



COMUNE DI VILLASIMIUS


Provincia del Sud Sardegna

INTERVENTO DI “COPERTURA FINALE DELLA DISCARICA CONTROLLATA PER RIFIUTI SOLIDI URBANI, UBICATA NEL COMUNE DI VILLASIMIUS VIALE DEI CORMORANI N. 8 LOCALITÀ ZIMMIONI”.

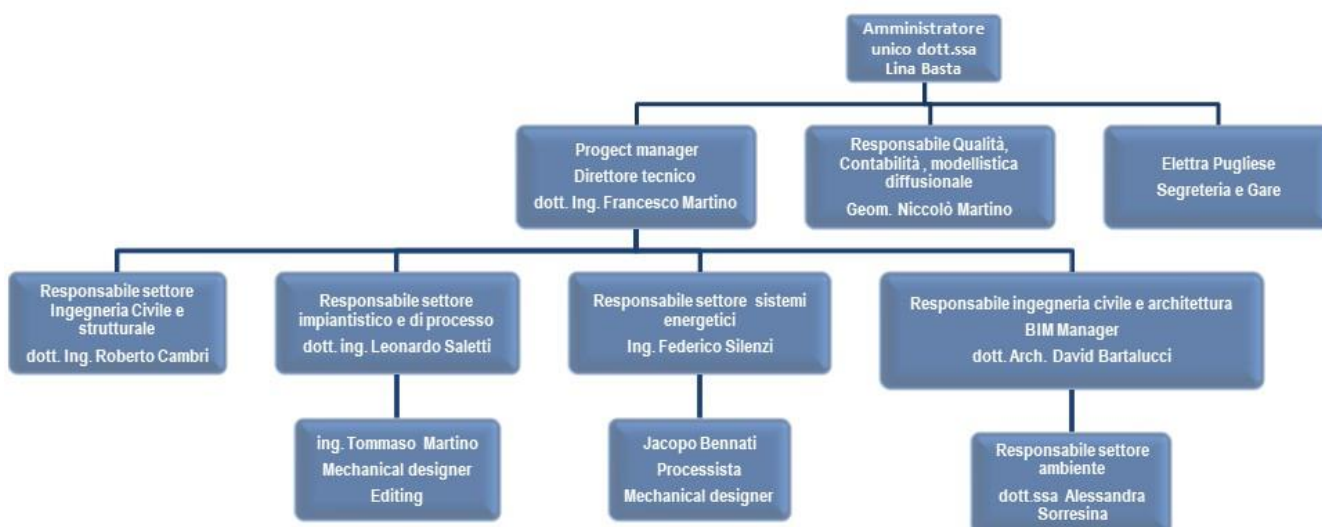


PROGETTO DEFINITIVO STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA
D355PDRT007.00_RLT_07

Gruppo di lavoro:

mandataria:	mandante:	mandante:	mandante:
 martino associati ingegneria e tecnologie ambientali	Ing. Gianluca Utzeri	Dott. Agr. Simone Cuccuru	Dott.geol. Stefano Conti

Organigramma e staff della martino associati srl



Sistemi Qualità Certificati



ISO 14001:2015
 Certificato n° IT.21.0069.00.EMS



UNI EN ISO 9001 (ISO 9001)
 Certificato n° FS587971



ISO 45001:2018
 Certificato n° IT.21.0070.00.OHS

Sommario

1. Premessa	4
2. Quadro normativo di riferimento	5
3. Inquadramento Geografico e cartografico.....	5
4. Vincoli di natura geologica.....	7
4.1 Vincoli geologici gravanti sull'area di intervento	8
5. Sintesi del modello geologico di riferimento.....	10
6. Indagini Geognostiche.....	13
6.1 Indagini geognostiche pregresse.....	13
6.2 Indagini geognostiche di progetto.....	16
7. Sintesi della modellazione geotecnica	21
7.1 Modello geotecnico del sottosuolo	21
7.2 Sintesi delle Verifiche geotecniche	23
8. Sintesi dello studio e analisi di compatibilità geologica e geotecnica	25

1. PREMESSA

Nel presente documento si riassumono i risultati dello studio di compatibilità geologica e geotecnica eseguito su incarico dell'Amministrazione Comunale di Villasimius nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo dell'intervento denominato: "Discarica controllata per rifiuti solidi urbani sita nel Comune di Villasimius Viale dei Cormorani n. 8 località Zimmioni "CHIUSURA DEFINITIVA".

Con specifico riferimento all'Art. 25 delle Norme di Attuazione del PAI della Regione Sardegna lo studio è mirato a valutare il progetto con riferimento alla finalità, agli effetti ambientali; analizzare le relazioni tra le trasformazioni del territorio derivanti dalla realizzazione dell'intervento proposto e le condizioni dei dissesti attivi o potenziali dell'area interessata e a verificare la coerenza del progetto con le previsioni e le norme del PAI.

Fanno parte integrante dello studio i seguenti elaborati di progetto definitivo: Relazione Geologica (Doc. n. D355PDRT005.00_RLT_05) e Relazione Geotecnica (Doc. n. D355PDRT006.00_RLT_06)

2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

- D.P.R. 380/01 - "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia. (Testo A)"
- D.M. 17 Gennaio 2018 – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- Circolare n. 617/CSLLPP 02/02/2009 – "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"
- Opcm n. 3274 del 20 marzo 2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- D.M. LL.PP. 11/03/1988 – "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione"
- Legge nr. 64 del 02/02/1974. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- N.A. – Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) Regione Sardegna
- D.lgs. 121/2010 – Attuazione della direttiva (UE) 2018/850, che modifica la direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti. (20G00138)

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

Il settore studiato si trova a NNE dell'abitato di Villasimius in Località Bruncu Zimmioni ed è raggiungibile attraverso la Strada Provinciale di Villasimius SP n. 19.

Nella Cartografia IGM 1:25.000 l'area di indagine ricade all'interno del **Foglio 567-I Villasimius** (vedi Stralcio IGM di Figura 1)

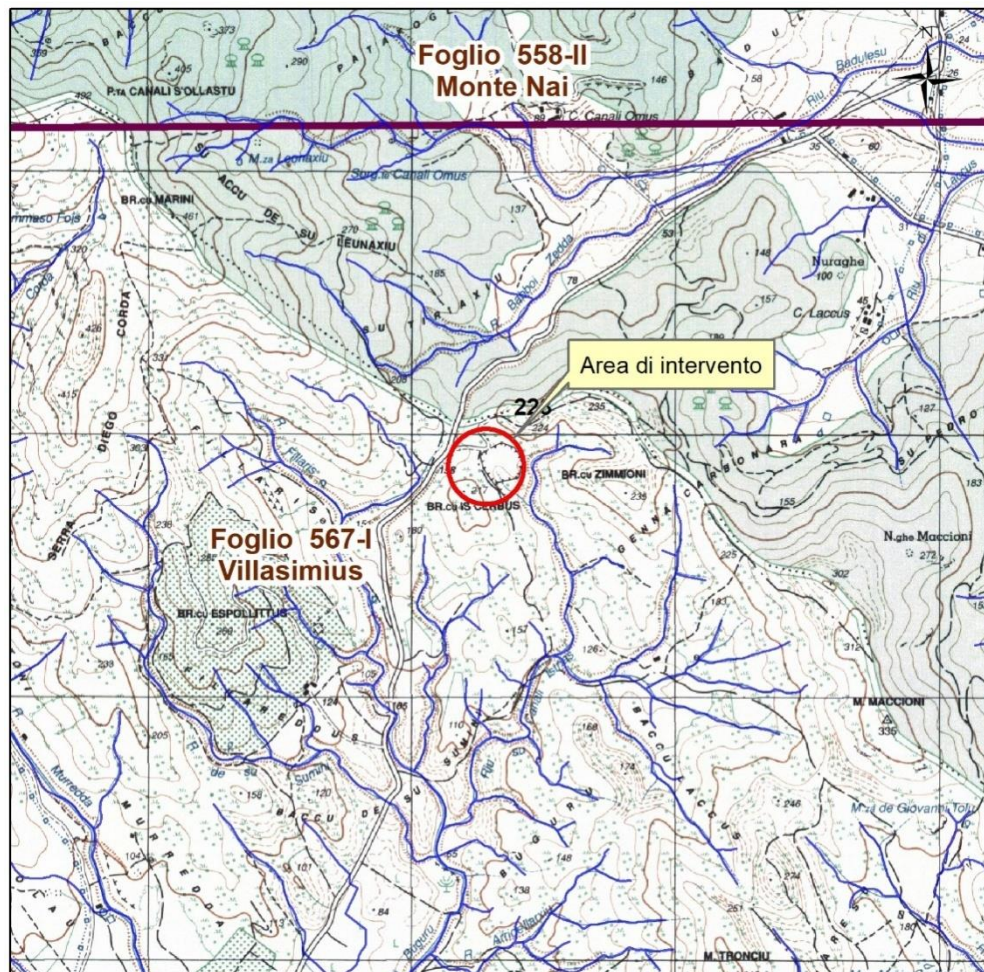


Figura 1 Stralcio IGM Scala 1:25.000

Nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 l'area è interamente contenuta all'interno della Sezione 567030 Cala Pira, (vedi Stralcio cartografico di Figura 2) pressoché centrata alle coordinate UTM Gauss Boaga:
1.545.230 – 4.337.688

