
	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 1 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 00	

SITO ENIREWIND DI PORTO TORRES (SS)



BONIFICA PALTE FOSFATICHE

(ex Nuraghe Fase 2)

PROGETTO MODULO PALTE FOSFATICHE



RELAZIONE TECNICA

0		Ing.G.Locci	ENI Rewind	ENI Rewind	30/06/2023
Indice di Rev.	Descrizione Revisione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data
Questo documento è di proprietà Eni Rewind S.p.A. che se ne riserva tutti i diritti.					

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 2 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE E STATO DI FATTO DELL'AREA.....	7
3	STATO DI PROGETTO	8
3.1	DEFINIZIONE DEL LIVELLO PIEZOMETRICO DI PROGETTO	8
3.2	CARATTERISTICHE PLANO-ALTIMETRICHE.....	10
3.3	SISTEMI DI IMPERMEABILIZZAZIONE	10
3.3.1	<i>Impermeabilizzazione del fondo.....</i>	<i>11</i>
3.3.2	<i>Impermeabilizzazione delle pareti.....</i>	<i>12</i>
3.3.3	<i>Considerazioni sui materiali</i>	<i>13</i>
3.4	EQUIVALENZA IDRAULICA.....	14
3.4.1	<i>Valutazione dell'equivalenza idraulica del geocomposito</i>	<i>14</i>
3.4.2	<i>Trincea di ancoraggio teli.....</i>	<i>16</i>
3.5	SISTEMA DI DRENAGGIO, ESTRAZIONE E RILANCIO DEL PERCOLATO	16
3.6	SPECIFICHE TECNICHE DEI MATERIALI	17
3.6.1	<i>Argilla</i>	<i>17</i>
3.6.2	<i>Strato drenante e del bauletto drenante intorno alle tubazioni fessurate</i>	<i>18</i>
3.6.3	<i>Geocomposito bentonitico</i>	<i>19</i>
3.6.4	<i>Geomembrana in HDPE liscia con spessore > 2,5 mm.....</i>	<i>21</i>
3.6.5	<i>Geocomposito drenante.....</i>	<i>22</i>
3.6.6	<i>Tessuto non tessuto.....</i>	<i>23</i>
4	COPERTURA DEFINITIVA E RIPRISTINO AMBIENTALE	24
4.1	MORFOLOGIE FINALI.....	24
4.2	STRATIGRAFIA DEL CAPPING	25
4.2.1	<i>Strato di rottura capillare.....</i>	<i>26</i>
4.2.2	<i>Strato minerale compattato.....</i>	<i>27</i>
4.2.3	<i>Strato drenante</i>	<i>28</i>
4.2.4	<i>Strato superficiale di copertura</i>	<i>28</i>
4.2.5	<i>Geomembrana in HDPE dello spessore di 1,5 mm a aderenza migliorata.....</i>	<i>29</i>
4.2.6	<i>Geotessile tessuto non tessuto.....</i>	<i>30</i>
5	SERVIZI ACCESSORI E RETI TECNOLOGICHE	31
5.1	SISTEMA RILANCIO E STOCCAGGIO DEL PERCOLATO	31
5.2	SISTEMA DI RACCOLTA DELLE ACQUE METEORICHE	31
5.3	VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO ED INTERNA DEL SITO.....	32
5.4	RETI TECNOLOGICHE	32
5.4.1	<i>Impianto elettrico.....</i>	<i>32</i>
5.4.2	<i>Rete acque.....</i>	<i>33</i>
5.5	PESA	33
5.6	RECINZIONE ED ACCESSI.....	33
6	BILANCIO DELLE TERRE E DEI MATERIALI NATURALI PER LA COSTRUZIONE DEL MPF	34
6.1	PRESENZA DI CAVE PER LA FORNITURA DEI MATERIALI	35
7	PIANO DI GESTIONE.....	36
7.1	CRONOPROGRAMMA COSTRUZIONE E GESTIONE OPERATIVA DEL MODULO PALTE FOSFATICHE	36

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA			Pag. 3 di 38
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	



ELENCO ELABORATI

ELABORATI TECNICI

100076-ENG-F-F5-6002	Relazione tecnica
100076-ENG-F-F5-6002-All.1	Piano di gestione operativa
100076-ENG-F-F5-6002-All.2	Piano di ripristino ambientale
100076-ENG-F-F5-6002-All.3	Piano di gestione post-operativa
100076-ENG-F-F5-6002-All.4	Piano di sorveglianza e controllo
100076-ENG-F-F5-6002-All.5	Relazione geologica, geotecnica e sismica
100076-ENG-F-F5-6002-All.6	Relazione idrologica e idraulica
100076-ENG-F-F5-6002-All.7	Piano finanziario
100076-ENG-F-F5-6002-All.8	Cronoprogramma

ELABORATI GRAFICI

100076-ENG-F-F5-6002-All.9	Stato di fatto: planimetria di inquadramento
100076-ENG-F-F5-6002-All.10	Stato di fatto: rilievo topografico
100076-ENG-F-F5-6002-All.11	Stato di fatto: piezometria statica dell'area di progetto MPF
100076-ENG-F-F5-6002-All.12	Stato di progetto: planimetrie e sezioni sterri e riporti
100076-ENG-F-F5-6002-All.13	Stato di progetto: planimetria piano di posa barriera di confinamento
100076-ENG-F-F5-6002-All.14	Stato di progetto: planimetrie piano di posa rifiuti
100076-ENG-F-F5-6002-All.15	Stato di progetto: sezioni di fondo
100076-ENG-F-F5-6002-All.16	Stato di progetto: planimetria fine conferimento rifiuti
100076-ENG-F-F5-6002-All.17	Stato di progetto: planimetria recupero morfologico
100076-ENG-F-F5-6002-All.18	Stato di progetto: sezioni di fine conferimento e copertura
100076-ENG-F-F5-6002-All.19	Stato di progetto: particolari costruttivi vasca
100076-ENG-F-F5-6002-All.20	Stato di progetto: particolari costruttivi rete percolato
100076-ENG-F-F5-6002-All.21	Stato di progetto: planimetria reti e utilities
100076-ENG-F-F5-6002-All.22	Stato di progetto: planimetria rete acque meteoriche

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 4 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

1 PREMESSA

Il presente documento è la Relazione Tecnica di progetto, redatta ai sensi del D.Lgs. 36/2003 come modificato dal D.Lgs. 121/2020, relativa al Modulo Palte Fosfatich (nel seguito MPF), un impianto previsto nella *Bonifica Palte Fosfatich (ex Nuraghe Fase 2)*, finalizzato allo smaltimento dei materiali derivanti dalle attività di bonifica dell'area Palte Fosfatich e dell'area destinata agli impianti per la lavorazione dell'Acido Fosforico e del Tripolifosfato (in seguito area ex TPF), situate sul lato nord dello stabilimento Eni Rewind di Porto Torres (SS) entro il SIN omonimo.

Come meglio approfondito nella sezione "ELABORATI RADIOMETRICI", nell'allegato " Valutazione radiologica preliminare - Modulo palte fosfatich (MPF)" viene specificato che *"sulla valutazione di dose effettuata, i residui derivanti dal trattamento delle Palte Fosfatich potranno essere conferiti alla discarica MPF senza che la stessa debba avere specifici requisiti di cui all'art. 26 del D.Lgs. 101/2020 e s.m.i. come indicato All. 2 SEZIONE 2 Comma 4 Punto 7."*

Per quanto concerne l'efficacia in termini di radioprotezione del MPF, così come nel seguito descritto, si evidenzia che con nota n. 22503/2016/AREA V del 21/03/2016 il Prefetto della Provincia di Sassari ha decretato che:



È approvato il "Progetto Nuraghe - Progetto operativo di bonifica dei suoli delle Aree Palte Fosfatich, Minciaredda e Peci DMT ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.e.i. - Rielaborazione per fasi - Novembre 2015" della Syndial S.p.A. di San Donato Milanese (MI), per quanto concerne quella parte ricadente nell'ambito di applicazione dell'art.126-bis del D.Lgs. n.230/1995 ovverosia per gli interventi inerenti la bonifica dell'Area Palte fosfatich anzidetta e di successivo trattamento tramite Modulo Palte Fosfatich.

Di subordinare la suddetta approvazione alle seguenti prescrizioni e condizioni:

- *che i valori dell'obiettivo di bonifica, in termini di attività residua in situ, devono essere almeno la metà dei limiti di cui alla norma 'Radiation Protection 122 part 2 - Livelli di Clearance per materiali contenenti NORM;*
- *che il valore di obiettivo di bonifica, in termini di dose efficace alla popolazione del luogo, non superi il valore di 3,3 mSv, valore assunto come rappresentativo della dose efficace media individuale annuale per la popolazione italiana;"*

Con nota prot. 10486 del 02/02/2023 la Prefettura di Sassari, visto anche quanto previsto dalla precedente nota n. 22503/2016/AREA V del 21/03/2016, ha decretato di recepire gli esiti delle attività della Commissione Tecnica per gli interventi di cui all'art. 126bis del D.lgs. n.230/1995 e ss.mm.ii.

Il documento "Valutazione radiologica preliminare" a cui si rimanda nella sezione "Elaborati Radiometrici"

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 5 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

(RADI1 2023 096 25/05/2023), valuta l'impatto radiologico sul modulo MPF e riporta le seguenti conclusioni:

il totale di dose efficace massima per una persona che:

- *lavori sulla sommità della discarica;*
- *abiti in una casa costruita sulla sommità della discarica stessa;*

*risulta pari a **60 microSv/anno**, tenendo conto di tutti i contributi derivanti dai vari scenari espositivi, quindi inferiore:*

- *ai livelli di esenzione in termini di dose efficace pari a 300 microSv/anno per un individuo rappresentativo;*
- *alla dose efficace di 100 microSv/anno per gli individui della popolazione in caso di contaminazione di fonti di acqua potabile; in particolare la dose massima derivante dallo scenario espositivo "drinking water" risulta pari a circa 22 micro Sv/anno.*



È evidente che il valore individuato con la valutazione radiologica preliminare, di cui sopra, pari a 60 microSv/anno, è coerente con le prescrizioni del Decreto Prefettizio in quanto inferiore al valore 3,3 mSv/anno (= 3300 microSv/anno) imposto dal Decreto stesso.

L'intervento in progetto è soggetto alla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), alla quale si rimanda per la valutazione della significatività dei potenziali impatti sulle diverse componenti ambientali, di competenza della Regione Autonoma della Sardegna, ricadendo nelle attività di cui al punto "p" dell'Allegato III alla Parte Seconda del D.Lgs. 152/2006:

"... (omissis)... discariche di rifiuti speciali non pericolosi (operazioni di cui all'Allegato B, lettere D1 e D5 della parte quarta del decreto legislativo 152/2006)... (omissis)..."

Il progetto MPF dovrà inoltre conseguire nuova Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA). Configurandosi come una discarica per rifiuti non pericolosi (operazione D1 "Deposito sul o nel suolo (ad esempio discarica)", di cui all'Allegato B, Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006) con volume disponibile pari a 42.000 m³ è soggetta all'applicazione delle disposizioni di cui al Titolo III-bis della Parte Seconda del D.Lgs. 152/2006, ricadendo nell'attività 5.4, dell'Allegato VIII alla Parte Seconda del D.Lgs. 152/2006:



"Discariche, che ricevono più di 10 Mg di rifiuti al giorno o con una capacità totale di oltre

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 6 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

25000 Mg, ad esclusione delle discariche per i rifiuti inerti”,¹ per cui sarà necessaria la modifica sostanziale della vigente AIA, la n°1 del 18/05/2018, rilasciata dalla Provincia di Sassari a seguito di modifica sostanziale dell’AIA n.1 del 24/10/2011.

