

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA**

**POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA**

**RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO**

**Lotto 3**

**PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO AI SENSI DEL D.P.R. 120/2017**

Relazione Generale

SCALA:

-

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

I R 0 F 0 3 R 6 9 R G T A 0 0 0 0 0 0 0 2 E

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
B	Emissione Definitiva	M. Mulè	Dic. 2022	D. Bensaadi	Dic. 2022	C. Urciuoli	Dic. 2022	S. Padulosa	Gennaio 2024
C	Emissione Definitiva	D. Bensaadi	Mar. 2023	D. Putzu	Mar. 2023	C. Urciuoli	Mar. 2023		
D	Emissione Definitiva	M. Mulè	Mag. 2023	D. Bensaadi	Mag. 2023	C. Urciuoli	Mag. 2023		
E	Emissione Esecutiva	D. Bensaadi	Gen. 2024	D. Putzu	Gen. 2024	C. Urciuoli	Gen. 2024		

ITALFERR S.p.A.  
Ing. Padulosa S. Poma  
Ordine degli Ingegneri di Poma  
n. 25827 sez. A

File: IR0F03R69RGTA0000002E.doc

n. Elab.:

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
Relazione Generale	IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	2/67

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI</b> .....	<b>7</b>
2.1	DEFINIZIONE E CONDIZIONI DI APPLICABILITÀ DEL D.P.R. 120/17 .....	7
<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	<i>Caratteristiche del progetto</i> .....	15
4.1.2	<i>Descrizione delle fasi esecutive dei lavori</i> .....	18
4.2	INQUADRAMENTO URBANISTICO .....	21
4.3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO .....	23
4.3.1	<i>Inquadramento geologico</i> .....	23
4.3.2	<i>Inquadramento geomorfologico</i> .....	26
4.3.3	<i>Inquadramento idrogeologico</i> .....	26
4.3.4	<i>Interpretazione stratigrafica lungo il tracciato</i> .....	29
4.3.5	<i>Interpretazione idrogeologica lungo il tracciato</i> .....	30
4.3.6	<i>Cartografia del Piano per l'Assetto Idrogeologico</i> .....	31
4.4	USO PREGRESSO DEL SITO ED INTERFERENZE CON AREE A RISCHIO CONTAMINAZIONE .....	36
4.5	CAMPIONAMENTO ED ANALISI .....	37
4.5.1	<i>Indagini ambientali sui terreni lungo linea</i> .....	37
4.5.2	<i>Indagini ambientali sulle acque sotterranee</i> .....	41
<b>5</b>	<b>METODICHE DI SCAVO, ANALISI E OPERAZIONI SUI SOTTOPRODOTTI</b> .....	<b>44</b>
5.1	TECNICHE DI SCAVO .....	44
5.1.1	<i>Scavo Tradizionale</i> .....	44

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
Relazione Generale	IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	3/67

5.2	QUADRO DEI MATERIALI DI SCAVO PRODOTTI .....	44
5.3	TRATTAMENTI DI NORMALE PRATICA INDUSTRIALE .....	45
5.4	ATTIVITÀ DI CONTROLLO E MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA .....	46
5.4.1	<i>Modalità di caratterizzazione dei materiali di scavo .....</i>	46
5.4.2	<i>Rispetto dei requisiti di qualità ambientale .....</i>	49
5.4.3	<i>Monitoraggio ambientale connesso al piano di utilizzo (CO).....</i>	49
<b>6</b>	<b>SITI DI DEPOSITO INTERMEDIO .....</b>	<b>52</b>
6.1	DEPOSITO INTERMEDIO .....	52
6.1.1	<i>Sistema di cantierizzazione .....</i>	52
6.1.2	<i>Modalità di deposito dei materiali di scavo .....</i>	55
6.1.3	<i>Modalità di Trasporto .....</i>	57
6.2	CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE DI DEPOSITO INTERMEDIO .....	58
<b>7</b>	<b>SITI DI DEPOSITO FINALE .....</b>	<b>59</b>
7.1	RIUTILIZZO FINALE INTERNO AL PROGETTO.....	60
7.2	RIUTILIZZO FINALE ESTERNO AL PROGETTO .....	60
7.3	CARATTERIZZAZIONE DEI SITI DI DEPOSITO FINALE INDIVIDUATI.....	63
7.3.1	<i>Modalità di campionamento ed esiti della caratterizzazione .....</i>	63
7.4	EFFICACIA DEL PIANO DI UTILIZZO .....	63

## 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 presente documento rappresenta il Piano di Utilizzo dei materiali di scavo (di seguito PUT), redatto secondo le indicazioni del 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" e si prefigge lo scopo di rappresentare le modalità di gestione e di utilizzo dei materiali da scavo prodotti nell'ambito dei lavori per la realizzazione del raddoppio ferroviario della tratta Castelplanio - Lotto 3 delle opere di velocizzazione della linea Orte - Falconara.

Il Progetto in argomento è il raddoppio della linea storica, sia in stretto affiancamento che su nuovo tracciato in variante, suddiviso in tre Lotti Funzionali:

1. PM228-Bivio Nord-Albacina
2. Bivio Nord-Albacina- Serra San Quirico (i)
3. Serra San Quirico (e)-Castelplanio (e)

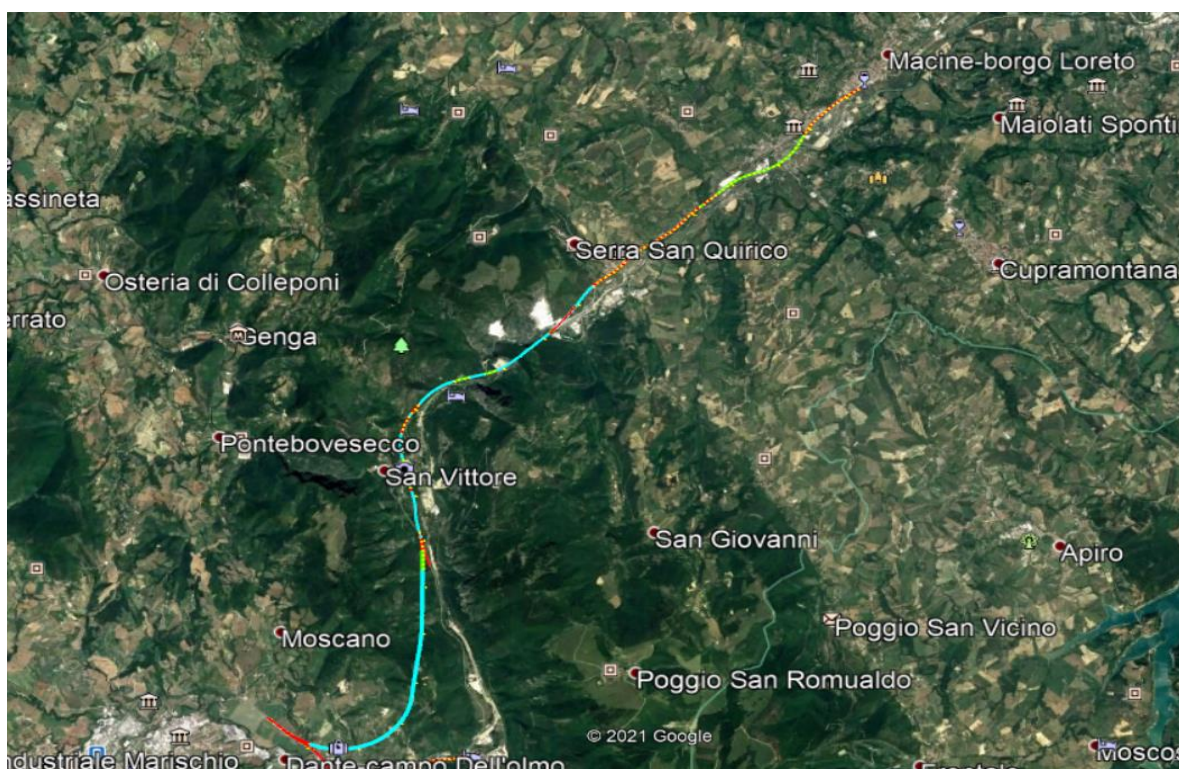


Figura 1-1– Inquadramento generale raddoppio ferroviario tratta PM228 – Castelplanio su ortofoto

L'opera di raddoppio è caratterizzata sia da tratti all'aperto con rilevati, trincee e viadotti ma anche da opere al chiuso come gallerie artificiali e naturali; si sviluppa quasi interamente in variante con brevi tratti in stretto affiancamento alla linea esistente.

Di recente gli interventi per il potenziamento della linea ferroviaria Orte – Falconara sono stati inseriti all'interno del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), piano nazionale di attuazione del Next Generation EU; quest'ultimo è lo strumento temporaneo pensato per stimolare la ripresa europea, e costituisce il più ingente pacchetto di misure di stimolo mai finanziato in Europa per la sua ricostruzione dopo la pandemia di COVID-19. L'obiettivo generale è di realizzare un'Europa più ecologica, digitale e resiliente.

Come richiamato anche nel PNRR, la Commissione Europea ha indicato come obiettivo, per i prossimi anni, l'aumento del traffico ferroviario e del trasporto intermodale su rotaia e su vie navigabili interne per competere alla pari con il trasporto su strada. Per raggiungere gli obiettivi prefissati, le opere finanziate dalla CE su elencate, dovranno essere realizzate entro il 2026.

La presente relazione riguarderà la tratta PM228 - Castelplanio (lotto 3).

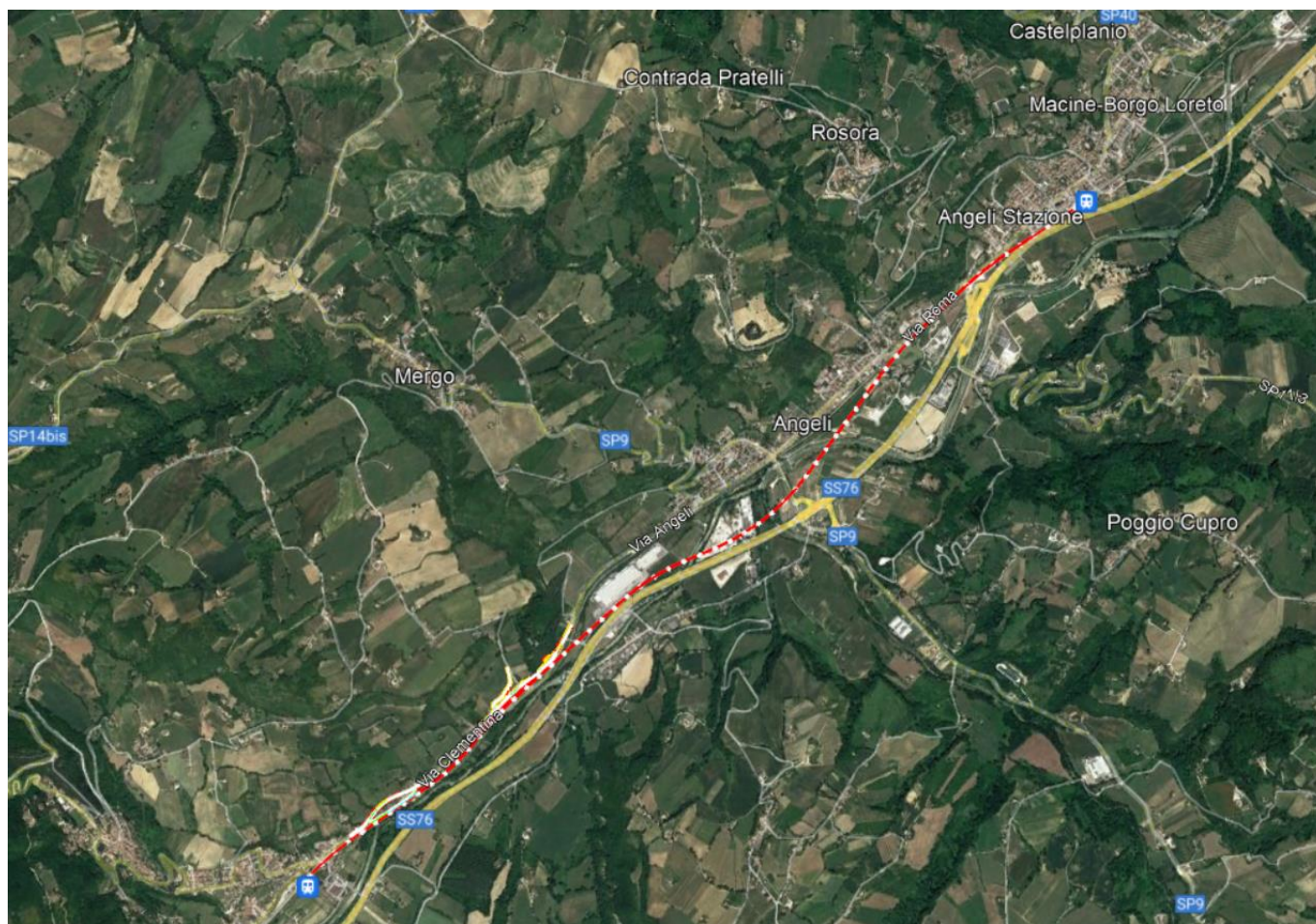


Figura 1-2 – Inquadramento territoriale della linea ferroviaria oggetto di intervento

Il Piano di Utilizzo, redatto secondo le indicazioni di cui all'Allegato 5 del Decreto sopra citato e secondo le "Linee Guida sull'applicazione della disciplina l'utilizzo delle terre e rocce da scavo" del nuovo manuale pubblicato dal Consiglio del SNPA (Sistema Nazionale per la Protezione Ambientale), con delibera n. 54/2019 di approvazione, costituisce parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica e descrive le modalità di gestione dei materiali da scavo prodotti dai lavori di realizzazione dell'opera ferroviaria. In particolare, il documento indica le quantità e le modalità di gestione delle terre e dei materiali che si originano nell'ambito delle attività di realizzazione delle opere, nelle fasi di produzione, trasporto ed utilizzo, nonché il processo di tracciabilità dei materiali dai siti di produzione ai siti di deposito intermedio ed ai siti di destinazione.

Il documento, pertanto, contiene le informazioni necessarie ad appurare che i materiali derivanti dalle operazioni di scavo eseguite per la realizzazione dell'opera in progetto rispondano ai criteri dettati dal Regolamento e stabiliti sulla base delle condizioni previste dall'art. 184bis, comma 1 del D.Lgs. n. 152 del 2006 e ss.mm.ii., in modo da poter essere escluse dal regime normativo dei rifiuti e quindi essere gestite come sottoprodotti ai sensi dell'art. 183, comma 1, lett. qq) del Decreto.

Tale approccio risponde all'esigenza di migliorare l'uso delle risorse naturali limitando, di fatto, il ricorso all'approvvigionamento di materiali da cava, e di prevenire, nel rispetto dell'art. 179, comma 1, del D.Lgs. n. 152 del 2006 e ss.mm.ii, la produzione di rifiuti.

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
Relazione Generale	IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	7/67

## 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.

Per far fronte alla continua evoluzione della normativa relativa a ciascuna delle matrici ambientali significative sotto-descritte, il Gruppo Ferrovie dello Stato, nel rispetto dei requisiti generali previsti dalla norma UNI EN ISO 14001, si è dotato di un presidio normativo, contenente i principali riferimenti a carattere nazionale e regionale, disponibile online all'indirizzo <http://presidionormativo.italferr.it/>

### 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 alle lavorazioni inerenti al progetto di Raddoppio Ferroviario della tratta PM228-Castelplanio, Lotto 3;
- si considera come opera, ai sensi dell'art. 2 del D.P.R. 120/2017, l'insieme dei lavori di realizzazione del raddoppio ferroviario della tratta PM228-Castelplanio, Lotto 3, della linea Orte - Falconara;

- 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 da attività di scavo attraverso tradizionali mezzi meccanici con l'utilizzo di materiali per il consolidamento delle opere di fondazione;
- 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 della Transizione Ecologica;
- 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 AS01, AS02, AS03, AS04, AS05, AS06, AS07, AS08 e i siti di deposito terre denominati DT.01, DT.02, DT.03.
- 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 del raddoppio ferroviario della tratta PM228-Castelplanio, Lotto 3, 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 al termine del ciclo di produzione eventualmente previo trattamento di normale pratica industriale;
- 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”*.

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 di Fattibilità tecnico-economica 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 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.

### 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 *“Schede Tecniche dei Siti di Produzione – IR0F03R69SHTA0000001B”;*

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 e 7 e documenti correlati *“Schede tecniche dei siti di deposito intermedio – IR0F03R69SHTA0000002B”* e *“Schede tecniche dei siti di deposito finale – IR0F03R69SHTA0000003A”.*

Si precisa che non sono previsti cicli produttivi di destinazione delle terre e rocce da scavo.

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;*

All'interno del Piano di Utilizzo il tema è affrontato nel Cap. 5, qualora si renda necessario si possono prevedere trattamenti di normale pratica industriale quali selezione granulometrica, riduzione volumetrica e stesa al suolo sulle terre e rocce da scavo.