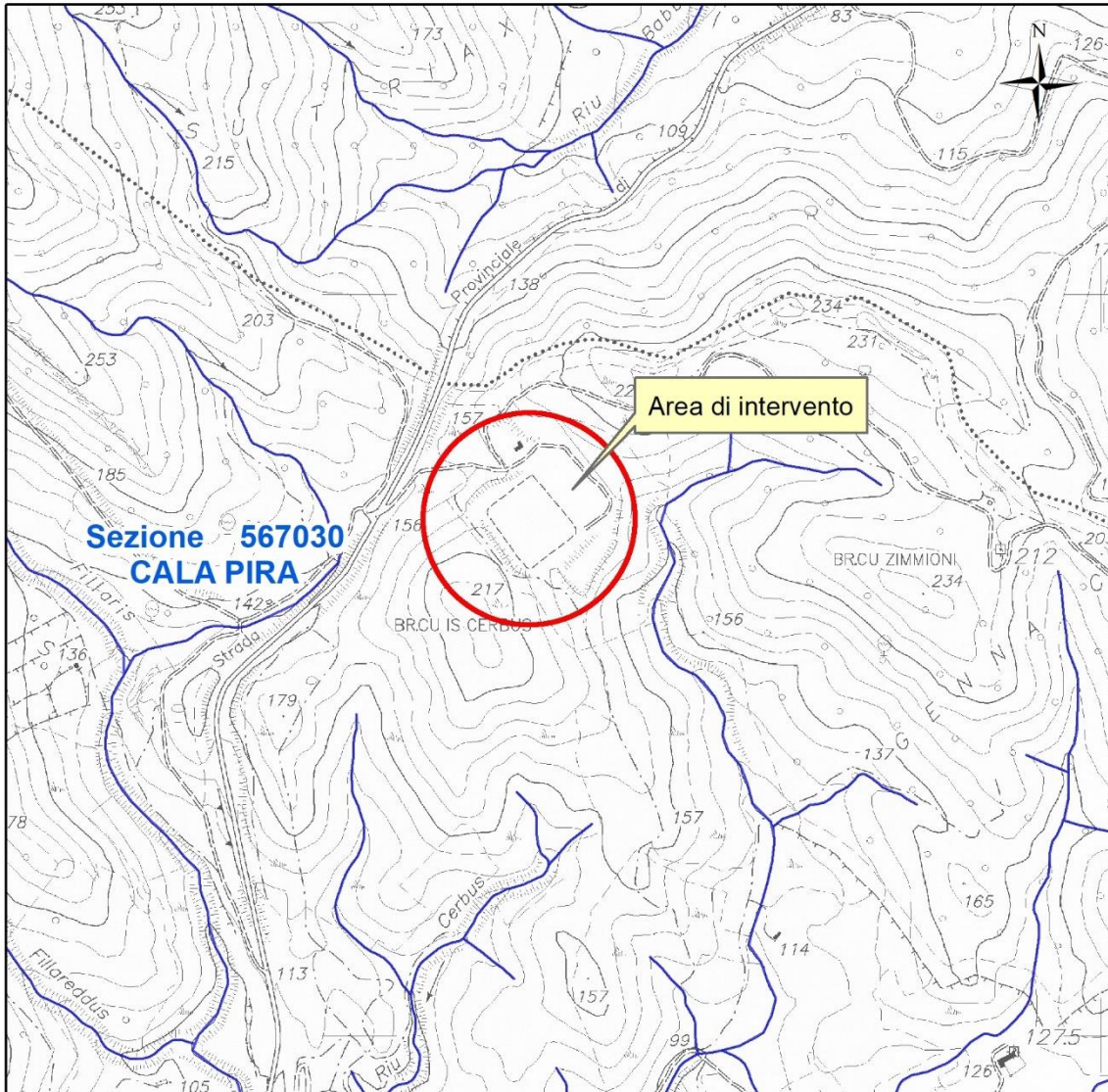


Figura 2 Stralcio CTR Scala 1:10.000

4. VINCOLI DI NATURA GEOLOGICA

In tema di difesa del suolo, il principale strumento normativo che regola l'utilizzo del territorio è rappresentato al Piano di Bacino di cui all'articolo 65 del decreto legislativo n. 152 del 2006 che rappresenta il quadro di riferimento a cui devono adeguarsi e riferirsi tutti i provvedimenti autorizzativi e concessori inerenti agli interventi ricadenti all'interno del bacino.

Il Piano di bacino è redatto, adottato e approvato per sottobacini o per stralci relativi a settori funzionali, interessanti anche più bacini idrografici e costituenti, in ogni caso, fasi sequenziali e interrelate rispetto ai suoi contenuti.

I piani stralcio approvati nel territorio Regionale sono:

- il Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (PAI), che contempla sia il rischio idraulico che il rischio geomorfologico da frana.
- il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) che costituisce un approfondimento ed una integrazione al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in tema di pericolosità idraulica.

Recentemente è stato adottato in via definitiva con delibera del C.I. n. 2 del 15/03/2016 il Piano di Gestione del Rischio Alluvione (PGRA) finalizzato alla riduzione delle conseguenze negative sulla salute umana, sull'ambiente e sulla società derivanti dalle alluvioni.

Il Comune di Villasimius, con Verbale di adunanza del consiglio Comunale n. 40 del 19/12/2013 ha adottato lo "studio di compatibilità geologica geotecnica finalizzato al piano urbanistico comunale, così come previsto dall'art.8, comma2, delle norme di attuazione del P.A.I.

Lo studio ha individuato all'interno del territorio comunale dei Villasimius delle nuove aree a significativa pericolosità idraulica e geomorfologica ed è stato adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della regione Sardegna con Deliberazione n. 15 del 07/05/2014.

4.1 VINCOLI GEOLOGICI GRAVANTI SULL'AREA DI INTERVENTO

Facendo riferimento a agli strumenti di pianificazione citati nel paragrafo precedente si evidenzia quanto segue:

Pericolosità geologica da frana

Per quanto riguarda la pericolosità geologica per frana, la discarica ricade in un'area definita a pericolosità geomorfologica da frana moderata (Hg2). La disciplina delle attività in aree Hg2 è contenuta nell'Art. 33 delle Norme di Attuazione del PAI, all'interno di questo gli interventi in progetto possono essere inquadrati come interventi di adeguamento di impianti di smaltimento esistenti, Comma 3 lettera b e dunque fattibili previo esito positivo di un apposito studio di Compatibilità geologica e geotecnica (Art. 25 NTA) da sottoporre all'esame dell'Amministrazione Comunale.