Ai sensi della L.R. 8 febbraio 2021, n. 2 “Disciplina del provvedimento unico regionale in materia ambientale (PAUR), di cui all'articolo 27 bis del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (Norme in materia ambientale), e successive modifiche e integrazioni” e della DGR 11/75 del 24/03/2021 “Direttive regionali in materia di VIA e di provvedimento unico regionale in materia ambientale (PAUR)”, il provvedimento di VIA è rilasciato all'interno di un provvedimento unico (PAUR) che include anche il rilascio dell’ AIA.

¹ Codice NACE 38.21, codice NOSE – P 109.06

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 7 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

2 INQUADRAMENTO GENERALE E STATO DI FATTO DELL'AREA



Il Polo Petrolchimico di Porto Torres (SS), di estensione complessiva di oltre mille ettari, è ubicato lungo la costa nord della Sardegna, ad ovest dell'abitato di Porto Torres; al suo interno si individua l'area di progetto e specificatamente nella porzione occidentale dello stabilimento ENI REWIND, in una zona denominata "Minciareda sud".



Figura 2.1: Ortofoto dell'area di intervento con indicazione di tutte le zone afferenti al Progetto Operativo di Bonifica Nuraghe. In colore arancio il Modulo Palte Fosfatice (MPF).

I terreni dell'area di sedime del MPF, a seguito di caratterizzazione, risultano non contaminati (così come evidenziato nell'Analisi di Rischio Sanitario approvata dalla Conferenza di Servizi decisoria il 18/11/2010).

Relativamente alla matrice falda, si evidenzia che il Progetto Operativo di Bonifica (nel seguito POB) della falda dell'intero sito, approvato con Decreto Ministeriale n.167 del 28/10/2011, non prevede alcun intervento nelle aree interessate dal progetto.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA			Pag. 8 di 38
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

3 STATO DI PROGETTO

3.1 Definizione del livello piezometrico di progetto

In prossimità all'area di studio (evidenziata in rosso nell'estratto cartografico della fig. 3.1) è attiva dal 2010 una barriera idraulica che influenza l'andamento della falda.

Per la determinazione della falda di progetto e, di conseguenza, del piano di posa della barriera di confinamento, al fine di svincolare la realizzabilità dell'opera dal funzionamento della barriera idraulica, si è scelto di fare riferimento ai dati della piezometria statica.

Visto che nell'area sono presenti i piezometri di monitoraggio realizzati nell'ambito delle indagini di caratterizzazione, eseguite nel corso degli anni, per ricostruire la superficie piezometrica dell'area sono stati elaborati gli ultimi dati disponibili dei livelli di falda ufficialmente validati (maggio 2006).

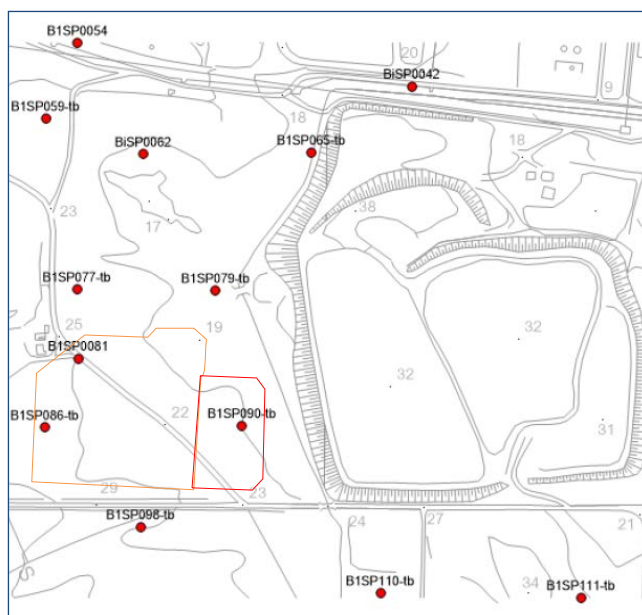




Figura 3.1: Ubicazione dei piezometri nell'area Minciareda Sud (in rosso l'area di sedime del MPF ed in arancio quella del Sito di Raccolta - SdR)

Le misure piezometriche sono sintetizzate nella tabella seguente:

Tabella 3.1 - Piezometria area Minciareda Sud da Piano di Caratterizzazione (maggio 2006)					
Codice piezometro	Coordinata Est	Coordinata Nord	Quota IGM m s.l.m.	Soggiacenza da bocca pozzo (05/2006) m	Piezometria (05/2006) m s.l.m.
B1SP0042	1.443.867,607	4.520.658,994	15,640	2,54	13,100
B1SP0054	1.443.368,024	4.520.722,904	28,775	11,25	17,525
B1SP0059	1.443.319,892	4.520.611,674	23,731	15,61	8,121
B1SP0062	1.443.466,247	4.520.559,101	20,237	2,51	17,727
B1SP0065	1.443.717,114	4.520.562,013	16,396	1,06	15,336
B1SP0077	1.443.366,763	4.520.360,652	23,851	5,42	18,431
B1SP0079	1.443.574,312	4.520.358,696	18,802	1,79	17,012
B1SP0081	1.443.369,143	4.520.259,197	24,795	4,22	20,575
B1SP0086	1.443.318,862	4.520.157,160	26,983	5,56	21,423
B1SP0090	1.443.613,705	4.520.160,204	20,487	1,81	18,677
B1SP0098	1.443.462,009	4.520.011,284	26,143	4,21	21,933
B1SP0110	1.443.820,202	4.519.913,851	22,855	0,96	21,895
B1SP0111	1.444.120,026	4.519.907,069	26,248	2,62	23,628

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 9 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

Nell'area Minciareda sud la superficie piezometrica ha un andamento generale da sud ovest verso nord est, con livelli superiori pari a 23,62 m s.l.m. e inferiori di 8,12 m s.l.m.

Poiché per l'identificazione della massima escursione di falda in condizioni statiche non è disponibile una serie storica statisticamente significativa, è stato scelto, in via cautelativa, di innalzare il livello progettuale della falda di un metro. La superficie piezometrica ottenuta è stata assunta come *"falda di progetto"*.

Nel rispetto del D.Lgs. 36/03 e ss.mm.ii, il piano di posa dell'argilla di fondo del MPF è stato posizionato ad una distanza non inferiore a 2 m al di sopra della succitata *"falda di progetto"*; si vedano a tal proposito la figura 3.2 e la tabella 3.2 seguenti.

Con i margini di sicurezza sopra indicati, il MPF verrà realizzato in rilevato rispetto al piano campagna circostante.

Per approfondimenti in merito al quadro idrogeologico del sito si veda il documento allegato "100076-ENG-F-F5-6002-All. 5 - Relazione geologica, geotecnica e sismica".

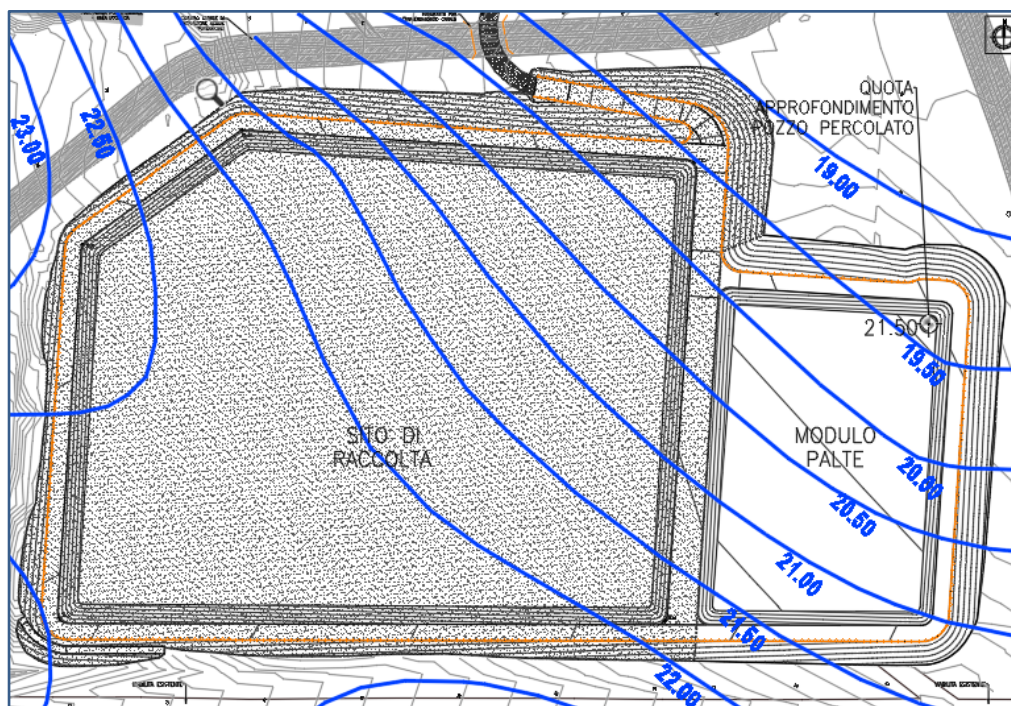




Figura 3.2: Planimetria del Modulo Palte Fosfatice (MPF) e falda di progetto

Tabella 3.2 - Franco di sicurezza Modulo MPF in relazione alla falda di progetto		
Quota minima piano di posa argilla (approfondimento pozzo percolato)	Piezometria massima "falda di progetto"	Franco di sicurezza rispetto alla "falda di progetto"
m s.l.m	m s.l.m	m
21,5	19,5	2

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 10 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

3.2 Caratteristiche plano-altimetriche

I materiali in conferimento nel MPF saranno depositati all'interno del bacino di raccolta e stoccaggio definitivo, realizzato in rilevato rispetto al piano campagna circostante. Il perimetro del bacino sarà costituito da argini di contenimento di altezza variabile in funzione della posizione, il cui estradosso sarà realizzato ad una quota maggiore rispetto al piano campagna al fine di realizzare una opportuna barriera nei confronti dell'ingresso di acque meteoriche esterne al bacino. In corrispondenza dell'estradosso degli argini sarà realizzata una pista perimetrale dedicata alla viabilità interna dei mezzi. Il bacino avrà forma pressoché rettangolare e sarà costituito da un unico lotto.

Le scarpate interne della vasca avranno pendenza pari a 2/3 (circa 34°), che risulta idonea a garantirne la stabilità e la corretta posa dei sistemi di impermeabilizzazione. Le scarpate esterne avranno una pendenza pari a circa 25°, al fine di garantire un buon inserimento ambientale del progetto di recupero finale.

Le principali caratteristiche plano-altimetriche del lotto sono desumibili dalle tavole di progetto (si vedano gli elaborati "100076-ENG-F-F5-6002-All.14 Piano Posa rifiuti" e "100076-ENG-F-F5-6002-All.15 Sezioni di fondo") e sono altresì riassunte nella seguente tabella 3.3.

Tabella 3.1 - Caratteristiche planimetriche del MPF						
Lotto	Superficie a bordo vasca (quota p.c.)	Superficie fondo piano posa	Quota max bordo vasca	Quota fondo posa		Volume utile al lordo delle coperture provvisorie e delle piste di coltivazione
	m²	m²	m s.l.m.	m s.l.m.		m³
				min	max	
Lotto unico	12.000	10.000	28,75	24,30	26,85	42.000

Al piano di fondo è stata conferita una pendenza di circa l'1,5% per consentire lo scorrimento del percolato verso il sistema di estrazione.



I materiali in conferimento verranno abbancati all'interno del bacino con pendenze massime di 30° al fine di garantire la stabilità dei fronti e la sicurezza degli operatori durante le fasi operative.

Il sistema di impermeabilizzazione della vasca avrà la funzione di garantire sia sul fondo, sia sulle pareti, l'isolamento dei materiali conferiti dalle matrici ambientali sottostanti.

3.3 Sistemi di impermeabilizzazione

Al fine di garantire la protezione delle matrici ambientali potenzialmente interessate dall'esercizio dell'opera, il fondo e le sponde del MPF saranno impermeabilizzati tramite il pacchetto multistrato costituito dall'alternanza di materiali naturali ed artificiali, previsto dall'Allegato 1, p.to 2.4.2 del D.Lgs. 36/03, modificato dal d.lgs. n. 121/20, per le discariche di rifiuti non pericolosi.

I particolari del sistema di impermeabilizzazione di progetto e del sistema di estrazione percolato sono riportati negli elaborati grafici "100076-ENG-F-F5-6002-All. 19 – Particolari costruttivi vasca" e "100076-ENG-F-F5-6002- All. 20

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 11 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

– Particolari costruttivi rete percolato”.

3.3.1 Impermeabilizzazione del fondo

Il sistema di impermeabilizzazione del fondo (*Figura 3.3*) sarà composto dai seguenti strati (in senso geometrico, dall’alto verso il basso):

strato drenante spessore $\geq 0,5$ m, all’interno del quale saranno alloggiate le tubazioni di captazione del percolato ed il relativo bauletto drenante
geotessile TNT di protezione della geomembrana di massa areica pari a 1.200 g/m^2 e resistenza al punzonamento $\geq 10 \text{ kN}$ a protezione della geomembrana in HDPE
geomembrana in HDPE (High-Density PolyEthylene) dello spessore $> 2,5 \text{ mm}$ e permeabilità ² $\leq 1 \times 10^{-12} \text{ cm/s}$
geocomposito bentonitico con caratteristiche di permeabilità equivalente ad uno strato di argilla di spessore $\geq 1 \text{ m}$ e $k < 1 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$
strato artificiale di argilla (materiale limoso-argilloso) impiegando terreni naturali o miscele di terreni compattati di spessore $\geq 1 \text{ m}$
barriera geologica di fondo composto da strato naturale di argilla (materiale limoso-argilloso) o opportunamente completato artificialmente di spessore $\geq 1 \text{ m}$
substrato naturale e/o materiale di riporto di buone caratteristiche geotecniche da posare/preparare fino al raggiungimento delle quote di posa della barriera di confinamento

Al termine della posa dell’argilla, il piano di posa avrà una pendenza dell’1,5%, lungo la diagonale, tale da favorire il deflusso delle acque di percolazione verso il pozzo di estrazione.

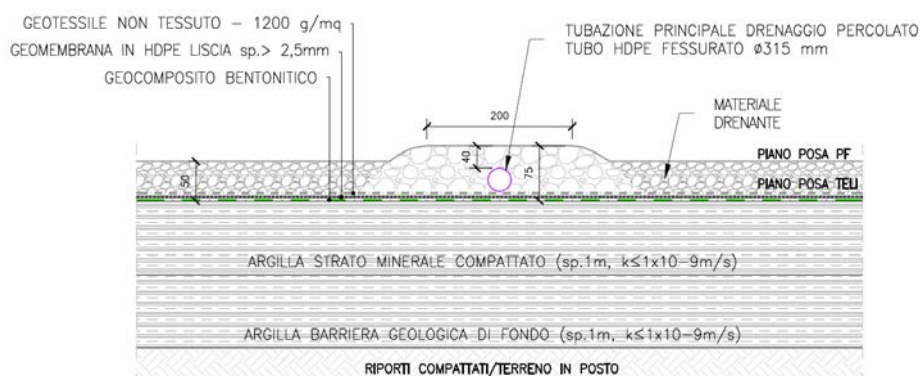




Figura 3.3: Sistema impermeabilizzazione del fondo

² Permeabilità al vapore.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 12 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

3.3.2 Impermeabilizzazione delle pareti

Il sistema di impermeabilizzazione delle pareti (*Figura 3.4*) sarà composto dai seguenti strati (in senso geometrico, dall'alto verso il basso):

geocomposito drenante di portata idraulica paragonabile a quella dello strato drenante granulare
geotessile TNT di massa areica pari a 1.200 g/m ² e resistenza al punzonamento ≥ 10 kN a protezione della geomembrana in HDPE
geomembrana in HDPE (High-Density PolyEthylene) dello spessore $> 2,5$ mm e permeabilità ³ $\leq 1 \times 10^{-12}$ cm/s
geocomposito bentonitico con caratteristiche di permeabilità equivalente ad uno strato di argilla di spessore ≥ 1 m e $k < 1 \times 10^{-7}$ cm/sec
Strato artificiale di argilla (materiale limoso-argilloso) impiegando terreni naturali o miscele di terreni compattati di spessore ≥ 1 m
Strato naturale di argilla (materiale limoso-argilloso) o opportunamente completato artificialmente di spessore ≥ 1 m

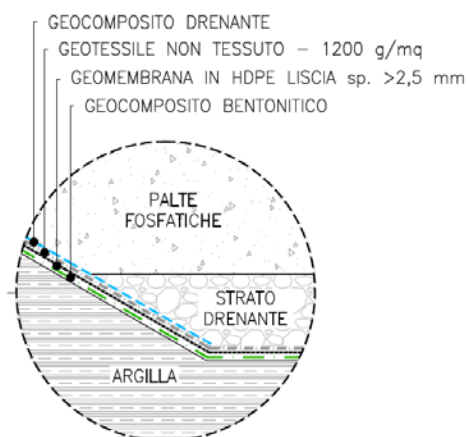




Figura 3.4: Sistema impermeabilizzazione delle pareti

³ Permeabilità al vapore.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 13 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

3.3.3 Considerazioni sui materiali

L'accoppiamento di materiali differenti per il fondo del bacino, ovvero un materiale naturale (lo strato di argilla) ed un materiale artificiale (la geomembrana in HDPE), a cui si demanda il compito di impermeabilizzare, è giustificato dalle seguenti considerazioni:



- i due materiali hanno un comportamento efficace ed efficiente sia a breve che a lungo termine;
- i due materiali hanno caratteristiche del tutto complementari. Infatti, l'HDPE è un materiale praticamente impermeabile che può essere attraversato solo per migrazione chimica a livello molecolare da alcuni componenti organici; tuttavia, alla luce dello spessore molto ridotto, è statisticamente possibile che presenti nel tempo degli strappi o punzonature. Di contro il materiale minerale compattato, che presenta permeabilità maggiore rispetto all'HDPE, viene messo in opera con spessori rilevanti, e pertanto non presenta particolare sensibilità a punzonamenti o sollecitazioni localizzate per cause incidentali. Inoltre, alla luce delle sue proprietà rigonfianti in presenza di umidità, attenua progressivamente eventuali rotture della geomembrana,
- alcuni tipi di inquinanti sono trattiene o abbattuti a livello molecolare durante l'attraversamento dello strato minerale.

Ad ulteriore tutela è stato aggiunto un geocomposito bentonitico; quest'ultimo, costituito da materiale naturale racchiuso all'interno di due geotessili, ha un elevato livello di protezione in virtù delle sue caratteristiche di permeabilità e di rigonfiamento e sarebbe da solo in grado di sostituire lo strato di argilla in termini di protezione equivalente.

Per ciò che concerne il geotessile TNT posto a protezione della geomembrana in HDPE del fondo, le caratteristiche meccaniche dipendono dallo stato di sollecitazione a cui sarà soggetta la stessa. La documentazione tecnica di settore⁴ suggerisce valori minimi di 800 g/m². Nel caso in esame si è deciso di incrementare le caratteristiche prestazionali del geotessuto del fondo al fine di garantire una protezione maggiore; il materiale che sarà utilizzato avrà una massa areica pari a 1.200 g/m² e una resistenza al punzonamento ≥ 10 kN.

Le caratteristiche del geotessile devono rispondere principalmente al requisito di resistenza agli agenti meteo climatici, ed in particolare ai raggi UV.

⁴ UDKA, A., BLOQUET, C., BENNETON, J-P., CROISSANT, D., GIRARD, H. and KHAY, M. (2007) Efficiency of different geotextiles for the protection of the geomembrane at landfills. In: Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, 1-5 October 2007, S. Margherita di Pula - Cagliari, Sardinia, Italy

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 14 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

3.4 Equivalenza idraulica

I calcoli di equivalenza di norma considerano i soli materiali naturali (argilla e bentonite) e sarà trascurata la presenza della geomembrana in HDPE.

Nel caso del pacchetto di impermeabilizzazione del fondo e delle scarpate, ed in particolare per ciò che concerne lo strato di argilla che costituirà parte del pacchetto di impermeabilizzazione, saranno garantiti lo spessore (1 m) e i valori di permeabilità ($k < 1 \times 10^{-7}$ cm/sec) minimi previsti dalla normativa di riferimento.

In aggiunta allo strato di argilla e ad ulteriore protezione ambientale, in tutto il fondo del bacino e lungo le pareti è prevista la posa di un geocomposito bentonitico che, essendo composto da materiale naturale (bentonite sodica o calcica), concorre al calcolo dell'equivalenza idraulica ai sensi del D.Lgs. 36/03 e ss.mm.ii.

L'utilizzo del geocomposito bentonitico in aggiunta allo strato di argilla, che da solo garantirebbe il raggiungimento delle caratteristiche minime richieste dalla normativa, è dettato da scelte progettuali molto conservative atte a fornire maggiori garanzie di protezione delle matrici ambientali.

Le caratteristiche del geocomposito scelto sono tali da garantire caratteristiche di permeabilità equivalente ad uno strato di argilla di spessore pari a 1 m e $k < 1 \times 10^{-7}$ cm/sec (si veda il paragrafo successivo). In questo modo si ottiene una prestazione equivalente a quella di un pacchetto di impermeabilizzazione di spessore pari a 2 m e permeabilità pari a $k < 1 \times 10^{-7}$ cm/sec, sia sul fondo che in scarpata.



3.4.1 Valutazione dell'equivalenza idraulica del geocomposito

Si riportano di seguito le valutazioni svolte sul valore minimo di conducibilità idraulica del geocomposito bentonitico, affinché questo si comporti come uno strato di argilla di spessore pari a 1 m e conducibilità $k < 1 \times 10^{-7}$ cm/sec.

Per il concetto di equivalenza del geocomposito, si è fatto riferimento alla dimostrazione di R. M. KOERNER (Geosynthetic Research Institute, Drexel University, Philadelphia, USA, rif. "GCLs" Balkema, 1995); secondo l'autore⁵:

"La funzione essenziale assegnata ad un qualsiasi sistema barriera consiste nella capacità di contenere i liquidi come previsto dalle esigenze del progetto esecutivo. Introducendo il concetto di flusso o portata, ne richiamiamo la definizione relativa: il volume di acqua che scorre attraverso un'area unitaria in un tempo unitario e ricorriamo alla formula di Darcy:

⁵ Dal testo di Koerner, Gartung, Zanzinger, *Geosynthetic Clay Liners*, pubblicato da BALKEMA/Rotterdam/ Brookfield nel 1995 / pp.79-81)

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 15 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

$$v = k \frac{H + T}{T}$$

dove k esprime la conducibilità idraulica mentre H indica l'altezza del liquido che è trattenuto dal sistema impermeabilizzante con spessore pari a T .

Ricordiamo che questa equazione è utilizzabile unicamente per una corretta valutazione del flusso attraverso uno spessore di bentonite, in presenza di geocomposito bentonitico (GCL) con geomembrane deve essere opportunamente modificata.

Per poter valutare la permeabilità richiesta ad uno strato minerale costruito con argilla (CCL) e riuscire ad esprimere il concetto di equivalenza di spessore, si ipotizza che il flusso che attraversa il GCL sia uguale al flusso attraverso il CCL:

$$v_{GCL} = v_{CCL}$$

oppure:

$$k_{GCL} \frac{H + T_{GCL}}{T_{GCL}} = k_{CCL} \frac{H + T_{CCL}}{T_{CCL}}$$

omissis ..."



Noti i valori di permeabilità e di spessore dell'argilla ($K_{CCL} = 1 \times 10^{-7}$ cm/s e $T_{CCL} = 1,0$ m) ed ipotizzando H pari a 0,30 m, e lo spessore idrato del geocomposito bentonitico pari a $T_{GCL} = 0,006$ m (valori suggeriti dall'autore stesso), è possibile risolvere l'equazione in funzione della permeabilità del geocomposito:

$$k_{GCL} = k_{CCL} \frac{H + T_{CCL}}{H + T_{GCL}} \cdot \frac{T_{GCL}}{T_{CCL}}$$

Da questa si ottiene che la permeabilità minima richiesta per il geocomposito bentonitico affinché questo si comporti come uno strato di argilla di spessore pari a $T_{CCL} = 1,0$ m e $K_{CCL} = 1 \times 10^{-7}$ cm/s, è pari a:

$$K_{GCL} = 2,5 \times 10^{-11} \text{ m/s.}$$

Il valore ottenuto, reperibile in commercio, rappresenta il vincolo prestazionale del geocomposito bentonitico. Lo stesso risultato prestazionale si può ottenere utilizzando geocompositi con permeabilità più elevate e/o la sovrapposizione di più teli.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA			Pag. 16 di 38
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

3.4.2 Trincea di ancoraggio teli

La trincea di ancoraggio dei teli, realizzata in corrispondenza della sommità degli argini, ha lo scopo di mantenere in opera il pacchetto di impermeabilizzazione e sarà realizzata in corrispondenza del ciglio della vasca.

La trincea sarà realizzata da uno scavo a sezione obbligata (quadrata o trapezoidale) con dimensioni minime riportate nell'elaborato grafico "100076-ENG-F-F5-6002-All. 19 – Particolari costruttivi vasca"; a seguito della posa dei teli all'interno della trincea, quest'ultima sarà riempita con i materiali di provenienza dallo scavo della stessa.

3.5 Sistema di drenaggio, estrazione e rilancio del percolato

Il sistema di drenaggio e raccolta, insieme al pacchetto di impermeabilizzazione, deve contribuire all'efficienza della barriera idraulica del MPF ed è stato progettato per l'allontanamento ed estrazione del percolato e per ridurre il rischio di formazione di battenti e di falde sospese all'interno del corpo rifiuti.



Il fondo del MPF sarà caratterizzato da una pendenza minima dell'ordine del 1,5 % in modo da favorire l'affluenza del percolato verso lo spigolo nord est, dove è posizionato il pozzo di estrazione.

Il sistema di drenaggio sarà composto da uno strato di spessore non inferiore a 50 cm di materiale drenante (ghiaietto), all'interno del quale sarà posizionato un sistema di tubazioni fessurate primarie in HDPE, con diametro DN 315 mm, collegate ai pozzi di estrazione, e tubazioni fessurate secondarie in HDPE con DN 200 mm, collegate a quelle primarie.

In corrispondenza delle tubazioni sarà garantito un ricoprimento non inferiore a 40 cm al di sopra della generatrice superiore del collettore fessurato e larghezza non inferiore a 2 m. Tale accortezza progettuale favorisce l'afflusso del percolato nelle tubazioni di collettamento (si veda la precedente *Figura 3.3*).

Per ciò che concerne la stima di produzione del percolato ed i dimensionamenti idraulici si rimanda alla Relazione Idraulica "100076-ENG-F-F5-6002-All. 6 - Relazione idrologica e idraulica".

Il pozzo di estrazione ha il compito di raccogliere ed allontanare il percolato dalla vasca di coltivazione. Nel caso in disamina è stato scelto di utilizzare un pozzo obliquo addossato alla sponda del bacino, in corrispondenza dello spigolo nord est. Il pozzo conterà di tubazioni in acciaio, del diametro minimo di 700 mm, al fine di garantire al contempo la resistenza meccanica allo schiacciamento e/o alle sollecitazioni attrattive e l'agevole inserimento degli impianti di pompaggio. Il livello di percolato all'interno del pozzo sarà monitorato e comunque tenuto al livello minimo compatibile con il funzionamento della pompa. Il percolato estratto dal pozzo sarà inviato ai due silos di stoccaggio, di 30m³ ciascuno, durante la fase di gestione operativa e post operativa, tramite tubazioni in HDPE del diametro DN 110.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 17 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

3.6 Specifiche tecniche dei materiali



3.6.1 Argilla

Fatte salve le indicazioni di stabilità indicate nella relazione geologica, la barriera di confinamento sarà posata sul fondo e sulle sponde del MPF, a seguito delle operazioni di regolarizzazione del fondo e delle scarpate che ne costituiranno il piano di posa.

Sul piano di imposta della discarica, laddove le pendenze saranno dell'1,5% circa, l'argilla dovrà essere lavorabile e impermeabile, secondo i seguenti parametri indicativi:

Tabella 3.2 - Caratteristiche argilla fondo	
Descrizione	(Argilla, argilla limosa), argilla limosa debolmente sabbiosa
Classificazione UNI-CNR 10006:	A7-5 / A7-6
Granulometria:	argilla ≥ 20% - limo ≤50-60% - sabbia ≤ 5-20%
Limiti di Atterberg:	LL=30-50% - IP=15-30%
Peso di volume secco dopo compattazione:	1,6 - 1,8 t/m ³
Peso di volume secco all'ottimo:	1,7 - 1,9 t/m ³ (Proctor Mod.)
Permeabilità per la barriera di confinamento:	K <1 x 10 ⁻⁹ m/s

La compattazione dovrà avere luogo mediante passate di rullo da 11 t per strati non superiori ai 20 cm a fine compattazione. I rulli dovranno operare in piano, lungo direzioni parallele, garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari almeno al 10% della larghezza del rullo. A fine posa la superficie si dovrà presentare liscia.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 18 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

Alla luce delle pendenze rilevanti delle scarpate, lo strato di argilla previsto per l'impermeabilizzazione delle sponde, dovrà essere costituito da materiale che, oltre alle caratteristiche riportate in Tabella 3.2, dovrà rispondere anche alle caratteristiche minime riportate in Tabella 3.3.

Tabella 3.3 - Caratteristiche argilla in scarpata	
Descrizione	Argilla, argilla limosa, argilla limosa debolmente sabbiosa
Classificazione UNI-CNR 10006:	A7-5 / A7-6
Granulometria:	argilla ≥20% - limo ≤50-60% - sabbia ≤5-20%
Limiti di Atterberg:	LL=30-50% - IP=15-30%
Peso di volume secco dopo compattazione:	1,6-1,8t/m ³
Peso di volume secco all'ottimo:	1,7-1,9t/m ³ (Proctor Mod.)
Coesione efficace:	>10 kPa (prova CIU o TD-D)
Angolo di attrito secante:	>24° (prova CIU o TD-D)
Coesione non drenata	>45 kPa (Prove UU)
Permeabilità	K <1x10 ⁻⁹ m/s

Le prove di qualificazione sono previste nella misura di n. 1 ogni 5.000 m³ di materiale fornito. In sede di progettazione esecutiva potranno essere valutati materiali con parametri geotecnici parzialmente differenti da quelli di riferimento, fermo restando il rispetto della permeabilità raggiungibile in situ, la lavorabilità del materiale e la garanzia della stabilità in scarpata.



La messa in opera dell'argilla delle sponde avverrà tramite la costruzione di un argine di larghezza tale da consentire l'operatività della macchina; una volta raggiunta la quota finale, la scarpata sarà riprofilata per dare la geometria e lo spessore finale.

Le prove di collaudo consisteranno nella verifica del valore di permeabilità raggiunto in sito (tramite prelievo di campione indisturbato) e della densità in sito, che dovranno essere corrispondenti ai requisiti prestazionali richiesti. Le prove di collaudo sono previste nella misura di 1 ogni 5.000 m³ di materiale posato.

3.6.2 Strato drenante e del bauletto drenante intorno alle tubazioni fessurate

Il materiale per la formazione dello strato drenante del fondo e del bauletto drenante intorno alle tubazioni sarà costituito da materiale di recupero proveniente da cava autorizzata o in seconda scelta da piani di utilizzo. Per i materiali di fornitura esterna dovrà inoltre essere prodotto il certificato attestante la provenienza del materiale (cave, cave di prestito, piani di utilizzo) e l'autorizzazione della cava.

Il materiale di formazione dello strato drenante dovrà avere requisiti tali da garantire un rapido drenaggio dei

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 19 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

percolati; dovrà essere selezionato e lavato, esente da qualsiasi impurità e da resti vegetali o elementi in grado di danneggiare i teli sottostanti e dovrà inoltre risultare esente da componenti instabili (materiali gelivi, teneri, solubili, etc.).

Il materiale drenante sarà costituito da materiale naturale rispondente ai requisiti seguenti:

- contenuto in fine (passante al vaglio 200 ASTM): < 5 %;
- dimensione granulometrica: 2÷20 mm (ghiaietto);

Il materiale dovrà essere inerte e generalmente a granuli non spigolosi.

Le prove di qualificazione sono previste nella misura di 1 ogni 2.500 m³ di materiale fornito.



3.6.3 Geocomposito bentonitico

Il geocomposito bentonitico deve consistere in un geosintetico argilloso con funzione barriera (GBR-C) costituito da n.2 geotessili, rispettivamente in tessuto e non tessuto, che racchiudono all'interno uno spessore controllato minimo di 5,0 kg/m² di bentonite in polvere sodica naturale.

Il pacchetto, dello spessore finale di almeno 6 mm, dovrà essere sottoposto ad una particolare processo di agugliatura meccanica, in grado di collegare stabilmente i due geotessili, incapsulando la bentonite ed impedendone lo scorrimento in qualsiasi posizione, sia allo stato asciutto che ad idratazione avvenuta.



Il geosintetico dovrà assicurare un coefficiente di permeabilità minimo di $k < 2,5 \times 10^{-11}$ m/s, misurato con la Norma ASTM D5887, e dovrà essere fornito in rotoli delle dimensioni indicative di 5,0 m di larghezza e di lunghezza adeguata a ricoprire l'intero sviluppo della scarpata inclusivo di ancoraggi.

In fase di progettazione esecutiva e in fase di realizzazione dell'opera dovrà essere verificato che il geocomposito abbia le caratteristiche tecniche minime indicate nel seguito del paragrafo e che vengano rispettate le indicazioni di posa previste dal produttore e gli accorgimenti tecnici indicati nel presente documento.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 20 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

Le caratteristiche tecniche dovranno prevedere i seguenti requisiti minimi:

Tabella 3.4 - Caratteristiche del geocomposito bentonitico		
Parametro	Normativa tecnica di riferim.	Valori minimi richiesti
Geotessili		
Geotessile superiore	EN ISO 9864	Non tessuto in polipropilene da 200 g/m ²
Geotessile inferiore	EN ISO 9864	Tessuto in polipropilene da 140 g/m ²
Strato di bentonite		
Tipo		Bentonite Sodica naturale in polvere
Tenore in Montmorillonite	Metodo XRD	> 80%
Massa areica della bentonite	EN 14196	≥ 5.000 gr/mq al 12% di umidità
Indice di rigonfiamento	ASTM D 5890	≥ 24 ml/2g
Perdita di fluido	ASTM D 5891	≤ 18 ml
Geocomposito bentonitico (GBR_C)		
Massa areica	EN 14196	≥ 5.340 gr/m ²
Spessore	EN ISO 9863-1	≥ 6 mm
Resistenza trazione long./trasv.	EN ISO 10319	> 23 kN/m; ≥ 15 kN/m
Deformazione a carico massimo long./trasv.	EN ISO 10319	< 30%
Resistenza allo spellamento	ASTM D 6496	≥ 390 N/m
Resistenza a punzonamento statico	EN ISO 12236	> 3700 N
Coefficiente di Permeabilità	ASTM D 5887	$K \leq 2E^{-11}$ m/s

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 21 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	



3.6.4 Geomembrana in HDPE liscia con spessore > 2,5 mm

La geomembrana impermeabile in Polietilene ad alta densità (GBR-P) dovrà essere prodotta con materiali copolimeri vergini (assolutamente non rigenerati o riciclati) di primissima qualità e dovrà essere:

- resistente ad agenti chimici presenti nel corpo rifiuti;
- resistente alle sollecitazioni meccaniche;
- inattaccabile da microrganismi, insetti e roditori;
- resistente alle perforazioni di radici;
- imputrescibile;
- resistente all'invecchiamento;
- stabile ai raggi UV e agli agenti atmosferici in genere.

Le geomembrane in HDPE lisce devono rispettare la UNI 1604645 e devono rispondere ai seguenti requisiti minimi:

Tabella 3.5 - Caratteristiche del geomembrana in HDPE >2,5 mm		
Parametro	Normativa tecnica di riferimento	Valori minimi richiesti
Tipo		Liscio/Liscio
Natura del polimero	UNI EN ISO 11357	Polietilene ad alta densità (HDPE)
Composizione quantitativa della miscela: - polimero - nero di carbonio	ISO 6964 UNI EN ISO 11358 UNI EN ISO 11358	 > 97 % > 2 %
Spessore	UNI EN 1849-2	> 2,5 mm (+/- 10 %)
Massa volumica	UNI EN ISO 1183-1/2	0,94 – 0,96 g/cm ³ (+/- 1 %)
Carico di snervamento long./trasv.	UNI EN ISO 527-3 provetta di tipo 5, velocità di prova 100 mm/minuto	> 16 MPa
Carico di rottura long./trasv.		> 26 MPa (sup. liscia)
Allungamento a snervamento long./trasv.		> 9 %
Allungamento a rottura long./trasv.		> 700 % (superficie liscia)
Resistenza alla lacerazione	UNI ISO 34-1	> 350 N/mm
Stress Cracking	UNI EN 14576	> 400 ore
Resistenza al punzonamento statico (CBR)	UNI EN ISO 12236	≥ 6,7 kN

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 22 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	



3.6.5 Geocomposito drenante

Il geocomposito drenante sarà realizzato mediante l'accoppiamento industriale di due geotessili non tessuti, con funzione filtrante, con struttura reticolare tridimensionale (tipo box-net) realizzata per estrusione e stiratura bidirezionale di polipropilene, in modo da costituire una struttura rigida "a telaio" con maglie quadrangolari ad elevato profilo. La struttura box-net dovrà garantire elevate portate idrauliche anche son sollecitazioni di compressione.

Le caratteristiche tecniche del materiale dovranno soddisfare i seguenti requisiti minimi:

Tabella 3.6 - Caratteristiche del geocomposito drenante		
Parametro	Normativa tecnica di riferimento	Valori minimi richiesti
Polimero georete		Polipropilene
Polimero geotessile		Polipropilene
Stabilizzante U.V.		Carbon black
Peso unitario del geotessile	EN ISO 9864	120 +120 g/m ²
Peso anima drenante	EN ISO 9864	> 300 g/m ²
Peso unitario del geocomposito	EN ISO 9864	> 540 g/m ²
Spessore a 20 kPa	EN ISO 9863-1	> 5,5
Portata idraulica long. a 20 kPa, i=1	EN ISO 12958	2,20E-03 m ² /s
Resistenza a trazione long.	EN ISO 10319	> 17 kN/m
Allungamento a trazione al picco	EN ISO 10319	< 50%

Il materiale dovrà inoltre possedere i seguenti requisiti: inerzia chimica totale, imputrescibilità, inattaccabilità da parte di roditori e microrganismi, insensibilità agli agenti atmosferici e all'acqua salmastra, stabilità ai raggi ultravioletti ottenuta mediante additivi quantitativi di nerofumo.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 23 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	



3.6.6 Tessuto non tessuto

Il tessuto non tessuto sarà utilizzato a protezione della geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE del fondo (1.200 g/m²). Il geotessile in tessuto non tessuto dovrà essere costituito al 100% da fibre di prima scelta di polipropilene, coesionate meccanicamente mediante agugliatura, con esclusione di collanti o leganti chimici.

Il geotessile dovrà garantire buone caratteristiche di durezza e compatibilità chimica, oltre che di resistenza meccanica.

Le caratteristiche tecniche dovranno corrispondere a quelle previste dalla norma UNI EN 13257 (geotessili e prodotti affini) e prevedere i seguenti requisiti minimi:

Tabella 3.7 - Caratteristiche del TNT a protezione della geomembrana in HDPE (fondo)			
Caratteristiche tecniche	Unità di misura	Tipologia prodotto	Metodologia
Fibra		Polipropilene	
Massa areica	g/m	≥ 1200	UNI EN ISO 9864; ASTM D5261
Spessore a 2 kPa	mm	> 7,0	EN ISO 9863-1
Resistenza a trazione longitudinale	kN/m	> 63	EN ISO 10319; ASTM D6768
Deformazione a carico massimo longitudinale	%	90	
Resistenza a trazione trasversale	kN/m	> 58	
Deformazione a carico massimo trasversale	%	90	
Resistenza al punzonamento statico (CBR)	N	> 10000	UNI EN ISO 12236

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 24 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

4 COPERTURA DEFINITIVA E RIPRISTINO AMBIENTALE

4.1 Morfologie finali

Il progetto prevede una configurazione finale con pendenze della calotta che variano tra circa 7%, in corrispondenza della calotta (zona centrale del MPF), e circa 20%, in corrispondenza del raccordo con gli argini perimetrali. Queste pendenze garantiscono un regolare allontanamento delle acque senza rendere difficoltosi gli approntamenti e la gestione delle opere a verde. Si rimanda alla Relazione idraulica per la descrizione delle opere di regimazione previste (“100076-ENG-F-F5-6002-All. 6 - Relazione idrologica e idraulica”).



La quota di colmo del corpo del MPF, compreso il pacchetto di copertura finale, di cui alla tabella seguente, sarà pari a 34,50 m s.l.m. L’elevazione massima rispetto alle quote del piano campagna è pari a circa 15 m circa, con riferimento allo spigolo nord ovest della vasca, caratterizzato da quote assolute minime. Va precisato che tale porzione della vasca è anche quella più lontana dal colmo della copertura finale.

Le geometrie della configurazione finale sono riportate nell’elaborato grafico “100076-ENG-F-F5-6002-All.17 – Recupero morfologico” e sono altresì sintetizzate nella tabella seguente.

Tabella 4.1 - geometrie della copertura finale		
Descrizione della copertura	Valore	U.d.M.
Quota massima del colmo rifiuti a fine conferimento	32,00	m s.l.m.
Spessore pacchetto di copertura	2,50	m
Quota massima del colmo della copertura a seguito della posa del capping	34,50	m s.l.m.
Area in pianta capping finale	11.100	mq
Superficie capping finale	13.500	mq

Qualora i rifiuti da conferire, derivanti dalla bonifica dell’area Palte Fosfatice e dell’area ex-TPF, siano inferiori al volume stimato, pari a 42.000 mc, il MPF verrà chiuso ad una quota del colmo rifiuti inferiore a quanto sopra riportato, fermo restante una morfologia tale da garantire il corretto deflusso delle acque superficiali.

Per ciò che concerne il recupero finale dell’area si rimanda integralmente al Piano di ripristino ambientale di progetto annesso alla presente relazione tecnica “100076-ENG-F-F5-6002-All. 2 – Piano di ripristino ambientale”.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 25 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

4.2 Stratigrafia del capping

Il pacchetto di copertura finale in calotta sarà costituito dai seguenti strati (in senso geometrico):

strato superficiale di copertura con spessore ≥ 1 m che favorisca lo sviluppo delle specie vegetali di copertura ai fini del piano di ripristino ambientale e fornisca una protezione adeguata contro l'erosione e la protezione delle barriere sottostanti dalle escursioni termiche

geotessile tessuto non tessuto da filtro per prevenire eventuali intasamenti connessi al trascinamento del materiale fine dello strato superficiale di copertura

strato drenante con spessore $\geq 0,5$ m in grado di impedire la formazione di un battente idraulico sopra le barriere di cui ai punti successivi

geotessile tessuto non tessuto di protezione della geomembrana sottostante

geomembrana in HDPE dello spessore $\geq 1,5$ mm a aderenza migliorata (ruvido) su entrambe le superficie



strato minerale (strato artificiale di argilla) compattato dello spessore $\geq 0,5$ m e conducibilità idraulica $\leq 10^{-8}$ m/s

geotessile tessuto non tessuto di protezione per lo strato di drenaggio del gas e di rottura capillare

strato di drenaggio del gas e di rottura capillare con spessore $\geq 0,5$ m

A maggiore garanzia di tutela ambientale, il pacchetto di copertura strettamente previsto dal D.Lgs. 36/03 e ss.mm.ii. per impianti di stoccaggio di rifiuti non pericolosi è stato integrato con un telo in HDPE da 1,5 mm a aderenza migliorata. Questo conferisce al sistema di capping la completa impermeabilizzazione nei confronti dell'infiltrazione di acque meteoriche.

La copertura definitiva potrà essere preceduta da una copertura provvisoria che sarà effettuata per stralci successivi a mano a mano che la coltivazione del bacino arriverà a compimento e sarà costituita da teli in LDPE antivento; in questo modo sarà possibile ridurre al minimo la produzione di percolato e permettere che gli eventuali assestamenti dei rifiuti avvengano senza danneggiamenti per la copertura definitiva; va precisato che alla luce della tipologia di materiali conferiti e delle attività gestionali sono stimati valori trascurabili dei cedimenti (per approfondimenti si veda il documento 100076-ENG-F-F5-6002-All.5 "Relazione geologica, geotecnica e sismica").

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 26 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

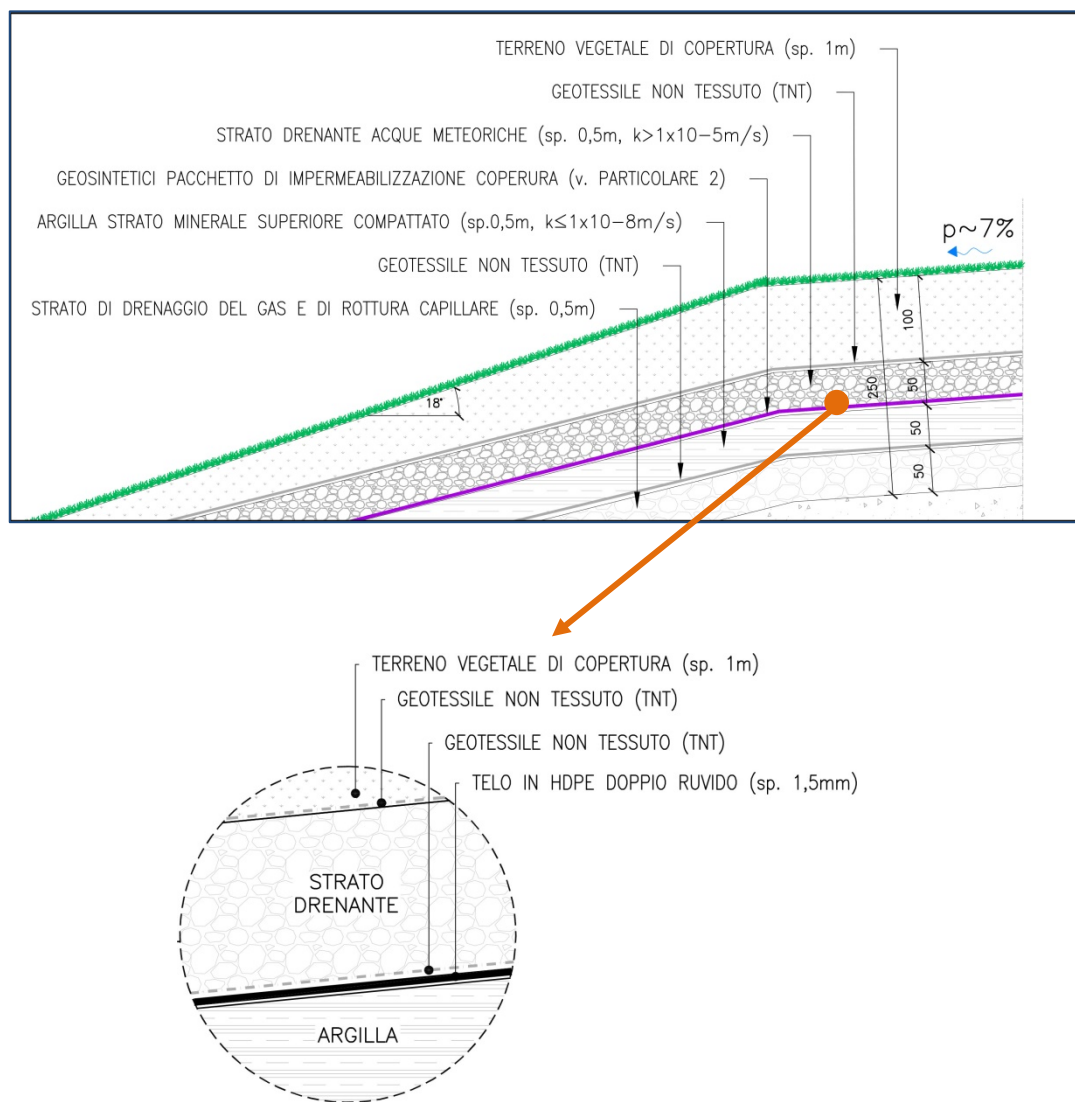




Figura 4.1: Stratigrafia del capping

4.2.1 Strato di rottura capillare

Il materiale di formazione dello strato di rottura capillare dovrà avere requisiti tali da garantire una funzione di rottura capillare e un rapido drenaggio delle acque e assenza di fenomeni di rigonfiamento; dovrà essere inoltre esente da qualsiasi impurità e da resti vegetali. La granulometria sarà indicativamente compresa tra 0 e 100 mm, con contenuto di frazione fine (passante al setaccio ASTM 200) < 15%; il materiale sarà inquadrabile nel gruppo A1a o A3 (valori indicativi) ai sensi della ex CNR UNI 10006.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA			Pag. 27 di 38
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

Il materiale per la formazione dello strato di rottura capillare sarà costituito da materiale proveniente da cava autorizzata o, in seconda scelta, da piani di utilizzo. Per i materiali di fornitura esterna dovrà inoltre essere prodotto il certificato attestante la provenienza del materiale (cave, cave di prestito, piani di utilizzo) e le autorizzazioni della cava.

Lo strato di rottura capillare potrà essere anche realizzato con materiali recuperati granulari non coesivi aventi le stesse caratteristiche sopra riportate. Le prove di qualificazione sono previste nella misura di 1 ogni 5.000 m³ di materiale fornito.



4.2.2 Strato minerale compattato

L'argilla dovrà avere requisiti tali da garantire un idoneo comportamento nei riguardi della permeabilità, dovrà essere inoltre esente da qualsiasi impurità, da resti vegetali e non dovrà contenere ciottoli di diametro maggiore di 30 mm.

I materiali dovranno provenire da cava autorizzata od in seconda scelta da piani di utilizzo, in ogni caso dovranno rispettare i limiti di cui al D.lgs.152/2006 e ss.mm.ii., Parte IV, Titolo V, Allegato 5, Tabella 1, colonna B, per la destinazione sito specifica "Siti ad uso commerciale e industriale".

Si riportano di seguito le Caratteristiche indicative del materiale per la formazione dello strato minerale compattato.

Tabella 4.2 - Caratteristiche indicative materiale per formazione strato minerale compattato	
Descrizione:	Argilla, argilla limosa, argilla limosa debolmente sabbiosa
Classificazione UNI-CNR10006:	A7-5 / A7-6
Granulometria:	argilla ≥20% - limo ≤50÷60% - sabbia ≤5÷20% (valori indicativi)
Limiti di Atterberg:	LL=30-50% - IP=15-30%
Peso di volume secco dopo compattazione:	1,6-1,8t/m ³
Peso di volume secco all'ottimo:	1,7-1,9t/m ³ (Proctor Mod.)
Coesione efficace:	>10 kPa (prova CIU o TD-D)
Angolo di attrito secante:	>24° (prova CIU o TD-D)
Permeabilità	K 1<x10 ⁻⁸ m/s
Caratterizzazione ambientale	rispetto dei limiti di cui Tab. 1 dell'All. 5, Titolo V del D. Lgs.152/06 per la destinazione sito specifica

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 28 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

4.2.3 Strato drenante

Il materiale di formazione dello strato drenante dovrà avere requisiti tali da garantire un rapido drenaggio delle acque e assenza di fenomeni di rigonfiamento; dovrà essere inoltre esente da qualsiasi impurità e da resti vegetali o elementi in grado di danneggiare i teli sottostanti. La granulometria sarà indicativamente compresa tra 0 e 100 mm, con contenuto di frazione fine (passante al setaccio ASTM 200) < 15%; il materiale sarà inquadrabile nel gruppo A1a o A3 (valori indicativi) ai sensi della ex CNR UNI 10006.

Il materiale per la formazione dello strato drenante sarà costituito da materiale proveniente da cava autorizzata od in seconda scelta da piani di utilizzo. Per i materiali di eventuale fornitura esterna dovrà inoltre essere prodotto il certificato attestante la provenienza del materiale (cave, cave di prestito, piani di utilizzo) e l'autorizzazione della cava.

4.2.4 Strato superficiale di copertura



Il terreno di copertura dovrà avere caratteristiche tali da favorire lo sviluppo delle specie vegetali di copertura ai fini del ripristino finale dell'area. Dovrà avere buona dotazione di elementi nutritivi ed assenza di agenti patogeni o sostanze dannose per le piante.

I terreni vegetali di coltivo saranno costituiti da terreno di primo scotico di medio impasto, a tessitura franca, franco-sabbiosa o franco-argillosa, con assenza di frazione granulometrica superiore ai 70 mm.

Il materiale per la formazione dello strato di coltivo sarà costituito da materiale proveniente da cava autorizzata od in seconda scelta da piani di utilizzo. Per i materiali di fornitura esterna dovrà inoltre essere prodotto il certificato attestante la provenienza del materiale (cave, cave di prestito, piani di utilizzo) e l'autorizzazione della cava.

Si riportano nel seguito le caratteristiche indicative dei materiali da utilizzare per la formazione dello strato superficiale di copertura.

Tabella 4.3 - Caratteristiche indicative materiale vegetale di coltivo		
PARAMETRO	VALORI DI RIFERIMENTO	NORMA TECNICA DI RIFERIMENTO
Descrizione e classificazione tessiturale	Tessitura franca, franco-sabbiosa, franco-argillosa	DM Agricoltura e Foreste 11.05.92 – met. 6 (second ISSS) o USDA
Diametro massimo clasti	70 mm	CNR BU n. 23
Scheletro (diametro > 2mm)	< 30%	ASTM D422
pH in acqua	< 9	DM Agricoltura e Foreste 11.05.92 – met. 7
Sostanza organica	> 15 g/kg	DM Agricoltura e Foreste 13.09.99
C/N	5 - 15	DM Agricoltura e Foreste 13.09.99
Fosforo ass. (P2O5)	> 10mg/kg	DM Agricoltura e Foreste 13.09.99
Potassio scambiabile	> 50 mg/kg	DM Agricoltura e Foreste 13.09.99
Azoto totale	> 0,5 g/kg	DM Agricoltura e Foreste 13.09.99
Caratterizzazione ambientale	Fornitura esterna: rispetto dei limiti di cui Tab. 1 dell'All. 5, Titolo V del D. Lgs.152/06 per la destinazione sito specifica	D.Lgs. 152/2006

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 29 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	



4.2.5 Geomembrana in HDPE dello spessore di 1,5 mm a aderenza migliorata

La geomembrana impermeabile in Polietilene ad alta densità (GBR-P) dovrà essere prodotta con materiali copolimeri vergini (assolutamente non rigenerati o riciclati) di primissima qualità. La geomembrana dovrà essere a aderenza migliorata su entrambe le superfici, del tipo ruvida o strutturata (doppio ruvida o doppio strutturata) ed avere le seguenti caratteristiche:

- resistente ad agenti chimici presenti nel corpo rifiuti;
- resistente alle sollecitazioni meccaniche;
- inattaccabile da microrganismi, insetti e roditori;
- resistente alle perforazioni di radici;
- imputrescibile;
- resistente all'invecchiamento;
- stabile ai raggi UV e agli agenti atmosferici in genere.

Le geomembrane in HDPE devono rispondere ai seguenti requisiti minimi:

Tabella 4.4 - Caratteristiche del geomembrana in HDPE (1,5 mm)		
PARAMETRO	NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	VALORI MINIMI RICHIESTI
Tipo		Doppio ruvido (o doppio strutturato)
Natura del polimero: tipo di polimero	UNI EN ISO 11357	Polietilene ad alta densità (HDPE)
Composizione quantitativa della miscela: - polimero - nero di carbonio	ISO 6964 UNI EN ISO 11358 UNI EN ISO 11358	 ≥ 97 % ≥ 2 %
Spessore	UNI EN 1849-2	1,5 mm (+/- 10 %)
Massa volumica	UNI EN ISO 1183-1/2	0,94 – 0,96 g/cm ³ (+/- 1 %)
Carico di snervamento long/trasv	UNI EN ISO 527-3 provetta di tipo 5, velocità di prova 100 mm/minuto	≥ 16 MPa
Carico di rottura long/trasv		≥ 13 MPa (sup. strutturata) > 26 MPa (sup. liscia)
Allungamento a snervamento long/trasv		≥ 9 %
Allungamento a rottura long/trasv		≥ 400 % (sup. liscia) ≥ 700 % (sup. liscia)
Resistenza alla lacerazione	UNI ISO 34-1	≥ 130 N/mm
Stress Cracking	UNI EN 14576	≥ 300 ore
Resistenza al punzonamento statico (CBR)	UNI EN ISO 12236	≥ 3,2 kN



	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 30 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

4.2.6 Geotessile tessuto non tessuto

Il geotessile tessuto non tessuto sarà utilizzato a protezione della geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE del capping e dovrà essere costituito al 100% da fibre di prima scelta di polipropilene, coesionate meccanicamente mediante agugliatura, con esclusione di collanti o leganti chimici. Il geotessile dovrà garantire buone caratteristiche di durezza e compatibilità chimica, oltre che di resistenza meccanica. Le caratteristiche tecniche dovranno corrispondere a quelle previste dalla norma UNI EN 13257 (geotessili e prodotti affini) e prevedere i seguenti requisiti minimi:

Tabella 4.5 - Caratteristiche del TNT a protezione della geomembrana in HDPE (copertura)

Caratteristiche tecniche	Unità di misura	Tipologia prodotto	Metodologia
Fibra		Polipropilene	
Massa areica	g/m	≥ 500	UNI EN ISO 9864; ASTM D5261
Spessore a 2 kPa	mm	> 4,0	EN ISO 9863-1
Resistenza a trazione longitudinale	kN/m	> 33	EN ISO 10319; ASTM D6768
Deformazione a carico massimo longitudinale	%	90	
Resistenza a trazione trasversale	kN/m	> 31	
Deformazione a carico massimo trasversale	%	90	
Resistenza al punzonamento statico (CBR)	N	> 5500	UNI EN ISO 12236

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 31 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

5 SERVIZI ACCESSORI E RETI TECNOLOGICHE

5.1 Sistema rilancio e stoccaggio del percolato

Il percolato prodotto dal MPF sarà inviato, tramite collegamento diretto senza soluzione di continuità, ai silos di stoccaggio e da questi caricati in autobotti e smaltiti secondo la normativa vigente presso impianti terzi di trattamento/smaltimento autorizzati.

Durante un evento eccezionale, con tempo di ritorno 10 anni e nella configurazione maggiormente critica di gestione del MPF, il volume di percolato massimo invasato sarà pari a 1.283 m³.

Il parco silos sarà composto da n.2 serbatoi in vetroresina, con capacità di 30 m³ cad, allocati all'interno di una vasca di sicurezza in calcestruzzo (per maggiori dettagli tecnici si rimanda al documento "100076-ENG-F-F5-6002-All. 6 - Relazione idrologica e idraulica").



5.2 Sistema di raccolta delle acque meteoriche

Le acque meteoriche ricadenti sulla copertura finale del MPF non entrano in alcun caso a contatto con le potenziali sorgenti di contaminazione; pertanto, sono da considerarsi non contaminate e possono essere allontanate e scaricate in un recettore finale senza alcun trattamento.

I sistemi di drenaggio hanno pendenze e dimensioni che variano in funzione della loro posizione, della morfologia e delle portate da drenare. Per i relativi dettagli si rimanda al cap.4 del documento "100076-ENG-F-F5-6002-All. 6 - Relazione idrologica e idraulica".

Le acque meteoriche ricadenti nell'area pavimentata della zona circostante l'impianto di lavaggio ruote, avente superficie pari a circa 300 mq, saranno raccolte da una canaletta grigliata posta a ridosso della rampa di salita del lavaggio ruote stesso. Tali acque, potenzialmente contaminate, saranno inviate tramite collegamento diretto, senza soluzione di continuità, all'impianto di trattamento della Piattaforma Polifunzionale di cui al Progetto Nuraghe Fase 1, con una portata massima pari a circa 1,9 mc/ora⁶. Eventuali portate che non potranno essere inviate direttamente all'impianto di trattamento in piattaforma (TA) saranno laminate in quattro cisterne da 10 m³cadauna, collocate all'interno di una vasca di sicurezza in cls. Il volume utile di 40 m³ delle cisterne risulta sufficiente per la corretta

⁶ Tale valore è la massima portata che l'impianto di trattamento della piattaforma può accettare dal SDR e MPF per la gestione a regime dei percolati e delle acque di ruscellamento delle aree pavimentate

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 32 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

laminazione delle portate generate da eventi meteorici di grande intensità (precipitazioni pari a 120 mm in 48 ore). Considerando le esigue superfici scolanti, e per semplicità gestionale, è stato cautelativamente deciso di trattare tutte le acque di dilavamento.

Le cisterne di stoccaggio delle acque di dilavamento sono dotate di un sistema di by-pass che, mediante l'azionamento meccanico di saracinesche poste sui collettori di alimentazione, garantiscono lo scarico delle acque eccedenti i 40 m³ di stoccaggio nel manufatto di dissipazione (D1) ed il successivo collettamento a gravità nel corso idrico superficiale presente ad est del MPF; tale circostanza è ritenuta tuttavia molto improbabile alla luce della cautela adottata nel dimensionamento volumetrico del sistema di laminazione.

Si rimanda al "100076-ENG-F-F5-6002-All. 6 - Relazione idrologica e idraulica" per ogni ulteriore approfondimento in merito al sistema di regimazione idraulica e al suo dimensionamento.

5.3 Viabilità di collegamento ed interna del sito

La viabilità dei mezzi di provenienza esterna, necessari per l'approntamento, sarà la medesima utilizzata per gli impianti di cui a Progetto Nuraghe Fase 1 ovvero la Piattaforma Polifunzionale e il Sito di Raccolta.

I mezzi di conferimento, dall'area palte fosfatiche arriveranno al MPF attraverso la viabilità ordinaria esistente nello stabilimento.

In avanzamento con la realizzazione della vasca sarà realizzata anche una pista perimetrale, sul corpo dell'argine, in betonelle autobloccanti del tipo per uso industriale, su sottostante strato in misto cementato su massiciata esistente della larghezza di circa 3 m che consentirà una circolazione agevole dei mezzi (di cantiere e di conferimento) e le attività di manutenzione dei pozzi di estrazione e della copertura finale.



5.4 Reti tecnologiche

Il MPF sarà collegato al Sito di Raccolta (SdR) per la fornitura di acqua ed energia elettrica.

5.4.1 Impianto elettrico

Il MPF sarà dotato di impianto elettrico, collegato all'esistente impianto elettrico del SdR, in grado di alimentare le pompe di estrazione e rilancio del percolato, per l'alimentazione del lavaggio ruote e per l'alimentazione dell'impianto di irrigazione.

Poiché le operazioni saranno condotte durante le ore diurne (di luce) non è prevista la realizzazione di impianti d'illuminazione artificiale.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 33 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

5.4.2 Rete acque

Il MPF sarà dotato di impianto idrico per l'alimentazione del lavaggio ruote e dell'impianto di irrigazione.

5.5 Pesa

Il MPF riceve esclusivamente materiali derivanti dalla bonifica dell'area Palte Fosfatice e dell'area ex-TPF, che, prima di essere conferiti verranno caratterizzati e pesati in area palte.

5.6 Recinzione ed accessi

Al fine di impedire il libero accesso al sito di persone ed animali, sarà realizzata una recinzione lungo tutto il perimetro dell'area del MPF; tale recinzione avrà altezza minima pari a 2 m e sarà completata tramite rete metallica zincata anti-roditori; nella seguente figura 5.1 è riportato un tipologico della recinzione.

L'estensione totale della recinzione esterna sarà pari a circa 1150 m, dei quali 420 m di competenza dell'MPF e 730 m del Sito di Raccolta (non oggetto del presente progetto).

In corrispondenza del settore nord ovest del MPF, ai piedi della rampa di accesso, è prevista la realizzazione di un cancello di larghezza pari a circa 8 m per il controllo degli accessi che sarà mantenuto chiuso durante le ore di non operatività del sito. Tale accesso sarà a servizio anche del Sito di Raccolta.

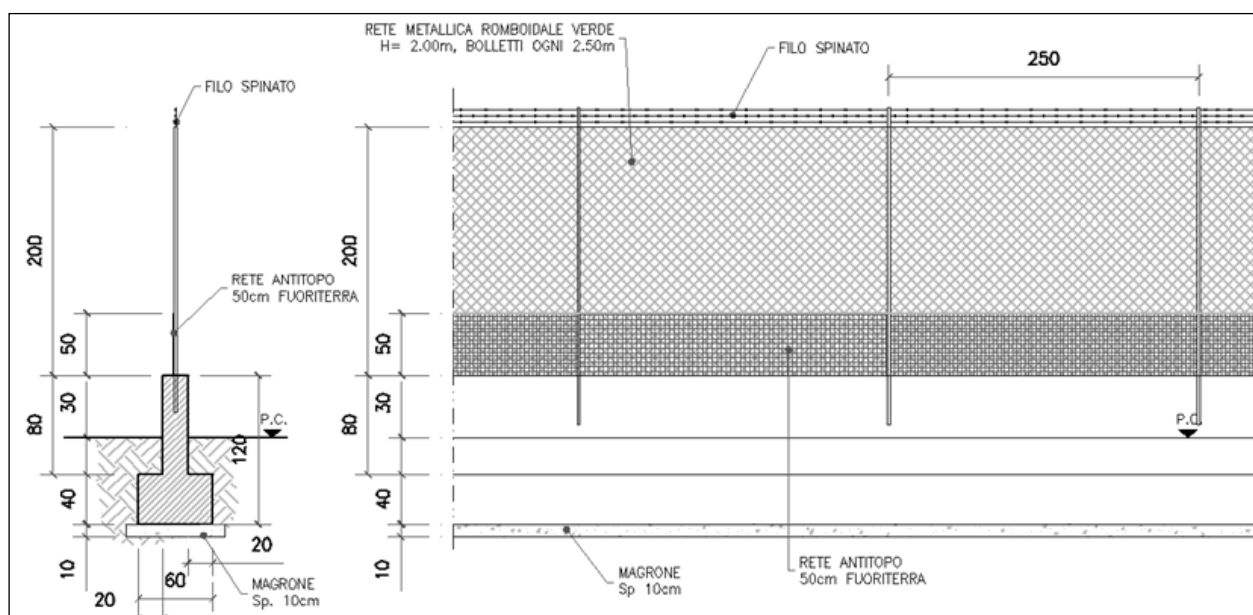




Figura 5.1: Prospetto e sezione tipologici della recinzione perimetrale

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 34 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

6 BILANCIO DELLE TERRE E DEI MATERIALI NATURALI PER LA COSTRUZIONE DEL MPF

I materiali naturali necessari per la costruzione del MPF proverranno interamente da forniture esterne.

La realizzazione del MPF non prevede scavi, fatti salvi quelli necessari alla realizzazione della trincea di ancoraggio dei teli, realizzata in corrispondenza della sommità degli argini della vasca (vedi Cap. 3.4.2); i materiali derivanti dagli scavi della trincea saranno riutilizzati per il riempimento della stessa.

Si riporta nel seguito una tabella riassuntiva dei movimenti terra per la realizzazione della vasca del MPF.

Tabella 6.1 - Movimenti terra per la realizzazione della vasca del MPF				
	Riporti (mc)	Livellamenti (mc)	Netto movimenti terra (mc)	Fornitura materiali
Formazione piano posa barriera di confinamento, argini perimetrali	46.000	0	44.600	Esterna
Argilla della barriera di confinamento	24.500	0	24.500	Esterna
Strato drenante percolato	5.000	0	5.000	Esterna



Il materiale da utilizzare per la realizzazione del piano posa dell'argilla dovrà essere caratterizzato da modulo (Md), ottenuto mediante prova di carico su piastra da 30 cm, (rif. CNR n. 9/11.12.1967) superiore a 25 MPa da effettuarsi sul materiale posato e adeguatamente compattato.

Nel seguito si riporta una tabella indicante i movimenti terra necessari per la realizzazione della copertura definitiva del MPF.

Tabella 6.2 - Movimenti terra per la realizzazione della copertura definitiva del MPF				
	Spessore strato (m)	Area di pertinenza (mq)	Volume di materiale (mc)	Fornitura materiali
Strato di rottura capillare	0,5	11.100	5.550	Esterna
Argilla copertura	0,5	13.500	6.750	Esterna
Drenaggio acque meteoriche	0,5	13.500	6.750	Esterna
Strato superficiale	1	13.500	13.500	Esterna

Nell'elaborato grafico "100076-ENG-F-F5-6002-All.12 – Planimetria e sezioni sterri e riporti" è rappresentata, tramite planimetria e sezioni, le operazioni di riporto per la realizzazione della vasca del MPF.

In fase esecutiva saranno effettuate verifiche di approfondimento in merito alla qualità pedologica (tessitura ed agronomica) dei terreni di copertura presenti in sito, ai fini di un eventuale riutilizzo per il recupero ambientale del MPF. In via cautelativa, nel calcolo dei volumi di movimento terre sopra riportati, è stata trascurata la possibilità di riutilizzo di tali terreni.

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 35 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

6.1 Presenza di cave per la fornitura dei materiali

Sulla base dei dati contenuti nel Piano Regionale delle Attività Estrattive sono stati censiti i siti di cava attivi in cui è possibile reperire i materiali da utilizzare per la realizzazione delle opere in progetto.

In particolare, per le opere in progetto sono state analizzate:

- le attività estrattive che producono inerti per rilevati e riempimenti, per la realizzazione degli argini e la formazione del piano posa barriera di confinamento;
- le attività estrattive che producono materiali argillosi, per la formazione della barriera di confinamento e dello strato minerale in copertura;
- le attività estrattive che producono sia inerti per rilevati e riempimenti sia inerti per conglomerati per la realizzazione dello strato drenante di fondo.



Nella ricerca delle cave per la realizzazione dello strato drenante di fondo sono state considerate le due tipologie di prodotti commerciali che potrebbero essere utilizzati per la realizzazione dello stesso, escludendo le cave che il cui prodotti risultino dall'estrazione/lavorazione di "rocce dure" in quanto lo strato di drenaggio non può essere realizzato con tale tipologia di materiale.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva del numero di cave attualmente attive⁷, per tipologia di materiale prodotto in funzione della componente da realizzare, da cui potrebbero essere reperiti i materiali di cava (Fonte dei dati: Piano Regionale delle Attività Estrattive - catasto regionale dei giacimenti di cava).

Tabella 6.3 - Sintesi delle attività estrattive attive per l'approvvigionamento dei materiali			
Provincia	Prodotto commerciale della cava	Componente da realizzare	n. cave attive
Sassari	Inerti per rilevati e riempimenti	Argini e copertura, drenaggio, piste	2
	Argilla	Barriera di confinamento e copertura	0
	Inerti per rilevati e riempimenti e Inerti per conglomerati	Drenaggio (fondo e copertura) e piste	3
Sud Sardegna	Inerti per rilevati e riempimenti	Argini e copertura, drenaggio, piste	2
	Argilla	Barriera di confinamento e copertura	3
	Inerti per rilevati e riempimenti e Inerti per conglomerati	Drenaggio (fondo e copertura) e piste	2
Città Metropolitana di Cagliari	Inerti per rilevati e riempimenti	Argini e copertura, drenaggio, piste	4
	Argilla	Barriera di confinamento e copertura	3
	Inerti per rilevati e riempimenti e Inerti per conglomerati	Drenaggio (fondo e copertura) e piste	4
Nuoro	Inerti per rilevati e riempimenti	Argini e copertura, drenaggio, piste	5
	Argilla	Barriera di confinamento e copertura	1
	Inerti per rilevati e riempimenti e Inerti per conglomerati	Drenaggio (fondo e copertura) e piste	1
Oristano	Inerti per rilevati e riempimenti	Argini e copertura, drenaggio, piste	3
	Argilla	Barriera di confinamento e copertura	0
	Inerti per rilevati e riempimenti e Inerti per conglomerati	Drenaggio (fondo e copertura) e piste	2

⁷ Cave in esercizio ripartite per provincia, tipologia di materiale e relativo impiego.

Fonte: Dati Assessorato regionale dell'Industria - Servizio attività estrattive e recupero ambientale, 13 luglio 2023

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 36 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

7 PIANO DI GESTIONE

Nel Modulo Palte Fosfatichè si effettuerà l'operazione di smaltimento D1 ai sensi del d.lgs. 152/2006 su rifiuti non pericolosi. Il piano di gestione del MPF prevede il conferimento in due anni di una volumetria pari a 42.000 mc, al lordo delle coperture provvisorie e delle piste di coltivazione.

La costruzione e gestione della discarica porta ad una successione di attività che riguardano l'approntamento della vasca con i sistemi di impermeabilizzazione, il conferimento dei rifiuti e la copertura della vasca. Tali fasi si succedono in modo consequenziale secondo quanto illustrato nel paragrafo successivo.

Il MPF è realizzato per ricevere esclusivamente il materiale derivante dalla bonifica dell'area Palte Fosfatichè e dell'area ex-TPF.

Come meglio descritto nell'elaborato *“Protocollo di campionamento e analisi rifiuti generati dal trattamento delle palte”* nella sezione documentale “ELABORATI RADIOMETRICI” a cui si rimanda, sui rifiuti prodotti a seguito del trattamento nell'Impianto di Inertizzazione, presente in Area Palte, trascorsi i tempi sufficienti alla maturazione, il laboratorio dovrà eseguire il test dell'eluato per la verifica di conformità alla Tab. 5 o 5a del D.lgs.121/2020. Eseguito il test se il rifiuto risulterà:



- non pericoloso, verranno presi in considerazione i limiti relativi alla Tab. 5 del d.lgs.121/2020 (Limiti di concentrazione nell'eluato per l'accettabilità di rifiuti non pericolosi in discariche per rifiuti non pericolosi),
- pericoloso, verranno presi in considerazione i limiti relativi alla Tab. 5a del d.lgs.121/2020 (Limiti di concentrazione nell'eluato per l'accettabilità di rifiuti pericolosi stabili non reattivi in discariche per rifiuti non pericolosi).

7.1 Cronoprogramma costruzione e gestione operativa del Modulo Palte Fosfatichè

Si riportano nel seguito le fasi principali di realizzazione, gestione e chiusura definitiva del Modulo Palte Fosfatichè, che complessivamente impegneranno un arco temporale di circa tre anni.

Fase 1: costruzione bacino

- Inizio lavori: successivo all'inizio dello scavo dei terreni contaminati in area Minciareda (circa tre mesi)
- Durata prevista: 8 mesi naturali (240 gg consecutivi)
- Attività previste:
 - 3,5 mesi per la posa di terreni di riporto, provenienti da forniture esterne, per una volumetria complessiva di circa 46.000 m³;
 - 1 mese per la posa dell'argilla, di fornitura esterna, per una volumetria complessiva di circa 24.500mc;

	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 37 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	


- 2 mesi per posa di materiali geosintetici (teli e geocompositi), di approvvigionamento esterno (per un totale di circa 30.000 mq), e per la realizzazione dell'area servizi (zona stoccaggio percolato, piezometri);
- 0,5 mesi per la posa della ghiaia, di fornitura esterna, per un volume complessivo di circa 5.000 mc (strato drenante percolato);
- 1 mese per collaudo finale e nulla osta al conferimento;
- Mezzi impiegati:
 - approvvigionamento materiali da costruzione (terreni, argilla, geosintetici, ghiaia): 46 transiti/giorno di mezzi cat.16/32 ton per un totale di 210 giorni;

Fase 2: conferimento rifiuti

- Inizio lavori: a valle della Fase 1 e dell'inizio delle operazioni di bonifica dell'area Palte Fosfatice e dell'area ex-TPF.
- Durata prevista: 530 giorni
- Attività previste:
 - Conferimento per circa 530 giorni dei materiali derivanti dalla bonifica dell'area Palte Fosfatice e dell'area ex-TPF per 42.000 mc, incluso uno spessore di 20 cm di terreno da interporre tra i 4 strati di big bag da conferire entro il modulo.
- Mezzi impiegati:
 - movimentazione big bag da area palte ed entro MPF: 4 transiti/giorno di mezzi cat.16/32 ton per un totale di 530 giorni.

Fase 3: copertura definitiva MPF

- Inizio lavori: al termine dei conferimenti dei materiali derivanti dalla dell'area Palte Fosfatice e dell'area ex-TPF nel MPF;
- Durata prevista: circa 150 giorni consecutivi
- Attività previste:
 - 15 gg per la posa dello strato di drenaggio del gas e di rottura capillare, proveniente da forniture esterne, per una volumetria di circa 5.550 mc;
 - 15 gg per la posa dello strato minerale compattato, di fornitura esterna, per una volumetria di circa 6.750 mc;
 - 45 gg per la posa della geomembrana in HDPE e del geotessile tessuto non tessuto di protezione della geomembrana sottostante, per un totale di 14.500 mq;
 - 15 gg per la posa dello strato drenante, di fornitura esterna, per una volumetria di circa 6.750mc;

 <small>remediation & waste into development</small>	SITO/LOCALITA' Porto Torres (SS)	N° DOC. 100076-ENG-F-F5-6002	PVI: 100076	N° COMMESSA RE-1076-BSTR-1_I
	TITOLO BONIFICA PALTE FOSFATICHE (EX NURAGHE FASE 2) MODULO PALTE FOSFATICHE – RELAZIONE TECNICA		Pag. 38 di 38	
LOGO APPALTATORE 	N°DOC Appaltatore	FUNZIONE EMITTENTE INGEA/TEBO	INDICE DI REV. 02	

- 30 gg per la posa dello strato superficiale di copertura, proveniente da fornitura esterna per una volumetria di circa 13.500 mc di materiale;
- 30 gg mese per il collaudo delle opere.;
- Mezzi impiegati:
 - approvvigionamento materiali per chiusura MPF: 6 transiti/giorno di mezzi cat.16/32 ton per un totale di 150 giorni.