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:*

- *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 documento correlato "Schede Tecniche dei Siti di Produzione – IR0F03R69SHTA0000001B";

- *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 nel CAP. 4 e 5 e documento correlato "Schede Tecniche dei Siti di Produzione – IR0F03R69SHTA0000001B";

- *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, al par. 5.4, 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 "Schede tecniche dei siti di deposito intermedio – IR0F03R69SHTA0000002B" e nel cap. 6 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);*

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	13/67

Relazione Generale

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 cap. 6 e nei documenti correlati "*Schede tecniche dei siti di deposito intermedio – IR0F03R69SHTA0000002B*" e "*Corografia viabilità di conferimento ai siti di destinazione finale – IR0F03R69CZTA0000001B*";

Al fine di esplicitare quanto richiesto, i punti 1. 2. 3. 4. E 5. e 6. sono esplicitati nei documenti correlati:

<i>IR0F03R69SHTA0000001B</i>	"Piano di Utilizzo – Schede tecniche dei siti di produzione"
<i>IR0F03R69SHTA0000002B</i>	"Piano di Utilizzo – Schede tecniche dei siti di deposito intermedio"
<i>IR0F03R69SHTA0000003A</i>	"Piano di Utilizzo – Schede tecniche dei siti di deposito finale"
<i>IR0F03R69CZTA0000001A</i>	"Corografia viabilità di conferimento ai siti di destinazione finale"

## 4 SITI DI PRODUZIONE

Al fine di fornire un quadro completo delle caratteristiche dei siti di produzione delle terre di seguito si riportano le seguenti informazioni:

- Inquadramento territoriale e topo-cartografico
- Inquadramento urbanistico
- Inquadramento geologico ed idrogeologico
- Uso pregresso del sito ed interferenze con aree a rischio contaminazione
- Campionamento e analisi

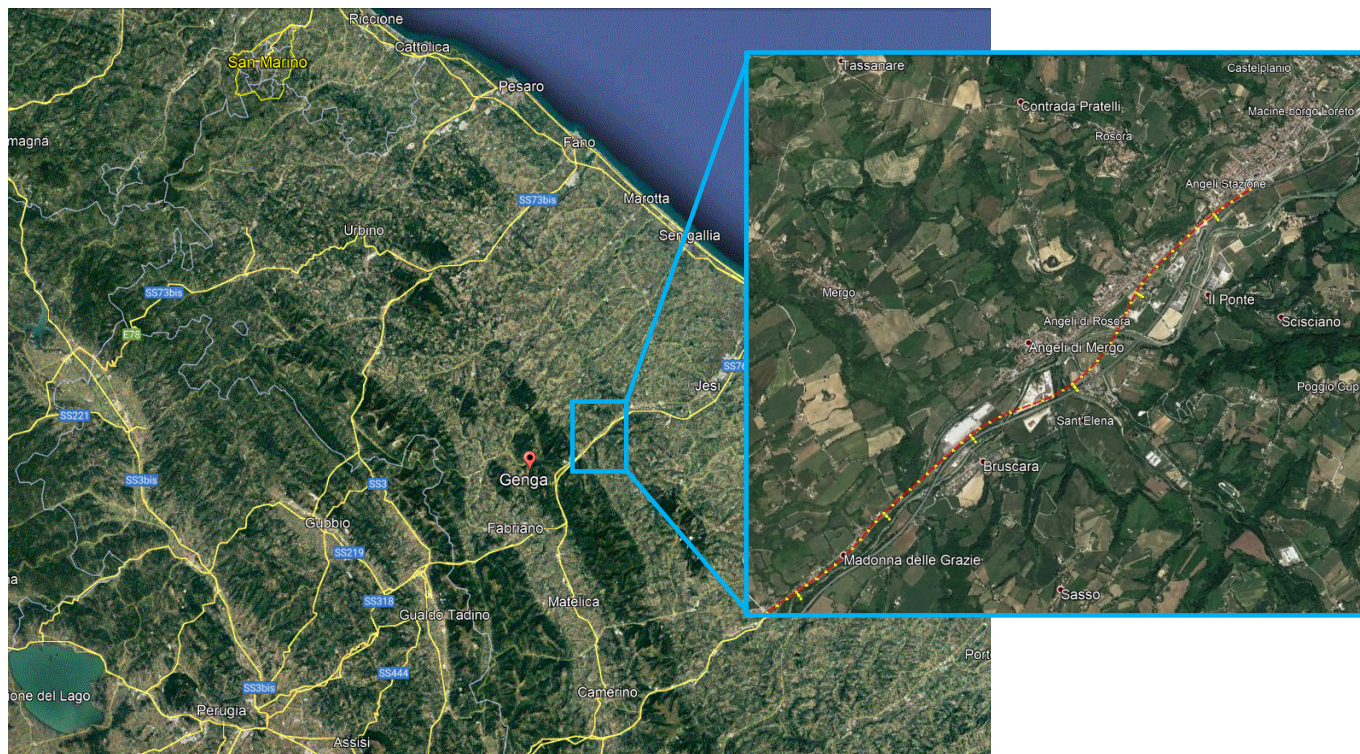
Ulteriori dettagli sui singoli siti di produzione delle terre sono riportati nelle schede cartografiche (doc. correlato *IR0F03R69SHTA0000001B* "Piano di Utilizzo – Schede tecniche dei siti di produzione") che comprendono:

- Schede cartografiche dei siti di produzione
- Stratigrafie
- Ubicazione punti di indagine suolo e sottosuolo e acque sotterranee
- Tabelle riepilogative e rapporti di prova indagini di caratterizzazione ambientale Terreni, Acque sotterranee.

### 4.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E TOPO-CARTOGRAFICO

Gli interventi in progetto rientrano nel territorio della Regione Marche, in particolare nei Comuni della Provincia di Ancona:

- Serra San Quirico,
- Mergo,
- Rosora,
- Castelplanio,
- Cupramontana,
- Maiolati Spontini



*Figura 4-1 – inquadramento dell'asse di progetto*

#### 4.1.1 Caratteristiche del progetto

Nel presente capitolo verranno descritti sinteticamente gli interventi previsti nel raddoppio della tratta PM228-Castelplanio – Lotto 3, oggetto di progettazione.

Nell'ambito del potenziamento infrastrutturale della Linea ferroviaria Orte-Falconara, il presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica riguarda il raddoppio della tratta PM228-Castelplanio. Tale progetto è suddiviso nei 3 Lotti Funzionali di seguito elencati:

- Lotto 1: da PM228 a Bivio Nord Albacina da progressiva Km 0+00 (Km 228+014 della LS) alla progressiva Km 7+200 di progetto
- Lotto 2: da Bivio Nord Albacina a Serra San Quirico (i) da progressiva Km 0+00 (Km 237+589 della LS) alla progressiva Km 8+889 (Km 246+958 della LS)
- Lotto 3 da Serra San Quirico (e) a Castelplanio (e) da progressiva Km 0+00 a progressiva Km 6+272 (Km 252+578 della LS).

Nel 2003 era stato redatto da ITF il progetto preliminare nell'ambito della Legge Obiettivo che già teneva conto dei 3 Lotti Funzionali sopra descritti. Rispetto al tracciato previsto in tale Progetto, che non ha ricevuto alcuna approvazione da parte degli Enti, il tracciato del PFTE in oggetto è stato aggiornato per tenere conto degli aggiornamenti normativi intercorsi.

In uscita dalla Fermata di Serra San Quirico il tracciato di progetto è sostanzialmente in variante rispetto al semplice binario esistente, discostandosi dalla soluzione del PP di Legge Obiettivo del 2003 che prevedeva in questo Lotto un raddoppio in affiancamento. Solo nell'ultimo tratto il tracciato prevede un raddoppio in sede, dovendosi raccordare con gli attuali binari della stazione di Castelplanio, della quale viene modificata solo la radice Sud.

In tale Lotto non sono previste opere in sotterraneo e sono previsti 3 Viadotti, due di piccola entità (VI01 - ferroviario e IV01 - stradale) ed un lungo viadotto ferroviario di circa 2.200 m.

E' prevista una nuova SSE nei pressi della stazione di Castelplanio.

Sono infine previsti tratti di barriere antirumore di lunghezza complessiva pari a circa 3.800 m e di altezza variabile tra i 4 e i 7,5 metri.

Dal punto di vista degli Impianti di Segnalamento, il progetto comprende le modifiche ed implementazioni finalizzate al raddoppio della linea ed il passaggio da tecnologia elettromeccanica (ACEI) a tecnologia statica (ACC). Inoltre, verrà implementato il sistema di distanziamento BABcf eRSC 3/3 - 9 codici gestito da Apparato Centralizzato Computerizzato di Linea (ACC-L) che sarà installato in opportuno fabbricato tecnologico nel PC/Bivio 228 (gestione della tratta PC/Bivio 228 - Genga S. Vittore) e nella stazione di Genga San Vittore (gestione della tratta Genga S. Vittore - Castelplanio).



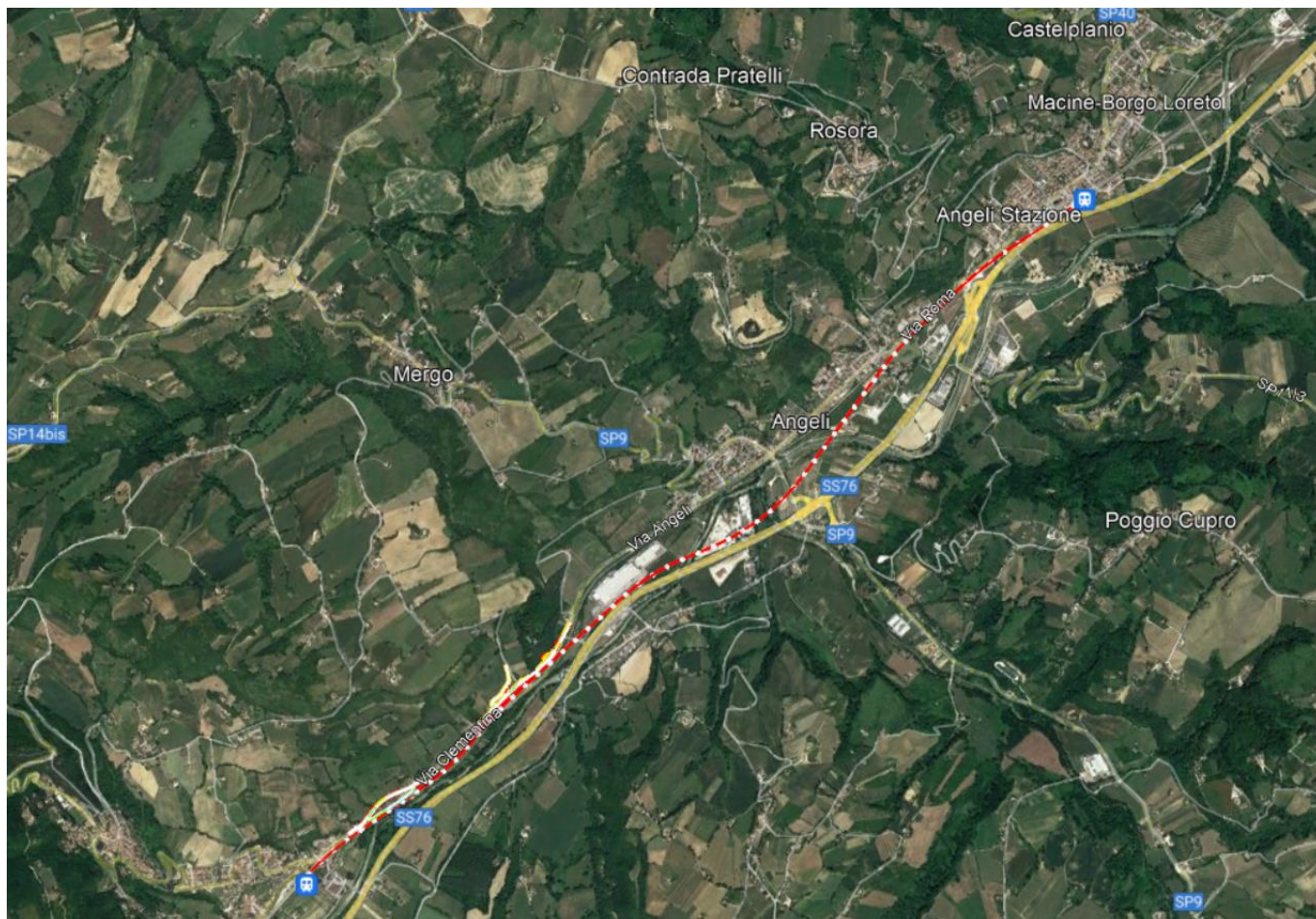


Figura 4-2 – Inquadramento generale raddoppio ferroviario tratta PM228 –Castelplanio – Lotto 3

Di seguito si elencano le principali WBS lungo l’asse ferroviario:

WBS	Da km	A km	Note
RI01	0+318	0+365	(Lotto 2)
TR01	0+365	1+010	Trincea in affiancamento (parte realizzata nel Lotto 2)
IN01	0+424		Tombino Scatolare-Idraulico 2,00x2,00
IN02	0+494		Tombino Scatolare-Idraulico 2,00x2,00
IN03	0+665		Tombino Scatolare-Idraulico 3,00x2,00
TR02	1+010	1+550	Trincea in variante
IN04	1+106		Tombino Scatolare-Idraulico 2,00x2,00
TR03	1+550	1+853	Trincea in variante
IN05	1+673		Tombino Scatolare-Idraulico 2,00x2,00
VI01	1+853	1+913	Viadotto ferroviario - L=60 m

WBS	Da km	A km	Note
TR04	1+913	2+100	Trincea in variante
RI02	2+100	2+195	Rilevato in variante
SL01	2+195	2+208	Sottovia
RI03	2+208	2+305	Rilevato in variante
<b>GA01</b>	<b>2+306</b>	<b>2+393</b>	<b>Scitolare a farfalle – L=87 m</b>
<b>VI02</b>	<b>2+393</b>	<b>4+216</b>	<b>Viadotto ferroviario - L=1.823 m</b>
<b>GA02</b>	<b>4+216</b>	<b>4+277</b>	<b>L=61.20 m</b>
RI04	4+277	4+680	Rilevato in variante – L=402.7 m
IN12	4+363		Tombino Scitolare-Idraulico 4,5x3.5
IN06	4+739		Tombino Scitolare-Idraulico 5,5x2,00
IN07	4+905		Tombino Scitolare-Idraulico 2,00x1,00
RI05	4+680	5+000	Raddoppio in affiancamento
SL02	4+682		Sottopasso pedonale
IN08	5+296		Tombino Scitolare-Idraulico 2,00x1,00
IN09	5+380		Tombino Scitolare-Idraulico 2,00x2,00
IN10	5+521		Tombino Scitolare-Idraulico 2,00x1,00
RI06	5+000	5+400	Raddoppio in affiancamento
IN11	5+846		Tombino Scitolare-Idraulico 2,00x1,00
TR05	5+400	5+600	Raddoppio in affiancamento
RI07	5+600	6+050	Stazione di Castelplanio
TR06	6+050	6+272	Stazione di Castelplanio

Oltre alle opere civili, nel Lotto di Albacina sono previste le seguenti Nuove Viabilità:

- NV01 e NV01A: Nuova viabilità Via Clementina;
- NV02 e NV02A: Nuova viabilità Via Clementina.
- NV03A e NV03B: Soppressione PL al km 250+988.

Infine, sono previste delle modifiche all'armamento, e agli impianti di trazione elettrica e segnalamento, cui progetto è stato sviluppato seguendo le fasi di esercizio previste.

Per ogni maggiore dettaglio si rimanda agli elaborati di progetto.

#### 4.1.2 Descrizione delle fasi esecutive dei lavori

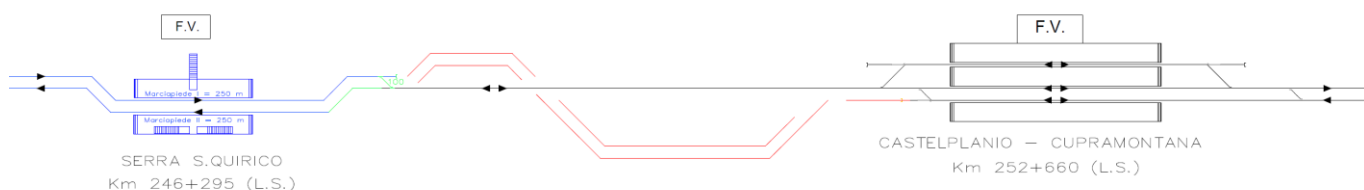
Il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica in oggetto è stato articolato in n.8 fasi realizzative; le fasi sono state progettate in coerenza con la seguente ipotesi di successione temporale di attivazione dei lotti:

- 1° Attivazione: Lotto 2 (comprendente le Fasi 1, 2, 3);
- 2° Attivazione: Lotto 3 (comprendente le Fasi 4, 5, 6);
- 3° Attivazione: Lotto 1 (comprendente le Fasi 7,8).

Si riporta di seguito una descrizione sintetica delle fasi inerenti il Lotto 3, rimandando per un maggior dettaglio agli elaborati specialistici.

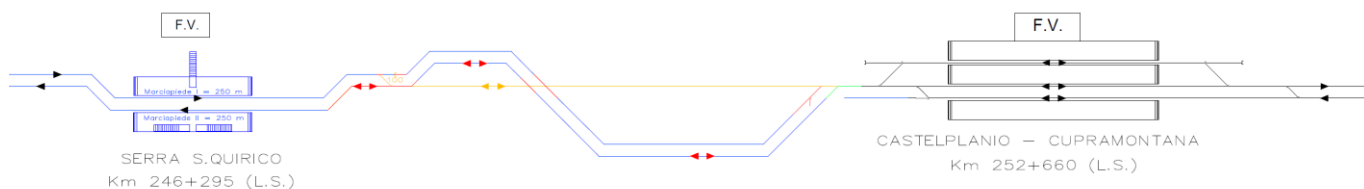
#### **FASE 4**

La Fase 4 prevede la realizzazione per la parte non interferente con l'esercizio dei tratti di binari in variante compresi nel tratto tra Serra S. Quirico e Castelplanio. L'attrezzaggio (armamento e tecnologie) invece, è previsto da Castelplanio fino al km 2+100 circa, creando un collegamento provvisorio sul terzo binario.



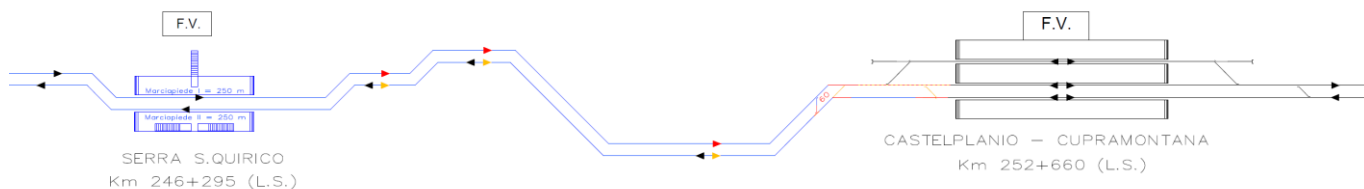
#### **FASE 5**

La Fase 5 prevede l'attivazione del solo binario pari, tramite un collegamento provvisorio in prossimità della stazione di Castelplanio. Trattasi di una fase di allaccio in cui verranno completate le opere di sede del binario pari e il relativo attrezzaggio.

