al tetto è frequente una zona litoide per zeolitizzazione. La geometria del deposito è tabulare. Spessore massimo 20 cm. Composizione tefrifonolitica. Al tetto sono localmente presenti depositi vulcano clastici massivi tipo *debris flows* derivanti dal rimaneggiamento dell'unità. L'unità è riferibile ad una eruzione ignimbratica di grande volume del litosoma Vulcano Laziale. "Pozzolane medie" *Auctt.* Tale formazione è ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.* (407±4 ka).
- **Formazione di Fontana Centogocce:** tale formazione è composta da una litofacies prevalentemente piroclastica:
  - **litofacies piroclastica:** si tratta di una successione costituita da alternanze di vulcanoclastiti cineritiche con modesto contenuto in scorie e litici di ridotte dimensioni (**SLVb**), e con scarso contenuto in minerali (analcime, clinopirosseno, rara biotite), sovente alterate e pedogenizzate, intercalate ad orizzonti lapillosi-scoriacei da ricaduta in livelli discontinui. Questa litofacies mostra uno spessore massimo in affioramento di 2.5 m ed è riferibile al Pleistocene medio *p.p.*

Verso l'alto stratigrafico, si passa ai termini litologici del **Sintema Quartaccio (QTA)**. La superficie di base di tale sintema è generalmente ad alto rilievo, soprattutto lungo la valle del F. Tevere e del F. Aniene, mentre in zone di paleoalto e/o interfluvio si presenta da planare a basso rilievo, caratterizzata da estesi paleosuoli. Le quote più basse della superficie testimoniano il livello di base del paleo-Tevere di questa epoca, correlabile al basso stazionamento del mare relativo allo *stage* isotopico 10. Questo sintema è correlabile con il sintema Barca di Parma, riconosciuto lungo la costa laziale, più a nord, nella zona di Tarquinia e Montalto di Castro. Nell'area di studio tale sintema è rappresentato dalla Formazione di Villa Senni, dalla Formazione Aurelia, dalla Formazione di Madonna degli Angeli, dalla Formazione di Vitinia e dalla Unità della Via Nomentana (Funciello & Giordano 2008):

- **Formazione di Villa Senni:** tale formazione (**VSN**) è riferibile all'ultima eruzione di grande volume del litosoma Vulcano Laziale, cui è legata la forma attuale della caldera del vulcano dei Colli Albani, con meccanismi di colata piroclastica e *lahar*. Tale formazione è riferibile al Pleistocene medio *p.p.* (357±2 e 338±8) e, nell'area di studio, è rappresentata dai depositi del noto Tufo Lionato e delle Pozzolanelle.
- **litofacies conglomeratico-sabbiosa:** sabbie e ghiaie generalmente a stratificazione incrociata e a festoni (**VSNa**), da classate a mal-classate, intercalate a livelli sabbiosi massivi, mal-stratificati in facies fluviale e da flusso iperconcentrato, costituiti interamente da scorie nere e

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	38 di 81

**Relazione generale**

rosse, litici olocristallini e lavici, cristalli di leucite più o meno analcimizzata, clinopirosseni e granati. Questa unità presenta uno spessore massimo di circa 8-10 m ed è riferibile Pleistocene medio *p.p.*.

- **Tufo Lionato:** si tratta di un deposito piroclastico massivo, litoide, a matrice cineritico-lapillosa con abbondanti pomici gialle (**VSN1**), scorie di colore grigio, litici e olocristallini a gradazione inversa, di colore da giallo a rosso a marrone in gradazione verticale. Localmente nella parte alta del deposito, sono presenti fiamme. *Gas-pipes*, laminazioni e impronte di tronchi sono spesso presenti nelle zone distali e nelle paleovalli. Composizione da k-foiditica a tefrifonolitica. Tale formazione presenta uno spessore fino a circa 25 m ("Tufo lionato litoide" *Auctt.*) ed è ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.*.
- **Breccia di Colle Fumone:** si tratta di breccia, molto grossolana (**VSN2b**), priva della frazione cineritica, con blocchi lavici ed olocristallini >40% del deposito e scorie *spatter*, interpretabile come breccia co-ignimbritica.
- **litofacies Occhio di Pesce:** tale facies prossimale e superiore delle Pozzolanelle (**VSN2a**) è caratterizzata da percentuali maggiori del 30% in volume di cristalli di leucite fino a 2 cm di diametro "Tufo a occhio di pesce" *Auctt.*.
- **Pozzolanelle:** sono composte da un deposito piroclastico massivo e generalmente incoerente, di colore da marrone a viola e nero (**VSN2**), a matrice cineritico grossolana o lapillosa, povero in fini e ricco di cristalli di leucite, biotite e clinopirosseno, contenente grosse scorie nere. Lapilli e blocchi di litici lavici e olocristallini possono raggiungere il 30% del deposito. La composizione è variabile da tefrifonolitica a fonotefritica. L'unità in questione presenta uno spessore massimo di circa 30 m ("Tufo di Villa Senni" e "Pozzolanelle" *Auctt.*) ed è riferibile al Pleistocene medio *p.p.*.
- **Formazione Aurelia:** è formata da ghiaie fluviali ad elementi vulcanici e laminazione incrociata (**AEL**), limi argillosi avana-grigiastri con gasteropodi salmastri e concrezioni travertinosi. Questa unità è caratterizzata da uno spessore massimo di circa 20 m ed è riferibile al Pleistocene medio *p.p.*.
- **Formazione di Madonna degli Angeli:** tale formazione è formata da due differenti facies piroclastica e lavica:
  - **litofacies piroclastica:** depositi di scorie in bancate e ceneri da caduta e rimaneggiati, associati sia a coni di scorie ed apparati peri-calderici ed eccentrici, sia all'edificio centrale delle Faete (**FKBb**). Tale litofacies presenta spessori esigui compresi tra 1 m e 5 m ed è ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.*.
  - **litofacies lavica:** si tratta di lave grigio scure (**FKBa**), da tefritiche a K-foiditiche, da microcristalline a porfiriche, da compatte a vacuolari, con contenuto variabile di fenocristalli di

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	39 di 81

**Relazione generale**

leucite spesso in individui centimetrici, clinopirosseno ed occasionalmente olivina; gli spessori massimi raggiungono 30 m.. Si tratta delle Colate di Capo di Bove, di Vermicino e di Villa Senni. La litofacies in esame è riferibile al Pleistocene medio *p.p.* (277±2 ka).

- **Formazione di Vitinia:** si tratta di sabbie fluviali ad elementi vulcanici (**VTN**), ghiaie calcaree e silicee a matrice sabbiosa ad elementi vulcanici, limi con abbondanti resti di vertebrati e concrezioni travertinose. Tale formazione mostra un spessore fino a circa 20 m ed è ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.*
- **Unità della Via Nomentana:** si tratta di un deposito piroclastico a matrice cineritica grigio-avana (**NMT**), con pomici bianche centimetriche ricche in cristalli di sanidino e leucite spesso analcimizzata, massivo. Localmente presenta al suo interno rare grosse scorie nere con fenocristalli di sanidino. Spessori intorno ai 3 m. L'unità è riferibile ad una eruzione ignimbratica proveniente dal settore orientale del Distretto Vulcanico Sabatino ed è probabilmente corrispondente al "Tufo Giallo di Sacrofano" *Auctt.*, la cui composizione chimica è trachandesitica. L'unità è ascrivibile al Pleistocene medio *p.p.* (285±1ka).

Mentre, localmente in copertura sui termini litologici suddetti si rinvengono i depositi recenti del **Sintema Fiume Aniene (ANE)**. La morfologia della superficie di base del sintema Fiume Aniene è molto prossima a quella della topografia odierna, osservabile in pochissimi punti lungo la valle dell'Aniene e lungo la valle del Tevere. Le quote più basse della superficie sono al di sotto del livello delle alluvioni attuali del Tevere e dell'Aniene. Questa quota dovrebbe testimoniare il livello di base del paleo-Tevere di questa epoca, correlabile al basso stazionamento del mare relativo allo *stage* isotopico 6.V. Tale sintema rappresentato dall'Unità di Saccopastore (Funicello & Giordano 2008):

- **Unità di Saccopastore:** l'unità è formata da ghiaie e sabbie fluviali ad elementi vulcanici (**SKP**) molto ricchi in leucite analcimizzata, a laminazione incrociata, limi argillosi avana grigiastri con gasteropodi salmastri, in giacitura di terrazzo fluviale con superficie di tetto a quote di circa 30 m s.l.m. Tale formazione presenta uno spessore fino a 20 m ed è riferibile al Pleistocene superiore *p.p.*

Infine, in copertura su tutti i termini litologici suddetti si rinvengono i depositi recenti del **Sintema Fiume Tevere (SFT)**. La morfologia della superficie di base di questo sintema è relativa alle fasi erosive legate alla caduta del livello marino durante l'ultimo glaciale. Essa ospita le alluvioni del F. Tevere e del F. Aniene, così come quelle degli affluenti, depostesi in larga parte durante l'Olocene ed ancora in sedimentazione. La superficie di base al di sotto delle coltri alluvionali è ricostruibile in base ai dati di sondaggio fino a oltre -40 m s.l.m. Nell'area di studio tale sintema è rappresentato dall'Unità di Valle Marciana, dal Peperino di Albano, dalla Formazione del Tavolato, dai Depositi lacustri, dai Depositi alluvionali presenti in corrispondenza della piana del F. Tevere (Funicello & Giordano 2008):

- **Unità di Valle Marciana:** si tratta di un deposito piroclastico di colore variabile dal giallo al grigio (**MAK**), composto da livelli cineritici e lapillosi a stratificazione incrociata e pianoparallela con frequenti bombe balistiche. Nelle zone distali sono presenti depositi sabbioso-conglomeratici ad elementi vulcanici, da massivi a stratificati da classati a mal classati in facies fluviale e da flusso iperconcentrato. L'unità è riferibile all'eruzione freatomagmatica del *maar* di Valle Marciana con meccanismi di deposizione da ricaduta e corrente piroclastica e da *lahar*. Tale unità mostra un spessore massimo 10 m e d è riferibile al Pleistocene superiore *p.p.*.
- **Peperino di Albano:** si tratta di un deposito piroclastico a granulometria prevalente cineritica (**MNN**), litoide per zeolitizzazione, grigio, da massivo a caotico (*facies lapis albanus*) a stratificato (*facies lapis gabinus*), con cristalli di leucite, pirosseno e biotite e abbondanti litici lavici, carbonatici e olocristallini (10%); "Peperino di Marino" *Auctt.*. L'unità è relativa all'eruzione freatomagmatica di maggior volume del *maar* di Albano con meccanismi di deposizione da colata piroclastica. La composizione è K-foiditica. Tale unità mostra uno spessore massimo di 5 m. ed è ascrivibile al Pleistocene superiore *p.p.*. ( $36 \pm 1$  ka ÷  $< 23 \pm 6.7$  ka.)
- **Formazione del Tavolato:** si tratta di una successione di depositi da massivi a malstratificati (**TAL**), sabbioso-ghiaiosi ad elementi vulcanici variamente classati da *debris flow* e da flusso iperconcentrato. I depositi si possono relazionare alla rimobilizzazione di materiale vulcanoclastico contemporaneo e successivo alle ultime eruzioni freatomagmatiche del *maar* di Albano con meccanismi di deposizione *lahar*. Alla base della successione sono presenti i depositi distali delle unità freatomagmatiche più recenti del cratere di Albano (unità Villa Doria e unità di Albalonga, nel Foglio Albano). Questa formazione presenta un spessore massimo di 15 m. ed è ascrivibile all'intervallo Pleistocene superiore *p.p.* – Olocene ( $5.8 \pm 0.1$  ka).
- **Deposito lacustre:** si tratta di depositi di riempimento del lago da sprofondamento denominato il Laghetto (loc. Marco Simone). Sono costituiti da depositi ad elementi vulcanici siltoso-sabbiosi alternati a livelli argillosi (**SFTe2**). Tali depositi presentano spessori non noti e sono riferibili al Pleistocene superiore *p.p.*-Olocene.
- **Deposito alluvionale:** si tratta di terreni prevalentemente limoso-sabbiosi e limoso-argillosi delle principali piane alluvionali della zona (**SFTbb**). Nella piana del F. Tevere e del F. Aniene l'unità è litologicamente nota da dati di sondaggio ed è prevalentemente costituita da depositi fini limoso-argillosi alternati a livelli sabbiosi e a livelli di torbe a diversa profondità. Alla base sono frequenti livelli ghiaiosi e sabbiosi, che possono ospitare una falda in pressione. Tali depositi presentano uno spessore massimo di circa 60 m e sono interamente ascrivibili all'Olocene.
- **Deposito alluvionale in evoluzione:** sono depositi alluvionali che si rinvergono all'interno delle arginature artificiali del Fiume Tevere e del Fiume Aniene. Si tratta di alternanza di sabbie, silt, argille e livelli ricchi di materia organica (**SFTba**). Questi terreni mostrano uno spessore massimo

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 41 di 81

di circa 10 m e sono riferibili all'Olocene.

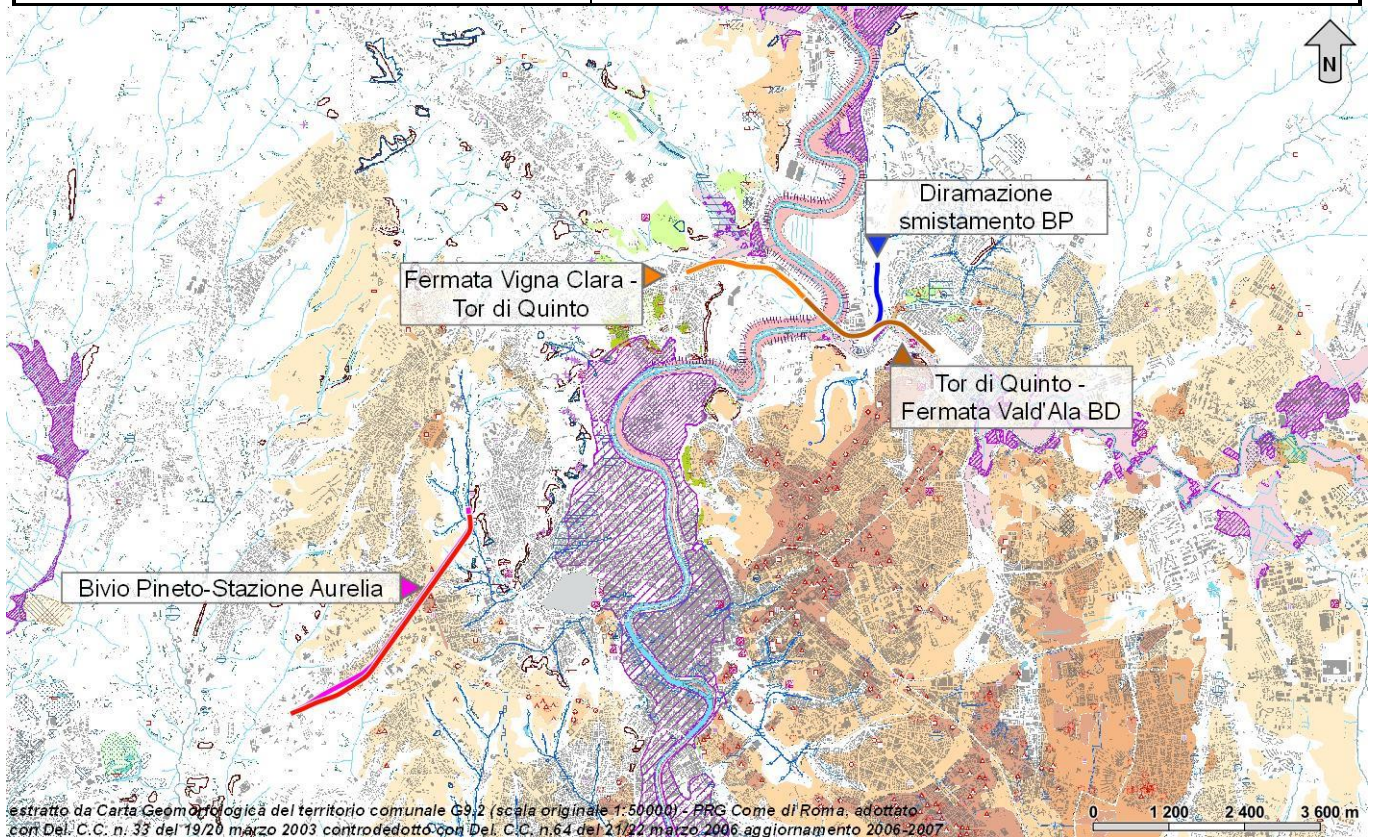
Localmente, in appoggio sui termini precedentemente descritti, si rinvengono i depositi dell'**Unità ubiquitarie**, essenzialmente rappresentati da terreni recenti di genesi antropica (Funiciello & Giordano 2008):

- **Discarica:** si tratta di depositi fortemente eterogenei dovuti all'accumulo e allo spostamento dei materiali di risulta delle cave (**h1**). Questi depositi presentano uno spessore fino a 30 m e sono ascrivibili all'Olocene.
- **Deposito antropico:** è formato da depositi eterogenei connessi all'accumulo e allo spostamento dei materiali per rilevati stradali (**h**), ferroviari, terrapieni e colmate. Tali depositi sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 30 e sono riferibili all'Olocene.

#### 4.2.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO LOCALE

L'area urbana di Roma è localizzata nella zona distale dei *plateau* ignimbrici dei Colli Albani a sud e dei Monti Sabatini a nord (Giordano et al. 2006; Funiciello & Giordano 2008; De Rita & Giordano 2009). Il principale elemento morfologico dell'area è rappresentato dalla valle alluvionale del Fiume Tevere (figura 9), ad andamento circa meridiano, a cui si aggiungono diverse valli secondarie dei suoi affluenti, come quella del Fiume Aniene (Succhiarelli 2003; Funiciello & Giordano 2008).





estratto da Carta Geomorfologica del territorio comunale G9.2 (scala originale 1:50000) - PRG Come di Roma, adottato con Del. C.C. n. 33 del 19/20 marzo 2003 controdedotto con Del. C.C. n. 64 del 21/22 marzo 2006, aggiornamento 2006-2007.

**Figura 9 – Stralcio della Carta geomorfologica del territorio comunale G9.2 (scala originale 1:50000. Riprodotto in scala 120000), PRG Comune di Roma (per la legenda si rimanda alla cartografia originale**

<http://www.urbanistica.comune.roma.it/prg-2008-vigente/elaborati-gestionali/g9-2-carta-geomorfologica.html>)

Oltre ai fattori vulcanici locali che hanno agito sulla morfologia dell'area romana ed al contributo della tettonica, nel corso del Pleistocene si sono verificati eventi di portata globale che hanno condizionato l'evoluzione morfologica dell'intero settore (Funciello & Giordano 2008). Tra questi, un ruolo fondamentale è stato assunto dalle ripetute variazioni del livello del mare che hanno contribuito a variare, in funzione delle oscillazioni del livello di base, il rapporto erosione/sedimentazione dell'area (Funciello et al. 1995; Ventriglia 2002; Funiciello & Giordano 2008).

In riva sinistra del Tevere la morfologia è caratterizzata da creste molto ampie e sub-pianeggianti, che in genere si raccordano con i fondovalle con pendii dolci dove insistono su materiali poco coerenti o ripidi se impostati su materiali lapidei (Funciello & Giordano 2008; De Rita & Giordano 2009). I fondovalle sono piatti per la presenza dei depositi alluvionali olocenici che colmano il reticolo wurmiano. Il *pattern* idrografico risulta poco sviluppato con basso contrasto morfologico, a differenza delle altre aree lungo le pendici del vulcano che invece presentano un reticolo ben sviluppato ed inciso, di tipo radiale (Funciello & Giordano 2008).

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 43 di 81

In riva destra del Tevere, l'elemento morfologico dominante è rappresentato dalla dorsale Monte Mario-Monte Vaticano-Gianicolo, che si estende in direzione N-S (Ventriglia 2002; Funicello & Giordano 2008). Il versante orientale è acclive e relativamente regolare, con una rete idrografica ad andamento NO-SE sostenuta dalle argille marine di base, mentre il versante occidentale è dominato dalle direttrici N-S e NE-SO ed il reticolo si presenta dendritico e ben sviluppato (Funicello & Giordano 2008).

#### 4.2.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO LOCALE

Il territorio di Roma è caratterizzato dalla presenza di cinque grandi unità idrogeologiche (figura 10), che si sovrappongono ad un complesso argilloso-sabbioso basale (Boni et al. 1988; Capelli et al. 2008; La Vigna & Mazza 2015). Le depressioni e gli alti strutturali, unitamente alle differenti permeabilità che caratterizzano alcuni principali complessi idrogeologici, determinano i limiti tra i grandi acquiferi e le linee di flusso delle acque sotterranee in essi presenti (Boni et al. 1988; La Vigna & Mazza 2015).

In particolare, oltre al complesso argilloso-sabbioso basale, le unità idrogeologiche presenti nell'area romana sono (Boni et al. 1988; Funicello & Giordano 2008; La Vigna & Mazza 2015):

- Unità idrogeologica dei Monti Sabatini;
- Unità idrogeologica dei Colli Albani;
- Unità idrogeologica dei depositi continentali prevulcanici di Ponte Galeria;
- Unità idrogeologica dei depositi alluvionali recenti e attuali;
- Unità idrogeologica del Delta del Fiume Tevere.



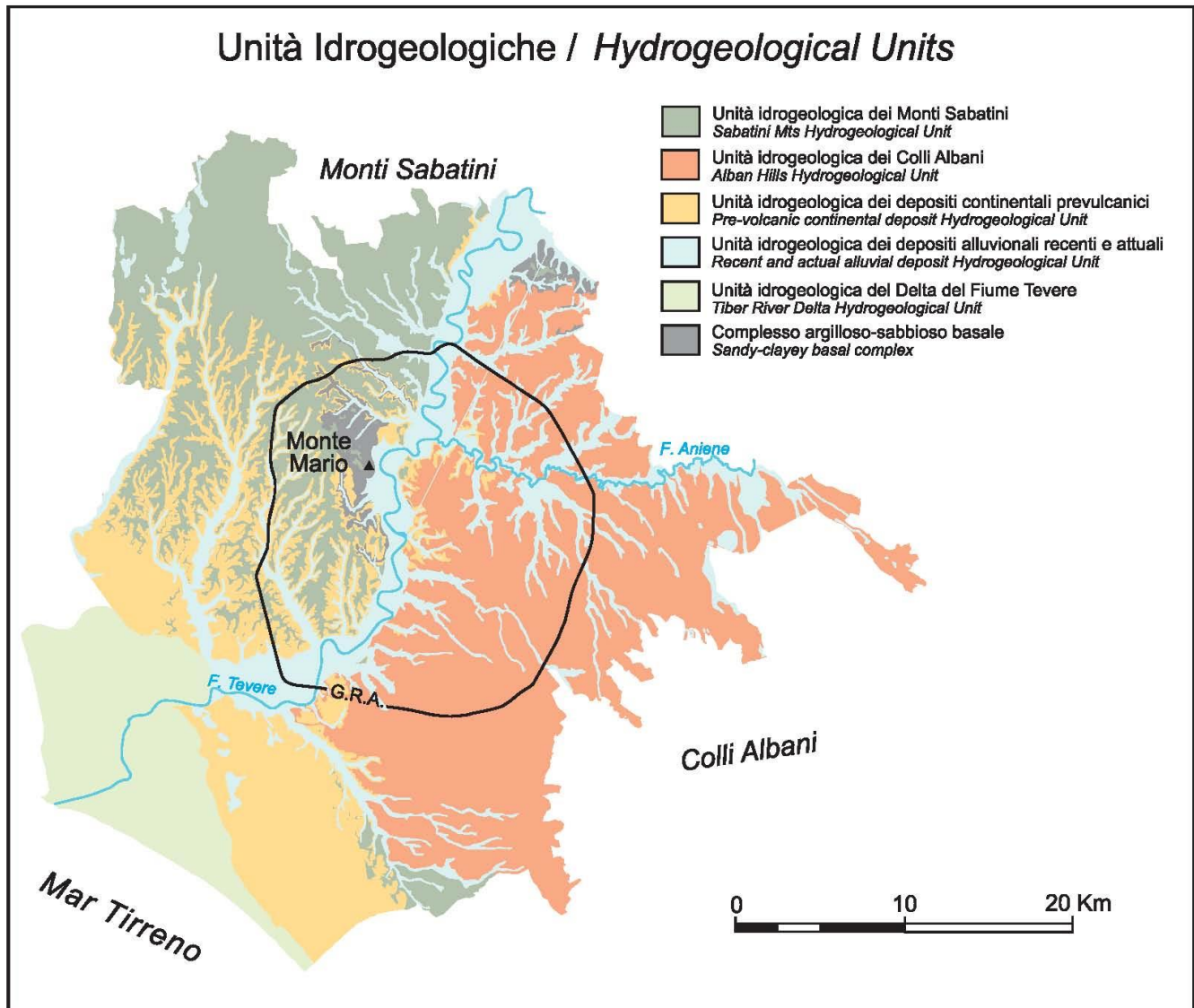


Figura 10 - Stralcio della Carta idrogeologica di Roma (da La Vigna & Mazza 2015), con indicazione delle unità idrogeologiche presenti nel territorio romano.

L'Unità idrogeologica dei Monti Sabatini presenta un drenaggio verso il settore tiberino, su cui si estende la città di Roma, e pur costituendo un'interessante risorsa idrica, non è particolarmente sfruttata, anche a causa del modesto spessore dei depositi e della loro discontinuità, soprattutto nella parte più prossima al centro abitato (La Vigna & Mazza 2015). Nei settori più periferici dei Municipi XIV e XV invece, lo spessore del Complesso Vulcanico Sabatino aumenta e di conseguenza assume maggiore importanza idrogeologica. Sulla riva destra del Fiume Tevere, l'alto strutturale di Monte Mario, formato prevalentemente dalle litologie costituenti il substrato a bassissima permeabilità, determina una divergenza del flusso idrico sotterraneo verso sud-ovest e verso nord-est (Boni et al. 1988; La Vigna & Mazza 2015).

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 45 di 81

Ben diverso potenziale offre l'**Unità idrogeologica dei Colli Albani**, su cui si estende ampiamente il territorio di Roma Capitale. In questo dominio, essendo il substrato argilloso pre-vulcanico mediamente molto depresso come quota, gli acquiferi risultano caratterizzati da elevato spessore e drenano verso i Fiumi Tevere e Aniene e verso il Fosso di Malafede, senza trovare particolari ostacoli alla circolazione idrica sotterranea (Boni et al. 1988; Funicello & Giordano 2005; La Vigna & Mazza 2015). Nel territorio i corsi d'acqua perenni alimentati dalle falde acquifere dei Colli Albani sono numerosi e di portata sostenuta. Tra i principali vanno ricordati i Fossi di Malafede, Vallerano, Acqua Acetosa, Cecchignola, Vigna Murata, Tor Carbone, Almone, Acqua Mariana, Caffarella, Giardino, Centocelle, Tor Sapienza, Osa. Oltre al drenaggio nei corsi d'acqua sopra riportati l'Unità Albana sostiene anche parte del deflusso dei Fiumi Tevere e Aniene (La Vigna & Mazza 2015).

L'**Unità idrogeologica dei depositi continentali prevulcanici** comprende sia i depositi della Successione di Ponte Galeria che quelli delle Formazioni di Santa Cecilia e del Fosso della Crescenza. Il settore di Ponte Galeria riceve la sua alimentazione a partire dalle unità sabatine a Nord del bacino idrografico, permettendo di sostenere le circolazioni perenni del Rio Galeria e del Fosso della Magliana (La Vigna & Mazza 2015). Nella porzione più meridionale è interessato da forte disturbo antropico, sia a causa della imponente attività estrattiva che negli ultimi decenni ha "consumato" gran parte dei corpi acquiferi ghiaioso-sabbiosi, sia a causa della prevalente destinazione industriale cui è stato vocato questo settore di territorio e che ha inevitabilmente intaccato le matrici ambientali locali (Boni et al. 1988; La Vigna & Mazza 2015). L'acquifero presente all'interno del Complesso della formazione del Fosso della Crescenza e nel Complesso delle ghiaie della Formazione di Santa Cecilia, si sviluppa su grandi spessori in corrispondenza della depressione ad andamento appenninico nota come "Graben del Paleotevere" (La Vigna et al. 2008). Questi corpi acquiferi, le cui circolazioni si raccordano con quelle più superficiali in corrispondenza dei corsi d'acqua principali, esistono anche al di sotto delle vulcaniti albane, fin sotto le pendici dell'edificio. La falda che risiede in queste unità sedimentarie, nel settore del "Graben del Paleotevere" e sotto l'edificio vulcanico albano, si caratterizza per un basso gradiente e quote piezometriche che oscillano attorno ai 20 m s.l.m. (Boni et al. 1988; La Vigna & Mazza 2015).

La Valle del Fiume Tevere, all'interno del centro urbano di Roma, è caratterizzata dalla presenza dell'**Unità idrogeologica dei depositi alluvionali recenti e attuali** e risulta incisa nel substrato a bassissima permeabilità (Boni et al. 1988; La Vigna & Mazza 2015). Gli spessori del complesso tiberino, incluso nel Complesso delle alluvioni e dei depositi lacustri, sono compresi tra i 40 e gli 80 m. La serie è essenzialmente limoso-sabbiosa, ma presenta anche livelli sabbiosi e ghiaiosi (Di Salvo et al. 2012). Alla base della serie è presente un "materasso" ghiaioso piuttosto continuo e con spessori da 5 a 10 m, che nel settore del centro città si trova quasi sempre isolato idraulicamente da circa 20 m di argille torbose al tetto e dalle argille plioceniche del substrato al letto e lateralmente (La Vigna et al. 2013; La Vigna & Di

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2<sup>A</sup> FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 46 di 81

Salvo 2013). Esso ospita una importante falda confinata con una notevole produttività, probabilmente ricaricato lateralmente dalle unità idrogeologiche incise dal F. Tevere nel settore del “Graben del Paleotevere” (Boni et al. 1988; La Vigna & Mazza 2015).

L'Unità idrogeologica del delta del Fiume Tevere comprende tutto il settore del delta tiberino, il maggiore della costa tirrenica italiana (La Vigna & Mazza 2015). Il delta del Fiume Tevere presenta un'area emersa di 150 km<sup>2</sup> e si estende da Palo (a Nord) fino a Tor Paterno (a Sud), mentre la superficie dell'area sommersa è prossima ai 500 km<sup>2</sup>, con uno spessore massimo del corpo deltizio di 80 metri (Funciello & Giordano 2008; La Vigna & Mazza 2015). Come l'Unità dei depositi alluvionali, anche l'Unità dei depositi deltizi presenta acquiferi di vario tipo e potenziale (Mastrorillo et al. 2016), spesso interessati da fenomeni di intrusione marina.

