

COMUNE DI CARBONIA

Progetto per la realizzazione dell'ottavo argine della discarica per rifiuti non pericolosi ubicata nell'area di Serra Scirieddus di proprietà della società Rivero S.p.A..



STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E GEOTECNICA

Studio di geologia

*Dott. Geol. Franco Cherchi
Via Malpighi n 1 – Iglesias
Cell 3312494133
e-mail francocherchi2015@gmail.com*



**Firmato digitalmente da:
Cherchi Franco
Firmato il 12/08/2026 16:37
Seriale Certificato: 5304238
Valido dal 29/12/2025 al 29/12/2028
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA**

Studio di Ingegneria

*Dott. Ing. Salvatore Angelo Figus
Via Giusti n 10 – Iglesias
Cell 3489584160
e-mail angelo.figus@gmail.com*



**Firmato digitalmente da:
Figus Salvatore Angelo
Firmato il 12/08/2026 18:45
Seriale Certificato: 4835413
Valido dal 08/09/2025 al
08/09/2028
InfoCamere Qualified
Electronic Signature CA**

AGOSTO 2026

INDICE

1 - PREMESSA.....	3
2 - LOCALIZZAZIONE DEL SITO	3
3 - INQUADRAMENTO PAI	4
4 - DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	5
4.1 - <i>PREMESSA.....</i>	5
4.2 - <i>OPERE SUI VERSANTI NORD ED EST.....</i>	6
4.3 - <i>ARGINI DI SOPRAELEVAZIONE LATI SUD E OVEST</i>	6
4.4 - <i>CHIUSURA DELLA DISCARICA.....</i>	10
5 - CARATTERIZZAZIONE FISICA DEL TERRITORIO	11
5.1 - <i>INQUADRAMENTO MORFOLOGICO</i>	11
5.2 - <i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....</i>	11
5.2.1 - <i>Geologia di dettaglio</i>	13
5.2.2 - <i>Idrogeologia</i>	13
5.2.3 - <i>Idrologia</i>	13
6 – CARATTERISTICHE LITOTECNICHE DEL BEDROCK DELLA DISCARICA	14
7 – COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOTECNICA DELL'INTERVENTO	19
8 - CONCLUSIONI.....	20

1 - PREMESSA

La società Rivero S.p.A. ha affidato agli scriventi uno studio compatibilità geologica e geotecnica finalizzato alla realizzazione dell'ampliamento della discarica per rifiuti non pericolosi di proprietà della medesima società ubicata nella località di Serra Scirieddus nel comune di Carbonia.

Nello specifico il progetto di ampliamento riguarda la costruzione dell'ottavo argine di contenimento dei rifiuti conferibili.

2 - LOCALIZZAZIONE DEL SITO

L'area a cui si riferisce il presente studio si estende nel territorio comunale di Carbonia.

In particolare si identifica nella Carta Topografica d'Italia alla scala 1:25.000 ai Fogli 555 Sezione III – Portoscuso e Sezione II – Villamassargia (Figura 1). Nel dettaglio l'area in studio è situata a circa 10 Km a Nord-Nord/Ovest dal centro abitato di Carbonia ed è compresa nella Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1:10.000, alle Sezioni n. 555100 (Gonnesa) e 555110 (Miniera di Campo Pisano) (Figura 2).

L'area in oggetto di studio è situata nelle immediate vicinanze del confine amministrativo fra i comuni di Carbonia e Gonnesa.



Figura 1 – Stralcio dei fogli I.G.M.I. n° 555 Sez. III (Portoscuso) e Sez. III (Villamassargia) con ubicazione dell'area oggetto di studio (cerchio rosso)

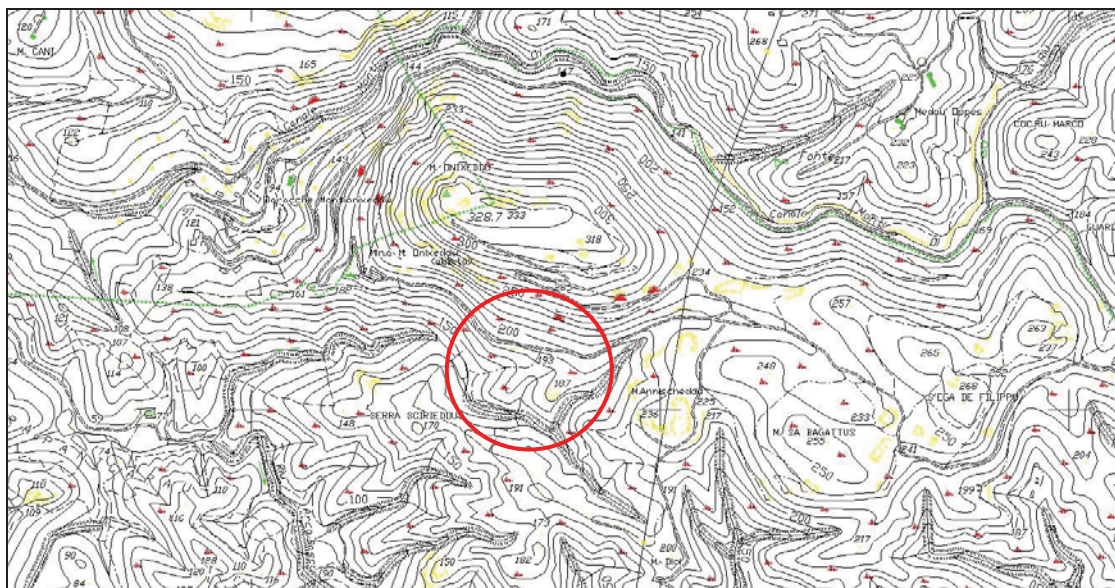


Figura 2 – Stralcio della Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1:10.000 Sezioni n. 555100 (Gonnesa) e n. 555110 (Miniera di Campo Pisano) con ubicazione dell'area oggetto di studio (cerchio rosso)

3 - INQUADRAMENTO PAI

Per quanto riguarda il rischio frana l'area in cui è ubicata la discarica è stata classificata nel Piano di Assetto Idrogeologico, in zona a pericolosità media Hg (Figura 3).