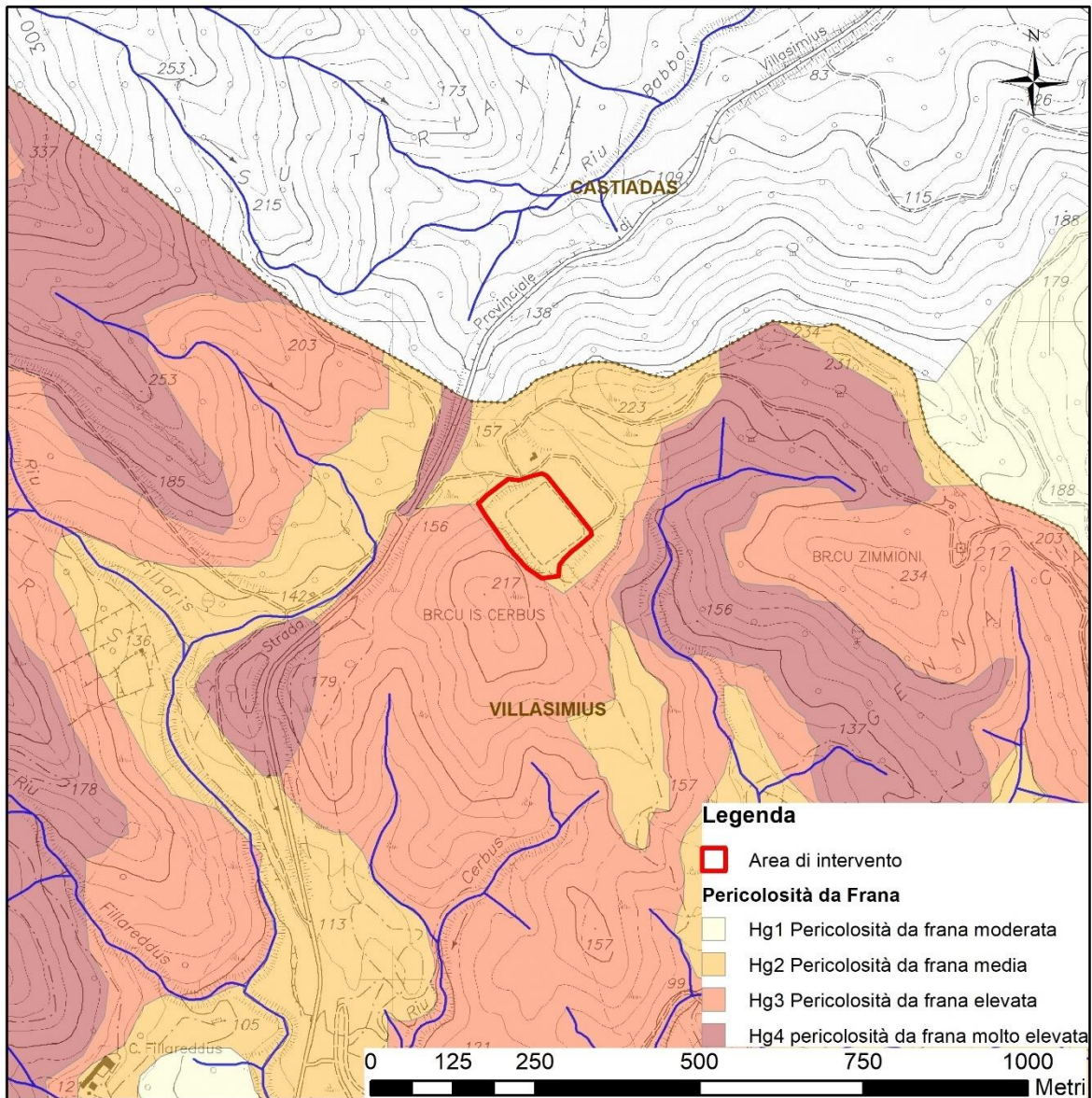


Figura 3 Carta delle Pericolosità Geologica Scala 1:10.000

Pericolosità idraulica

Per quanto riguarda la pericolosità idraulica invece l'area non rientra tra le aree perimetrare dal PAI nella sua versione originale né dal Piano Stralcio delle Aree Fluviali.

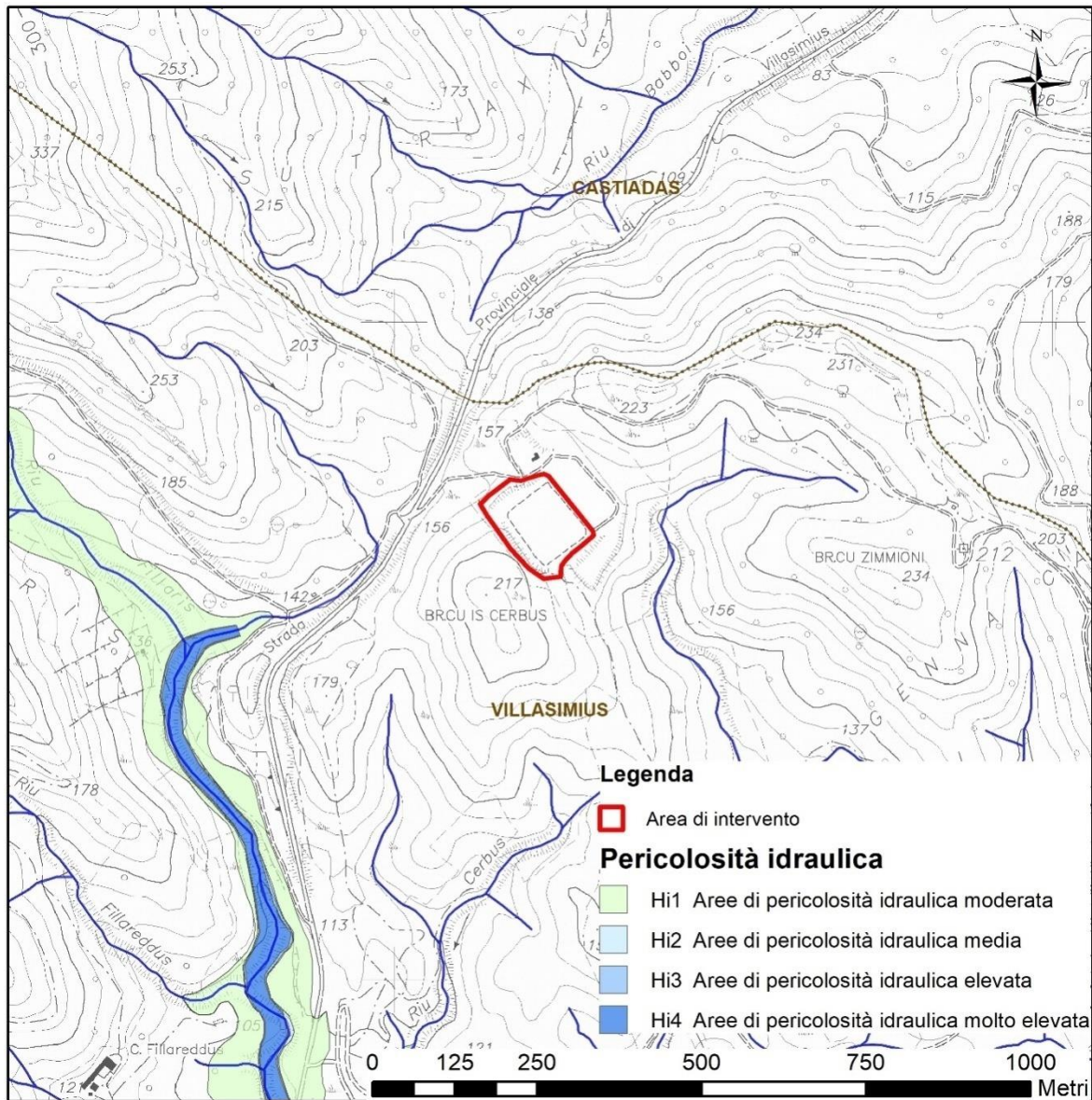


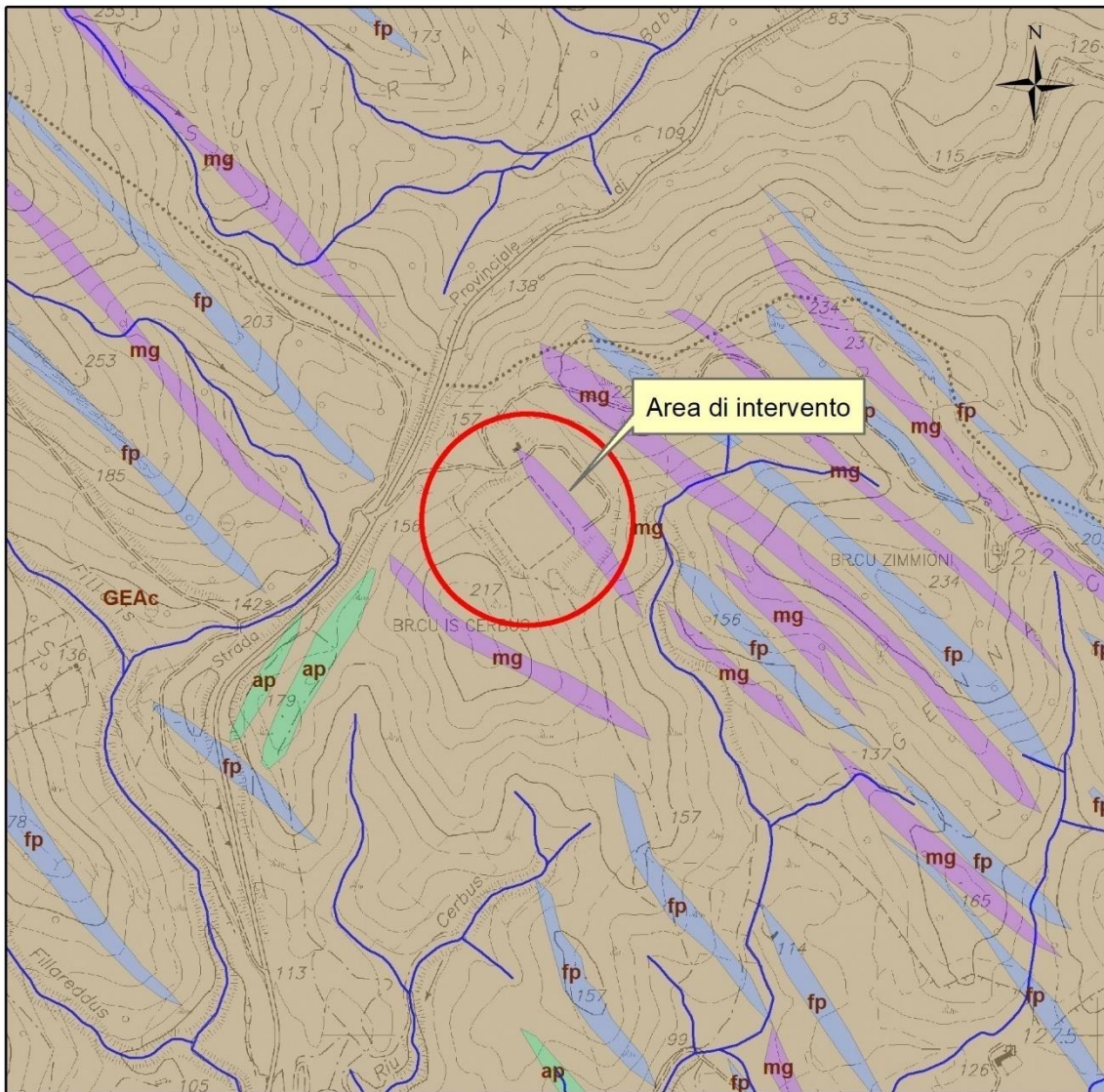
Figura 4 Stralcio della carta della Pericolosità idraulica

5. SINTESI DEL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Il contesto geologico in cui si colloca il sito è definito nella Relazione Geologica (Doc. n. D355PDRT005.00_RLT_05) parte integrante del presente documento, di seguito si riassumono gli aspetti principali che hanno portato alla definizione del modello geologico di riferimento.