Infine, il **Complesso argilloso-sabbioso basale** è costituito dalla successione delle Argille Vaticane (o Formazione di Monte Vaticano) e funge da *aquiclude* per tutti gli acquiferi ad esse giustapposti (Funciello & Giordano 2008). Tale complesso presenta notevole estensione e limita inferiormente tutte le unità idrogeologiche del territorio romano, che vengono abbondantemente ricaricate anche da aree esterne all'ambito comunale (Boni et al. 1988; La Vigna & Mazza 2015). Il tetto dell'*aquiclude* basale presenta una superficie fortemente articolata, derivante dalle condizioni morfo-strutturali e dall'azione di modellamento del reticolo idrografico antecedente alla messa in posto dei depositi vulcanici (Funciello & Giordano 2008; La Vigna & Mazza 2015).

Per ulteriori dettagli in merito agli aspetti geologici si rimanda all' Elaborato NR4E00R69RGGE0001001A

#### 4.2.4 DESCRIZIONE DEI SETTORI DI INTERVENTO

Le analisi condotte e le ricostruzioni degli assetti geologico-strutturali riportati in carta hanno permesso di definire, in maniera commisurata al grado di approfondimento del progetto in corso, il contesto geologico di riferimento e tutti gli elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Nelle pagine che seguono viene quindi analizzato l'intero settore di intervento, opportunamente suddiviso in tratti omogenei relativi alle differenti opere in esame. Per ogni singolo tratto, in particolare, vengono descritte tutte le principali caratteristiche geologiche *s.l.* e gli aspetti più salienti ai fini progettuali.

Nel seguito, si fa quindi esplicito riferimento a quanto riportato nelle apposite cartografie tematiche ed ai profili longitudinali ricostruiti in asse ai tracciati. In particolare, per quanto concerne le unità geologiche presenti nei vari settori di interesse, si riportano direttamente i nomi e le sigle contenute nelle diverse cartografie geologiche realizzate a corredo della presente relazione. Infine, per quanto riguarda gli spessori e l'assetto delle singole unità litostratigrafiche, si fa riferimento ai dati contenuti negli studi bibliografici a disposizione e alle risultanze delle diverse indagini geognostiche appositamente realizzate lungo il tracciato in esame nel corso delle diverse campagne di indagine esplicitate.



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 47 di 81

Il progetto è suddiviso in tre distinti lotti:

**Lotto 1:** “Fermata Vigna Clara – Tor di Quinto”;

**Lotto 2:** “Tor di Quinto - Fermata Val d’Ala”;

**Lotto 3:** “Bivio Pineto – Stazione Aurelia BD” e “Diramazione smistamento BP”

### Lotto 1

Il lotto in questione è composto dal nuovo collegamento Vigna Clara - Tor di Quinto con interscambio a Tor di Quinto tra la nuova linea e la linea Roma Civitacastellana Viterbo, sviluppo 2100 m.

### Fermata Vigna Clara – Tor di Quinto

Il lotto “Fermata Vigna Clara – Tor di Quinto” si sviluppa lungo i fondovalle dei Fiumi Tevere e Aniene per una lunghezza di circa 2+130 km. Le opere sono rappresentate da rilevati e viadotti, oltre ad un ponte per l’attraversamento del Fiume Tevere. Il lotto si colloca nella porzione settentrionale del centro abitato di Roma, sviluppandosi nel municipio Roma XV.

Di seguito vengono descritti, da NW a SE, i diversi tratti relativi al tracciato ferroviario in questione, opportunamente distinti in funzione della tipologia di opere in progetto e delle principali caratteristiche stratigrafico-strutturali dell’area.

#### 1) Opere all’aperto km 0+000 – km 0+670

Il tratto in questione si colloca nella porzione più settentrionale della tratta “Vigna Clara – Fermata Val d’Ala BD” in direzione Fermata Val d’Ala. Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all’aperto, a quote di progetto variabili tra i 25 e i 31 m circa s.l.m.. La superficie topografica nella zona di intervento è invece posta a quote comprese tra i 21.7 ed i 25.2 m circa s.l.m..

Nel tratto iniziale, il tracciato interessa i depositi ghiaioso-sabbiosi infra-pleistocenici della Formazione Fosso della Crescenza (**FCZ**), con uno spessore compreso tra 7 e 11 m. Questi depositi poggiano sui termini pelitici della Formazione di Monte Vaticano (**MVA**), secondo un contatto stratigrafico discordante blandamente immergente in direzione del fondovalle del Fiume Tevere. Lungo i rilievi che bordano il fondovalle, esternamente al tracciato di progetto, tale unità è ricoperta da depositi pleistocenici di natura sia sedimentaria che vulcanoclastica.

Nel restante tratto, l’opera interessa i terreni limoso-argillosi (**bb3**), sabbioso-limosi (**bb2**) e ghiaioso-sabbiosi (**bb1**) dei Depositi alluvionali recenti del Fiume Tevere. Questi depositi presentano uno spessore massimo di circa 47 m, in aumento verso i settori centrali della piana, e poggiano in discordanza stratigrafica sulla Formazione Fosso della Crescenza (**FCZ**) e sulla Formazione di Monte

Vaticano (MVA). I depositi più grossolani (bb1) si rinvergono alla base della sequenza alluvionale, mentre i depositi psammitici (bb2) e pelitici (bb3) caratterizzano tutta la parte alta. Tali depositi sono diffusamente ricoperti dai Riporti antropici (h) con spessori compresi tra 1 e 7 m circa (figura 12). Verso il centro della piana è presente un orizzonte di terreni antropici più antichi, completamente ricoperto dalle alluvioni più recenti del Fiume Tevere.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area pianeggiante compresa tra due piccoli rilievi caratterizzati dalla presenza di scarpate antropiche e poligeniche. Inoltre, a nord del tracciato, a circa 25 m di distanza, è presente il Fosso dell'Acquatrasversa, un modesto corso d'acqua caratterizzato su entrambe le sponde da orli di scarpata torrentizi attivi con orientazione circa SW-NE (figura 12). Considerata la relativa distanza delle forme geomorfologiche individuate e la loro ridotta tendenza morfoevolutiva, non sussistono in questo settore elementi di potenziale criticità per le opere in progetto.

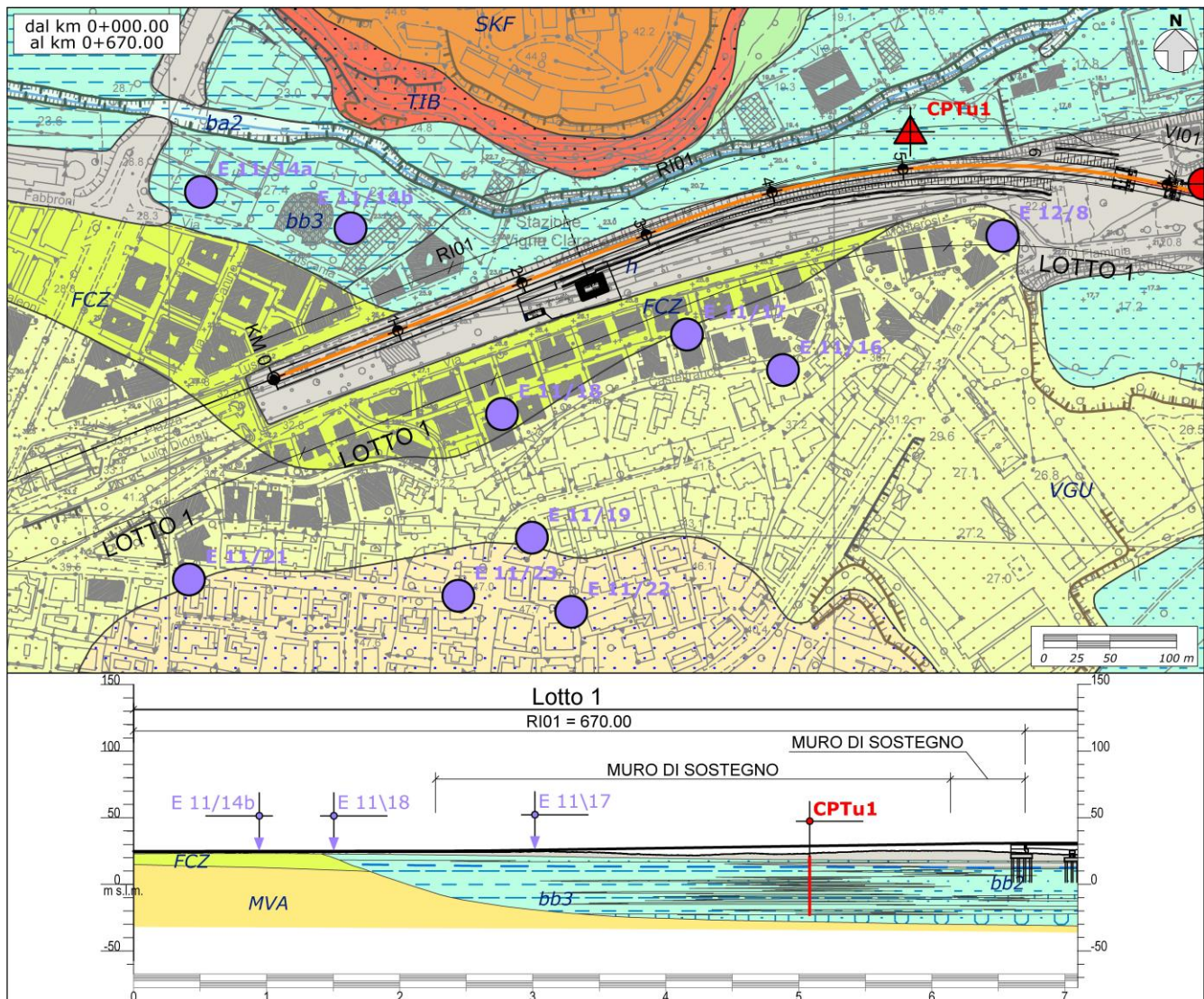


Figura 11 – Stralcio della Carta geologica e profilo geologico del tratto compreso tra il km 0+000 e il km 0+670.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 49 di 81

Da un punto di vista idrogeologico, non sono presenti dati diretti di monitoraggio. Nonostante ciò, in relazione alle caratteristiche dell'area, è possibile ipotizzare la presenza di un'estesa falda freatica all'interno dei depositi alluvionali del Fiume Tevere, con superficie piezometrica posta ad una quota variabile tra 12.6 e 14.9 m s.l.m.. La falda è sostenuta dai depositi argilloso-sabbiosi del substrato e parzialmente confinata dai terreni pelitico-sabbiosi più recenti.

2) Opere all'aperto km 0+670 – km 1+469

Tale tratto si colloca nella porzione più settentrionale della tratta "Vigna Clara – Fermata Val d'Ala BD" ed è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, tra cui due viadotti. Le quote di progetto sono variabili tra i 30 e i 31 m circa s.l.m., mentre le quote della superficie topografica nelle immediate vicinanze delle opere sono comprese tra i 16.6 ed i 23.1 m circa s.l.m..



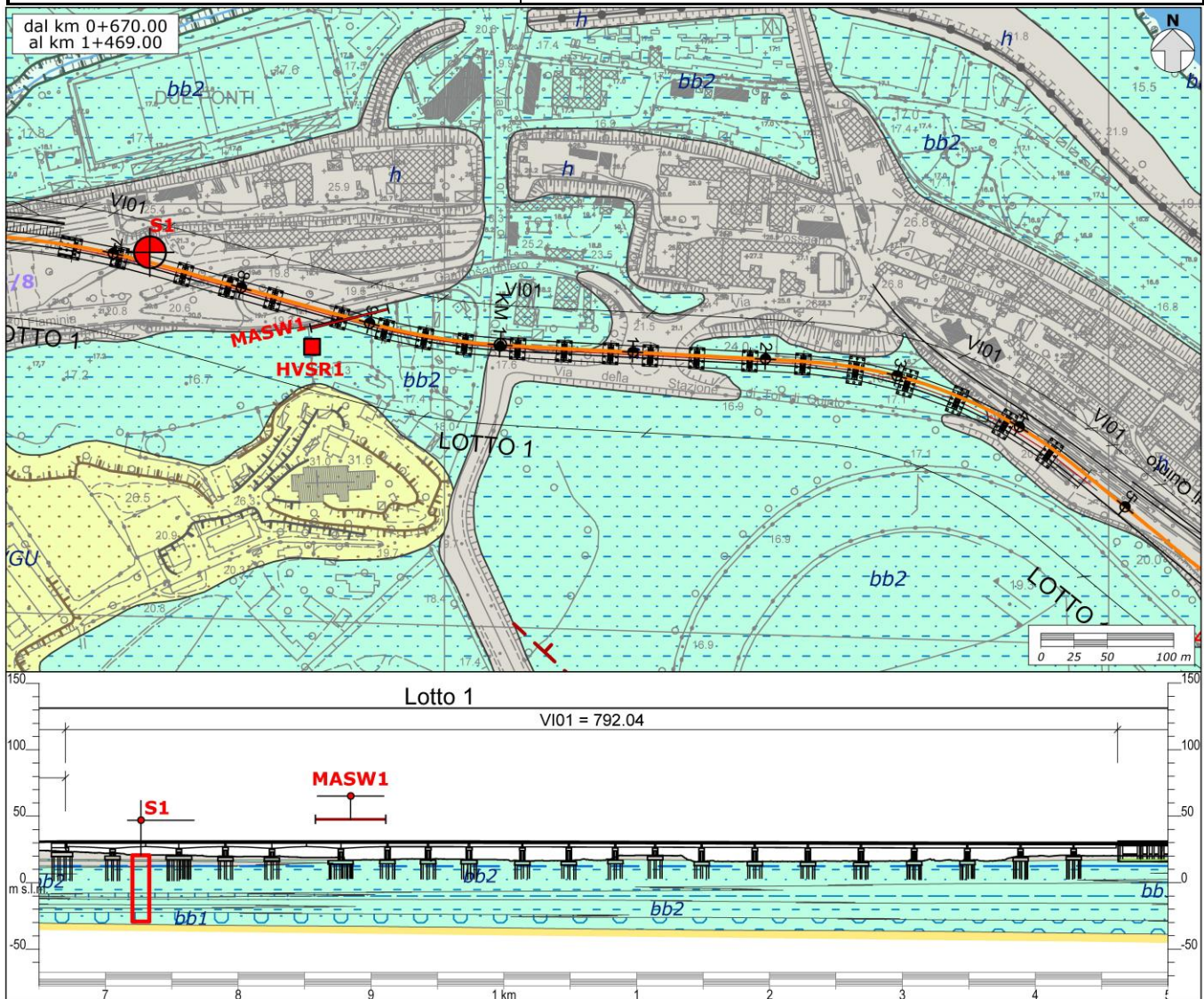


Figura 12 – Stralcio della Carta geologica e profilo geologico del tratto compreso tra il km 0+670 e il km 0+1469.

Il tracciato interessa, per tutto il suo sviluppo, i Depositi alluvionali recenti del Fiume Tevere (Figura 12), in facies limoso-argillosa (**bb3**), sabbioso-limosa (**bb2**) e ghiaioso-sabbiosa (**bb1**). I depositi ghiaioso-sabbiosi (**bb1**) si rinvencono alla base della successione e in lenti di limitato spessore nella parte centrale, mentre quelli sabbioso-limosi (**bb2**) caratterizzano gran parte della copertura alluvionale. I terreni prevalentemente pelitici (**bb3**) si rinvencono nella parte centrale della sequenza, su due orizzonti discontinui e lateralmente eteropici con le porzioni più grossolane. Il pacco alluvionale presenta uno spessore massimo di circa 55 m e poggia, in discordanza, sui termini pelitici della Formazione di Monte Vaticano (**MVA**), che è rinvenibile a più di 50 m da p.c.. Tali depositi sono diffusamente ricoperti dai Riporti antropici (**h**) con spessori massimi di circa 5 m.. Nella parte iniziale del tratto, è presente un livello di terreni antropici antichi completamente ricoperto dai sedimenti più recenti del Fiume Tevere.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2<sup>A</sup> FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 51 di 81

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area pianeggiante, delimitata nel tratto iniziale da un rilievo tabulare con numerose scarpate antropiche e poligeniche (figura 13). Tali forme erosive, comunque di limitata intensità, non presentano inferenza diretta con le opere in progetto e, pertanto, non costituiscono elementi di potenziale criticità.

Per quanto concerne le caratteristiche idrogeologiche, invece, non sono presenti dati di monitoraggio piezometrico. Le ricostruzioni delle condizioni di deflusso idrico sotterraneo nell'area evidenziano la presenza di una falda posta a quote variabili tra i 12.4 ed i 12.6 m circa s.l.m.. La falda è contenuta nelle porzioni più permeabili della copertura alluvionale ed è sostenuta, alla base, dai depositi argilloso-sabbiosi del substrato. I livelli pelitici dei depositi alluvionali, presenti all'interno della sequenza di colmamento della valle, producono localmente un parziale confinamento dell'acquifero più profondo.

### 3) Opere all'aperto km 1+469 – km 2+129

Il tratto in questione si colloca nella porzione centrale della tratta "Vigna Clara – Fermata Val d'Ala BD". Il tracciato di progetto è caratterizzato unicamente da opere all'aperto, tra cui due scotolari e una galleria artificiale. La quota di progetto è sempre prossima ai 30 m circa s.l.m., mentre le quote della superficie topografica risultano variabili tra i 15.6 ed i 20.7 m circa s.l.m..

Il tracciato interessa, per tutto il suo sviluppo, i terreni limoso-argillosi (**bb3**), sabbioso-limosi (**bb2**) e ghiaioso-sabbiosi (**bb1**) dei Depositi alluvionali recenti del Fiume Tevere (Figura 13). La parte alta della sequenza alluvionale è costituita da sedimenti pelitici (**bb3**) e psammitici (**bb2**) variamente eteropici tra loro, sia lateralmente che verticalmente, mentre la base della successione è composta prevalentemente da sedimenti grossolani (**bb1**). La copertura alluvionale presenta uno spessore massimo di circa 62 m e poggia, in contatto stratigrafico discordante, sui depositi argilloso-sabbiosi della Formazione di Monte Vaticano (**MVA**). Tali depositi sono diffusamente ricoperti dai Riporti antropici (**h**) con spessori massimi di circa 2-3 m..

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa un'area pianeggiante delimitata a NE e SE dagli argini artificiali del Fiume Tevere. In relazione all'assetto morfologico del territorio, al grado di antropizzazione dell'area e all'assenza di fenomeni erosivi in atto, in questo tratto non sussistono elementi geomorfologici di potenziale criticità per le opere in progetto (figura 14).

Da un punto di vista idrogeologico, invece, i dati di monitoraggio disponibili (cfr. S4) evidenziano la presenza di una falda posta a quote variabili tra i 10.8 ed i 12.7 m circa s.l.m.. La falda è contenuta nelle porzioni più permeabili della copertura alluvionale ed è sostenuta dai terreni poco permeabili del substrato. I depositi alluvionali prevalentemente pelitici, costituenti un livello piuttosto esteso ma irregolare per spessore e geometria, tamponano la porzione più profonda dell'acquifero alluvionale, producendo un parziale confinamento della falda e il frazionamento dei deflussi idrici sotterranei.



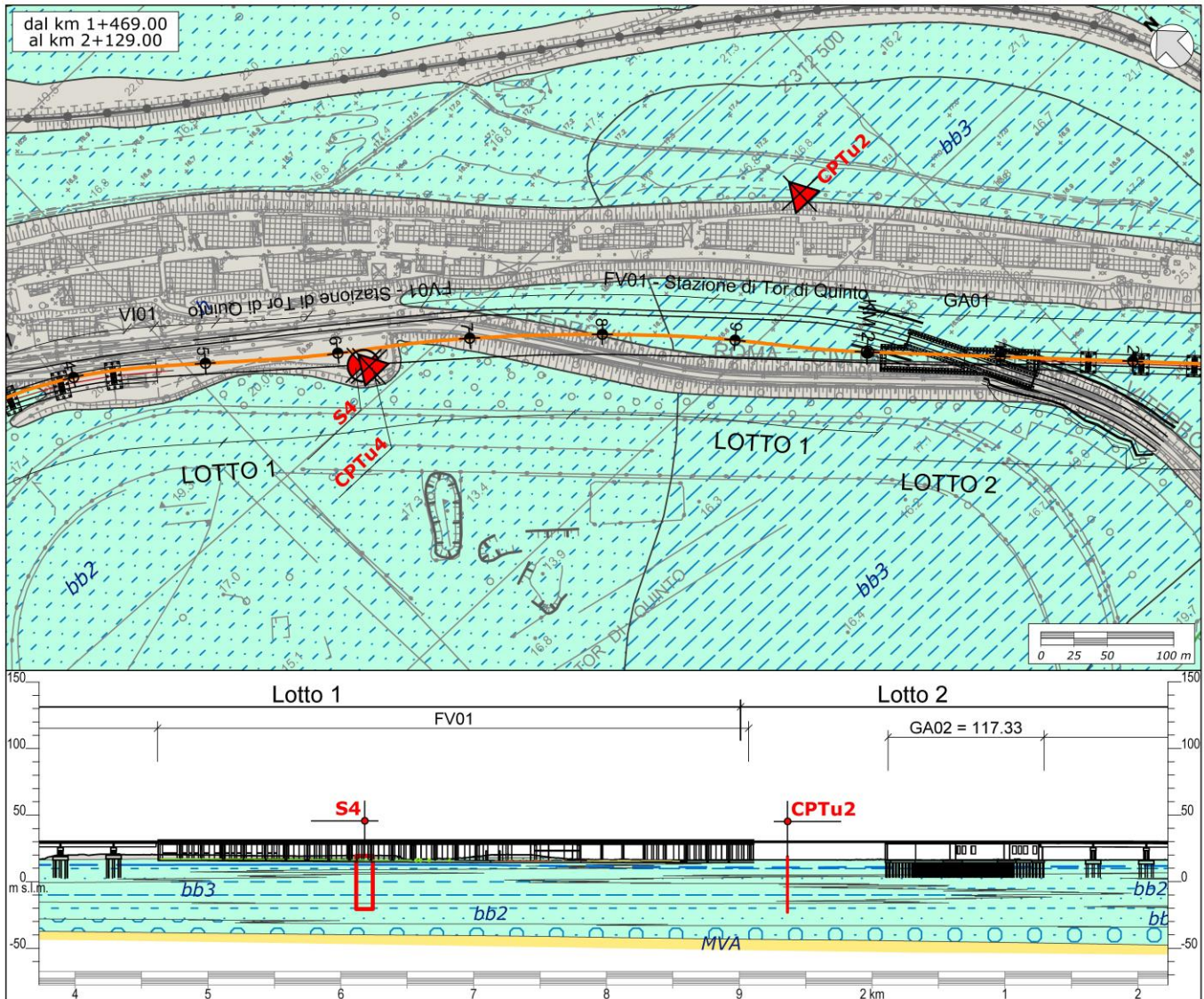


Figura 13 – Stralcio della Carta geologica e profilo geologico del tratto compreso tra il km 1+469 e il km 2+127.

Per ulteriori dettagli in merito agli aspetti geologici si rimanda all'Elaborato NR4E12R69RGGE0001001A.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 53 di 81

### 4.3 CAMPIONAMENTO ED ANALISI

Nel corso delle attività di progettazione definitiva sono state eseguite delle analisi di caratterizzazione ambientale dei terreni atte a definire lo stato qualitativo dei materiali da scavo provenienti dalla realizzazione delle principali opere all'aperto nonché in corrispondenza delle opere d'imbocco delle gallerie e delle finestre costruttive; come tali le profondità di indagine sono state spinte fino alla quota di scavo prevista nei diversi tratti del tracciato in progetto.

Le attività di indagine sono state svolte conformemente ai criteri di caratterizzazione previsti all'Allegato 4 del D.P.R. 120/2017 e pertanto forniscono un quadro completo ed esaustivo sulle caratteristiche dei materiali che saranno oggetto di scavo e quindi sulla loro possibile gestione.

Ad ogni modo oltre alle analisi di caratterizzazione già eseguite in fase di progettazione, in corso d'opera si procederà ad eseguire ulteriori campionamenti per gli scavi in sotterraneo mediante campionamento in cumulo o direttamente sul fronte di avanzamento dei materiali di scavo per i quali si prevede una gestione in qualità di sottoprodotti (oggetto del PUT), al fine di attestare la conformità dei materiali provenienti sia dalle opere in sotterraneo sia dalle opere all'aperto, affinché possano essere considerati sottoprodotti e non rifiuti ai sensi dell'art. 183, comma 1, lettera qq) del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. ed evidenziare il rispetto dei requisiti richiesti dal D.P.R.120/2017. L'implementazione del piano di campionamento e monitoraggio in corso d'opera avverrà secondo quanto previsto dall'Allegato 9 (Procedure di campionamento in corso d'opera e per i controlli e le ispezioni) del D.P.R.120/2017.

Nel correlato elaborato **"NR4E12R69SHTA0000001A – PIANO DI UTILIZZO – SCHEDE TECNICHE DEI SITI DI PRODUZIONE"** si riportano la rappresentazione grafica dei punti di campionamento (**allegato 3**), le tabelle riepilogative e relativi rapporti di prova delle indagini di caratterizzazione ambientale svolte (**allegato 4**).

#### 4.3.1 INDAGINI AMBIENTALI SUI TERRENI LUNGO LINEA

In corrispondenza delle aree oggetto di intervento, nel corso del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica, sono state eseguite indagini per la caratterizzazione dei terreni al fine di definire, da un lato le caratteristiche chimiche dei materiali che verranno movimentati in fase di esecuzione lavori e dall'altro le loro modalità di gestione.

Si precisa che nell'ottica di intraprendere un iter di gestione dei materiali di scavo in qualità di sottoprodotti ai sensi del D.P.R. 120/2017, è stato rispettato il passo di 2.000 m (per i tratti non in galleria) e 5.000 m (per i tratti in galleria), così come indicato all'Allegato 2 dello stesso decreto, mentre le profondità di campionamento sono state determinate sulla base delle profondità di scavo previste da progetto.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
	<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C

Nel dettaglio, nell'ambito della campagna svolta nell'anno 2021 sono stati prelevati i seguenti campioni:

- n. 6 campioni di terre e rocce da scavo da cassetta catalogatrice prelevati dai sondaggi (S1 e S4) riportati nella tabella a seguire, per successiva caratterizzazione ambientale secondo quanto previsto dalla Tabella 4.1 del D.P.R. 120/2017 e confronto con i limiti della Tab. 1 All. 5 al Titolo V della Parte IV D.Lgs 152/06 e s.m.i.;

SONDAGGI		
ID PUNTO	N° CAMPIONI	DENOMINAZIONE CAMPIONE
S1 – Lotto 1B	3	Sondaggio ambientale "S1" da m. 0,0 a m.-1,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord
		Sondaggio ambientale "S1" da m.-2,0 a m.-3,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord
		Sondaggio ambientale "S1" da m.-4,0 a m.-5,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord
S4 – Lotto 1B	3	Sondaggio ambientale "S4" da m. 0,0 a m.-1,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord
		Sondaggio ambientale "S4" da m.-2,0 a m.-3,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord
		Sondaggio ambientale "S4" da m.-4,0 a m.-5,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord
<b>TOTALE</b>		<b>6</b>

Tabella 1 - Campioni di terre e rocce da scavo ai fini della caratterizzazione ambientale

Tutti i campioni da sottoporre a caratterizzazione ambientale sono stati vagliati in campo mediante un setaccio a maglie in metallo di diametro pari a 2 cm, per eliminare il materiale più grossolano in campo mentre per i campioni da sottoporre a caratterizzazione rifiuti è stato prelevato il materiale tal quale senza preventiva vagliatura in campo.

I campioni prelevati sono stati posti in contenitori di vetro a chiusura ermetica, contraddistinti da opportuna etichetta indelebile riportante la localizzazione del sito, il numero del sondaggio, la profondità e la data del prelievo, e sono stati conservati alla temperatura di 4 °C in minifrigoportili fino all'inizio delle analisi, accompagnati dalla scheda di campionamento (catena di custodia).

Di seguito si riporta una tabella di sintesi con il riepilogo dei campioni di terreno prelevati.

Accettazione	Tipologia	Denominazione campione
21LA0007883	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Terre e rocce da scavo prelevato da sondaggio S1 da m 0,0 a m -1,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord – LOTTO 1.1 - Attività richiesta da Italferr S.p.A
21LA0007882	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Terre e rocce da scavo prelevato da sondaggio S1 da m -2,0 a m -3,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord – LOTTO 1.1 - Attività richiesta da Italferr S.p.A
21LA0007881	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Terre e rocce da scavo prelevato da sondaggio S1 da m -4,0 a m -5,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord – LOTTO 1.1 - Attività richiesta da Italferr S.p.A
21LA0007880	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Terre e rocce da scavo prelevato da sondaggio S4 da m 0,0 a m -1,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord – LOTTO 1.1 - Attività richiesta da Italferr S.p.A
21LA0007879	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Terre e rocce da scavo prelevato da sondaggio S4 da m -2,0 a m -3,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord – LOTTO 1.1 - Attività richiesta da Italferr S.p.A
21LA0007878	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Terre e rocce da scavo prelevato da sondaggio S4 da m -4,0 a m -5,0 – Gronda Merci di Roma Cintura Nord – LOTTO 1.1 - Attività richiesta da Italferr S.p.A

Tabella 2 - Sintesi con il riepilogo dei campioni di terreno prelevati

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

Relazione generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	55 di 81

Di seguito si riporta il set analitico ricercato sui campioni di terreno prelevati:

Parametri	UM
<b>METALLI</b>	
Arsenico	mg/kg
Cadmio	mg/kg
Cobalto	mg/kg
Cromo	mg/kg
Cromo esavalente (VI)	mg/kg
Mercurio	mg/kg
Nichel	mg/kg
Piombo	mg/kg
Rame	mg/kg
Zinco	mg/kg
<b>COMPOSTI ORGANICI AROMATICI</b>	
Benzene	mg/kg
Etilbenzene	mg/kg
Stirene	mg/kg
Toluene	mg/kg
Xileni	mg/kg
Sommatoria composti organici aromatici	mg/kg
<b>IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI</b>	
Benzo(a)antracene	mg/kg
Benzo(a)pirene	mg/kg
Benzo(b)fluorantene	mg/kg
Benzo(k)fluorantene	mg/kg
Benzo(g,h,i)perilene	mg/kg
Crisene	mg/kg
Dibenzo(a,e)pirene	mg/kg
Dibenzo(a,l)pirene	mg/kg
Dibenzo(a,i)pirene	mg/kg
Dibenzo(a,h)pirene	mg/kg
Dibenzo(a,h)antracene	mg/kg
Indenopirene	mg/kg
Pirene	mg/kg
Sommatoria composti aromatici policiclici	mg/kg
<b>IDROCARBURI</b>	
Idrocarburi pesanti C >12 (C12-C40)	mg/kg
<b>ALTRE SOSTANZE</b>	
Amianto SEM (Analisi Quantitativa)	mg/kg
Amianto SEM (Analisi Qualitativa)	Pres. - Ass.