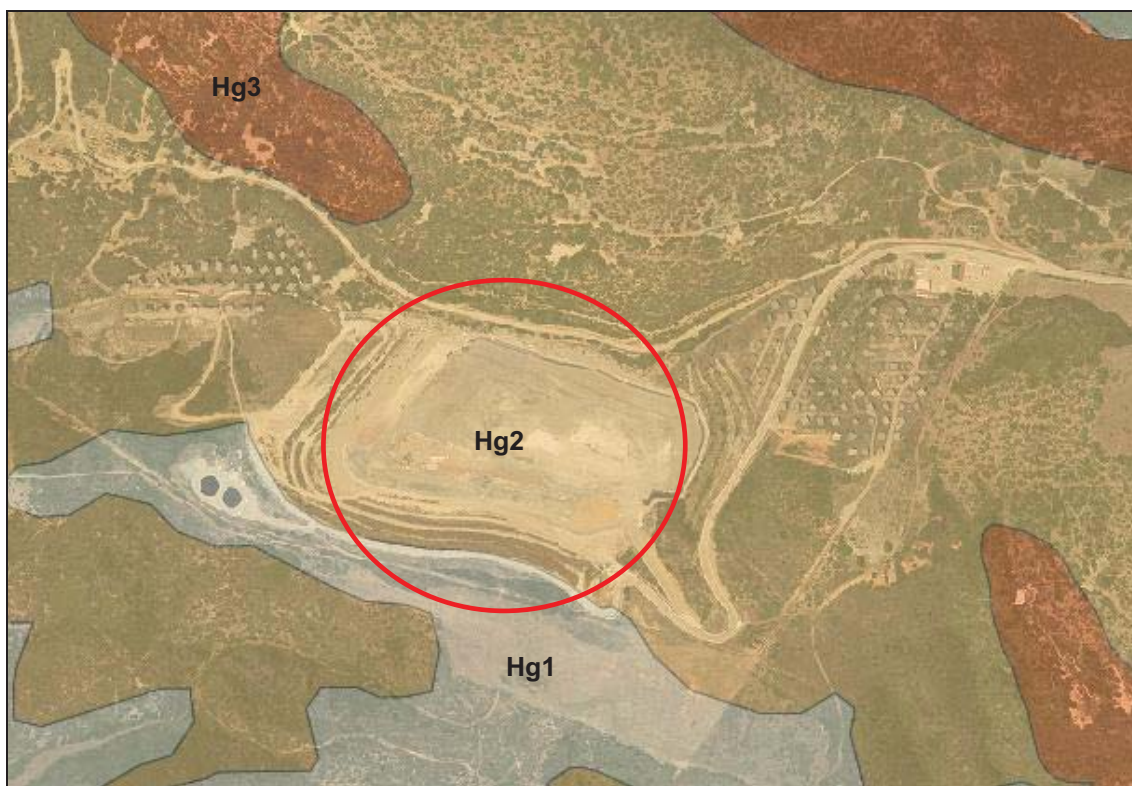


Figura 3 – Mappa con l'indicazione del PAI e l'area della discarica (cerchio rosso)

4 - DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

4.1 - PREMESSA

La discarica è ubicata in una piccola valle con sviluppo in direzione Est – Ovest, è delimitata su tre lati (Nord, Est e Sud) dai versanti naturali della valle mentre sul lato Ovest i rifiuti sono contenuti da un argine artificiale. Il fondo della discarica è impostato su una formazione lapidea costituita da scisti filladici, priva di falde acquifere superficiali. Le dimensioni planimetriche attuali della vasca esistente sono di circa 450 m nella direzione Est-Ovest (compreso il rilevato di sostegno) e di circa 220 m nella direzione Nord-Sud. Il fondo dell'invaso è impermeabilizzato con una struttura multistrato costituita da terreno argilloso, da una geo membrana in HDPE e da strati di drenaggio e di monitoraggio del percolato. L'impermeabilizzazione delle sponde perimetrali è stata realizzata con la posa di uno strato di terreno argilloso contenuto da geo celle sovrastato da un geo composito bentonitico e dalla membrana in HDPE.

Il progetto prevede l'ampliamento del corpo discarica esistente con la costruzione ed esercizio dell'8° argine in sopraelevazione e successivo rimodellamento morfologico sommitale, per una volumetria aggiuntiva di circa 139.974 m³ netti.

L'ampliamento per sopraelevazione avverrà con le stesse modalità delle precedenti sopraelevazioni, cioè impostando un nuovo argine sui lati Sud e Ovest e sfruttando i pendii naturali, opportunamente rimodellati sui lati Nord ed Est. Ogni argine ha un'altezza costante pari a 3 m, per i primi cinque argini, e 4 m, per gli ultimi tre, tra ogni argine e quello successivo è prevista una pista di servizio di larghezza pari a 3 m. Il capping di chiusura con la sagomatura finale, verrà traslato sui rifiuti ad esaurimento della volumetria del 8° argine. La pendenza media complessiva degli 8 argini sarà di circa 16°. Il battente di percolato all'interno del corpo discarica è limitato dalla presenza di una della trincea drenante che impedisce al percolato di superare la quota di -3.0 m rispetto a quella di sommità dell'argine di valle della vasca (quota assoluta + 155.77 m.s.l.m.).

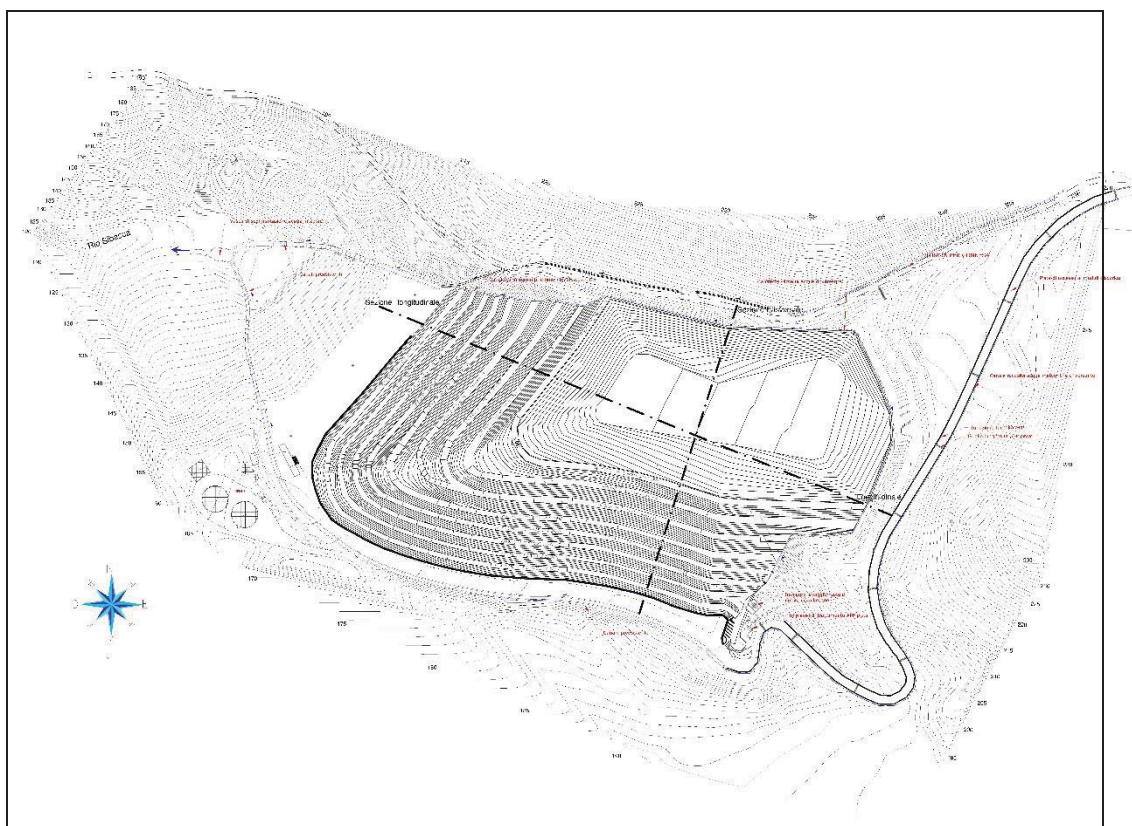


Figura 4 - Planimetria della discarica in progetto (ottavo argine)

4.2 - OPERE SUI VERSANTI NORD ED EST

Le opere previste sui versanti nord ed est possono essere così sintetizzate:

Riprofilatura e disgaggio dei versanti

Lungo il lato nord ed est i rifiuti saranno addossati ai versanti naturali esistenti, già riprofilati nella fascia interessata dalle nuove sopraelevazioni e già interessati da interventi di disgaggio di masse instabili sulla parte superiore del versante, all'atto della costruzione del 6° e 7° argine.