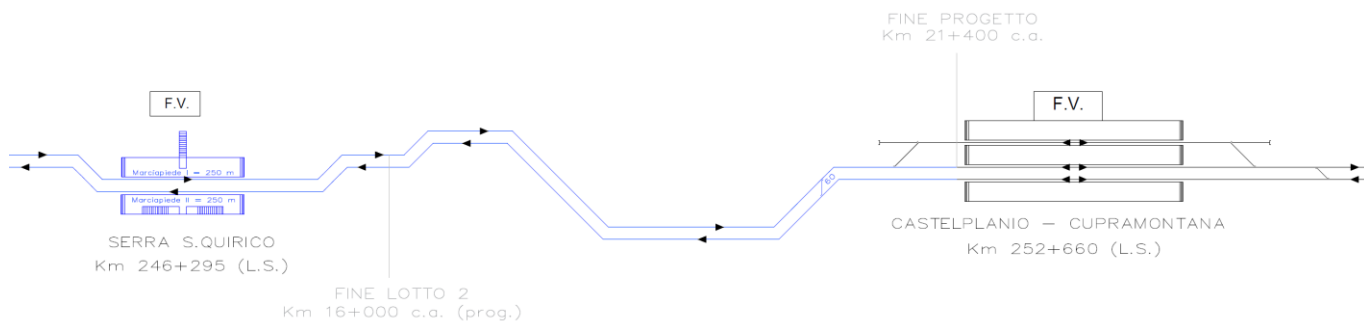


#### **FASE 6**

La Fase 6 (finale) consiste basicamente nel completamento delle opere civili necessario alla costruzione del binario dispari, al netto del flesso provvisorio in ingresso a Castelplanio, da demolire contestualmente alla fase di allaccio definitiva (attivazione raddoppio).



## SCENARIO DI PROGETTO



Piano di Utilizzo dei materiali di scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
Relazione Generale	IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	21/67

## 4.2 INQUADRAMENTO URBANISTICO

Al fine di inquadrare da un punto di vista urbanistico le destinazioni d'uso delle aree interferite dal progetto del raddoppio della tratta Castelplanio Lotto 3 occorre far riferimento al PRG dei Comuni di Serra San Quirico, Mergo, Rosora, Cupramontana, Maiolati Spontini e Castelplanio.

Di seguito si riporta il quadro sinottico delle destinazioni d'uso delle aree interferite ricavate dalla sovrapposizione con i PRG dei tre comuni:

*Tabella 4-1: Quadro sinottico delle interferenze delle opere di completamento con le destinazioni del PRG di Serra San Quirico*

Destinazioni di piano	Art.NTA
Zona Omogenea E - Agricola	Cap.7, art. 29 Cap.9, artt. 43-53
Strade	
Zona Omogenea B – Prevalentemente residenziale, parzialmente edificata, di parziale ristrutturazione (zona di completamento B1)	Cap.7, art. 26 Cap.8, art. 34
D1 - Zona produttiva di completamento	art.39

*Tabella 4-2: Quadro sinottico delle interferenze delle opere di completamento con le destinazioni del PRG di Mergo*

Destinazioni di piano	Art.NTA
Zona EE - Zone agricole di contatto con il fiume Esino	Art. 39
Zona FFSS - Ferrovia	
Zona D1 - completamento	Art. 29 Art. 30
Zona D4 e D5 - espansione	Art. 29 Art. 32 Art. 30bis
Zona PLP – Piani Attuativi Vigenti	Art. 29 Art. 31

*Tabella 4-3: Quadro sinottico delle interferenze delle opere di completamento con le destinazioni del PRG di Cupramontana*

Destinazioni di piano	Art.NTA
Area archeologica	Art. 57
Zona E3 – aree agricole	Art. 33
Zona E4 – aree boschive e vegetazione ripariale	

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b> <b>PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</b>					
	Piano di Utilizzo dei materiali di scavo Relazione Generale	COMMESSA IR0F	LOTTO 03	CODIFICA R 69	DOCUMENTO RG TA 00 00 002	REV. E

*Tabella 4-4: Quadro sinottico delle interferenze delle opere di completamento con le destinazioni del PRG di Rosora*

Destinazioni di piano	Art.NTA
Zona E15 – struttura del paesaggio, agrario o naturale, a tutela integrale	Art. 41
Zona F1 – zona infrastrutture, viabilità, parcheggi	Art. 56
Zone B1 – ambiti consolidati di completamento	Art. 45

*Tabella 4-5: Quadro sinottico delle interferenze delle opere di completamento con le destinazioni del PRG di Castelplanio*

Destinazioni di piano	Art.NTA
Linea ferroviaria	
Zona E1 – zona agricola di salvaguardia	

Per la rappresentazione cartografica delle interferenze tra il tracciato ferroviario e le destinazioni d'uso dei luoghi desunti dalla pianificazione locale vigente si rimanda all'elaborato correlato "*Piano di Utilizzo – Schede tecniche dei siti di produzione*" (cfr. *IR0F03R69SHTA0000001B*).

Alla stessa maniera, anche le aree di Stoccaggio e Deposito Terre interferiscono per lo più con aree agricole.

Per la destinazione d'uso specifica delle aree di stoccaggio e deposito terre si rimanda all'elaborato correlato "*Schede Tecniche dei Siti di Deposito Intermedio – IR0F03R69SHTA0000002B*", per le cartografie degli strumenti urbanistici e per le destinazioni d'uso delle aree interferite dalla linea ferroviaria si rimanda al documento correlato "*Schede Tecniche dei Siti di Produzione – IR0F03R69SHTA0000001B*".

### 4.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Si riporta di seguito una sintesi degli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici e geotecnici che caratterizzano l'area di indagine.

#### 4.3.1 Inquadramento geologico

L'area oggetto di studio, ricadente nella provincia di Ancona, il nuovo tracciato ferroviario comprensivo dei tre lotti così come previsto da progetto, si snoderà tra l'area industriale a est di Fabriano (zona Ponte Moscano) e la stazione di Castelplanio-Cupramontana, per un totale di circa 21.5 km.

In Figura 4-3 è riportato l'inquadramento geografico:

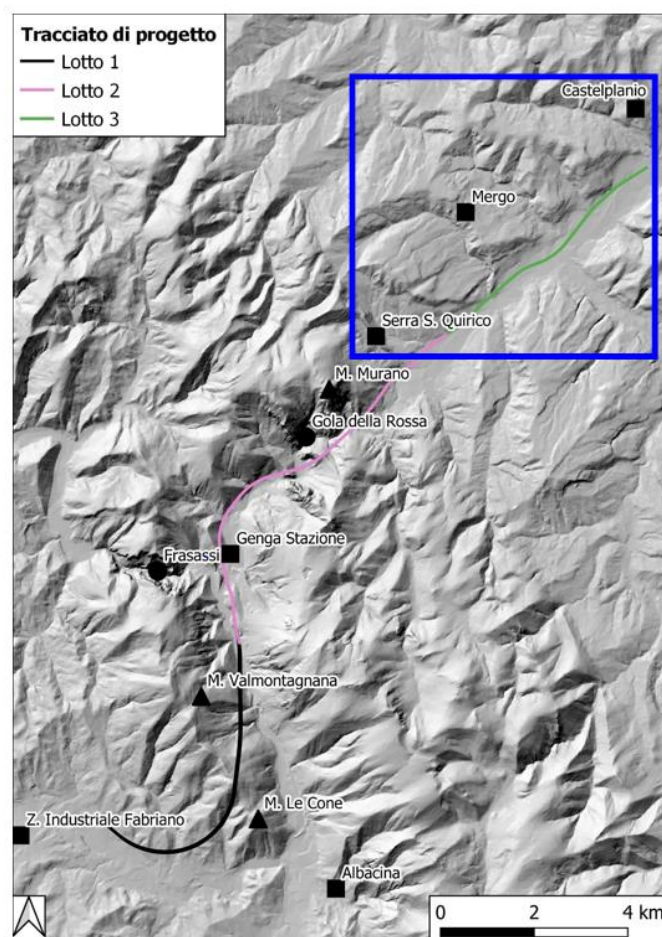


Figura 4-3 Inquadramento geografico dell'area di studio. In blu il lotto di progetto 2.

Dal punto di vista fisiografico l'area di studio, nel tratto Fabriano-Serra San Quirico (lotti 1 e 2), è caratterizzata dai massicci e delle dorsali montuose dell'Appennino Umbro-Marchigiano mentre nel

settore compreso tra Serra San Quirico e Castelplanio (lotto 3) la morfologia è pedemontana-collinare (*foothills*).

L'assetto stratigrafico-strutturale dell'area di studio è stato ricostruito integrando i dati ottenuti dal rilevamento geologico effettuato in sito con le informazioni ricavate dalla foto-interpretazione, dalle fonti bibliografiche disponibili e dalle indagini di sito esistenti o realizzate per il presente studio.

Le formazioni affioranti nell'area di studio sono quelle tipiche della regione umbro-marchigiana (vedi Figura 4-4); la morfologia è più dolce e blanda in corrispondenza delle litologie pelitiche (Marne a Fucoidi, Scaglia Cinerea; Schlier; membro marnoso della Formazione della Laga; depositi marini plio-pleistocenici) e più aspra e acclive in corrispondenza delle litologie più calcaree. I depositi continentali, piuttosto estesi, sono costituiti da alluvioni prevalentemente ghiaiose, ma con significativa presenza di orizzonti pelitici nel dominio più esterno, da potenti coltri eluvio-colluviali e da coperture detritiche più o meno grossolane in virtù del grado di stratificazione e fratturazione delle formazioni prevalentemente calcaree. Sono presenti anche zone interessate da frane di scorrimento e crolli, che coinvolgono talvolta anche il substrato calcareo.



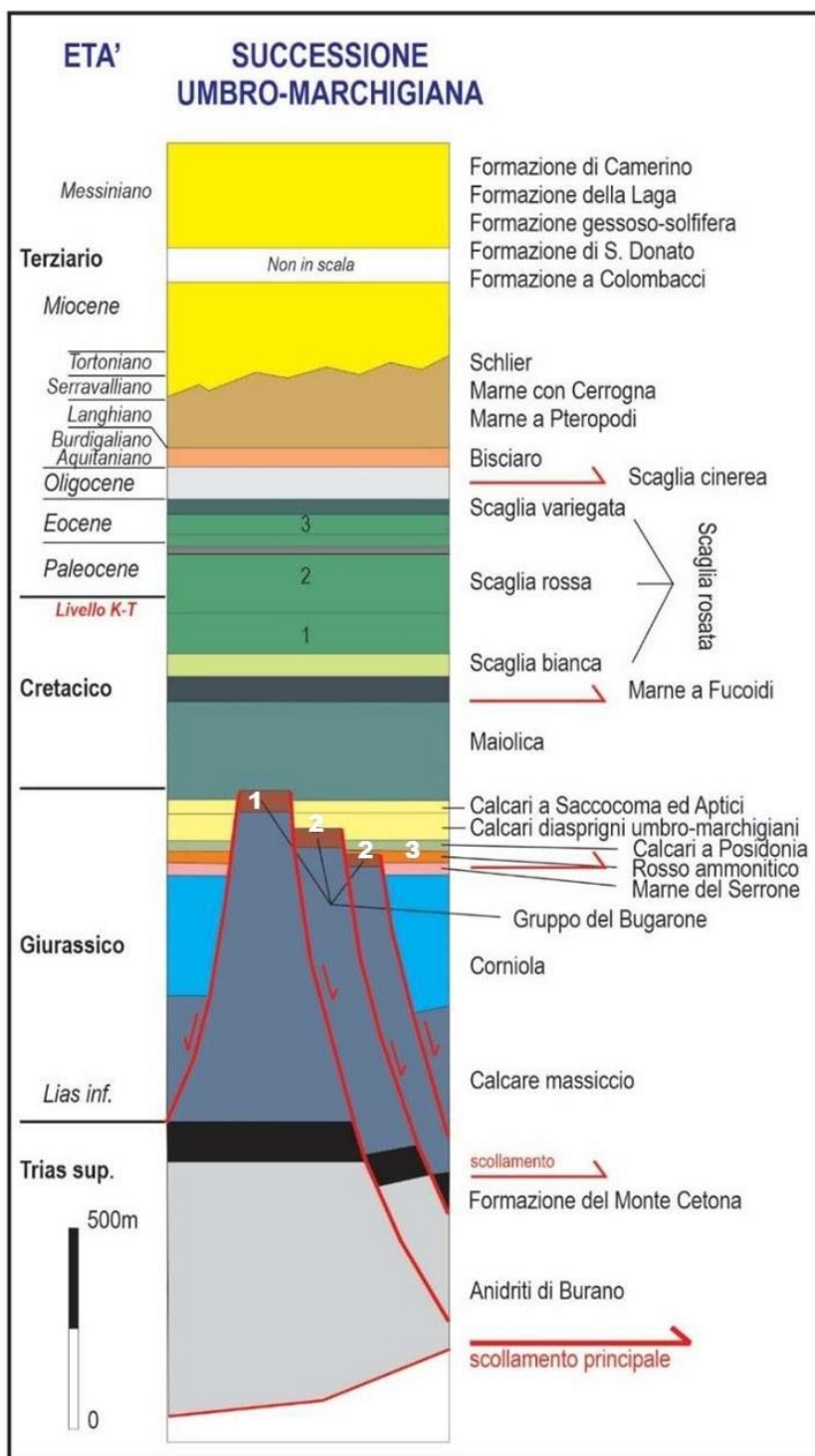


Figura 4-4 Successione stratigrafica umbro-marchigiana (da Pierantoni et al., 2013, modificata).

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
Relazione Generale	IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	26/67

#### 4.3.2 Inquadramento geomorfologico

L'attuale assetto geomorfologico dell'area interessata dai tre lotti (lotto 1-2-3) del nuovo tracciato ferroviario è condizionato da diversi fattori principali: le caratteristiche lito-strutturali del substrato roccioso, l'evoluzione neotettonica, la successione degli eventi climatici quaternari e, non ultima, l'attività antropica soprattutto più recente.

Alle caratteristiche litologiche del substrato roccioso, costituito, in prevalenza da depositi terrigeni miocenici pliocenici, e al complesso assetto strutturale e tettonico è connessa la genesi di versanti diversamente acclivi, con rotture di pendio e scarpate di erosione selettiva. In particolare, è netto il contrasto tra le scarpate strutturali ubicate in corrispondenza degli affioramenti più resistenti (in litologie calcaree), nelle aree di dorsale (presenti soprattutto lungo la valle dell'Esino in destra idrografica o nella valle del T. Sentino, in corrispondenza della Gola di Frasassi), in arenarie e/o calcareniti nelle aree di sinclinale, e invece i versanti più dolci modellati in terreni a prevalente componente marnosa e/o pelitica (ad esempio nell'area di Serra San Quirico e delle aree adiacenti del Lotto 3). Alla natura litologica del substrato sono inoltre legate le caratteristiche litotecniche delle formazioni superficiali.

L'attività tettonica recente ha modificato l'originaria giacitura dei terreni, generando fratture e faglie per lo più di modesto rigetto, in corrispondenza delle quali, durante la fase di sollevamento, si sono spesso impostate le direttrici di drenaggio superficiale. La fase di sollevamento tettonico ha indotto un generale e rapido approfondimento dell'erosione lineare, testimoniato dalla morfologia dell'attuale direttrice del fiume Esino. Tuttavia, l'erosione lineare ha agito con fasi di minore intensità o di stasi, in relazione alle diverse condizioni climatiche che si sono avvicendate nell'area a partire dal Pleistocene medio; infatti l'alternanza di periodi freddi (periglaciali) e periodi temperati ha prodotto un'alternanza di fasi di prevalente sedimentazione e prevalente erosione lineare, riconoscibili lungo gli assi vallivi per la presenza di talora estesi depositi alluvionali, disposti a quote decrescenti rispetto al fondovalle attuale (ad es. fiume Esino, in corrispondenza di Angeli Stazione, alla pk 5+500 del Lotto3).

#### 4.3.3 Inquadramento idrogeologico

I litotipi affioranti nell'area sono stati accorpati in complessi idrogeologici, differenziati in relazione alle caratteristiche di permeabilità relativa, come si può osservare dalla Figura 4-5.

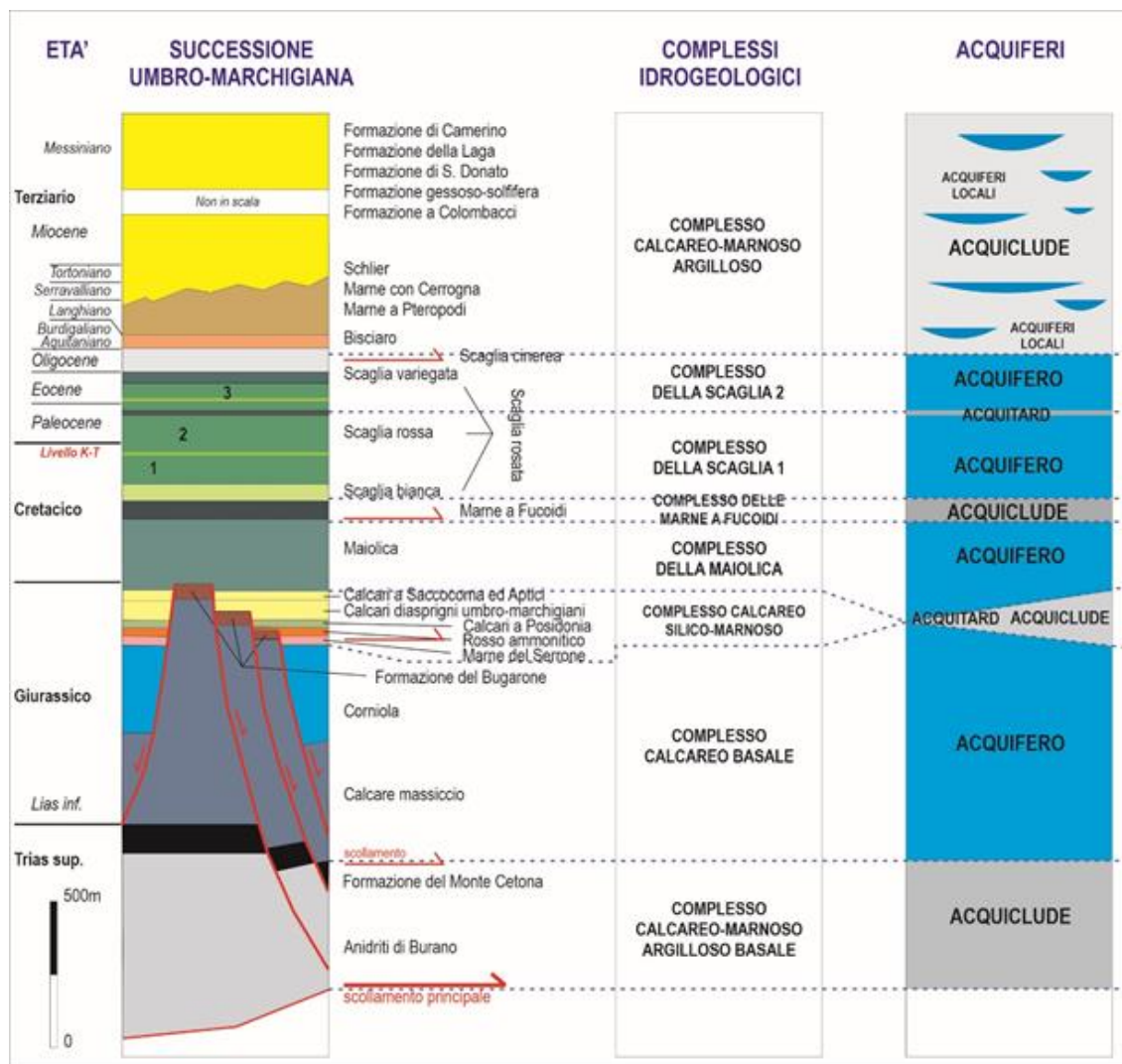


Figura 4-5 Successione stratigrafica umbro-marchigiana e relativi complessi idrogeologici.