Tabella 3 - Set analitico analisi di caratterizzazione ambientali dei terreni

Le determinazioni analitiche sono state condotte sulla frazione granulometrica dei campioni di terreno prelevati passante al vaglio 2 mm e i dati analitici sono stati riferiti alla totalità dei materiali secchi,



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 56 di 81

comprensiva anche dello scheletro (frazione granulometrica compresa tra 2 cm e 2 mm), come indicato dal D.Lgs. 152/06.

I risultati analitici sono stati confrontati con le Concentrazioni Soglia di Contaminazione di cui alla Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. 152/06 e.s.m.i. ed hanno evidenziato alcuni superamenti rispetto ai limiti di cui alla Colonna A (Siti a destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale) ed una totale conformità dei valori limite della Colonna B (Siti a destinazione d'uso commerciale e industriale), entrambi compatibili con la destinazione d'uso futura dei siti di destinazione, interni ed esterni, individuati nel presente PUT. I risultati sono inoltre stati confrontati con i limiti imposti dal D.M. n. 46 del 1 marzo 2019 – Allegato 2 (*Regolamento relativo agli interventi di bonifica, di ripristino ambientale e di messa in sicurezza, d'emergenza, operativa e permanente, delle aree destinate alla produzione agricola e all'allevamento, ai sensi dell'articolo 241 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152*), e si evidenziano alcuni superamenti rispetto ai limiti imposti dal D.M. sopra citato.

I risultati ottenuti hanno evidenziato una diffusa presenza di Arsenico nelle terre, anche in concentrazioni superiori alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione di cui alla Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. Colonna A (Siti a destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale) e, in alcune occasioni, superiori ai limiti imposti dal D.M. 46/2019. In generale, con riferimento alla Colonna A si registrano 4 superamenti, con riferimento al D.M. 46/2019 se ne registrano 2.

Inoltre si registrano 2 superamenti per il parametro Idrocarburi C>12 sia con riferimento alla Colonna A che con riferimento al D.M. 46/2019.

In **allegato 4** dell'elaborato **NR4E12R69SHTA0000001A** si riportano la tabella riepilogativa ed i rapporti di prova relativi ai risultati analitici dei terreni.

Tali terreni saranno o riutilizzati internamente al progetto (in quanto rientranti entro le CSC di riferimento per la futura destinazione d'uso) o conferiti presso siti esterni autorizzati, in regime di sottoprodotto.

In riferimento alle indagini effettuate si può quindi affermare che i materiali prodotti nell'ambito delle lavorazioni presentano caratteristiche idonee al loro utilizzo finale, così come previsto nel presente PUT, precisando che i materiali di scavo conformi alla destinazione d'uso commerciale/industriale (Colonna B) verranno utilizzati esclusivamente per le WBS interne al progetto o in un sito esterno autorizzato a conferimenti in regime di sottoprodotto anche entro i limiti di Colonna B.



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>												
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  Relazione generale	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR4E</td> <td>12</td> <td>R69</td> <td>RG TA 00 00 002</td> <td>C</td> <td>57 di 81</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	57 di 81
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	57 di 81								

## 5 METODICHE DI SCAVO, ANALISI E OPERAZIONI SUI SOTTOPRODOTTI

### 5.1 TECNICHE DI SCAVO

Le opere che comportano attività di scavo dalle quali verranno prodotti i materiali di risulta oggetto del presente documento, sono principalmente i viadotti, gallerie e trincee. In misura minore, invece, comporteranno la produzione di materiali di scavo opere quali rilevati, viabilità e opere idrauliche.

#### 5.1.1 SCAVO TRADIZIONALE

Per la realizzazione della maggior parte delle suddette **opere in terra** si prevedono unicamente **tecniche di scavo eseguite attraverso tradizionali mezzi meccanici con benna** (principalmente escavatori a braccio rovescio).

Per la realizzazione delle opere in sotterraneo previste in progetto, il metodo di scavo da adottare è derivato dall'analisi contestuale dell'ambito geologico, idrogeologico e geotecnico attraversato, della configurazione e dall'estensione longitudinale delle gallerie.

#### 5.1.2 SCAVO MECCANIZZATO

Previsto esclusivamente per il lotto 3

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
	<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  Relazione generale	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C

## 5.2 QUADRO DEI MATERIALI DI SCAVO PRODOTTI

I materiali da scavo che verranno prodotti dalla realizzazione delle opere in oggetto, nell'ottica del rispetto dei principi ambientali di favorire il riutilizzo piuttosto che lo smaltimento saranno, ove possibile, reimpiegati nell'ambito delle lavorazioni a fronte di un'ottimizzazione negli approvvigionamenti esterni o, in alternativa, conferiti a siti esterni.

Si precisa che, in riferimento ai fabbisogni dell'opera in progetto e alla caratterizzazione ambientale eseguita in fase progettuale, quota parte dei materiali presentano caratteristiche geotecniche e chimiche idonee per possibili utilizzi interni quali formazione di rilevati, rinterri, riempimenti e coperture vegetali.

Data la suddivisione del progetto in tre distinti lotti funzionali, i dati relativi ai quantitativi di terre e rocce prodotti e alla loro gestione, saranno di seguito riportati quelli relativi al Lotto 1, oggetto del presente documento.

### 5.2.1 QUADRO DEI MATERIALI DI SCAVO PRODOTTI – LOTTO 1B

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa con indicazione dei materiali scavati per tipologia di opere con indicazione di riutilizzo interno o esterno al progetto.

Tabella 6 - LOTTO 1B – Tabella riepilogativa quantitativi prodotti e loro gestione [mc in banco]

TEMATICA	PRODUZIONE [mc]	RIUTILIZZO INTERNO [mc]		UTILIZZO ESTERNO [mc]	
		STESSA WBS	ALTRA WBS	RIFIUTI [mc]	SOTTOPRODOTTI [mc]
VIADOTTI	40.000	8.000	15.075	6.500	10.425
GALLERIE ARTIFICIALI (viadotti)	14.030	2.200	3.770	0	8.060
RILEVATI	38.025	0	0	28.637	9.388
GALLERIE ARTIFICIALI	55.322	0	0	0	55.322
VIABILITA'	11.840	0	0	0	11.840
	159.217	29.045		35.137	95.035
		ai sensi del DPR 120/2017		non gestibile ai sensi del DPR 120/2017	ai sensi del DPR 120/2017

Pertanto, in riferimento alla tabella sopra riportata le attività relative al LOTTO 1B del progetto della Gronda Merci di Roma, porteranno alla produzione di un quantitativo complessivo di **133.107** (in banco) che, in riferimento ai fabbisogni dell'opera in progetto e alla caratterizzazione ambientale eseguita in fase progettuale, sarà suddiviso nel seguente modo:

- Riutilizzo interno all'opera nell'ambito del D.P.R. 120/2017: **29.045 mc**;

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 59 di 81

- Utilizzo esterno per attività di rimodellamento di cave dismesse nell'ambito del D.P.R. 120/2017: **95.035 mc.**
- Gestiti come rifiuto conformemente alla Parte IV del Decreto Legislativo 152/06 e ss.mm.ii. e conferiti ad impianti di recupero/smaltimento autorizzati: **35.137 mc.**

Alla luce di quanto sopra verranno, pertanto, gestiti come sottoprodotti e quindi sono **oggetto del presente Piano di Utilizzo** un totale complessivo di ca. **124.080 mc** (in banco); in **allegato 1** si riporta la tabella riepilogativa del bilancio complessivo.

### 5.3 OPERAZIONI SUI MATERIALI DI SCAVO (NORMALE PRATICA INDUSTRIALE)

Non sono previste operazioni di riduzione volumetrica e selezione granulometrica.

Inoltre non sono previste attività di trattamento a calce delle terre.

### 5.4 ATTIVITÀ DI CONTROLLO E MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA

Come già sottolineato precedentemente, pur ritenendo la fase di indagine preliminare sopra descritta esaustiva, soprattutto considerando che le tecniche di scavo che verranno utilizzate non porteranno alla modificazione delle caratteristiche dei materiali scavati e già caratterizzati, si procederà comunque, in corso d'opera, ad eseguire ulteriori indagini volte esclusivamente a confermare quanto già evidenziato dalle indagini eseguite in fase progettuale. Tale approccio risponde inoltre a quanto precedentemente indicato dal MATTM nel corso degli iter autorizzativi dei PUT precedentemente approvati e redatti dalla scrivente.

Di seguito si riportano quindi i criteri generali di esecuzione della caratterizzazione in corso d'opera che avverrà conformemente a quanto stabilito dall'Allegato 9 del D.P.R. 120/2017.

#### 5.4.1 MODALITÀ DI CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI DI SCAVO

Il D.P.R. 120/2017, nell'Allegato 9 "Procedure di campionamento in corso d'opera e per i controlli e le ispezioni" – Parte A "Caratterizzazione delle terre e rocce da scavo in corso d'opera - verifiche da parte dell'esecutore" riporta che *"Le attività di caratterizzazione durante l'esecuzione dell'opera possono essere condotte a cura dell'esecutore, in base alle specifiche esigenze operative e logistiche della cantierizzazione, secondo una delle seguenti modalità:*

- *su cumuli all'interno di opportune aree di caratterizzazione,*
- *direttamente sull'area di scavo e/o sul fronte di avanzamento,*
- *sull'intera area di intervento.*

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 60 di 81

*Per il trattamento dei campioni al fine della loro caratterizzazione analitica, il set analitico, le metodologie di analisi, i limiti di riferimento ai fini del riutilizzo si applica quanto indicato negli allegati 2 e 4 del medesimo DPR.*

In riferimento alle specifiche esigenze operative e logistiche della cantierizzazione, i materiali di scavo prodotti dalla realizzazione delle opere previste dal Progetto Definitivo saranno caratterizzati su cumuli all'interno delle aree di stoccaggio, opportunamente distinte e identificate con adeguata segnaletica.

Appare evidente che il Programma Lavori potrà essere approfondito solo in fase di sviluppo della Progettazione Esecutiva ed in relazione alle specifiche esigenze operative di cantiere pertanto, come previsto dal D.P.R. 120/2017, le caratterizzazioni in corso d'opera potrebbero essere eseguite presso opportune "piazze di caratterizzazione" e non necessariamente in corrispondenza delle aree di stoccaggio/siti di deposito in attesa di utilizzo.

Come prescritto dall'Allegato 9 del D.P.R. 120/2017, le piazzole di caratterizzazione saranno impermeabilizzate al fine di evitare che le terre e rocce non ancora caratterizzate entrino in contatto con la matrice suolo ed avranno superficie e volumetria sufficiente a garantire il tempo di permanenza necessario per l'effettuazione del campionamento e delle analisi. Le modalità di gestione dei cumuli dovranno garantirne la stabilità, l'assenza di erosione da parte delle acque e la dispersione in atmosfera di polveri, anche ai fini della salvaguardia dell'igiene e della salute umana, nonché della sicurezza sui luoghi di lavoro ai sensi del D.Lgs. 81/2008.

In riferimento al bilancio dei materiali, si producono in totale circa 159.217 mc (in banco) di materiali terrigeni di cui 124.080 mc saranno gestiti in qualità di sottoprodotti e destinati all'utilizzo interno o esterno al progetto.

### ➤ **LOTTO 1B**

In riferimento al LOTTO 1B si prevede la gestione come sottoprodotto di circa 124.080 mc. Supponendo di effettuare 1 campionamento ogni 5.000 mc, si prevedono un totale di ca. 14 cumuli da destinare a successive analisi. Si riporta di seguito una tabella riepilogativa del numero di cumuli che si prevede di produrre dai materiali di scavo prodotti da ciascuna macrocategoria di opera.



**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	61 di 81

Relazione generale

TEMATICA	TOTALE SOTTOPRODOTTI [mc]	NUMERO ANALISI PUT
		[1 ogni 5.000 mc]
Viadotti	33.500	7
Gallerie artificiali (viadotti)	14.030	3
Rilevati	9.388	2
Gallerie artificiali	55.322	12
Viabilità	11.840	3
<b>TOTALE</b>	<b>124.080</b>	<b>27</b>

Rispetto ai **n. 27** cumuli complessivamente realizzabili, il numero dei cumuli da campionare (che verranno scelti in modo casuale) sarà determinato mediante la formula:

$$m = k \cdot n^{1/3}$$

dove:

$m$  = numero totale dei cumuli da campionare;

$n$  = numero totale dei cumuli realizzabili dall'intera massa;

$k$  = costante, pari a 5

**Applicando la formula, dei  $n = 27$  cumuli realizzabili dall'intera massa di materiali di scavo da verificare per le opere all'aperto si prevede di analizzarne  $m \sim 15$ .**

Il campionamento, come previsto dallo stesso Allegato 9 al D.P.R.120/17, sarà effettuato in modo tale da ottenere un campione rappresentativo secondo i criteri, le procedure, i metodi e gli standard. In particolare si prevede di formare, per ciascun cumulo omogeneo di volume pari a 5.000 mc, un campione medio composito prelevando almeno 8 incrementi di cui 4 da prelievi profondi e altrettanti da prelievi superficiali da più punti sparsi sullo stesso cumulo a mezzo di escavatore meccanico a benna rovescia. Gli incrementi prelevati dovranno essere miscelati tra loro al fine di ottenere un campione medio composito rappresentativo dell'intera massa da sottoporsi alle determinazioni analitiche previste.

Sulla base di quanto riportato nell'Allegato 4 "Procedure di caratterizzazione chimico-fisiche e accertamento delle qualità ambientali" del D.P.R.120/17, i campioni da portare in laboratorio saranno privi della frazione maggiore di 2 cm (da scartare in campo) e le determinazioni analitiche saranno condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione sarà determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro campionato (frazione compresa tra 2 cm e 2 mm). In caso di terre e rocce da scavo provenienti da scavi di

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 62 di 81

sbancamento in roccia massiva, la caratterizzazione ambientale è eseguita previa porfirizzazione dell'intero campione.

Le analisi chimico-fisiche saranno condotte adottando metodologie ufficialmente riconosciute per tutto il territorio nazionale, tali da garantire l'ottenimento di valori 10 volte inferiori rispetto ai valori di concentrazione limite.

Nell'impossibilità di raggiungere tali limiti di quantificazione saranno utilizzate le migliori metodologie analitiche ufficialmente riconosciute per tutto il territorio nazionale che presentino un limite di quantificazione il più prossimo ai valori di cui sopra.

Su tutti i campioni prelevati saranno ricercati i parametri di cui alla Tabella 4.1 del D.P.R. 120/2017.

In riferimento alle specifiche esigenze operative e logistiche della cantierizzazione, verrà valutata l'opportunità si procedere all'adozione – in maniera integrata – sia della caratterizzazione delle terre e rocce da scavo su cumuli (con le modalità sopra descritte) sia sul fronte di avanzamento dei lavori.

In tal caso, in linea con quanto previsto dal D.P.R. 120/2017, la caratterizzazione sull'area di scavo o sul fronte di avanzamento verrà eseguita indicativamente ogni 500 m di avanzamento del fronte della galleria e in ogni caso in occasione dell'inizio dello scavo della galleria, ogni qual volta si verifichino variazioni del processo di produzione o della litologia delle terre e rocce scavate, nonché, comunque, nei casi in cui si riscontrino evidenze di potenziale contaminazione.

Il campione medio sarà ottenuto da sondaggi in avanzamento ovvero dal materiale appena scavato dal fronte di avanzamento. In quest'ultimo caso si preleveranno almeno 8 campioni elementari, distribuiti uniformemente sulla superficie dello scavo, al fine di ottenere un campione composito che, per quartatura, rappresenterà il campione finale da sottoporre ad analisi chimica.

#### **5.4.2 CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI ADDITIVATI PROVENIENTI DALLO SCAVO IN MECCANIZZATO**

Lo scavo meccanizzato è previsto per il solo lotto 3, pertanto non si riportano ulteriori dettagli

#### **5.4.3 RISPETTO DEI REQUISITI DI QUALITÀ AMBIENTALE**

Il rispetto dei requisiti di qualità ambientale di cui all'art. 184 bis, comma 1, lettera d), del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. per l'utilizzo dei materiali da scavo come sottoprodotti, è garantito se il contenuto di sostanze inquinanti all'interno dei materiali da scavo è inferiore alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) di cui alla Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., con riferimento alla specifica destinazione d'uso urbanistica dei siti di produzione (Colonna B) e dei siti di destinazione (Colonna A), o ai valori di fondo naturali.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 63 di 81

Si ricorda che secondo quanto previsto dal D.P.R. 120/2017, *i materiali da scavo sono utilizzabili per reinterri, riempimenti, rimodellazioni, rilevati, miglioramenti fondiari o viari, recuperi ambientali oppure altre forme di ripristini e miglioramenti ambientali:*

- *se la concentrazione di inquinanti rientra nei limiti di cui alla colonna A, in qualsiasi sito a prescindere dalla sua destinazione;*
- *se la concentrazione di inquinanti è compresa fra i limiti di cui alle colonne A e B, in siti a destinazione produttiva (commerciale e industriale).*

In riferimento alle analisi eseguite in fase progettuale i materiali di scavo potranno essere tutti conferiti in siti a destinazione d'uso commerciale/industriale (Colonna B per le wbs interne al progetto); in riferimento ai siti di destinazione esterni individuati, quali cave da riambientalizzare, invece, potranno essere utilizzati solo quei materiali che presentano concentrazioni conformi a quelle proposte per l'uso verde/residenziale (Colonna A).

Nel caso in cui le indagini in corso d'opera mostrassero valori di concentrazione degli analiti ricercati superiori alle CSC di cui alla Colonna B, Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. n. 152/2006, si provvederà a gestire il materiale in questione in ambito normativo di rifiuto ai sensi della Parte IV del D.Lgs. n. 152/2006 e s.m.i.

#### **5.4.4 MONITORAGGIO AMBIENTALE CONNESSO AL PIANO DI UTILIZZO (CO)**

Sulla base di quanto usualmente richiesto dal MATTM nell'ambito degli iter autorizzativi dei precedenti PUT approvati e proposti dalla scrivente, si riportano di seguito i criteri generali di esecuzione delle attività di monitoraggio ambientale da eseguirsi in fase di Corso d'Opera (CO) sulle matrici ambientali interessate dall'attuazione del Piano di Utilizzo, rimandando per i dettagli al contenuto del **Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA)**.

In particolare, in relazione alle specifiche attività di gestione dei materiali di scavo in conformità al Piano di Utilizzo, oltre a quanto già previsto nel PMA il monitoraggio ambientale verrà esteso sulle seguenti componenti ambientali, prevedendone inoltre un eventuale aggiornamento in linea con il grado di dettaglio della successiva fase di Progetto Esecutivo:

- Materiali da scavo;
- Acque superficiali di ruscellamento e percolazione;
- Acque sotterranee.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 64 di 81

Relativamente alle modalità di campionamento e di caratterizzazione chimico fisica dei **materiali di scavo** in Corso d'Opera (CO) si rimanda interamente a quanto già descritto nei paragrafi precedenti, nonché a quanto contenuto all'interno del PMA. I risultati delle analisi da eseguirsi in fase di attuazione del PUT saranno periodicamente comunicati al servizio ARPA di competenza.

In riferimento ai materiali di scavo che verranno stoccati nei siti di deposito in attesa di utilizzo, oltre al rispetto dei criteri di deposito definiti dal D.P.R. 120/2017 e delle modalità realizzative generali descritte nel Piano di Utilizzo, al fine di evitare eventuali fenomeni di contaminazione delle falde idriche sotterranee si prevede di eseguire il monitoraggio in Corso d'Opera (CO) delle **acque superficiali di ruscellamento e percolazione** provenienti dalle aree di stoccaggio dei materiali di scavo. In particolare, rimandando per i dettagli all'approfondimento da eseguirsi in fase di Progetto Esecutivo, si prevede di procedere al campionamento ed analisi delle acque di percolazione dalle aree di deposito in attesa di utilizzo unicamente nei casi in cui ne sia prevista la dispersione al suolo mediante la realizzazione di pozzetti perdenti, mentre nei casi in cui si prevedono sistemi di captazione delle acque di ruscellamento superficiale e successivo scarico – in fognatura o in corpo idrico superficiale – dovrà essere rispettato quanto previsto dalla normativa ambientale vigente nonché quanto eventualmente prescritto dagli Enti titolari dei procedimenti autorizzativi relativi a tali scarichi. Ad ogni modo, le tipologie di campionature e di analisi periodiche, nonché le normative di riferimento saranno preventivamente concordate con il servizio ARPA di competenza, così come le circostanze e casistiche in cui sarà eventualmente necessario rinfittire i campionamenti.

L'eventuale infiltrazione delle acque di percolazione superficiale nelle falde profonde sarà comunque controllata anche attraverso il monitoraggio in Corso d'Opera (CO) delle **acque sotterranee**, con frequenza trimestrale, dai piezometri previsti all'interno del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) in corrispondenza delle attività di realizzazione dell'infrastruttura - e quindi di scavo - che potrebbero comportare interferenza diretta con la matrice ambientale in questione. Qualora all'interno delle aree di intervento siano presenti pozzi ad uso idropotabile, la frequenza di campionamento sarà bimestrale. Per i dettagli sui parametri chimico – fisici e sulle caratteristiche tecniche delle attività di monitoraggio si rimanda a quanto descritto all'interno del PMA.

Come previsto nel Progetto di Monitoraggio Ambientale, anche per le matrici ambientali connesse all'attuazione del presente PUT - ove applicabile - il Responsabile Ambientale individuato dal PMA provvederà a trasmettere i risultati validati del Monitoraggio Ambientale Ante Operam (AO) prima dell'inizio delle attività di cantiere.



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  Relazione generale	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 65 di 81

## 6 SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO

### 6.1 DEPOSITO INTERMEDIO

#### 6.1.1 SISTEMA DI CANTIERIZZAZIONE

Per la realizzazione delle opere in progetto, è prevista l'installazione delle seguenti tipologie di cantieri:

- **cantiere base:** fungono da supporto logistico per tutte le attività relative alla realizzazione degli interventi in oggetto;
- **cantiere operativo:** contiene gli impianti ed i depositi di materiali necessari per assicurare lo svolgimento delle attività di costruzione delle opere;
- **aree tecniche:** risultano essere quei cantieri funzionali in particolare alla realizzazione di singole opere (viadotti, cavalcaferrovia, opere di imbocco). Al loro interno sono contenuti gli impianti ed i depositi di materiali necessari per assicurare lo svolgimento delle attività di costruzione delle opere;
- **aree di stoccaggio:** sono quelle aree di cantiere destinate allo stoccaggio del materiale proveniente da scotico, scavi, demolizioni, ecc., in attesa di eventuale caratterizzazione chimica e successivo allontanamento per riutilizzo in cantiere, conferimento a siti esterni per attività di rimodellamento o recupero/smaltimento presso impianti esterni autorizzati;
- **cantieri armamento:** tali aree sono di supporto alla esecuzione dei lavori di armamento ed attrezzaggio tecnologico della linea.
- **aree di deposito terre:** sono quelle aree destinate all'eventuale accumulo delle terre di scavo. Tale stoccaggio è stato previsto con funzione di "polmone" in caso di interruzioni temporanee della ricettività dei siti esterni di destinazione definitiva. Le predette aree di deposito sono state proporzionate onde garantire almeno 8 mesi di accumulo dello scavo al fine di assicurare, su tale periodo, la continuità delle lavorazioni.

Le aree di cantiere sono state selezionate sulla base delle seguenti esigenze principali:

- disponibilità di aree libere in prossimità delle opere da realizzare;
- lontananza da ricettori critici e da aree densamente abitate;
- facile collegamento con la viabilità esistente, in particolare con quella principale (strada statale SS192);
- minimizzazione del consumo di territorio;
- minimizzazione dell'impatto sull'ambiente naturale ed antropico.
- riduzione al minimo delle interferenze con il patrimonio culturale esistente.

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**
**Relazione generale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	66 di 81

CODICE	LOTTO	DESCRIZIONE	SUP.	COMUNE
AR-02	1	Area di Armamento	6.700	Roma
CB1_01	1	Cantiere Base	3.000	Roma
CO1_01	1	Cantiere Operativo	15.000	Roma
AT1-01	1	Area Tecnica	8.300	Roma
AS1_01	1	Area di Stoccaggio	13.400	Roma
AT1-02	1	Area Tecnica	1.800	Roma
AT1-03	1	Area Tecnica	4.300	Roma
AT1-04	1	Area Tecnica	6.300	Roma
AT1-05	1	Area Tecnica	37.300	Roma
DT_01	1B - 2 - 3	Deposito temporaneo	23.100	Roma

*Tabella riepilogativa aree di cantiere - LOTTO 1B*

Inoltre, sono state individuate anche n° 2 aree per il deposito delle terre e rocce da scavo comuni a tutti i n. 3 lotti funzionali previsti.

CODICE AREA DI DEPOSITO TERRE	COMUNE	LOTTO
DT.01	Roma	1B - 2 - 3

*Tabella riepilogativa aree di deposito terre*

La preparazione dei cantieri prevedrà, tenendo presenti le tipologie impiantistiche presenti, indicativamente le seguenti attività:

- scotico del terreno vegetale (quando necessario), con relativa rimozione e accatastamento o sui bordi dell'area per creare una barriera visiva e/o antirumore o stoccaggio in siti idonei a ciò destinati (il terreno scotico dovrà essere conservato secondo modalità agronomiche specifiche);
- formazioni di piazzali con materiali inerti ed eventuale trattamento o pavimentazione delle zone maggiormente soggette a traffico (questa fase può anche comportare attività di scavo, sbancamento, riporto, rimodellazione);
- delimitazione dell'area con idonea recinzione e cancelli di ingresso;
- predisposizione degli allacciamenti alle reti dei pubblici servizi;
- realizzazione delle reti di distribuzione interna al campo (energia elettrica, rete di terra e contro le scariche atmosferiche, impianto di illuminazione esterna, reti acqua potabile e industriale, fognature, telefoni, gas, ecc.) e dei relativi impianti;
- eventuale perforazione di pozzi per l'approvvigionamento dell'acqua industriale.
- costruzione dei basamenti di impianti e fabbricati;

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 67 di 81

- montaggio dei capannoni prefabbricati e degli impianti.

Al termine dei lavori, i prefabbricati e le installazioni saranno rimossi e si procederà al ripristino dei siti, salvo che per le parti che resteranno a servizio della linea nella fase di esercizio. La sistemazione degli stessi sarà concordata con gli aventi diritto e con gli enti interessati e comunque in assenza di richieste specifiche si provvederà al ripristino, per quanto possibile, come nello stato ante operam.

Inoltre, prima della realizzazione delle pavimentazioni dei piazzali del cantiere saranno predisposte tubazioni e pozzetti della rete di smaltimento delle acque meteoriche.

Nella tabella seguente sono invece riepilogate le aree di cantiere che si prevede di utilizzare come siti di deposito in attesa di utilizzo all'interno delle quali, oltre allo stoccaggio dei sottoprodotti, potranno essere eseguite anche le analisi di caratterizzazione ambientale in corso d'opera descritte nel seguito e finalizzate alla conferma o meno della qualità chimica dei materiali e quindi delle alternative scelte sulla base della caratterizzazione ambientale preliminare svolta in fase progettuale.

Nuovo Cod.	Lotto	opere di pertinenza	Superficie (mq)
AS1-01	1	AREA STOCCAGGIO	13.400
DT01	1B - 2 - 3	DEPOSITO TERRE	23.100

*Tabella 9 - Tabella riepilogativa aree di cantiere utilizzabili come siti di deposito in attesa di utilizzo interno*

Si precisa che il Programma Lavori potrà essere approfondito solo in fase di sviluppo della Progettazione Esecutiva ed in relazione alle specifiche esigenze operative di cantiere, pertanto le ipotesi di utilizzo delle aree di stoccaggio da parte delle diverse WBS di produzione è da ritenersi assolutamente indicativo. Ad ogni modo, ai fini della completa tracciabilità dei materiali di scavo, le eventuali modifiche rispetto a quanto previsto all'interno del presente PUT - anche se ritenute non sostanziali né comportanti Varianti al PUT - verranno opportunamente comunicate all'Autorità Competente.

Inoltre, si specifica che, qualora le aree di stoccaggio accolgano materiali merceologicamente differenti, tutti i materiali depositati saranno separati all'interno di piazzole debitamente identificate e chiaramente distinte in campo al fine di garantire la rintracciabilità dell'opera da cui provengono e della lavorazione che li ha generati. Le piazzole saranno pertanto adibite ad ospitare i materiali per singola e ben distinta tipologia: le piazzole in cui depositare i materiali terrigeni di scavo oggetto del PUT potranno ospitare solo quelli, mentre quelle adibite al deposito rifiuti (suddivisi a loro volta per tipologia merceologica) potranno ricevere solo i rifiuti.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 68 di 81

Al fine di fornire un quadro completo delle caratteristiche delle aree di deposito terre all'interno delle quali verranno allocati i materiali in attesa di caratterizzazione e di utilizzo finale, così come per i siti di produzione, sono state prodotte delle schede cartografiche riportanti per ogni deposito terre/cantiere (doc. correlato **NR4E12R69SHTA0000002A – PIANO DI UTILIZZO – SCHEDE TECNICHE DEI SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO**) le seguenti informazioni:

Inquadramento territoriale:

- denominazione dei siti, desunta dalla toponomastica del luogo;
- ubicazione dei siti (comune, via, numero civico se presente);
- estremi cartografici da Carta Tecnica Regionale (CTR);
- corografia.

Inquadramento urbanistico:

- individuazione della destinazione d'uso urbanistica attuale.