Regimazione delle acque e drenaggi sul versante nord

Come per gli argini precedenti autorizzati, anche per l'8° argine, a partire dalla cavità lasciata dalla rimozione della canaletta metallica temporanea precedentemente posta sulla berma sommitale dell'ultimo argine costruito, verrà posato un geocomposito drenante.

Il geocomposito verrà ancorato al terreno lungo il suo lembo superiore mediante chiodatura con tondini di ferro uncinati ad un estremo, mentre il lembo inferiore verrà ammorsato nella canaletta.

Preparazione della fondazione del rilevato

Il piano di posa della fondazione del rilevato verrà regolarizzato e compattato mediante rullatura.

Posa materiale a bassa permeabilità

L'impermeabilizzazione del versante avverrà con la posa di uno strato di argilla compattata dello spessore minimo di metri 1,0 (permeabilità $K=1.10^{-9}$ m/s).

Il materiale verrà rullato in strati successivi di spessore finito non superiore a metri 0,25.

Ultimato il riporto del materiale, si effettuerà la riprofilatura dello stesso garantendo uno spessore minimo di 1 metro ortogonalmente alla superficie del versante.

Posa geomembrana in HDPE.

Posa canaletta metallica

Completata la posa del materiale a bassa permeabilità in addossamento al versante ed ancorata la geomembrana nel fosso superiore del rilevato, verrà posata una canaletta in lamiera zincata del diametro di 0.60 m per la raccolta delle acque di ruscellamento.

La canaletta avrà una pendenza minima dello 0,5% rispettivamente verso ovest (quella sul lato nord) e verso sud-est (quella sul lato est).

4.3 - ARGINI DI SOPRAELEVAZIONE LATI SUD E OVEST

Le opere previste per gli argini in sopraelevazione possono essere così sintetizzate:

- regolarizzazione e livellamento dei rifiuti nell'area di sedime, mediante rullatura;
- costruzione di fondazione in materiale lapideo grossolano rullato e costipato per formare il piano di imposta del rilevato;
- eventuale posa di rete elettrosaldata in funzione degli esiti delle verifiche geotecniche preventive;
- posa di geocomposito drenante (sulla fondazione);
- riporto di materiale a bassa permeabilità;
- costruzione del nucleo del rilevato in tout-venant;
- costruzione del setto di materiale a bassa permeabilità all'interno del corpo dell'argine;
- posa di geocomposito drenante sul paramento interno dell'argine;
- stesa dello strato di materiale drenante naturale su paramento esterno dell'argine;
- riporto della terra da coltivo e della stuoia pre-seminata sul paramento esterno dell'argine;
- costruzione della canaletta al piede del paramento esterno dell'argine;
- impianti arbustivi sul paramento esterno dell'argine.

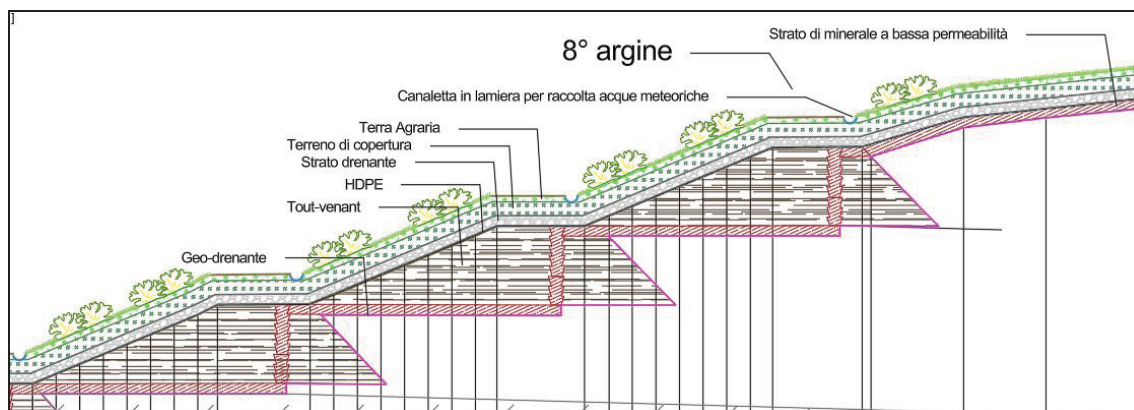


Figura 5 – Sezioni con particolari costruttivi dell'argine in progetto (ottavo argine)

Pista di accesso a impianto lavaggio ruote

Per consentire anche l'utilizzo dell'originario impianto di lavaggio ruote posto sul vertice sud ovest della vasca, è stata costruita una pista in terra di raccordo tra la sommità dell'ultimo argine di sopraelevazione e l'accesso alla piattaforma di lavaggio esistente che verrà implementata per raccorderla all'8° argine.

Tale pista, è stata progressivamente prolungata contestualmente alle sopraelevazioni, con una pendenza di circa 14% e proseguirà con tale pendenza.

Il corpo del rilevato verrà realizzato in tout-venant rullato, con strato superficiale in stabilizzato di cava dello spessore minimo di metri 0,30.

Questa pista è utilizzata esclusivamente per i mezzi in uscita dalla vasca.

Stesa terra da coltivo

Al termine della stesa dello strato di drenante naturale sul paramento esterno e sommitale dell'argine di sopraelevazione, sullo stesso verrà steso e regolarizzato uno strato di terreno agrario di coltivo dello spessore (ad assestamento avvenuto) non inferiore a metri 0,30.

Rinaturalizzazione degli argini

Successivamente alla stesa della terra vegetale, sul paramento esterno dell'argine di sopraelevazione (esclusa la berma sommitale) saranno impiantate le specie arbustive previste dal progetto definitivo originariamente autorizzato, con una densità media di circa 1 pianta ogni 50 m² di superficie, secondo un sesto casuale e naturaliforme, secondo le indicazioni della D.L.. Le specie impiantate saranno le seguenti:

- Cisto (*Cistus monspeliensis*);
- Mirto *Myrtus communis*);
- Lentisco (*Pistacia lentiscus*);
- Corbezzolo (*Arbustus unedu*).

Successivamente all'impianto delle specie, tutta la superficie sarà inerbita mediante semina a spaglio di un miscuglio di specie erbacee autoctone, impiegato in quantità non inferiore a 40 g/m².

Viabilità

La viabilità principale interna all'impianto, non ha subito modifiche dopo la costruzione del primo argine di sopraelevazione, si creerà unicamente il prolungamento, a ridosso dell'8° argine sud, delle piste rispettivamente di accesso/uscita all'area di conferimento, a partire dalla strada principale asfaltata, in prossimità del nuovo impianto di lavaggio ruote e di uscita verso il vecchio impianto di lavaggio ruote.