Le caratteristiche principali di ogni complesso:

- Complesso acquifero dei depositi continentali quaternari antichi e recenti (MUSa, MUSa1, MUAa1q, MUSa1a, MUSb2, MTIa, MTIb2): è costituito da coltri prevalentemente ghiaioso-sabbiose, cementate caratterizzato da alti valori di permeabilità; quando ricaricato anche dall'acquifero carbonatico sottostante, può dar luogo a sorgenti.
- Complesso acquifero dei depositi alluvionali antichi e recenti (URSbn, ACbn3, ACbn4, ACFbn, MUSb, MUSbn, MTIbn): è costituito da depositi fluviali, terrazzati e non, delle aree di pianura alluvionale ed è caratterizzato da corpi ghiaiosi, ghiaioso-sabbiosi e ghiaioso-limosi altamente permeabili con intercalate lenti, di estensione e spessore variabili, argilloso-limose e sabbioso-limose. Queste disomogeneità determinano, soprattutto all'interno dei depositi più recenti (pleistocenici ed olocenici), la formazione di acquiferi generalmente monostrato ma con possibilità di formazione anche di piccole falde sospese o localmente in pressione.
- Complesso a bassa permeabilità delle formazioni prevalentemente argillose e argilloso-marnose (FAAe, FAAc, FAAb, FAA2f, FAA2e, FAA2, CEA): caratterizzato da bassa permeabilità e dalla presenza di interstrati sabbioso-conglomeratici più o meno spessi che può favorire la formazione di piccole falde, anche sospese e spesso in pressione.
- Complesso delle formazioni marnose e marnoso-calcaree (FCO, GS, GSb, FCIf, FCIf, FCId, FCIf, BIS, SCH): Il complesso, delimitato alla base dall'*aquiclude* della Scaglia cinerea, comprende le unità marnoso-calcaree che marcano il passaggio tra la sedimentazione carbonatica e la sedimentazione terrigena. In corrispondenza delle porzioni più calcaree e fratturate, possono emergere piccole sorgenti.
- Complesso aquiclude della Scaglia cinerea (SCC): Formato da spessori consistenti di marne calcaree e argillose, costituisce il limite impermeabile alla base delle successioni carbonatiche.
- Complesso acquifero della Scaglia (SBI1, SBI2, SAA1, SAA2, SAA3, VAS): È costituito dalla formazione calcarea e calcareo-marnosa permeabile della Scaglia. La maggiore componente marnosa presente, e la conseguente quasi totale assenza di fenomeni carsici, renderebbe il complesso in teoria meno funzionale all'immagazzinamento della risorsa idrica. Tuttavia, grazie

all'elevato grado di fratturazione e alla notevole estensione areale il complesso della Scaglia rappresenta un "serbatoio" molto importante.

- Complesso acquiclude delle Marne a Fucoidi (FUC): Si tratta di un livello acquiclude a scala regionale costituito da marne e marne argillose calcaree; solamente la porzione superiore del litotipo è più calcarea.
- Complesso acquifero della Maiolica (MAI): prevalentemente calcareo-micritico e permeabile per fratturazione, limitato dalla formazione delle Marne a Fucoidi al tetto e dal complesso calcareo-siliceo marnoso a bassa permeabilità alla base. Dal punto di vista idraulico può essere interessato anche da forme carsiche ipogee.
- Complesso a bassa permeabilità calcareo-siliceo-marnoso (RSA, POD, CDU, CDU1, CDU2): complesso a permeabilità medio-bassa costituito dai litotipi prevalentemente marnosi del Rosso ammonitico, dei Calcari a Posidonia e dei Calcari diasprigni umbro-marchigiani.
- Complesso acquifero basale (MAS, MAS1, MAS2, COI): caratterizzato da formazioni prevalentemente calcaree e intensamente fratturate, del Calcare Massiccio, e della Corniola; Il complesso basale presenta caratteristiche di alta permeabilità.

#### 4.3.4 Interpretazione stratigrafica lungo il tracciato

Dalle prove di permeabilità in foro di tipo Lefranc e Lugeon, eseguite entro i fori di sondaggio del Lotto 3 per le diverse litologie e per i depositi quaternari, si evidenzia una situazione articolata non sempre completamente in accordo con la suddivisione dei complessi idrogeologici a grande scala. Per questa ragione, pur considerando i valori massimi e minimi di permeabilità (presentati di seguito) restituiti dalle prove in foro, si è attribuito ad ogni formazione un grado di permeabilità relativa, in funzione del complesso idrogeologico di appartenenza.

Tabella 4-6: Classi di permeabilità relativa utilizzate nella cartografia idrogeologica.

Classe di permeabilità relativa	Sigla
Alta	AP
Media	MP
Bassa	SP
Molto bassa	BP

Variabile

VP

In tabella si mostrano i complessi presenti nel lotto di riferimento.

*Tabella 4-7 Range di K delle formazioni indagate e classe di permeabilità relativa*

Formazione	Sigla	n° prove	K min (m/s)	K max (m/s)	Classe relativa K
Scaglia Rossa – Membro inferiore*	SAA1	5	6.86E-08	3.86E-06	AP
Scaglia Rossa – Membro intermedio*	SAA2	8	3.80E-08	3.42E-06	AP
Scaglia Rossa – Membro superiore*	SAA3	-	-	-	AP
Scaglia Variegata*	VAS	-	-	-	MP
Scaglia Cinerea*	SCC	14	1.47E-09	3.50E-08	BP
Bisciario	BIS	3	1.13E-07	6.13E-07	SP
Schlier	SCH	1	5.36E-07	5.36E-07	SP
Argille Azzurre – Litofacies pelitico-arenacea	FAAe	4	8.73E-09	1.66E-06	SP
Argille Azzurre – Arenarie di Borello	FAA2	10	1.82E-08	3.10E-05	SP
Depositi terrazzati – Sint. Di Matelica	MTIbn	17	4.62E-09	2.94E-04	VP
Depositi eluvio-colluviali – Sint. Del Musone	MUSb2	3	6.29E-09	9.30E-08	VP
Depositi terrazzati – Sint. Del Musone	MUSbn	10	1.29E-07	1.89E-03	VP
Materiali di riporto	R	1	1.00E-04	1.00E-04	VP

#### 4.3.5 Interpretazione idrogeologica lungo il tracciato

Nelle ricostruzioni effettuate in questa sede si è fatto riferimento sia alle misure di soggiacenza rilevate ai piezometri installati nel corso della campagna di indagine 2021, sia a considerazioni legate all'assetto idrogeologico locale.

*Tabella 4-8: Valori piezometrici registrati lungo la tratta di progetto.*

ID	Lotto	Prof. (m)	Tratto fenestrato (m)	mar-21	apr-21	mag-21	giu-21	lug-21	ago-21	Set 21	Ott 21	Nov 21
FCL36bisA	3	12	pz cgrande 10 m			1.82	3.51	4.1	4.25	4.35	3.20	<b>2.26</b>
FCL36bisB	3	25	pz cgrande 25 m			12.71	13.48	13.52	13.52	13.35	13.16	<b>13.57</b>
FCL37	3	40	pz cgrande 15m		secco	secco	secco	secco	secco	secco	secco	<b>secco</b>
FCL39	3	40	3-12		5.76	5.57	4.98	5.65	5.63	5.30	5.79	<b>5.58</b>
FCL42	3	40	3-21		7.61	7.63	7.42	7.57	7.51	7.52	7.40	<b>7.01</b>
FCL43	3	40	pz cgrande 20 m		3.62	3.96	4.01	4.05	4.61	4.07	3.90	<b>3.75</b>
FCL45	3	50	pz cgrande a 25m		3.94	3.35	3.39	3.82	3.83	3.93	3.74	<b>3.42</b>
FCL47	3	40	3-37		3.36	3.39	3.42	3.4	3.39	3.44	3.32	<b>3.17</b>

FCL48	3	40	15-37		1.79	0.51	1.63	2.49	2.5	2.52	2.24	<b>1.94</b>
FCL48_BIS_A	3	40	5-35				16.62	17.77	18.3	18.81	19.24	<b>14.45</b>
FCL49	3	40	3-15		9.47	9.42	9.46	9.9	9.83	9.85	9.36	<b>8.89</b>
FCL50	3	40	3-30				5.3	8.55	9.64	9.97	8.97	<b>6.43</b>

In generale le misure al momento disponibili mostrano spesso un trend piuttosto stabile dei valori di soggiacenza fino al mese di settembre 2021. A seguire, in conseguenza del periodo piovoso autunnale, si registra una generale risalita dei livelli, piuttosto modesta nei piezometri di fondovalle e più marcata in quelli di versante, con particolare riferimento a FCL48bis e FCL50.

Si nota una soggiacenza media della falda, in corrispondenza del fondovalle compresa tra 2 e 9 m circa da p.c. nell'ultima misura di novembre 2021, con un piezometro Casagrande (FCL37) che risulta secco in tutte le misure.

#### 4.3.6 Cartografia del Piano per l'Assetto Idrogeologico

Il *Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale*, unitamente agli altri Enti territoriali aventi titolo, negli atti di pianificazione hanno classificato il territorio in relazione al pericolo ed al rischio geomorfologico e idraulico. Di seguito si riportano le considerazioni relative al pericolo e al rischio idraulico riscontrabili sul territorio tratti dalla cartografia efficace.

Dall'esame della cartografia redatta dal Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale, e resa disponibile online dal Portale Cartografico Nazionale, a corredo del PGRAAC 2019 relativa alle aree alluvionabili distinte per gradi di probabilità di alluvionamento in relazione al tempo di ritorno del fenomeno, nell'area in esame, la linea ferroviaria risulta interessare le fasce classificate della pericolosità nei tratti di attraversamento dell'alveo attivo del Fiume Esino.

Tutte le interferenze segnalate rientrano in classificazione P2 caratterizzati da tempi di ritorno  $T_R \leq 200$  anni, con probabilità di rischio medio. Tali aree sono state ricavate dal PAI in corso di aggiornamento e riportano quanto elaborato fino al 2013.

Di seguito si riportano gli stralci dei tratti significativi rispetto all'intervento in esame.

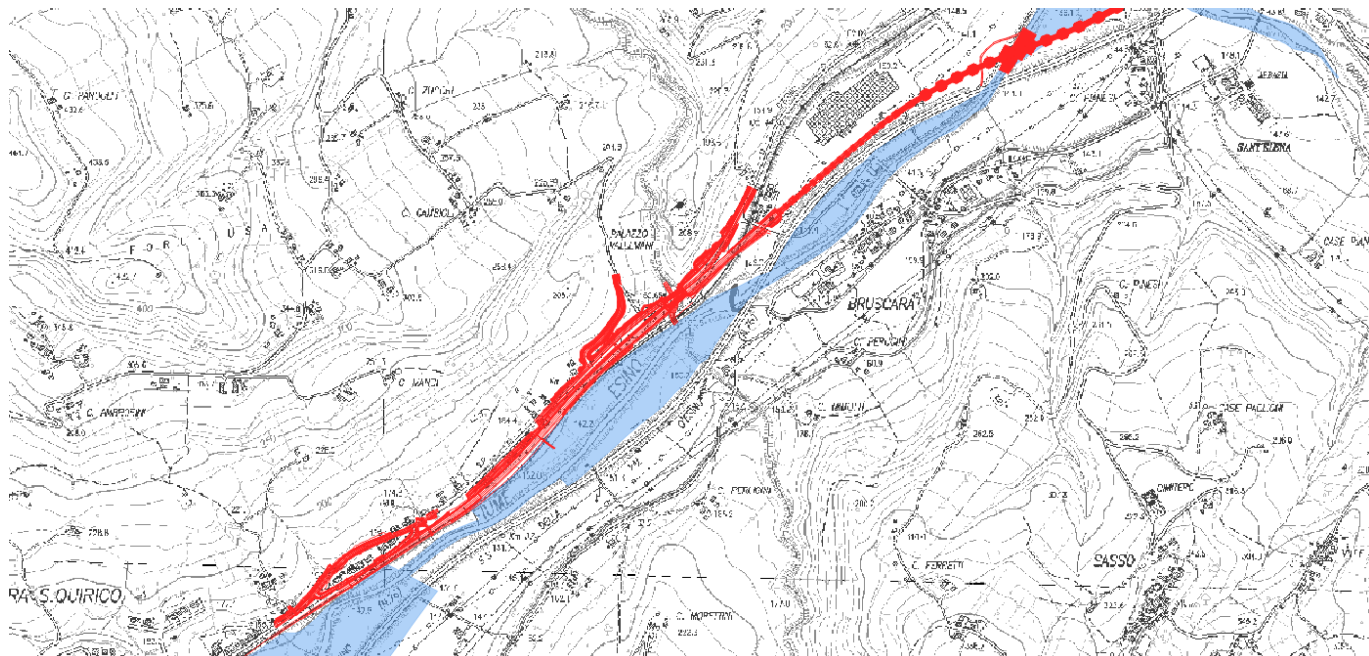


Figura 4-6: Aree classificate per il pericolo di esondazione con  $TR \leq 200$  – tratto compreso tra la prog km 0+000 e la prog. km 2+500

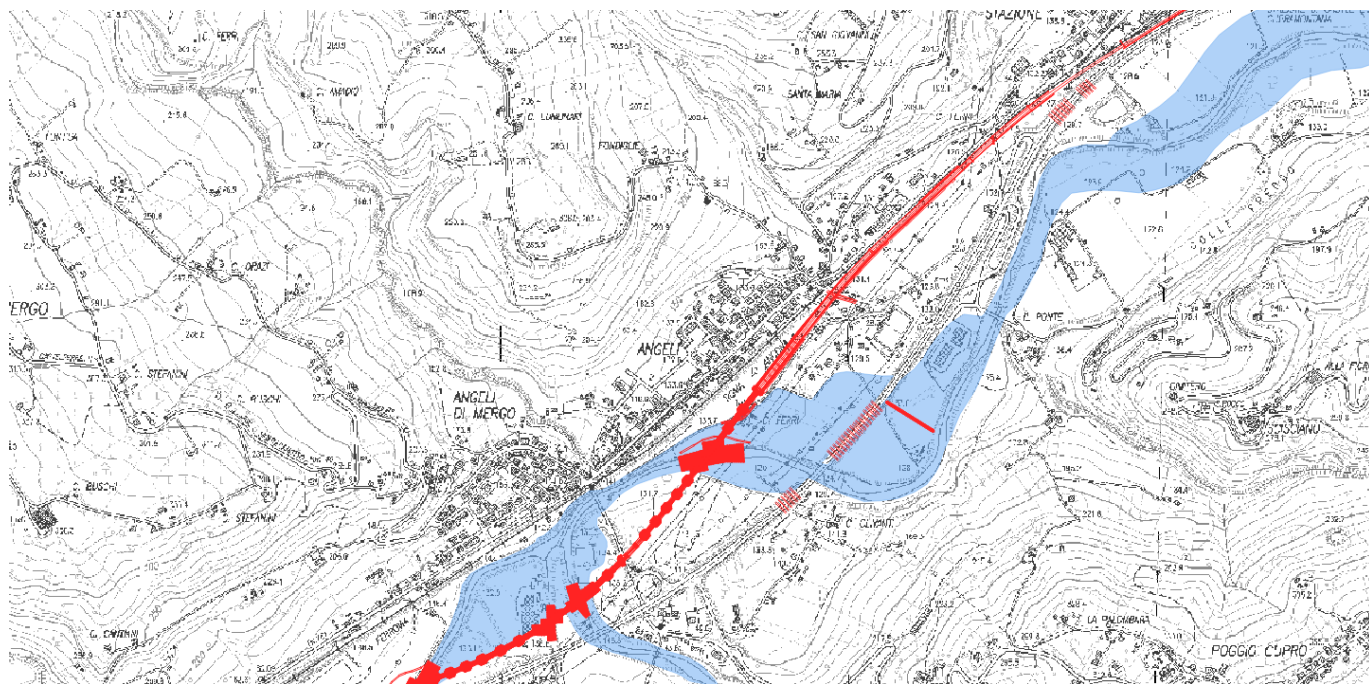


Figura 4-7: Aree classificate per il pericolo di esondazione con  $TR \leq 200$  – tratto compreso tra la prog km 2+500 e la prog km 5+500



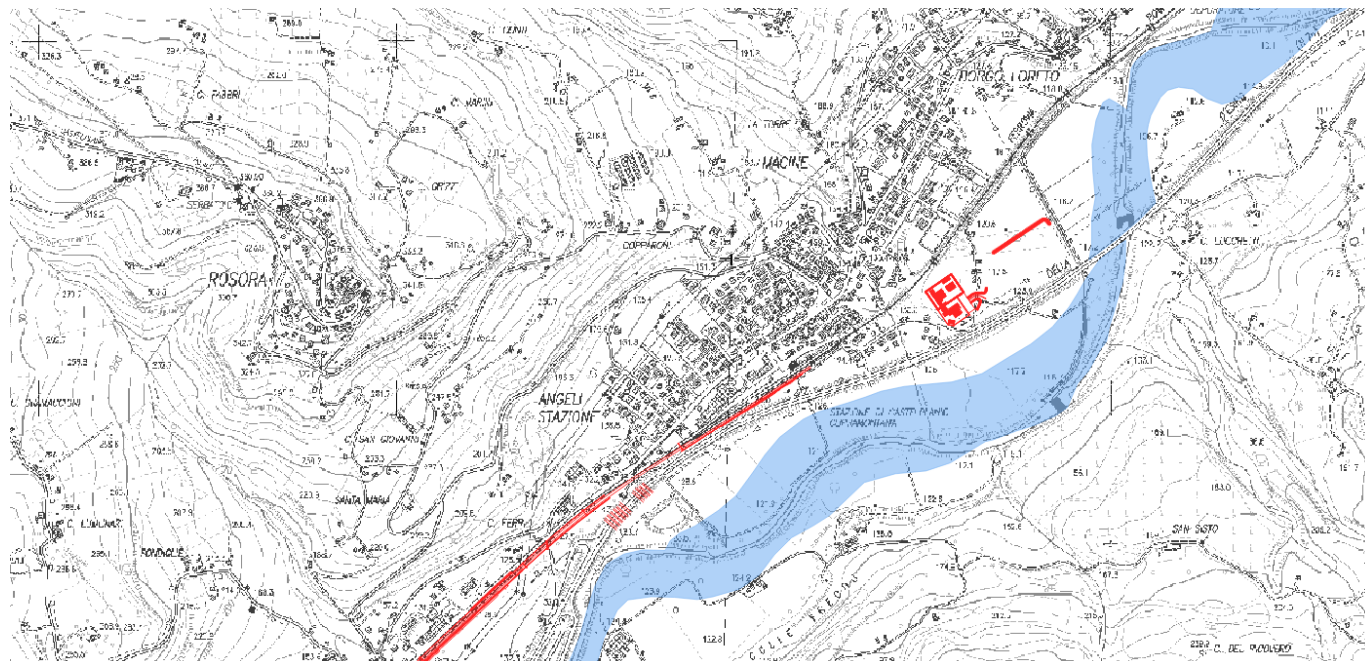


Figura 4-8: Aree classificate per il pericolo di esondazione con  $TR \leq 200$  – tratto compreso tra la prog km 5+00 e il fine intervento

Al pericolo di alluvionamento viene associato il rischio conseguente diviso nelle seguenti categorie:

- **R4** *rischio molto elevato*  
per il quale sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.
- **R3** *rischio elevato*  
per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale;
- **R2** *rischio medio*  
per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- **R1** *rischio moderato*  
per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli.