Aspetti geologici

Il sito si sviluppa in corrispondenza dello spartiacque principale che separa il bacino idrografico del Rio Foxi da quello del Rio Corr'e Pruna, in un contesto geologico caratterizzato da formazioni intrusive appartenenti al batolite del Sarrabus, rappresentate principalmente dalle granodioriti di Is Morus appartenenti all'Unità di Geremeas e da rocce subvulcaniche che comprendono filoni sia acidi che basici orientati prevalentemente NW-SE secondo le antiche direttrici tardo erciniche. Il quadro geologico generale viene illustrato nella Carta Geologica di Figura 5 estratta dalla Carta Geologica in scala 1:25.000 redatta dalla Regione Sardegna.



- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ap_Filoni e ammassi aplitici.
CARBONIFERO SUP. - PERMIANO mg_Filoni e ammassi di micrograniti.
CARBONIFERO SUP. - PERMIANO | <ul style="list-style-type: none"> fp_Porfidi granitici a struttura da afirica a porfirica.
CARBONIFERO SUP. - PERMIANO GEAc_Facies Is Mortorius (UNITÀ INTRUSIVA DI GEREMEAS).
CARBONIFERO SUP. |
|---|--|

Figura 5 Carta Geologica Scala 1:10.000

Le rocce che affiorano nell'intorno dell'area presentano un chimismo granitico-riolitico e struttura da porfirica a olocristallina. L'ammasso roccioso nell'insieme presenta una intensa alterazione superficiale favorita da un sistema di fratture molto ravvicinate, a giacitura sub-verticale, sviluppato parallelamente al sistema filoniano.

Aspetti geomorfologici

Il sito di discarica sorge in un contesto collinare ed è posizionato su una sella compresa tra due rilievi collinari allineati SW_NE con pendenze dei versanti compresi tra 15 e 25°. Il fronte sudovest è direttamente addossato al rilievo, mentre il fronte nordest è separato dal versante da un piazzale artificiale dove è stato localizzato l'impianto di compostaggio.

Il fronte nordovest si affaccia invece su un compluvio secondario che degrada fino alla strada provinciale con dislivello complessivo di circa 20, e pendenza naturale di circa 10°. Su questa risultano abbancati i materiali di risulta derivanti dalla realizzazione della vasca della discarica costituiti da materiali granulari con composizione di ghiaia e sabbia a spigoli vivi e legante limoso.

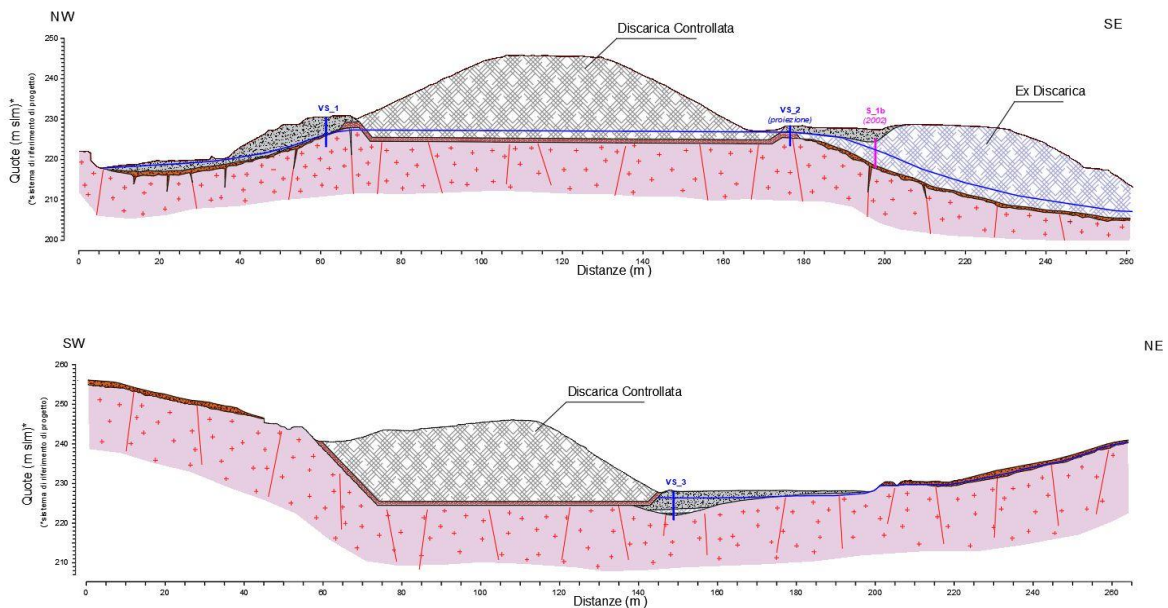
Sul versante opposto che si affaccia a sudest il versante naturale degrada nella valle del Rio Canale Istrias che scorre circa 40m più in basso, il versante è occupato da un vecchio corpo di discarica separato dalla discarica controllata da un piazzale artificiale largo circa 10m sul quale sono presenti materiali antropici.

I processi geomorfologici attivi sono riconducibili essenzialmente a processi di dilavamento di tipo diffuso o concentrato e piccoli smottamenti che interessano il sottile orizzonte di suoli residuali che rivestono il substrato roccioso. Dai rilievi condotti non emergono forme di instabilità a scala del versante.

Le analisi di stabilità globale condotte nel corso del presente studio permettono di prevedere un buon grado di stabilità anche per i materiali di riporto abbancati sul versante nordovest-

Aspetti litostratigrafici

L'assetto litostratigrafico del sito è rappresentato nelle due sezioni geologiche riportate nella Tavola GEO_2 allegata al progetto che vengono riportate in stralcio nelle figure seguenti.



In sintesi il modello litostratigrafico di riferimento può essere suddiviso in due raggruppamenti:

- Materiali antropici;
- Materiali autoctoni.

Materiali antropici

Comprendono tutti i materiali che sono stati abbancati nell'intorno del sito di discarica, precedentemente alla sua realizzazione (vecchia discarica) e nel corso della realizzazione della discarica stessa.

Tra questi si distinguono:

- Rifiuti;
- Limi;
- Ghiaie e sabbie debolmente limose.

Rifiuti:

I materiali costituenti il corpo di discarica sono costituiti da rifiuti solidi urbani abbancati in un intervallo di tempo che va dal 1997 al 2004 si tratta dunque di rifiuti relativamente "vecchi" con limitata produzione di percolato e biogas.

Limi

Comprendono i materiali costituenti l'argine realizzato sul fronte sudovest, nell'ambito del progetto di ampliamento della discarica. Sono stati intercettati nel sondaggio VS_2. Le analisi speditive di cantiere permettono di identificarli come dei limi inorganici ad alta plasticità (MH), debolmente sabbiosi, hanno un colore rossastro e si presentano molto compatti.

Ghiaie e sabbie debolmente limose

I volumi maggiori di riporti sono rappresentati da ghiaie miste a sabbia debolmente limose, composte da frammenti di rocce granitiche con dimensioni medie di 2-6 cm a spigoli vivi e sabbie quarzo-feldspatiche prodotti durante le fasi di scavo per la realizzazione della discarica. Questi materiali presentano una consistenza da compatta a mediamente compatta. Lo spessore è variabile, gli spessori maggiori sono individuati lungo il versante nordovest dove raggiungono una potenza di circa 4.00 m.

Materiali autoctoni

Comprendono il basamento granitico con la sua coltre di alterazione superficiale e un orizzonte superficiale di suolo residuale prodotto dall'alterazione chimica del basamento sottostante.

Schematicamente si possono distinguere i seguenti orizzonti:

- Suoli;
- Orizzonte di transizione;
- Basamento granitico.