A completamento del sistema di viabilità, si è creata sulle berme di ogni argine una pista rinverditata per la manutenzione.

Le due piste di cui sopra, intercettando le berme sommitali di tutti gli argini, fungono anche da piste di raccordo tra queste.

L'immagine seguente, mostra la modifica alla viabilità relativa alla nuova situazione con la creazione dell'8° argine.

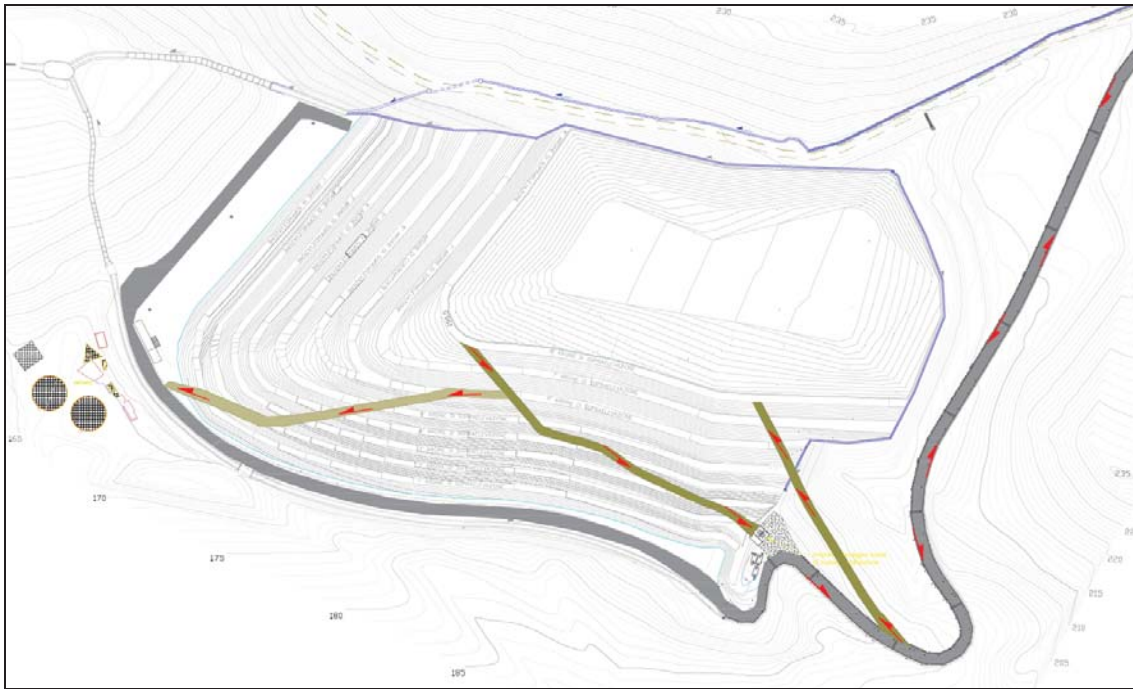


Figura 6 – Planimetria viabilità discarica (grigio) con indicazione delle piste d'accesso al corpo discarica (marron)

Gestione e regimazione acque meteoriche

La regimazione delle acque meteoriche sarà costituita da una canala al piede dell'8 argine collegata alla canala dell'argine sottostante e quindi al sistema di smaltimento principale e da una canaletta di chiusura posta sul bordo del capping sommitale collegata alla canaletta di base dell'ottavo argine

Le canalette conferiranno nel sistema di raccolta esistente costituito da due canali, canale Nord e canale sud che a loro volta conferiscono nella vasca di sedimentazione a valle dell'argine principale.

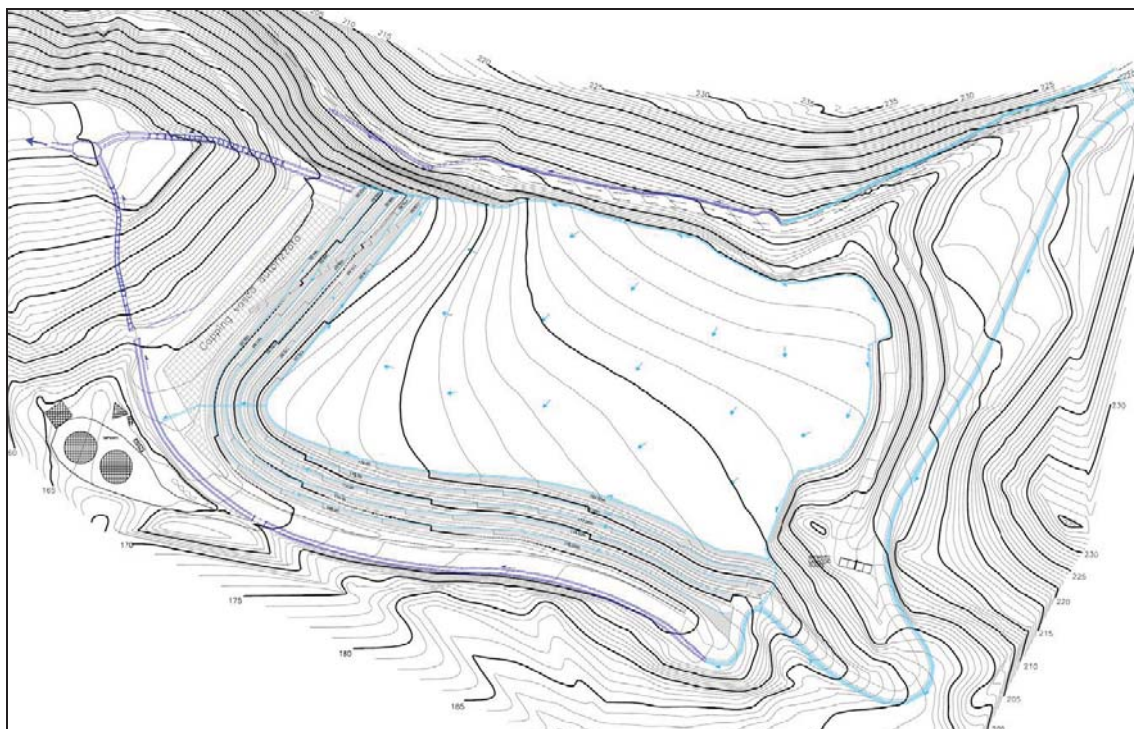


Figura 7 – Planimetria del sistema di raccolta e smaltimento acque meteoriche (canali principali in blu e canalette in ciano)

Gestione acque di prima pioggia

La gestione delle acque di prima pioggia non subirà alcuna modifica con la realizzazione dell'8° argine in quanto sono già presenti due impianti di raccolta e trattamento che gestisce le acque dei piazzali e delle strade cos' come riportato nelle immagini seguenti:

- il primo realizzato a servizio del piazzale uffici e servizi, interessato per lo più dal passaggio degli automezzi in entrata ed uscita dalla discarica (nella zona della pesa ponte), dal parcheggio delle auto dei dipendenti (in prossimità del fabbricato uffici) e dal parcheggio e manutenzione dei mezzi operanti nell'impianto (nei pressi del fabbricato officina);
- il secondo a servizio della pista principale di accesso alla discarica (interessata quindi dal passaggio dei mezzi adibiti al trasporto dei rifiuti), per uno sviluppo di circa 600 metri e carreggiata utile pari a circa 6,00 metri.