Inquadramento geologico ed idrogeologico:

- -descrizione del contesto geologico della zona, anche mediante l'utilizzo di informazioni derivanti da pregresse relazioni geologiche e geotecniche;
- descrizione del contesto idrogeologico della zona (presenza o meno di acquiferi e loro tipologia) anche mediante indagini pregresse;
- livelli piezometrici degli acquiferi principali, direzione di flusso, con eventuale ubicazione dei pozzi e piezometri se presenti (cartografia preferibilmente a scala 1:5.000).

Descrizione delle attività svolte sul sito:

- uso pregresso del sito e cronistoria delle attività antropiche svolte sul sito.

Piano di campionamento e analisi:

- descrizione delle indagini svolte e delle modalità di esecuzione;
- localizzazione dei punti mediante planimetrie;
- elenco delle sostanze ricercate;
- descrizione delle metodiche analitiche e dei relativi limiti di quantificazione.

### 6.1.2 MODALITÀ DI DEPOSITO DEI MATERIALI DI SCAVO

I materiali di scavo destinati ad essere riutilizzati nell'ambito delle lavorazioni saranno temporaneamente allocati presso le aree di stoccaggio interne al cantiere (siti di deposito intermedi) ed eventualmente

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 69 di 81

sottoposti ad operazioni di normale pratica industriale, per una durata pari a quella del Piano di Utilizzo descritta di seguito.

Il deposito del materiale escavato avverrà in conformità al Piano di Utilizzo identificato, tramite apposita segnaletica posizionata in modo visibile, le informazioni relative al sito di produzione, le quantità del materiale depositato, nonché i dati amministrativi del Piano di Utilizzo.

In particolare, le aree che si prevede di utilizzare come **siti di deposito intermedio** per i materiali da riutilizzare nell'ambito delle lavorazioni sono quelle indicate nei paragrafi precedenti.

Si precisa che le aree di cui sopra saranno utilizzate anche per il deposito di quei materiali che verranno riutilizzati per le attività di rimodellamento morfologico di siti esterni descritte di seguito, assicurando comunque la rintracciabilità di tutti i materiali stoccati; particolare attenzione sarà posta nel caso in cui i sottoprodotti presentino una diversa conformità ai limiti normativi di riferimento in relazione alla specifica destinazione d'uso dei siti di utilizzo finale. Nel caso in cui in uno stesso sito di deposito intermedio in attesa di utilizzo siano stoccati sia i materiali di scavo da gestire in qualità di sottoprodotti (destinati ai riutilizzi interni o a siti di conferimento esterni) sia quelli da gestire in qualità di rifiuto, si provvederà ad assicurare la separazione fisica degli stessi

I materiali saranno suddivisi per WBS e sottoposti ad indagini di caratterizzazione ambientale, così come descritte nei paragrafi precedenti; nel caso in cui venga adottata la modalità di caratterizzazione in cumulo, la stessa avverrà all'interno delle aree di deposito intermedio o di opportune piazzole di caratterizzazione.

La movimentazione dei materiali avverrà in generale avvalendosi delle seguenti dotazioni: pale gommate, autocarri e pale meccaniche, pompe idrauliche per la captazione delle acque di ruscellamento, gruppi elettrogeni e impianto di illuminazione.

Ciascuna piazzola sarà preventivamente modellata in maniera da minimizzare le asperità naturali del terreno; sarà realizzato, su tre lati, un argine di protezione in terra a sezione trapezoidale.

Inoltre, verrà realizzata una idonea rete di raccolta e drenaggio delle acque meteoriche volta ad evitare il ruscellamento incontrollato delle acque venute a contatto con i rifiuti ivi depositi.

Da un punto di vista costruttivo si procederà quindi come segue:

- modellamento della superficie su cui sorgerà il modulo di deposito intermedio terre tramite limitate movimentazioni di materiale, allo scopo di regolarizzare la superficie e creare una pendenza omogenea dell'ordine dello 1% in direzione del lato privo di arginatura;
- predisposizione di una canaletta di sezione trapezoidale posta ai piedi della pendenza;
- impermeabilizzazione della canaletta con geotessile tessuto in polietilene ad alta densità (HDPE), rivestito con uno strato di polietilene a bassa densità (LDPE);



<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione generale	NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	70 di 81

- realizzazione di un pozzetto di sicurezza posto lateralmente all'area di stoccaggio nel quale verranno convogliate le acque raccolte dalla canaletta di cui al punto precedente;
- impermeabilizzazione della superficie e degli argini in terra con telo di materiale polimerico (HDPE) previa stesura di tessuto non tessuto a protezione del telo stesso. Al di sopra della geomembrana impermeabilizzante sarà, quindi, posato uno strato di terreno compattato dello spessore di 10 – 15 cm per evitare danneggiamenti della struttura impermeabile realizzata dovuti al transito dei mezzi d'opera.

Per la preparazione delle aree di stoccaggio/cantiere, i primi 50 cm di terreno vegetale derivanti dallo scotico necessario alla preparazione delle aree di stoccaggio saranno mantenuti separati dal materiale sottostante e gestiti come previsto del Progetto di Monitoraggio Ambientale.

Qualora, durante la fase di deposito il livello dell'acqua nel pozzetto raggiungesse il franco di sicurezza, si procederà allo svuotamento tramite autobotte gestendo l'acqua come rifiuto e provvedendo al conferimento ad idoneo impianto autorizzato, sempre previa caratterizzazione analitica.

In funzione delle condizioni meteorologiche, al termine di ogni giornata di lavoro si provvederà a stendere sopra ciascun cumulo un telo impermeabile in PE, opportunamente ancorato, in modo da evitare fenomeni di dilavamento dei materiali ivi depositati da parte delle acque meteoriche.

Nel caso di aree di stoccaggio adibite sia ad ospitare i materiali da scavo da gestire in qualità di sottoprodotto, che i materiali da gestire in qualità di rifiuti, ogni piazzola presente sarà dedicata e distinta per tipologia di materiali stoccati. In tal modo all'interno del cantiere saranno sempre tenuti ben distinti i materiali terrigeni di scavo da gestire in regime di sottoprodotto dai materiali gestiti in qualità di rifiuto.

All'interno delle aree i materiali depositati da gestire in qualità di sottoprodotto saranno suddivisi in cumuli; la tracciabilità sarà assicurata avendo cura di utilizzare sistemi identificativi di ogni cumulo (cartellonistica), al fine di poterne rintracciare la tipologia e, inoltre, il sito e la lavorazione (WBS) di provenienza.

### **6.1.3 MODALITÀ DI TRASPORTO**

Per l'utilizzo dei materiali di scavo nell'ambito del cantiere in qualità di sottoprodotti, si prevede il trasporto con automezzi dai siti di produzione a quelli di deposito (aree di stoccaggio) ed, infine, a quelli di utilizzo finali (WBS interne al progetto e siti di destinazione finale).

Nel caso in cui si renda necessario impegnare la viabilità esterna al cantiere, il trasporto del materiale escavato sarà accompagnato dal Documento di Trasporto, di cui all'Allegato 7 del D.P.R 120/17.

Il Documento di Trasporto conterrà le generalità della stazione appaltante, della ditta appaltatrice dei lavori di scavo, della ditta che trasporta il materiale, della ditta che riceve il materiale e/del luogo di

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 71 di 81

destinazione, targa del mezzo utilizzato, sito di provenienza, data e ora del carico, quantità e tipologia del materiale trasportato.

In fase di corso d'opera, sarà comunque cura dell'Appaltatore in qualità di Esecutore del Piano di Utilizzo e di produttore dei materiali di scavo, garantire la corretta applicazione del Piano di Utilizzo approvato e conseguentemente assicurare la rintracciabilità dei materiali mediante la predisposizione di adeguata documentazione e installazione nei mezzi di trasporto di GPS.

Nei doc. correlati **NR4E12R69SHTA0000002A – PIANO DI UTILIZZO – SCHEDE TECNICHE DEI SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO (allegato 2)** si riporta la planimetria con l'indicazione dei percorsi utilizzabili per il conferimento dei materiali dal sito di produzione al sito di deposito in attesa di utilizzo.

## 6.2 CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE DI DEPOSITO INTERMEDIO

Nel corso della successiva fase di progettazione definitiva, in aggiunta a quanto sopra, seppur non esplicitamente richiesto dal D.P.R.120/2017, sulla base di quanto usualmente richiesto dal MATTM nell'ambito degli iter autorizzativi dei precedenti PUT approvati e proposti dalla scrivente verranno caratterizzati tutti i siti di deposito in attesa di utilizzo intermedio mediante il prelievo ed analisi di campioni dello strato superficiale, conformemente ai criteri di caratterizzazione previsti all'Allegato 4 del D.P.R. 120/2017.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
	<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  Relazione generale	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. B

## 7 SITI DI DEPOSITO FINALE

### 7.1 BILANCIO E GESTIONE DEI MATERIALI DI RISULTA – LOTTO 1B

La realizzazione delle opere relative al LOTTO 1B oggetto del presente Piano di Utilizzo determina la produzione complessiva di **159.217 mc** (in banco) di materiali di scavo che verranno gestiti come sottoprodotti, ai sensi del D.P.R. 120/2017

In particolare, sulla base dei risultati ottenuti a seguito delle indagini di caratterizzazione ambientale svolte in fase progettuale, delle caratteristiche geotecniche dei materiali scavati e dei fabbisogni di progetto che ammontano in totale a ca **86.891 mc**, gli interventi necessari alla realizzazione della Gronda Merci di Roma saranno caratterizzati dai seguenti flussi di materiale:

- materiali da scavo da riutilizzare nell'ambito dell'appalto, che verranno trasportati dai siti di produzione ai siti di deposito intermedio in attesa di utilizzo, sottoposti a trattamenti di normale pratica industriale, ove necessario, ed infine conferiti ai siti di utilizzo interni al cantiere: tali materiali saranno gestiti ai sensi del D.P.R. 120/2017 ed ammontano a **29.045 mc** (in banco) (oggetto del presente Piano di Utilizzo) da riutilizzare all'interno dello stesso progetto;
- materiali da scavo in esubero trasportati dai siti di produzione ai siti di deposito intermedio in attesa di utilizzo, ed infine conferiti ai siti di destinazione esterni al cantiere: tali materiali saranno gestiti ai sensi del D.P.R. 120/2017 ed ammontano a **95.035 mc** (in banco) (oggetto del presente Piano di Utilizzo);
- materiali necessari per il completamento/realizzazione dell'opera che dovranno essere approvvigionati dall'esterno che ammontano a **57.846 mc** (non oggetto del presente Piano di Utilizzo).

Di seguito viene riportata una tabella che sintetizza i volumi complessivi del bilancio dei materiali di scavo relativo alle opere in progetto del lotto 1B.

Tabella 10 - Tabella riepilogativa bilancio complessivo dei materiali di scavo – LOTTO 1B

Produzione complessiva (mc in banco)	Fabbisogno (mc in banco)	Approvv. Utilizzo interno dalla stessa WBS (mc in banco) <b>PUT</b>	Approvv. Utilizzo interno da diversa WBS (mc in banco) <b>PUT</b>	Approvv. Esterno (mc in banco)	Utilizzo esterno (mc in banco) <b>PUT</b>	Materiali di risulta in esubero - terre (mc)
159.217	86.891	10.200	18.845	57.846	95.035	35.137

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 73 di 81

Con riferimento alla suddetta tabella, **ca. 124.080 mc** in banco di materiali provenienti dagli scavi saranno pertanto gestiti come sottoprodotti e conferiti ai siti di deposito intermedio ed ai siti di utilizzo finale ai sensi del D.P.R. 120/2017, come descritto di seguito.

Il dettaglio sulle modalità di utilizzo dei materiali di scavo oggetto del Piano di Utilizzo (riutilizzi interni ed utilizzo esterno) è riportato nei paragrafi successivi, mentre in **allegato 1** si riporta il bilancio dei materiali suddiviso per ciascuna WBS di progetto.

## 7.2 RIUTILIZZO FINALE INTERNO AL PROGETTO

Come anticipato sopra, si prevede di allocare presso i siti di deposito in attesa di utilizzo all'interno delle aree di cantiere e poi riutilizzare nell'ambito delle lavorazioni in qualità di sottoprodotti **29.045 mc** (in banco) di materiali di cui:

- **10.200 mc** da riutilizzare nell'ambito della stessa WBS nello stesso sito in cui sono stati prodotti, previo eventuale deposito in sito e previo eventuale trattamento di normale pratica industriale;
- **18.845 mc** da riutilizzare nell'ambito dell'appalto in diverse WBS rispetto a quelle di produzione previo eventuale trasporto in siti di deposito in attesa di utilizzo dai siti di produzione e sottoposti, ove necessario, a trattamenti di normale pratica industriale.

## 7.3 RIUTILIZZO FINALE ESTERNO AL PROGETTO

Come anticipato sopra, i materiali di risulta in esubero, non riutilizzati nell'ambito dell'appalto (**95.035 mc** in banco), verranno gestiti come sottoprodotti ai sensi del D.P.R. 120/2017 e trasportati dai siti di produzione ai siti di deposito intermedio delle terre e infine ai siti di destinazione finale individuati e di seguito riportati, previa esecuzione delle analisi previste in corso d'opera per la verifica di compatibilità tra le terre e rocce da scavo prodotte e la destinazione d'uso futura degli stessi. In particolare, a seconda della destinazione d'uso degli interventi di utilizzo finale, sarà verificato il rispetto dei seguenti limiti:

- Colonna A, Tabella 1, Allegato 5, alla Parte IV, Titolo V del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. per i siti a destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale;
- Colonna B, Tabella 1, Allegato 5, alla Parte IV, Titolo V del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. per i siti a destinazione d'uso commerciale e industriale;
- Allegato 2 del D.M. 46/2019 per i suoli delle aree agricole (Regolamento relativo agli interventi di bonifica, di ripristino ambientale e di messa in sicurezza, d'emergenza, operativa e permanente,

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
	<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C

delle aree destinate alla produzione agricola e all'allevamento, ai sensi dell'articolo 241 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152).

Per la gestione dei materiali di scavo in qualità di sottoprodotti non riutilizzabili nell'ambito dell'appalto, al fine di garantire la certezza dell'utilizzo nel rispetto dei criteri definiti dal D.P.R. 120/2017, compatibilmente con il livello di dettaglio della presente fase progettuale, ai fini della predisposizione del Piano di Utilizzo, lo scenario dei potenziali siti di conferimento esterno è stato individuato attraverso il coinvolgimento ufficiale e diretto degli Enti/Amministrazioni territorialmente competenti, ricadenti nell'ambito territoriale in cui ricade il tracciato di progetto.

Più in dettaglio, attraverso il contatto diretto con i Comuni/Enti/Associazioni di Categoria è stato possibile individuare i seguenti siti di destinazione finale, così come definiti dal DPR 120/2017, i quali hanno manifestato il loro interesse a ricevere quota parte delle terre e rocce da scavo provenienti dalle lavorazioni in progetto e da altri interventi ferroviari limitrofi, come si evince da quanto riportato nel documento correlato **NR4E12R69SHTA0000003A – PIANO DI UTILIZZO – SCHEDE TECNICHE DEI SITI DI DEPOSITO FINALE (allegato 1)**. La disponibilità dichiarata dai soggetti pubblici/privati titolari dei potenziali siti di conferimento individuati è stata infatti manifestata nell'ambito del censimento condotto più in generale dalla Scrivente per progetti ferroviari ricadenti nel medesimo territorio regionale.

Nome Ditta	Nome sito	Comune	mc disponibilità	Tipo di intervento	Autorizzazione	Colonna A	Colonna B	Destinazione d'uso post recupero
<b>BTR Srl</b>	Loc. Barco	Tivoli	300.000	Rimodellamento morfologico cava a fossa	sì	X	/	Industriale
	Loc. Le Fosse	Guidonia Montecelio	169.000		no	/	X	Industriale
<b>Centro Edil Cerreto Snc</b>	Centro Edil Cerreto Snc di Ansuinelli Riccardo & C.	Canale Monterano	20.000	Riambientalizzazione cava di versante	no	/	X	N.D.
<b>CM SpA</b>	Loc. Le Fosse	Guidonia Montecelio	150.000	Rimodellamento morfologico cava a fossa	sì	X	/	Agricola
<b>Deg Immobiliare Srl</b>	Cava Fiorotta	Civitavecchia	100.000	Interventi di ripristino ambientale	sì	X	/	Agricola
	Cava Pisciarellò	Tarquinia	400.000					
<b>Degemar Cave Srl</b>	Cave di Travertino, Loc. Le Fosse	Guidonia Montecelio	525.636	Ritombamento cava a fossa	sì	X	/	Industriale



**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	75 di 81

**Relazione generale**

	Cave di Travertino, Loc. Valle Pilella	Guidonia Montecelio	544.240		sì	X	/	
<b>Estraba SpA</b>	Loc. Barco	Tivoli	500.000	Rimodellamento morfologico cava a fossa	no	/	/	N.D.
<b>Fratelli Pacifici SpA</b>	Cava Valle Pilella	Guidonia Montecelio	100.000	Recupero ambientale cava a fossa	no	/	X	N.D.
	Cava Valle Pilella Acqua Marcia	Guidonia Montecelio						
	Cava Valle Pilella Uffici	Guidonia Montecelio	200.000					
	Cava Fosse	Guidonia Montecelio						
	Cava Barco	Tivoli						
<b>Fratelli Tiberi Srl</b>	Via Portuense	Roma Capitale	400.000	Interventi di recupero ambientale	sì	X	/	Agricola
<b>Git Service</b>	Cava Casale dell'Orso, Località Casale dell'Orso	Bomarzo	800.000	Riambientalizzazione cava a fossa	sì	X	/	Agricola
<b>Lifi Srl</b>	Cava Le Fosse	Guidonia Montecelio	800.000	Recupero ambientale	no	X	/	N.D.
	Cava Valle Pilella	Guidonia Montecelio	700.000		sì	X	/	
			100.000		no	/	X	
<b>Marcello Bardini</b>	Pian dell'Alberone	Latera	150.000	Interventi di recupero ambientale	no	X	/	N.D.
	Monte Bruciore	Campagnano di Roma	800.000		no	X	/	N.D.
<b>Mariotti Carlo &amp; Figli SpA</b>	Cava del Barco	Tivoli	50.000	Ripristino cava a fossa	no	/	X	N.D.
<b>Michele Pascucci</b>	Loc. Le Fosse	Guidonia Montecelio	400.000	Rimodellamento morfologico cava a fossa	sì	X	X	Industriale
<b>Mondialtufo</b>	Corteccoli	Gallese	500.000	Interventi di riambientalizzazione e ripristino	no	X	/	N.D.
	Poggio Mentuccia	Corchiano	550.000					
	Capoccione	Corchiano	100.000					
<b>Niagara Centro Srl</b>	La Solfatara	Roma Capitale	800.000	Rimodellamento	no	X	/	N.D.
<b>Poggi SpA</b>	Cava Ditta Fratelli Poggi Srl Valle	Guidonia Montecelio	800.000	Recupero ambientale cava a fossa	no	X	/	N.D.

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	76 di 81

**Relazione generale**

	Pilella							
<b>Prodipi Srl/Cogetras Srl</b>	Lucciano	Civita Castellana	800.000	Rimodellamento morfologico di cava a fossa	sì	X	/	Agricola
<b>Schiavi Srl</b>	Casale dei Prataroli	Fiumicino	400.000	Recupero/ripristino ambientale	no	X	/	N.D.
			400.000		no	/	X	
<b>Seipa Srl</b>	Porta Medaglia	Roma Capitale	800.000	Ripristino ambientale e/o processi produttivi in sostituzione dei materiali di cava allorché abbiano le stesse caratteristiche meccaniche necessarie al prodotto finale	no	/	X	N.D.
<b>Semag Srl</b>	Radigara	Orte	400.000	Interventi di recupero/ripristino ambientale	no	X	/	N.D.
			400.000			/	X	

Come si evince dai dati sopra riportati, lo scenario di conferimento complessivo (ca. 13.158.876 mc) definito nella presente fase progettuale permette ampiamente di soddisfare le esigenze di progetto (ca. 95.035 mc), anche considerando gli esuberanti esterni provenienti dalla realizzazione degli altri 2 lotti (in totale ca. 812.261 mc per i 3 lotti) relativamente ai sottoprodotti non riutilizzabili nell'ambito dell'appalto.

A tal proposito preme evidenziare che, sulla base dell'avanzamento della progettazione e delle ulteriori verifiche tecnico-amministrative da condurre sui suddetti siti di destinazione, sarà possibile articolare dettagliatamente il conferimento delle terre e rocce da scavo definendo compiutamente i quantitativi da utilizzare nei singoli siti tra quelli sopra riportati. Tale successivo affinamento, pertanto, consentirà di selezionare il numero di siti da utilizzare, sulla base del minor impatto ambientale connesso alla gestione delle terre e rocce da scavo, tra quelli ad oggi già individuati, senza pertanto comportare modifiche sostanziali al presente PUT né, più in generale, ripercussioni sulla procedura VIA.

Al fine di selezionare il numero definitivo dei siti di destinazione da utilizzare, si procederà ad eseguire una specifica analisi multicriteria sulla base dei seguenti criteri di selezione oggettiva:

- necessità/complessità dell'iter autorizzativo e di gestione, ivi inclusa la verifica della presenza di aree protette o tutelate e la verifica della compatibilità rispetto al sistema dei vincoli paesaggistici, ambientali e urbanistici;
- distanza dei siti rispetto al luogo di realizzazione del progetto ferroviario;
- compatibilità geologica/geotecnica/idrogeologica del materiale da scavo con l'intervento di riqualificazione previsto;

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 77 di 81

- accessibilità ai siti in termini di tipologia dei collegamenti stradali, eventuali ripercussioni sui flussi di traffico ordinari e sui ricettori sensibili in aree contermini alle viabilità interessate;
- valutazione dei costi da sostenersi per l'acquisizione della disponibilità dei siti nonché per il trasporto dei materiali di scavo dai luoghi di produzione/aree di cantiere fino alla destinazione finale.

## 7.4 CARATTERIZZAZIONE DEI SITI DI DEPOSITO FINALE INDIVIDUATI

### 7.4.1 MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO ED ESITI DELLA CARATTERIZZAZIONE

Nella successiva fase progettuale, conformemente a quanto riportato nel DPR 13 giugno 2017, n. 120, i potenziali siti di deposito finale verranno sottoposti ad indagini di caratterizzazione ambientale attraverso il prelievo di campioni rappresentativi da sottoporre alle determinazioni analitiche previsti dall'Allegato 4 del D.P.R: 120/2017.

## 7.5 EFFICACIA DEL PIANO DI UTILIZZO

In riferimento alla tipologia di opere in progetto ed ai quantitativi dei materiali di scavo oggetto del presente Piano di Utilizzo il programma lavori è strettamente connesso alle tempistiche di produzione dei materiali e al loro utilizzo in siti interni e esterni al cantiere.

In **allegato 2** si riporta il cronoprogramma completo delle attività secondo quanto previsto dal Progetto di Fattibilità Tecnico e Economica.

Pertanto, si ritiene che la durata del Piano di Utilizzo, di cui all'art. 14 comma 1 del D.P.R. 120/2017, possa essere fissata pari a 915 giorni naturali e consecutivi (**circa 3 anni**).

L'avvenuto utilizzo del materiale da scavo sarà attestato mediante apposita *Dichiarazione di avvenuto utilizzo (D.A.U.)*, redatta in conformità all'Allegato 8 del D.P.R. 120/2017 dall'Esecutore del PUT o dal Produttore delle terre e rocce da scavo a conclusione dei lavori di utilizzo.

<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione generale	NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	78 di 81

**Allegato 1: Quantitativi di materiali di scavo prodotti e Tabella di Riutilizzo**



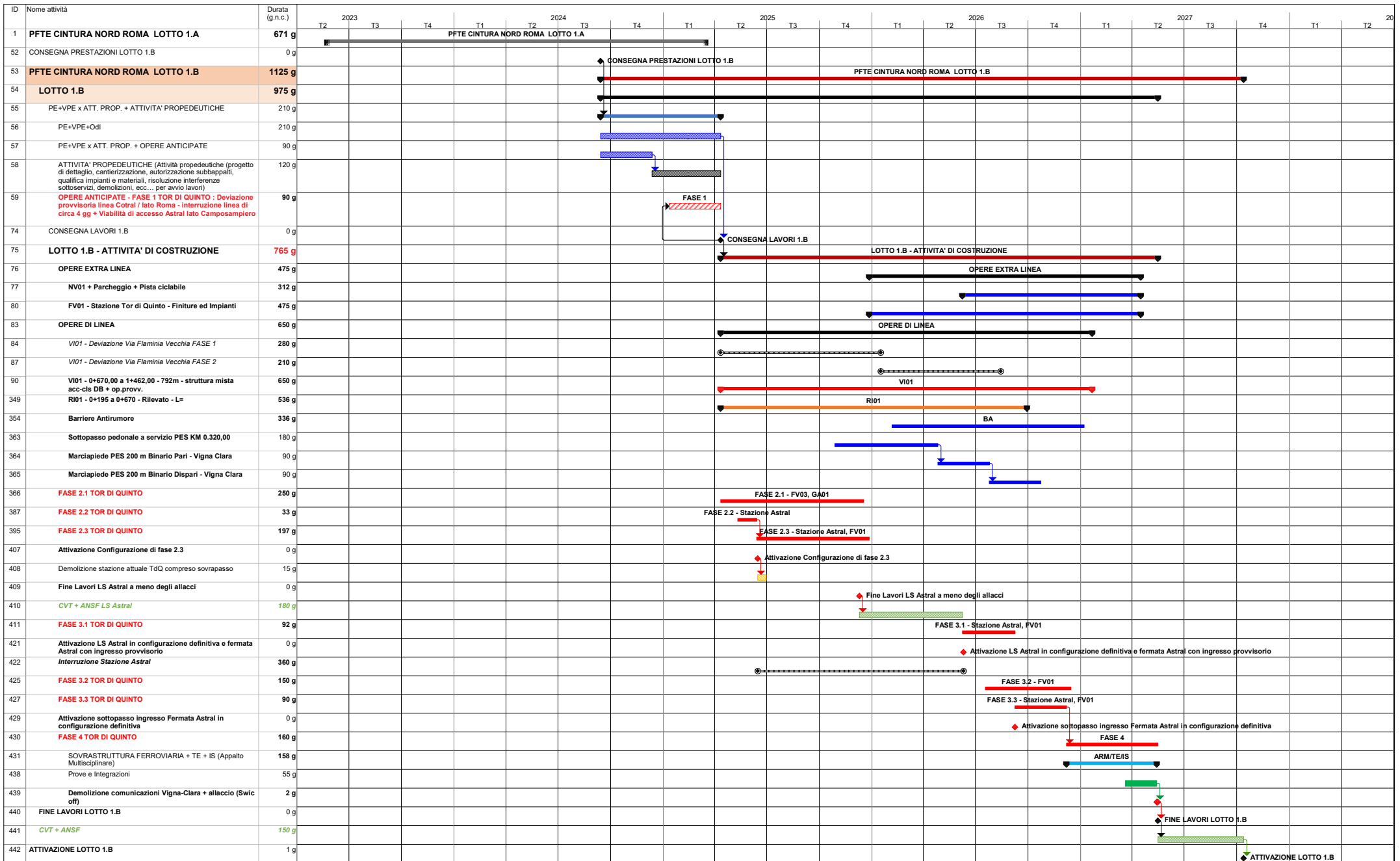


**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

**Relazione generale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	79 di 81

**Allegato 2: Cronoprogramma lavori**



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>TRATTA: VIGNA CLARA – TOR DI QUINTO</b>					
<b>PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO</b>  <b>Relazione generale</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. C	FOGLIO 80 di 81

**Allegato 3: Attività di ricerca sull'impatto ambientale delle bentoniti per applicazioni di ingegneria civile ("GEEG – Geotechnical & Environmental Engineering Group" startup di "Sapienza – Università di Roma")**



**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.

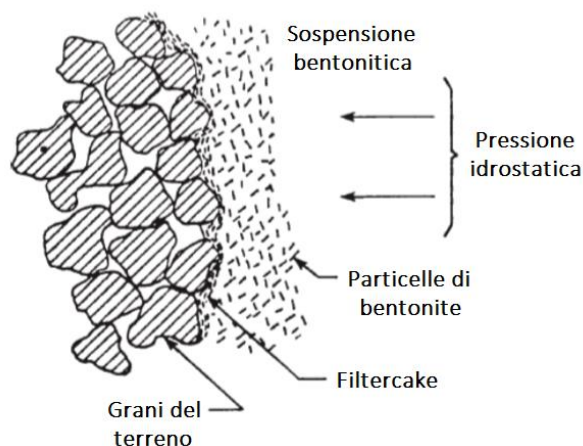


Figura 1: Formazione del filtercake.

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

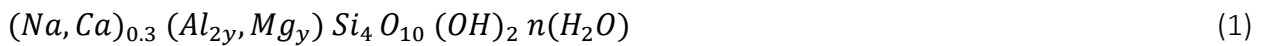
#### 3.1 Il materiale, i prodotti commerciali e la composizione mineralogica

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.

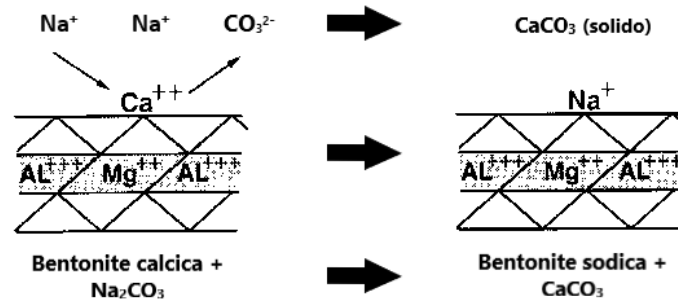


Figura 2: Schema di attivazione della bentonite calcica con carbonato di sodio.

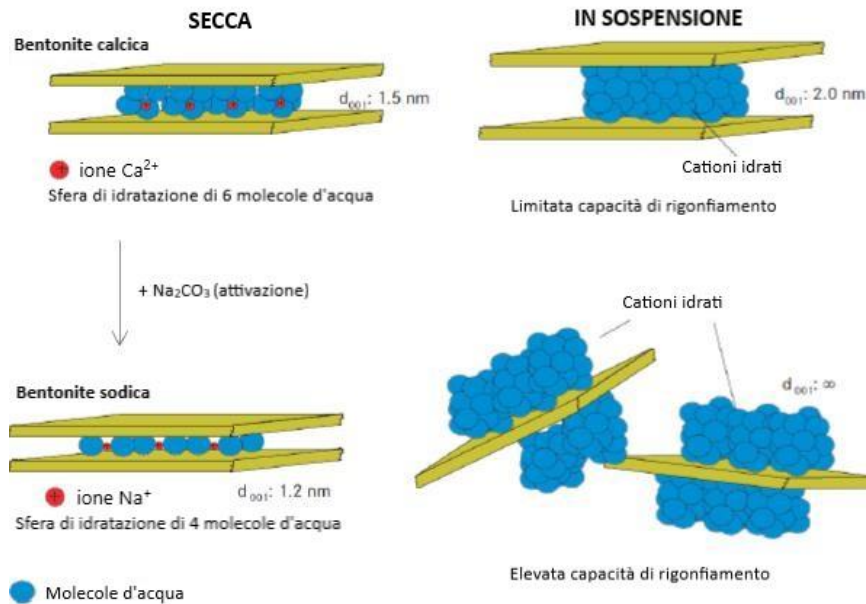


Figura 3: Confronto tra bentonite calcica e sodica.