Suoli

I suoli derivanti dal disfacimento in situ del basamento granitico presentano uno scheletro sabbioso ed una matrice limosa argillosa con materiale organico.

Nell'immediato intorno della discarica sono stati perlopiù asportati durante le operazioni di scavo, mentre lungo il versante NW sono stati intercettati dal sondaggio VS_1 al di sotto dei materiali di riporto con spessore di 30 cm.

Orizzonte di transizione

Interposto tra i suoli organici ed il basamento granitico si individua un orizzonte di transizione costituito dal basamento granitico completamente alterato (Grado V) e trasformato in una terra incoerente con granulometria di una ghiaia con sabbie e con limo mediamente compatta.

Questo orizzonte è stato individuato dal sondaggio VS_1, con potenza complessiva di 70 cm-

Basamento granitico

Il basamento granitico può essere osservato direttamente lungo le scarpate artificiali presenti nell'intorno del sito di discarica e in affioramenti naturali presenti lungo i versanti.

Si tratta di rocce granitiche a chimismo granodioritico intruse da un sistema di filoni prevalentemente acidi a chimismo sienogranitico. Lo stato di alterazione dell'ammasso roccioso risulta variabile da moderato (Grado III) a fortemente alterato (Grado IV).

Lo stato generale di alterazione dell'ammasso roccioso ha determinato una generale perdita delle caratteristiche di resistenza originarie della roccia trasformandola in una roccia perlopiù di consistenza da tenera a dura.

Assetto idrogeologico locale

Il sito è collocato in prossimità di una zona di dispiuvio e dunque non vi sono interferenze con il reticolo idrografico superficiale.

Le acque di ruscellamento superficiale attualmente sono intercettate da un sistema di regimazione artificiale che le convoglia in parte verso SE nel compluvio del canale Istrias ed in parte verso NW, verso la strada provinciale dove convergono verso il Rio Fillaris.

La circolazione sotterranea è condizionata dalle caratteristiche idrogeologiche delle formazioni affioranti:
 I materiali di riporto sono in prevalenza rappresentati da ghiaie con sabbia debolmente limose, pertanto dotate di una permeabilità medio alta per porosità primaria;
 I depositi autoctoni che ricoprono il basamento granitico e comprendono i suoli superficiali e l'orizzonte di transizione regolitico presentano anche questi un abbondante scheletro ghiaioso sabbioso che conferisce all'insieme un grado di permeabilità medio per porosità primaria;
 Il basamento granitico presenta una permeabilità variabile in relazione al grado di alterazione o fessurazione della roccia. Come schema generale il grado di permeabilità diminuisce gradualmente in profondità in relazione all'attenuarsi dei fenomeni di alterazione e alla progressiva chiusura delle fratture.
 In questo senso, l'orizzonte più superficiale è caratterizzato da una permeabilità medio bassa per porosità primaria o per fratturazione, mentre in profondità si sviluppa solo una permeabilità secondaria di grado basso per fratturazione.
 Tenendo conto di questa suddivisione il substrato granitico rappresenta una sorta di barriera a bassa permeabilità mentre la coltre detritica e i materiali di riporto rappresentano dei materiali permeabili che permettono l'infiltrazione e la circolazione delle acque superficiali.
 In coincidenza con gli eventi meteorici più importanti, si instaura dunque una falda superficiale sostenuta dal substrato granitico più compatto che defluisce parallelamente al versante. Questa falda, che è stata osservata anche nel corso dell'indagine geognostica scompare completamente nel periodo asciutto.

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

La ricostruzione del modello geologico e geotecnico del sottosuolo si è basata preliminarmente su una revisione critica di alcune indagini geognostiche realizzate nel passato le quali sono state integrate da una nuova campagna geognostica realizzata nel mese di dicembre del 2021 che ha compreso la realizzazione di ulteriori tre sondaggi a carotaggio con prove in situ e analisi di laboratorio geotecnico.

L'insieme dei dati è rappresentato nella Tavola GEO_01 Planimetria delle indagini Geognostiche riportata in stralcio nella figura seguente.



Figura 6 Planimetria delle indagini geognostiche (in magenta le indagini 2002, in blu le indagini 2020 ed in rosso le indagini di progetto)

6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

Le indagini pregresse che sono state messe a disposizione dall'Amministrazione comunale comprendono sondaggi e prove geofisiche realizzati nel corso di precedenti interventi eseguiti nell'intorno della discarica.

In particolare le informazioni utilizzate per la definizione del modello geologico comprendono:

- N. 3 sondaggi realizzati nel 2002 nel corso della progettazione degli interventi di risanamento e messa in sicurezza della ex discarica comunale di R.S.U documentati nella Relazione Geologica e Geotecnica redatta dal Dott. Geologo Paolo Pili;
- N. 1 Indagine geofisica con tecnica della sismica a rifrazione e tecnica MASW eseguita nel 2014 nell'ambito della redazione dello studio geologico a supporto dell'impianto di compostaggio e documentata nella Relazione redatta dal Dott. Geol. Mauro Strinna;
- N. 2 Sondaggi geognostici realizzati nel 2020 nell'ambito della redazione del Piano di monitoraggio transitorio della discarica di Bruncu Zimmioni documentati nella Relazione Tecnica redatta dal Dott. Geol. Maria Luisa Biggio.

Indagini 2002

Le indagini realizzate nel 2002 per il progetto di messa in sicurezza della vecchia discarica presente sul fronte Sud compresero l'esecuzione di diversi sondaggi geognostici eseguiti sul corpo di discarica e nel suo immediato intorno, tra questi quelli utili per la formulazione del modello geologico di riferimento sono tre sondaggi denominati S1b, S1 e S2 eseguiti sul margine nord della vecchia discarica, lungo il piazzale che separa le due discariche.

I sondaggi evidenziarono la presenza di un primo orizzonte di materiali di riporto inerti di spessore variabile tra 2 e 1.5 m seguito da un livello di rifiuti mineralizzati di spessore variabile all'incirca tra 6 e 7 m poggiante sul substrato naturale composto da un sottile orizzonte di suoli residuali che rivestono il basamento granitico.

Di seguito si riporta un'immagine della sezione geologica realizzata dal Geologo Pili lungo il piazzale che separa le due discariche.

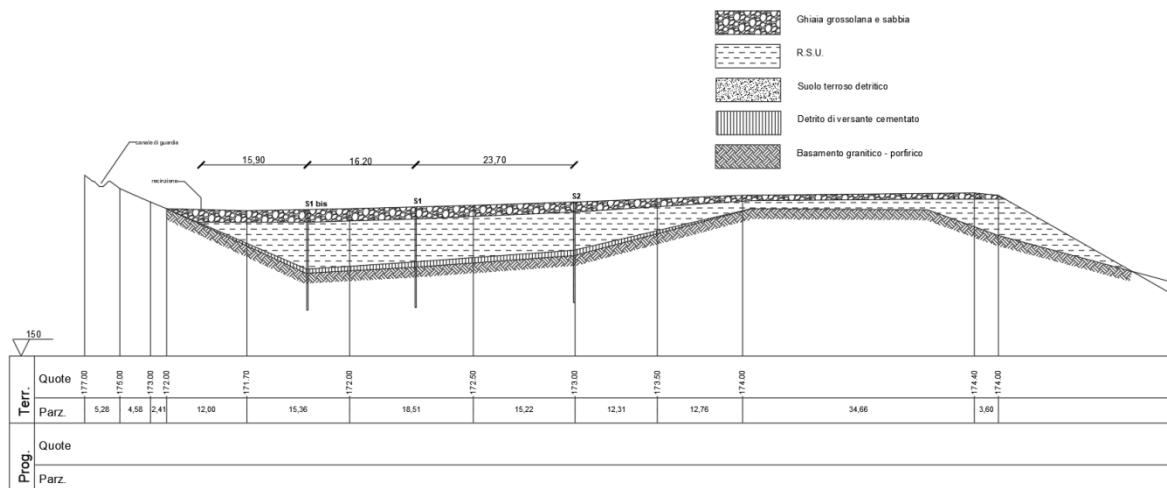


Figura 7 Sezione A-A estratta dalla Relazione Geologica 2002

Indagini geofisiche 2014

Le indagini geofisiche realizzate nel 2014 compresero la realizzazione di una indagine con tecnica della sismica a rifrazione integrata con una indagine con tecnica MASW.