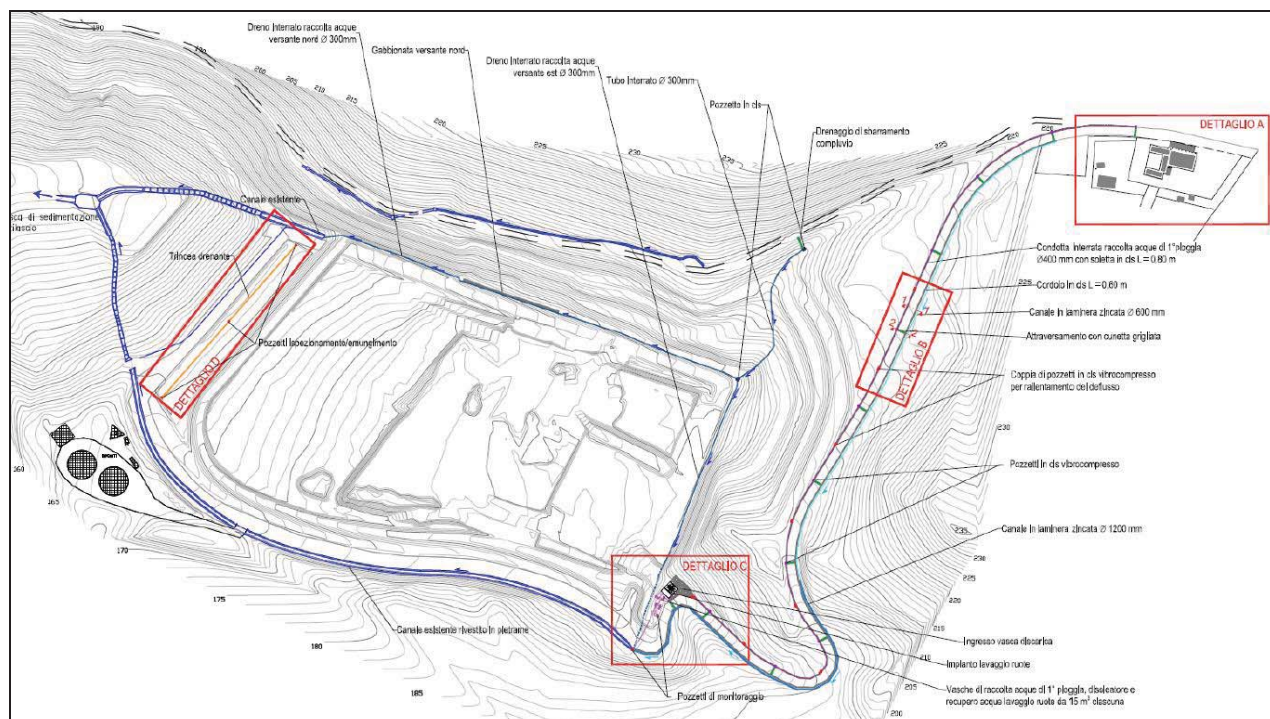


Figura 8 – Planimetria del sistema di raccolta e trattamento acque di prima pioggia

4.4 - CHIUSURA DELLA DISCARICA

Al termine della coltivazione della discarica verrà realizzata la chiusura con un del pacchetto multistrato pronto per la successiva rivegetazione.

La discarica secondo l'attuale progetto al termine dell'8° argine, a coltivazione completata, raggiungerà la quota massima di 200,70 m s.l.m. ed avrà una superficie sommitale, di circa 3,5 ettari. Tenuto conto che nella discarica non vengono smaltiti rifiuti putrescibili, per cui si esclude la produzione di gas, il pacchetto di chiusura prevede che lo strato di drenaggio e rottura capillare dei gas, così come previsto dal D.Lgs. 121/2020 dello spessore di metri 0,50 di materiale lapideo drenante, sia sostituito da un geocomposito drenante, in analogia e continuità con quanto previsto ed autorizzato sul paramento interno degli argini di sopraelevazione, che di fatto costituiscono parte integrante del capping.

Il pacchetto multistrato di chiusura previsto in progetto è il seguente:

- strato drenante e di rottura capillare per dissipare eventuali formazioni di gas costituito da geocomposito drenante;
- strato minerale a bassa permeabilità ($k \leq 1 \times 10^{-8}$ m/s) di 0,50 metri;
- telo in HDPE da 2,00 millimetri;
- strato di materiale drenante di spessore 0,50 metri per impedire la formazione di battente idraulico;
- strato di terreno vegetale di spessore 1,0 metri.

5 - CARATTERIZZAZIONE FISICA DEL TERRITORIO

5.1 - INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Il territorio circostante della zona in esame è caratterizzato da rilievi di tipo collinare con cime oscillanti intorno ai 300 m s.l.m. (M. Onixeddu 328 s.l.m. e Monte sa Bagattus 255 s.l.m.) sovrastanti la discarica oggetto di studio che rappresentano le cime più alte della dorsale degradante verso Sud. I rilievi paleozoici sono stati modellati da processi di erosione che ne hanno parzialmente raddolcito la morfologia originaria, specie nei tratti a maggior acclività e privi di vegetazione. Questi intensi processi erosivi sono stati generati dalla corrivazione superficiale sotto forma di ruscellamento che ha prodotto sulla superficie del suolo solchi e ruscelli. Nell'intorno della discarica, oltre ai processi dovuti alle acque superficiali, è importante ricordare quelli dovuti alla forza di gravità, che hanno determinato il verificarsi dell'accumulo di coltri di detrito di falda nelle vallecicole e nei canali.

L'unità morfologica che insiste intorno allo scavo è costituita dalle litologie carbonatiche-dolomitiche cambriche che formano una cornice che si è evoluta dal punto di vista geomorfologico ad opera di processi gravitativi e di erosione selettiva. Un'altra unità morfologica presente nell'area è costituita da litologie scistose in cui è insediata la discarica, inoltre è presente anche l'Unità morfologica delle Arenarie che occupa posizioni limitrofe (Nord-Est) rispetto all'area in esame.

Infine, i depositi quaternari sono costituiti da materiale di accumulo proveniente dai rilievi paleozoici. Questi depositi degradano con leggera inclinazione verso il fondovalle. In genere i suoli sono poco profondi e vi è una notevole componente grossolana, in cui avviene una continua asportazione e perdita di materiali terrosi.

5.2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

I terreni affioranti nell'area sono ascrivibili in gran parte a formazioni paleozoiche del cambriano e ordoviciano (Figura 9).