Segue una fase di essiccazione a temperatura controllata (non oltre i  $500^\circ C$ ) 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.

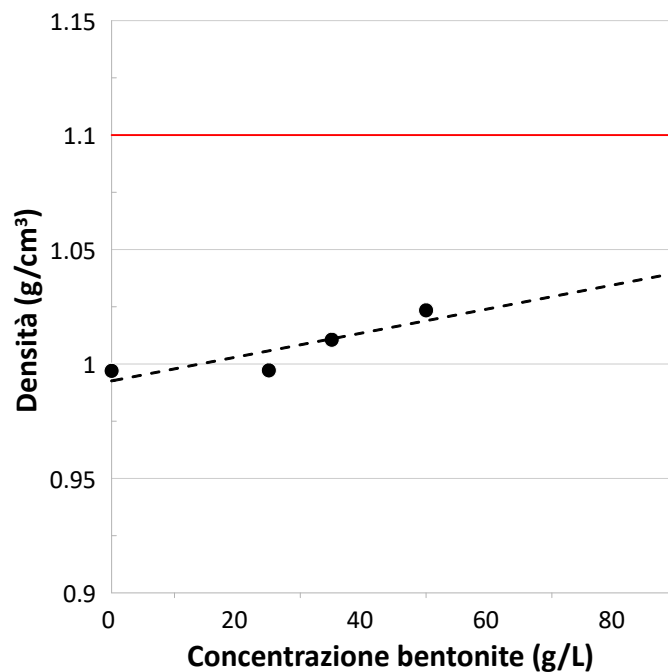


Figura 4: Valori di densità ottenuti a diverse concentrazioni di bentonite, interpolazione lineare di tali valori e limite imposto dalla normativa.

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.

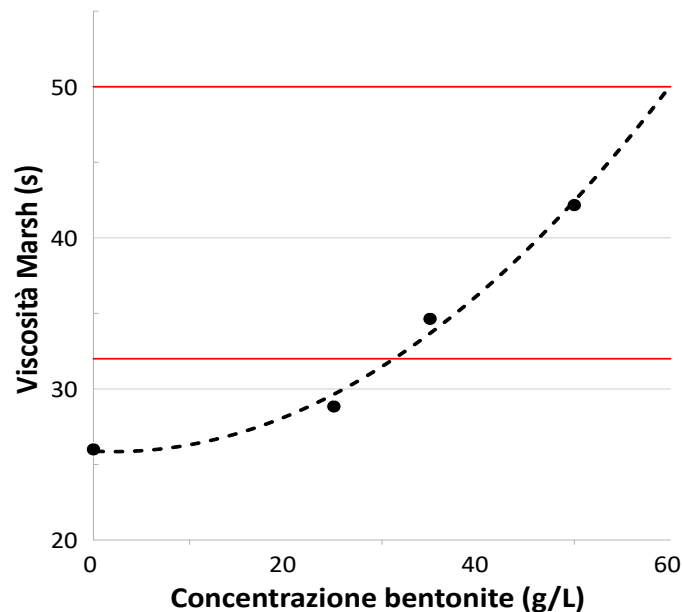


Figura 5: Valori di viscosità Marsh ottenuti a diverse concentrazioni di bentonite, interpolazione polinomiale di tali valori e limite imposto dalla normativa.

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

- Bohnoff 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.

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO**

**Relazione generale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R69	RG TA 00 00 002	C	81 di 81

**Allegato 4: Studio sperimentale sulla possibilità di riutilizzo come sottoprodotto delle terre e rocce da scavo derivanti dalla realizzazione di opere in sotterraneo (“GEEG – Geotechnical & Environmental Engineering Group” startup di “Sapienza – Università di Roma”)**



**GEEG**  
GEOTECHNICAL & ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING GROUP

**Startup di**



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Studio sperimentale sulla possibilità di riutilizzo come sottoprodotto delle terre e rocce da scavo derivanti dalla realizzazione di opere in sotterraneo

Marzo 2023

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

---

**INDICE**

1	Introduzione .....	1
1.1	Generalità.....	1
1.2	Definizioni .....	2
2	Attività sperimentale: materiali e metodi.....	3
2.1	Caratterizzazione dei terreni.....	4
2.1.1	Distribuzione granulometrica .....	4
2.1.2	Limiti di Atterberg.....	5
2.1.3	Peso dell'unità di volume della parte solida .....	5
2.2	Caratterizzazione dei fluidi bentonitici.....	6
2.2.1	Viscosità Marsh.....	7
2.2.2	Densità.....	7
2.2.3	Fluid loss e spessore del filtercake.....	8
2.3	Studio sulle terre e rocce da scavo contenenti tracce di fluido bentonitico.....	8
2.4	Studio di carattere ecotossicologico .....	9
2.4.1	Saggio di tossicità acuta con <i>Vibrio fischeri</i> .....	9
2.4.2	Principio del metodo di tossicità acuta con <i>Daphnia Magna</i> .....	10
2.4.3	Test di tossicità con <i>Heterociprys incongruens</i> .....	11
3	Risultati.....	12
3.1	Caratterizzazione dei terreni.....	12
3.1.1	Caratterizzazione geotecnica.....	12
3.1.2	Caratterizzazione chimica .....	12
3.2	Caratterizzazione dei fluidi bentonitici.....	14
3.2.1	Individuazione del dosaggio ottimale .....	14
3.2.2	Risultati chimici.....	18
3.3	Studio sui terreni con tracce di fluido bentonitico.....	22
3.3.1	Risultati chimici.....	22
3.4	Studio di carattere ecotossicologico .....	40
4	Conclusioni e futuri sviluppi .....	41

## 1 Introduzione

### 1.1 Generalità

Nell'ambito delle attività di progettazione sviluppate da Italferr è emerso l'interesse a specifici approfondimenti in merito all'utilizzo dei fluidi bentonitici durante la realizzazione di pali e diaframmi in relazione ai rischi per l'ambiente e per la salute umana con specifico riferimento alle implicazioni in merito al possibile riutilizzo delle terre e rocce da scavo di risulta dalle attività di realizzazione di pali e diaframmi verosimilmente contenenti tracce residue di bentonite utilizzata durante le attività di perforazione.

Italferr ha affidato a GEEG, startup innovativa di "Sapienza" Università di Roma, lo sviluppo del presente lavoro di supporto alle attività di Progettazione di Italferr in continuità con una precedente fase dell'attività di Ricerca, la quale ha portato in primo luogo 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; in secondo luogo, ha previsto lo sviluppo di un'attività sperimentale nell'ambito della caratterizzazione geotecnica e valutazione dell'impatto ambientale delle attività di realizzazione dei pali e dei diaframmi con particolare riferimento all'utilizzo di fluidi bentonitici. In particolare, gli aspetti chimici e ecotossicologici sono stati valutati sulle formulazioni di fluidi bentonitici ottimali per la tipologia di attività oggetto di questo studio in modo da fornire una descrizione completa e in linea con le attività condotte dall'appaltatore.

La presente fase sperimentale dell'attività di Ricerca si è posta quindi come obiettivo quelli di verificare la possibilità di riutilizzo nell'ambito della disciplina dei sottoprodotti, delle terre e rocce da scavo (TRS) derivanti dalla realizzazione di opere in sotterraneo (pali, micropali, diaframmi ...).

Lo studio, sulla base delle evidenze prodotte da una precedente fase di studio sulle caratteristiche e sull'impatto ambientale legato all'uso di bentoniti nelle opere di sostegno, intende concentrarsi sulle caratteristiche del terreno di risulta dalle attività sopramenzionate, sugli effetti della separazione tra fluidi di perforazione e terre e rocce di risulta, sulle quantità di bentonite che permangono all'interno delle TRS.

Lo studio è finalizzato all'acquisizione degli elementi necessari a supportare scelte progettuali individuate da Italferr con riferimento alla gestione delle TRS e in particolare al riutilizzo delle stesse secondo la disciplina dei sottoprodotti, in ottemperanza a quanto disciplinato dal DPR 120/2017, anche alla luce di osservazioni e prescrizioni formulate nel merito dagli Enti nel procedimento amministrativo di approvazione dei Piani di Utilizzo delle terre.



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

Le attività sperimentali, come sarà dettagliatamente descritto più avanti in questo stesso documento, sono state eseguite su due terreni (di categorie A2-4 e A6) prelevati direttamente in sito su cui è stato studiato l'effetto di sei diverse bentoniti (una naturale e una estesa per tre diversi produttori).

**1.2 Definizioni**

In questo paragrafo vengono descritti alcuni termini e procedure legate al processo di realizzazione di pali e all'utilizzo dei fluidi e dei fanghi largamente utilizzati e richiamati in questo documento.

In particolare nella seguente Figura 1 vengono sinteticamente descritte, senza pretesa di esaustività, le macro-lavorazioni che intervengono nella realizzazione di un palo. Per ulteriori approfondimenti si rimanda a "Pali trivellati" (Miliziano et al., 2019).

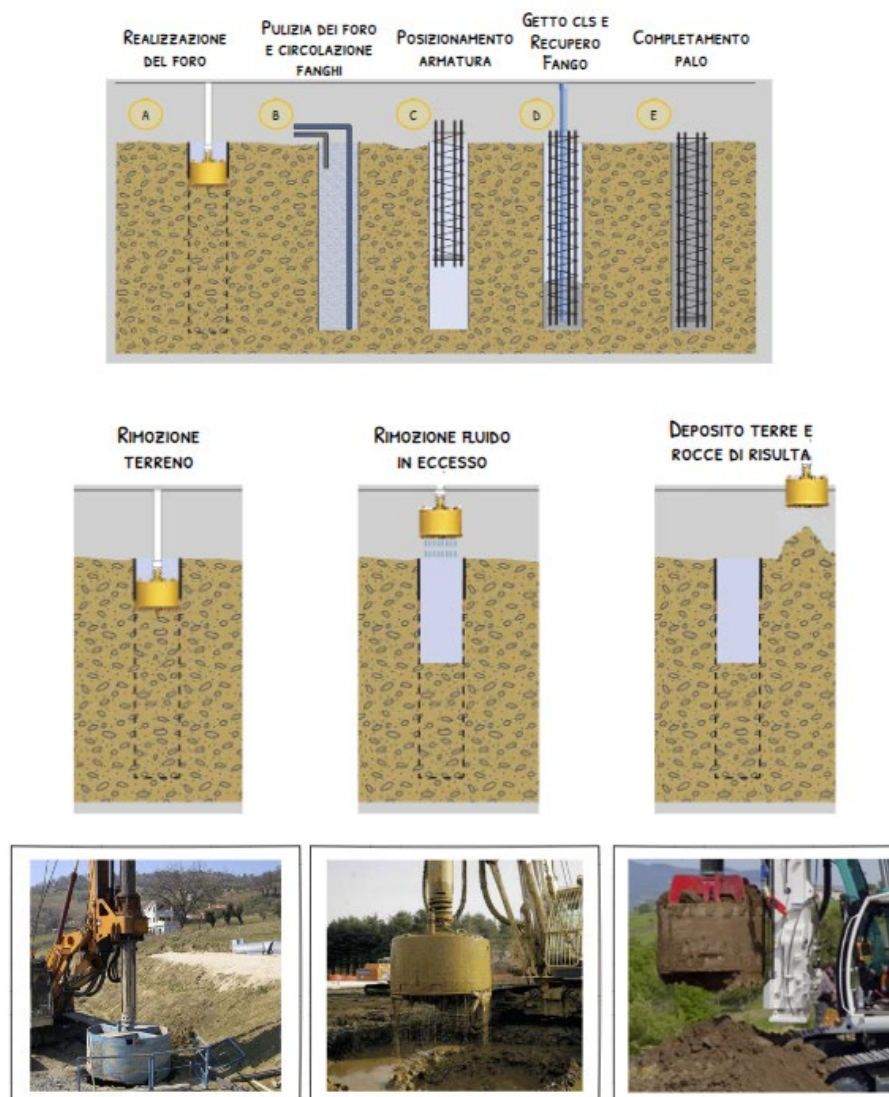


Figura 1. Schema semplificato della realizzazione di un palo.

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

Nella sottostante Figura 2, è sinteticamente rappresentata la sezione di un palo in costruzione con specifica attenzione alle terre e rocce da scavo, ovvero il terreno con tracce di fluido bentonitico. È importante sottolineare anche la differenza tra fluido bentonitico, inteso come acqua e bentonite, e fango bentonitico, inteso come fluido bentonitico e terreno di scavo.

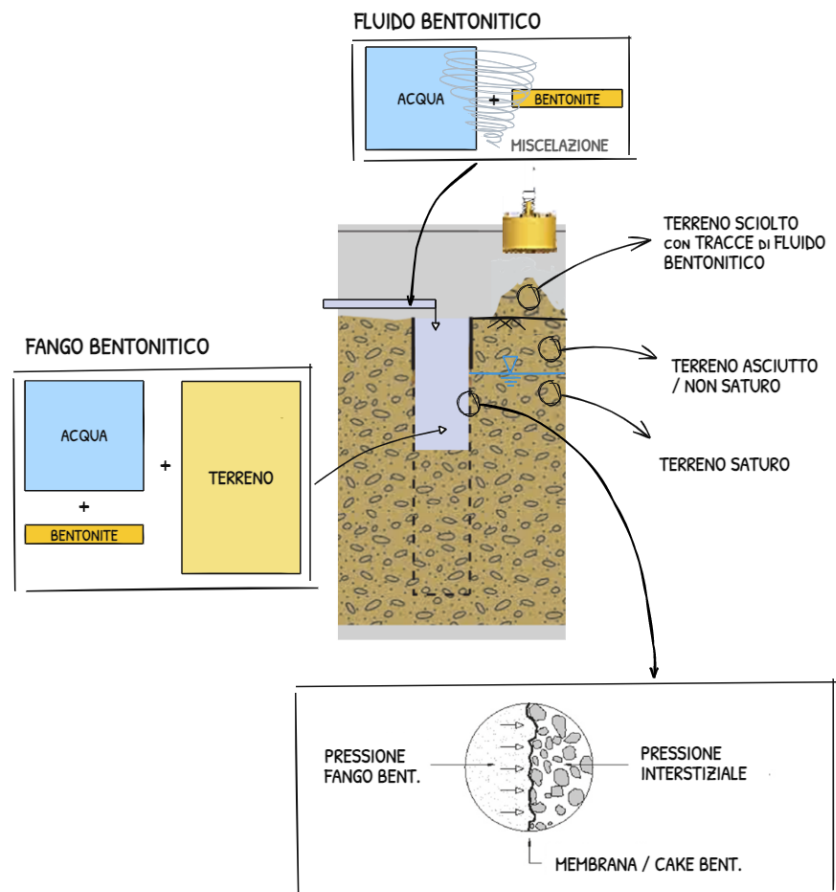


Figura 2. Sezione di un palo in costruzione con specifici riferimenti all'interazione tra fluido di perforazione e terre e rocce da scavo.

## 2 Attività sperimentale: materiali e metodi

Nei seguenti paragrafi sono descritti i passi e le metodologie seguite per lo sviluppo dell'attività sperimentale che ha compreso una prima parte di caratterizzazione dei terreni, lo studio delle proprietà reologiche dei fluidi bentonitici al fine di individuare il dosaggio ottimale per ciascuna combinazione terreno/bentonite e infine la preparazione e l'analisi chimica ed ecotossicologica dei campioni di terreno con tracce di bentonite.

## 2.1 Caratterizzazione dei terreni

Come anticipato, la prima fase di questo studio ha previsto la caratterizzazione dei terreni di categoria A2-4 e A6 pervenuti in laboratorio. Dal punto di vista geotecnico, sui terreni tal quali è stata eseguita l'analisi granulometrica, la misura del peso dell'unità di volume della parte solida e dei limiti di Atterberg dove possibile. Successivamente i terreni sono stati sottoposti a essiccazione in stufa a 105°C e a tritatura, in modo tale da poter eseguire una quartatura atta alla creazione di campioni il più possibile omogenei. Su tali campioni è stata rieseguita successivamente l'analisi granulometrica.

I terreni sono stati caratterizzati anche dal punto di vista chimico in termini di contenuto di carbonio organico totale (TOC), dei metalli, degli aromatici, degli IPA e degli idrocarburi (come da Tabella 1 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06), sia tal quali che a seguito di essiccazione, tritatura e quartatura.

Nei successivi paragrafi sono brevemente descritte le metodologie di analisi seguite per la caratterizzazione geotecnica.

### 2.1.1 Distribuzione granulometrica

Attraverso l'analisi granulometrica è possibile stabilire le percentuali in peso delle varie frazioni dimensionali delle particelle che compongono il campione. Le frazioni granulometriche si ottengono mediante l'uso di setacci standard che trattengono la parte grossolana del terreno (particelle con dimensioni > 0.075 mm) e con l'analisi per sedimentazione con areometro, secondo il metodo ASTM D 422 – 63 R02.

La procedura per setacciatura consiste nell'essiccamento in forno di un campione (approssimativamente di massa minima come da Tabella 1) che, successivamente, viene sottoposto ad una serie di vagli; i sopravagli vengono pesati indipendentemente e tali valori, riportati in percentuale rispetto alla totalità del campione, sono diagrammati in funzione alle dimensioni delle aperture dei vagli corrispondenti.

L'analisi per sedimentazione con areometro viene solitamente condotta su un campione che contiene per almeno il 10% particelle con diametro inferiore a 0.074 mm. La misura avviene all'interno di una vasca di sedimentazione a temperatura controllata e permette di determinare la distribuzione granulometrica sulla base della legge di Stokes attraverso l'utilizzo di un areometro, strumento in grado di misurare la variazione di densità all'interno della sospensione contenente il campione.

Tabella 1. Quantità minime di materiale da utilizzare per la vagliatura in funzione delle dimensioni massime delle particelle che lo compongono (ASTM D 422 – 63 R02).

nominal diameter of largest particles		approximative minimum mass of portion
in	mm	g
$\frac{3}{8}$	9.5	500

---

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

---

$\frac{3}{4}$	19.0	1000
1	25.4	2000
$1\frac{1}{2}$	38.0	3000
2	50.8	4000
3	76.2	5000

---

### 2.1.2 Limiti di Atterberg

I limiti di Atterberg di un terreno a grana fine indicano i valori del suo contenuto d'acqua che individuano un passaggio di stato fisico. Il passaggio dallo stato solido allo stato semisolido è individuato dal limite di ritiro  $w_s$ , la variazione dallo stato semisolido allo stato plastico è indicato dal limite plastico  $w_p$  ed infine il cambiamento dallo stato plastico allo stato liquido è determinato dal limite liquido  $w_L$ . Durante le attività sperimentali preliminari geotecniche sono stati determinati il limite plastico ed il limite liquido secondo le procedure ASTM D 4318 – 00.

Il limite plastico viene determinato formando manualmente dei bastoncini che al raggiungimento di 3.2 mm di spessore iniziano a fessurarsi e a perdere quindi il comportamento plastico; il valore è individuato dalla media di 3 determinazioni.

Il limite liquido si ottiene mediante l'utilizzo del cucchiaio di Casagrande ed indica il contenuto d'acqua in corrispondenza del quale il terreno possiede una resistenza al taglio così piccola che un solco, praticato in un campione rimaneggiato, si richiude quando il cucchiaio che lo contiene è sollecitato con dei colpi, secondo una procedura standardizzata.

Noti, dunque, il limite plastico ed il limite liquido di un materiale è possibile calcolare degli indici rappresentativi della consistenza del materiale, tra cui l'indice di plasticità  $IP$  definito dall'espressione (1):

$$IP = w_L - w_P \quad (1)$$

e l'indice di liquidità  $I_L$ , espresso dalla relazione (2):

$$I_L = \frac{w - w_P}{IP} \quad (2)$$

in cui  $w$  rappresenta il contenuto d'acqua naturale del campione.

### 2.1.3 Peso dell'unità di volume della parte solida

Il peso dell'unità di volume della parte solida  $\gamma_s$  è dato dalla relazione (3):

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3)$$

in cui  $W_s$  e  $V_s$  rappresentano rispettivamente il peso ed il volume della fase solida del terreno.

La misura di tale parametro avviene mediante l'utilizzo di un picnometro ad elio.

## 2.2 Caratterizzazione dei fluidi bentonitici

La selezione delle bentoniti da utilizzare per la sperimentazione è stata fatta a partire dalla precedente fase dello studio, in cui erano state selezionate le bentoniti esposte nella sottostante Tabella 2.

Tabella 2. Bentoniti utilizzate per la precedente fase sperimentale.

produttore	Prodotto	tipologia bentonite
Imerys	CE/P	naturale
	PAL 1	estesa con polimero naturale/semisintetico
	PAL 1 TIPO 3	estesa con polimero sintetico
Laviosa	BENSOTUND 120 E	naturale
	BENTOSUND 120 E 45	estesa con polimero naturale/semisintetico
	BENTOSUND 120 E 40 S	estesa con polimero naturale/semisintetico
	BENTOSUND 120 E SS	estesa con polimero sintetico
Sipag Bisalta	BENTOGEL CS	naturale
	BENTOGEL NX	estesa con polimero naturale/semisintetico
	BENTOGEL SS2	estesa con polimero naturale/semisintetico
	BENTOGEL HP3	estesa con polimero sintetico

Sulla base di questi prodotti, sono stati scelte per effettuare il presente studio due bentoniti per ciascun produttore: una naturale e una estesa sintetica.

In Tabella 3 sono dunque riportati i prodotti utilizzati per la presente sperimentazione.

Tabella 3. Bentoniti utilizzate per la presente fase sperimentale.

produttore	prodotto	tipologia bentonite
Imerys	CE/P	naturale
	PAL 1 TIPO 3	estesa con polimero sintetico
Laviosa	BENSOTUND 120 E	naturale
	BENTOSUNT 120 E SS	estesa con polimero sintetico
Sipag Bisalta	BENTOGEL CS	naturale
	BENTOGEL HP3	estesa con polimero sintetico

Per prima cosa le bentoniti appena descritte sono state caratterizzate dal punto di vista reologico, preparando fluidi a diverse concentrazioni di bentonite, in termini di viscosità Marsh (*MV*), fluid loss, spessore del filtercake, densità e pH. Tale caratterizzazione ha avuto lo scopo di individuare il dosaggio ottimale per ciascun terreno e per la specifica applicazione ingegneristica (scavo di pali e diaframmi), valutato considerando che un fluido bentonitico fresco al dosaggio ottimale ha caratteristiche fisiche e reologiche che ricadono nei range definiti dalla Tabella 4 (definita sulla base di evidenze di letteratura, normative e buone pratiche).



Tabella 4. Requisiti fisici/reologici del fango fresco.

Parametro	U.M.	tipologia di terreno	
		A2-4	A6
<i>MV</i>	s	50-65	35-50
<i>Densità</i>	g/cm <sup>3</sup>	1.02-1.20	1.02-1.20
<i>Filtercake</i>	mm	2-6	1-5
<i>fluid loss</i>	mL	< 30	< 30
<i>pH</i>	-	7-10	7-10

I fluidi bentonitici, preparati al dosaggio ottimale, sono stati caratterizzati anche dal punto di vista chimico in termini di contenuto di carbonio organico totale (TOC), dei metalli, degli aromatici, degli IPA e degli idrocarburi (come da Tabella 1 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06).

Nei seguenti paragrafi sono sinteticamente descritte le modalità di esecuzione delle prove.

### 2.2.1 Viscosità Marsh

I valori di viscosità Marsh sono stati determinati mediante l'utilizzo del cono di Marsh (Figura 3) sul fango fresco appena preparato e dopo 24 ore di posa. La prova è condotta in accordo alle UNI 11152-13 e consiste nel misurare il tempo di scarico dall'orifizio di un cono di dimensioni standard.



Figura 3. Cono di Marsh.

### 2.2.2 Densità

La densità dei fluidi bentonitici viene misurata con una mud balance (Figura 4). La bilancia è costituita da un supporto, un recipiente con coperchio forato al centro (per lo scarico del troppo pieno), un cursore scorrevole su un'asta graduata e impernata al basamento per il bilanciamento. Riempito di fluido, il contenitore viene chiuso con il coperchio forato; dopo il completo riempimento, senza far fuoriuscire il fango, si pulisce l'esterno del coperchio e si sposta il cursore sull'asta, finché questa assume una posizione orizzontale individuata dalla bolla della livella montata sull'asta. In tale posizione si legge direttamente sull'asta graduata la densità del fluido racchiuso nel contenitore in kg/m<sup>3</sup>, g/cm<sup>3</sup> o lb/gal.



Figura 4. Mud balance.

### 2.2.3 Fluid loss e spessore del filtercake

I valori del fluid loss sono stati determinati per ciascuna miscela secondo lo standard API 13A mediante l'utilizzo di una filtropressa (Figura 5). La prova consiste nel misurare il volume di liquido che si raccoglie in uscita dalla filtropressa dopo aver sottoposto il campione ad una pressione di 7 bar per 22.5 minuti. Lo spessore del filtercake, ottenuto al termine della prova, viene misurato con un calibro. Tali misure sono state effettuate sia sul fluido fresco che dopo 24 ore di posa.



Figura 5. Filtropressa da laboratorio.

## 2.3 Studio sulle terre e rocce da scavo contenenti tracce di fluido bentonitico

Una volta individuato il fluido bentonitico ottimale per ciascuna combinazione bentonite-terreno, si è proceduto alla preparazione dei campioni di terreno con tracce di bentonite.

In primo luogo i terreni, sottoposti a essiccamento, tritatura e quartatura, sono stati riportati a un contenuto d'acqua naturale stimato pari a 10% per il terreno A2-4 e 20% per il terreno A6, in seguito è stato creato un fango miscelando ciascun fluido bentonitico con il terreno A2-4 e A6 in proporzioni tali da raggiungere una densità pari a 1.25 g/cm<sup>3</sup>. Successivamente si è proceduto alla vagliatura dei vari fanghi secondo tre diverse modalità:

- modalità S1: il fango, tramite un setaccio con luce 0.25 mm, viene posto su una tavola a scosse a cui vengono imposti n colpi (con 150 < n < 200);
- modalità S2: il fango, tramite un setaccio con luce 0.25 mm, viene posto su una tavola a scosse a cui vengono imposti n/2 colpi;

---

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

---

- modalità S3: il fango, tramite un setaccio con luce 0.5 mm, viene lasciato separarsi per gravità senza imporre alcun movimento.

I sopravvivi ottenuti dalle tre modalità appena descritte costituiscono i campioni di terreno con tracce di fluido bentonitico a tre diversi gradi di separazione fluido-terreno, dal più marcato (S1) al meno marcato (S3). È importante sottolineare che, essendo le finalità dello studio legate alla valutazione delle eventuali criticità legate alla presenza residua di bentonite all'interno delle terre e rocce da scavo, le modalità di separazione sono state scelte in modo tale da ottenere, già con la tipologia S1, campioni con quantitativi di fluido bentonitico (e quindi di bentonite) superiori ai valori verosimilmente attesi nelle terre e rocce da scavo derivanti dalle attività reali di scavo di pali e diaframmi.

Tali campioni sono stati caratterizzati dal punto di vista chimico in termini di contenuto di carbonio organico totale (TOC), dei metalli, degli aromatici, degli IPA e degli idrocarburi (come da Tabella 1 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06).

## **2.4 Studio di carattere ecotossicologico**

A completamento delle analisi appena descritte sono stati eseguiti studi di carattere ecotossicologico sui campioni di terreno tal quale e con tracce di bentonite. In particolar modo sono stati creati degli appositi campioni a partire dal terreno tal quale (privato della frazione granulometrica superiore ai 4 mm al fine di renderlo adatto all'esecuzione delle prove di carattere chimico/ecotox e, allo stesso tempo, aumentare cautelativamente la superficie specifica alla quale il fluido bentonitico aderisce) e con tracce di fluido bentonitico. Questa attività sempre al fine di mettersi nelle condizioni ambientalmente più complesse, è stato eseguito utilizzando, tra quelle selezionate, le bentoniti estese.

Sono stati dunque valutati gli effetti ecotossicologici su *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* e *Heterocypris incongruens*. I primi due organismi, appartenenti al comparto acquatico, sono stati selezionati per la valutazione della tossicità dell'eluato acquoso, ottenuto dai test di cessione del terreno. Il test con *Heterocypris incongruens*, organismo appartenente al comparto terrestre, è stato effettuato sul campione tal quale per la valutazione degli effetti di tossicità dovuti al contatto diretto con il terreno/fluido bentonitico.

Nei seguenti paragrafi sono brevemente descritte le metodologie di prova seguite per la determinazione degli effetti ecotossicologici.

### **2.4.1 Saggio di tossicità acuta con *Vibrio fischeri***

Il saggio di tossicità acuta con *Vibrio fischeri*, un batterio gram negativo marino bioluminescente, permette di valutare la tossicità acuta di campioni utilizzando come risposta l'inibizione della sua bioluminescenza naturalmente emessa secondo il metodo ISO 11348-3:2007 (Water quality — Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (luminescent bacteria test) – Part 3: Method using freeze-dried bacteria). L'inibizione, a opera di una

sostanza tossica, di uno dei numerosi enzimi direttamente o indirettamente coinvolti nel processo di bioluminescenza, conduce ad una riduzione dell'emissione luminosa. La luminescenza di *Vibrio fischeri* varia di intensità proporzionalmente alla tossicità del campione.