L'indagine sismica a rifrazione evidenziò la presenza di tre sismostrati distinti:

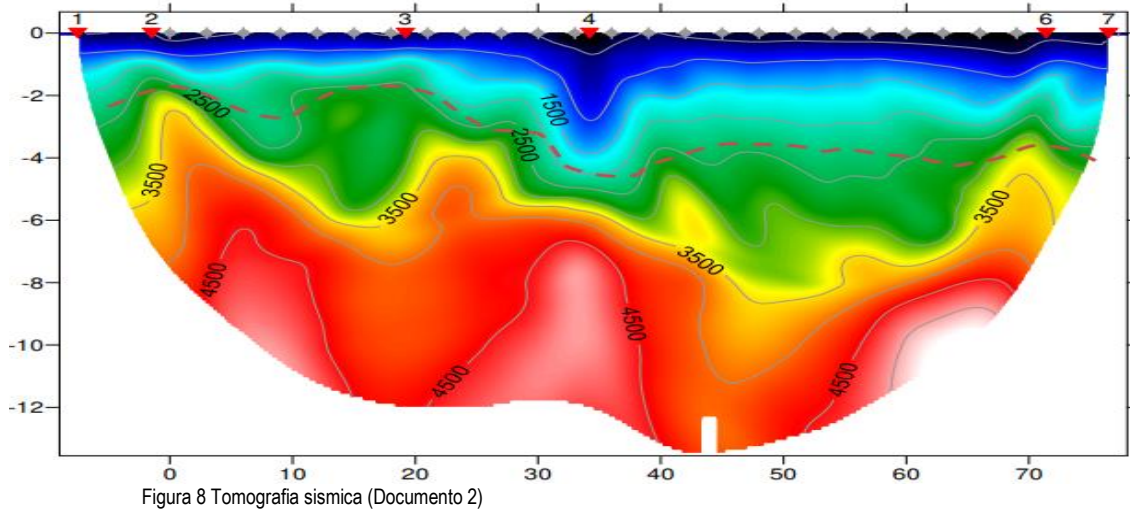
Unità 1 Orizzonte superficiale con velocità compresa tra 600 -1400 m/sec attribuibile a terreni di riporto o materiali disagregati:

Unità 2 Orizzonte intermedio con velocità comprese tra 1400 -2500 m/s correlabile con il basamento granitico alterato o fratturato:

Unità 3 Substrato sismico caratterizzato da velocità superiori a 2500 m/sec che raggiungono in profondità 4500 m/s attribuibile al basamento granitico compatto.

Lo spessore dell'orizzonte superficiale è risultato compresa tra 1.5 – 2.0 m mentre il substrato granitico compatto si colloca ad una profondità di circa 5 m.

Nell'immagine che segue si riporta la tomografia sismica rappresentata nel Documento (2).



L'indagine MASW consente di ottenere una distribuzione stratigrafica sostanzialmente coerente con l'indagine sismica a rifrazione, individuando 3 strati a velocità crescenti poggianti su un basamento rigido caratterizzato da velocità di taglio superiori a 800 m/s.

Di seguito un'immagine con il profilo della Velocità di taglio ottenuto attraverso l'indagine:

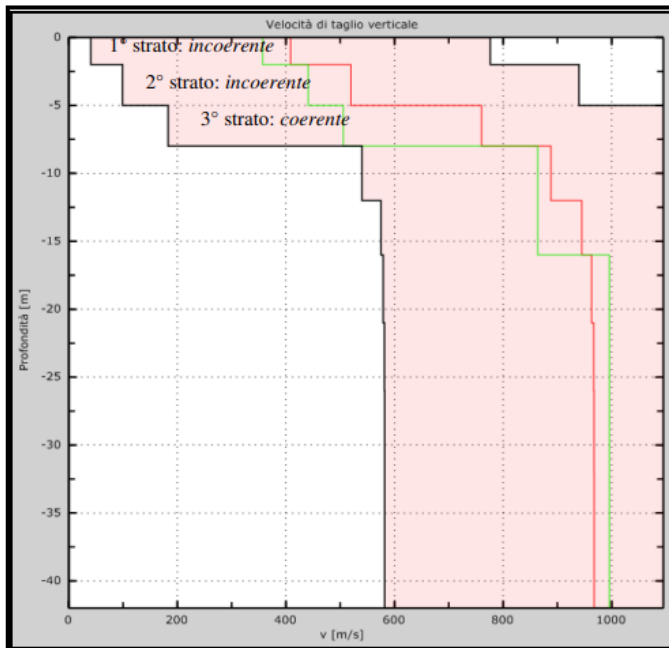


Figura 9 Profilo delle velocità di taglio da prova Masw (Documento 2)

Reinterpretando la prova sulla base delle Nuove Norme Tecniche sulle costruzioni si ottiene un valore di $V_{s_{eq}}$ pari a 585 m/s che permette di classificare il sottosuolo in:

Categoria B (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800 m/s)

Indagini 2020

Le indagini eseguite nel 2020 per la redazione del piano di monitoraggio transitorio della discarica compresero l'esecuzione di tre sondaggi di cui due ubicati nell'intorno dell'area di interesse ed un terzo realizzato al piede della vecchia discarica. I due sondaggi realizzati nell'intorno della discarica evidenziano la presenza di un primo orizzonte di terreni di riporto di spessore compreso tra 1-2 m seguito da dei graniti fratturati o arenizzati.

Le stratigrafie dei sondaggi sono riassunte nelle tabelle seguenti:

Sondaggio S1	
Quota	Descrizione
0.00 – 2.00	Terreno di riporto
2.00 -15.00	Granito fratturato

Sondaggio S2	
Quota	Descrizione
0.00 – 1.00	Terreno di riporto
2.00 -15.00	Granito arenizzato

I due sondaggi vennero attrezzati come piezometri a tubo aperto e permisero di verificare la presenza di falda alle seguenti quote:

- Piezometro SL1: Livello piezometrico -5.40 m dal p.c.
- Piezometro SL2: Livello piezometrico -3.60 m da p.c.

6.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI PROGETTO

Ad integrazione delle informazioni pregresse è stata pianificata e realizzata una campagna di indagini geognostiche che ha compreso la realizzazione di tre sondaggi a carotaggio, disposti in corrispondenza delle sezioni di maggior interesse spinti fino ad intercettare il basamento granitico per una profondità massima di 7 m.

Nel corso dei sondaggi, sono state realizzate prove penetrometriche SPT e sono stati prelevati tre campioni di terreno per analisi di laboratorio.

Le indagini sono state eseguite dall'Impresa GEOSARDA di Quartu nella prima settimana di Dicembre del 2021 con una sonda cingolata utilizzando un carotiere di diametro 101 mm e tubazione di rivestimento di diametro 127 mm.

Le perforazioni sono state effettuate alternando tratti di perforazione a secco con carotiere semplice o con utilizzo di acqua e carotiere doppio in relazione alla tipologia dei terreni attraversati.

Nella tabella seguente si riassumono i dati salienti delle perforazioni:

Tabella 1 Schema consuntivo dei sondaggi

Sigla	X (m) (Epsg 3262)	Y (m) (Epsg 3262)	Z (m slm) (sistema di Rif. Progetto)	Profondità (m)	Profondità basamento litoidale (m)
VS_1	545145	4337715	230.5	7.00	5.30
VS_2	545234	4337644	229.5	5.00	2.80
VS_3	545111	4337745	228.2	7.00	6.10

Le prove SPT in foro sono state realizzate con dispositivo a sganciamento automatico con maglio di 63.5 Kg tipo Pilcon e altezza di caduta di 76 cm.

Considerata la composizione prevalentemente ghiaiosa dei materiali di riporto si è utilizzato un campionatore a punta conica con apertura di 60°.

Nella tabella che segue si riassumono i risultati delle prove SPT effettuate.

Tabella 2 Dati consuntivi delle prove penetrometriche SPT

Sondaggio	Intervallo di prova (m da p.c.)	Litologia	N1	N2	N3	N SPT	Note
VS_1	0.50 -0.95	Riporto	9	18	32	41	
VS_1	1.80-2.25	Riporto	18	13	17	30	
VS_1	4.80-5.25	Granito completamente alterato	4	7	8	15	
VS_1	6.30-6.75	Granito intensamente alterato	37	50	-	R	
VS_2	4.00-0.85	Riporto	21	38	17	55	L'ultimo intervallo su argine in argilla
VS_2	2.00-2.45	Granito intensamente alterato	9	50	-	R	
VS_3	0.85-1.30	Riporto	8	9	9	18	
VS_3	2.00-2.45	Riporto	4	11	11	22	
VS_3	3.70-4.15	Riporto	40	50	-	R	

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati tre campioni per analisi di laboratorio. Data la natura dei materiali è stato possibile prelevare solo dei campioni disturbati destinati ad analisi granulometriche o determinazione dei Limiti di Atterberg.

Le analisi al momento della stesura del rapporto non sono state ancora completate, pertanto verranno integrate in fase di analisi del progetto esecutivo.

Di seguito si riassumono i dati dei campionamenti effettuati.

Tabella 3 Quadro consuntivo dei campionamenti

Sondaggio	Intervallo di campionamento (m da p.c)	Litologia	Grado di Qualità del Campione	Analisi richiesta
VS_1	2.00-2.60	Riporto	Q2	Analisi Granulometrica
VS_2	1.30-1.50	Limisabbiosi (Argine)	Q2	Limiti di Atterberg
VS_3	1.30-1.70	Riporto	Q2	Analisi Granulometrica

Nei sondaggi Vs_1 e Vs_3 dopo la stabilizzazione del foro è stata rilevata la presenza di una falda superficiale, probabilmente alimentata dalle intense piogge delle settimane precedenti. Nella tabella seguente si riportano i livelli misurati da piano di campagna.

Sondaggio	Livello piezometrico (m da p.c)	Data del rilievo
VS_1	-5.00	03.12.2021
VS_3	-2.60	07.12.2021)

Risultati dei sondaggi

I risultati dei sondaggi sono riassunti nelle schede litostratigrafiche di seguito rappresentate.

SONDAGGI GEOGNOSTICI							Sondaggio:	Pag.	
Committente: Comune di Villasmius Data di inizio: 03/12/2021 Data di Fine: 03/12/2021							VS_1	1 of 1	
Cantiere: Discarica Su Zimmioni Metodo di perforazione: Carotaggio continuo							Il Geologo: Dr. Stefano Conti		
Ubicazione: Fronte Nord Compagnia di perforazione GEOSARDA									
Datum: EPSG 3262 X: 545145 Y: 4337715 Z: 230.5 m s.l.m.									
(m) da p.c.	Stratgrafia	Prof.	Pot.	Descrizione	Rec % 10 20 30 40 50 1 2 3 4 5	SPT N_colpi m	SPT 10 20 30 40 50 1 2 3 4 5	Campioni	Note
0									
0.5								9	
1						41	18	23	
1.5		2.65		Materiali di riporto composti da ghiaie con sabbia debolmente limose, colore chiaro, composte da frammenti di rocce intrusive a spigoli vivi, granulo-sostenute, molto compatte.		30	16		
2							13		
2.5		2.65				30	17		
3		0.45		Blocco di filone microgenitico, a grana fine colore bianco rosato.		35			Da 2.65 a 3.60 si procede con il carotiere doppio, si recupera solo lo spezzone di roccia tra 2.65 e 3.10, il resto del campione del campione viene perso
3.5		1.2		Materiali di riporto composti da ghiaie con sabbia costituite da elementi granitici a spigolo vivo		30			A 3.40 perdita dei fluidi di perforazione Da 3.60 a 4.30 si riprende la perforazione con carotiere semplice, difficoltà nel recupero del campione
4		4.3							
4.5		0.3		Sabbie fini limose con materiale organico e dispersi ciotoli centimetrici (Suolo)					Inserito tubo di rivestimento fino a 4.00 m Da 4.00 a 4.80 la manovra avanza su un intervallo tenero, il campione viene perso, e recuperato con un'altra manovra spinta fino a 4.90
5		0.7		Sienograniti a grana media completamente alterati (Grado V) di colore giallastro compatti, la roccia conserva ancora la sua struttura originaria ma risulta completamente disgregata e assume l'aspetto di una sabbia limosa a granulometria minuta.		15	37		
5.5		5.3				35			
6		1.7		Sienograniti a grana media intensamente alterati (Grado IV) di colore biancastro, molto compatti, la roccia conserva ancora la sua struttura originaria ma ha perso gran parte della resistenza originaria e assume l'aspetto di una sabbia minuta debolmente cementata.		100	50		Da 6.30 a 7.00m il carotaggio a secco avanza con difficoltà, a 6.50 si tenta con acqua di perforazione ma si incontrano difficoltà nel recupero del campione
6.5							50		
7		7							

SONDAGGI GEOGNOSTICI				Sondaggio: VS_3		Pag. 1 of 1			
Committente: Comune di Villasmius Data di inizio: 06/12/2021 Data di Fine: 07/12/2021									
Cantiere: Discarica Su Zimmioni Metodo di perforazione: Carotaggio continuo									
Ubicazione: Fronte Est Compagnia di perforazione: GEOSARDA				Il Geologo: Dr. Stefano Conti					
Datum: EPSG 3262 X: 545111 Y: 4337745 Z: 228.2 m s.l.m.									
(m) da p.c.	Stratigrafia	Prof.	Pot.	Descrizione	Rec % 10 20 30 40 50	SPT N ₆₀ m	SPT 1020304050	Campioni	Note
0									
0.5									
1									
1.5									
2									
2.5									
3									
3.5		3.5		Materiali di riporto composti da sabbia e ghiaia, limosa, mediamente compatte costituite da elementi granitici a spigolo vivo con debole matrice limosa		18			
3.7		0.2		Materiali di riporto composti da sabbie limose con ghiaia poco assortite, composte da materiali granitici.					
4		0.8		Materiali di riporto composti da ghiaie e sabbia molto compatti		22			
4.5		4.5							
5		1		Rifiuti mineralizzati compatti					
5.5		5.5							
6		0.6		Materiali di riporto composti da ghiaie e sabbia					
6.1		6.1							
6.5		0.9		Senograniti a grana media alterati (Grado III) di colore biancastro, con fratture ravvicinate 3 - 4 cm. la roccia conserva la sua struttura originaria ma ha perso gran parte della resistenza originaria e assume l'aspetto di una roccia mediamete resistente.					
7		7							

7. SINTESI DELLA MODELLAZIONE GEOTECNICA

Il modello geotecnico del sottosuolo e le relative verifiche di progetto sono definiti nella Relazione Geotecnica (Doc. n. D355PDRT005.00_RLT_06) parte integrante del presente documento, di seguito si riassumono gli aspetti principali ed i risultati delle analisi effettuate.

7.1 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Prendendo come riferimento il modello geologico descritto nella Relazione geologica sono state distinte le seguenti unità Geotecniche di riferimento:

- **Unità A Rifiuti**
- **Unità B Materiali di riporto**
- **Unità C Coperture**
- **Unità D Substrato granitico**

A queste si aggiungono i materiali in rilevato previsti da progetto che possono essere distinti in:

- **Materiali costituenti il rilevato della Pista**
- **Materiali costituenti l'argine impermeabile perimetrale**

Unità A Rifiuti

I materiali costituenti il corpo di discarica sono costituiti da Rifiuti solidi urbani abbancati in un intervallo temporale che va dal 1997 al 2004. Considerata la geometria della discarica è presumibile che i rifiuti siano stati abbancati per strati orizzontali, fino al raggiungimento della configurazione attuale.

Si tratta dunque di rifiuti piuttosto vecchi (17-20 anni) per i quali si può ritenere che abbiano subito processi di degradazione e cedimento importanti.

Ai fini della caratterizzazione geomeccanica si è fatto riferimento a valori caratteristici riportati nella letteratura scientifica. Tenendo conto dell'età e delle caratteristiche dei rifiuti presenti in discarica si sono assunti come riferimento i seguenti parametri geomeccanici cautelativi:

Caratteristiche geomeccaniche dell'Unità A - Rifiuti

<i>Peso di volume naturale</i>	γ_n (kN/m ³)	11
<i>Angolo di attrito apparente</i>	ϕ (°)	30
<i>Coesione apparente</i>	C_u (KPa)	10

Unità B Materiali di riporto

I materiali di riporto presenti nell'intorno della discarica sono costituiti da ghiaie con sabbia debolmente limose, composte da frammenti angolosi di rocce granitiche. Si tratta di materiali grossolani, permeabili, con comportamento prevalentemente incoerente.

Le prove penetrometriche SPT hanno fornito un range di valori di resistenza compreso tra un minimo di 18 colpi fino a valori di rifiuto.

Tenendo conto dei parametri di resistenza NSPT riscontrati nell'indagine si sono assunti i seguenti parametri geomeccanici:

Caratteristiche geomeccaniche dell'Unità B – Materiali di riporto

<i>Peso di volume naturale</i>	γ_n (kN/m ³)	18
<i>Peso di volume saturo</i>	γ_s (kN/m ³)	20
<i>Angolo di attrito</i>	ϕ (°)	32
<i>Coesione</i>	c' (KPa)	5

Unità C Coperture

All'interno di questa unità si considerano i suoli e l'orizzonte di transizione costituito dalla coltre superficiale del basamento granitico completamente disgregata. Si tratta di materiali con scheletro sabbioso e matrice fine da sciolti a mediamente compatti

Per la caratterizzazione geomeccanica si sono assunti cautelativamente i seguenti parametri geomeccanici.

Caratteristiche geomeccaniche dell'Unità C – Coperture

<i>Peso di volume naturale</i>	γ_n (kN/m ³)	18
<i>Peso di volume saturo</i>	γ_s (kN/m ³)	19
<i>Angolo di attrito</i>	ϕ (°)	28
<i>Coesione</i>	c' (KPa)	0

Unità D Substrato granitico

Il substrato granitico presenta caratteristiche variabili in relazione allo stato di alterazione, tenendo conto delle condizioni di alterazione più spinte riscontrate nell'orizzonte superficiale si può considerare come una roccia tenera completamente disgregata.