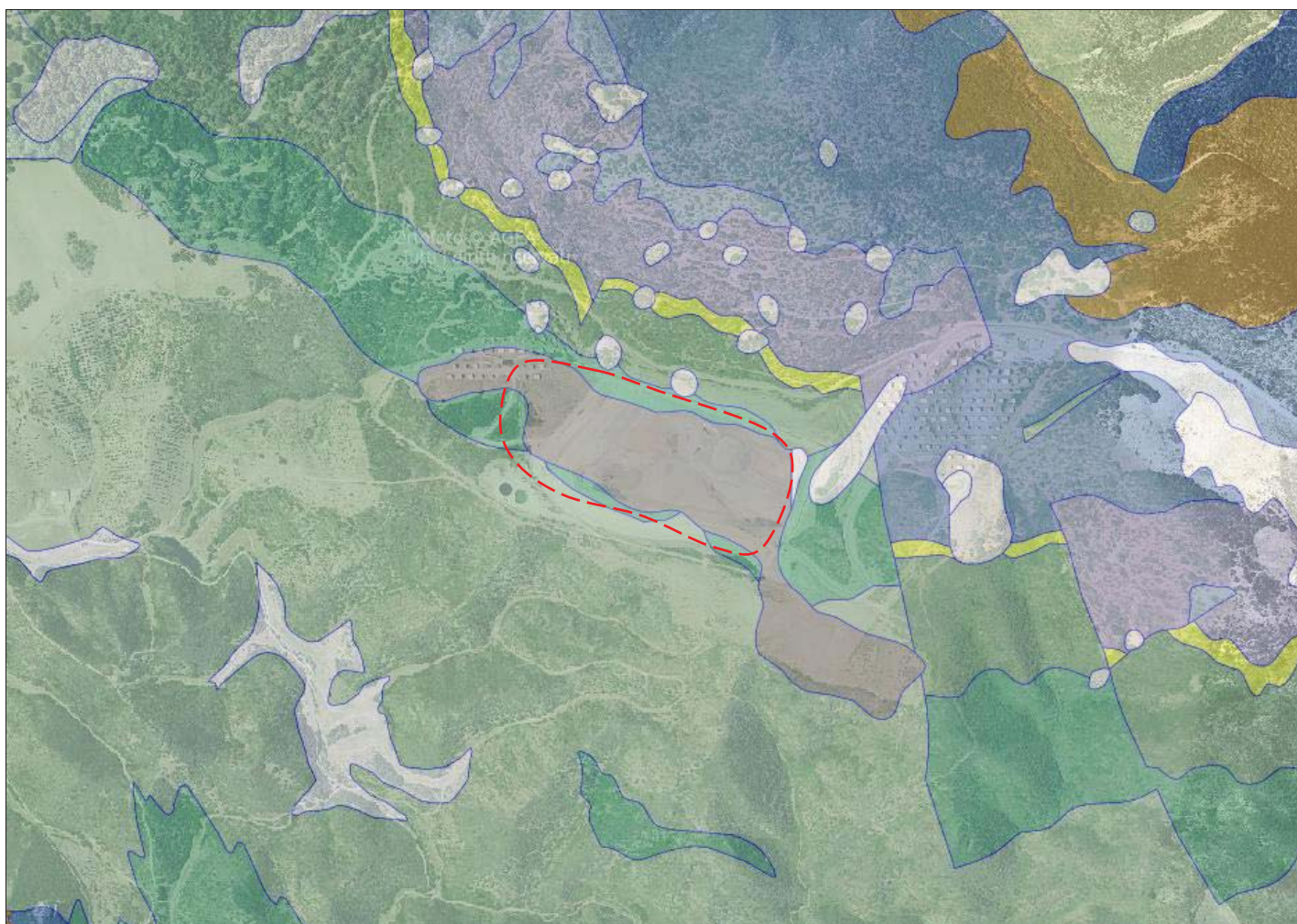
Dal basso verso l'alto sono identificabili le seguenti gruppi:

- a) Gruppo di Nebida;
- b) Gruppo di Gonnese;
- c) Gruppo di Iglesias.

Il Gruppo di Nebida (800 m) è suddiviso in *Formazione di Matoppa* e *Formazione di Punta Manna* (Pillola, 1994). Quella di Matoppa è la formazione geologica più antica che mai sia stata datata su basi paleontologiche in Sardegna ed in Italia ed è costituita essenzialmente da sedimenti marini terrigeni con subordinate intercalazioni carbonatiche. L'ambiente deposizionale della Formazione di Nebida è costituito da un fronte deltizio orientato verso E-SE e caratterizzato, nelle aree più protette, da piccole scogliere ad archeociti. Direttamente in successione fa seguito la Formazione di Punta Manna, formata alla base da un "orizzonte oolitico".

Il Gruppo di Gonnese (500-700 m) era invece conosciuto fino a qualche anno fa anche come Formazione di Gonnese e denominato in passato il "*Metallifero*" (Auct.) in quanto principale sede dei giacimenti piombo-zinciferi. Con esso terminano gli apporti marini terrigeni nella piattaforma epicontinentale cambriana che lasciano il posto ad una sedimentazione carbonatica. Le formazioni carbonatiche danno un'impronta molto suggestiva al paesaggio, dominato da rilievi arrotondati ma caratterizzati da valli piuttosto incise che danno luogo a rotture di pendio e scarpate quasi verticali. In questo gruppo sono state distinte due formazioni geologiche (Pillola, 1994) che dal basso verso l'alto sono la *Formazione di Santa Barbara* e la *Formazione di San Giovanni*.

Il Gruppo di Iglesias (450 m) è composto dalla *Formazione di Campo Pisano*, maggiormente nota come *Calcare Nodulare* (*Calcescisti* Auct.), e dalla *Formazione di Cabitza*, sicuramente più famosa come *Argilloscisti di Cabitza*. La serie cambriana si chiude con la *Formazione di Cabitza* che comprende nella sua parte più alta anche l'Ordoviciano basale (Tremadociano). La tipica litofacies è data dagli Argilloscisti di Cabitza formati da una caratteristica alternanza ritmica molto potente di originarie argilliti e siltiti di vario colore con subordinati livelli arenacei molto fini indicativi di una sedimentazione marina molto profonda. Il contatto fra la formazione carbonatica e la formazione di Cabitza, presente lungo la valle di San Giorgio, dista dal sito circa 2.500 m.



LEGENDA

-  Depositi antropici. Discariche. (OLOCENE)
-  Depositi antropici. Discariche minerarie. (OLOCENE)
-  Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli (OLOCENE)
-  Membro di Riu Cea de Mesu. (F. di CABITZA). Monotone alternanza di metasiltiti e metapeliti di colore verde e grigio con laminazioni parallele
-  Membro di Punta de Funu. (F. di CABITZA). Alternanze ritmiche di metasiltiti e metapeliti rosso violacee verdi, subordinati livelli di metarenarie quarzoso feldspatiche. (CAMBRIANO MEDIO-ORDOVICIANO)
-  Membro di Punta Camisoni. (F. di CABITZA). Alternanze ritmiche di metasiltiti e metapeliti rosso violacee verdi, con lamine piano parallele. (CAMBRIANO MEDIO-ORDOVICIANO INF.)
-  Formazione di CAMPO PISANO. Alternanze di metacalcari marnosi rosati, metasiltiti grigi a struttura nodulare ricchi di frammenti fossili. (CAMBRIANO INF. MEDIO)
-  Litofacies del Membro del Calcare Ceroide. (FORMAZIONE DI GONNESA). Dolomie e calcari dolomitici da grigio a nocciola, massivi. (CAMBRIANO INFERIORE)
-  Membro del Calcare Ceroide. (FORMAZIONE DI GONNESA). Calcari grigi massivi dolomitizzati. (CAMBRIANO INFERIORE)
-  Membro della Dolomia rigata. (FORMAZIONE DI GONNESA). Dolomia grigio chiara ben stratificata e laminata con noduli di selce alla base. (CAMBRIANO INFERIORE)
-  Membro di Punta Manna. (FORMAZIONE DI NEBIDA). Metarenarie quarzose e siltitiche, con laminazioni piano parallele. Verso l'alto alternanza di calcari silicizzati. (CAMBRIANO INFERIORE)
-  Area della discarica