#### 2.4.2 Principio del metodo di tossicità acuta con *Daphnia Magna*

Il test OECD 202 (*Daphnia* sp. Acute Immobilisation Test, test acuto di immobilizzazione di *Daphnia* sp.) prevede l'utilizzo del crostaceo cladocero della specie *Daphnia magna* Straus (Figura 6). Per lo svolgimento di tutti i test si utilizzano "efippi" della MicroBiotest che garantisce per la qualità degli organismi forniti, per le condizioni di allevamento e produzione degli efippi, poiché aderisce strettamente ai protocolli standardizzati prescritti dalla norma. Gli efippi sono forniti in un kit insieme alle soluzioni concentrate necessarie per il mezzo di crescita degli organismi e di un sistema multi-pozzetto comprendente quattro repliche, in accordo con le normative standard internazionali (OECD, ISO, USEPA, ASTM). Il saggio con *Daphnia magna* risulta essere molto sensibile soprattutto all'inquinamento da metalli pesanti (piombo, cadmio, zinco, rame ecc.). I neonati di meno di 24h vengono immessi nel campione da analizzare e dopo un periodo di tempo prestabilito (24h) si osserva la percentuale di individui sopravvissuti. I risultati possono essere espressi o come percentuale di individui morti/immobilizzati o come valore di EC50 cioè come concentrazione della sostanza tossica che determina la morte/immobilizzazione del 50% degli individui impiegati nel test.

#### Modalità di esecuzione del test con *Daphnia magna*

Prima dell'inizio del saggio è prevista l'incubazione degli efippi per circa 80 ore a  $21\pm 2^\circ\text{C}$  e con illuminazione di 6000 lux, al termine di tale periodo si ottengono organismi giovani detti "dafnidi" da utilizzare nell'allestimento delle prove di tossicità. In ogni pozzetto, contenente 10 mL di soluzione, vengono trasferiti mediante micropipetta Pasteur e l'utilizzo di un microscopio stereoscopico, cinque neonati di *Daphnia*. Il sistema multi-pozzetto è quindi posto in frigo termostato e incubato a  $21\pm 2^\circ\text{C}$  al buio. L'esecuzione del saggio prevede l'impiego di 20 dafnidi con età inferiore alle 24 ore, esposti in quattro repliche a ciascun campione di elutriato (ottenuto tramite centrifugazione), per un periodo di 24 ore. I risultati (in termini di immobilità degli organismi) registrati a 24 ore vengono confrontati con il controllo negativo (mezzo di crescita per l'organismo) e con un controllo positivo, preparato con il tossico di riferimento (bicromato di potassio) a conferma dell'idoneità del mezzo di crescita e degli organismi utilizzati. Affinché il test sia considerato valido, devono essere rispettati i seguenti criteri di validità:

- nel controllo negativo, non più del 10% degli individui devono essere immobilizzati;
- la concentrazione di ossigeno disciolto alla fine del test dovrebbe essere  $> 3\text{ mg/L}$  nel controllo e nei pozzetti del test.

Poiché non esiste in letteratura una scala di tossicità riconosciuta e standardizzata per *Daphnia magna*, al fine di fornire un giudizio di tossicità per tale test, i risultati ottenuti vengono confrontati

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

con le soglie proposte nella scala di tossicità per tale saggio dai Laboratori ARPAL, riportata nel Manuale e Linee Guida ISPRA 67/2011.



Figura 6. *Daphnia Magna*.

### 2.4.3 Test di tossicità con *Heterocypris incongruens*

Il saggio con *Heterocypris incongruens* (Figura 7) prevede l'esposizione diretta degli organismi con la matrice di riferimento (costituita da sedimento di acqua dolce) e con i campioni da analizzare (sedimenti, fanghi e suoli) per 6 giorni. Il saggio viene condotto seguendo il metodo standardizzato ISO 14371:2012 (Water quality - Determination of fresh water sediment toxicity to *Heterocypris incongruens* (Crustacea, Ostracoda).

#### Modalità di esecuzione del test con *Heterocypris incongruens*

Lo studio della tossicità dei terreni tramite il micro-crostaceo bivalve *Heterocypris incongruens*, prevede la realizzazione di un test subcronico di tipo statico di durata 6 giorni utilizzando lo stadio dormiente dell'organismo.

Si valuta la percentuale di mortalità (effetto acuto) e l'inibizione della crescita (effetto subcronico) rispetto ai risultati ottenuti con la matrice di riferimento. Se, al termine dell'esposizione, nella matrice di riferimento la percentuale di mortalità è inferiore al 20% e l'incremento di crescita medio è di almeno 1.5 volte rispetto alla lunghezza iniziale, si può affermare che i composti presenti nelle miscele condizionanti non esplicano alcun effetto di tossicità acuta. L'effetto subcronico non viene quantificato nel caso in cui la percentuale di mortalità nei campioni in analisi sia superiore al 30%.



Figura 7. *Heterocypris incongruens*.



### 3 Risultati

#### 3.1 Caratterizzazione dei terreni

##### 3.1.1 Caratterizzazione geotecnica

Nella seguente Tabella 5 sono riportati i risultati della caratterizzazione geotecnica ottenuti in termini di peso dell'unità di volume della parte solida e limiti di Atterberg per entrambi i terreni scelti per la sperimentazione.

Tabella 5. Caratterizzazione geotecnica dei terreni.

terreno	$\rho_s$	$w_L$	$w_P$	IP
(-)	( $g/cm^3$ )	(%)	(%)	(-)
A2-4	2.7411	n.d.	n.d.	n.d.
A6	2.6782	38.18	18.81	19.37

In Figura 8 sono illustrate le curve granulometriche dei due terreni, sia tal quali (linea continua) che dopo essere stati essiccati in stufa e tritati (linea tratteggiata).

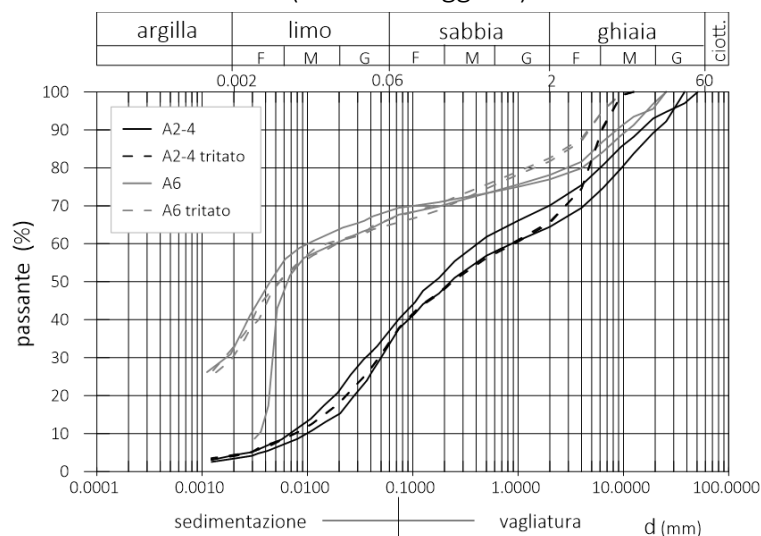


Figura 8. Curve granulometriche dei terreni.

È possibile notare come il terreno A2-4 presenti una percentuale di argilla inferiore al 5%, motivo per cui non è stato possibile valutare su tale terreno né il limite plastico né il limite liquido.

##### 3.1.2 Caratterizzazione chimica

Nella seguente Tabella 6 sono esposti i risultati della caratterizzazione chimica in termini di contenuto di carbonio organico totale (TOC), dei metalli, degli aromatici, degli IPA e degli idrocarburi (come da Tabella 1 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06), sia tal quali che a seguito

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

di essiccazione, tritatura e quartatura. I risultati sono confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione proposte dalla norma sopracitata.

Tabella 6. Risultati dell'analisi chimica eseguita sui due campioni di terreno.

categoria	parametro/analita	u.m.	limite A*	limite B**	A2-4	A2-4 tritato	A6	A6 tritato
	TOC	%	-	-	0.253	<u>0.1</u>	0.313	0.185
	residuo a 105 °C	%	-	-	92.2	99.5	81.6	98.5
	sottovaglio 2mm	%	-	-	53.3	38.5	65.7	72
	Scheletro	g/kg	-	-	467	615	343	285
	Umidità	%	-	-	7.8	0.5	18.4	1.5
<i>metalli</i>	Antimonio	mg/kg	10	30	0.259	0.0953	0.26	0.33
	arsenico	mg/kg	20	50	2.74	1.85	4.7	5.9
	Berillio	mg/kg	2	10	0.102	0.0708	0.332	0.428
	Cadmio	mg/kg	2	15	0.0784	0.0598	0.178	0.217
	Cobalto	mg/kg	20	250	2.38	1.55	5.8	7.6
	cromo totale	mg/kg	150	800	6.5	5	22.3	28.6
	cromo VI	mg/kg	2	15	<u>0.14</u>	<u>0.19</u>	<u>0.14</u>	<u>0.15</u>
	Mercurio	mg/kg	1	5	0.0123	0.0278	0.0196	0.0274
	Nichel	mg/kg	120	500	7.9	5.6	23.9	29.7
	Piombo	mg/kg	100	1000	3.28	2.46	12.2	15.4
	Rame	mg/kg	120	600	3.4	10.3	11.6	16.2
	Selenio	mg/kg	3	15	0.43	0.323	0.73	0.99
	Stagno	mg/kg	-	-	0.188	0.222	0.51	0.75
	Tallio	mg/kg	1	10	0.0501	0.0347	0.104	0.14
	Vanadio	mg/kg	90	250	10.6	6.7	27.8	35
Zinco	mg/kg	150	1500	19.2	18.3	42	61	
<i>aromatici</i>	Benzene	mg/kg	0.1	2	<u>0.0003</u>	<u>0.0003</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0003</u>
	Etilbenzene	mg/kg	0.5	50	<u>0.0003</u>	<u>0.0003</u>	<u>0.0003</u>	<u>0.0020</u>
	styrene	mg/kg	0.5	50	<u>0.0004</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0004</u>
	Toluene	mg/kg	0.5	50	<u>0.0003</u>	<u>0.0003</u>	<u>0.0003</u>	<u>0.0011</u>
	xylene	mg/kg	0.5	50	<u>0.0008</u>	<u>0.0008</u>	<u>0.0010</u>	<u>0.0008</u>
	somma organici aromatici	mg/kg	1	100	<u>0.0008</u>	<u>0.0008</u>	<u>0.0010</u>	0.0031
<i>IPA</i>	benzo(a)antracene	mg/kg	0.5	10	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0006</u>	0.0089
	benzo(a)pirene	mg/kg	0.1	10	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	0.0066	0.0117
	benzo(b)fluorantene	mg/kg	0.5	10	<u>0.0006</u>	<u>0.0004</u>	0.0041	0.0099
	benzo(k)fluorantene	mg/kg	0.5	10	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0007</u>	0.0052
	benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	0.1	10	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	0.0162	0.0192
	Crisene	mg/kg	5	50	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0006</u>	0.0116
	dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	0.1	10	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0006</u>	<u>0.0006</u>
	dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	0.1	10	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0006</u>	<u>0.0007</u>
	dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	0.1	10	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0006</u>	<u>0.0007</u>

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

	dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	0.1	10	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0007</u>	<u>0.0007</u>
	dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	0.1	10	<u>0.0006</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0007</u>	0.0042
	indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	0.1	5	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	0.0086	0.0118
	Pirene	mg/kg	5	50	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	0.0039	0.0138
	sommatoria IPA	mg/kg	10	500	<u>0.0006</u>	<u>0.0004</u>	0.0269	0.0670
<i>idrocarburi</i>	idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	10	250	<u>0.032</u>	<u>0.032</u>	<u>0.038</u>	<u>0.032</u>
	idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	50	750	5.31	6.16	<b>58</b>	<b>78</b>

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

È possibile notare come gli unici valori che superano i limiti della normativa sono gli idrocarburi pesanti, presenti nel campione A6, limitatamente alla colonna A, la quale individua il limite per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Tali superamenti sono stati riscontrati sia sul campione di terreno naturale sia sul campione di terreno contenente tracce di bentonite. Questo porta a dire che, in merito, si tratta di un parametro/analita evidentemente già presente nel terreno e che non è ragionevole associare alla presenza di bentonite alcun effetto in termini di presenza di idrocarburi C>12.

## 3.2 Caratterizzazione dei fluidi bentonitici

### 3.2.1 Individuazione del dosaggio ottimale

Sono di seguito rappresentati i risultati, ottenuti sui fluidi realizzati a diverse concentrazioni di ciascuna bentonite, in termini di viscosità Marsh, fluid loss e spessore di filtercake misurati sul fluido fresco (*fresh* – cerchio nei grafici) e sul fluido posto a riposo per 24 ore (*24h* – croce nei grafici). È stato scelto di riportare esclusivamente questi tre parametri in quanto i valori di densità e pH, avendo fornito risultati nei range indicati dalla Tabella 4 per tutti i fluidi testati, non si sono ritenuti discriminanti ai fini della scelta del dosaggio ottimale.

In Figura 9 e Figura 10 sono riportati rispettivamente i parametri ottenuti per i fluidi realizzati a diverse concentrazioni della bentonite Imerys CE/P e Imerys PAL1 TIPO3.

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

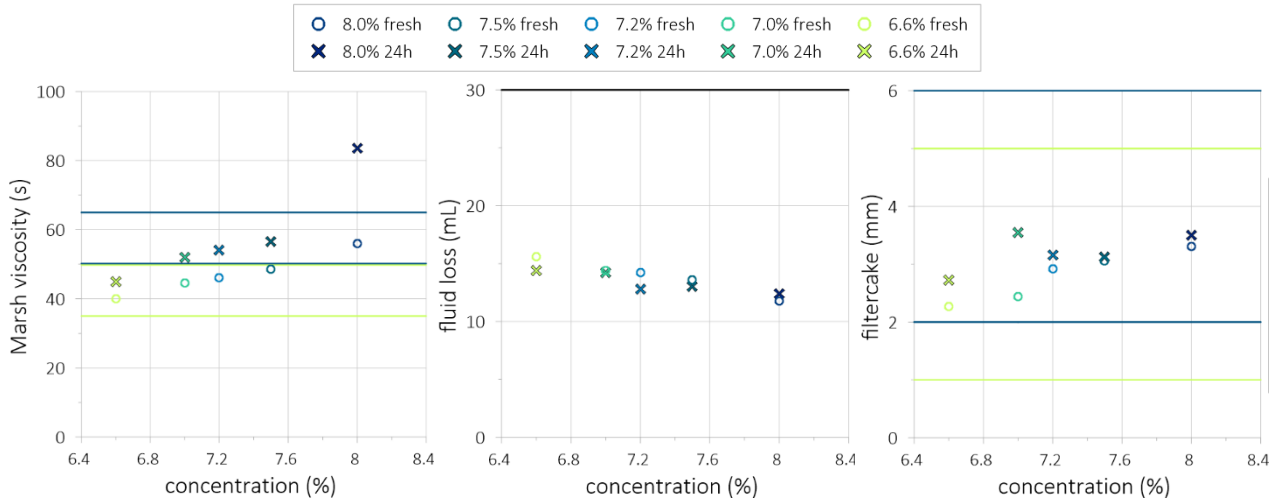


Figura 9. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Imerys CE/P.

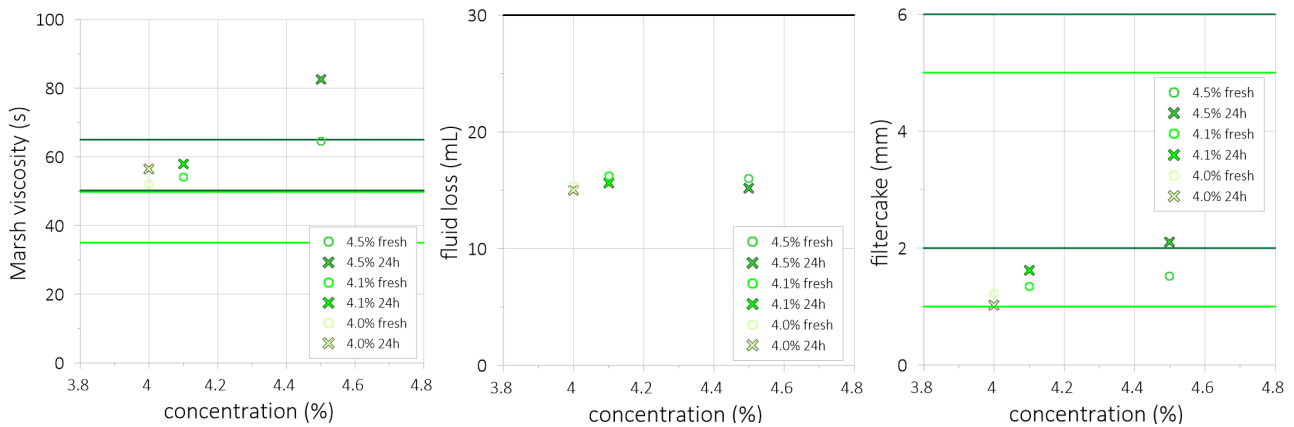


Figura 10. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Imerys PAL 1 TIPO 3.

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

In Figura 11 e Figura 12 sono riportati rispettivamente i parametri ottenuti per i fluidi realizzati a diverse concentrazioni della bentonite Laviosa BENTOSUND 120 E e Laviosa BENTOSUND 120 SS.

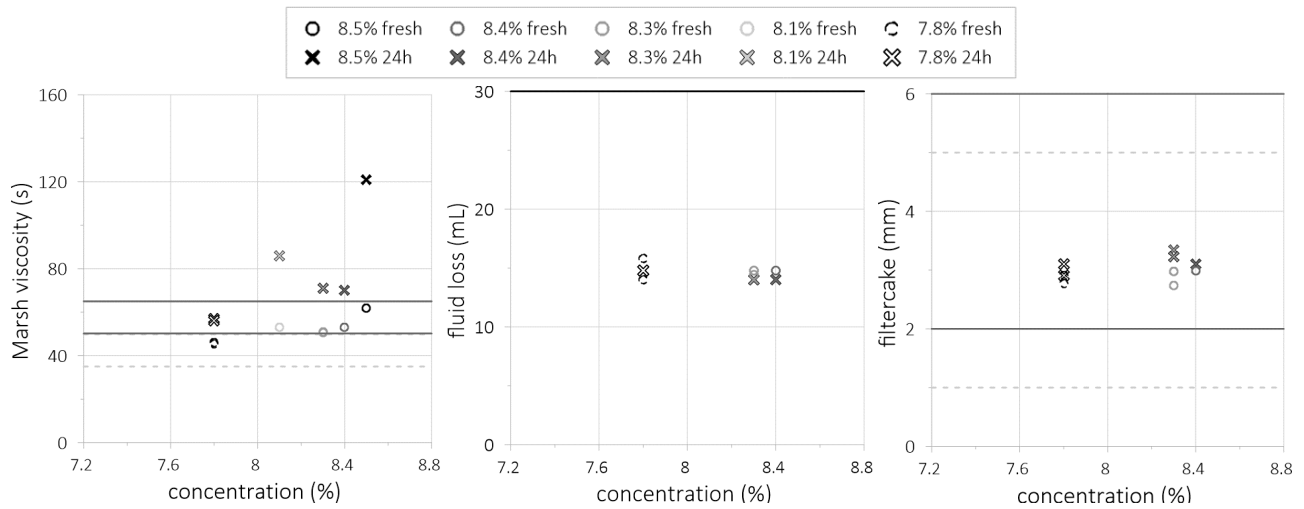


Figura 11. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Laviosa BENTOSUND 120 E.

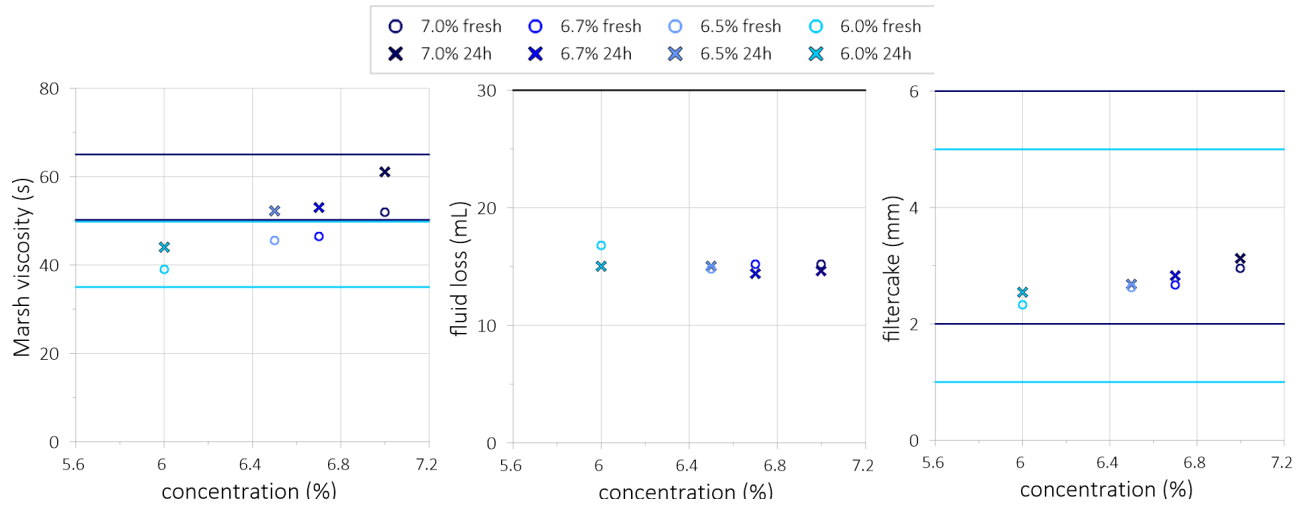


Figura 12. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Laviosa BENTOSUND 120 SS.



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

In Figura 13 e Figura 14 sono riportati rispettivamente i parametri ottenuti per i fluidi realizzati a diverse concentrazioni della bentonite Sibag Bisalta BENTOGEL CS e Sipag Bisalta BENTOGEL HP3.

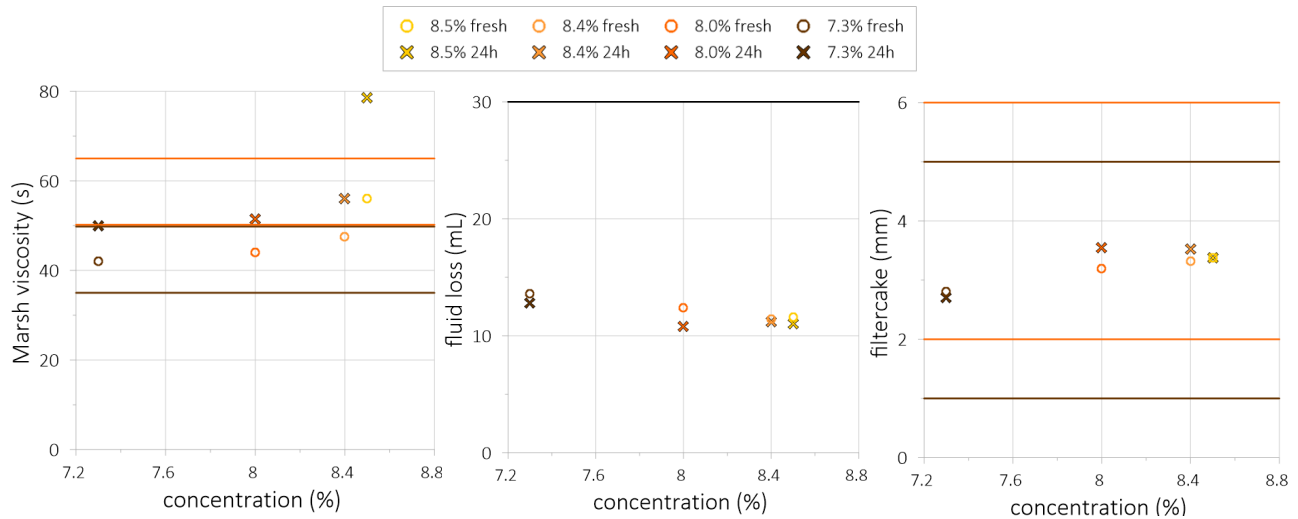


Figura 13. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL CS.

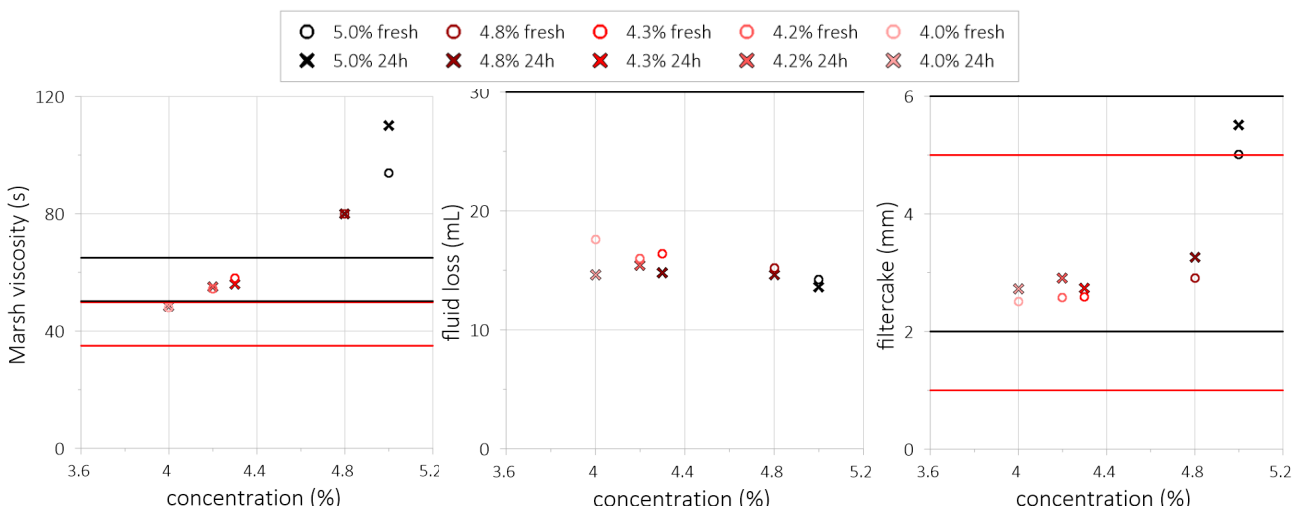


Figura 14. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL HP3.

È possibile osservare come la totalità delle misure di fluid loss ricadano all'interno del range fissato dalla Tabella 4. Per quanto riguarda lo spessore del filtercake, invece, la bentonite Imerys PAL 1 TIPO 3 sul fluido fresco presenta per tutti i dosaggi testati un valore inferiore a 2 mm. Sebbene il limite inferiore individuato per tale parametro in riferimento al terreno A2-4 sia proprio 2 mm, è possibile notare invece come per la concentrazione più alta testata (4.5%) si ottengono valori di viscosità Marsh prossimi al limite superiore in riferimento allo stesso terreno; questo ha portato a scegliere comunque la concentrazione più alta testata come quella ottimale, essendo la più alta che ha fornito valori di viscosità Marsh entro i limiti stabiliti.

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

Nella sottostante Tabella 7 sono esposte le concentrazioni di ciascuna bentonite che forniscono i dosaggi ottimali in riferimento ai due terreni (A2-4 e A6), individuate sulla base dei risultati appena discussi.

Tabella 7. Dosaggi ottimali in riferimento alle due tipologie di terreno (A2-4 e A6) per ciascuna bentonite.

produttore	prodotto	tipologia bentonite	dosaggio ottimale per tipologia di terreno (%)	
			A2-4	A6
(-)	(-)	(-)		
Imerys	CE/P	naturale	8.0	6.6
Imerys	PAL 1 TIPO 3	estesa	4.5	4.0
Laviosa	BENTOSUND 120 E	naturale	8.4	7.8
Laviosa	BENTOSUND 120 SS	estesa	7.0	6.0
Sipag Bisalta	BENTOGEL CS	naturale	8.5	7.3
Sipag Bisalta	BENTOGEL HP3	estesa	4.3	4.0

Per semplicità di trattazione, ciascun fluido bentonitico preparato alla concentrazione ottimale come da Tabella 7 è stato rinominato secondo la successiva Tabella 8 in funzione della tipologia di terreno con cui verrà messo in contatto.

Tabella 8. Codici utilizzati per nominare i fluidi alla concentrazione ottimale.

produttore	prodotto	tipologia terreno da utilizzare	dosaggio ottimale	codice
Imerys	CE/P	A2-4	8.0	I CE/P A2-4
		A6	6.6	I CE/P A6
	PAL 1 TIPO 3	A2-4	4.5	I PAL 1 TIPO 3 A2-4
		A6	4.0	I PAL 1 TIPO 3 A6
Laviosa	BENTOSUND 120 E	A2-4	8.4	L 120 E A2-4
		A6	7.8	L 120 E A6
	BENTOSUND 120 SS	A2-4	7.0	L 120 SS A2-4
		A6	6.0	L 120 SS A6
Sipag Bisalta	BENTOGEL CS	A2-4	8.5	SB CS A2-4
		A6	7.3	SB CS A6
	BENTOGEL HP3	A2-4	4.3	SB HP3 A2-4
		A6	4.0	SB HP3 A6

### 3.2.2 Risultati chimici

Sono di seguito riportati i risultati ottenuti dall'analisi chimica dei fluidi preparati alle concentrazioni ottimali come riportato nel 3.2.1. In Tabella 9 sono mostrati i risultati ottenuti sui fluidi preparati con le bentoniti di Imerys, in Tabella 10 di Laviosa e in Tabella 11 di Sipag Bisalta.

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

Tale analisi è stata effettuata al fine di individuare gli analiti su cui porre particolare attenzione nella fase successiva dello studio, in cui i fluidi sono poi stati posti a contatto con i terreni e al fine di valutarne la qualifica complessiva come sottoprodotto.

Tabella 9. Risultati chimici sui fluidi bentonitici preparati con bentoniti Imerys.

parametro/analita	u.m.	I CE/P A2-4	I CE/P A6	I PAL 1 TIPO 3 A2-4	I PAL 1 TIPO 3 A6	
TOC	%	0.64	0.51	0.15	0.14	
sottovaglio 2mm	%	100	100	100	100	
Scheletro	g/kg	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	
Umidità	%	92.7	94.0	94.9	96.0	
<i>metalli</i>	Antimonio	mg/kg	3.00	2.14	1.17	1.23
	arsenico	mg/kg	16.40	17.60	10.30	8.50
	Berillio	mg/kg	1.62	1.29	1.28	1.05
	Cadmio	mg/kg	0.09	0.08	0.12	0.10
	Cobalto	mg/kg	15.50	12.00	9.30	7.60
	cromo totale	mg/kg	11.90	7.45	10.00	6.30
	cromo VI	mg/kg	<u>0.14</u>	<u>0.17</u>	<u>0.19</u>	<u>0.19</u>
	mercurio	mg/kg	0.36	0.27	0.39	0.33
	nicel	mg/kg	12.00	9.25	9.10	6.50
	piombo	mg/kg	15.70	10.15	8.90	7.00
	rame	mg/kg	24.70	19.35	18.00	15.20
	selenio	mg/kg	2.40	2.19	2.35	1.61
	stagno	mg/kg	0.74	0.50	0.45	0.33
	<b>tallio</b>	<b>mg/kg</b>	<b>1.92</b>	<b>1.52</b>	<b>0.85</b>	<b>0.89</b>
	vanadio	mg/kg	56.00	31.75	32.30	21.60
zinco	mg/kg	35.00	23.45	34.00	27.80	
<i>aromatici</i>	benzene	mg/kg	<u>0.0046</u>	<u>0.0313</u>	<u>0.0065</u>	<u>0.0085</u>
	etilbenzene	mg/kg	<u>0.0038</u>	<u>0.0258</u>	<u>0.0054</u>	<u>0.0070</u>
	stirene	mg/kg	<u>0.0047</u>	<u>0.0318</u>	<u>0.0066</u>	<u>0.0086</u>
	toluene	mg/kg	<u>0.0038</u>	<u>0.0258</u>	<u>0.0054</u>	<u>0.0070</u>
	xilene	mg/kg	<u>0.0110</u>	<u>0.0765</u>	<u>0.0160</u>	<u>0.0200</u>
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.0110</u>	<u>0.0765</u>	<u>0.0160</u>	<u>0.0200</u>	
<i>IPA</i>	benzo(a)antracene	mg/kg	<u>0.0045</u>	<u>0.0029</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0009</u>
	benzo(a)pirene	mg/kg	<u>0.0024</u>	<u>0.0018</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0009</u>
	benzo(b)fluorantene	mg/kg	<u>0.0026</u>	<u>0.0020</u>	<u>0.0010</u>	<u>0.0010</u>
	benzo(k)fluorantene	mg/kg	<u>0.0020</u>	<u>0.0017</u>	<u>0.0010</u>	<u>0.0010</u>
	benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	<u>0.0028</u>	<u>0.0020</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0009</u>
	crisene	mg/kg	<u>0.0040</u>	<u>0.0027</u>	<u>0.0010</u>	<u>0.0010</u>
	dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.0035</u>	<u>0.0025</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0009</u>
	dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.0029</u>	<u>0.0022</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0009</u>

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

	dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.0038</u>	<u>0.0027</u>	<u>0.0010</u>	<u>0.0010</u>
	dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.0042</u>	<u>0.0030</u>	<u>0.0010</u>	<u>0.0010</u>
	dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	<u>0.0024</u>	<u>0.0019</u>	<u>0.0011</u>	<u>0.0011</u>
	indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	<u>0.0026</u>	<u>0.0021</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0009</u>
	pirene	mg/kg	<u>0.0041</u>	<u>0.0027</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0009</u>
	sommatoria IPA	mg/kg	<u>0.0045</u>	<u>0.0032</u>	<u>0.0010</u>	<u>0.0010</u>
<i>idrocarburi</i>	idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.43</u>	<u>2.91</u>	<u>0.61</u>	<u>0.80</u>
	idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	21.5	15.3	33.0	27.0

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Tabella 10. Risultati chimici sui fluidi bentonitici preparati con bentoniti Laviosa.

	parametro/analita	u.m.	L 120 E A2-4	L 120 E A6	L 120 SS A2-4	L 120 SS A6
	TOC	%	1.45	2.29	3.08	1.74
	sottovaglio 2mm	%	100	100	100	100
	scheletro	g/kg	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
	umidità	%	92.1	92.6	93.8	96.1
<i>metalli</i>	antimonio	mg/kg	1.31	0.77	1.18	1.16
	arsenico	mg/kg	3.02	3.04	3.90	3.80
	berillio	mg/kg	0.98	0.89	0.97	0.94
	cadmio	mg/kg	0.34	0.32	0.22	0.24
	<b>cobalto</b>	<b>mg/kg</b>	<b>18.10</b>	<b>26.90</b>	<b>19.80</b>	<b>17.70</b>
	cromo totale	mg/kg	22.80	29.40	14.30	20.60
	cromo VI	mg/kg	<u>0.19</u>	<u>0.19</u>	<u>0.19</u>	<u>0.19</u>
	mercurio	mg/kg	0.10	0.11	0.10	0.11
	nicel	mg/kg	23.05	26.10	18.80	24.40
	piombo	mg/kg	19.20	18.20	17.30	18.50
	rame	mg/kg	75.50	79.00	62.00	71.00
	selenio	mg/kg	2.27	2.13	2.47	2.58
	stagno	mg/kg	2.79	2.86	1.76	1.96
	tallio	mg/kg	0.20	0.20	0.30	0.32
	<b>vanadio</b>	<b>mg/kg</b>	<b>82.50</b>	<b>101.00</b>	<b>77.00</b>	<b>80.00</b>
zinco	mg/kg	83.50	95.00	65.00	80.00	
<i>aromatici</i>	benzene	mg/kg	<u>0.0227</u>	<u>0.0043</u>	<u>0.0540</u>	<u>0.0860</u>
	etilbenzene	mg/kg	<u>0.0188</u>	<u>0.0036</u>	<u>0.0450</u>	<u>0.0710</u>
	stirene	mg/kg	<u>0.0227</u>	<u>0.0044</u>	<u>0.0550</u>	<u>0.0870</u>
	toluene	mg/kg	<u>0.0188</u>	<u>0.0036</u>	<u>0.0450</u>	<u>0.0710</u>
	xilene	mg/kg	<u>0.0545</u>	<u>0.0100</u>	<u>0.1300</u>	<u>0.2100</u>
	somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.0545</u>	<u>0.0100</u>	<u>0.1300</u>	<u>0.2100</u>
<i>IPA</i>	benzo(a)antracene	mg/kg	0.0500	0.0700	0.0730	0.0730
	benzo(a)pirene	mg/kg	0.0480	0.0710	0.0690	0.0670

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

	benzo(b)fluorantene	mg/kg	0.0505	0.0730	0.0690	0.0750
	benzo(k)fluorantene	mg/kg	0.0238	0.0370	0.0330	0.0277
	benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	0.0341	0.0500	0.0480	0.0460
	crisene	mg/kg	0.0530	0.0790	0.0790	0.0840
	dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.0022</u>	0.0242	<u>0.0011</u>	<u>0.0010</u>
	dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.0019</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0011</u>	<u>0.0011</u>
	dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.0023</u>	0.0252	<u>0.0011</u>	<u>0.0011</u>
	dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.0026</u>	<u>0.0010</u>	<u>0.0013</u>	<u>0.0013</u>
	dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	0.0084	0.0148	0.0137	0.0143
	indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	0.0260	0.0341	0.0400	0.0430
	pirene	mg/kg	0.0605	0.0900	0.0890	0.0920
	sommatoria IPA	mg/kg	0.2595	0.4290	0.3710	0.3730
<i>idrocarburi</i>	idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>2.11</u>	<u>0.41</u>	<u>5.10</u>	<u>8.10</u>
	idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	<u>7.14</u>	<u>7.14</u>	<b>86.0</b>	<b>145.0</b>

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Tabella 11. Risultati chimici sui fluidi bentonitici preparati con bentoniti Sipag Bisalta.

	parametro/analita	u.m.	SB CS	SB CS	SB HP3	SB HP3
			A2-4	A6	A2-4	A6
	TOC	%	0.15	3.00	0.70	0.27
	sottovaglio 2mm	%	100	100	100	100
	scheletro	g/kg	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
	umidità	%	92.1	93.3	95.7	96.0
<i>metalli</i>	antimonio	mg/kg	0.30	0.29	0.26	0.19
	arsenico	mg/kg	4.30	3.60	4.30	3.50
	berillio	mg/kg	1.18	1.04	1.23	1.00
	cadmio	mg/kg	0.13	0.10	0.14	0.12
	cobalto	mg/kg	6.90	5.50	7.40	6.00
	cromo totale	mg/kg	1.91	0.87	1.35	1.05
	cromo VI	mg/kg	<u>0.19</u>	<u>0.18</u>	<u>0.19</u>	<u>0.19</u>
	mercurio	mg/kg	0.04	0.04	0.02	0.03
	nichel	mg/kg	2.62	1.83	2.07	1.82
	piombo	mg/kg	23.80	19.70	24.90	20.60
	rame	mg/kg	27.70	23.90	35.00	27.80
	<b>selenio</b>	<b>mg/kg</b>	<b>2.91</b>	<b>3.16</b>	<b>2.45</b>	<b>2.74</b>
	stagno	mg/kg	0.94	0.55	1.02	0.80
	tallio	mg/kg	0.34	0.27	0.24	0.20
	vanadio	mg/kg	24.90	11.50	29.80	23.70
zinco	mg/kg	59.00	46.00	51.00	45.00	
<i>aromatici</i>	benzene	mg/kg	<u>0.0430</u>	<u>0.0050</u>	<u>0.0079</u>	<u>0.0084</u>
	etilbenzene	mg/kg	<u>0.0350</u>	<u>0.0042</u>	<u>0.0066</u>	<u>0.0070</u>
	stirene	mg/kg	<u>0.0430</u>	<u>0.0051</u>	<u>0.0080</u>	<u>0.0085</u>



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

	toluene	mg/kg	<u>0.0350</u>	<u>0.0051</u>	<u>0.0065</u>	<u>0.0069</u>
	xilene	mg/kg	<u>0.1000</u>	<u>0.1200</u>	<u>0.1900</u>	<u>0.0200</u>
	somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.1000</u>	<u>0.1200</u>	<u>0.1900</u>	<u>0.0200</u>
IPA	benzo(a)antracene	mg/kg	<u>0.0010</u>	<u>0.0046</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0045</u>
	benzo(a)pirene	mg/kg	<u>0.0010</u>	<u>0.0024</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0024</u>
	benzo(b)fluorantene	mg/kg	<u>0.0011</u>	<u>0.0026</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0026</u>
	benzo(k)fluorantene	mg/kg	<u>0.0011</u>	<u>0.0020</u>	<u>0.0010</u>	<u>0.0020</u>
	benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	<u>0.0010</u>	<u>0.0029</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0029</u>
	crisene	mg/kg	<u>0.0010</u>	<u>0.0041</u>	<u>0.0010</u>	<u>0.0041</u>
	dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.0010</u>	<u>0.0036</u>	<u>0.0011</u>	<u>0.0036</u>
	dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.0010</u>	<u>0.0029</u>	<u>0.0011</u>	<u>0.0029</u>
	dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.0010</u>	<u>0.0038</u>	<u>0.0011</u>	<u>0.0038</u>
	dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.0011</u>	<u>0.0043</u>	<u>0.0013</u>	<u>0.0043</u>
	dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	<u>0.0012</u>	<u>0.0024</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0024</u>
	indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	<u>0.0010</u>	<u>0.0026</u>	<u>0.0012</u>	<u>0.0026</u>
	pirene	mg/kg	<u>0.0010</u>	<u>0.0042</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.0042</u>
	sommatoria IPA	mg/kg	<u>0.0011</u>	<u>0.0046</u>	<u>0.0013</u>	<u>0.0045</u>
	idrocarburi	idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>4.00</u>	<u>0.47</u>	<u>0.74</u>
idrocarburi pesanti (C>12)		mg/kg	<u>7.0</u>	<u>4.0</u>	14.9	16.4

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

### 3.3 Studio sui terreni con tracce di fluido bentonitico

#### 3.3.1 Risultati chimici

Sono di seguito riportati (Tabella 12) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A2-4 con tracce di bentonite Imerys CE/P e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 12. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A2-4 con tracce di bentonite Imerys CE/P.

A2-4 + I CE/P		S1		S2		S3		limite A	limite B
proprietà/analita	u.m.	C1	C2	C1	C2	C1	C2		
TOC	%	0.27	0.86	0.19	0.20	0.22	0.37	-	-
sottovaglio 2mm	%	41.20	57.70	79	76	78	78	-	-
scheletro	g/kg	588	423	206	236	222	220	-	-
umidità	%	18.60	26.50	44.60	33.10	46.80	52.30	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.13	0.21	0.43	0.39	0.45	0.44	10	30
arsenico	mg/kg	1.56	2.38	4.60	4.00	4.80	4.80	20	50
berillio	mg/kg	0.08	0.13	0.27	0.25	0.28	0.27	2	10
cadmio	mg/kg	0.05	0.06	0.09	0.08	0.10	0.10	2	15

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

cobalto	mg/kg	1.11	1.86	3.70	3.26	3.70	3.60	20	250
cromo totale	mg/kg	2.60	4.80	7.90	8.80	7.60	7.70	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.11</u>	<u>0.12</u>	<u>0.11</u>	<u>0.11</u>	<u>0.11</u>	<u>0.11</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	1	5
nicel	mg/kg	3.15	5.40	9.60	8.40	8.90	8.30	120	500
piombo	mg/kg	1.85	2.94	5.10	4.10	4.70	4.40	100	1000
rame	mg/kg	13.90	19.50	7.30	7.70	6.90	7.00	120	600
selenio	mg/kg	0.28	0.37	0.66	0.52	0.75	0.74	3	15
stagno	mg/kg	0.27	0.34	0.27	0.26	0.29	0.29	-	-
tallio	mg/kg	0.05	0.10	0.20	0.19	0.22	0.20	1	10
vanadio	mg/kg	6.40	9.10	16.40	15.50	17.50	17.90	90	250
zinco	mg/kg	16.30	22.00	20.00	18.10	19.60	21.20	150	1500
<i>aromatici</i>									
benzene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.007</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.007</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	0.5	50
xilene	mg/kg	<u>0.010</u>	<u>0.010</u>	<u>0.013</u>	<u>0.012</u>	<u>0.015</u>	<u>0.017</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.010</u>	<u>0.010</u>	<u>0.013</u>	<u>0.012</u>	<u>0.015</u>	<u>0.017</u>	1	100
<i>IPA</i>									
benzo(a)antracene	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	0.1	10
benzo(b)fluorantene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
crisene	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	0.1	10
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.004</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	0.1	10
indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	0.1	5
pirene	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	10	500
<i>idrocarburi</i>									
idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.39</u>	<u>0.40</u>	<u>0.53</u>	<u>0.46</u>	<u>0.58</u>	<u>0.67</u>	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	7.26	12.00	14.10	12.40	16.10	16.10	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

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

Sono di seguito riportati (Tabella 13) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A6 con tracce di bentonite Imerys CE/P e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 13. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A6 con tracce di bentonite Imerys CE/P.

<b>A6 + I CE/P</b>		<b>S1</b>		<b>S2</b>		<b>S3</b>		<b>limite</b>	<b>limite</b>
<b>proprietà/analita</b>	<b>u.m.</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
TOC	%	0.51	0.58	0.71	0.49	0.39	0.54	-	-
sottovaglio 2mm	%	75	93	86	86	83	91	-	-
scheletro	g/kg	247	72	142	145	175	90	-	-
umidità	%	43	45.7	60.6	46.9	61.5	65.8	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.46	0.59	0.53	0.44	0.45	0.54	10	30
arsenico	mg/kg	7.90	7.10	6.30	5.80	5.50	7.00	20	50
berillio	mg/kg	0.42	0.42	0.49	0.47	0.42	0.52	2	10
cadmio	mg/kg	0.17	0.20	0.19	0.16	0.15	0.20	2	15
cobalto	mg/kg	8.10	7.60	7.20	6.70	6.00	7.70	20	250
cromo totale	mg/kg	20.70	21.40	23.70	22.20	21.70	25.50	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.10</u>	<u>0.13</u>	<u>0.12</u>	<u>0.12</u>	<u>0.12</u>	<u>0.13</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	1	5
nichel	mg/kg	22.50	24.70	24.50	22.40	20.90	25.60	120	500
piombo	mg/kg	13.90	13.50	14.30	12.50	11.60	15.60	100	1000
rame	mg/kg	37.00	13.90	22.40	13.30	13.00	17.50	120	600
selenio	mg/kg	0.83	0.77	1.09	1.09	0.84	0.97	3	15
stagno	mg/kg	0.93	0.60	0.79	0.63	0.70	0.77	-	-
tallio	mg/kg	0.20	0.21	0.26	0.24	0.21	0.28	1	10
vanadio	mg/kg	30.50	36.00	34.00	31.50	30.80	38.00	90	250
zinco	mg/kg	54.00	43.00	46.00	40.00	34.00	45.00	150	1500
<i>aromatici</i>									
benzene	mg/kg	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.009</u>	<u>0.006</u>	<u>0.008</u>	<u>0.010</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.008</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.009</u>	<u>0.007</u>	<u>0.008</u>	<u>0.010</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.008</u>	0.5	50
xilene	mg/kg	<u>0.014</u>	<u>0.015</u>	<u>0.021</u>	<u>0.015</u>	<u>0.020</u>	<u>0.023</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.014</u>	<u>0.015</u>	<u>0.021</u>	<u>0.015</u>	<u>0.020</u>	<u>0.023</u>	1	100
<i>IPA</i>									
benzo(a)antracene	mg/kg	0.007	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	0.008	<u>0.005</u>	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	0.017	0.018	0.008	0.007	0.011	0.008	0.1	10
benzo(b)fluorantene	mg/kg	0.010	0.011	0.009	0.006	0.009	0.006	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	0.003	0.006	0.004	0.003	0.005	0.002	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	0.026	0.023	0.012	0.012	0.016	0.016	0.1	10

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

crisene	mg/kg	0.009	0.006	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	0.008	<u>0.004</u>	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	0.006	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	0.1	10
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	0.004	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	0.012	0.016	0.007	0.007	0.010	0.012	0.1	5
pirene	mg/kg	0.009	0.014	0.009	<u>0.005</u>	0.011	0.007	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	0.078	0.064	0.033	0.028	0.057	0.033	10	500

*idrocarburi*

idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.56</u>	<u>0.57</u>	<u>0.80</u>	<u>0.60</u>	<u>0.78</u>	<u>0.91</u>	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	<b>104.00</b>	<b>108.00</b>	<b>98.00</b>	<b>111.00</b>	<b>132.00</b>	<b>121.00</b>	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Sono di seguito riportati (Tabella 14) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A2-4 con tracce di bentonite Imerys PAL 1 TIPO 3 e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 14. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A2-4 con tracce di bentonite Imerys PAL 1 TIPO 3.

<b>A2-4 + I PAL 1 TIPO 3</b>		S1		S2		S3		limite A	limite B
proprietà/analita	u.m.	C1	C2	C1	C2	C1	C2		
TOC	%	<u>0.1</u>	<u>0.1</u>	<u>0.1</u>	<u>0.1</u>	<u>0.1</u>	<u>0.1</u>	-	-
sottovaglio 2mm	%	75	83	64.3	81	83	85	-	-
scheletro	g/kg	249	172	357	195	169	148	-	-
umidità	%	34.2	49.8	38.1	44.3	48.5	43.1	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.20	0.25	0.15	0.24	0.28	0.22	10	30
arsenico	mg/kg	4.70	3.70	2.18	3.09	4.00	3.30	20	50
berillio	mg/kg	0.19	0.23	0.15	0.21	0.27	0.23	2	10
cadmio	mg/kg	0.08	0.10	0.08	0.11	0.11	0.11	2	15
cobalto	mg/kg	2.50	2.80	1.88	2.70	3.80	2.91	20	250
cromo totale	mg/kg	7.50	6.90	5.40	6.50	8.50	6.90	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.16</u>	<u>0.17</u>	<u>0.14</u>	<u>0.17</u>	<u>0.18</u>	<u>0.18</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.02	0.03	0.02	0.03	0.05	0.03	1	5
nicel	mg/kg	7.20	8.40	5.50	7.70	10.20	8.20	120	500
piombo	mg/kg	3.80	4.00	2.72	3.90	5.00	4.10	100	1000
rame	mg/kg	8.80	5.70	3.60	6.40	9.70	5.40	120	600
selenio	mg/kg	0.62	0.75	0.53	0.65	0.95	0.75	3	15

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

stagno	mg/kg	0.24	0.24	0.18	0.27	0.34	0.24	-	-
tallio	mg/kg	0.10	0.11	0.07	0.12	0.15	0.13	1	10
vanadio	mg/kg	13.90	14.70	11.20	14.00	17.40	14.40	90	250
zinco	mg/kg	19.50	19.60	13.10	19.70	25.40	18.20	150	1500

## aromatici

benzene	mg/kg	<u>0.0049</u>	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	0.004	0.006	0.005	0.005	0.006	<u>0.005</u>	0.5	50
xilene	mg/kg	<u>0.012</u>	<u>0.015</u>	<u>0.012</u>	<u>0.014</u>	<u>0.015</u>	<u>0.013</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.012</u>	<u>0.015</u>	<u>0.012</u>	<u>0.014</u>	<u>0.015</u>	<u>0.013</u>	1	100

## IPA

benzo(a)antracene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
benzo(b)fluorantene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
crisene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	5
pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	10	500

## idrocarburi

idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.46</u>	<u>0.58</u>	<u>0.48</u>	<u>0.54</u>	<u>0.58</u>	<u>0.53</u>	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	8.58	12.9	12.6	16.3	10.5	6.75	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Sono di seguito riportati (Tabella 15) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A6 con tracce di bentonite Imerys PAL 1 TIPO 3 e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 15. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A6 con tracce di bentonite Imerys PAL 1 TIPO 3.

<b>A6 + I PAL 1 TIPO 3</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	
----------------------------	-----------	-----------	-----------	--



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

proprietà/analita	u.m.	C1	C2	C1	C2	C1	C2	limite A	limite B
TOC	%	0.8	0.4	0.7	0.9	0.5	0.6	-	-
sottovaglio 2mm	%	75	75	94	84	83	83	-	-
scheletro	g/kg	248	255	59.1	157	168	175	-	-
umidità	%	46.0	28.4	37.3	52.8	50.0	67.1	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.34	0.26	0.39	0.37	0.37	0.32	10	30
arsenico	mg/kg	4.70	4.30	6.20	5.80	5.80	5.10	20	50
berillio	mg/kg	0.36	0.32	0.51	0.52	0.47	0.43	2	10
cadmio	mg/kg	0.16	0.15	0.20	0.19	0.20	0.19	2	15
cobalto	mg/kg	6.10	5.90	8.30	7.50	7.40	6.50	20	250
cromo totale	mg/kg	18.60	15.40	24.40	24.10	24.40	23.10	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.15</u>	<u>0.19</u>	<u>0.18</u>	<u>0.16</u>	<u>0.16</u>	<u>0.16</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.04	0.03	0.06	0.04	0.05	0.04	1	5
nicel	mg/kg	21.30	17.10	27.20	24.70	26.00	23.70	120	500
piombo	mg/kg	12.70	10.40	15.40	14.90	15.50	12.60	100	1000
rame	mg/kg	61.00	11.60	16.40	15.30	15.10	14.70	120	600
selenio	mg/kg	0.89	0.75	1.16	1.06	1.15	0.93	3	15
stagno	mg/kg	1.23	0.53	0.89	0.74	0.69	0.56	-	-
tallio	mg/kg	0.12	0.11	0.18	0.17	0.18	0.14	1	10
vanadio	mg/kg	24.90	21.30	32.80	30.70	31.80	26.90	90	250
zinco	mg/kg	66.00	31.70	48.00	50.00	46.00	39.00	150	1500
<i>aromatici</i>									
benzene	mg/kg	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.010</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.008</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.010</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	<u>0.008</u>	0.5	50
xilene	mg/kg	<u>0.015</u>	<u>0.011</u>	<u>0.013</u>	<u>0.017</u>	<u>0.016</u>	<u>0.024</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.015</u>	<u>0.011</u>	<u>0.013</u>	<u>0.017</u>	<u>0.016</u>	<u>0.024</u>	1	100
<i>IPA</i>									
benzo(a)antracene	mg/kg	0.009	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	0.017	0.010	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.008	0.1	10
benzo(b)fluorantene	mg/kg	0.013	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	0.031	0.023	0.010	0.014	0.008	0.020	0.1	10
crisene	mg/kg	0.012	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10

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

indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	0.019	0.013	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.009	0.1	5
pirene	mg/kg	0.009	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	0.081	0.034	0.010	0.014	0.008	0.027	10	500
<i>idrocarburi</i>									
idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	1.01	0.84	0.85	1.05	1.31	2.12	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	<b>74.00</b>	46.00	6.40	32.00	21.40	48.00	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Sono di seguito riportati (Tabella 16) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A2-4 con tracce di bentonite Laviosa BENTOSUND 120 E e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 16. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A2-4 con tracce di bentonite Laviosa BENTOSUND 120 E.

<b>A2-4 + L 120 E</b>		<b>S1</b>		<b>S2</b>		<b>S3</b>		<b>limite A</b>	<b>limite B</b>
<b>proprietà/analita</b>	<b>u.m.</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>		
TOC	%	0.557	0.369	0.403	0.379	0.704	0.464	-	-
sottovaglio 2mm	%	92	80	91	88	89	98	-	-
scheletro	g/kg	83	197	92	123	115	20.9	-	-
umidità	%	47.5	49.6	64.9	65	58.5	57.8	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.30	0.28	0.30	0.28	0.34	0.37	10	30
arsenico	mg/kg	2.86	2.58	2.91	2.72	3.40	3.30	20	50
berillio	mg/kg	0.28	0.28	0.31	0.29	0.33	0.34	2	10
cadmio	mg/kg	0.13	0.14	0.14	0.13	0.16	0.14	2	15
cobalto	mg/kg	5.60	5.00	5.40	5.30	6.40	6.80	20	250
cromo totale	mg/kg	9.80	9.70	9.80	11.00	10.90	12.50	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.18</u>	<u>0.16</u>	<u>0.18</u>	<u>0.17</u>	<u>0.17</u>	<u>0.19</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	1	5
nicel	mg/kg	10.80	9.60	10.70	10.20	12.80	12.70	120	500
piombo	mg/kg	5.80	5.20	6.00	5.40	6.70	6.60	100	1000
rame	mg/kg	16.00	13.60	17.10	15.10	28.30	17.80	120	600
selenio	mg/kg	0.54	0.60	0.80	0.59	0.75	0.85	3	15
stagno	mg/kg	0.53	0.50	0.60	0.55	0.77	0.66	-	-
tallio	mg/kg	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	1	10
vanadio	mg/kg	23.00	21.20	23.50	22.50	25.50	26.90	90	250
zinco	mg/kg	29.80	27.60	32.80	26.40	43.00	35.00	150	1500
<i>aromatici</i>									

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

benzene	mg/kg	<u>0.006</u>	<u>0.007</u>	<u>0.009</u>	<u>0.009</u>	<u>0.008</u>	<u>0.008</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.008</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.010</u>	<u>0.009</u>	<u>0.008</u>	<u>0.008</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.008</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	0.011	0.5	50
xilene	mg/kg	<u>0.016</u>	<u>0.016</u>	<u>0.022</u>	<u>0.022</u>	<u>0.019</u>	<u>0.019</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.016</u>	<u>0.016</u>	<u>0.022</u>	<u>0.022</u>	<u>0.019</u>	<u>0.019</u>	1	100

## IPA

benzo(a)antracene	mg/kg	0.021	0.018	0.023	0.023	0.022	0.027	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	0.025	0.020	0.026	0.023	0.022	0.027	0.1	10
benzo(b)fluorantene	mg/kg	0.027	0.021	0.029	0.025	0.025	0.028	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	0.013	0.010	0.013	0.012	0.010	0.012	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	0.018	0.015	0.019	0.019	0.016	0.019	0.1	10
crisene	mg/kg	0.026	0.019	0.024	0.025	0.024	0.028	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.003</u>	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	<u>0.002</u>	0.004	0.006	0.005	0.005	0.006	0.1	10
indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	0.016	0.014	0.016	0.016	0.017	0.018	0.1	5
pirene	mg/kg	0.026	0.026	0.030	0.027	0.026	0.031	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	0.131	0.104	0.133	0.128	0.119	0.141	10	500

## idrocarburi

idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.61</u>	<u>0.62</u>	<u>0.88</u>	<u>0.84</u>	<u>0.75</u>	<u>0.74</u>	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	28.00	19.70	36.00	21.10	17.00	7.12	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Sono di seguito riportati (Tabella 17) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A6 con tracce di bentonite Laviosa BENTOSUND 120 E e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 17. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A6 con tracce di bentonite Laviosa BENTOSUND 120 E.

A6 + L 120 E		S1		S2		S3		limite A	limite B
proprietà/analita	u.m.	C1	C2	C1	C2	C1	C2		
TOC	%	0.613	0.834	0.565	0.543	0.554	0.695	-	-
sottovaglio 2mm	%	80	90	84	87	89	90	-	-
scheletro	g/kg	203	103	162	133	108	99	-	-

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

umidità	%	49.9	54.2	47.3	42.7	62.3	47.4	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.53	0.38	0.37	0.37	0.38	0.47	10	30
arsenico	mg/kg	4.60	5.10	4.90	6.30	5.40	5.60	20	50
berillio	mg/kg	0.41	0.49	0.48	0.56	0.56	0.53	2	10
cadmio	mg/kg	0.20	0.35	0.21	0.23	0.24	0.24	2	15
cobalto	mg/kg	8.20	8.50	8.80	9.50	10.00	9.30	20	250
cromo totale	mg/kg	22.40	25.20	25.30	27.80	27.70	27.90	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.17</u>	<u>0.19</u>	<u>0.18</u>	<u>0.18</u>	<u>0.19</u>	<u>0.19</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	1	5
nicel	mg/kg	22.20	24.00	24.10	27.10	27.50	31.60	120	500
piombo	mg/kg	12.90	13.90	13.90	15.50	15.80	19.30	100	1000
rame	mg/kg	18.60	20.10	19.60	22.40	23.20	<b>192.00</b>	120	600
selenio	mg/kg	0.94	1.24	0.95	1.11	1.20	1.38	3	15
stagno	mg/kg	0.91	0.90	0.89	1.03	0.97	3.07	-	-
tallio	mg/kg	0.12	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	1	10
vanadio	mg/kg	36.00	40.00	39.00	44.00	43.00	44.00	90	250
zinco	mg/kg	48.00	48.00	47.00	53.00	53.00	<b>166.00</b>	150	1500
<i>aromatici</i>									
benzene	mg/kg	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.009</u>	<u>0.006</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.005</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.007</u>	<u>0.008</u>	<u>0.007</u>	<u>0.006</u>	<u>0.009</u>	<u>0.006</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.005</u>	0.5	50
xilene	mg/kg	<u>0.016</u>	<u>0.018</u>	<u>0.015</u>	<u>0.014</u>	<u>0.021</u>	<u>0.015</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.016</u>	<u>0.018</u>	<u>0.015</u>	<u>0.014</u>	<u>0.021</u>	<u>0.015</u>	1	100
<i>IPA</i>									
benzo(a)antracene	mg/kg	0.028	0.031	0.027	0.031	0.028	0.027	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	0.047	0.043	0.037	0.050	0.038	0.036	0.1	10
benzo(b)fluorantene	mg/kg	0.036	0.045	0.037	0.046	0.039	0.039	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	0.015	0.018	0.016	0.024	0.011	0.020	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	<b>0.211</b>	<b>0.127</b>	0.072	0.061	0.048	0.040	0.1	10
crisene	mg/kg	0.028	0.034	0.029	0.030	0.030	0.030	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	0.046	0.044	0.030	0.032	0.025	0.026	0.1	10
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	0.024	0.025	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.010	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	0.049	0.066	0.042	0.037	0.033	0.031	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	0.028	0.019	0.013	0.008	0.010	0.008	0.1	10
indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	<b>0.113</b>	0.066	0.037	0.037	0.031	0.027	0.1	5
pirene	mg/kg	0.029	0.036	0.036	0.040	0.034	0.034	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	0.483	0.433	0.290	0.311	0.262	0.248	10	500
<i>idrocarburi</i>									

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

idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.61</u>	<u>0.7</u>	<u>0.6</u>	<u>0.54</u>	<u>0.81</u>	<u>0.58</u>	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	143.00	139.00	138.00	108.00	143.00	139.00	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Sono di seguito riportati (Tabella 18) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A2-4 con tracce di bentonite Laviosa BENTOSUND 120 SS e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 18. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A2-4 con tracce di bentonite Laviosa BENTOSUND 120 SS.

<b>A2-4 + L 120 SS</b>		<b>S1</b>		<b>S2</b>		<b>S3</b>		<b>limite</b>	<b>limite</b>
<b>proprietà/analita</b>	<b>u.m.</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
TOC	%	0.849	0.398	0.412	0.460	0.464	0.480	-	-
sottovaglio 2mm	%	64	69	76	82	84	77	-	-
scheletro	g/kg	359	315	238	184	159	228	-	-
umidità	%	28.2	28.5	28.2	37.1	38.7	31	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.24	0.23	0.31	0.29	0.34	0.31	10	30
arsenico	mg/kg	2.18	2.60	2.92	2.83	3.60	2.68	20	50
berillio	mg/kg	0.18	0.21	0.24	0.24	0.30	0.24	2	10
cadmio	mg/kg	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.12	2	15
cobalto	mg/kg	3.21	4.00	4.70	4.40	5.60	4.50	20	250
cromo totale	mg/kg	5.70	6.60	7.40	7.40	9.70	7.20	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.12</u>	<u>0.13</u>	<u>0.15</u>	<u>0.16</u>	<u>0.16</u>	<u>0.15</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1	5
nichel	mg/kg	7.30	8.20	10.00	9.30	11.90	9.30	120	500
piombo	mg/kg	3.70	4.20	5.20	5.20	6.40	4.90	100	1000
rame	mg/kg	8.20	9.50	11.90	13.10	18.20	10.80	120	600
selenio	mg/kg	0.60	0.81	0.81	0.77	1.06	0.72	3	15
stagno	mg/kg	0.58	0.31	0.34	1.58	0.82	0.37	-	-
tallio	mg/kg	0.06	0.06	0.08	0.08	0.10	0.07	1	10
vanadio	mg/kg	14.90	17.40	20.50	18.80	25.10	19.50	90	250
zinco	mg/kg	17.10	24.20	23.40	32.10	34.00	27.30	150	1500
<i>aromatici</i>									
benzene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	0.5	50

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

xilene	mg/kg	<u>0.011</u>	<u>0.011</u>	<u>0.011</u>	<u>0.013</u>	<u>0.013</u>	<u>0.012</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.011</u>	<u>0.011</u>	<u>0.011</u>	<u>0.013</u>	<u>0.013</u>	<u>0.012</u>	1	100
<i>IPA</i>									
benzo(a)antracene	mg/kg	0.022	0.023	0.031	0.033	0.033	0.028	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	0.021	0.022	0.030	0.034	0.033	0.029	0.1	10
benzo(b)fluorantene	mg/kg	0.021	0.022	0.031	0.034	0.033	0.028	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	0.011	0.011	0.016	0.014	0.017	0.015	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	0.017	0.018	0.024	0.026	0.025	0.023	0.1	10
crisene	mg/kg	0.024	0.026	0.037	0.039	0.038	0.032	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	0.004	0.005	0.007	0.006	0.007	0.006	0.1	10
indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	0.013	0.016	0.021	0.021	0.022	0.019	0.1	5
pirene	mg/kg	0.025	0.026	0.038	0.040	0.042	0.037	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	0.114	0.121	0.170	0.180	0.178	0.156	10	500

<i>idrocarburi</i>									
idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.44</u>	<u>0.44</u>	<u>0.44</u>	<u>0.51</u>	<u>0.52</u>	<u>0.46</u>	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	20.60	24.00	29.00	28.00	33.00	23.20	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Sono di seguito riportati (Tabella 19) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A6 con tracce di bentonite Laviosa BENTOSUND 120 SS e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 19. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A6 con tracce di bentonite Laviosa BENTOSUND 120 SS.

<b>A6 + L 120 SS</b>		<b>S1</b>		<b>S2</b>		<b>S3</b>		<b>limite A</b>	<b>limite B</b>
<b>proprietà/analita</b>	<b>u.m.</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>		
TOC	%	1.080	0.802	0.835	0.925	0.555	0.886	-	-
sottovaglio 2mm	%	86	86	86	87	85	86	-	-
scheletro	g/kg	143	144	144	132	150	136	-	-
umidità	%	51.0	49.0	45.5	48.4	47.9	44.3	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.42	0.41	0.42	0.39	0.34	0.37	10	30
arsenico	mg/kg	5.60	5.80	5.90	5.40	4.80	5.10	20	50



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

berillio	mg/kg	0.49	0.50	0.54	0.49	0.46	0.46	2	10
cadmio	mg/kg	0.23	0.22	0.23	0.20	0.19	0.21	2	15
cobalto	mg/kg	8.80	9.00	9.20	8.60	7.80	8.60	20	250
cromo totale	mg/kg	23.50	23.20	26.90	24.30	23.60	24.80	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.16</u>	<u>0.17</u>	<u>0.16</u>	<u>0.17</u>	<u>0.16</u>	<u>0.17</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	1	5
nichel	mg/kg	27.30	28.50	28.60	26.90	24.80	25.60	120	500
piombo	mg/kg	15.70	17.00	18.80	14.80	13.60	13.90	100	1000
rame	mg/kg	20.20	32.50	21.40	19.60	21.90	21.70	120	600
selenio	mg/kg	1.31	1.24	1.26	1.31	1.12	1.32	3	15
stagno	mg/kg	0.74	1.27	4.20	0.98	2.88	2.00	-	-
tallio	mg/kg	0.14	0.13	0.16	0.14	0.14	0.14	1	10
vanadio	mg/kg	36.00	36.00	41.00	38.00	36.00	38.00	90	250
zinco	mg/kg	53.00	56.00	55.00	50.00	45.00	51.00	150	1500
<i>aromatici</i>									
benzene	mg/kg	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.006</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.006</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.006</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.006</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	0.5	50
xilene	mg/kg	<u>0.017</u>	<u>0.016</u>	<u>0.015</u>	<u>0.016</u>	<u>0.016</u>	<u>0.015</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.017</u>	<u>0.016</u>	<u>0.015</u>	<u>0.016</u>	<u>0.016</u>	<u>0.015</u>	1	100
<i>IPA</i>									
benzo(a)antracene	mg/kg	0.031	0.028	0.029	0.035	0.027	0.030	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	0.041	0.039	0.040	0.044	0.029	0.040	0.1	10
benzo(b)fluorantene	mg/kg	0.038	0.033	0.032	0.038	0.029	0.037	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	0.015	0.019	0.019	0.021	0.014	0.014	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	0.039	0.042	0.035	0.039	0.032	0.035	0.1	10
crisene	mg/kg	0.036	0.037	0.036	0.039	0.031	0.035	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	0.007	0.006	0.005	0.007	0.005	0.005	0.1	10
indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	0.024	0.023	0.024	0.025	0.021	0.026	0.1	5
pirene	mg/kg	0.037	0.036	0.033	0.039	0.029	0.034	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	0.200	0.198	0.191	0.216	0.162	0.191	10	500
<i>idrocarburi</i>									
idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.65</u>	<u>0.63</u>	<u>0.58</u>	<u>0.62</u>	<u>0.61</u>	<u>0.57</u>	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	<b>89.00</b>	<b>112.00</b>	<b>106.00</b>	<b>108.00</b>	<b>99.00</b>	<b>86.00</b>	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

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

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Sono di seguito riportati (Tabella 20) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A2-4 con tracce di bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL CS e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 20. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A2-4 con tracce di bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL CS.

A2-4 + SB CS		S1		S2		S3		limite A	limite B
proprietà/analita	u.m.	C1	C2	C1	C2	C1	C2		
TOC	%	<u>0.100</u>	<u>0.100</u>	<u>0.100</u>	0.120	0.180	0.200	-	-
sottovaglio 2mm	%	71	65	63	75	80	76	-	-
scheletro	g/kg	288	347	366	255	205	239	-	-
umidità	%	34.2	33.1	32.8	31.4	36.4	33.0	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.16	0.14	0.15	0.15	0.17	0.30	10	30
arsenico	mg/kg	2.24	1.99	2.09	2.97	3.03	3.07	20	50
berillio	mg/kg	0.19	0.16	0.17	0.21	0.28	0.26	2	10
cadmio	mg/kg	0.08	0.08	0.08	0.08	0.11	0.12	2	15
cobalto	mg/kg	1.92	1.79	1.91	2.46	3.13	3.02	20	250
cromo totale	mg/kg	4.60	4.60	5.10	5.30	17.90	6.40	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.13</u>	<u>0.12</u>	<u>0.12</u>	<u>0.14</u>	<u>0.15</u>	<u>0.15</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.01	<u>0.01</u>	<u>0.01</u>	0.01	0.01	0.01	1	5
nicel	mg/kg	5.40	5.60	5.30	6.40	10.70	13.50	120	500
piombo	mg/kg	4.10	3.60	4.80	4.80	6.10	11.30	100	1000
rame	mg/kg	13.80	6.20	17.10	6.80	8.10	<b>229.00</b>	120	600
selenio	mg/kg	0.68	0.55	0.63	0.81	0.88	0.87	3	15
stagno	mg/kg	0.36	0.62	0.35	0.27	0.31	3.25	-	-
tallio	mg/kg	0.06	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	1	10
vanadio	mg/kg	10.20	9.80	10.20	12.60	15.90	14.70	90	250
zinco	mg/kg	25.10	15.80	30.50	29.60	23.40	<b>174.00</b>	150	1500
<i>aromatici</i>									
benzene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	0.5	50
xilene	mg/kg	<u>0.012</u>	<u>0.012</u>	<u>0.012</u>	<u>0.012</u>	<u>0.013</u>	<u>0.012</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.012</u>	<u>0.012</u>	<u>0.012</u>	<u>0.012</u>	<u>0.013</u>	<u>0.012</u>	1	100
<i>IPA</i>									
benzo(a)antracene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10

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

benzo(b)fluorantene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
crisene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	5
pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	10	500

*idrocarburi*

idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.48</u>	<u>0.48</u>	<u>0.47</u>	<u>0.45</u>	<u>0.49</u>	<u>0.47</u>	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	4.42	4.33	2.77	<u>3.00</u>	<u>3.10</u>	<u>3.00</u>	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Sono di seguito riportati (Tabella 21) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A6 con tracce di bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL CS e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 21. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A6 con tracce di bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL CS.

<b>A6 + SB CS</b>		<b>S1</b>		<b>S2</b>		<b>S3</b>		<b>limite A</b>	<b>limite B</b>
<b>proprietà/analita</b>	<b>u.m.</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>		
TOC	%	0.979	0.870	0.794	1.130	0.932	0.819	-	-
sottovaglio 2mm	%	71	66	78	71	67	73	-	-
scheletro	g/kg	290	339	225	290	330	272	-	-
umidità	%	47.0	41.0	47.7	43.3	56.6	52.2	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.19	0.17	0.25	0.42	0.18	0.22	10	30
arsenico	mg/kg	3.80	3.29	4.60	4.00	3.13	4.00	20	50
berillio	mg/kg	0.31	0.27	0.42	0.36	0.30	0.33	2	10
cadmio	mg/kg	0.13	0.12	0.17	0.16	0.15	0.15	2	15
cobalto	mg/kg	5.00	4.50	7.10	5.90	4.10	5.20	20	250
cromo totale	mg/kg	9.70	9.30	13.90	11.60	9.50	11.50	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.14</u>	<u>0.13</u>	<u>0.15</u>	<u>0.14</u>	<u>0.13</u>	<u>0.14</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	1	5

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

nichel	mg/kg	13.50	12.50	19.50	26.00	13.20	14.70	120	500
piombo	mg/kg	10.30	8.80	17.90	22.20	8.90	34.00	100	1000
rame	mg/kg	11.80	9.50	33.10	<b>358.00</b>	23.60	12.20	120	600
selenio	mg/kg	1.16	0.82	1.38	0.92	0.84	0.91	3	15
stagno	mg/kg	0.37	0.30	3.70	4.80	0.50	0.38	-	-
tallio	mg/kg	0.08	0.07	0.11	0.09	0.08	0.09	1	10
vanadio	mg/kg	15.00	14.10	20.00	17.00	14.60	16.00	90	250
zinco	mg/kg	30.80	42.00	49.00	<b>274.00</b>	41.00	54.00	150	1500

*aromatici*

benzene	mg/kg	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	<u>0.008</u>	<u>0.007</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.006</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.007</u>	<u>0.006</u>	<u>0.007</u>	<u>0.006</u>	<u>0.008</u>	<u>0.007</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	0.009	0.008	0.008	0.008	0.011	0.008	0.5	50
xilene	mg/kg	<u>0.015</u>	<u>0.014</u>	<u>0.016</u>	<u>0.014</u>	<u>0.019</u>	<u>0.017</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.015</u>	<u>0.014</u>	<u>0.016</u>	<u>0.014</u>	<u>0.019</u>	<u>0.017</u>	1	100

*IPA*

benzo(a)antracene	mg/kg	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	0.007	0.006	0.007	0.005	0.006	0.006	0.1	10
benzo(b)fluorantene	mg/kg	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	0.015	0.014	0.012	0.013	0.012	0.014	0.1	10
crisene	mg/kg	0.004	0.004	0.004	0.003	0.005	0.003	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.003</u>	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	0.1	10
indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	0.007	0.007	0.006	0.008	0.006	0.007	0.1	5
pirene	mg/kg	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	0.035	0.031	0.030	0.029	0.029	0.029	10	500

*idrocarburi*

idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.60</u>	<u>0.53</u>	<u>0.61</u>	<u>0.56</u>	<u>0.73</u>	<u>0.67</u>	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	46.00	43.00	43.00	43.00	39.00	35.00	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Sono di seguito riportati (Tabella 22) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A2-4 con tracce di bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL HP3 e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V

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

della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 22. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A2-4 con tracce di bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL HP3.

<b>A2-4 + SB HP3</b>		<b>S1</b>		<b>S2</b>		<b>S3</b>		<b>limite</b>	<b>limite</b>
<b>proprietà/analita</b>	<b>u.m.</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
TOC	%	0.492	0.557	0.490	0.609	0.664	0.563	-	-
sottovaglio 2mm	%	67	70	66	79	85	73	-	-
scheletro	g/kg	332	302	336	208	155	272	-	-
umidità	%	30.5	29.3	37.9	35.5	53.4	54.2	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.19	0.13	0.12	0.16	0.18	0.14	10	30
arsenico	mg/kg	2.84	2.56	2.43	3.02	3.80	3.01	20	50
berillio	mg/kg	0.18	0.15	0.17	0.20	0.26	0.20	2	10
cadmio	mg/kg	0.10	0.07	0.09	0.10	0.12	0.11	2	15
cobalto	mg/kg	2.44	2.29	2.41	2.85	3.70	2.81	20	250
cromo totale	mg/kg	6.10	6.00	5.80	7.00	9.80	7.00	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.14</u>	<u>0.15</u>	<u>0.14</u>	<u>0.17</u>	<u>0.18</u>	<u>0.15</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1	5
nichel	mg/kg	9.50	6.40	7.70	8.30	11.20	8.40	120	500
piombo	mg/kg	6.30	4.10	4.10	5.20	6.80	5.10	100	1000
rame	mg/kg	74.00	6.90	7.70	9.10	9.90	7.20	120	600
selenio	mg/kg	0.68	0.45	0.60	0.56	0.90	0.63	3	15
stagno	mg/kg	1.21	0.22	0.25	0.33	0.50	0.27	-	-
tallio	mg/kg	0.06	0.05	0.08	0.07	0.09	0.07	1	10
vanadio	mg/kg	12.60	11.90	12.90	14.70	19.00	13.90	90	250
zinco	mg/kg	66.00	26.60	33.00	25.40	36.00	23.10	150	1500
<i>aromatici</i>									
benzene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.006</u>	<u>0.006</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	<u>0.005</u>	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	0.005	0.004	0.005	0.004	0.006	0.006	0.5	50
xilene	mg/kg	<u>0.011</u>	<u>0.011</u>	<u>0.012</u>	<u>0.012</u>	<u>0.016</u>	<u>0.016</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.011</u>	<u>0.011</u>	<u>0.012</u>	<u>0.012</u>	<u>0.016</u>	<u>0.016</u>	1	100
<i>IPA</i>									
benzo(a)antracene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
benzo(b)fluorantene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
crisene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10

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

dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	10
indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	0.1	5
pirene	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>	10	500
<i>idrocarburi</i>									
idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.44</u>	<u>0.41</u>	<u>0.49</u>	<u>0.45</u>	<u>0.63</u>	<u>0.64</u>	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	11.60	9.62	6.72	6.19	6.41	6.35	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Sono di seguito riportati (Tabella 22) i risultati delle analisi chimiche ottenuti sui campioni di terreno A6 con tracce di bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL HP3 e confrontati, dove presenti, con le concentrazioni soglia di contaminazione delle colonne A e B della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06. Le analisi, condotte su 2 campioni in duplicato, sono riportate con le lettere C1 e C2.

Tabella 23. Risultati dell'analisi chimica sul terreno A6 con tracce di bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL HP3.

<b>A6 + SB HP3</b>		<b>S1</b>		<b>S2</b>		<b>S3</b>		<b>limite A</b>	<b>limite B</b>
<b>proprietà/analita</b>	<b>u.m.</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>		
TOC	%	1.110	0.472	0.473	0.545	0.569	0.588	-	-
sottovaglio 2mm	%	78	87	87	94	93	87	-	-
scheletro	g/kg	225	134	127	64.8	68	135	-	-
umidità	%	34.1	51.5	58	58.2	61.6	61.9	-	-
<i>metalli</i>									
antimonio	mg/kg	0.23	0.30	0.25	0.26	0.28	0.28	10	30
arsenico	mg/kg	4.10	4.70	4.40	4.90	5.70	5.20	20	50
berillio	mg/kg	0.35	0.37	0.38	0.37	0.46	0.45	2	10
cadmio	mg/kg	0.16	0.18	0.17	0.18	0.19	0.18	2	15
cobalto	mg/kg	5.60	5.80	5.70	6.50	7.50	6.90	20	250
cromo totale	mg/kg	18.30	20.20	20.50	18.30	24.60	24.10	150	800
cromo VI	mg/kg	<u>0.15</u>	<u>0.18</u>	<u>0.18</u>	<u>0.18</u>	<u>0.19</u>	<u>0.18</u>	2	15
mercurio	mg/kg	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1	5
nichel	mg/kg	18.60	19.40	19.50	18.70	25.80	24.50	120	500
piombo	mg/kg	11.30	12.20	11.70	12.60	15.50	14.20	100	1000
rame	mg/kg	11.00	11.40	11.60	11.20	14.50	17.80	120	600
selenio	mg/kg	0.93	1.22	0.91	0.91	1.04	1.09	3	15
stagno	mg/kg	0.51	0.60	0.57	0.54	0.69	0.68	-	-



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

tallio	mg/kg	0.10	0.11	0.11	0.11	0.14	0.14	1	10
vanadio	mg/kg	26.00	28.90	28.10	27.40	34.00	32.90	90	250
zinco	mg/kg	39.00	48.00	38.00	40.00	46.00	47.00	150	1500

*aromatici*

benzene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.008</u>	<u>0.008</u>	<u>0.009</u>	<u>0.009</u>	0.1	2
etilbenzene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.006</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	0.5	50
stirene	mg/kg	<u>0.005</u>	<u>0.007</u>	<u>0.008</u>	<u>0.008</u>	<u>0.009</u>	<u>0.009</u>	0.5	50
toluene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.006</u>	<u>0.007</u>	<u>0.006</u>	<u>0.007</u>	<u>0.007</u>	0.5	50
xilene	mg/kg	<u>0.012</u>	<u>0.017</u>	<u>0.019</u>	<u>0.019</u>	<u>0.021</u>	<u>0.021</u>	0.5	50
somma organici aromatici	mg/kg	<u>0.012</u>	<u>0.017</u>	<u>0.019</u>	<u>0.019</u>	<u>0.021</u>	<u>0.021</u>	1	100

*IPA*

benzo(a)antracene	mg/kg	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	0.5	10
benzo(a)pirene	mg/kg	0.013	0.017	0.014	0.012	0.009	<u>0.002</u>	0.1	10
benzo(b)fluorantene	mg/kg	0.009	0.014	0.013	0.009	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	0.5	10
benzo(k)fluorantene	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	0.5	10
benzo(g,h,i)perilene	mg/kg	0.027	0.033	0.023	0.022	0.017	0.013	0.1	10
crisene	mg/kg	<u>0.003</u>	0.007	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	5	50
dibenzo(a,e)pirene	mg/kg	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
dibenzo(a,l)pirene	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
dibenzo(a,i)pirene	mg/kg	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.003</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)pirene	mg/kg	<u>0.003</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	0.1	10
dibenzo(a,h)antracene	mg/kg	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	<u>0.002</u>	0.1	10
indeno[1,2,3-c,d]pirene	mg/kg	<u>0.015</u>	0.016	0.012	0.012	0.010	<u>0.002</u>	0.1	5
pirene	mg/kg	<u>0.003</u>	0.009	0.008	0.008	<u>0.004</u>	<u>0.004</u>	5	50
sommatoria IPA	mg/kg	0.048	0.070	0.050	0.044	0.025	0.013	10	500

*idrocarburi*

idrocarburi leggeri (C<=12)	mg/kg	<u>0.48</u>	<u>0.65</u>	<u>0.75</u>	<u>0.73</u>	<u>0.83</u>	<u>0.83</u>	10	250
idrocarburi pesanti (C>12)	mg/kg	<b>65.00</b>	46.00	48.00	35.00	<b>76.00</b>	46.00	50	750

\* siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, colonna A Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

\*\* siti ad uso commerciale e industriale, colonna B Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06

valore sottolineato: valore inferiore al limite di rilevabilità dello strumento

Per quanto riguarda la presenza di idrocarburi totali sui campioni di terreno A6 con tracce di fluido bentonitico, è importante notare che dalle analisi sviluppate è emerso chiaramente che il campione di terreno A6 ricevuto di per sé già contiene una quantità di idrocarburi pesanti superiore alle CSC della colonna A della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06 (come riportato in Tabella 6) e che tale superamento è stato poi riscontrato nella sostanza invariato anche nei campioni di terreno contenenti tracce di bentonite.

Tralasciando quindi il discorso legato agli idrocarburi per il campione di terreno A6, i dati appena mostrati hanno evidenziato, nel complesso, l'assenza di analiti presenti in quantità superiori alle CSC

---

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

---

della colonna A della Tabella 1, dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del DL 152/06 in tutti i campioni di terre e roccia da scavo contenenti tracce di bentonite.

Isolati superamenti della colonna A (ma non della B), non confermati dai risultati del corrispondente duplicato, sono stati riscontrati per il rame e lo zinco in campioni di terreno contenenti tracce di bentonite Sipag Bisalta CS e Laviosa BENTOSUND 120 E. In merito bisogna anche ricordare che, nonostante l'attenzione e la cura posta nella preparazione dei campioni in laboratorio e nelle operazioni di quartatura, l'eterogeneità dei campioni di terreno e di bentonite tendono ad avere certamente un ruolo nella dispersione dei risultati.

### 3.4 Studio di carattere ecotossicologico

In Tabella 24 sono riportati i risultati ottenuti dallo studio ecotossicologico eseguito sui microrganismi quali *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri* ed *Heterocyprys incongruens*, per i campioni di terreno A2-4 tal quale e di terreno A2-4 contenente tracce di fluidi bentonitici.

Tabella 24. Risultati degli studi ecotossicologici.

<b>campioni</b>	<b>% immobilizzazione <i>Daphnia magna</i></b>	<b>% inibizione <i>Vibrio fischeri</i></b>	<b>% mortalità <i>Heterocyprys incongruens</i></b>
A2-4 (bianco)	5	6.65	10
I PAL 1 TIPO 3 A2-4	5	4.25	0
L 120 SS A2-4	0	6.31	3
SB HP3 A2-4	5	11.08	0

Dai risultati dei test di tossicità con gli organismi testati, è possibile osservare che non vi sono effetti ecotossici significativi. Confrontando inoltre i risultati ottenuti sui campioni di terreno con tracce di fluido bentonitico con i risultati ottenuti sul terreno A2-4 tal quale, è evidente l'assenza di effetti attribuibili alla presenza della bentonite.

#### **4 Conclusioni e futuri sviluppi**

Come già menzionato nell'introduzione del presente documento, Italferr ha affidato a GEEG, startup innovativa di "Sapienza" Università di Roma, lo sviluppo di una attività di Ricerca in supporto alle attività di Progettazione di Italferr.

Le attività sono state sviluppate in continuità con una precedente fase dell'attività di Ricerca sullo stesso tema la quale aveva già portato 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;
- le informazioni in merito alle caratteristiche reologiche, chimiche ed ecotossicologiche sulle bentoniti e le caratteristiche dei fluidi bentonitici ottimali per la tipologia di attività oggetto di questo studio e per lo specifico contesto geologico/geotecnico.

La presente fase sperimentale dell'attività di Ricerca si è posta quindi come obiettivo quello di verificare la possibilità di riutilizzo nell'ambito della disciplina dei sottoprodotti, delle terre e rocce da scavo (TRS) derivanti dalla realizzazione di opere in sotterraneo (pali, micropali, diaframmi ...).

Questo studio è stato effettuato prendendo in considerazione due bentoniti (una naturale e una estesa) per tre diversi produttori già individuati durante la prima fase dello studio, e due tipologie di terreno appartenenti rispettivamente alle categorie A2-4 e A6.

L'attività ha previsto una prima parte di caratterizzazione dei terreni, lo studio delle proprietà reologiche dei fluidi bentonitici al fine di individuare il dosaggio ottimale per ciascuna combinazione terreno/bentonite e infine la preparazione e l'analisi chimica ed ecotossicologica dei campioni di terreno con tracce di bentonite; questi ultimi campioni sono stati preparati ponendo a contatto i terreni con i diversi fluidi bentonitici e procedendo alla separazione tra fluido e terreno con tracce di fluido secondo tre diverse modalità, dalla separazione più spinta (S1) alla meno spinta (S3).

Le principali evidenze riscontrate sono raccolte per punti qui di seguito:

- la caratterizzazione chimica dei terreni ha evidenziato, per il terreno A6, la presenza di idrocarburi pesanti oltre le CSC di colonna A della Tabella 1 dell'Allegato 5, alla Parte IV, del D.lgs. 152 del 2006;
- i terreni A6 contenenti tracce di bentonite mostrano, di conseguenza, gli stessi superamenti per quanto concerne gli idrocarburi pesanti, con ogni probabilità legati alle caratteristiche del terreno stesso;
- il complesso delle analisi eseguite secondo quanto riportato nella Tabella 1 dell'Allegato 5, alla Parte IV, del D.lgs. 152 del 2006 sui campioni dei due terreni contenenti tracce di bentonite residua (in duplicato per ciascuna combinazione dei 2 campioni di terreno, delle 3 bentoniti

---

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

---

testate e dei 3 differenti livelli di efficacia della separazione terreno/fluido bentonitico) non ha mostrato superamenti rispetto alle CSC. Sporadiche alterazioni (concentrazioni superiori alle CSC relativamente alla colonna A) non confermate dal duplicato della corrispondente prova, sono stati riscontrati su alcuni analiti quali rame e zinco (Sipag-Bisalta CS) soprattutto nel caso delle separazioni meno spinte (S2 e S3) e IPA (Laviosa Bentosund 120 E) anche nel caso della separazione più spinta (S1);

- le analisi ecotossicologiche non evidenziano alterazioni in termini di effetti su sugli organismi *Daphnia magna*, *Vibrio Fischeri* e *Heterocypris incongruens* dovuti alla presenza delle tracce di bentonite sui terreni.

In conclusione, ferma restando la necessità di effettuare per gli specifici progetti analisi di carattere chimico necessarie a verificare il non superamento dei limiti di Tabella 1 dell'Allegato 5, alla Parte IV, del D.lgs. 152 del 2006, dai risultati di questo studio sembra emergere l'evidenza che eventuali tracce di bentonite presenti nelle terre e rocce da scavo provenienti dalla realizzazione di pali e diaframmi non pregiudicano di per sé il loro riutilizzo come sottoprodotto.

Si ritiene utile sottolineare, ai fini dell'eventuale predisposizione del Piano di Utilizzo delle terre e rocce da scavo e dei protocolli di controllo in corso d'opera, l'opportunità di prestare attenzione nello sviluppo delle analisi di carattere chimico alle concentrazioni di alcuni metalli (come rame e zinco) naturalmente presenti già in alcune bentoniti commerciali.

Ulteriori futuri sviluppi di questo studio potrebbero comprendere:

- l'ampliamento del set di dati sperimentali in modo tale da poter effettuare una stima accurata del quantitativo di bentonite residua atteso nei campioni di terre e roccia da scavo, e risalire quindi a priori al suo apporto chimico a partire dall'analisi del terreno e della polvere di bentonite;
- l'analisi di terre e rocce da scavo provenienti da ulteriori reali progetti/cantieri in cui è prevista la realizzazione di pali, per poter verificare la rispondenza con i risultati ottenuti in laboratorio e valutarne l'effetto scala.