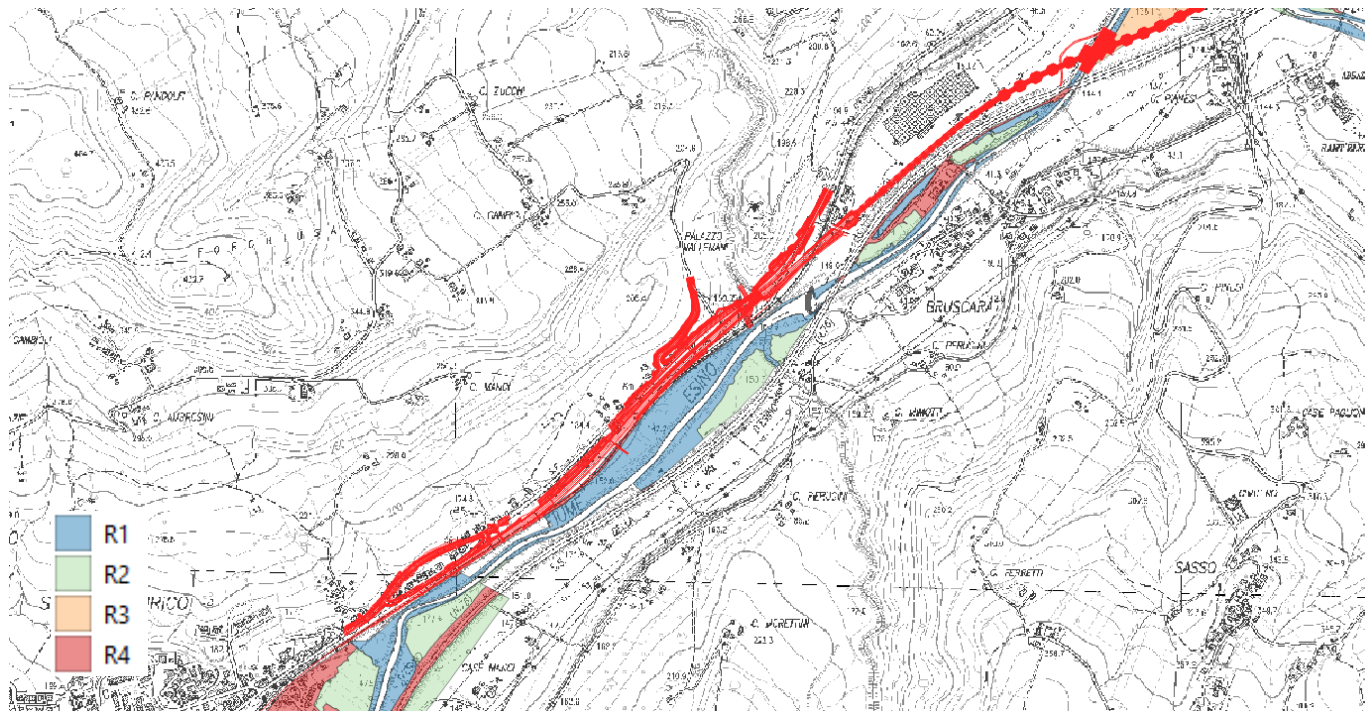


Figura 4-9: Aree classificate a rischio di esondazione – tratto compreso tra la prog km 0+000 e la prog. km 2+500

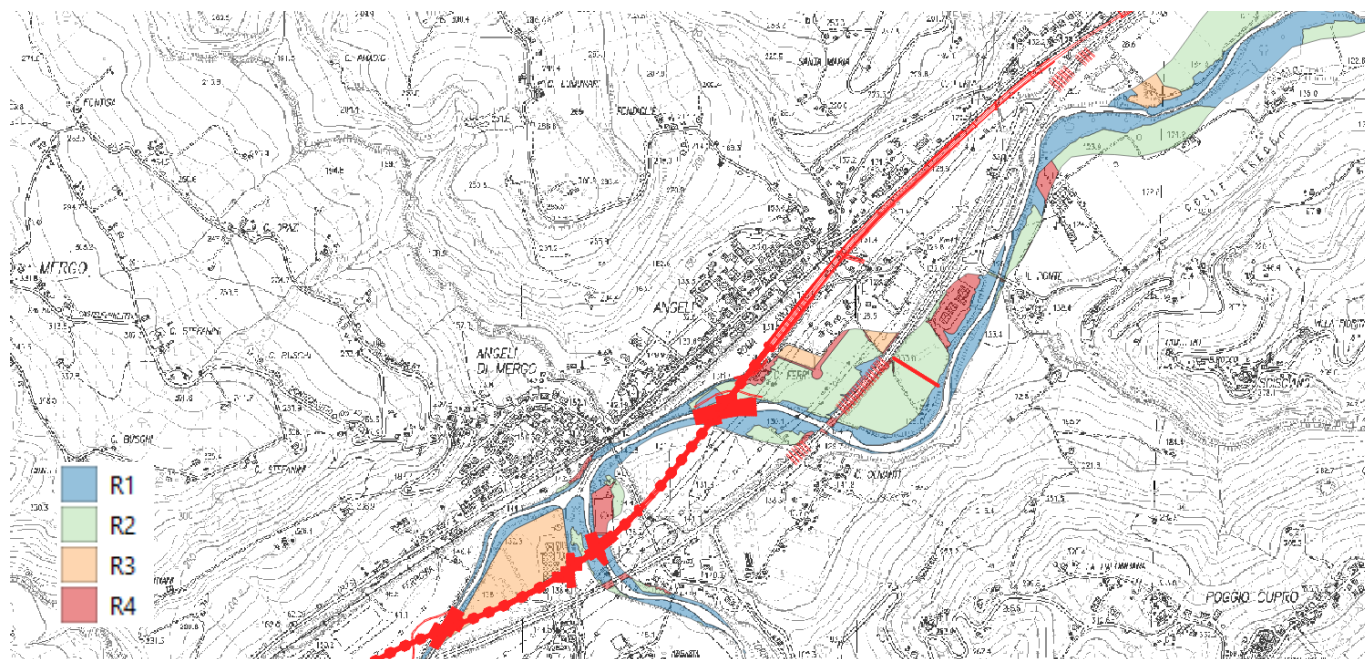
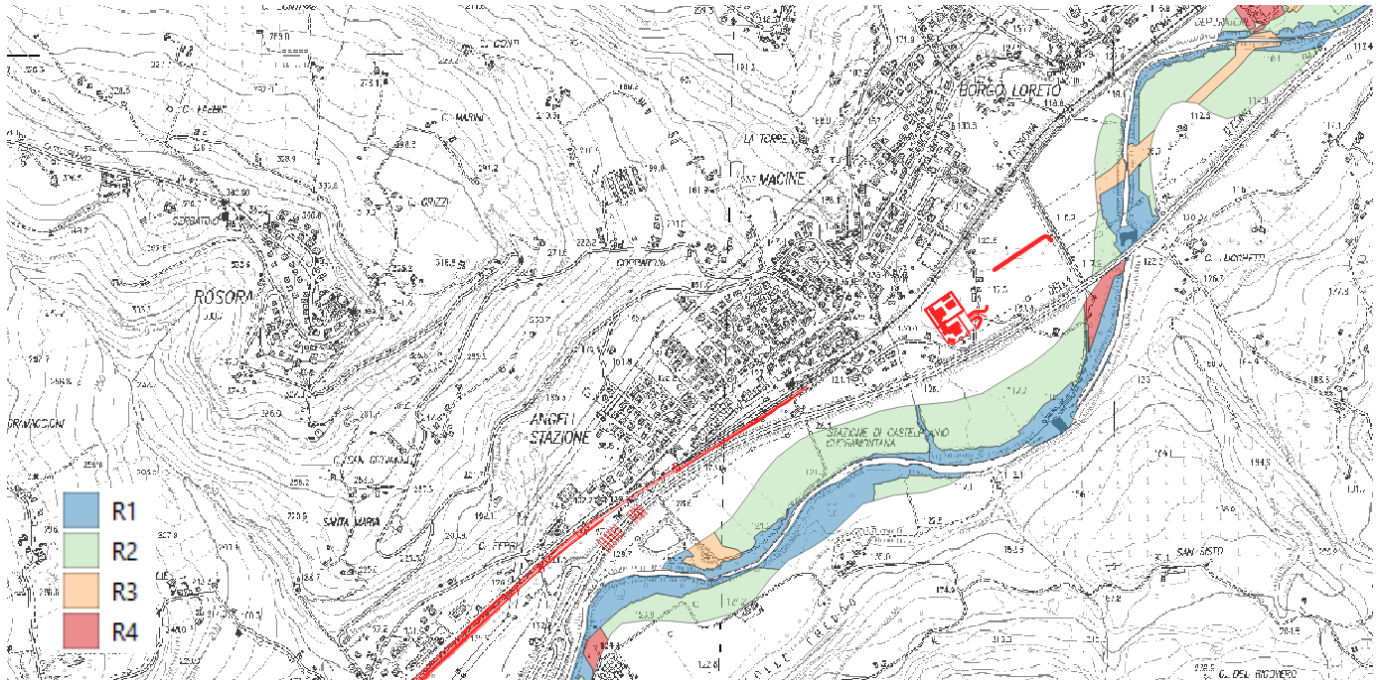


Figura 4-10: Aree classificate a rischio di esondazione – tratto compreso tra la prog km 2+500 e la prog km 5+500

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	35/67

Relazione Generale



*Figura 4-11: Aree classificate a rischio di esondazione – tratto compreso tra la prog km 5+00 e il fine intervento*

Come si evince dagli stralci che precedono, nel tratto in cui è segnalata l'interferenza in corrispondenza degli attraversamenti del Fiume Esino la linea ferroviaria di progetto interessa aree principalmente classificate R1 ed R2, e, più marginalmente aree a rischio R3 ed R4.

Nel tratto iniziale (fino a circa la pk 2+000) il sedime di progetto è a margine di un'area classificata a rischio R1.

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	36/67

Relazione Generale

#### **4.4 USO PREGRESSO DEL SITO ED INTERFERENZE CON AREE A RISCHIO CONTAMINAZIONE**

Per un maggiore dettaglio circa la materia dei siti contaminati, si rimanda all'elaborato specialistico IR0F03R69RGSB0000001A – Relazione Generale "SITI CONTAMINATI".

#### 4.5 CAMPIONAMENTO ED ANALISI

Nel corso delle attività di progettazione di fattibilità tecnico economica 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; 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 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 sottoterraneo 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.

Come precedentemente riportato, per la rappresentazione grafica dei punti di campionamento, le tabelle riepilogative e relativi rapporti di prova delle indagini di caratterizzazione ambientale svolte si rimanda all'elaborato "*Schede Tecniche dei Siti di Produzione – IR0F03R69SHTA0000001B*".

##### 4.5.1 Indagini ambientali sui terreni lungo linea

In corrispondenza delle aree oggetto di intervento, nel corso delle attività di progettazione di fattibilità tecnico 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, 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.

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

- n. 12 campioni di terre e rocce da scavo da cassetta catalogatrice prelevati dai sondaggi 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. e dell'Allegato 2, art. 3 del DM 46/2019.

SONDAGGI		
ID PUNTO	N° CAMPIONI	DENOMINAZIONE CAMPIONE
FCS35/FCL35	3	Campione di terreno – FCS35/FCL35 (0-1 m)
		Campione di terreno – FCS35/FCL35 (1-2 m)
		Campione di terreno – FCS35/FCL35 (2-3 m)
FCL39	3	Campione di terreno – FCL39 (0-1 m)
		Campione di terreno – FCL39 (2-3 m)
		Campione di terreno – FCL39 (4-5 m)
FCL46	3	Campione di terreno – FCL46 (0-1 m)
		Campione di terreno – FCL46 (2-3 m)
		Campione di terreno – FCL46 (4-5 m)
FCL49	3	Campione di terreno – FCL49 (0-1 m)
		Campione di terreno – FCL49 (1-2 m)
		Campione di terreno – FCL49 (2-3 m)
<b>TOTALE</b>		<b>12</b>

*Tabella 4-9: 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 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 barattoli di plastica, barattoli in vetro e vials, 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 minifrigoferi portatili 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.

*Tabella 4-10: tabella riepilogativa dei campioni di terreno prelevati*

Accettazione	Tipologia	Denominazione campione
21LA0035658	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCS35/FCL35 (0-1 m)
21LA0035659	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCS35/FCL35 (1-2 m)
21LA0035660	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCS35/FCL35 (2-3 m)
21LA0035661	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCL39 (0-1 m)
21LA0035662	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCL39 (2-3 m)
21LA0035663	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCL39 (4-5 m)
21LA0035640	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCL46 (0-1 m)
21LA0035642	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCL46 (2-3 m)
21LA0035641	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCL46 (4-5 m)
21LA0035643	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCL49 (0-1 m)
21LA0035644	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCL49 (1-2 m)
21LA0035645	Suoli Tab 1-A + Tab 1-B	Campione di terreno - FCL49 (2-3 m)

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

*Tabella 4-11: Set analitico analisi di caratterizzazione ambientali dei terreni*

PARAMETRO	METODO	UM
<b>METALLI</b>		
Arsenico	EPA3051 6020	mg/kg
Cadmio	EPA3051 6020	mg/kg
Cobalto	EPA3051 6020	mg/kg
Cromo	EPA3051 6020	mg/kg
Cromo esavalente (VI)	EPA3060 7196	mg/kg
Mercurio	EPA3051 6020	mg/kg
Nichel	EPA3051 6020	mg/kg
Piombo	EPA3051 6020	mg/kg
Rame	EPA3051 6020	mg/kg
Zinco	EPA3051 6020	mg/kg
<b>COMPOSTI ORGANICI AROMATICI</b>		
Benzene	EPA5021 8260	mg/kg
Toluene	EPA5021 8260	mg/kg
Etilbenzene	EPA5021 8260	mg/kg

PARAMETRO	METODO	UM
Stirene	EPA5021 8260	mg/kg
Xileni	EPA5021 8260	mg/kg
Sommatoria composti organici aromatici	EPA5021 8260	mg/kg
Idrocarburi pesanti C >12	EPA 3541 1994 + EPA 3620C 2014 + EPA 8015C 2007	mg/kg SS
<b>IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI</b>		
Benzo(a)antracene	EPA3550 8270	mg/Kg SS
Benzo(a)pirene	EPA3550 8270	mg/Kg SS
Benzo(b)fluorantene	EPA3550 8270	mg/Kg SS
Benzo(k)fluorantene	EPA3550 8270	mg/Kg SS
Benzo(g,h,i)perilene	EPA3550 8270	mg/kg
Crisene	EPA3550 8270	mg/Kg SS
Dibenzo(a,e)pirene	EPA3550 8270	mg/kg
Dibenzo(a,l)pirene	EPA3550 8270	mg/kg
Dibenzo(a,i)pirene	EPA3550 8270	mg/kg
Dibenzo(a,h)pirene	EPA3550 8270	mg/kg
Dibenzo(a,h)antracene	EPA3550 8270	mg/Kg SS
Indenopirene	EPA3550 8270	mg/kg
Pirene	EPA3550 8270	mg/kg
Sommatoria composti aromatici policiclici	EPA3550 8270	mg/kg
<b>ALTRE SOSTANZE</b>		
Amianto SEM (Analisi Qualitativa)	DM 06/09/1994 SO n°129 GU n°220 20/09/1994 All. 1	Pres. - Ass.
Amianto SEM (Analisi Quantitativa)	DM 06/09/1994 SO n°129 GU n°220 20/09/1994 All. 1	mg/kg

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

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 il rispetto totale dei limiti di cui alla Colonna B (Siti a destinazione d'uso commerciale e industriale), mentre hanno evidenziato un superamento dei limiti di Colonna A (Siti a destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale) per il seguente analita:

- **Idrocarburi C>12** nel campione FCS35/FCL35 (da 0 m a -1 m)

Il superamento permane anche se confrontato con i limiti di cui al Decreto 1° marzo 2019 n. 46.



Piano di Utilizzo dei materiali di scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
Relazione Generale	IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	41/67

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), non riutilizzati nell'ambito del progetto, verranno conferiti come sottoprodotto in siti esterni da riambientalizzare. In riferimento a questi ultimi, si precisa che potranno essere utilizzati quei materiali che presentano concentrazioni conformi alla destinazione urbanistica del sito esterno (Colonna A o Colonna B, Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. 152/06 e.s.m.i. e Decreto 1 Marzo 2019 n. 46). Si ricorda comunque che sarà possibile riutilizzare in regime di sottoprodotto internamente al cantiere le terre che presentino superamenti di Colonna A. Inoltre, come da capitolo dedicato nel seguito della presente relazione, sono stati individuati anche potenziali siti esterni per il conferimento delle terre in regime di sottoprodotto anche entro i limiti di Colonna B.