Figura 9 – Carta geologica

5.2.1 - Geologia di dettaglio

Gli Argilloscisti di Cabitza (Formazione di Cabitza) costituiscono il fondo della discarica

Tale formazione è caratterizzata da una successione monotona e di notevole spessore con caratteristiche cromatiche di vari colori. Sono sempre stratigraficamente sovrapposti ai Calcarei nodulari, salvo nei casi in cui siano in contatto tettonico con il sottostante metallifero. Gli scisti presentano una grana molto fine; talora si riscontrano tipi con componente arenacea, composti unicamente da quarzo e lamelle di mica. La scistosità è sempre obliqua rispetto alla stratificazione nei casi ove quest'ultima è accennata (Foto 1).



Foto 1 - Argilloscisti di Cabitza

Il Quaternario, che nella carta è compreso con le discariche attuali, è rappresentato da lembi di alluvioni, antiche e recenti, e detriti di falda più o meno cementati.

Si può comunque distinguere un livello più antico, caratterizzato da ciottoli e frammenti, fortemente cementati da carbonato di calcio e limonite alla base del massiccio calcareo dolomitico dove la fase diagenetica avanzata da luogo ad una formazione competente o semi-competente, con buone caratteristiche geomeccaniche.

Infine i depositi attuali sono rappresentati da dispersioni di ciottoli e frammenti sciolti e da accumuli di sterili di miniera e frammenti e blocchi di dolomie gialle in cumuli o coperture.

5.2.2 – Idrogeologia

L'acquifero principale presente nell'area è costituito dai carbonati e dalle dolomie della formazione di Gonnese caratterizzato da un'elevata permeabilità per fessurazione e carsismo ed è delimitato idraulicamente al letto da formazioni terrigene a bassa permeabilità costituite dalla formazione di Nebida (arenarie cambriche).

La formazione di Gonnese è sormontata dagli scisti della Formazione di Campo Pisano che costituisce il tetto dell'acquifero del Metallifero.

Il comparto litoide calcareo ospita l'acquifero del Metallifero che costituisce il principale serbatoio sotterraneo di tutto l'Iglesiente.

Nel territorio di in esame non sono presenti sorgenti significative, l'acquifero presente nella formazione calcarea, ospita una falda libera e come sistematicamente accade, gli acquiferi nei mezzi fessurati calcarei formano una unica falda freatica che raccoglie e concentra in essa tutte le acque che si infiltrano nella roccia.

Il livello piezometrico della falda allo stato attuale è di circa 100 m s.l.m..

5.2.3 - Idrologia

I corsi d'acqua presentano un carattere torrentizio che si manifesta solo in occasione di piogge piuttosto intense, lasciando in secca gli scolatori nel restante periodo dell'anno.

Per quanto attiene il regime piovoso, si rileva che la distribuzione degli afflussi meteorici nell'anno segue l'andamento tipico del clima mediterraneo, dunque la stagione piovosa è irregolare e variabile. Le prime piogge dopo la siccità estiva si verificano nei mesi di settembre-ottobre, con caratteristiche di acquazzoni estivi, mentre il normale periodo piovoso si estende da novembre-dicembre ad aprile, interrotto quasi sempre da periodi asciutti che generalmente iniziano in gennaio ed hanno nel mese una breve durata, ma, che a volte, si prolungano sino a febbraio ed oltre.

Le piogge insistenti e continue sono rare ed insolite, mentre sono sempre più frequenti le precipitazioni violente ed abbondanti che in occasioni eccezionali sono capaci di provocare vere alluvioni.

6 – CARATTERISTICHE LITOTECNICHE DEL BEDROCK DELLA DISCARICA

La roccia in posto in cui è insediata la discarica è costituita dagli argilloscisti riconducibili alla *"Formazione di Cabitza"*.

Le rocce in oggetto sono interessate da una rete di discontinuità di natura tettonica (giunti e faglie) e sedimentaria (piani di stratificazione).

Le caratteristiche geotecniche del suddetto comparto scistoso sono state ricavate tramite la classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso di riferimento effettuate che ha avuto l'obiettivo di fornire indici di qualità mediante l'analisi sistematica di alcuni parametri caratteristici della roccia esaminata. Gli indici di qualità, espressi da un numero, hanno fornito indicazioni sulla qualità complessiva dell'ammasso e hanno permesso di stimare i parametri di resistenza e prevedere il proprio comportamento (Foto 2).

Nel presente lavoro é stato utilizzato il sistema di classificazione Bieniawski (Classificazione RMRc - 1979).

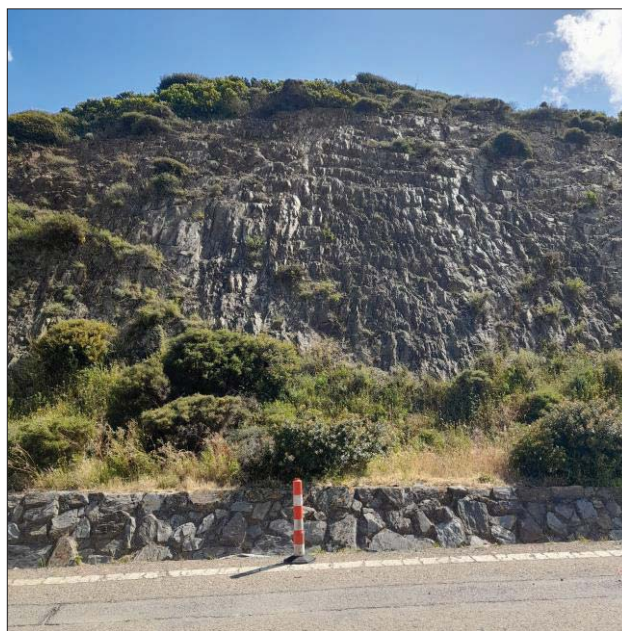


Foto 2 – Formazione di Cabitza nell'area della discarica

Di seguito si riportano i risultati ottenuti in merito alla qualità dell'ammasso scistoso e le caratteristiche geotecniche (Tabelle 2 e 3).