Ai fini della caratterizzazione geomeccanica si sono assunti i seguenti parametri geomeccanici:

Caratteristiche geomeccaniche dell'Unità D – Substrato granitico

<i>Peso di volume naturale</i>	γ_n (kN/m ³)	20
<i>Peso di volume saturo</i>	γ_s (kN/m ³)	21
<i>Angolo di attrito</i>	ϕ (°)	40
<i>Coesione</i>	c' (KPa)	175

Materiali costituenti il rilevato della Pista

I materiali di riporto che saranno utilizzati per la realizzazione della pista dovranno avere le seguenti caratteristiche geotecniche minime al fine di garantire la sicurezza nei confronti degli scivolamenti:

Caratteristiche geomeccaniche dei materiali costituenti il rilevato della pista

<i>Peso di volume naturale</i>	γ_n (kN/m ³)	18.5
<i>Peso di volume saturo</i>	γ_s (kN/m ³)	20.5
<i>Angolo di attrito</i>	ϕ (°)	38
<i>Coesione</i>	c' (KPa)	2

Tali caratteristiche potranno essere raggiunte agevolmente utilizzando terre appartenenti alle categorie A1, A2-4, A3 opportunamente costipate.

Materiali costituenti l'Argine perimetrale impermeabile

I materiali che saranno utilizzati per la realizzazione dell'argine perimetrale dovranno avere le seguenti caratteristiche geomeccaniche:

Caratteristiche geomeccaniche dei materiali costituenti l'argine perimetrale

<i>Peso di volume naturale</i>	γ_n (kN/m ³)	19
<i>Peso di volume saturo</i>	γ_s (kN/m ³)	21
<i>Angolo di attrito</i>	ϕ (°)	25
<i>Coesione</i>	c' (KPa)	30

7.2 SINTESI DELLE VERIFICHE GEOTECNICHE

L'analisi geotecnica ha compreso le seguenti verifiche:

- Verifica di stabilità del versante nella configurazione di progetto;
- Verifica di stabilità delle gabbionate inserite nel settore nord della discarica.

Analisi di stabilità del versante

Le analisi di stabilità sono state condotte con il metodo dell'equilibrio limite che consiste nell'individuare le possibili superfici di scivolamento che coinvolgono la successione stratigrafica, e nel verificare per ciascuna di essa il Fattore di sicurezza espresso come rapporto tra lo sforzo totale mobilitato e la resistenza al taglio disponibile.

In letteratura esistono svariati metodi di calcolo all'equilibrio limite tra cui i più utilizzati sono quelli di Fellenius (1927) Bishop (1955) Morgenstern & Price (1965) Spencer (1967), Janub (1973).

Tutti i metodi si basano sui seguenti presupposti:

- Il coefficiente di sicurezza F_s è definito come rapporto tra la resistenza al taglio e lo sforzo di taglio mobilitato lungo l'ipotetica superficie di scorrimento;
- Il Coefficiente di sicurezza F_s è unitario e costante in tutti i punti: la rottura avviene contemporaneamente in tutti i punti della superficie con un comportamento di tipo rigido.

Le verifiche sono state sviluppate utilizzando il codice di calcolo SSAP 2010 sviluppato dal Dr. Lorenzo Borselli facendo ricorso all'algoritmo di Janub rigoroso (1973).

Per la ricerca delle superfici con minor F_s è stato utilizzato il motore di ricerca CONVEX RANDOM SEARCH, sviluppato dall'autore secondo il metodo di CHEN (1992).

Le analisi sono state sviluppate su tre sezioni rappresentative delle condizioni più gravose tenendo conto della configurazione di progetto.



Le tre sezioni analizzate coincidono con la Sezione Longitudinale 3 (versante nordovest e versante sudest) e con la Sezione Trasversale 5.

Nelle sezioni sono stati introdotti gli elementi di progetto quali la rampa di accesso e l'argine impermeabile al fine di valutare anche la stabilità di questi manufatti. Nell'analisi si è trascurata, in favore della sicurezza, la presenza del pacchetto di copertura oggetto di analisi specifica sviluppata nella Relazione Tecnica di progetto.

Le analisi sono state sviluppate a scala globale del versante, lasciando libertà al programma di esplorare in fase di ricerca delle superfici critiche, tutto il profilo del versante.

Per valutare a scala locale il fattore di sicurezza dei manufatti e di rifiuti nella nuova configurazione di progetto, il campo di ricerca delle superfici critiche è stato limitato nell'intorno di questi.

Le analisi sono state condotte nella condizione più critica ovvero quella che si ottiene in condizioni simiche adottando l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) come suggerito dall' Eurocodice 8 al posto di quanto indicato dalle NTC 2018 che prevedono che i fattori riduttivi dei parametri geomeccanici e delle resistenze siano posti pari a 1.0. Questo poiché in zone di bassa sismicità come nel caso specifico i fattori di sicurezza ottenuti non l'applicazione delle NTC 2018 risultano superiori in relazione all'utilizzo dei parametri geomeccanici non ridotti.

Per tenere conto del passaggio dei mezzi che transitano sulla pista è stato considerato un sovraccarico distribuito sulla pista pari a 10 KN/m² amplificato con il fattore $\gamma_G2 = 1.3$ (tab 6.2.II).

Nella tabella seguente vengono sintetizzati i risultati dell'analisi di stabilità condotte sulle tre sezioni rappresentative.

Sezione Longitudinale 3 Fronte Nord		Fattore di sicurezza minimo (Fs)
	Stabilità globale	1.34
	Stabilità della rampa di accesso	1.37
	Stabilità dell'argine impermeabile	3.41
	Stabilità del fronte rifiuti	2.57
Sezione Longitudinale 3 Fronte Sud		
	Stabilità globale	2.27
	Stabilità dell'argine impermeabile	2.29
	Stabilità del fronte rifiuti	2.70
Sezione Trasversale 5		
	Stabilità globale	2.35
	Stabilità dell'argine impermeabile	2.41
	Stabilità del fronte rifiuti	2.51

Tutti i valori ottenuti indicano un rapporto tra azioni e resistenze di progetto sempre superiore al valore minimo imposto dalle NTC 2018: $\gamma_r = 1.1$

I fattori di sicurezza più bassi riguardano il tratto di versante artificiale realizzato sul fronte NW della discarica. I valori ottenuti sono in ogni caso superiori a 1.3 e rientrano nel campo dell'accettabilità e denotano una condizione di sostanziale stabilità del versante.

In questo tratto l'Amministrazione Comunale sta realizzando un ulteriore intervento di sistemazione del versante che contribuirà ulteriormente a ridurre il fattore di sicurezza calcolato.

Analisi di stabilità delle gabbionate

Le verifiche sui gabbioni inseriti nel tratto nord della discarica in adiacenza con i fabbricati dell'impianto di compostaggio sono state sviluppate con un software specifico MACSTAR prodotto dalla Maccaferri.

Le verifiche hanno riguardato:

- Verifica di stabilità globale
- Verifica di stabilità interna;
- Verifica dell'opera come muro di sostegno;
- Verifica di scorrimento;

I calcoli sono stati sviluppati nel rispetto delle NTC 2018.

Nella tabella che segue sono riassunti i risultati delle analisi eseguite

Analisi di stabilità Globale		Fattore di sicurezza minimo (Fs)
	Stabilità globale	1.219
Verifica come muro di sostegno		
	Verifica allo scorrimento	4.424
	Verifica al ribaltamento	8.827
	Verifica sulla capacità Portante	4.241
Verifica allo scorrimento		
	Verifica allo scorrimento interfaccia superiore	33.31
	Verifica allo scorrimento interfaccia inferiore	15.895
	Verifica al ribaltamento interfaccia superiore	28.15
	Verifica al ribaltamento interfaccia inferiore	8.79

I risultati completi delle analisi hanno fornito fattori di sicurezza superiori ai valori definiti dalla normativa e .

Verifica allo scorrimento

Per la verifica allo scorrimento interno delle gabbionate sono state analizzate le due interfacce definite dalla sovrapposizione delle gabbionate, come illustrato nelle figure seguenti.

8. SINTESI DELLO STUDIO E ANALISI DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA

Il sito di intervento ricade in un'area definita a pericolosità geomorfologica da frana moderata (Hg2). La disciplina delle attività in aree Hg2 è contenuta nell'Art. 33 delle Norme di Attuazione del PAI, all'interno di questo gli interventi in progetto possono essere inquadrati come interventi di adeguamento di impianti di smaltimento esistenti, Comma 3 lettera b e dunque risultano tra gli interventi ammissibili dalla normativa.

L'analisi geologica e geotecnica effettuate a supporto del progetto hanno permesso di verificare che l'intervento non aumenti il livello rischio e di pericolosità esistenti e non determina un peggioramento delle condizioni di equilibrio statico del versante. Le opere in progetto inoltre non precludono eventuali interventi finalizzati alla riduzione delle condizioni di rischio e pericolo attuali.

Le analisi effettuate hanno dimostrato la coerenza dell'intervento con le finalità indicate nell'articolo 23, comma 6, e nell'articolo 25 delle norme di attuazione del PAI e pertanto **l'intervento può essere considerato coerente con le norme e le previsioni del Piano di Assetto Idrogeologico.**



Dott. Ing. Francesco Martino

Dott. Geol. Stefano Conti