#### 4.5.2 Indagini ambientali sulle acque sotterranee

In corrispondenza dei punti in cui è attesa la possibilità che si possa eventualmente verificare una interferenza con la falda durante la realizzazione delle opere in progetto, secondo quanto previsto dal D.P.R. 120/2017, sono stati eseguiti dei campionamenti di acque sotterranee, prelevati da piezometri installati in corrispondenza di alcuni dei sondaggi geognostici ed ambientali eseguiti.

In particolare n. 1 campione di acque sotterranee è stato prelevato nel giorno 28 Giugno 2021 nel punto denominato FCL49. L'ubicazione del punto di prelievo è riportata nell'allegato 3 all'elaborato correlato "Schede Tecniche dei Siti di Produzione – IR0F03R69SHTA0000001B".

Nella tabella seguente sono riportate la denominazione dei campioni prelevati e la tipologia di analisi eseguita.

Accettazione	Tipologia	Denominazione campione
21LA0040897	Acqua Sotterranea 152 tab.2	Campione di acque di falda - FCL49

*Tabella 12 - Riepilogo dei campioni acque sotterranee prelevati*

Di seguito si riportano gli analiti ricercati:

*Tabella 4-13: Set analitico acque sotterranee*

PARAMETRO	UM
<b>METALLI</b>	
Arsenico	µg/l
Cadmio	µg/l
Cromo	µg/l

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	42/67

Relazione Generale

Cromo esavalente (VI)	µg/l
Mercurio	µg/l
Manganese	µg/l
Nichel	µg/l
Piombo	µg/l
Rame	µg/l
Zinco	µg/l
<b>IDROCARBURI</b>	
Idrocarburi totali	[n-esano] µg/l
<b>IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI</b>	
Benzo(a)antracene	µg/l
Benzo(a)pirene	µg/l
Benzo(b)fluorantene	µg/l
Benzo(k)fluorantene	µg/l
Benzo(g,h,i)perilene	µg/l
Crisene	µg/l
Dibenzo(a,h)antracene	µg/l
Indeno(1,2,3-c,d)pirene	µg/l
Pirene	µg/l
Sommatoria idrocarburi policiclici aromatici	µg/l
<b>FITOFARMACI</b>	
Alaclor	µg/l
Aldrin	µg/l
Atrazina	µg/l
alfa-esacloroesano	µg/l
beta-esacloroesano	µg/l
gamma-esacloroesano	µg/l
Clordano	µg/l
DDD, DDT, DDE	µg/l
Dieldrin	µg/l
Endrin	µg/l
Eptacoloro	µg/l
Eptacoloro epossido	µg/l
Isodrin	µg/l
Endosulfan	mg/l
Eptabromodifeniletere	µg/l
Esaclorobutadiene	µg/l
Esabromodifeniletere	µg/l
Tetrabromodifeniletere	µg/l
Pentabromodifeniletere	µg/l
Sommatoria fitofarmaci	µg/l

<b>COMPOSTI ORGANICI AROMATICI</b>	
Benzene	µg/l
Etilbenzene	µg/l
Stirene	µg/l
Toluene	µg/l
Xileni	µg/l
<b>COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI</b>	
Clorometano	µg/l
Triclorometano	µg/l
Cloruro di Vinile	µg/l
1,2-Dicloroetano	µg/l
1,1-Dicloroetilene	µg/l
Tricloroetilene	µg/l
Tetracloroetilene	µg/l
<b>COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI</b>	
1,1-Dicloroetano	µg/l
1,2-Dicloroetilene	µg/l
1,2-Dicloropropano	µg/l
1,1,2-Tricloroetano	µg/l
1,2,3-Tricloropropano	µg/l
1,1,2,2-Tetracloroetano	µg/l
<b>COMPOSTI ALIFATICI ALOGENATI CANCEROGENI</b>	
Tribromometano (Bromoformio)	µg/l
1,2-Dibromoetano	µg/l
Dibromoclorometano	µg/l
Bromodiclorometano	µg/l
<b>COMPOSTI ALIFATICI ALOGENATI NON CANCEROGENI</b>	
Azoto ammoniacale (come N)	mg/l
Azoto nitroso (come N)	mg/l

Dall'analisi dei risultati ottenuti si evince che non sono stati registrati superamenti rispetto a quanto previsto dai limiti di legge di cui alla Tabella 2 Allegato 5 al titolo IV della parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

Nel documento correlato "Schede Tecniche dei Siti di Produzione – IR0F03R69SHTA0000001B" si riportano la tabella riepilogativa ed i rapporti di prova relativi ai risultati analitici delle acque sotterranee.

## 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 le trincee, le nuove viabilità e viadotti, opere di sostegno e opere idrauliche. In misura minore, invece, comporteranno la produzione di materiali di scavo i rilevati e la realizzazione dell'opera SSE Castelplanio.

#### 5.1.1 Scavo Tradizionale

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

### 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.

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.

TEMATICA	PRODUZIONE [mc]	RIUTILIZZO INTERNO [mc]		UTILIZZO ESTERNO [mc]	
		STESSA WBS	ALTRA WBS	RIFIUTI [mc]	SOTTOPRODOTTI [mc]
rilevati	6.553	-	-	3.218	3.335
trincee	123.539	14.280	45.201	-	64.058
nuove viabilità	96.071	20.198	19.298	15.000	41.576
opere idrauliche	5.362	-	-	4.290	1.072
opere di sostegno di linea e WBS secondarie	21.410	-	10.705	-	10.705
opere di sostegno viabilità	14.036	533	6.486	-	7.017
viadotti	110.672	-	-	-	110.672
SSE Castelplanio	3.000	-	-	-	3.000
idraulica	38.300	-	-	-	38.300
	<b>418.944</b>	<b>35.011</b>	<b>81.690</b>	<b>22.508</b>	<b>279.735</b>
		<b>116.701</b>			
		<b>ai sensi del DPR 120/2017</b>		<b>non gestibile ai sensi del DPR 120/2017</b>	<b>ai sensi del DPR 120/2017</b>

Tabella 5-1: Tabella riepilogativa quantitativi prodotti e loro gestione [mc in banco]

In riferimento alle tabelle sopra riportate, pertanto, la realizzazione del progetto inerente al raddoppio ferroviario della tratta PM228-Castelplanio, Lotto 3 porterà alla produzione di un quantitativo complessivo di 418.944 mc (in banco) di materiali da scavo 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: 116.701 mc di cui 35.011 mc riutilizzabile all'interno della stessa WBS e 81.690 mc utilizzabili in WBS diverse da quelle di produzione;
- riutilizzo esterno all'opera per attività di rimodellamento morfologico/recupero di siti esterni nell'ambito del D.P.R 120/2017: 279.735 mc;
- materiale da gestire come rifiuto ai sensi della Parte IV del D. Lgs.152/2006 e s.m.i.: 22.508 mc.

### 5.3 TRATTAMENTI DI NORMALE PRATICA INDUSTRIALE

Nell'ambito del presente progetto non sono previsti trattamenti di normale pratica industriale, così come definiti dall'Allegato 3 del DPR 120/2017.

Sono invece previsti potenziali trattamenti di stabilizzazione a calce su terre da scavo per un volume complessivo di 83.000 mc. Per ulteriori dettagli si faccia riferimento all'elaborato IR0F03R69RGTA0000003B.

## 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 dall'attuale MASE 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.*

*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 di fattibilità tecnico economica 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 "piazzole 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 riportato nei paragrafi precedenti, 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.

*Tabella 5-2: tabella riepilogativa del numero di cumuli per macrocategoria*

tematica	totale sottoprodotti (mc)	NUMERO ANALISI
		[1 ogni 5.000 mc]
rilevati	3.335	1
trincee	123.539	25
nuove viabilità	81.072	17
opere idrauliche	1.072	1
opere di sostegno di linea e WBS secondarie	21.410	5
opere di sostegno viabilità	14.036	3
sottovia	N.D.	0
viadotti	110.672	23
SSE Castelplanio	3.000	1
idraulica	38.300	8
<b>TOTALE</b>	<b>396.436</b>	<b>84</b>

Rispetto ai n. 84 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 = 84 cumuli realizzabili dall'intera massa di materiali di scavo da verificare per le opere all'aperto si prevede di analizzarne m ~ 22.**

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 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.



#### 5.4.2 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 e dei siti di destinazione o ai valori di fondo naturali.

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 alla destinazione d'uso del sito stesso (Colonne A o B, Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. e Decreto 1 Marzo 2019 n. 46).

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 e s.m.i., 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.

#### 5.4.3 Monitoraggio ambientale connesso al piano di utilizzo (CO)

Sulla base di quanto usualmente richiesto dal MASE 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.

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

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	51/67

Relazione Generale

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.

## 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...). 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;
- minimizzazione del consumo di territorio;
- minimizzazione dell'impatto sull'ambiente naturale ed antropico.
- riduzione al minimo delle interferenze con il patrimonio culturale esistente.

La tabella seguente illustra il sistema di cantieri previsto per la realizzazione delle opere.

Codice	Superficie (mq)	Tipologia	Comune (Provincia)	Stato attuale dell'area	Principali opere di riferimento
03_CB.01	10.592	Cantiere Base	Serra S. Quirico (AN)	terreno incolto	-
03_CO.01	22.211	Cantiere Operativo	Mergo (AN)	terreno incolto	-
03_AS.01	4.575	Area Stoccaggio	Mergo (AN)	terreno incolto	-
03_AS.02	6.844	Area Stoccaggio	Mergo (AN)	terreno incolto	-
03_AS.03	18.411	Area Stoccaggio	Mergo (AN)	terreno incolto	-
03_AS.04	35.408	Area Stoccaggio	Serra S. Quirico (AN)	pavimentata	-
03_AS.05	12.038	Area Stoccaggio	Cupramontana (AN)	uso agricolo	-
03_AS.06	15.887	Area Stoccaggio	Rosora (AN)	terreno incolto	-
03_AS.07	7.645	Area Stoccaggio	Rosora (AN)	terreno incolto	-
03_AS.08	3.800	Area Stoccaggio	Rosora (AN)	terreno incolto	-
03_AT.01	771	Area Tecnica	Serra S. Quirico (AN)	terreno incolto	IN01
03_AT.02	1.000	Area Tecnica	Serra S. Quirico (AN)	terreno incolto	IN02
03_AT.03	500	Area Tecnica	Serra S. Quirico (AN)	terreno incolto	IN03
03_AT.04	1.000	Area Tecnica	Serra S. Quirico (AN)	terreno incolto	IN04A
03_AT.05	500	Area Tecnica	Serra S. Quirico (AN)	terreno incolto	IN04
03_AT.06	1.500	Area Tecnica	Serra S. Quirico (AN)	terreno incolto	IN05
03_AT.07	3.072	Area Tecnica	Serra S. Quirico (AN)	terreno incolto	VI01
03_AT.08	4.290	Area Tecnica	Serra S. Quirico (AN)	terreno incolto	NW01
03_AT.09	1.364	Area Tecnica	Mergo (AN)	terreno incolto	SL01
03_AT.10	4.117	Area Tecnica	Mergo (AN)	terreno incolto	GA01
03_AT.11	11.121	Area Tecnica	Mergo (AN)	pavimentata	VI02
03_AT.12	12.981	Area Tecnica	Mergo (AN)	terreno incolto	VI02
03_AT.13	14.717	Area Tecnica	Serra S. Quirico (AN)	pavimentata	VI02
03_AT.14	2.383	Area Tecnica	Cupramontana (AN)	terreno incolto	VI02
03_AT.15	5.881	Area Tecnica	Cupramontana (AN)	uso agricolo	VI02
03_AT.16	12.914	Area Tecnica	Cupramontana (AN)	uso agricolo	VI02
03_AT.17	6.223	Area Tecnica	Rosora (AN)	uso agricolo	GA02-VI02
03_AT.18	3.100	Area Tecnica	Rosora (AN)	terreno incolto	IN12
03_AT.19	797	Area Tecnica	Rosora (AN)	terreno incolto	IN06
03_AT.20	932	Area Tecnica	Rosora (AN)	terreno incolto	IN07
03_AT.21	1.050	Area Tecnica	Rosora (AN)	terreno incolto	IN08-IN09
03_AT.22	511	Area Tecnica	Rosora (AN)	terreno incolto	IN08-IN09
03_AT.23	1.262	Area Tecnica	Rosora (AN)	pavimentata	IN10
03_AR.01	7.104	Cantiere Armamento	Jesi (AN)	pavimentata	-
03_DT.01	10.615	Deposito Terre	Serra S. Quirico (AN)	terreno incolto	-
03_DT.02	20.757	Deposito Terre	Serra S. Quirico (AN)	terreno incolto	-

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
Relazione Generale	IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	54/67

<b>03_DT.03</b>	<b>38.639</b>	<b>Deposito Terre</b>	<b>Maiolati Spontini (AN)</b>	<b>uso agricolo</b>	<b>-</b>
<b>03_AT.24</b>	13.700	Area Tecnica	Castelplanio (AN)	terreno incolto	TRP01-TRP02
<b>03_AT.25</b>	3.200	Area Tecnica	Rosora (AN)	terreno incolto	NI32-NI44
<b>03_AT.26</b>	3.112	Area Tecnica	Rosora (AN)	terreno incolto	NI32-NI44
<b>03_AT.27</b>	2.400	Area Tecnica	Rosora (AN)	terreno incolto	ponte viabilità provvisoria

*Tabella 6-1: tabella riepilogativa delle aree di cantiere*

In rosso sono evidenziate le aree di cantiere che si prevede di utilizzare come siti di deposito delle terre 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.

Inoltre, sono state individuate anche n. 3 aree per il deposito delle terre e rocce da scavo (DT), evidenziate in grassetto nella tabella precedente.

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 scoticato 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;
- 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.

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.

Nella presente fase progettuale sono state prodotte delle schede cartografiche che riportano per ogni deposito terre/cantiere (doc. correlato *IR0F03R69SHTA0000002B* – Piano di Utilizzo dei Materiali da Scavo – Schede Tecniche dei Siti di Deposito Intermedi) le seguenti informazioni:

- Schede cartografiche siti di deposito in attesa di utilizzo e aree di cantiere
- Viabilità conferimento materiali da scavo

### **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 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. Inoltre, saranno tenuti separati i materiali di scavo da gestire in qualità di sottoprodotti conformi ai limiti di cui alla Colonna A, Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. n. 152/2006 e s.m.i. da quelli conformi ai limiti di cui alla Colonna B, Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. n. 152/2006 e s.m.i. o al DM 46/2019.

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);
- 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) e, 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 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 sui mezzi di trasporto di GPS.

Nel doc. correlato "*IR0F03R69SHTA0000002B – Piano di Utilizzo dei Materiali da Scavo – Schede Tecniche dei Siti di Deposito Intermedio*" 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 MASE 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.

## 7 SITI DI DEPOSITO FINALE

La realizzazione delle opere previste determina la produzione complessiva di circa 418.944 mc (in banco) di materiali di risulta.

In linea con i principi ambientali di favorire il riutilizzo dei materiali piuttosto che lo smaltimento, i materiali di risulta prodotti verranno, ove possibile, riutilizzati nell'ambito degli interventi in progetto o in siti esterni, mentre i materiali di risulta non riutilizzabili o in esubero rispetto ai fabbisogni del progetto verranno invece gestiti in regime di rifiuto e conferiti presso impianti esterni di recupero/smaltimento autorizzati.

In particolare, in riferimento ai materiali terrigeni, sulla base dei risultati ottenuti a seguito delle indagini di caratterizzazione ambientale svolte in fase progettuale, delle caratteristiche geotecniche e dei fabbisogni di progetto che ammontano a 203.678 mc, gli interventi necessari al raddoppio della tratta PM228-Castelplanio Lotto 3 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 terre in attesa di utilizzo 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 116.701 mc (in banco);
- **materiali da scavo da riutilizzare all'esterno dell'appalto**, gestiti ai sensi del D.P.R. 120/2017 ed ammontanti a 279.735 mc (in banco)
- **materiali di risulta in esubero** non riutilizzati nell'ambito delle lavorazioni come sottoprodotti ai sensi del D.P.R. 120/2017 e pertanto gestiti in regime rifiuti: tali materiali ammontano a 22.508 mc (in banco) e saranno gestiti ai sensi della Parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei materiali movimentati nell'ambito del presente progetto con indicazione dei materiali di risulta prodotti, dei fabbisogni di materiali necessari per la realizzazione delle opere e dei materiali di risulta prodotti destinati a riutilizzo come sottoprodotto e/o rifiuto.

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 (mc)
418.944	203.678	35.011	81.690	86.978	279.735	22.508

Tabella 7-1: Tabella riassuntiva dei materiali movimentati

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.

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, la distribuzione dei riutilizzi interni nella stessa WBS di produzione o in diversa WBS è da ritenersi calata sull'attuale fase progettuale.

## 7.1 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 dell'appalto in qualità di sottoprodotti *116.701 mc* (in banco) di materiali di cui:

- *35.011 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 stabilizzazione a calce per le terre da scavo;
- *81.690 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 stabilizzazione a calce per le terre da scavo.

Si evidenzia che i riutilizzi interni al progetto sono stati valutati considerando anche le effettive possibilità di riutilizzo dettate dal cronoprogramma di progetto.

## 7.2 RIUTILIZZO FINALE ESTERNO AL PROGETTO

Come anticipato sopra, i materiali di risulta in esubero, non riutilizzati nell'ambito dell'appalto (*279.735 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;

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
Relazione Generale	IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	61/67

- 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.

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/Amministrazione territorialmente competenti, ricadenti in un raggio di circa 50 km dal tracciato di progetto, nonché la consultazione degli strumenti urbanistici di settore provinciali e regionali.

Più in dettaglio, 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, come si evince da quanto riportato in Allegato 1 del documento correlato "IR0F03R69SHTA0000003A – Piano di Utilizzo dei Materiali da Scavo – Schede Tecniche dei Siti di Deposito Finale".

Nome Ditta	Nome sito	Comune	Provincia	mc	Tipo di intervento
Bies Srl	Cava Corone	Giano dell'Umbria	Perugia	100.000	Ricomposizione ambientale
Consorzio Madonna del Piano	Cava Consorzio Madonna del Piano	Corinaldo	Ancona	400.000	Recupero ambientale
GMP SpA	Cava Casa Nova	Marsciano	Perugia	500.000	Riambientamento di cava
	Ex Cava Valburiana	Nocera Umbra	Perugia	515.000	
Gruppo Biagioli Srl	Cava Pian Nuovo	Orvieto	Terni	500.000	Ricomposizione ambientale
				da definire	
Inerti Cesano Snc	Piano Camorri	Sassoferrato	Ancona	70.000	Ritombamento di cava
	Canderico			71.440	
LIM Srl	Piano di Sant'Antonio	Colli al Metauro	Pesaro Urbino	1.000.000	Riempimenti ambientali
	Torno	Fano			
	Miralbello	San Lorenzo in Campo			
Pierfederici Group Srl	Cave Montebianco - Senigallia	Senigallia	Ancona	600.000	Rimodellamento morfologico

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	62/67

Relazione Generale

SEAS Srl	Cava Scannata	Umbertide	Perugia	500.000	Riambientalizzazione
SEMoTer Snc	Cava SEMoTer Snc Loc. Moano	Foligno	Perugia	80.000	Riambientalizzazione cava a fossa
Tecnostrade Srl	Schiavo	Marsciano	Perugia	100.000	Riambientalizzazione
	Bonifica agraria	Valfabbrica		600.000	Interventi di bonifica agraria
Umbria Filler Srl	Cava Loc. Camporia	Nocera Umbra	Perugia	265.000	Rimodellamento morfologico

Come si evince dai dati sopra riportati, lo scenario di conferimento complessivo (ca. 5.301.440 mc) definito nella presente fase progettuale permette ampiamente di soddisfare le esigenze di progetto (ca. 279.735 mc) relativamente ai sottoprodotti non riutilizzabili nell'ambito dell'appalto, anche considerando un ipotetico rigonfiamento post sistemazione pari al 20%.

Si evidenzia inoltre che 11 dei siti sopra elencati sono già in possesso di idonea autorizzazione al recupero ambientale, per un volume totale pari a circa 3.241.440 mc.

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;
- 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.

### 7.3 CARATTERIZZAZIONE DEI SITI DI DEPOSITO FINALE INDIVIDUATI

#### 7.3.1 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.

### 7.4 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 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 1.220 giorni naturali e consecutivi (ca 3 anni e 4 mesi).

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.

Piano di Utilizzo dei materiali di scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	64/67

Relazione Generale

## **Allegato 1 - Quantitativi di materiali di scavo prodotti**

### Tabella di Riutilizzo





	OPERE DI SOSTEGNO VIABILITA'	14.036	Scavo con bentonite	13.503			Inerti per calcestruzzi/anticapillare	0	rilevati/supercompattato	4.211	ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	1.404	ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	1.404	terreno vegetale	0		Inerti per calcestruzzi/anticapillare	18.640	rilevati/supercompattato	0	ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	533	ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	terreno vegetale	0	533	IN RILEVATI	871	0	7.017	7.017	0		
			Rimozione rilevato esistente/ gradonatura	0																																
SL01	SOTTOVIA	0	Scavo	0			Inerti per calcestruzzi/anticapillare	0	rilevati/supercompattato	0	rinterri/ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	rinterri/ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	terreno vegetale	0		Inerti per calcestruzzi/anticapillare	720,00	rilevati/supercompattato	0	rinterri/ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	rinterri/ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	terreno vegetale	0				720	0	0	0		
			Scavo con bentonite	0																																
			Rimozione rilevato esistente/ gradonatura	0																																
/	VIADOTTI	110.672	Scavo	56.640			Inerti per calcestruzzi/anticapillare	0	rilevati/supercompattato	0	rinterri/ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	rinterri/ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	terreno vegetale	0		Inerti per calcestruzzi/anticapillare	0,00	rilevati/supercompattato	0	rinterri/ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	rinterri/ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	23.744	terreno vegetale	0		DA TRINCEE, NUOVA VIABILITA', OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA E WBS SECONDARIE, OPERE DI SOSTEGNO DI VIABILITA', ROSA NUOVA VIABILITA'	21.318	2.426	0	110.672	110.672	0	
			Scavo con bentonite	54.032																																
			Rimozione rilevato esistente/ gradonatura	0																																
/	IDRAULICA	38.300	Scavo	38.300			Inerti per calcestruzzi/anticapillare	0	rilevati/supercompattato	0	rinterri/ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	rinterri/ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	terreno vegetale	0		Inerti per calcestruzzi/anticapillare	0,00	rilevati/supercompattato	0	rinterri/ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	rinterri/ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	terreno vegetale	0				0	38.300	38.300	0		
			Scavo con bentonite	0																																
			Rimozione rilevato esistente/ gradonatura	0																																
/	SSE CASTELPIANIO	3.000	Scavo	3.000			Inerti per calcestruzzi/anticapillare	0	rilevati/supercompattato	0	rinterri/ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	rinterri/ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	terreno vegetale	0		Inerti per calcestruzzi/anticapillare	0,00	rilevati/supercompattato	0	rinterri/ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	rinterri/ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	terreno vegetale	0				0	3.000	3.000	0		
			Scavo con bentonite	0																																
			Rimozione rilevato esistente/ gradonatura	0																																
	OPERE A VERDE	0		0			Inerti per calcestruzzi/anticapillare	0	rilevati/supercompattato	0	rinterri/ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	rinterri/ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali	0	terreno vegetale	0		Inerti per calcestruzzi/anticapillare		rilevati/supercompattato		rinterri/ritombamenti sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali		rinterri/ritombamenti NON sottoposti ad azioni ferroviarie e/o stradali		terreno vegetale	12.616				12.616	0	0	0		
		418.944		418.944				0		62.459		20.820		20.820		12.602			64.361			55.125		35.728		23.744	24.720	35.011	81.690	81.690	86.978	302.243	279.735	22.508		

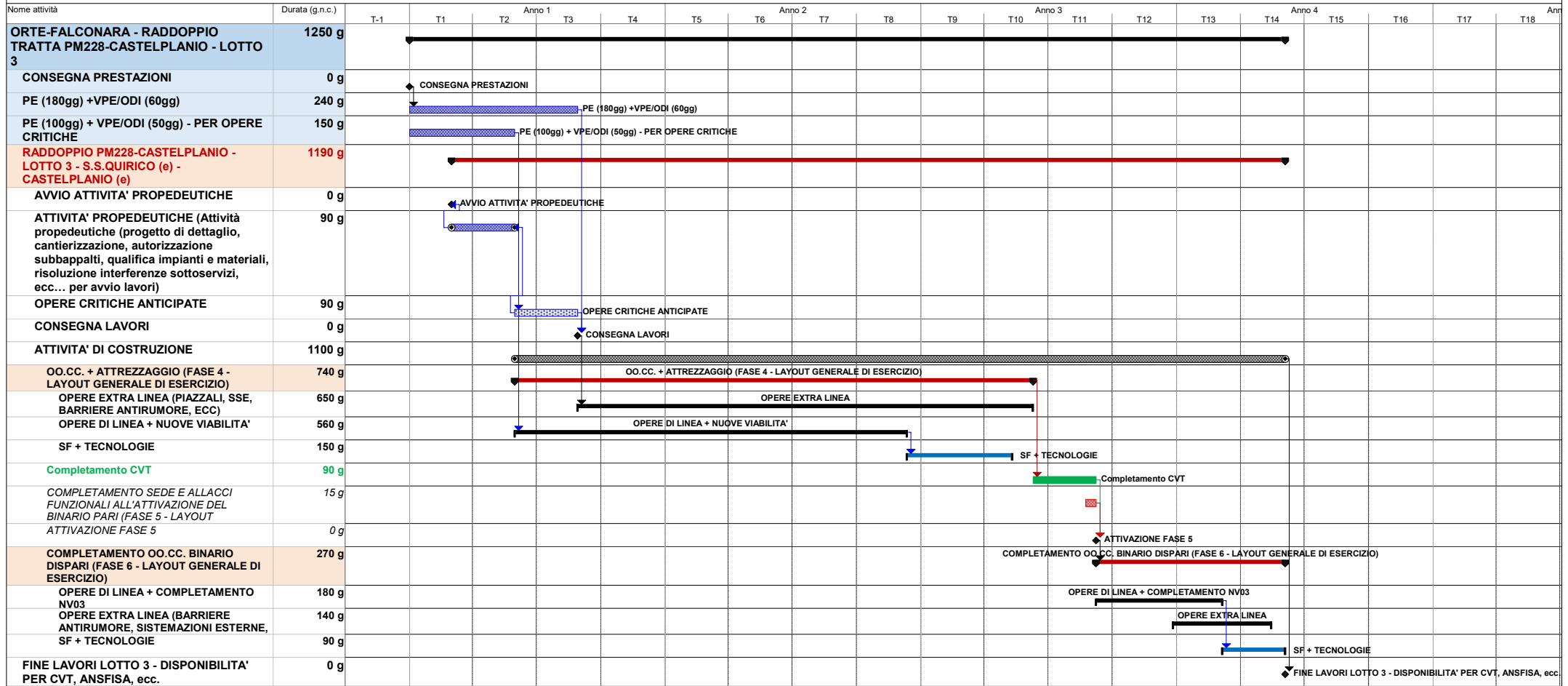
Piano di Utilizzo dei materiali di scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
IR0F	03	R 69	RG TA 00 00 002	E	65/67

Relazione Generale

## **Allegato 2 - Cronoprogramma lavori**

IR0F03R53PHCA000001B



**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.

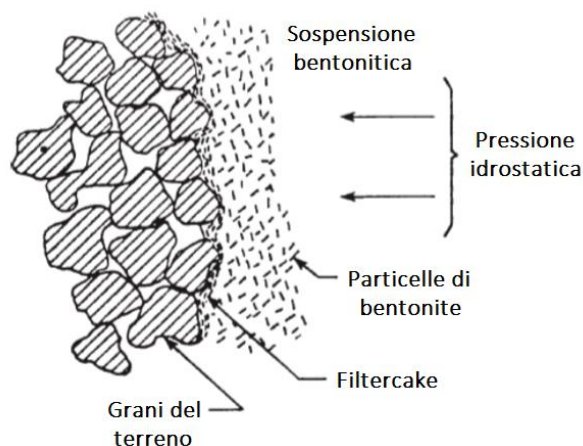


Figura 1: Formazione del filtercake.

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

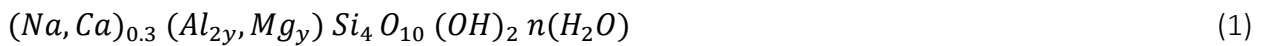
#### 3.1 Il materiale, i prodotti commerciali e la composizione mineralogica

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.

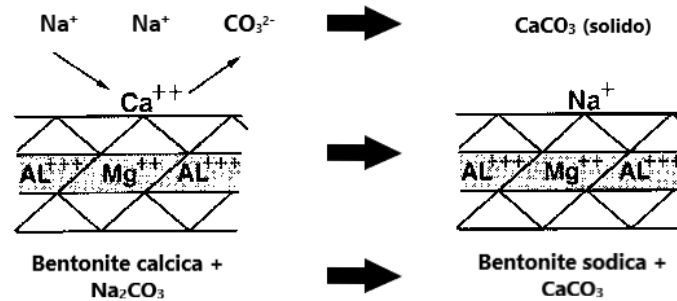


Figura 2: Schema di attivazione della bentonite calcica con carbonato di sodio.

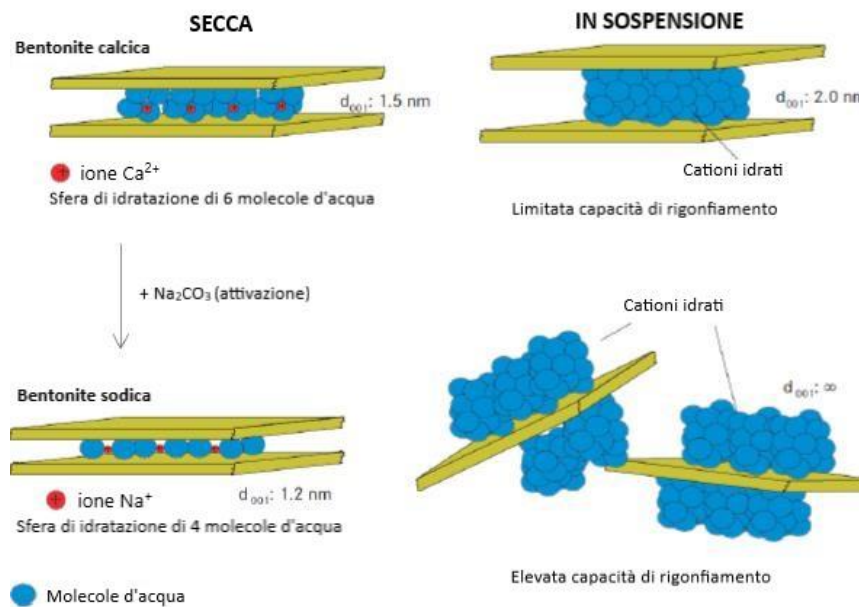


Figura 3: Confronto tra bentonite calcica e sodica.

Segue una fase di essiccazione a temperatura controllata (non oltre i 500°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.

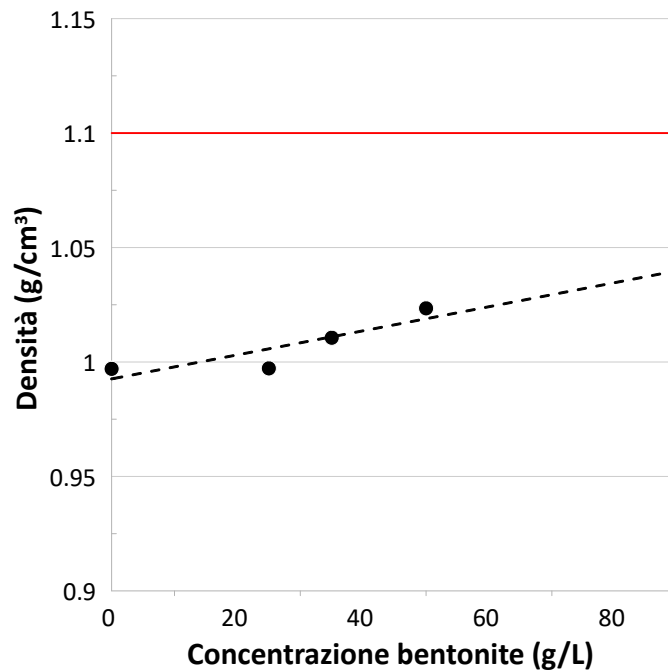


Figura 4: Valori di densità ottenuti a diverse concentrazioni di bentonite, interpolazione lineare di tali valori e limite imposto dalla normativa.

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.

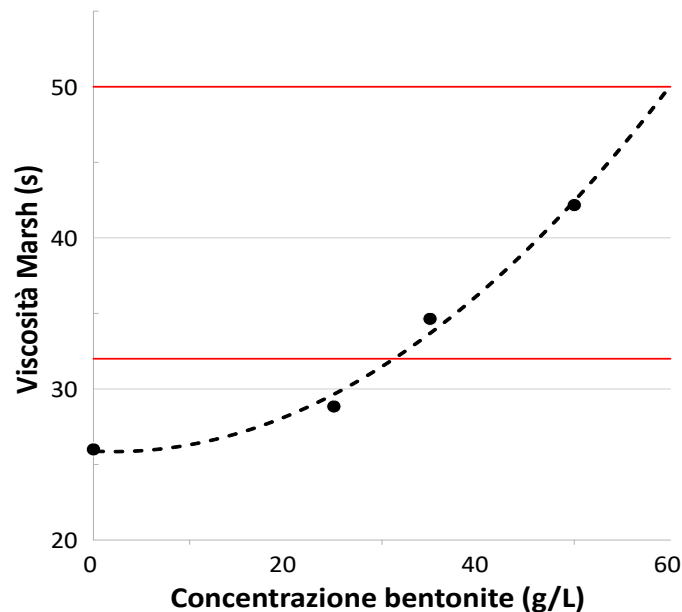


Figura 5: Valori di viscosità Marsh ottenuti a diverse concentrazioni di bentonite, interpolazione polinomiale di tali valori e limite imposto dalla normativa.

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.

**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).

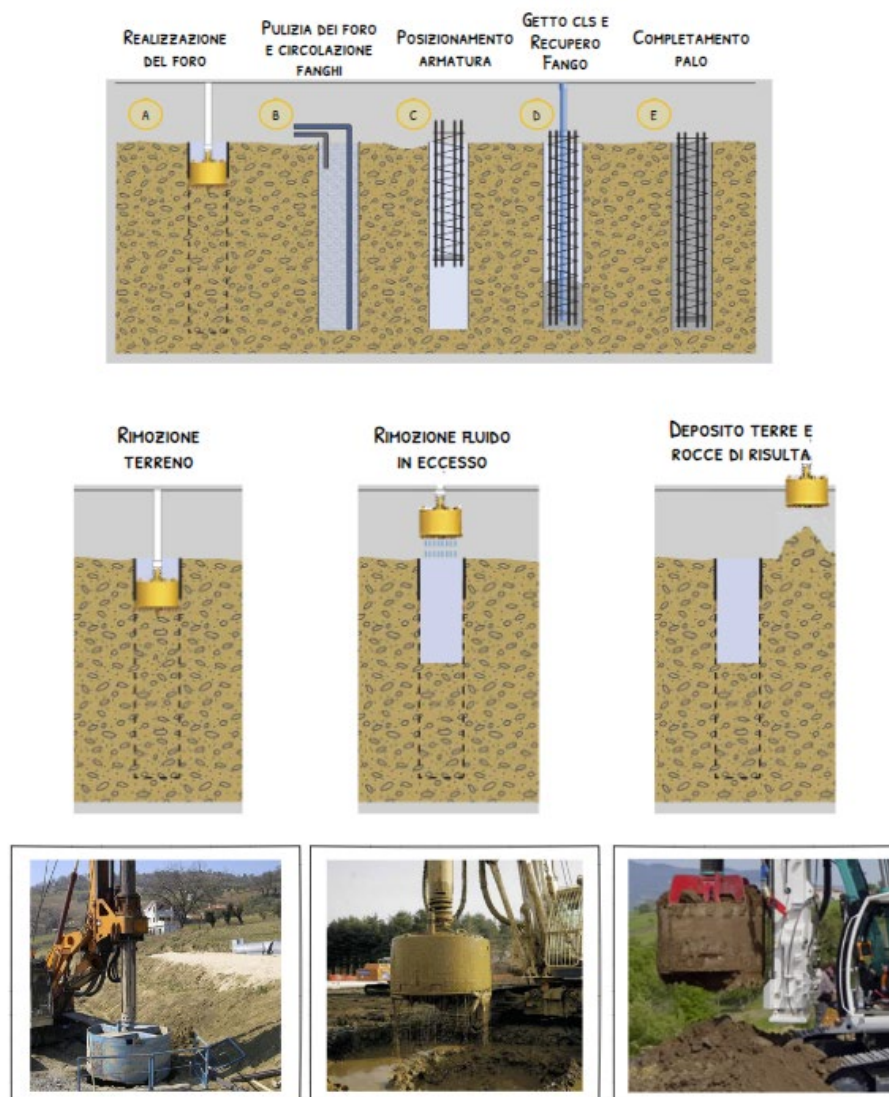


Figura 1. Schema semplificato della realizzazione di un palo.

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.

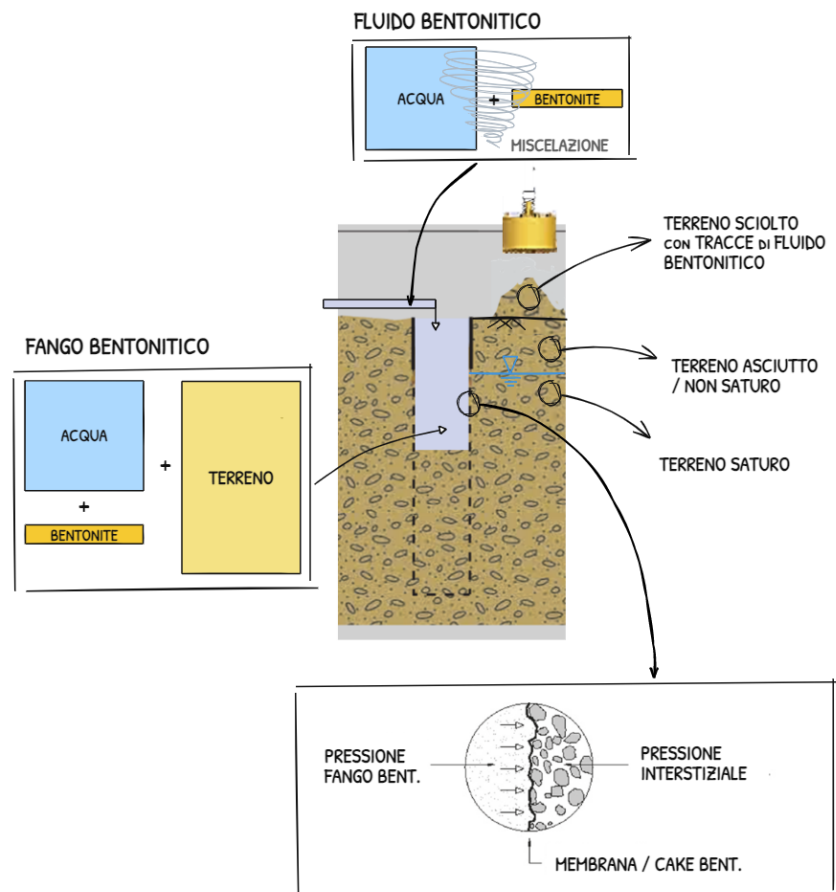


Figura 2. Sezione di un palo in costruzione con specifici riferimenti all'interazione tra fluido di perforazione e terre e rocce da scavo.

## 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 essiccazione, 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  $1.25 \text{ g/cm}^3$ . 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

---

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

---

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).

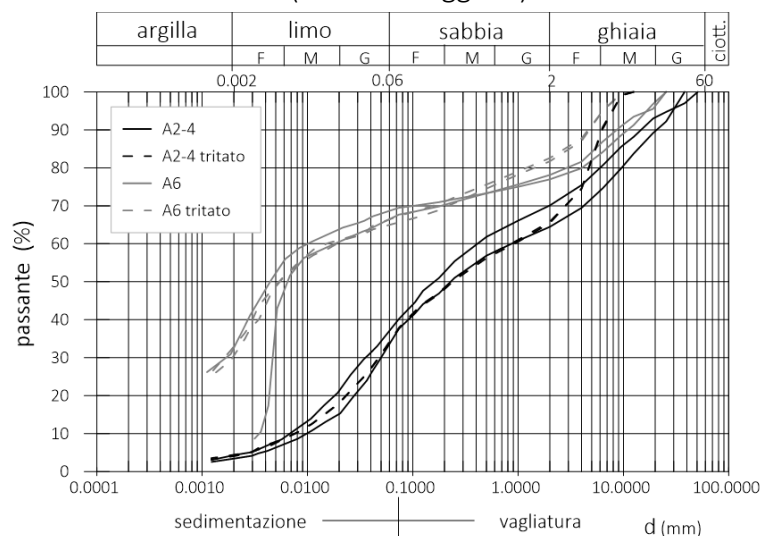


Figura 8. Curve granulometriche dei terreni.

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

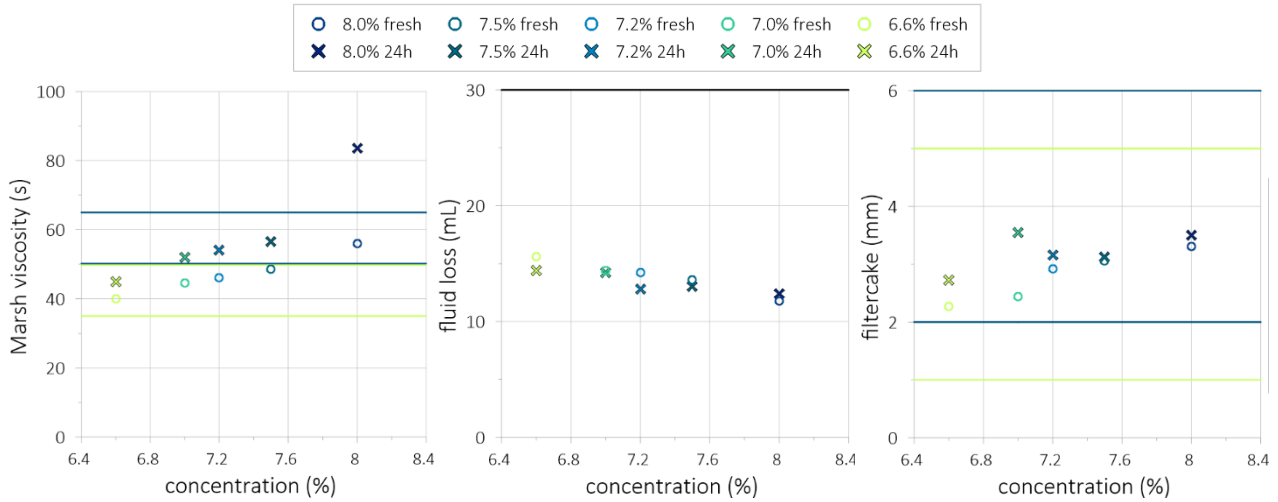


Figura 9. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Imerys CE/P.

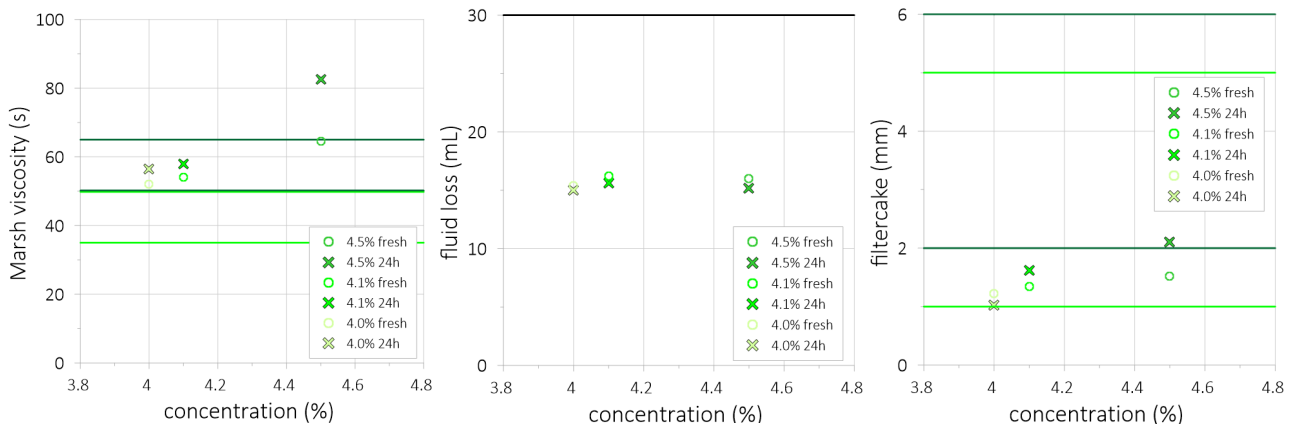


Figura 10. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Imerys PAL 1 TIPO 3.

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.

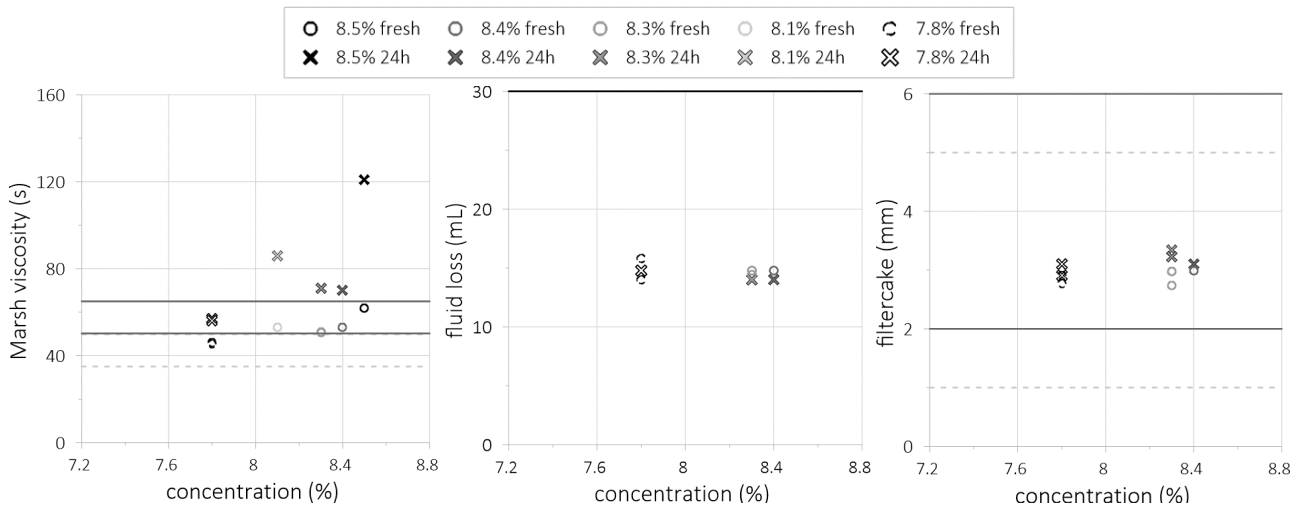


Figura 11. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Laviosa BENTOSUND 120 E.

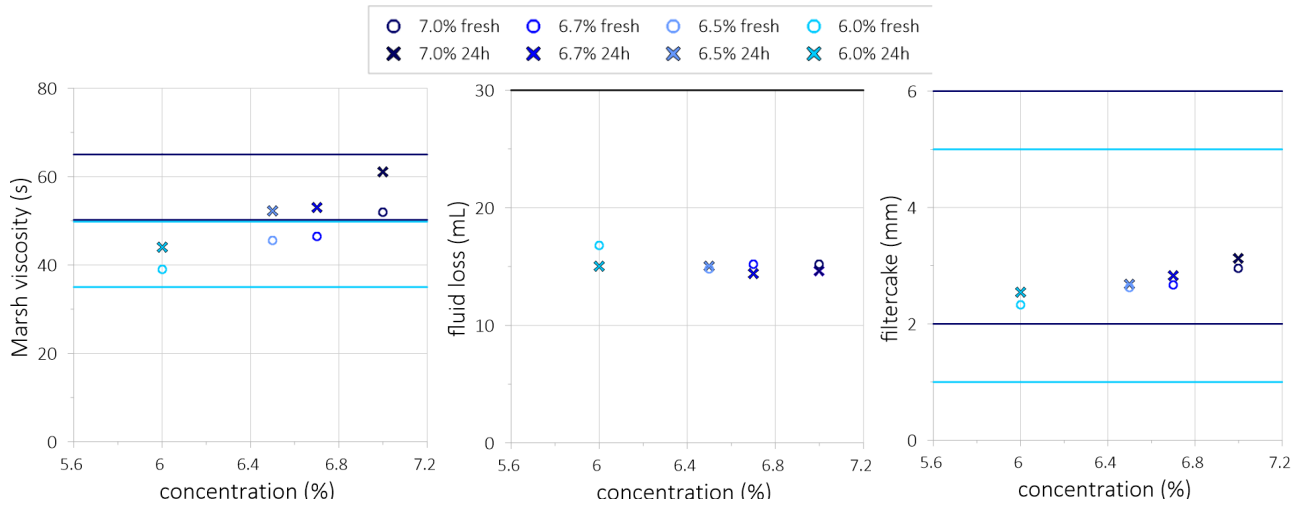


Figura 12. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Laviosa BENTOSUND 120 SS.

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.

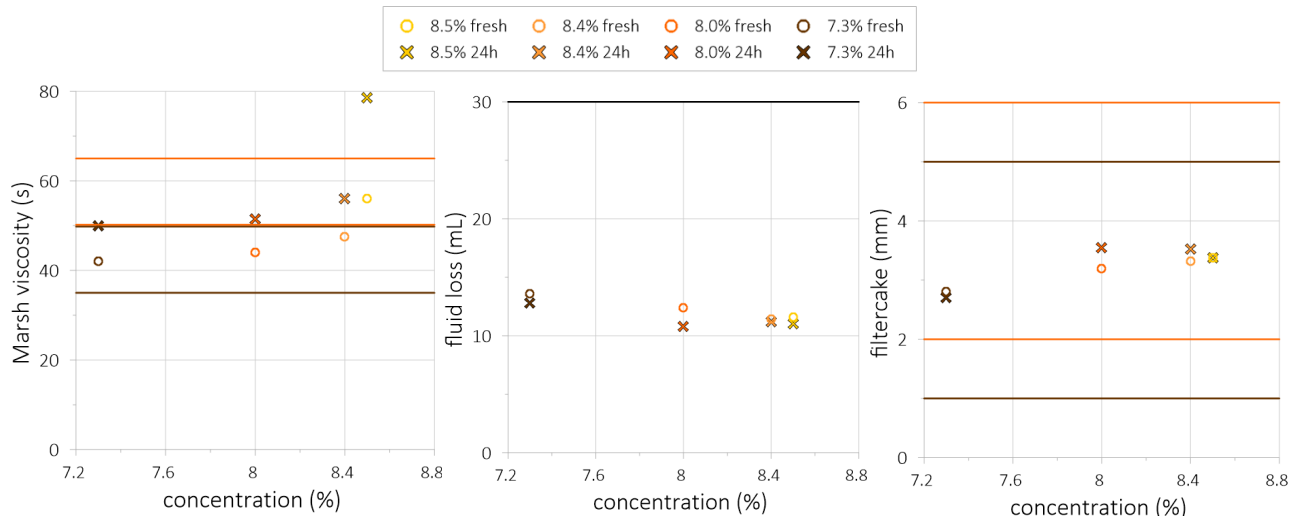


Figura 13. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL CS.

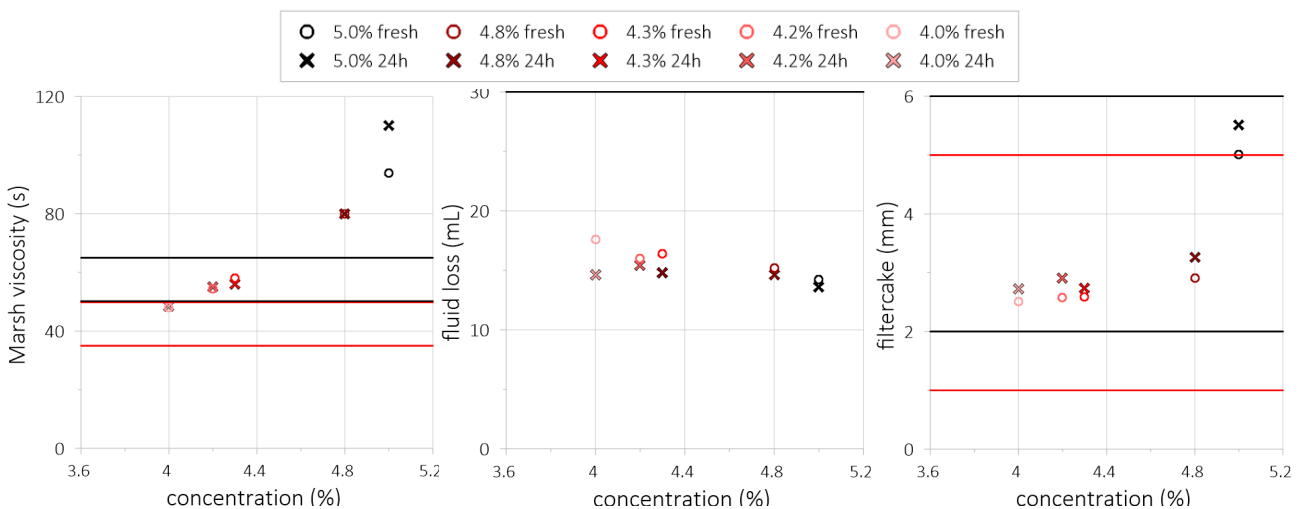


Figura 14. Studio sui parametri reologici/fisici della bentonite Sipag Bisalta BENTOGEL HP3.

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>
	<b>idrocarburi pesanti (C&gt;12)</b>	<b>mg/kg</b>	<b><u>7.14</u></b>	<b><u>7.14</u></b>	<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
nichel	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
nichel	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

## aromatici

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

## IPA

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

## idrocarburi

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
nicel	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.

campioni	% immobilizzazione <i>Daphnia magna</i>	% inibizione <i>Vibrio fischeri</i>	% mortalità <i>Heterocyprys incongruens</i>
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 rocca 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.