Tabella 2 – Rock Mass Rating (RMRc) relativo alla formazione scistosa

CLASSIFICAZIONE AMMASSO ROCCIOSO: Scisti									
Parametri considerati		Valori corrispondenti							Indice parziale
A1	Point Load (Mpa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	0,4 - 1	0,12 - 0,4	< 0,12	7
	U.C.S. (Kg/cm ^q)	>2500	1000 - 2500	500 - 1000	250 - 500	100 - 250	20 - 100	10 - 30	
	Indice	15	12	7	4	2	1	0	
A2	R.Q.D.	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			13
	Indice	20	17	13	8	3			
A3	Spaziatura dei giunti (cm)	> 200	60 - 200	20 - 60	6 - 20	< 6			10
	Indice	32	15	10	8	5			
A4	Condizione dei giunti	Superfici molto scabre, non continue. Pareti roccia non alterate	Superfici scabre, Apertura <1 mm. Pareti roccia legg. alterate	Superfici scabre, Apertura <1 mm. Pareti roccia molto alterate	Superfici lisce laminate o riempimento <5 mm o apertura 1 + 5 mm. Giunti continui	Riempimento tenero con spessore >5 mm o giunti aperti >5 m. Giunti continui			25
	Indice	30	25	20	10	0			
A5	Acqua di filtrazione (l/s)	Nessuna presenza	< 10	10 +25	25+125	> 125			15
	Condizioni generali	Giunti asciutti	Umidì	Bagnati	Stillicidio	Venuta d'acqua			
	Indice	15	10	7	4	0			
A6	Orientazione dei giunti	Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole		Molto sfavorevole		0
	Indice (gallerie)	0	-2	-5	-10		-12		
	Indice (fondazioni)	0	-2	-5	-15		-25		
RMRc									65

Tabella 3 – Classi di qualità secondo Bieniawski

RMRc	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<= 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	molto buono	buono	mediocre	scadente	molto scadente

Dal valore di RMRb si ricavano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Bieniawsky assumono i seguenti valori:

- coesione di picco c_p (kPa) = $5 \cdot RMR_b = 5 \cdot 70 = 350$ kPa
- angolo di attrito di picco $\phi_p = 0,5 \cdot RMR_b + 5 (^{\circ}) = 0,5 \cdot 70 + 5 = 40^{\circ}$
- modulo di deformazione E (GPa) = $10^{(RMR_b - 10)/40} = 10^{(70 - 10)/40} = 31,6$ GPa

Sono stati inoltre calcolati ulteriori parametri geotecnici utili ai fini del calcolo di stabilità dell'ammasso roccioso su cui poggia la discarica.

I parametri geotecnici di cui sopra sono di seguito indicati:

- indice di qualità delle rocce (GSI);
- resistenza uniassiale del comparto litoide (MPa);
- parametro m_i (adimensionale);
- parametro D (adimensionale).

La valutazione dell'Indice GSI (*Geological Strength Index*) si basa sull'uso del grafico riportato in figura 5; determinato l'Indice GSI è possibile ricavare mediante una serie di relazioni empiriche la resistenza alla compressione di un ammasso roccioso ed altri parametri (Hoek et

alii, 1995). Il sistema di classificazione degli ammassi rocciosi GSI si basa su osservazioni geologiche sul terreno, sulla struttura e natura della roccia.
Di seguito sono riportate le tabelle relative ai parametri ricercati (Tabelle 4, 5 e 6).

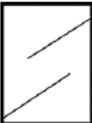
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		SURFACE CONDITIONS VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings				
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	60	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	50	40
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	40	30
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	20
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	10
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Figura 10 – Grafico della qualità delle rocce – Indice GSI

Tabella 4 – Valori compressione uniassiale e PLI per le rocce

Grade*	Term	Uniaxial Comp. Strength (MPa)	Point Load Index (MPa)	Field estimate of strength	Examples
R6	Extremely Strong	> 250	>10	Specimen can only be chipped with a geological hammer	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite
R5	Very strong	100 - 250	4 - 10	Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, peridotite , rhyolite, tuff
R4	Strong	50 - 100	2 - 4	Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it	Limestone, marble, sandstone, schist
R3	Medium strong	25 - 50	1 - 2	Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer	Concrete, phyllite, schist, siltstone
R2	Weak	5 - 25	**	Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer	Chalk, claystone, potash, marl, siltstone, shale, rocksalt,
R1	Very weak	1 - 5	**	Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife	Highly weathered or altered rock, shale
R0	Extremely weak	0.25 - 1	**	Indented by thumbnail	Stiff fault gouge

Tabella 5 - Stima del valore della costante m_i per rocce intatte

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates (21 ± 3)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias (19 ± 5)		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites	Gypsum 8 ± 2		Anhydrite 12 ± 2	
Organic		Chalk 7 ± 2				
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6		
	Foliated*		Gneiss 28 ± 5	Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3 Granodiorite (29 ± 3)	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

Tabella 6 - Stima del valore D

Fattore di disturbo ammasso	Valore
Naturale	0
Con escavatore	0,5
Con esplosivo	1

I valori ottenuti sono riportati in tabella 7:

Tabella 7 – Parametri della caratterizzazione dell'ammasso roccioso

Parametri	Valore per lo scisto
GSI	65
Resistenza alla compressione (MPa)	40
Parametri m_i	12
Fattore di disturbo D	0

7 – COMPATIBILITA' GEOLOGICA E GEOTECNICA DELL'INTERVENTO

In riferimento alla delibera n. 20 del 10.12.2025 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino Regionale, con la quale è stata approvata la variante al PAI – parte frana che ha declassato l'area di pertinenza della discarica da Hg3 ad Hg2, si riporta di seguito uno stralcio degli articoli del PAI previsti in ambito delle discariche.

TITOLO II PREVENZIONE DEI PERICOLI E DEI RISCHI IDROGEOLOGICI NEL BACINO IDROGRAFICO UNICO REGIONALE

Omissis...

ARTICOLO 20 Discariche di rifiuti

1. In applicazione del decreto legislativo 13.1.2003, n. 36, "Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti", ed a specificazione dei divieti di cui agli articoli 27 comma 4, 28 comma 2, 31 comma 4, 32 comma 2, 33 comma 4, nelle aree perimetrate dal PAI come aree di pericolosità idrogeologica molto elevata, elevata e media è vietata l'ubicazione di nuove discariche o di depositi sotterranei di rifiuti di qualunque tipologia.

Omissis...

TITOLO III IL CONTROLLO DEL RISCHIO NELLE AREE DI PERICOLOSITA' IDROGEOLOGICA

Omissis...

CAPO III AREE DI PERICOLOSITÀ DA FRANA

Omissis...

ARTICOLO 31 Disciplina delle aree di pericolosità molto elevata da frana (Hg4)

Omissis...

4. Nelle aree di pericolosità molto elevata da frana resta comunque sempre vietato realizzare:
a. nuovi impianti o ampliamenti di impianti di trattamento, smaltimento e di recupero dei rifiuti;

Omissis...

ARTICOLO 32 Disciplina delle aree di pericolosità elevata da frana (Hg3)

2. Nelle aree di pericolosità elevata da frana valgono i divieti generali di cui all'articolo 31, comma 4.

Omissis...

ARTICOLO 33 Disciplina delle aree di pericolosità media da frana (Hg2)

Il presente articolo non valgono più i divieti generali di cui all'art. 31 comma 4.

8 - CONCLUSIONI

Nell'ambito dell'art. 33 non viene citato il divieto di ampliamenti nelle discariche esistenti.

Ne deriva che il suddetto progetto di ampliamento dell'ottavo argine, essendo compreso in aree di pericolosità media (Hg2), è compatibile con le norme di attuazione del PAI.).

Inoltre l'intervento è stato progettato rispettando il vincolo:

- di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistente;
- di non precludere la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio;
- di non peggiorare le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli.