

SIGED S.R.L.

**STUDIO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO E
GEOTECNICO 3° LOTTO
DISCARICA DI RIFIUTI SPECIALI E NON
PERICOLOSI LOCALITÀ SCALA ERRE (SS)**



Comm. 1228 / I337 / 14

Milano, Ottobre 2019

A cura di: Dr Geol. F. Bossich
Dr.ssa C. Citelli
Dr Geol. R. Grano
Dr.ssa Arch M.Sommaruga

INDICE

PREMESSA	4
ELENCO INDAGINI SVOLTE:	4
UBICAZIONE DEL SITO	5
INDAGINI EFFETTUATE NELL'AREA PRIMA DELL'AVVIO DELLO STUDIO SU VASTA AREA	6
INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO	7
UNITA' MORFOLOGICO AMBIENTALI	12
INQUADRAMENTO SISMICO SARDO.....	14
INQUADRAMENTO GEOLOGICO	15
INDAGINI GEOTECNICHE PREGRESSE	17
SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	20
CONSIDERAZIONI SUL RISCHIO SISMICO A SCALA ERRE	22
SINTESI DELL'ASSETTO GEO – IDROGEOLOGICO DELL'AREA VASTA DI SCALA ERRE - CAZZALARGA	27
CONSIDERAZIONI SULLE UNITA' IDROGEOLOGICHE DI SCALA ERRE – CAZZALARGA	29
GEOMETRIA DEGLI ACQUIFERI.....	32
CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ DELLE FORMAZIONI IDROGEOLOGICHE DI SCALA ERRE-CAZZALARGA	33
RIASSUNTO DELLE CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE PER OMOGENEITA' LITO-TESSITURALI PER L'AREA SIGED.....	34
ASSETTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO DEL TERZO LOTTO DELLA DISCARICA SIGED E DETERMINAZIONE DEL MASSIMO INNALZAMENTO DELLA FALDA	35
OSCILLAZIONI FALDA PROFONDA E SUPERFICIALE	36
RISCHIO IDRAULICO, IDROGEOLOGICO E DA FENOMENI METEOROLOGICI AVVERSI	36
VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'AREA DI DISCARICA	37
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI INTERESSATI DAL PROGETTO DEL TERZO LOTTO SIGED DI SCALA ERRE	46
LIMITI DI ATTERBERG	47
ANALISI GRANULOMETRICHE	47
VANE TEST	48
PORTATE DI UTILIZZO DEI POZZI NELL'AREA VASTA DI SCALA ERRE – CAZZALARGA	50
PARAMETRI IDROGEOLOGICI DA PROVE DI PORTATA PREGRESSE	50
PROVE DI PERMEABILITÀ IN POZZETTO A CARICO VARIABILE.....	53
DETTAGLIO STRATIGRAFICO DEI PRIMI 5 METRI DI FONDO DISCARICA III LOTTO	54
CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE DEL TERZO LOTTO DELLA DISCARICA SIGED E MODULI ELASTICI CONNESSI	56
APPROFONDIMENTI SULLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI RIFIUTI SPECIALI ABBANCATI PRESSO LA DISCARICA SIGED DI SCALA ERRE	59

PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI RIFIUTI SIGED IN RELAZIONE ALLA BANCA DATI

“WASTE DATAB”	59
PARAMETRI GEOTECNICI SECONDO GRISOLIA.....	61
PARAMETRI GEOTECNICI DI RESISTENZA A TAGLIO DEI RIFIUTI RIFERITI ALLE ATTUALI E PRECEDENTI INDAGINI PRESSO LA DISCARICA SIGED.....	62
VERIFICHE DI STABILITA' DEL PIANO DI FONDAZIONE DELLA DISCARICA – 3° LOTTO SIGED	63
CEDIMENTI STRATO ARGILLOSO MINERALE DI FONDO E DELLE PARETI DELLA III VASCA	63
VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SCARPATE IN RIPORTO PER IL TERZO LOTTO SIGED DI SCALA ERRE	66
VERIFICHE DI STABILITA' DEL FRONTE DI ABBANCAMENTO DI RIFIUTI PER IL TERZO LOTTO SIGED DI SCALA ERRE	69
BIBLIOGRAFIA ESTERNA DI RIFERIMENTO	70
RIFERIMENTI NORMATIVI	71
PROCEDURE E SOFTWARE INTERNI.....	72

FIGURE

Fig. 01: Estratto di mappa foglio 20 (fonte Bossich Geoengineering)

Fig. 02: Ubicazione discarica da ortoimmagine (fonte Google Earth)

Fig. 03: media delle temperature massime da ottobre 2017 a settembre 2018 (la Discarica Siged
ubicata nel punto a NO)

Fig. 04: Valori annuali di precipitazione 2017-2018. Discarica Siged ubicata nel punto a NO

Fig. 05: Dati annuali di piovosità, espressi in mm e misurati internamente alla discarica Siged tramite
pluviometro

Fig. 06: Direzione e velocità del vento anno 2018

Fig. 07: Ubicazione epicentri terremoti 1985 – 2014

Fig. 08: Coordinate e acquisizione dati nel periodo luglio 2014 - ottobre 2015 delle stazioni temporanee

Fig. 09-10: Rischio Sismicità Porto Torres (INGV) con tabella intensità macrosismica

Fig. 11: Sezione idrogeologica discarica Siged, da Studio Vasta Area (Bossich Geoengineering Srl)

Fig. 12: Modello digitale con i sottobacini del Rio Fiume Santo

Fig. 13: Estratto fasce altimetriche

Fig. 14: Estratto fasce clinometriche

Fig. 15: Estratto carta dell'uso del suolo

Fig. 16: CN pretabulato da CORINE

Fig. 17: Sezioni trasversali del Fiume Santo soggette ad analisi idraulica con Coefficienti di Manning da
Corine

Fig. 18: Diagramma ternario di Grisolia

Fig. 19: Abachi materici triangolari di Grisolia

Fig. 20: Assestamenti totali piano di posa fondo vasca a ripristino finale completato

Fig. 21: Schema sezione verifica di stabilità in scarpata in riporto

Fig. 22: Schema sezione verifica di stabilità del fronte di rifiuto

ALLEGATI

Allegato 1 - Limiti di Atterberg

Allegato 2 - Analisi granulometriche

Allegato 3 - Prove scissometriche (Vane test)

Allegato 4 - Prove di permeabilità in cella edometrica

Allegato 5 - Parametri idrogeologici da prove di portata (PTA)

Allegato 6 - Stratigrafie

Allegato 7 – Prove di permeabilità a carico variabile in pozzetto a base quadrata o circolare

Allegato 8 – Prove di permeabilità Lefranc a carico variabile

Allegato 9 - Dati meteorologici SAR (precipitazioni) dal 2009 al 2019

Allegato 10 - Dati meteorologici stazione di Porto Torres (ventosità, n° giorni piovosi, temperatura) dal 2009 al 2019

Allegato 11- Calcolo cedimenti

Allegato 12 - Modulo elastico

Allegato 13 - Verifiche di stabilità

TAVOLE

Tavola 1 - Carta litologica (1:20.000)

Tavola 2 - Ubicazione indagini e sezioni (1:1.000)

Tavola 3 - Carta delle isofreatiche storiche Marzo 2007 (1:5.000)

Tavola 4 – Aggiornamento rete piezometrica di controllo Marzo 2014 (1:2.000)

Tavola 5 - Carta delle isofreatiche Febbraio 2019

Tavola 6 – Sezioni litotecniche e idrogeologiche di dettaglio (1:1.000)

PREMESSA

La presente relazione è stata eseguita per conto della Società SIGED S.r.l. per definire i parametri geologici idrogeologici e geotecnici per la progettazione del terzo lotto della Discarica di rifiuti speciali non pericolosi in località Scala Erre (SS).

ELENCO INDAGINI SVOLTE:

L'elaborato ha richiesto fasi differenti ed attività quali ricerca bibliografica, indagini in sito ed in laboratorio, elaborazione dati con redazione di rapporto finale corredato da figure, allegati e tavole. Di seguito vengono elencate le indagini svolte nel 2007 finalizzate al progetto definitivo del II lotto e sintetizzate in tabella nel presente elaborato:

- N°10 prove penetrometriche
- N°5 prove di permeabilità in sito
- N°2 prove Lougeon
- N°3 Slug Test
- N°4 prove di portata in discesa e salita

Di seguito vengono elencate le indagini svolte a partire dal 2014 per il progetto definitivo per il III Lotto della discarica Sigid:

INDAGINI SVOLTE IN SITO:

- N°7 Prove di portata (PTA)
- N°5 Sondaggi
- N°5 Prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto in base quadrata o circolare
- N°3 Prove di permeabilità Lefranc a carico variabile
- N°6 Trincee d'ispezione
- N°5 Prove idrauliche in pozzetto

INDAGINI SVOLTE IN LABORATORIO:

- N°3 Limiti di Atterberg
- N°10 Analisi granulometriche

- N°5 Prove scissometriche (Vane test)
- N°9 Prove di permeabilità in cella edometrica

UBICAZIONE DEL SITO

L'impianto in esame è ubicato in Località "Scala Erre" del Comune di Sassari, e sulla base degli atti autorizzativi consultati risulta distinto al Catasto al Foglio 20 Mappale 12 sub. d e n. 57. L'impianto di discarica è di proprietà della società S.I.G.E.D. Srl e gestito da S.I.G.E.D. Srl in persona del legale rappresentante pro tempore.

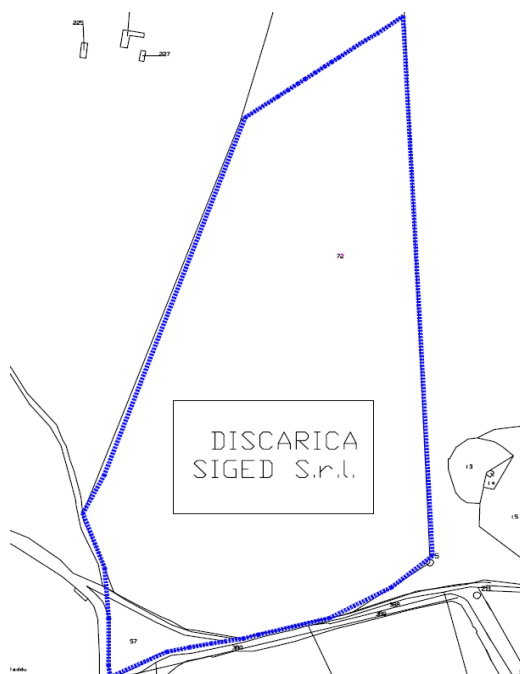


Fig. 01) Estratto di mappa foglio 20 (fonte Bossich Geoengineering)

L'area è individuata nella carta topografica d'Italia, scala 1:25.000, Foglio 440, Sezione II° - Pozzo S. Nicola, in agro di Sassari. L'impianto è ubicato all'interno di un'area sub-pianeggiante già interessata da cave di materiale inerte. Il sito è raggiungibile tramite la strada Provinciale "Scala Erre - Porto Torres – Stintino" n. 34, in prossimità dello svincolo con la strada vicinale "Sa Gazzaladra".

Nel territorio circostante sono ubicate le cave di calcare di Monte Alvaro e le cave di pietra di Monte Rosè, e gli insediamenti industriali costituiti dalla Centrale Enel di Fiume Santo e dal Polo industriale di Porto Torres.

Le aree circostanti sono perlopiù utilizzate a seminativi, prati e pascoli; sono presenti anche superfici non coltivate ed altre dedicate ad attività estrattive.

Immediatamente a Sud del sito è presente una discarica comunale di rifiuti solidi urbani.

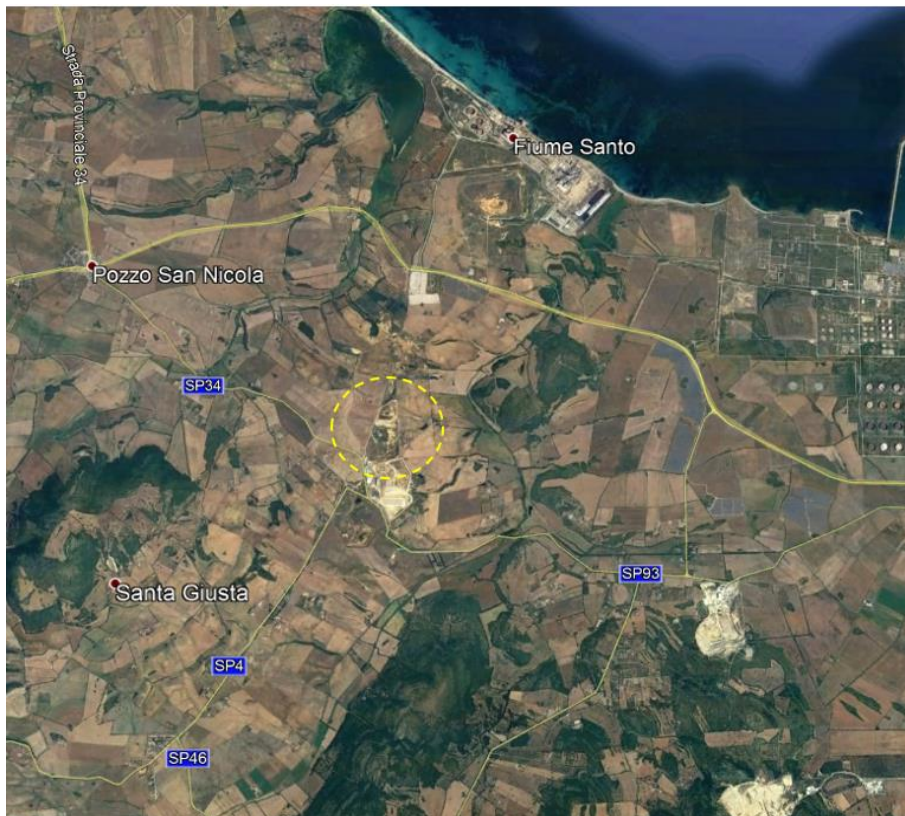


Fig. 02

Fig. 02) Ubicazione discarica da ortoimmagine (fonte Google Earth)

INDAGINI EFFETTUATE NELL'AREA PRIMA DELL'AVVIO DELLO STUDIO SU VASTA AREA

L'area in epigrafe è stata oggetto di estese campagne di indagini per la caratterizzazione geologico strutturale, idrogeologica ed idrochimica.

Per l'area della vicina discarica RSU comunale e per la vasta area sono presenti indagini e studi tematici approfonditi dal 2011 al 2013 eseguiti dall'Università di Sassari, studi che rivestono anche carattere scientifico (Prof Oggiano) e che pertanto sono stati tenuti come linee guida.

In merito alla Discarica SIGED Srl oltre le relazioni iniziali autorizzative, tra cui quelle esperite dalla scrivente Società, si è fatto riferimento agli aggiornamenti ed indagini integrative di carattere geologico idrogeologico e geotecnico esperite dal 2007 ad oggi, finalizzate ad una

migliore conoscenza delle matrici sottosuolo ed acque sotterranee del territorio di Scala Erre – Cazzalarga.

INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO

Il territorio interessato dalla discarica SIGED è inserito nella estrema parte nord occidentale regionale della Nurra sarda con basse e brulle alture oltre le quali si incontrano a nord, tagliate dalla penisola dell'Asinara, da un lato l'omonimo golfo e dall'altro il mare di Sardegna.

La discarica è localizzata nella parte settentrionale del territorio comunale di Sassari in località Scala Erre, in un'area interessata in passato dalla presenza di attività estrattive di argilla.

L'area si colloca inoltre a margine tra il comune di Sassari e quello di Stintino, a notevole distanza (circa 4.5 Km) dai centri abitati, nei pressi dell'incrocio tra la strada Pozzo S. Nicola - Sassari e la strada per Sassari - Canaglia.

A pochi chilometri a destra della SIGED scorre il Rio Fiume Santo, che sfocia nel golfo di Porto Torres poco più a Nord.

INQUADRAMENTO CLIMATICO DECENNALE

Al fine di avere un quadro di riferimento per quanto riguarda i dati climatologici di piovosità nel periodo compreso tra il 2009 e il 2019 sono stati utilizzati documenti provenienti dal SAR, il dipartimento climatologico di Arpa Sardegna, presenti nell'allegato. 09:

(<http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/periodiche/reportannuali.asp>)

Piovosità

Ciò che emerge immediatamente è che la zona pianeggiante a Nord Ovest della Sardegna è soggetta ad eventi piovosi meno concentrati rispetto al resto della regione.

Come visibile nell' All. 9, l'anno 2010 è stato l'anno più piovoso degli ultimi 10 anni: le precipitazioni sono state frequenti e abbondanti, soprattutto per quanto riguarda il mese di novembre (range di piovosità massima compreso tra 210-230 mm). La media di cumulo di precipitazione complessiva è stato il più alto dei dieci anni analizzati: si tratta di 70 mm (compresi i mesi più secchi di luglio e agosto). Per quanto riguarda la stazione di Olmedo (ad una distanza di pochi km dalla discarica in questione) non si sono registrate notti tropicali a differenza delle annate precedenti.

L'anno 2017 è stato invece l'anno più siccitoso, i cumulati sono stati i più bassi dal 1999-2000: la piovosità media annuale è stata di 37,08mm, con importanti precipitazioni avvenute solo nel mese di novembre e dicembre (120mm di massima piovosità riscontrata). Le temperature massime dell'annata risultano di circa +2.3 °C superiori alla media 1971-2000. Il valore si inserisce in un evidente trend crescente delle temperature massime tale per cui il 2016-2017 risulta essere il più caldo in assoluto, con 17°C di temperatura media complessiva.

Nel 2017 la scarsità di apporti piovosi che ha interessato l'intera Isola ha determinato una sensibile riduzione dell'umidità dei suoli e condizioni di intenso stress idrico alla vegetazione spontanea e alle coltivazioni. Il lungo periodo siccitoso ha notevolmente condizionato gli accrescimenti delle specie foraggere e di conseguenza limitato il pascolo degli animali.

Complessivamente, durante questi ultimi 10 anni si nota un basso e costante livello di piovosità nei mesi di luglio ed agosto, con minime rilevate di 0mm e massime di 30mm a luglio 2019 e 40mm ad agosto 2018, incrementi irregolari di piovosità nei mesi di giugno (fascia compresa tra 0 e 40mm negli anni ad esclusione del 2010, in cui la piovosità è stata tra 70 e 80mm). Al contrario, i mesi più piovosi sono stati ottobre (range piovosità tra 120-140mm negli anni 2010 e 2018) e novembre (range compreso tra 210-230mm nel 2010).

Nell'anno in corso, gli eventi piovosi sono stati poco frequenti e non abbondanti, con una media cumulativa fino al mese di settembre di 34,89mm. Considerando il 2019, il mese di aprile risulta il mese più piovoso (fascia compresa tra 70 e 90mm).

In generale, l'evento meteorologico più importante del 2013-2014 è stato senza dubbio quello che ha investito la Sardegna il 18 novembre (cumulati di precipitazione 25mm nell'area d'interesse), che si è trattato del secondo evento di maggiore impatto dall'inizio del XX secolo.

Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione di riferimento è stata calcolata applicando il metodo di Hargreaves-Samani ai dati medi mensili di temperatura minima, massima e media. I valori di evapotraspirazione totale In generale nei mesi di ottobre, dicembre e successivamente da febbraio fino ad agosto, i valori sono stati più alti della media, mentre nei restanti mesi sono stati in linea con i corrispondenti valori climatici.

Il bilancio idroclimatico presenta un'anomalia negativa dal mese di febbraio, soprattutto per i mesi di luglio ed agosto 2017 (-179, -160) con un massimo valore positivo tra 21 e 40 giorni piovosi

L'All. 10 mostra i grafici con dati annuali (2009-2019) di temperatura, velocità del vento e giorni di pioggia provenienti dalla stazione di Porto Torres (SS). Come anticipato in precedenza, il

2010 è stato un anno eccessivamente piovoso, in cui le precipitazioni di novembre sono state molto abbondanti su tutta la Sardegna, in particolare i giorni di pioggia nel suddetto mese sono stati 18, raggiungendo i 23 giorni per il mese di gennaio, nella zona di Porto Torres. Si tratta di numeri particolarmente significativi, considerato che novembre già di per sé è uno dei due mesi climatologicamente più piovosi dell'anno.

Dai grafici risulta che la media più bassa dei giorni piovosi appartiene all'anno 2017 ed è 6,75.

Temperature

Il 2010, oltre ad essere l'anno più piovoso dell'ultimo decennio è stato anche il mese con temperature più basse rilevate: la media è stata di 15,92°C.

L'anno con temperature più elevate è stato il 2014, avente temperature medie annuali di 17°C, seguito dal biennio 2016-2017 (16,95°C). Le temperature del 2014 sono state elevate in particolare nei valori massimi; questi ultimi, infatti, risultano superiori di oltre +1 °C rispetto alla climatologia 1971-2000. Le temperature massime di luglio ed agosto, nonostante siano normalmente i mesi più caldi, han mostrato valori eccezionalmente bassi con anomalie tra i -2 °C e i -4 °C (luglio) e intorno a -1 °C (agosto).

Velocità del vento

Il più alto valore di velocità del vento raggiunto è del marzo 2013 con un valore di 16,6 km/h. La media dell'anno 2013, la più alta del decennio è stata di 11,81 km/h. Al contrario, il valore medio minimo appartiene al 2010 ed è 6,95 km/h. Dai dati della centralina, nel 2018 il valore di umidità media è stato del 73,37%, mentre nel 2017 di 74,57%.

Radiazione solare

Dai dati reperiti dai rapporti statistici annuali di GSE (anni 2012-2018) è emerso un quadro indicativo della radiazione solare al suolo cumulata. L'anno 2018 appena trascorso ha mostrato valori di radiazioni solari sensibilmente inferiori rispetto agli anni precedenti (1400-1500 KWh/m²), soprattutto se si prende come riferimento l'anno precedente, il 2017, in cui l'energia cumulata è stata 1600-1700 KWh/m²). Gli anni intermedi (2014,2015 e 2016) presentano invece andamenti costanti (1500-1600 KWh/m²)

CLIMATOLOGIA ATTUALE

Riassumendo il quadro climatico odierno della zona in oggetto per l'intervallo considerato può essere sintetizzato nei seguenti punti: (Dati provenienti dal Dipartimento Meteoclimatico di Arpa

Sardegna)

La temperatura

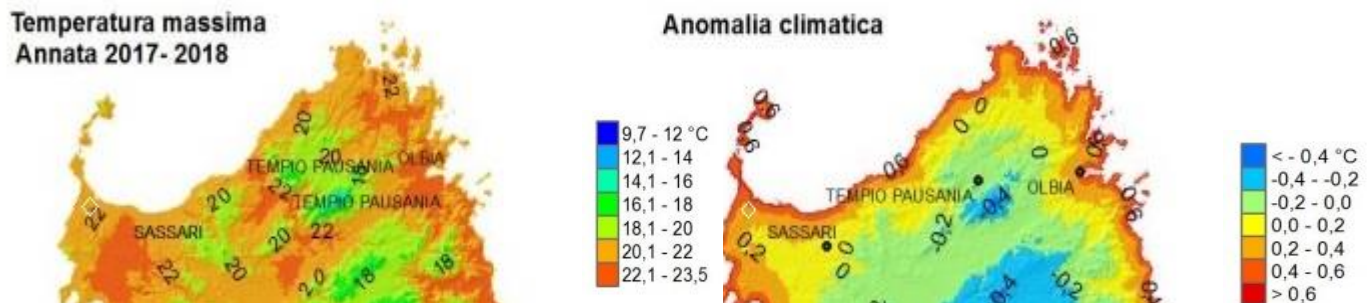


Fig. 03): media delle temperature massime da ottobre 2017 a settembre 2018 (la Discarica Siged ubicata nel punto a NO)

In figura viene mostrata la media delle temperature massime a confronto con l'anomalia Climatica dal 1995-2004. Si nota immediatamente una diminuzione di temperatura nell'entroterra, con innalzamento invece della media lungo le coste,

Le Precipitazioni

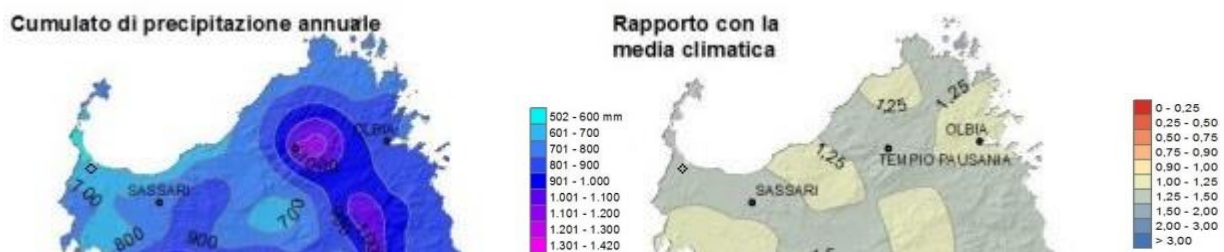


Fig. 04): Valori annuali di precipitazione 2017-2018. Discarica Siged ubicata nel punto a NO

Nel dettaglio alla successiva tabella si nota un aumento di precipitazioni avvenute nel 2018 rispetto agli anni precedenti.

PIOVOSITA' ANNUALE

ANNO	GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE	MAGGIO	GIUGNO	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE	TOTALE
2015	24,2	109,4	64,4	9,60	5,00	10,00	0,00	33,80	0,40	134,40	32,20	23,00	446,4
2016	54,00	142,8	25,8	13,6	13,00	15,60	15,20	0,40	36,00	40,20	81,60	50,60	488,80
2017	69,8	34,8	9,6	20,8	2,6	32,20	0,20	0,00	58,20	2,60	55,00	92,40	378,20
2018	24,40	62,20	73,60	17,20	80,80	28,20	0,20	1,60	0,20	125,80	142,20	16,60	573,00

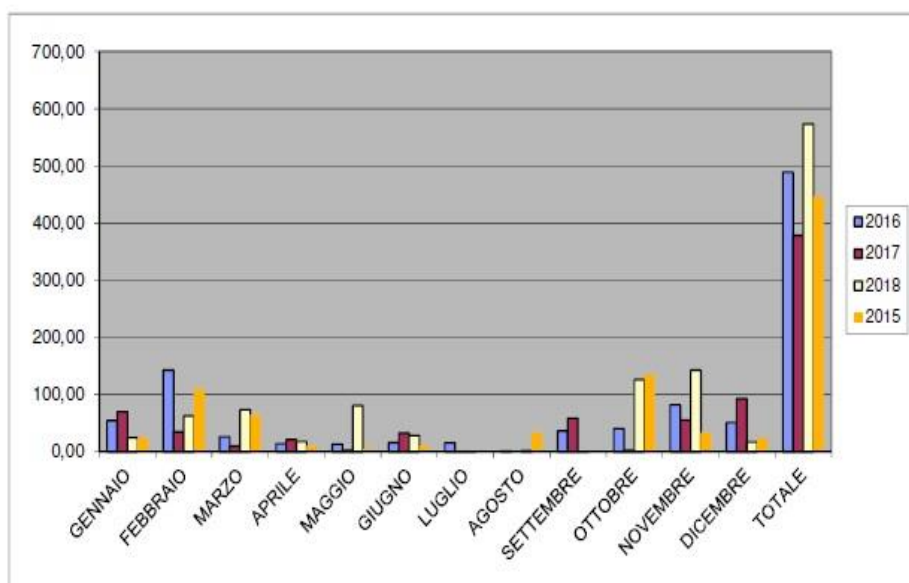
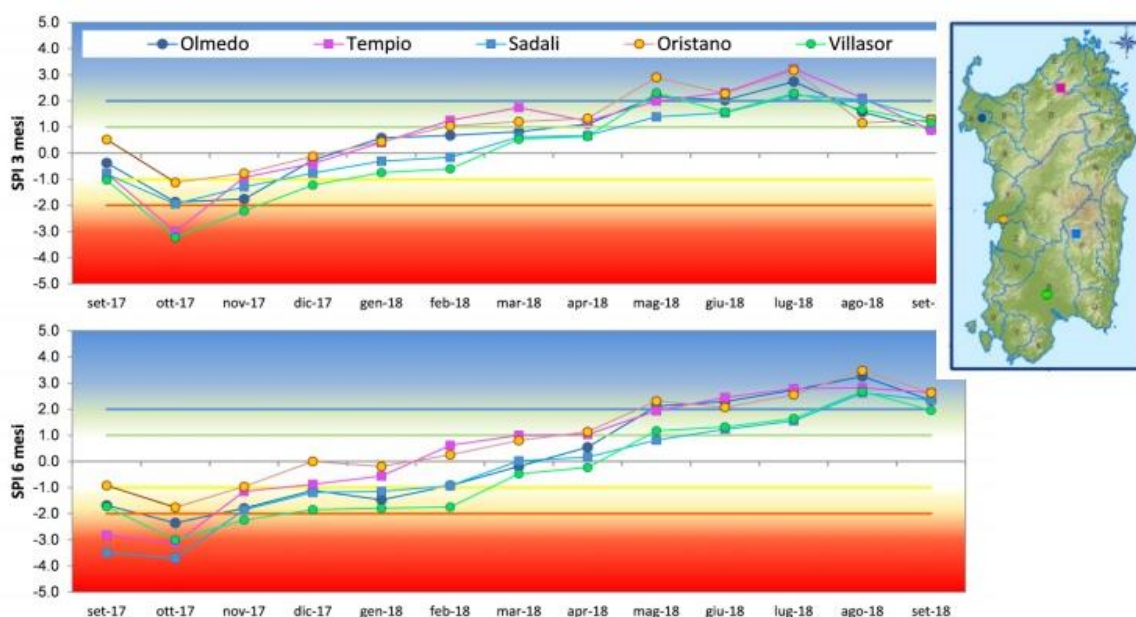


Fig. 05) Dati annuali di piovosità, espressi in mm e misurati internamente alla discarica Sigid tramite pluviometro.

L'umidità'

Per quanto riguarda l'umidità misurata sul territorio, si fa riferimento alla figura sottostante, in cui viene mostrata la SPI (indice di precipitazione standardizzata) con finestre temporali di 3 e 6 mesi:



L'indice in ordinata evidenzia quanto le condizioni osservate si discostano dalla norma (SPI =

0) e attribuisce all'anomalia una severità negativa (siccità estrema, severa, moderata) o positiva (piovosità moderata, severa, estrema).

Nell' anno 2018 l'umidità relativa media è stata di 73,37 %.

Vento

Nel grafico sottostante associato a tabella, l'asse delle ascisse indica il mese di misura, con direzione del vento, mentre l'asse delle ordinate indica la velocità media del vento (km/hr) per l'anno 2018.

VELOCITA' DEL VENTO			
	AGV	DOM DIR	MESE
	12,9	W	1
	9,8	W	2
	13,6	SSW	3
	7,9	SW	4
	7,6	NE	5
	7,4	NE	6
	8,1	WNW	7
	6,7	WNW	8
	7,4	W	9
	9,2	ENE	10
	6,9	S	11
	9,6	SSW	12
TOT	8,9	W	

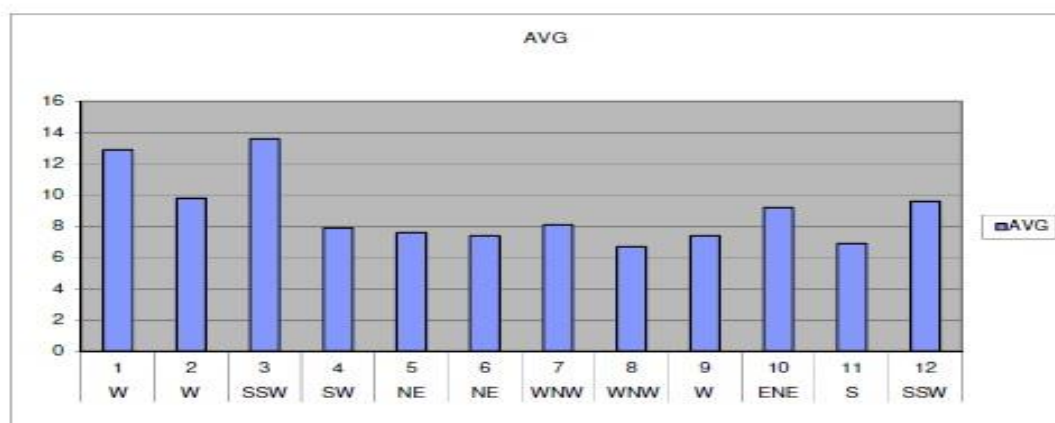


Fig. 06) Direzione e velocità del vento anno 2018

UNITA' MORFOLOGICO AMBIENTALI

L'area di proprietà SIGED si trova in un'ampia zona di pianalto precedentemente sfruttata a fine estrattivo per l'argilla. La proprietà è inserita in una ex-cava (attualmente già in parte in uso come discarica) così come io e il bacino più a Sud, della discarica del Comune di Sassari.

A Nord dell'area SIGED si trova un altro bacino di cava in stato di parziale abbandono.

L'area è principalmente occupata da riporti, superfici impermeabilizzate per l'alloggiamento dei rifiuti e il contenimento del percolato, gli affioramenti naturali sono rari e presenti quasi

esclusivamente a S - SE ed al di fuori della proprietà, nella cava Nord.

Il settore settentrionale della proprietà è occupato principalmente dai lotti della discarica attiva impermeabilizzati al fondo e in parte già con la copertura finale.

La zona immediatamente a Sud è costituita da riporti per lo più argillosi presenti nelle zone più depresse seguita da riporti indifferenziati che costituiscono degli alti morfologici all'interno della cava; talvolta possono presentare i loro versanti caratterizzati da erosione selettiva.

Affioramenti naturali (area SSE) sono invece costituiti da superfici da verticali a subverticali sottolineati dai vecchi orli di scarpata di cava ormai abbandonati. La parte più ad Est presenta in prossimità dell'orto estrattivo, fessure distensive che limitano l'affiorante in blocchi di dimensioni metriche a componente ghiaioso e ciottolose. Alla base di queste scarpate naturali sono presenti accumuli di detriti di falda e riporti indifferenziati.

Sono presenti due aree più depresse con imbacinamento di acqua stagnante. una molto limitata in prossimità degli uffici e una più ampia nell'area centrale della ex-cava.

La cava non è interessata da corsi d'acqua superficiali né da trasudamenti dalle pareti di cava.

Il terreno naturale con spessore di suolo da decimetrico a metrico è visibile per lo più nei pressi della recinzione di confine.

L'area è servita da piste di cantiere in parte asfaltate e in parte in terra battuta.

Nel settore nordorientale, lungo il confine la scarpata esterna è dotata da un sistema di gabbionate lungo circa 200 m.

L'aggiornamento del rilievo topografico è stato ampliato alla cava a nord della proprietà SIGED. In quest'ultima è presente una debole incisione attiva con apporto idrico superficiale proveniente da SW. Sempre nelle zone depresse si rinviene riporto argilloso e la formazione anche qui di acqua stagnante. Anche per questo ex bacino estrattivo gli affioramenti naturali sono visibili solamente lungo le scarpate in stato di abbandono della cava e alla loro base sono presenti elevati accumuli di riporto indifferenziato stabile e parzialmente colonizzato da vegetazione.

Tutti i fronti di cava originari impostati su pendenze superiori al 100% e non sepolti da riporti o da falde di detrito presentano solchi di erosione selettivo di tipo calanchivo con risalti morfologici caratteristici in presenza delle intercalazioni ghiaiose ciottolose. Il piede delle falde detritiche si raccordano al fondo di cava con ampie conoidi colluviali a debolissima pendenza create dal dilavamento della matrice più fine delle pareti.

Le aree esterne della discarica adibite a prato incolto si presentano con blande ondulazioni e nelle fasce più acclivi sono interrotte da canali di erosione lineare tipo gullys.

INQUADRAMENTO SISMICO SARDO

L'esperimento Sardinia Passive Array (SPA) nasce all'interno della linea di attività T1 "Geodinamica e interno della Terra" della struttura terremoti dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, con l'intento primario di estendere gli studi sulla struttura profonda e sulla sismicità del mediterraneo centro- occidentale, realizzati dal gruppo di ricerca degli autori negli ultimi dieci anni [Argnani et al., 2015; Monna et al., 2015, 2013; Montuori et al., 2007; Cimini and Marchetti, 2006; Cimini, 2004]. A tal fine, considerata la posizione centrale della Sardegna nell'area in studio, e più in generale del blocco Sardo-Corso.

Obiettivo dell'esperimento è anche una migliore caratterizzazione della sismicità locale, spesso non adeguatamente rilevata proprio per la scarsa copertura delle reti permanenti e perciò solo parzialmente presente nei cataloghi sismici dei centri sismologici mediterranei. A titolo esemplificativo, la Figura 07 mostra gli eventi localizzati dalla Rete Sismica Nazionale (RSN) nel periodo gennaio 1985 - giugno 2014 nell'area comprendente il blocco Sardo-Corso. Si tratta di una sismicità sparsa e sporadica nel tempo, ad eccezione della sequenza di una dozzina di scosse rilevata a seguito del terremoto di magnitudo $M_L 4.7$ del 7 luglio 2011 nel Mare di Corsica, che caratterizza soprattutto i bordi del blocco di litosfera continentale. Anche nel settore orientale sono avvenuti eventi significativi, in particolare tre eventi di magnitudo superiore a 4 (26 aprile 2000, magnitudo $M_d 4.2$ e 4.7 , e 18 dicembre 2004, magnitudo $M_L 4.3$) localizzati nel mar Tirreno centrale a circa 60 km ad est di Olbia nella cosiddetta depressione di Comino.

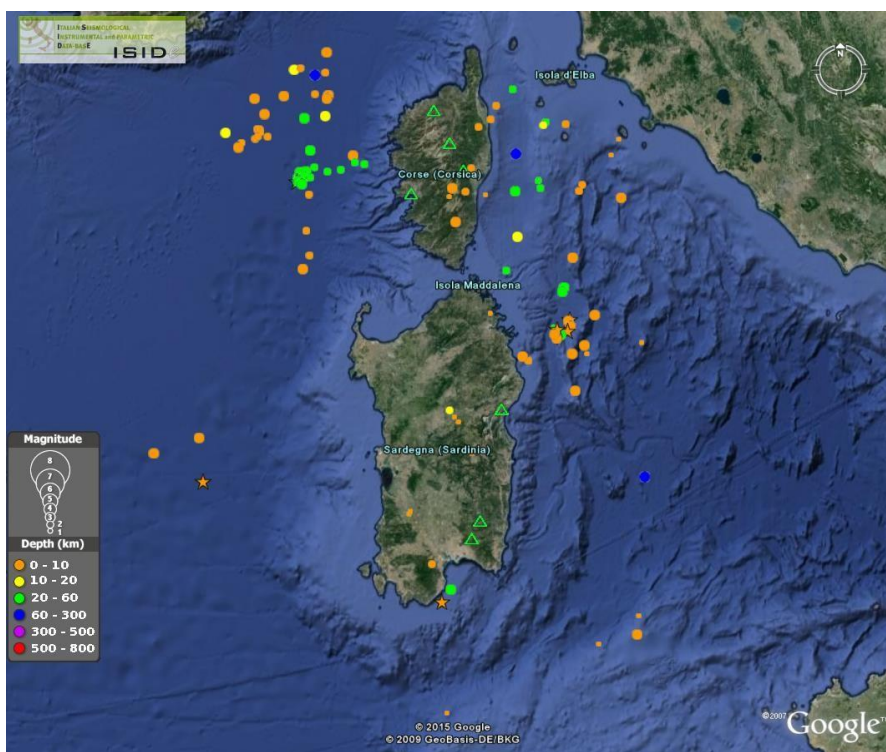


Fig. 07) Ubicazione epicentri terremoti 1985 - 2014

Sismicità del blocco Sardo-Corso e mari circostanti dal 1/1/1985 al 30/06/2014 (*database* ISIDe - <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/>). Gli eventi raffigurati sono 110, quelli indicati con il simbolo della stella hanno avuto magnitudo superiore a 4 (sei eventi). I triangoli verdi indicano le stazioni permanenti attive sulle due isole.

La stazione SPA04 in Loc La Corte (SS) ad alcuni km da Scala Erre è stata installata anche per l'osservazione su lunga durata del *background noise* del sito ai fini della verifica come postazione permanente della RSN nell'area della Nurra (Sardegna nord- occidentale).

Stazione	Località	Lat (N)	Lon (E)	Alt (m)	Acquisizione Dati							
					2014		2015					
					III	IV	I	II	III	IV		
SPA01	Oschiri	40.82102	9.10094	855								
SPA02	V. Monteleone	40.44266	8.53796	644								
SPA03	Lanusei	39.87674	9.50299	1131								
SPA04	Sassari La Corte	40.73579	8.28031	93								
SPA05	Torpè	40.69413	9.57943	751								
SPA06	Siligo	40.58226	8.73193	311								

Fig. 08) Coordinate e acquisizione dati nel periodo luglio 2014 - ottobre 2015 delle stazioni temporanee.

Riguardo alla sismicità locale, i dati acquisiti rivelano un'attività significativa, sebbene, in linea con il *pattern* trentennale ante-esperimento e hanno permesso di validare l'occorrenza di un numero non trascurabile di eventi (21 in 15 mesi di monitoraggio) prevalentemente in mare e prevalentemente caratterizzati da valori di magnitudo intorno a 3.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Nell'area in esame possono essere distinte, Unità sepolte. e cioè non affioranti, ed Unità affioranti in superficie:

Unità di basamento Paleozoiche (Unità Sepolte)

Tali unità sono costituite da rocce metamorfiche di basso grado, in prevalenza costituite da filladi a sericite; sono frequenti filoni e vene in quarzo in corrispondenza di discontinuità strutturali.

Serie trasgressiva mesozoica (Unità Affiorante)

Questa serie è costituita da una facies evaporitica ed una di piattaforma; in particolare si tratta di litotipi arenaceo-conglomeratici del Permo Trias seguiti da calcari dolomitici, calcari marnosi, marne argille e gessi seguiti da calcari compatti eolitici, calcari massicci e calcari dolomitici Triassico - Giurassici. Lo spessore di questa unità può raggiungere anche diverse centinaia di metri. La serie è leggermente piegata e fagliata.

Calcarei miocenici (Unità Affiorante)

Calcarei organogeno-detritici, calcari arenacei, arenaceo-conglomeratico e marnoso-arenacei. con associati livelli di marne calcaree e livelli arenaceo sabbiosi. Sono sedimenti miocenici che poggiano sulle vulcaniti Oligo-mioceniche o direttamente sui calcari mesozoici.

Copertura pleistocenica (Unità Affiorante)

Alluvioni fluvio-lacustri antiche; si tratta di livelli grossolani ad elementi calcarei e quarzosi, alternati a livelli limo-argillosi e a paleo-suoli rossi calcarei. La potenza complessiva della formazione può raggiungere i 60 m. Possono presentare eteropie laterali e verticali.

Sabbioni a granuli silicei, spesso ben cementati, a stratificazione incrociata, di deposizione eolica, sovrapposti ai livelli di panchina tirreniana. Tali sedimenti raggiungono spessori di vari metri. Affiorano per lo più lungo la fascia costiera.

Alluvioni fluviali recenti ed attuali (es. Fondovalle Riu Mannu e Fiume Santu); spiagge con cordoni dunari (Es.: zona a ovest di Porto Torres, foce del Fiume Santo). Gli spessori di tali unità variano da qualche decimetro a 10 - 20 m.

L'area ove è ubicata la discarica SIGED di Scala Erre, compresa tra i corsi d'acqua Fiume Santo (Rio St. Osanna, Rio St. Elena) e

il Rio S. Nicola, si trova in una piana alluvionale quaternaria delimitata dagli alti topografici ad Ovest (M.te S. Giusta) e ad Est (M.te Elva e M.te Algaro) e caratterizzata da alluvioni pleistoceniche ciottolose prevalente quarzose con intercalazioni sabbioso argillose varicolori.

Ad ovest dell'area in corrispondenza del M.te Santa Giusta affiorano litotipi triassici costituiti da alternanze di calcari dolomitici, calcari marnosi e marne. argille varicolori e lenti gessifere e calcari grigi compatti, calcari oolitico evaporitici.

In questa zona la stratificazione immerge in modo blando ma costante verso est

La zona dei Monte Elva ed Alvaro. ad est, invece è contraddistinta da calcari compatti oolitico pisolitici grigi, azzurrognoli, giallastri e rossastri passanti a brecce organogene e dai sopracitati calcari più antichi. L'immersione di questi litotipi varia da S a SE.

Lungo i due fiumi principali che hanno un'orientazione N-S affiorano depositi Olocenici - Attuali. Nell'area a Ovest del M.te Santa Giusta al di fuori dell'area di studio affiora il basamento cristallino Cambriano Siluriano costituito da filladi e filladi sericitiche e quarzifere, cloritoscisti, gneiss e rocce eruttive (gabbri e diabasi) e metamorfiche (anfiboliti e prasiniti) con contatto tettonico con le formazioni carbonatiche.

Dal punto di vista strutturale l'area è interessata da un sistema di faglie, talora esposte ma per buona parte sepolte, orientate NE - SO parallelamente ai principali corsi d'acqua.

Nella zona a Sud del M.te Elveddu infine è presente un differente sistema di faglie avente orientazione E-O.

INDAGINI GEOTECNICHE PREGRESSE

Nell'anno 2007 sono state eseguite 10 prove penetrometriche DPM, di cui 2 interessanti il III lotto della discarica Siged. Esse sono state portate a rifiuto strumentale, con profondità comprese tra 0,9m e 8,7m dal piano campagna e nelle quali non è stata rintracciata acqua libera nei fori.

Di seguito viene riportata per ciascuna litozona una tabella riassuntiva dei parametri geotecnici ricavati dalle prove penetrometriche eseguite, in cui:

Litozona A- costituita da riporti di cava a supporto di matrice e da argille limose rosse mediamente plastiche da argille ocre screziate.

Litozona B-costituita da ciottoli e ghiaie argillose ocre e/o argille ocre sovraconsolidate.

Litozona C- costituita da ghiaie e ciottoli o sabbia addensate con matrice.

LITOZONA	MEDIA N SPT	CV	σ_n	E (MPa) (range)	Cu (KPa) (range)
A	4,2	0,33	1,4	2.85-19	18.6-73.5
B-B'	16,4	0,29	4,7	5.8-7.6	88.75-205.8
C	27,0	0,26	7,1	11.12-20.75	341.5-386.7

Di seguito vengono interpretate le prove penetrometriche SPT eseguite nei fori di sondaggio delle campagne geognostiche del 1993 e del 2007.

TABELLA RIASSUNTIVA DELLE PROVE SPT –DGA 1993, DISCARICA SIGED SCALLA ERRE.

LITOZONA	PROF. (m)	SPESS. (m)	NSPT (range)	γ (Kn/m ³)	MEDIA (NSpT)	n	Φ	Cu (KPa)	E (MPa)
Riporti di cava	0-5,5	0,3-5,5	8-12	18	10	2	29	60	4
Ciottoli e ghiaia argillosa	0,3-3,8	3,5	38	19	38	1	36	530	48
Argilla sabbiosa	5,5-9	3,5	11	19	11	1	36	70	20

TABELLA RIASSUNTIVA DELLE PROVE SPT – 2007, DISCARICA SIGED SCALLA ERRE.

LITOZONA	PROF. (m)	SPESS. (m)	NSPT (range)	γ (Kn/m ³)	MEDIA (NSpT)	σ	CV	n	Φ	Cu (KPa)	E (MPa)
Ghiaie argillose	0-7,5	>7,5	33-44	19	40	3,96	0,10	4	38	440	20

Di cui:

NSPT = n° di colpi/30 cm γ = peso di volume Φ = angolo di resistenza al taglio

n = numero di campioni considerati

E = modulo elastico**Cu** = coesione non drenataTABELLA ORIENTATIVA DI SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE
DEDOTTE DAGLI SPT CORRELATE ALLE PROVE DPM.

LITOZONA DPM	LITOZONA SPT	NSPT CARATTERISTICO	Φ	Cu (KPa)	E (MPa)
A	Riporti di fondo	10	29	60	4
	Argille limose sabbiose mediamente plastiche	11	30	80	20
B	Argille limose sovracconsolidate	30	36	320	n.d.
C	Ciottoli e ghiaie argillose	40	37	480	36

Di cui:

NSPT = n° di colpi/30 cm Φ = angolo di resistenza al taglio**E** = modulo elastico**Cu** = coesione non drenata

Durante i sondaggi svolti nel 2007 sono state effettuate 5 prove di permeabilità in sito a fondo foro. Nei sondaggi SCE1, SCE 7.2, SCE6 le prove di permeabilità sono state a carico variabile, nello SCE 7.1 sia carico costante che variabile mediante pompa e contalitri.

Di seguito vengono mostrati i risultati dell'interpretazione delle prove effettuate.

PROVE DI PERMEABILITA' K IN SITO.

Sigla prova	Quota m s.l.m	Profondità (m da p.c.)	Tipo di prova	K media (lefranc AGI) (cm/s)	K Horslev (F.AGI-USBR) (cm/s)	K Gil Gavard (cm/s)	Litologia
SCE 7.1/1	36,5	4,00	Carico costante	-	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	Ciottoli e ghiaie debolmente limose
SCE 7.1/2	36,5	4,00	Carico variabile	$1,4 \cdot 10^{-3}$	-	$6,7 \cdot 10^{-4}$	Ciottoli e ghiaie debolmente limose
SCE 7.2	26,7	13,8	Carico variabile	$1,4 \cdot 10^{-5}$	-	$2,4 \cdot 10^{-6}$	Ghiaie debolmente ciottolose e limose
SCE 6	27,0	17,0	Carico variabile	$1,3 \cdot 10^{-6}$	-	$7,7 \cdot 10^{-7}$	Limi argillosi con ciottoli e ghiaie
SCE 1	14,0	17,0	Carico variabile	$9,2 \cdot 10^{-5}$	-	$4,4 \cdot 10^{-7}$	Sabbie ciottolose ghiaiose con lenti argillose

Al termine della perforazione dello SCE1, nella zona basale dominata da dolomie calcaree cariate e fessurate con riempimenti di argille e ghiaie sono state condotte due prove Lougeon con packer semplice.

PROVE LOUGEON

PROVA	PROFONDITA' DA P.C.	K cm/s
1Lu	42-45 m	$>2,7 \cdot 10^{-3}$
2Lu	44-45 m	$>3,8 \cdot 10^{-3}$

Sempre nel 2007 sono state condotte prove di permeabilità (Slug Test) al fine di verificare la permeabilità dei terreni nell'intorno della lunghezza del tubo interrato della prova.

PROVE DI PERMEABILITA' SLUG TEST

n° Prova	Piezometro	Profondità interessata	Permeabilità	Litologia interessata
SLUG SCE 1	SCE 1	27m ÷ 45m 4m ÷ -14m (slm)	$5,6 \cdot 10^{-4}$	Dolomie calcaree fessurate e carnificate con argille residuali
SLUG SCE 2	SCE 2	29m ÷ 45m 22m ÷ -6m (slm)	$1,2 \cdot 10^{-4}$	Argille limose e ghiaiose e ghiaie con sabbie e ciottoli localmente cementate
SLUG SCE 8	SCE 8	5m ÷ 20m 48m ÷ -33m (slm)	$1,6 \cdot 10^{-5}$	Limi ocrea da debolmente argillosi ad argillosi con frequenti intercalazioni ghiaiose decimetriche

Sono state effettuate prove di portata in discesa e risalita su 3 piezometri interni alla discarica Siged e una prova in discesa su un pozzo esterno, di proprietà Nonne.

Di seguito sono riportati in tabella i valori di K (permeabilità), T (trasmissività) e S (coefficiente di immagazzinamento)

PROVE DI POMPAGGIO

POZZO	TIPO DI PROVA	K (m/s)	T(m ² / s)	S
1 SIGED	Discesa	$7.3 \cdot 10^{-7}$	$2.5 \cdot 10^{-5}$	$5.6 \cdot 10^{-2}$
	Risalita	$4.2 \cdot 10^{-7}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$2.0 \cdot 10^{-10}$
2 SIGED	Discesa	$7.1 \cdot 10^{-6}$	$2.8 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-3}$
	Risalita	$7.7 \cdot 10^{-7}$	$3.1 \cdot 10^{-5}$	$1.6 \cdot 10^{-7}$
3 SIGED	Discesa	$7.3 \cdot 10^{-8}$	$2.8 \cdot 10^{-6}$	$3.8 \cdot 10^{-2}$
	Risalita	$4.4 \cdot 10^{-9}$	$2.6 \cdot 10^{-7}$	$6.5 \cdot 10^{-4}$
CT 30 (Nonne)	Discesa	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$2.7 \cdot 10^{-4}$	$3.8 \cdot 10^{-1}$

SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

In base ai dati in possesso ed alle elaborazioni degli stessi, lo schema concettuale stratigrafico-tecnico del sottosuolo dell'area SIGED di Scala Erre la suddivide in tre Unità principali che vengono descritte dell'atto al basso:

- 1) Unità I - Unità Estrattiva: terreni interessati dalla pregressa attività di coltivazione mineraria di potenza 20-25 m e cioè a partire dal piano campagna attuale circostante le depressioni sede della discarica SIGED e Comunale di Sassari sino al fondo della cave abbandonate.
- 2) Unità II - Complesso Argilloso Limoso Sabbioso Ghiaioso: il cui tetto corrisponde al fondo delle cave esaurite sino al letto del bed rock con potenza minima di 25 m sino al oltre 60 m. Unitamente al livello A questi terreni costituiscono il deposito quaternario deltizio afferente alla piana di porto Torres poggiante sul substrato roccioso mesozoico.
- 3) Unità III - Bed Rock: potente serie mesozoica di dolomie calcaree sottostante l'Unità II che nelle prime decine di metri presenta paleosuperfici incise, erose ed intensamente carsificate.

1) Litozona dell'Unità estrattiva (I).

Comprende il livello superiore di spessore sino ad 1.5 m interamente pedogenizzato costituito da caratteristici suoli a matrice limoso argilloso rubefatto con ciottoli prevalentemente silicei. Al di sotto si sviluppa un orizzonte di alcuni metri di ghiaie e ciottoli embriciati e ben addensati per interlocking di natura cristallina quarzosa con incrostazioni nerastre e successivamente argille rossastre screziate, localmente policrome con potenza di 3-5 m.

Sottostanti a queste ultime si sviluppa un orizzonte di argille limose giallognole nocciola con rare inclusioni sottili sabbiose ciottolose di almeno 5 m di spessore sovrapposte a circa una decina di metri di limi argillosi bruni con intercalazioni più diffuse e più continue di tenti ed orizzonti decimetrici di ghiaie sabbie e subordinati ciottoli con un arricchimento generalizzato di materiale granulare rispetto ai livelli immediatamente superiori.

Dal punto di vista idraulico questa litozona, grazie alla forte diffusione del passante al 200 ASTM ed alla non continuità verticale e laterale di orizzonti più porosi, non presenta evidenze di circolazione idrica se non legata ad effimere manifestazioni di saturazione che si manifestano in concomitanza di eventi climatici favorevoli alla temporanea ricarica della circolazione ipodermica e di scorrimento superficiale.

2) Litozona del Complesso Argilloso Limoso Sabbioso Ghiaioso (II).

Questa zona in base ai dati in possesso meglio rappresenta l'origine deposizionale del complesso quaternario (I-II) con episodi più continui e più potenti di depositi di alta energia (psefitici) frammisti ad episodi di bassa media energia (psammitici) sino a depositi di quiete (pelitici) rispetto alla sovrastante litozona I.

La II litozona è definita un complesso, in quanto pur mantenendo spazialmente i rapporti stratigrafici di continuità laterale in modo grossolano, mostra variazioni granulometriche fitte e variabili a parità di quota: anche il grado di addensamento non appare continuo come gli spessori di livelli cementati che passano da quasi una decina di metri localmente a meno di un metro (più diffusamente).

Questo complesso Argilloso Limoso Sabbioso Ghiaioso è sede di un corrispondente complesso multifalda semiartesiano che risente nelle depressioni di cava direttamente degli apporti pluviometrici e degli apporti di subalveo dalle incisioni e corsi d'acqua perimetrali all'area stessa. Presumibilmente il passaggio tra la litozona I Estrattiva e la II è ubicato a fondo cava ed è legato anche all'economia estrattiva in cui il maggior approfondimento degli scavi unitamente alla minor qualità del materiale argilloso "inquinato" da ciottoli e ghiaie ha sconsigliato di proseguire lo scavo a quote minori sul livello del mare.

Per comodità interpretativa in questa litozona è stata identificata una sola quota piezometrica (sommitale) definita come livello della prima falda o falda superficiale o falda dei depositi quaternari il cui acquifero a bassa permeabilità opera da aquitard rispetto alla falda sottostante.

3) Unità del Bed Rock (III).

Il substrato lapideo di fondo è stato rintracciato con pochi sondaggi ed attraverso l'interpretazione geoelettrica.

L'unità litotecnica in questione si presenta per almeno una decina di metri profondamente interessata da carsismo con cavità intasate da argille residuali o da riempimenti di tipo alluvionale o di frana: si presume, inoltre, che la paleosuperficie sia molto movimentata con avvallamenti ed incisioni e scarpate decise di probabile influenza strutturale con dislivelli decametrici in poche decine di metri sull'orizzontale. Dal punto di vista idraulico questa litozona, grazie alla forte diffusione del passante al 200 ASTM ed alla non continuità verticale e laterale di orizzonti più porosi, non presenta evidenze di circolazione idrica se non legata ad effimere manifestazioni di saturazione che si manifestano in concomitanza di eventi climatici favorevoli alla temporanea ricarica della circolazione ipodermica e di scorrimento superficiale.

Il limite di questa litozona è pertanto indicativo in quanto di difficile ed incerta individuazione in base alle stratigrafie in possesso.

Quest'Unità è sede di un acquifero che si sviluppa per fessurazione e microcarsismo nella potente serie carbonatica dolomitica sottostante la prima decina di metri di roccia alterata e carsificata.

La falda citata anche come "mesozoica" qui contenuta è in pressione grazie agli acquitard ed acquicludo sovrastanti: essa presenta buona continuità laterale e produttività migliore rispetto alle falde sovrastanti con bacino idrogeologico di alimentazione nei rilievi carbonatici che stringono a ferro di cavallo i depositi deltizi quaternari.

Il limitato dislivello tra lo zero idrometrica e la piezometria sotto l'area Scala Erre in particolari condizioni di crisi idrogeologica di alimentazione da parte dei massicci carbonatici potrebbe determinare l'ingressione della falda salina nella piana di Porto Torres.

CONSIDERAZIONI SUL RISCHIO SISMICO A SCALA ERRE

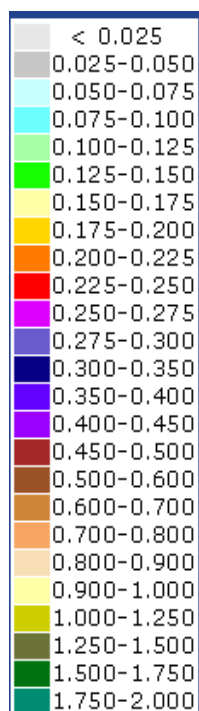
La Sardegna è considerata da tutti gli studi di settore in particolare dal GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) come un'area caratterizzata da una bassa sismicità. In conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274 del 2003 con la quale si stabiliscono i nuovi criteri per la classificazione sismica del territorio italiano, l'Isola è classificata come zona 4. Tale tipologia di rischio si può quindi considerare di entità moderata.

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i

cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale. In particolare, sono stati consultati i seguenti database:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano.
- DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali. Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.



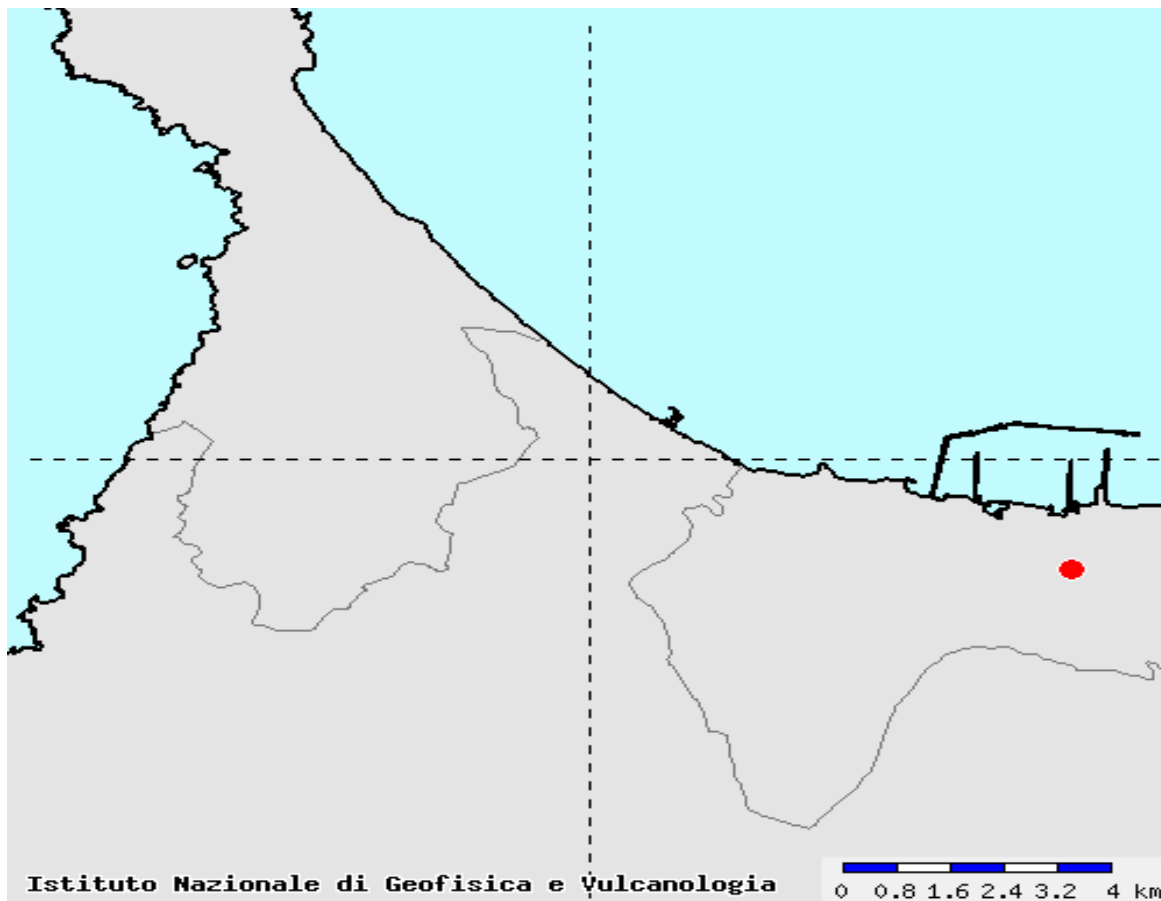


Fig. 09-10) Rischio Sismicità Porto Torres (INGV) con tabella intensità macrosismica

Dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solo due eventi di magnitudo $\leq 5M_w$ (1924 e 1948). In occasione dell'evento del 1948 sono state osservate intensità pari a 6MCS in alcune località della Sardegna Nord Occidentale. I terremoti più recenti (avvenuti nel 2000, 2004 e 2006), tutti di M_w inferiore a 5 e localizzati in mare, hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità.

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15), dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

Il piano regionale di protezione civile per il rischio idraulico, idrogeologico e da fenomeni meteorologici avversi approvato con deliberazione della giunta regionale n. 1/9 del 8 gennaio 2019 individua i possibili scenari di rischio.

Gli scenari di evento maggiormente rilevanti ipotizzabili nel territorio regionale sono riconducibili

a:

Rischio idraulico, idrogeologico e/o idrogeologico per temporali;

- Rischio neve e/o ghiaccio;
- Pericolo alte o basse temperature;
- Pericolo vento e mareggiate;
- Pericolo piogge e temporali.

E non vengono contemplati rischi sismici in relazione al bassissimo impatto

Di seguito ai fini della caratterizzazione geotecnica sono stati ricavati i parametri sismici ai fini delle NTC 2018 con il software GEOSTRU PS dell'omonima softerhouse.

Sito in esame.

Coordinate espresse in ED50

latitudine: 40,0872004462762

longitudine: 8,98100200328476

Coordinate WGS84

latitudine: 40.086143

longitudine: 8.980026

Classe: 0

Vita nominale: 50

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 75anni

Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 45 [anni]

ag: 0,022 g

Fo: 2,658

Tc*: 0,291 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 75 [anni]
ag: 0,028 g
Fo: 2,704
Tc*: 0,303 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,056 g
Fo: 2,936
Tc*: 0,358 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,066 g
Fo: 3,027
Tc*: 0,384 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,410
St: 1,000
Kh: 0,005
Kv: 0,003
Amax: 0,264
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,400
St: 1,000
Kh: 0,007
Kv: 0,003
Amax: 0,328
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,350
St: 1,000
Kh: 0,013

Kv: 0,007
Amax: 0,654
Beta: 0,200
SLC:
Ss: 1,200
Cc: 1,330
St: 1,000
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,779
Beta: 0,200

SINTESI DELL'ASSETTO GEO – IDROGEOLOGICO DELL'AREA VASTA DI SCALA ERRE - CAZZALARGA

L'assetto stratigrafico e strutturale dell'area di Scala Erre – Cazzalarga è riconducibile ad una struttura di basso morfologico delimitata a sud, verso Pozzo d'Ussi, da una soglia ad andamento E-W in cui affiorano terreni del Trias in facies di Keuper (marne con sottostanti evaporiti) e che verso NNE raggiunge la costa del Golfo dell'Asinara.

Al di sopra dei terreni triassici poggia una successione continentale caratterizzata da argille e conglomerati, che presumibilmente si rapportano di età Messiniana.

Come visibile nella sezione idrogeologica in Fig. 04, la discarica insiste su questa formazione, ospitata in cave d'argilla dismesse impiegate in precedenza nella locale industria di laterizi.

Questa serie si ritrova, nel settore centrale dell'area in esame, tra la foce di Fiume Santo, il Monte Elva ed Elveddu, il Monte Rosé: tra il Monte Elva e la base del Monte Alvaro sono presenti frequenti finestre stratigrafiche che lasciano a giorno i livelli calcarei del triassico superiore.

I depositi argilloso-conglomeratici di Scala Erre sono ascrivibili alla deposizione alluvionale di incisioni e depressioni precedentemente delineatesi in concomitanza con l'abbassamento del livello del mare del Messiniano, in condizioni climatiche differenti rispetto a quelle attuali. Questi depositi creanti un debole pianalto, riempiono la "depressione del Fiume Santo" (Scanu, SSAST 2008), per via del fatto che i depositi di questa sequenza affiorano unicamente in una stretta fascia compresa tra la Centrale Elettrica di Fiume Santo e le Saline di Stintino, e sono costituiti da alternanze di argille e conglomerati continentali. Le argille sono massicce, non stratificate e in alcuni casi bioturbate e pedogenizzate, generalmente di colore rossastro o giallastro, raramente anche grigio. Dispersi si rinvencono noduli di manganese, frammenti xiloidi e clasti

di dimensioni millimetriche. Occasionalmente sono stati rinvenuti orizzonti ossidati interpretati come paleosuoli. Le argille sono di ambiente deposizionale di piana alluvionale. I conglomerati sono organizzati sia in lenti di lunghezza decametrica e 2-3 m di altezza, sia in strati tabulari. Le lenti psammitiche hanno frequentemente base erosiva e sono costituite da orizzonti con strutture tipo cut and fill.

I clasti hanno dimensioni variabili (da ghiaie a ciottoli sino a rari blocchi) che tendono a diminuire da SW verso NE e sono costituiti prevalentemente da rocce metamorfiche (quarzo e filladi) appartenenti al basamento varisco della Nurra, anche se non è rara la presenza di rocce permiane, analoghe a quelle che affiorano nell'area di Cala Viola, o mesozoiche. I conglomerati sono interpretati come depositi fluviali di tipo braided la cui tessitura embricata indica una provenienza dei clasti da quadranti sud-occidentali (SW).

Al di sotto di tale vasta area, il contatto tra Paleozoico e Mesozoico nel settore settentrionale della Nurra risulta di tipo tettonico e non stratigrafico.

La fascia tettonizzata, legata a faglie a basso angolo ed a sovrascorrimenti presumibilmente anche multipli tipo duplex, sulle metamorfiti o sulle arenarie di chiusura del Permiano, è rappresentata da una direttrice grossolanamente segnata dall'allineamento Monte Trudda più a sud, con l'asse della foce del Fiume Santo, deviata probabilmente prima di raggiungere il piede del M. Eva da faglie ad andamento Est-Ovest. L'evidenza di questa lineazione strutturale appare mascherata dalle deposizioni del complesso argilloso-conglomeratico messiniano, Cazzalarga – Scala Erre.

I riflessi idrogeologici di tale assetto si manifesta nella direzione di flusso, che alimentata dagli acquiferi carbonatici della Nurra (Ghiglieri et al., 2009), è controllata dalle caratteristiche strutturali della regione (assi di sinclinali ed anticlinali a prevalente allineamento NE-SO). Anche nell'ambito della vasta area di Scala Erre – Cazzalarga, da quanto evidenziato nella carta idrogeologica riportata (Tav.05), la direzione principale di flusso negli acquiferi carbonatici e non, risulta diretta SW-NE (Oggiano 2011, Casu 2011, Bossich 2007, Ghiglieri 2006, Progetto Riade 2004).

In fig. 05 viene mostrato l'andamento delle isofreatiche massime della falda superficiale come modello numerico.

Il controllo delle acque di falda viene effettuato tramite l'utilizzo dei piezometri presenti all'interno del sito. I pozzi di controllo nell'area occupata dalla discarica, utilizzati attualmente per il monitoraggio delle acque di falda sono 7: 3 dei quali a monte e 4 a valle della discarica che intercettano falde differenti (una superficiale e una profonda).

La suddivisione è indicata nella tabella seguente:

FALDA	MONTE IDROGEOLOGICO	VALLE I IDROGEOLOGICA
PRIMA FALDA (SUPERFICIALE)	PZM 9	PZM2, PZM3new
SECONDA FALDA (PROFONDA)	PZM1, PZM4	PZM5, PZM6bis

Sulla base delle risultanze autorizzative e documentali di progetto, aggiornati in continuo con rilievi piezometrici risulta:

- PRIMA FALDA (superficiale, localmente multistrato): si attesta nell'acquifero alluvionale tra l'isofreatica 20 e 30 m slm con direzione di deflusso sostanzialmente da Nord a Sud come in tav 06 Il gradiente locale è di poco inferiore a 1%.
- SECONDA FALDA (profonda): è allocata prevalentemente nell'acquifero carbonatico dolomitico e subordinatamente nella porzione basale di quello alluvionale tra l'isofreatica 14 e 4 m slm: la direzione di deflusso di questa falda è prevalentemente da sud ovest ad ovest gradiente locale da 1 al 3 %.

CONSIDERAZIONI SULLE UNITA' IDROGEOLOGICHE DI SCALA ERRE – CAZZALARGA

Si riportano per uniformità descrittiva le unità idrogeologiche dell'area di Scala Erre ricalcando sostanzialmente quelle rilevate da Ghiglieri et al (2009). Le unità litostratigrafiche evidenziate nella carta litologica (Tav 01) convergono nelle unità idrogeologiche, le cui relazioni reciproche in quest'area sono controllate sia dall'assetto stratigrafico sia da quello strutturale ed infine anche dal contrasto litotessiturale sostanzialmente impermeabile delle argille e del basamento filladico con le facies più permeabili carbonatico evaporitiche.

La profondità della falda non necessariamente corrisponde a falde ospitate nei termini geologici più antichi. Oggiano 2011 segnala una falda superficiale affiorante tra Punta dei Visti e Monte Santa Giusta mai utilizzata per via dell'elevato contenuto salino appartenente alla più antica unità: Unità idrogeologica del paleozoico

Unità idrogeologica del "Tegumento"

Le unità clastiche permo-triassiche costituite da sedimenti clastici, spesso diagenizzati con cemento siliceo e/o ematitico goethitico, interposte tra il basamento metamorfico e le

successioni carbonatiche-evaporitiche del Mesozoico non sono di rilevante significatività. Nella parte basale è spesso presente un orizzonte impermeabile in facies di siltiti nere mai osservate in affioramento nell'area. Lo spessore di queste formazioni continentali è modesto (20 metri circa di esposizione a Santa Giusta).

Si può ipotizzare una permeabilità bassa per porosità in relazione alla petrografia dei litotipi che comunque aumenta per effetto della fratturazione nelle aree interessate da evidenze tettoniche.

Le Unità idrogeologiche del Mesozoico

Le Unità idrogeologiche del Mesozoico sono differenziabili in.

- sub unità del Trias carbonatico-evaporitico
- sub unità del Giurassico, essenzialmente carbonatica.

La prima unità è quella che presenta spessori più irregolari, per effetto della tettonica eiettiva cui è soggetta, a causa della presenza di orizzonti evaporitici, uno dei quali (Kueper) può raggiungere spessori significativi.

Il Trias carbonatico-evaporitico, con potenza compresa tra 50-100 metri (Maxia et al 1965), si riduce ad una fascia cataclastica, spesso una ventina di metri in cui si laminano sia gli elementi carbonatici che quelli evaporitici e terrigeni, interposta tra il basamento metamorfico e la potente copertura giurassica (Monti di Bidda). In generale, questa successione è quella più ricca di evaporiti prevalentemente gessi.

La sub unità del Giurassico, essenzialmente carbonatica, affiora in porzioni marginali dell'area di studio ma dal punto di vista dell'alimentazione sotterranea grazie alle sue grandi portate, può contribuire ad alimentare lateralmente gli acquiferi del Trias e del Cenozoico superiore.

L'acquifero del Messiniano

L'acquifero del Messiniano è soggiacente alle discariche esistenti: Discarica Comunale di Sassari e della Siged, ed area della futura discarica Ecotorres in progetto, tutte inserite in cave di argilla esaurite.

Tale acquifero non corrisponde alla potenza totale del complesso deposizionale messiniano ma poiché è da considerarsi multi falda, si potrebbe ridurre ad un decimo o ventesimo dello spessore totale litologico.

L'acquifero del Messiniano è formato da fan depositi più recenti per il colore rubefatto al giallo ocra al rosso vinaccia e per l'alternanza di potenti orizzonti argillosi intercalati a netti orizzonti conglomeratici, spesso canalizzati (Pascucci et al., 2004);

La frazione clastica evidenzia una deposizione monotonicamente alimentata dallo smantellamento del basamento metamorfico a sud ovest dell'area .

Il rilevamento geologico esperito ha evidenziato la presenza di tessiture che dal punto di vista idrogeologico (orizzonti conglomeratici canalizzati) potrebbero ospitare falde sospese di modesta portata ma non si è mai notato evidenze di saturazioni o trasudamenti dalle ispezioni effettuate dai primi anni duemila ad oggi: inoltre prove di infiltrazione appositamente eseguite nel settembre 2016 e precedentemente citate in relazione, hanno dato valori di permeabilità medio bassa – bassa anche per i conglomerati grano sostenuti.

Le cave di Scala Erre, e le discariche risulterebbero impostate su una pianalto, la cui superficie, situata tra 60 e 50 metri s.l.m. mostra lo spessore massimo esposto della successione come visibile nella cava immediatamente ad Ovest di Ecotorres (circa 25 -30 m di potenza visibile)

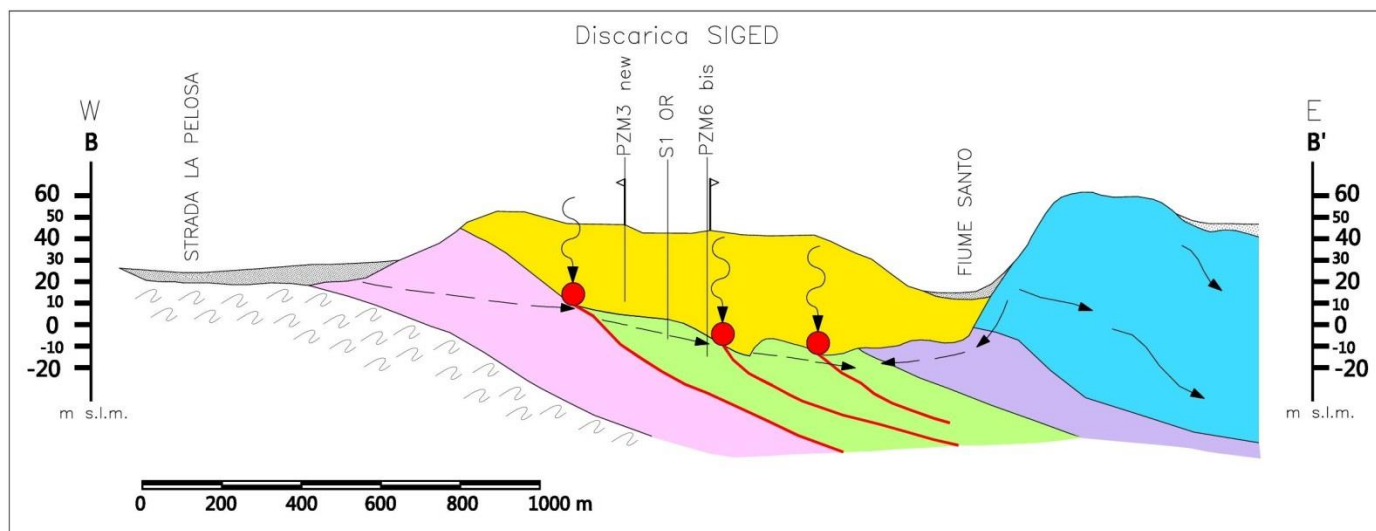
La potenza media complessiva è prevista intorno ai 40 metri, ma dalla ricostruzione del letto di tale complesso si potrebbero superare localmente gli 80 m.

Gli spessori del complesso del Messiniano tendendo a diminuire in direzione degli affioramenti carbonatici ed arenacei permo-triassici che la delimitano a NW SE: spessori maggiori, verosimilmente si riscontrano nella parte centrale

La valle asimmetrica corrispondente all'incisione del Rio Santa Ausanna (Rio D'Astimini) con il versante sud-orientale costituito da calcari e dolomie del Giurassico - Trias ed il versante nord-occidentale costituito dalle alluvioni messiniane. rappresenta il limite sud - orientale di questo deposito alluvionale il cui spessore tenderebbe a diminuire rapidamente verso gli affioramenti carbonatici.

In base alle indagini eseguite, viceversa, lo spessore dei depositi argillosi tenderebbe aumentare verso NE, in direzione di Fiume Santo.

Oggiano (2011) segnala in un sondaggio presso la discarica comunale di RSU, finalizzato alla ricerca di argille, profondo 30 metri l'inizio di elementi del substrato roccioso alla profondità di circa 28 metri partire dai quali compaiono tratti di carota pluridecimetrici di gessi e argilliti scure. Questi probabilmente sarebbero attinenti ad un livello di brecce tettoniche o a un conglomerato a megaelementi ed olistoliti triassici. Alcune stratigrafie di sondaggi eseguiti con la stessa finalità (Sarda Laterizi), evidenziano alla base della formazione alluvionale messiniana la presenza di grossi elementi clastici non meglio definiti a profondità variabili da una trentina fino ad una quarantina di metri in cui potrebbe insediarsi un acquifero di modesta portata.



LEGENDA:

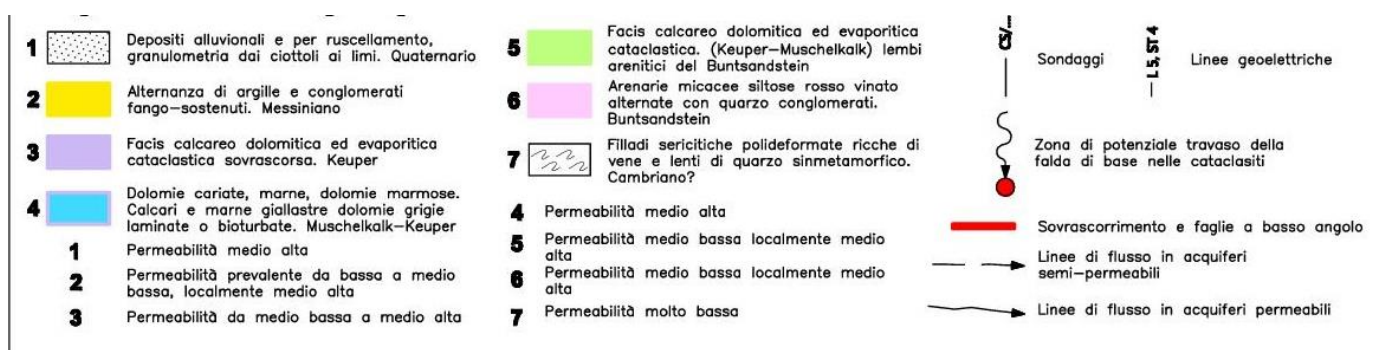


Fig. 11) Sezione idrogeologica discarica Siged, da Studio Vasta Area (Bossich Geoengineering Srl).

GEOMETRIA DEGLI ACQUIFERI

Si distinguono tre formazioni diversificate per caratteristiche litologiche e di permeabilità.

La formazione più superficiale, su cui scorrono tutti i corsi d'acqua e i drenaggi di superficie presenta una buona permeabilità. Associata a questa formazione si presentano falde freatiche a regime stagionale. La formazione argillosa sottostante è costituita da lenti conglomeratiche e ghiaiose subordinate che costituiscono livelli discontinui sia in senso verticale che laterale di terreno più permeabile che permettono la formazione di falde pensili, spesso a regime stagionale che, laddove collegate tra loro o da aquitard, creano un acquifero multifalda ed a grande scala sede di una falda a bassa permeabilità con sufficiente continuità sotto la discarica di Scala Erre. Lo spessore di questa idrostruttura varia da circa 20m ad oltre 70m ed è sede della prima falda superficiale.

Sulla base dei dati relativi alle misure piezometriche eseguite nei pozzi e piezometri interni dell'area SIGED ed esterni, sono state redatte carte delle isofreatiche visibili nelle figure che seguono.

<u>ACQUIFERO</u>	NORD		CENTRO		SUD	
	spessore min-max	spessore medio	spessore min-max	spessore medio	spessore min-max	spessore medio
MESSINIANO	0-80 m	33 m	0-65 m	20 m	0->80 m	38 m
CARBONATICO GIURASSICO	spessore da 0 a 100 m					
	spessore medio:65 m					
EVAPORITICO CARBONATICO TRIASSICO	spessore da 15 a oltre 100 m					
	spessore medio:60m					

CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ DELLE FORMAZIONI IDROGEOLOGICHE DI SCALA ERRE- CAZZALARGA

Le successioni carbonatiche Mesozoiche considerando anche il loro spessore, rappresentano il principale acquifero della regione della Nurra.

L'Unità carbonatica mesozoica presenta una permeabilità media, di tipo secondario, per fatturazione e carsismo, ed ospita un acquifero di notevole interesse che alimenta numerosi pozzi ad uso irriguo, industriale e potabile (Comune di Porto Torres).

TABELLA DELLE POTENZE E SPESSORI PER I SEGUENTI ACQUIFERI, NEI TRE DIVERSI SETTORI E SCHEMA PROPRIETÀ IDRAULICHE DEGLI ACQUIFERI LOCALI

<u>ACQUIFERO LOCALE</u>	Permeabilità K (cm/s)	K media (cm/s)	Porosità efficace media (%)
MESSINIANO	$2 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$	3×10^{-5}	4
CARBONATICO GIURASSICO	$3 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	7×10^{-3}	12
EVAPORITICO CARBONATICO TRIASSICO	$7 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-3}$	1×10^{-4}	8

Le permeabilità locali del presente studio si accordano mediamente con quelle di Ghiglieri effettuate su scala territoriale più ampia.

I coefficienti di permeabilità (K) attribuiti (Ghiglieri et al., 2009) alle sequenze dell'unità idrogeologica Mesozoica sono i seguenti:

- sequenze carbonatiche, dolomitiche e evaporitiche Triassiche: calcari, dolomie e gessi con intercalazioni argillitiche ($K = 10^{-6}$ m/s);
- sequenze carbonatiche Giurassiche: calcari e dolomie con intercalazioni marnose ($K = 10^{-4}$ m/s); la sequenza Giurassica è caratterizzata da permeabilità e trasmissività elevate per la presenza di fratture e condotti carsici;
- sequenze carbonatiche Cretaciche: calcari bioclastici ($K = 10^{-5}$ m/s).

RIASSUNTO DELLE CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE PER OMOGENEITA' LITO-TESSITURALI PER L'AREA SIGED

In questo paragrafo si sintetizzano le caratteristiche di permeabilità ricavate da prove in sito e laboratorio associate a terreni e rocce ricavate dalle indagini effettuate dalla Bossich Geoengineering srl nel 2007 per l'autorizzazione della discarica SIGED I° e II° lotto, come visibili nella sezione idrologica in Tav 06

Dolomie calcaree carsificate

Ksito = da $5 \cdot 10^{-5}$ cm/s a $1 \cdot 10^{-3}$ cm/s

Limo sabbioso non addensato

Ksito = da $2 \cdot 10^{-3}$ a $4 \cdot 10^{-4}$ cm/s con valore medio = $2.3 \cdot 10^{-4}$ cm/s

Ghiaie limoso argillose sabbiose a tessitura conglomeratica (conglomerati fango sostenuti)

Ksito = da $7 \cdot 10^{-4}$ a $7 \cdot 10^{-5}$ cm/s con valore medio = $6 \cdot 10^{-5}$ cm/s

Klab= $3.6 \cdot 10^{-8}$ cm/s (matrice argillosa)

Ghiaie e ciottoli e argilla e/o limo in assetto caotico (conglomerati fango sostenuti)

Ksito = $1.4 \cdot 10^{-6}$ cm/s

Argille e limi sabbiosi debolmente ghiaiosi estrattivi

K_{sito} = da $1.3 \cdot 10^{-6}$ a $7.7 \cdot 10^{-7}$ cm/s con valore medio = $4 \cdot 10^{-7}$ cm/s

Argille limose estrattive

K_{sito} = $7 \cdot 10^{-5}$ cm/s

K_{lab} = $7 \cdot 10^{-7}$ cm/s

K_s = coefficiente di permeabilità in sito (cm/s)

K_{lab} = coefficiente di permeabilità in laboratorio (cm/s)

ASSETTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO DEL TERZO LOTTO DELLA DISCARICA SIGED E DETERMINAZIONE DEL MASSIMO INNALZAMENTO DELLA FALDA

Come già evidenziato nello studio idrogeologico per il secondo lotto dell'omonima discarica venne riportata una eclatante differenziazione tra la presenza di due falde idriche separate.

La prima falda più superficiale in realtà si presenta come una multifalda segregata nei livelli semipermeabili delle coltri a supporto granulare legata ai depositi braided del reticolo idrico pleistocenico (e presumibilmente messiniano).

La seconda falda a maggior profondità risulterebbe allocata nei depositi evaporitici triassici e nei calcari fratturati mesozoici e nel complesso caotico al contatto di faglie a bassissima vergenza trascorrenti come evidenziato nello schizzo geologico di Fig 11.

Tale assetto è ben visibile nella tav 3 (2007) e tav 4 (marzo 2014) in cui la differenza di quota tra le due falde è di 15 m circa, ed in cui si evidenzia una pronunciata rotazione della falda profonda verso est rispetto le linee di flusso della falda superficiale marcatamente orientate verso nord. Nell'ultima ricostruzione piezometrica del febbraio 2019 (tav 5) il trend delle due falde è immutato con maggior differenza di quota tra le due tavole d'acqua.

In Tav 06 sono state registrate le massime escursioni positive della falda superficiale tracciate nelle sezioni idrogeotecniche redatta sulla base delle indagini geognostiche esperite, da cui si evince un franco falda non inferiore a 5 m tra piano di posa argilla e massima escursione positiva della falda superficiale a comportamento freatico.

La minima soggiacenza della falda superficiale è stata ricercata mediante un metodo numerico che prevede di correlare le piezometrie tra i massimi avuti nelle serie temporali a disposizione per ogni punto di controllo idrico: tale ricostruzione piezometrica non rappresenta un modello "naturale" della falda ma un modello forzato e cautelativamente utile a definire una superficie di massimi piezometrici.

Una successiva elaborazione consiste nella rotazione dell'assetto freaticometrico così ottenuto con quello del trend "naturale".

OSCILLAZIONI FALDA PROFONDA E SUPERFICIALE

Considerando le oscillazioni decennali del livello della falda superficiale e profonda, misurate tramite piezometri di monitoraggio, è immediato il richiamo al paragrafo climatologico sovrastante. Sia la falda superficiale sia la falda profonda presentano un trend fortemente positivo per quanto riguarda l'anno 2010 e i primi mesi del 2011, a causa dei numerosi eventi piovosi che hanno caratterizzato la zona interessata dalla discarica Siged. A partire dai picchi positivi misurati nell'anno 2010-2011, si nota una netta diminuzione del livello delle falde prevalentemente nel PZM1, piezometro attivo già dal 2005 (con oscillazione massima positiva alla quota di 15m slm), PZM2, anch'esso annoverato tra i più antichi in quanto attivo dal 2005, PZM4, PZM5 (massima quota raggiunta di falda profonda 25,5m slm). L'andamento negativo (abbassamento) del livello delle falde del 2017 mostra una correlazione con gli eventi siccitosi che hanno caratterizzato tutto il suddetto anno: tutti i piezometri presentano valori minimi dei livelli di entrambe le falde, come ad es. il livello minimo di 3,75m slm raggiunto nel PZM6 BIS, il livello di 4,36m slm del PZM4 e la quota di 18,4 m slm raggiunta dal PZM2, piezometro di falda superficiale.

La misura del livello di falda superficiale nel PZM3 NEW mostra un trend omogeneo, con quote freaticometriche comprese tra 20,20m e 22m slm tra il 2014 ed oggi.

Le oscillazioni stagionali delle due falde sono pressochè concordi presentando minimi ad agosto-settembre-ottobre e i massimi da marzo a maggio.

L'andamento delle oscillazioni della falda profonda legate alla pluviometria potrebbe essere congruente con i limiti idrogeologici e le zone di alimentazione carbonatiche ad alta permeabilità secondaria evidenziate nella Fig 11.

RISCHIO IDRAULICO, IDROGEOLOGICO E DA FENOMENI METEOROLOGICI AVVERSI

Il piano regionale di protezione civile per il rischio idraulico, idrogeologico e da fenomeni meteorologici avversi approvato con deliberazione della giunta regionale sarda n. 1/9 del 8 gennaio 2019 individua all'art 64 del D. Lgs. 152/2006 IL "Distretto Idrografico della Sardegna, con superficie di circa 24.090 Km²". Il cui contesto territoriale regionale è stato suddiviso in 13 bacini principali e 12 bacini minori.

I bacini dei principali corsi d'acqua della regione, sono stati individuati ai sensi della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27.02.2004 e pertanto, in essi, la prevedibilità dei fenomeni alluvionali è generalmente possibile anche attraverso l'utilizzo di modelli idrologici-idraulici-idrogeologici.

Per quanto riguarda l'area di Scala Erre è compresa nel bacino del Rio Mannu di Porto Torres. Il bacino del Fiume Mannu di Porto Torres, che si estende per 674,70 Km², pari a circa il 2,8 % dell'intera superficie regionale, è costituito da una porzione di territorio che interessa, complessivamente, 18 comuni:

Banari, Bessude, Cargeghe, Codrongianos, Florinas, Ittiri, Muros, Osilo, Ossi, Ploaghe, Porto Torres, Sassari, Sennori, Siligo, Thiesi, Tissi, Uri, Usini.

Il suo reticolo idrografico è caratterizzato da alcuni corsi d'acqua secondari i cui bacini sottendono una superficie pari o superiore ai 100 Km² e al suo interno ricadono le due opere di sbarramento di Bunnari, oltre che quelle di Bidighinzu e di Rio Minore di Ittiri sugli omonimi fiumi. Il piano regionale di protezione civile per il rischio idraulico, idrogeologico e da fenomeni meteorologici avversi approvato con deliberazione della giunta regionale n. 1/9 del 8 gennaio 2019 individua inoltre gli scenari di rischio.

Gli scenari di evento maggiormente rilevanti ipotizzabili nel territorio regionale sono riconducibili a:

- Rischio idraulico, idrogeologico e/o idrogeologico per temporali;
- Rischio neve e/o ghiaccio;
- Pericolo alte o basse temperature;
- Pericolo vento e mareggiate;
- Pericolo piogge e temporali.

Il sito in esame non è sottoposto ad alcuno dei succitati scenari di rischio, come anche evidenziato dalla consultazione del PAI e del PRGA e direttiva alluvioni.

VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'AREA DI DISCARICA

Ai fini di una verifica di compatibilità con l'assetto idraulico del territorio in cui è insediata la discarica e per una migliore conoscenza dei parametri idrologici ed idraulici che governano le acque superficiali si è fatto riferimento al Piano Urbanistico Comunale PUC del Comune di Sassari ed in particolare all'ALL. I - Studio di compatibilità idraulica Relazione generale (2012), integrato da osservazioni originali caratterizzanti lo studio idrogeologico in essere.

GENERALITA' SUL RIO FIUME SANTO

Il rio Fiume Santo scorre da sud verso nord nella porzione nord-occidentale del territorio sassarese e in misura marginale nel Comune di Porto Torres, per quanto riguarda la sponda destra. Gli elementi della cartografia Regionale ufficiale in scala 1:10.000 entro cui ricade il tracciato sono le tavolette 440160, 458030, 458040, 458070

Nella figure a seguire sono riportate le immagini del modello digitale con i sottobacini del Rio Fiume Santo rispettivamente con le quote e le pendenze: i bacini imbriferi sono stati ottenuti considerando come sezione di chiusura il corrispondente sbocco a mare.

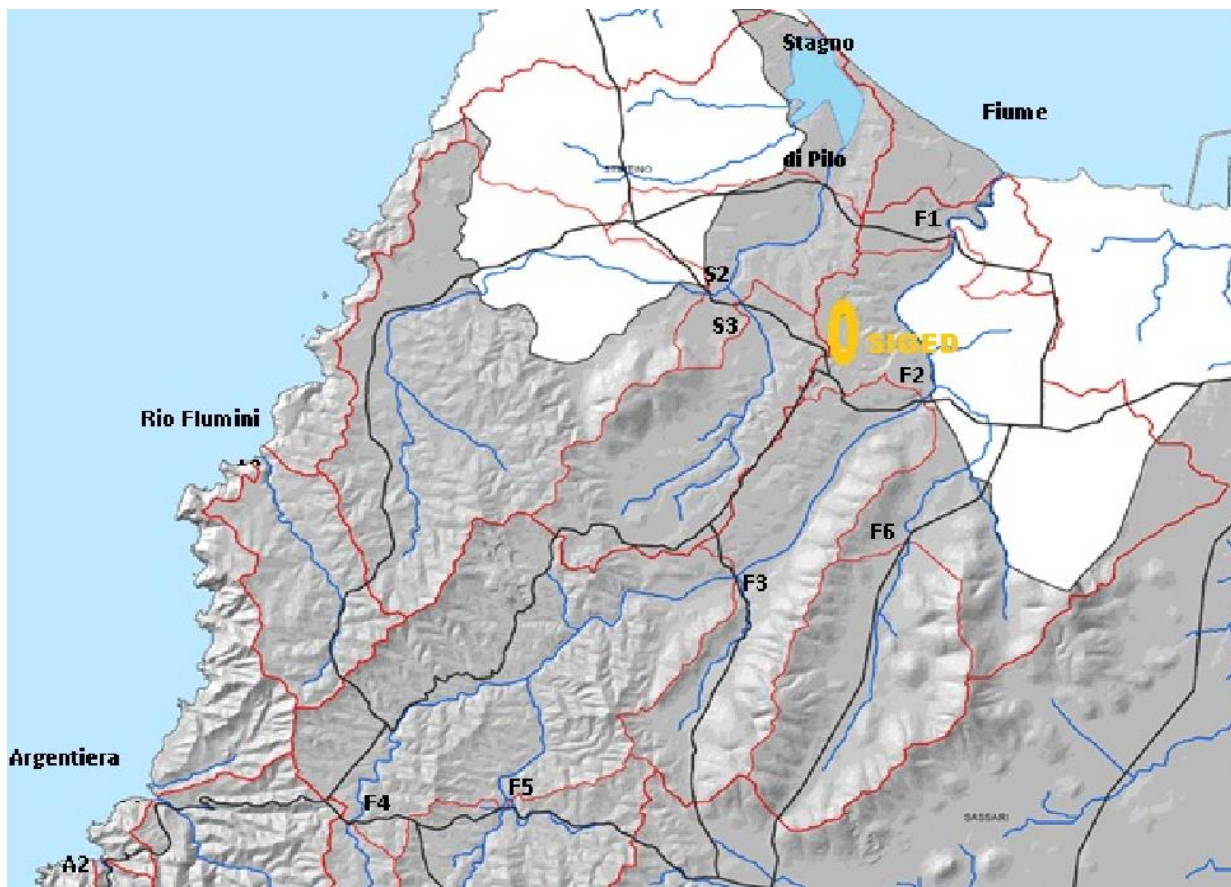


Fig. 12) Modello digitale con i sottobacini del Rio Fiume Santo

Per ciascun bacino imbrifero nel PUC è stata condotta la compatibilità idraulica.

All'interno di queste aree si individuano gli avvallamenti sede di concentrazione del deflusso idrico e i dislivelli che costituiscono le linee spartiacque di confine tra i bacini imbriferi. Il reticolo idrografico ottenuto considerando un'area minima contribuente al deflusso pari a 1 km², insieme alle linee spartiacque, è rappresentato nella sovrastante figura.

Si evidenzia pertanto che il sottobacino di Fiume Santo in cui è inserita la discarica è contraddistinto dalla sezione di chiusura F1, nella porzione presocchè finale del rio stesso.

Lo studio condotto ha evidenziato la presenza di un alveo attivo per il deflusso delle portate di magra molto limitato, mentre l'alveo a piene rive per il deflusso delle portate di piena si presenta, almeno lungo tutto il tratto terminale di valle del Fiume Santo, sufficientemente largo e ben delimitato da ripidi versanti.

In base ai sopralluoghi effettuati durante le fasi di studio per la discarica Siged ed Ecotorres si è potuto ripetutamente verificare che l'alveo è in secca nel sottobacino F1 nei periodi tardo estivi e autunnali.

Il tracciato del Fiume Santo nella tratta del sottobacino F1 si è modificato nel tempo grazie anche all'attività agricola della zona ma soprattutto poiché il corso d'acqua è inciso al passaggio tra le pendici distali dei rilievi argillosi cronologicamente assimilabili ai depositi deltizi messiniani ed i depositi colluviali di versante con il substrato mesozoico subaffiorante costituente quest'ultimo l'ossatura del Monte Elva ed Elveddu.

Nel sottobacino in questione la geometria dell'alveo si presenta a sezione trapezia con talweg di larghezza tra due o tre metri e dislivello spondale di un paio di metri spesso delineato con vegetazione riparia arbustiva in quanto il decorso coincide per lo più con i confini tra appezzamenti coltivati.

Gli attraversamenti del rio pertanto sono dimensionalmente modesti (ponticelli di alcuni metri) o demandati alla manutenzione dei proprietari confinanti con installazione di tubi in cls vibrato di luce interna 2000 mm (zona Monte Elveddu).

L'armatura di fondo alveo è prevalentemente sabbiosa e ciottolosa con rari blocchi: non sono state rilevate evidenze di debris flow od erosioni spondali anche di limitata entità, con assenza di barre od ostruzioni sia naturali sia artificiali.

ELEMENTI MORFOMETRICI DEL BACINO DI RIO FIUME SANTO RICAVATI DALLA LETTURA DIGITALIZZATA DEL TERRITORIO

Si riportano alcuni estratti dal PUC di Porto Torres utili all'inquadramento morfometrico del territorio studiato sulla base delle tavole digitalizzate a disposizione.

- Tavola altimetrica delle quote assolute sul livello del mare
- Tavola delle pendenze (%)
- Tavola dell'uso del suolo



Fig. 13) Estratto fasce altimetriche

Carta dell'altimetria dell'area oggetto dello studio, con in evidenza il reticolo idrografico (in blu), il tracciato stradale (in grigio), le aree edificate (in arancio) e la linea spartiacque (in rosso) dei bacini imbriferi del Fiume Santo, dello Stagno di Pilo, del Rio Flumini.

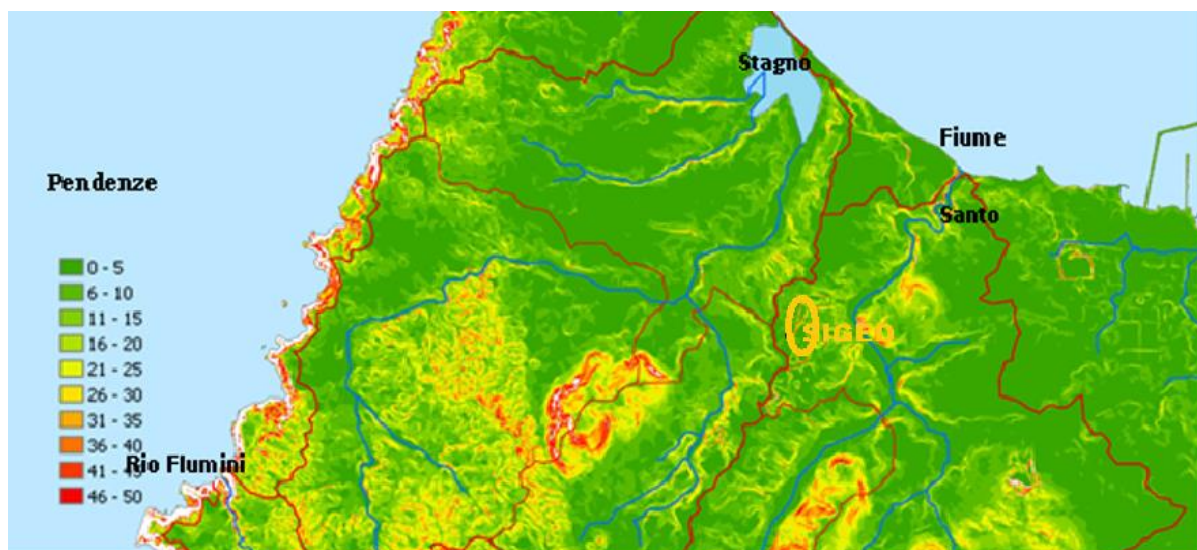


Fig. 14) Estratto fasce clinometriche

Carta delle pendenze dell'area oggetto dello studio, con in evidenza il reticolo idrografico (in blu), il tracciato stradale (in grigio), le aree edificate (in arancio) e la linea spartiacque (in rosso) dei bacini imbriferi del Fiume Santo, dello Stagno di Pilo, del Rio Flumini.

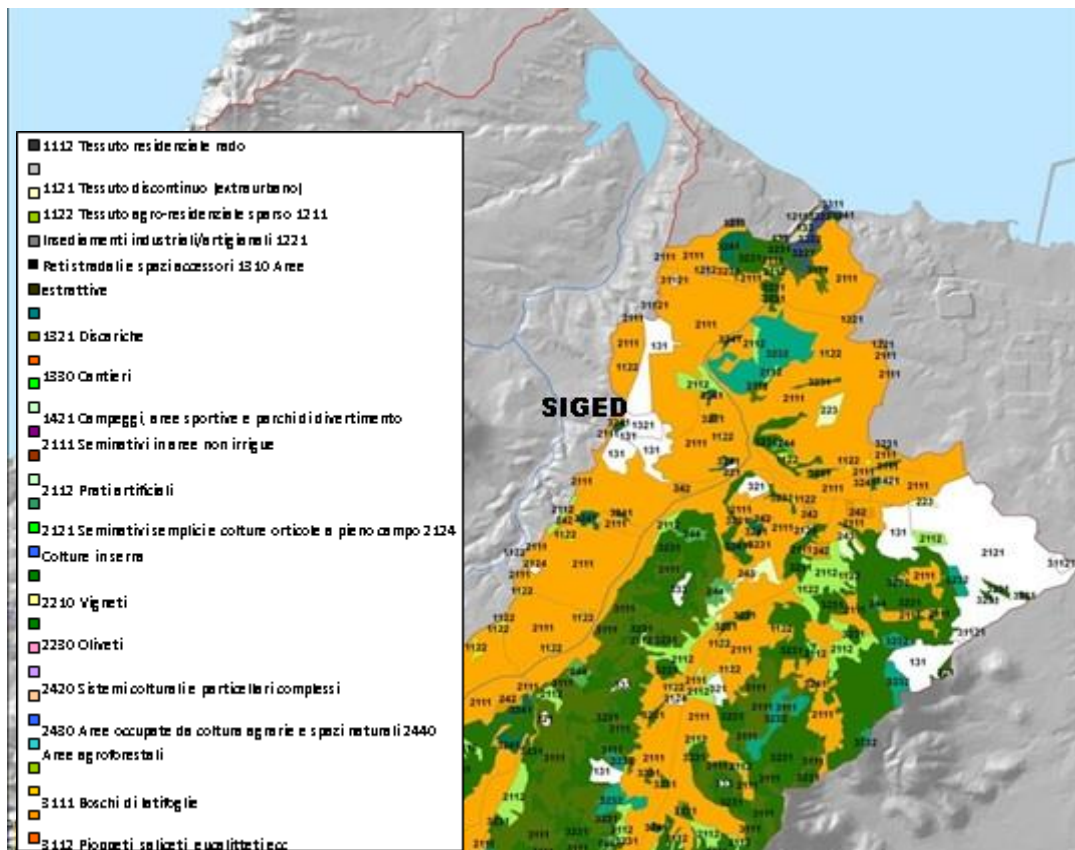


Fig. 15) Estratto carta dell'uso del suolo

Superfici delle diverse classi di uso del suolo secondo la classificazione CORINE presenti all'interno del bacino imbrifero del Fiume Santo

Superfici delle diverse classi di uso del suolo secondo la classificazione CORINE presenti all'interno del bacino imbrifero del Fiume Santo

La vegetazione presente nel bacino del Fiume Santo è il risultato dei forti disboscamenti realizzati in un ambiente naturale per fare spazio a colture agrarie, che risultano ora in parte abbandonate. Si può osservare, come riportato nella Tabella dedicata, che la classe d'uso del suolo prevalente sia quella dei seminativi in aree non irrigue, che occupa il 50% dell'intero bacino. Un terzo del bacino è occupato da territori boscati, costituiti per circa la metà da boschi di latifoglie e metà da macchia mediterranea, situati nella parte più orientale a quota più alta. Complessivamente le superfici agricole occupano 49.21 km² (59.1% del bacino), le superfici boscate 30.65 km² (36.8%), le superfici artificiali 3.19 km² (3.8%). Le zone urbanizzate sono presenti sotto forma di insediamenti industriali presso la foce del fiume (centrale termoelettrica) e subordinatamente presso le aree estrattive.

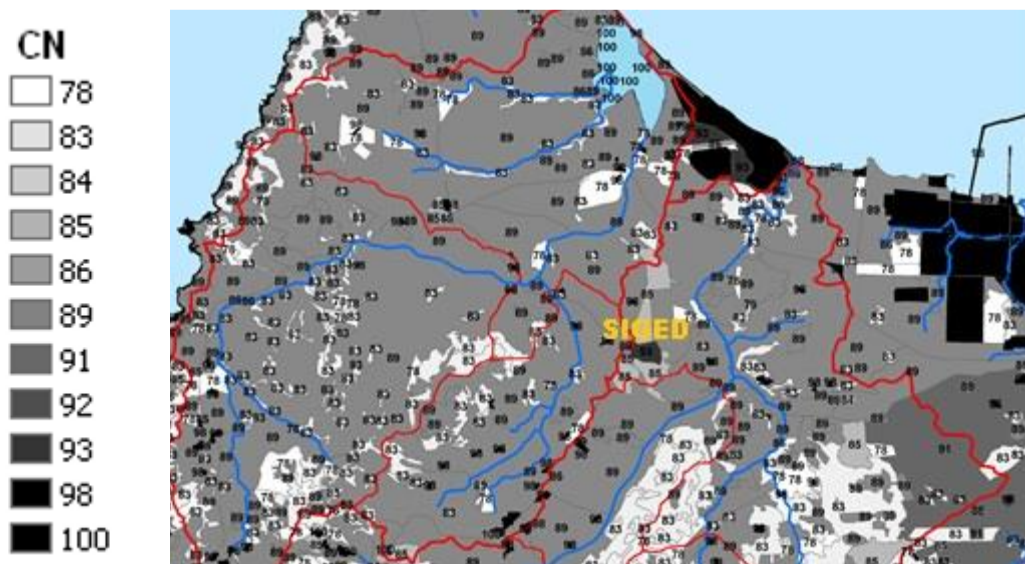
MORFOMETRIA BACINO FIUME SANTO

Sezione di chiusura	F1
Area bacino imbrifero	80,136
Quota sezione di chiusura s.l.m. (m)	7,94
Quota media del bacino s.l.m. (m)	116,8
Pendenza media dei versanti %	0,159
Lunghezza asta principale (km)	22,475
Pendenza media asta principale %	0,015

Come accennato in precedenza, ai fini della valutazione dell'indice CN, sono riportate le mappe dell'uso del suolo del bacino imbrifero del Fiume Santo e le distribuzioni delle superfici delle diverse classi di uso del suolo, individuate secondo la classificazione CORINE.

CALCOLI IDROLOGICI

I valori del parametro CN associati alle corrispondenti superfici con diverso uso del suolo sono riportati di seguito in apposita figura e tabella dedicata per il bacino imbrifero del Fiume Santo.



Mappa dei valori del CN scelti sulla base delle classi di uso del suolo per i bacini idrografici del Fiume Santo, dello Stagno di Pilo, del Rio Flumini,.

Fig. 16) CN pretabulato da CORINE

Il valore medio riportato, ponderato in funzione delle aree, è stato poi incrementato in funzione della pioggia dei 5 giorni antecedenti che è stata considerata, per maggiore sicurezza, superiore a 50 mm. Si è così ottenuto il nuovo valore di CN(III), dalla seguente formula:

$$CN(III) = (23 \cdot CN) / (10 + 0.13 \cdot CN).$$

Considerati i valori morfologici del bacino in esame e dei suoi sottobacini e i rispettivi valori di CN(III) così ottenuti, risultano i seguenti valori dei tempi di corrivazione riportati in Tabella. Poiché le quattro formule presentano dei risultati abbastanza differenziati dei tempi di corrivazione, nello studio di compatibilità idraulica del PUC, al fine di garantire una maggiore sicurezza attraverso il calcolo di portate più intense, si è considerato il valore più basso del tempo di corrivazione, che è risultato essere per ciascun bacino quello fornito dalla formula SCS. Si riportano i Tempi di corrivazione e CN calcolati per il bacino del Fiume Santo e per il sottobacino F1 di competenza SIGED.

Sezione	Fiume Santo	F1
Area bacino (km ²)	83.2	80.136
Quota min (m)	0	7.94
Quota media (m)	113.5	116.8
Pendenza versanti %	0.1519	0.159
Lunghezza asta (m)	23816	22475
Pendenza asta %	0.015	0.015
CN	94	94
t_c SCS (ore)	4.36	4.07
t _c (ore)	8.47	8.33
GIANDOTTI		
t _c PASINI (ore)	11.08	10.73
t _c VAPI (ore)	7.78	7.62
t_c medio (ore)	7.92	7.69

Nella Tabella sottostante sono riportati i valori di pioggia lorda, pioggia netta, coefficiente di deflusso e portata di picco ottenuti per i 4 tempi di ritorno complessivamente per il bacino del

Fiume Santo (alla sezione FS) e singolarmente per il suo sottobacino in cui è ubicata SIGED (sezione F1), per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

S EZ	Bacino Fiume Santo	T=50 anni	T=100 anni T=500 anni	T=200 anni	
FS	hlorda (mm)	73,697	84,072	94,409	108,016
	hnetta (mm)	57,275	67,325	77,401	90,733
	coefficiente di □	0,777	0,801	0,820	0,840
	deflusso Qpicco (m³/s)	303,665	356,951	410,374	481,056
F1	Hlorda (mm)	72,167	82,334	92,465	105,803
	hnetta (mm)	55,800	65,637	75,503	88,561
	coefficiente di □	0,773	0,797	0,817	0,837
	deflusso Qpicco (m³/s)	305,368	359,201	413,194	484,658

ANALISI IDRAULICA PER IL RISCHIO ESONDAZIONE

L'analisi idraulica per il calcolo delle aree di esondazione del Fiume Santo è stata svolta considerando la corrente di moto permanente, prodotta dalle portate di piena ottenute alla sezione di sbocco a mare, nel tratto terminale del fiume lungo circa 2 km, e dalle portate ottenute per gli altri sottobacini rappresentati.

Tali sottobacini sono stati definiti, con una superficie di almeno 1 km², in corrispondenza di tutte le intersezioni del tracciato stradale con il reticolo idrografico, come mostrato nella figura a seguire, al fine di determinare con precisione la modalità di attraversamento dell'infrastruttura stradale da parte della corrente idrica. I valori delle portate di piena nel bacino complessivo e nei sottobacini considerati nell'analisi sono quelli determinati in precedenza.

All'interno del bacino del Fiume Santo e del comune di Sassari, come rappresentato nella figura sono state quindi individuate le intersezioni del tracciato stradale con il reticolo idrografico di cui con sigla F1 (strada prov. 57), interessante il sottobacino in cui è compresa SIGED.

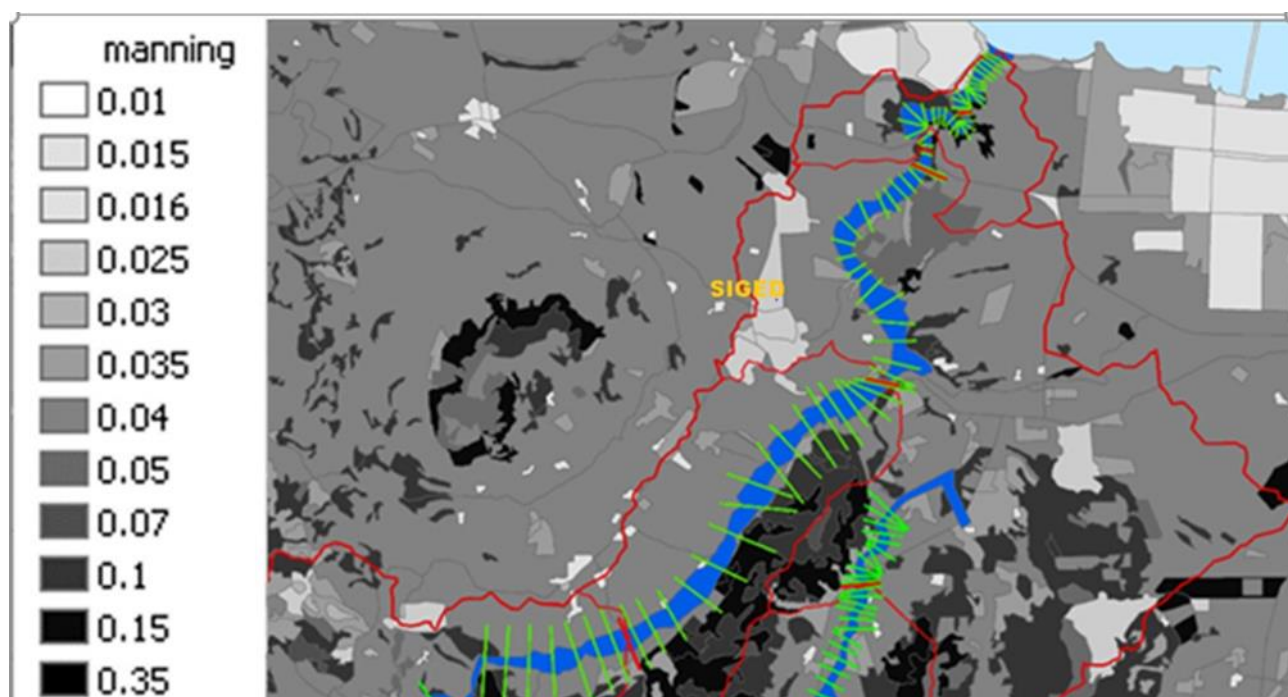
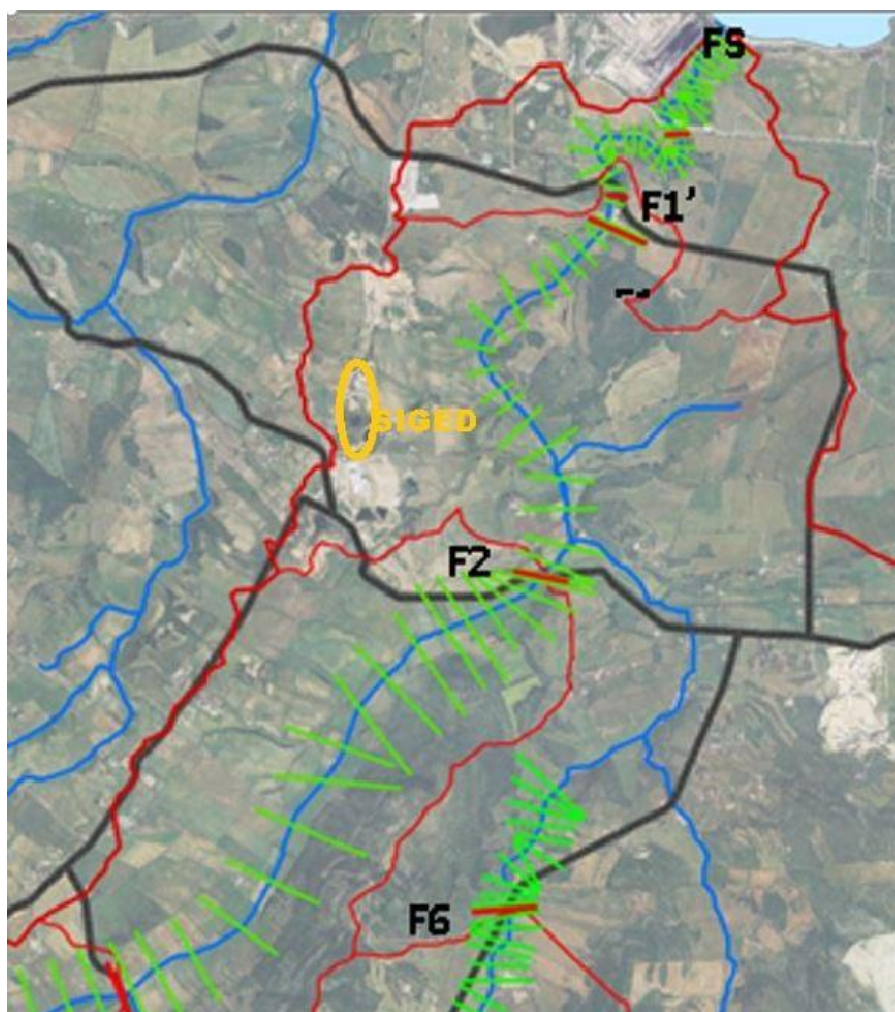


Fig. 17) Sezioni trasversali del Fiume Santo soggette ad analisi idraulica con Coefficienti di Manning da Corinne

Tratti del reticolo idrografico del bacino del Fiume Santo soggetti ad analisi idraulica, con le sezioni trasversali (in verde), il tracciato stradale (in grigio) e gli attraversamenti stradali tra cui anche F1 e i relativi sottobacini (in rosso) considerati nella procedura di calcolo: sono altresì rappresentate le tracce planimetriche delle sezioni trasversali della corrente (in verde) e degli attraversamenti stradali F1-F6 (segmenti in rosso) considerati nella procedura di calcolo per la definizione delle aree di esondazione.

La procedura di calcolo richiede, per ciascuna sezione trasversale della corrente, la definizione dei valori dell'indice di scabrezza n di Manning (estratti dalla carta di uso del suolo e da sopralluoghi sul terreno) e, inoltre, la definizione delle condizioni al contorno di monte e di valle. Queste sono state imposte, per quanto riguarda il contorno di monte, considerando una condizione di moto uniforme con il profilo della corrente parallelo al terreno. Sul contorno di valle, in corrispondenza dello sbocco a mare, si è adottata la condizione sui livelli idrici, uguagliando le quote ai massimi valori di marea della zona corrispondenti al valore di picco di +1 m s.l.m., che si verifica durante l'inversione del ciclo di marea. Il valore del picco di marea di 1 m è stato valutato come somma tra la semi ampiezza della massima oscillazione di marea gravitazionale a questa latitudine e longitudine (circa 25 cm), la risalita del livello idrico per effetto di una bassa pressione atmosferica di 978 mbar (35 cm) e l'effetto delle sesse di marea originate dal vento (40 cm).

CONCLUSIONI ALLA VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Utilizzando riferimento quanto redatto nel Piano Urbanistico Comunale PUC del Comune di Sassari ed in particolare all'ALL. I - Studio di compatibilità idraulica Relazione generale integrato da osservazioni originali caratterizzanti lo studio idrogeologico in essere si conclude che la compatibilità idraulica riferita alla discarica SIGED in ampliamento è positivamente verificata in quanto, come si evidenzia nella sostante figura le distanze da eventuali limiti di esondazione sono prossime ad un migliaio di metri con differenza di quota di almeno 25 m metri dal fondo discarica e quasi una quarantina di metri dai rilevati arginali della discarica in ampliamento

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI INTERESSATI DAL PROGETTO DEL TERZO LOTTO SIGED DI SCALA ERRE

Di seguito si riassumono le prove di caratterizzazione dei terreni coinvolti dal progetto del nuovo lotto SIGED di Scala Erre, per quanto concerne le prove di laboratorio ed i test di campo

geotecnici ed idraulici.

LIMITI DI ATTERBERG

Sui campioni sotto descritti prelevati dagli scavi di ispezione (PIT X2, X3, X5) è stata effettuata la determinazione del limite liquido e plastico, su passante al setaccio n° 40 della serie ASTM (secondo le procedure standard CNR-UNI 10014: 1964). I risultati ottenuti sono di seguito tabulati:

CAMPIONE	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DI PLASTICITÀ (%)
X2	36,50	19,04	17,46
X3	36,50	21,38	15,12
X5	42,00	22,72	19,28

Dai risultati ottenuti, come si osserva nei certificati allegati a questo elaborato, emerge che le argille in esame hanno un grado di plasticità medio.

ANALISI GRANULOMETRICHE

Sui campioni prelevati dalle cassette catalogatrici di sondaggi a carotaggio continuo eseguiti (ECOTER 1, S1 TER) e da scavi di superficie (W4, W5, S8_43.5, S8_45.6, X1, X2, X3, X4) è stata effettuata presso il laboratorio della scrivente società, l'analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione secondo la normativa ASTM D422-63 (02). A fine relazione è allegato il certificato, mentre nella tabella seguente è sintetizzata la classificazione AGI (1977-1994 – CP 2001 (1957) e UNI (10006 -2002) del campione.

Campione	Classificazione AGI (1977)	Classificazione UNI (2002)
ECOTER 1	ARGILLA CON LIMO DEBOLMENTE SABBIOSA	ARGILLA CON LIMO DEBOLMENTE SABBIOSA
S1 TER	ARGILLA CON LIMO DEBOLMENTE SABBIOSA	ARGILLA CON LIMO DEBOLMENTE SABBIOSA
W4	SABBIA E GHIAIA E/O	SABBIA E GHIAIA E/O

	DEBOMENTE LIMO ARGILLOSA	DEBOMENTE LIMO ARGILLOSA
W5	SABBIA LIMOSA ARGILLOSA	SABBIA LIMOSA ARGILLOSA
S8_43.5	LIMO GHIAIOSO SABBIOSO CON ARGILLA	ARGILLA LIMOSA GHIAIOSA E SABBIOSA
S8_45.6	ARGILLA CON LIMO	ARGILLA LIMOSA
X1	GHIAIA CON SABBIA E/O DEBOMENTE	GHIAIA CON SABBIA E/O DEBOMENTE
X2	GHIAIA ARGILLOSA LIMOSA CON SABBIA	GHIAIA ARGILLOSA LIMOSA CON SABBIA
X3	GHIAIA ARGILLOSA LIMOSA CON SABBIA	GHIAIA ARGILLOSA LIMOSA CON SABBIA
X4	LIMO ARGILLOSO CON SABBIA	LIMO CON SABBIA E ARGILLA
PIT III/6	LIMO ARGILLOSO SABBIOSO	ARGILLA LIMOSA SABBIOSA

Dalla tabella sopra elencata si evince come i campioni analizzati siano costituiti prevalentemente da abbondante frazione fine legante (argilla e limo) a cui si associa in maniera subordinata quella grossolana di ghiaia /sabbia.

VANE TEST

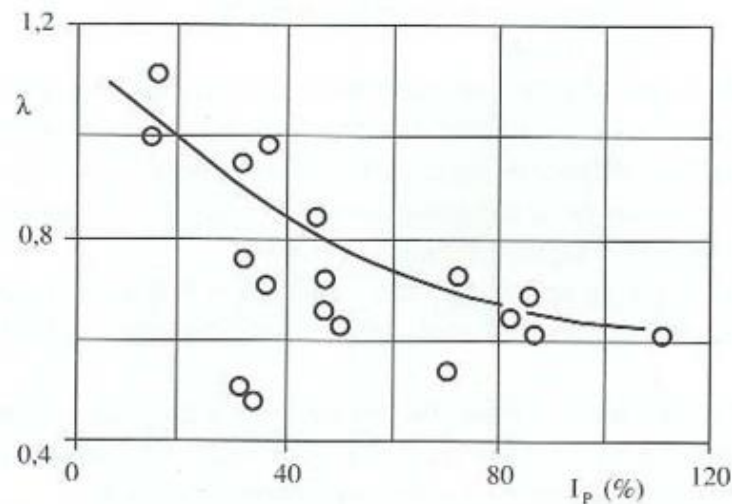
Lungo le pareti di cava, in corrispondenza del III lotto in progetto, sono state eseguite 2 prove scissometriche che hanno indagato le argille naturali, la cui ubicazione è meglio rappresentata in Tav.02. Prima di eseguire la prima prova è stato fatto uno scavo mediante pala meccanica di circa 2 m di profondità, in modo da rimuovere il terreno superficiale; la seconda prova invece è stata eseguita su argille già messe a giorno da scavi precedenti. Le suddette prove sono state effettuate secondo la normativa ASTM/D 2488, con strumento TG 30/20 con paletta vane da 38mm x 19mm, auto-infissa.

I risultati ottenuti sono di seguito tabulati, mentre in allegato alla presente relazione si riportano gli elaborati completi:

CAMPIONE	PROFONDITA' (m)	Momento Torcente (Nm)	Cu (kN/m ²)
VT_4	0.5	5.86	233.2

VT_5	0.5	10.04	399.3
------	-----	-------	-------

Per i terreni naturali si corregge la C_u con la relazione di Bjerrum in funzione di I_p (indice di plasticità)



Bjerrum (1973)

CAMPIONE	C_u (kN/m ²)	C_u corretta(kN/m ²)
VT_4	233.2	246
VT_5	399.3	423

Da cui si evince che l'argilla testata nelle condizioni di umidità di prova è da considerarsi "estremamente compatta" (> 2.4 daN/cm²)

Oltre a queste prove, sono stati indagati anche tre tipi di fanghi collocati nel II lotto in attività. I risultati ottenuti sono di seguito tabulati:

CAMPIONE	PROFONDITA' (m)	Momento Torcente (Nm)	C_u (kN/m ²)
VT_1	1	2.49	98.95
VT_2	1	2.16	86.02
VT_3	1	1.86	74.09

La coesione non drenata risultante dei fanghi testati è indicativa di terre estremamente molli, ma comunque palabili.

PORTATE DI UTILIZZO DEI POZZI NELL'AREA VASTA DI SCALA ERRE – CAZZALARGA

Dall'esame dei pozzi censiti sia visitati sia reperiti negli studi consultati, appare nettamente la differenza tra settore orientale e occidentale per l'assenza di acquiferi significativi a ovest dell'impluvio del fiume Santo, e cioè rispetto all'impluvio del corso d'acqua, con profondità superiori e portate nell'ordine delle decine di m³, tra i primi, e molto inferiori, al l/sec nel secondo caso. Nel settore occidentale della Nurra sono maggiormente presenti i pozzi superficiali che possono sfruttare localmente la falda freatica, soprattutto laddove al di sopra del pacco argilloso pleistocenico è presente il livello di conglomeratico più recente. Infatti, in alcuni casi coesistono pozzi, che a breve distanza l'uno dall'altro, sia a profondità di 30 m che di 100 metri danno la medesima portata: ciò potrebbe avvalorare che l'acqua emunta derivi da piccole falde locali intrappolate all'interno del complesso messiniano negli orizzonti conglomeratici clastosostenuti, o da depositi, sempre messiniani, molto profondi, depositi che presumibilmente possono raggiungere localmente anche i 60-80 m di profondità, od infine dalle facies del Keuper a bassa trasmissività.

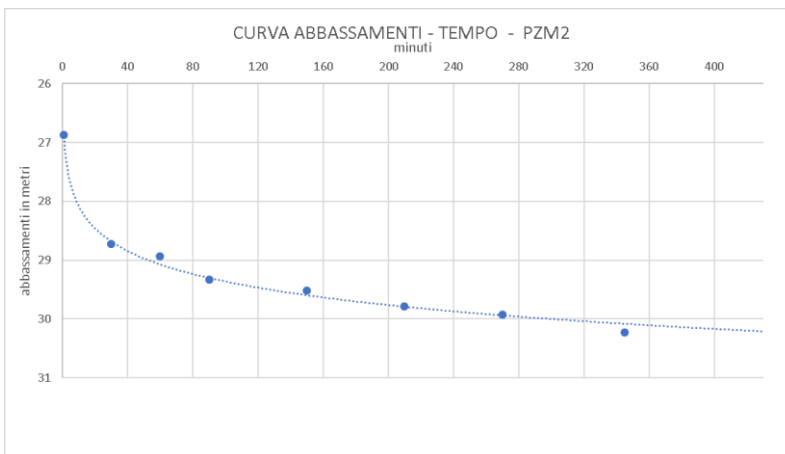
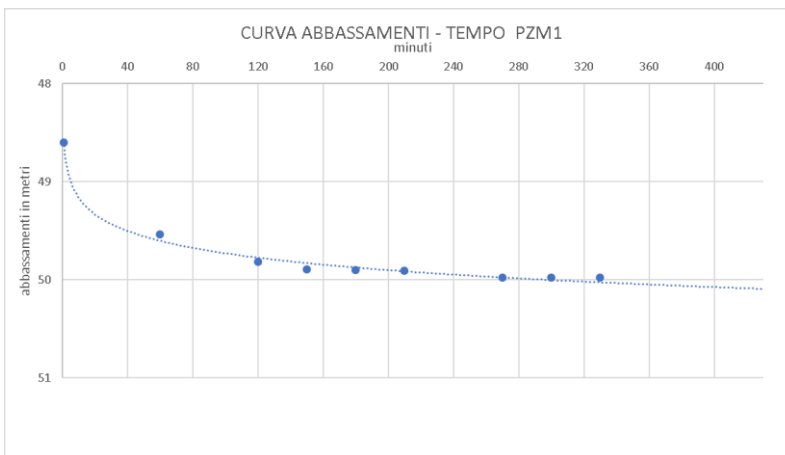
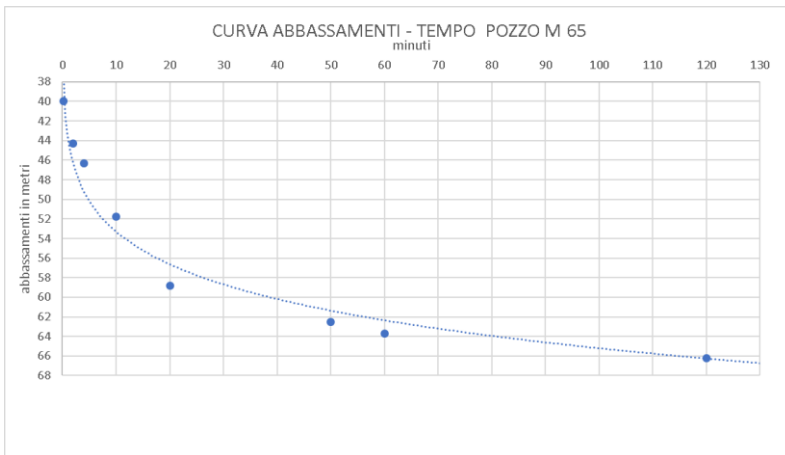
Per tutti gli altri pozzi in generale, trattasi di pozzi per uso domestico, le portate oscillano intorno a 0,5 l/s, raramente con consumi di 2- 3 mc/giorno

I pozzi più produttivi industriali e comunali, si collocano a nord est in comune di Porto Torres con portate frequentemente superiori a 30 l/s.

PARAMETRI IDROGEOLOGICI DA PROVE DI PORTATA PREGRESSE

Una valutazione accurata dei parametri caratteristici degli acquiferi è stata ottenuta tramite l'esecuzione di prove di portata su due piezometri di monitoraggio della discarica SIGED, ossia su PZM 5 e PZM 6bis, a completamento di prove di portata eseguite nel 2007.

La portata di emungimento è compresa tra 0,4 e 0,9 l/s



In particolare, è stata condotta una prova in discesa nel PZM 5, con misura dell'abbassamento della falda verificando i livelli anche in PZM 5bis, e una prova in discesa e in risalita nel PZM 6bis, cioè arrestando l'emungimento e misurando il tempo necessario al raggiungimento del livello statico.

I dati ottenuti da queste prove sono stati elaborati attraverso l'uso del software PTA1 (Pumping Test Analyser 1).

Dal test di portata eseguita nel PZM 5 si è stimata una permeabilità di circa 4×10^{-6} m/s con un raggio di influenza di circa 63 m, per la portata di prova di 0.375 l/s.

Nel PZM 6bis la permeabilità dell'acquifero risulta compresa tra 1 e 3×10^{-6} m/s, con una veloce risalita della falda a fine pompaggio.

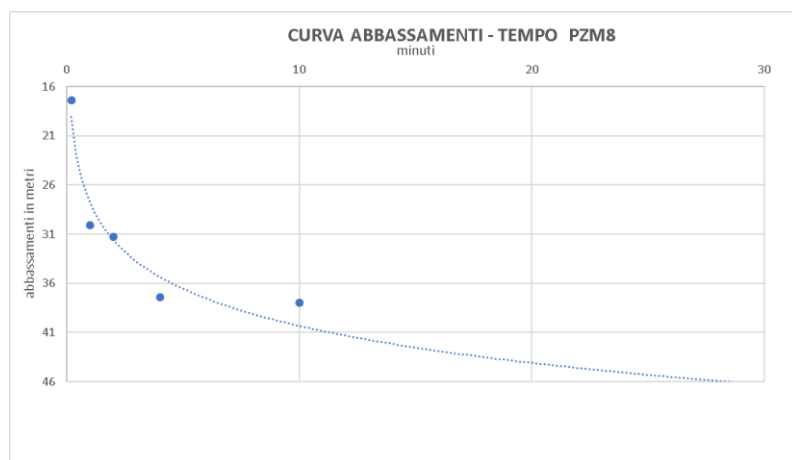
Gli acquiferi interessati dai test risultano quindi quelli triassici (e mesozoici?) coinvolti dal sovrascorrimento sul tegumento varisco, mostrando una significativa trasmissività e buona permeabilità dell'ordine di $n \cdot 10^{-4}$ cm/s.

In altri casi le prove di portata eseguite sul complesso messiniano non hanno dato risultati interpretabili.

Ad esempio, all'inizio di ottobre 2014, a seguito del completamento dei piezometri nuovi PZM7 e PZM8 terminati a fine settembre dello stesso anno, sono state effettuate tre tentativi di prova di portata con emungimento a 0,5 l/s.

Le prime prove al piezometro PZM1bis e PZM7 si sono concluse dopo 1 minuto di accensione in quanto si è prosciugato il foro dopo un abbassamento medio di 3,6 m, con tempi di ricarica in risalita di circa 0,25 m/min.

La terza prova al PZM8 ha dato lo stesso esito anche se l'esaurimento è avvenuto dopo 10 min con abbassamento complessivo di poco più di 20m di cui i 2/3 nel primo minuto: i tempi di ricarica sono stati misurati in 0,22 m/min.



Anche in questo caso si è riconfermata la portata estremamente bassa dell'acquifero più superficiale, anche se testato a seguito del periodo più siccitoso.

I grafici delle rielaborazioni delle prove si trovano in All. 5.

PROVE DI PERMEABILITÀ LEFRANC IN FORO

Durante l'esecuzione dei nuovi sondaggi PZM 1ter, PZM 7 e PZM 8 sono state eseguite prove di permeabilità Lefranc a carico variabile, a fondo foro.

Per il sondaggio PZM 1ter la tasca di prova è a 30 m dal p.c; in PZM 7 è a 20 m da p.c. e nel PZM 8 è a 48 m da p.c.

I dati ottenuti sono stati elaborati mediante programma di calcolo dedicato redatto dalla nostra Società (LEFRANC4.BAS) che ha permesso di ottenere un valore medio della permeabilità.

Di seguito si riportano in forma schematica le caratteristiche geometriche di ogni prova e le rispettive permeabilità ottenute, mentre si rimanda all'allegato a fine relazione per i tabulati completi.

Poiché le prove sono state spinte a maggior profondità di 10 m dal pc e quindi con incremento di pressione piezometrica, le permeabilità sono state correlate alla profondità standard di 10 m per miglior confronto secondo procedure interne

Sondaggio	Profondità di prova (m)	Diametro di perforazione (m)	Area di base del foro (m ²)	K medio (cm/s)	K medio* (cm/s)	Litologia interessata
PZM 1ter	30	0.101	0.008	1.7 E-5	8.5 E-5	Argilla limosa
PZM 7	20	0.127	0.013	3.3 E-5	6.8 E-5	Limi argilloso sabbiosi
PZM 8	48	0.127	0.013	1.0 E-5	5.3 E-5	Argilla ciottolosa

(*) ragguagliata a 10 m di profondità

I risultati mostrano alcune lievi variazioni della permeabilità, che, comunque, resta nell'ordine di $2 \cdot 10^{-5}$ cm/s, valori tipici di terre a prevalente supporto di matrice costituenti acquitard.

PROVE DI PERMEABILITÀ IN POZZETTO A CARICO VARIABILE

Sono state eseguite 5 prove in pozzetto a carico variabile, 3 a fondo cava in corrispondenza delle trincee esplorative e 2 sui rifiuti del I lotto; l'ubicazione di tali prove è riportata in TAV. 02.

Per effettuare tali prove sono stati appositamente scavati dei pozzetti a base rettangolare le cui dimensioni oscillano tra 1.6 m² e 1.9 m², per la base, e tra 0.6 m e 0.7 m, per l'altezza.

Le prove sono state eseguite a carico variabile, riempiendo d'acqua i vari pozzetti (di volume noto) e misurando poi gli abbassamenti idrici in funzione del tempo secondo le norme AGI 1977.

Nella tabella a seguire sono riportati i risultati ottenuti:

PROVA	PERMEABILITA' (cm/s)			
	media	σ	cv	n
TRINCEA 1	$1.20 \cdot 10^{-3}$	$3.31 \cdot 10^{-4}$	0.275	5
TRINCEA 2	$6.53 \cdot 10^{-4}$	$3.26 \cdot 10^{-4}$	0.500	5

TRINCEA 3	$5.36 \cdot 10^{-4}$	$2.09 \cdot 10^{-4}$	0.391	6
PP_4	$1.57 \cdot 10^{-3}$	$8.65 \cdot 10^{-4}$	0.550	4
PP_5	$3.11 \cdot 10^{-4}$	$4.23 \cdot 10^{-4}$	1.360	5

Dai risultati tabulati si evince che i terreni che costituiscono l'attuale fondo cava, nell'area su cui verrà realizzato il III lotto in progetto, presentano valori di permeabilità mediamente alta, dell'ordine di 10^{-4} cm/s: pertanto in fase esecutiva questi terreni dovranno essere sostituiti da terreni a minor permeabilità e più compattati come prescritto dalla normativa di riferimento vigenti.

Le due prove eseguite sulle ceneri abbancate nel I lotto mostrano valori compresi tra 10^{-3} e 10^{-4} cm/s.

Di seguito, in allegato a fine relazione si riportano i grafici degli abbassamenti dell'acqua nel tempo registrati in ogni pozzetto.

DETTAGLIO STRATIGRAFICO DEI PRIMI 5 METRI DI FONDO DISCARICA III LOTTO

All'interno dell'area del nuovo fondo discarica sono stati eseguiti, mediante escavatore meccanico, 8 trincee esplorative. Tali trincee hanno interessato il fondo della cava in corrispondenza del III lotto. In ognuno di questi scavi sono stati prelevati dei campioni significativi successivamente sottoposti a descrizione e analisi di laboratorio.

Le trincee hanno profondità comprese tra 4.00 e 5.30 m.

L'ubicazione delle trincee è visibile in Tav 02 mentre le stratigrafie dettagliate sono di seguito riportate.

- **PIT III / X1**

da 0.00 m a 0.50 m riporto detritico con esiguo spessore di suolo sommitale colore rosso aranciato con presenza di radici e ciottoli

da 0.50 m a 1.50 m argilla sabbiosa debolmente ghiaiosa di colore marrone, con presenza di ciottoli da centimetrici a decimetrici e qualche laterizio

da 1.50 m a 4.00 m argilla marrone – rossastra, con ciottoli centimentrici.

A circa 3.0 m si nota un livello di argilla umida e più sabbiosa.

- **PIT III / X2**

da 0.00 m a 1.50 m riporti di argilla con ghiaia e ciottoli, presenza di qualche laterizio

da 1.50 m a 4.20 m riporti di argilla sabbiosa debolmente ghiaiosa con qualche raro ciottolo.

Durante lo scavo si sono verificati scavarnamenti a circa 2.0 m dove l'argilla è più umida. Non si riscontrano comunque venute d'acqua libere.

- **PIT III / X3**

da 0.00 m a 0.20 m riporto di argilla secca e a tessitura prismatica fratturata in grosse zolle ocra - arancio

da 0.20 m a 0.90 m riporto di argilla ghiaiosa sabbiosa debolmente umida, di colore rossastro

da 0.90 m a 1.40 m argilla con sabbia ghiaiosa debolmente ciottolosa, grigio scuro

da 1.40 m a 4.00 m argilla debolmente ghiaiosa e sabbiosa, di colore rosso mattone, con orizzonti più ghiaiosi e sabbiosi grigio chiaro.

Durante lo scavo si sono verificati scavarnamenti provocati da notevole umidità delle argille. Sul fondo si riscontra una limitata raccolta d'acqua. A circa 0.20 m da p.c. è visibile una venuta d'acqua filtrata tra le zolle della vicina prova di permeabilità in pozzetto.

- **PIT III / X4**

da 0.00 m a 0.60 m riporto di terreno con brandelli humici di suolo con laterizi che danno il colore rosso aranciato

da 0.60 m a 4.00 m riporto di argilla ghiaiosa sabbiosa con abbondanti ciottoli e laterizi, clasti da arrotondati a spigolosi.

Depositi attraversati dallo scavo molto compatti e asciutti, colore marrone rossiccio che passa ad ocra con la profondità. A parte i primi 0.60 m, che costituiscono uno strato cromatico a sé, il materiale si presenta omogeneo, senza orizzonti o lenti a differente composizione o colore.

- **PIT III / X5**

da 0.00 m a 1.00 m riporto di argilla pedogeneizzata, di colore marrone scuro, con rari ciottoli, probabilmente dilavata dalle acque dello stagno che si imbacina in questa zona nei periodi più piovosi invernali

da 1.00 m a 3.20 m sabbia argillosa ciottolosa e ghiaiosa, umida; di colore rossiccio con qualche vena di argilla giallastra

da 3.20 m a 4.30 m argilla giallo ocra con rari ciottoli.

- **PIT III / X6**

da 0.00 m a 1.50 m riporto di terreno/suolo estrattivo di colore rosso aranciato con presenza di ciottoli.

da 1.50 m a 3.00 m conglomerati fango sostenuti con presenza di ciottoli da centimetrici a decimetrici di colore rosso aranciato.

DA 3.00 m a 4.00 m argille plastiche di colore rosso marrone chiaro.

- **PIT III / X7**

da 0.00 m a 4.50 m argille plastiche debolmente ghiaiose di colore rosso marrone/ grigio.

da 4.50 m presenza di 20 cm di acqua dopo un giorno dall'escavazione (29/10/2019).

- **PIT III / X8**

da 0.00 m a 5.30 m riporto di terreno/suolo estrattivo di colore rosso aranciato con presenza di ciottoli.

da 2.00 m a 2.50 m saturazione del terreno ma assenza d'acqua.

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE DEL TERZO LOTTO DELLA DISCARICA SIGED E MODULI ELASTICI CONNESSI

A seguito della pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale delle nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" del 2018 entrano in vigore alcune novità rispetto a quelle del 2008, per la classificazione del sottosuolo in base ad indagini sismiche.

La principale novità oltre le caratteristiche delle categorie dei terreni TAB 3.2.II, è l'abbandono del parametro Vs30 a favore di un omologo parametro denominato "Velocità equivalente". Questa è calcolata in modo perfettamente analogo alla Vs30, ma invece di estendere la media pesata fino ai rigorosi 30 m di profondità, adesso viene portata fino ad una profondità H (che può essere pari a 30 m, ma anche ad un valore minore). A decretare il valore di questa profondità H è il raggiungimento del "substrato", caratterizzato da velocità superiori agli 800 m/s.

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE*Categorie di sottosuolo*

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>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 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Per la caratterizzazione delle “velocità equivalenti di taglio” si è fatto riferimento alle due prove geofisiche passive MASW eseguite nella contigua area della progettata discarica Ecotorres (500 m circa a nord) a partire da una quota pressochè identica a quella di fondo attuale del futuro Terzo lotto SIGED.

Tenendo conto che le caratteristiche del sottosuolo tra i due siti di discarica è sostanzialmente omogeneo, si può utilizzare “velocità equivalenti di taglio” = $(V_{s30}) = 694$ m/s , caratterizzante una categoria di sottosuolo di tipo B, overossia:

“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 m/s e 800 m/s”.

Le suddette indagini sono contenute nello “Studio Geologico, Morfologico, Idrogeologico e stratigrafico “ redatto nel 2008 dal Prof G.Scanu (S.S.A.S.T. Srl), mentre le indagini geofisiche

sono tratte dall'indagine Geofisica redatta per il suddetto studio dal Geol Luciano Puddu di Cagliari nel 2007.

Inoltre sulla base di cinque linee tomografiche sismiche (di cui tre interessanti il specificatamente il fondo cava più depresso) si evince un modello sismostratigrafico di sottosuolo così suddiviso:

PROFONDITA' DA FONDO DISCARICA (m)	MEDIA VELOCITA' ONDE LONGITUDINALI Vp (m/s)
0 - 10	600
10 - 20	1750
20 - 35	2500

PROFONDITA' DA FONDO DISCARICA (m)	MEDIA VELOCITA' ONDE DI TAGLIO Vs (m/s)
0 - 8	270
8 - 22	610
22 - 40	1290

Utilizzando i valori ottenuti delle Vp e Vs implementate in programma di calcolo dedicato per la meccanica delle rocce ma anche applicabile in una subroutine alle terre (RQD SIS, VER 2007, Bossich geoenengineering srl) si ricava

SISMOSTRATO	PROFONDITA' DA FONDO DISCARICA (m)	MODULO ELASTICO STATICO CORRELATO A QUELLO DINAMICO (MPa)
SUPERFICIALE - 1	0 - 10	34 - 80
INTERMEDIO - 2	10 - 20	140
INFERIORE - 3	20 - 35	1300

I moduli elastici suindicati sono riportati per puro orientamento in quanto desunti da correlazioni sperimentali in campo dinamico successivamente adattati in campo statico.

Il sismostrato 3 inferiore si può considerare già relativo a materiali rocciosi od a complessi argillosi sovraconsolidati.

I sismostrati 1 e 2 individuano ammassi argillosi NC e/o ghiaiosi a supporto di matrice gradualmente addensati con la profondità.

APPROFONDIMENTI SULLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI RIFIUTI SPECIALI ABBANCATI PRESSO LA DISCARICA SIGED DI SCALA ERRE

TIPOLOGIA DEI RIFIUTI ABBANCATI

In base ai dati in possesso la caratterizzazione merceologica media dei rifiuti sinora abbancati
A partire dalla composizione merceologica i rifiuti possono avere un comportamento molto differente: utilizzando il diagramma triangolare e le categorie secondo Grisolia 1995 si è differenziato quantitativamente il materiale costituente l'ammasso dei rifiuti ascrivendo ciascuna categoria alla relativa classe merceologica rifiuti con le relative %:

Categoria I (inerti stabili)

Categoria D (altamente deformabili)

Categoria B (facilmente biodegradabili)

DIAGRAMMA TERNARIO DI GRISOLIA (1995)

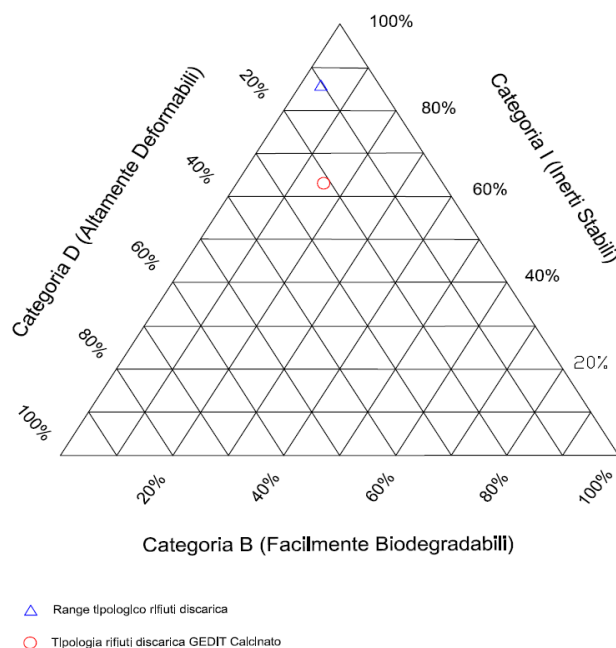


Fig. 18) Diagramma ternario di Grisolia

PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI RIFIUTI SIGED IN RELAZIONE ALLA BANCA DATI “WASTE DATAB”

Nell'ambito delle procedure redatte presso la nostra società è presente una raccolta ragionata di dati geotecnici dei rifiuti abbancati in discariche, riportati in documenti redatti dal nostro ufficio

dal 1985 integrati dalla cospicua letteratura che in particolare negli ultimi anni si è sviluppata nel mondo accademico soprattutto per i rifiuti solidi urbani.

La banca dati di cui al titolo "Waste DataB" riguarda in particolare i rifiuti solidi urbani (MSW) e subordinatamente i rifiuti "speciali".

Alle categorie tipologica dei rifiuti abbancati nella discarica SIGED sono stati associati le seguenti categorie del "WASTE DATAB" che seppure in alcuni casi non coincidenti possono considerarsi assimilabili.

Dall'analisi statistica dei quantitativi di Codici CER smaltiti nella discarica Siged nel triennio 2016-2018, scaturisce che solo il 16 % dei rifiuti è da considerarsi putrescibile (ISPRA:2016, "Criteri tecnici per stabilire quando il trattamento non è necessario ai fini dello smaltimento dei rifiuti in discarica ai sensi dell'articolo 48 della L.28 dicembre 2015 n.221"): e come è noto non tutta la sostanza organica contenuta nel rifiuto è disponibile alla produzione di Biogas.

DESCRIZIONE CODICE CER	%	%	
RIFIUTI DELLA LAVORAZIONE DI PELLI E PELLICCE, NONCHE' DELL'INDUSTRIA TESSILE	0,001	0,002	RC
RIFIUTI DEI PROCESSI CHIMICI ORGANICI	0,001		
RIFIUTI PRODOTTI DA PROCESSI TERMICI	0,379	0,379	RT
RIFIUTI PRODOTTI DALLA LAVORAZIONE E DAL TRATTAMENTO FISICO E MECCANICO SUPERFICIALE DI METALLI E PLASTICA	0,002	0,005	RP
RIFIUTI DI IMBALLAGGIO, ASSORBENTI, STRACCI, MATERIALI FILTRANTI E INDUMENTI PROTETTIVI (NON SPECIFICATI ALTRIMENTI)	0,001		
RIFIUTI NON SPECIFICATI ALTRIMENTI NELL'ELENCO	0,002		
RIFIUTI DELLE OPERAZIONI DI COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE (COMPRESSO IL TERRENO PROVENIENTE DA SITI CONTAMINATI)	0,102	0,102	RCD
RIFIUTI PRODOTTI DA IMPIANTI DI TRATTAMENTO DEI RIFIUTI, IMPIANTI DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE FUORI SITO, NONCHE' DALLA POTABILIZZAZIONE DELL'ACQUA E DALLA SUA PREPARAZIONE PER USO INDUSTRIALE	0,509	0,509	RTA
RIFIUTI URBANI (RIFIUTI DOMESTICI E ASSIMILABILI PRODOTTI DA ATTIVITA'COMMERCIALI E INDUSTRIALI NONCHE' DALLE ISTITUZIONI) INCLUSI I RIFIUTI DELLA RACCOLTA DIFFERENZIATA	0,001	0,003	RSU
TOTALE	1,000	1,000	

CLASSIFICAZIONE "WASTE DATAB"

(RSU) - RIFIUTI SOLIDI URBANI IMBALLATI, RSU TRATTATI, RSU CON INERTI

(RTA-RC) - FANGHI DI DEPURAZIONE, FANGHI DA ELETTEROLISI, FANGHI INORGANICI INDIFFERENZIATI, CENERI E FANGHI DI DEPURAZIONE

(RT) – SCORIE, CENERI D'I INCENERIMENTO RSU, FLY ASH

(RCD) - RIFIUTI INERTI INDIFFERENZIATI

(RP) - RIFIUTI DAL TRATTAMENTO FISICO E MECCANICO SUPERFICIALE DI METALLI E PLASTICA, RIFIUTI DI IMBALLAGGIO, ASSORBENTI, STRACCI, MATERIALI FILTRANTI E INDUMENTI

TABELLA: "WASTE DATAB" CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI RIFIUTI ABBANCATI (VALORI ESTREMI)

CATEGORIA RIFIUTI	γ (kN/m ³)	Φ' med (°)	C' med (kPa)	Cu med (kPa)	E (Mpa)	K (m/s)	σ_c (KPa)
RSU	8 – 14.50	15 - 49	4,2-70	43	0.57 – 0.24	1*e5 - 5*e4	ND
RP	3 - 9	10 - 30	10 - 50	ND	ND	ND	ND
RTA - RC	9 – 19	21 - 39	0,9 - 0	15 - 171	1,3 - 11	1,6*e-3	5
RT	13,5 - 19.8	25 - 44	0 - 85	4 - 200	2 - 40	10e-3 1,3E-06	ND
RCD	17 - 18	30	10	0	6 - 26	ND	ND

dove

γ = peso di volume

Φ' = angolo di resistenza al taglio efficace

C' = coesione efficace

Cu = coesione non drenata

E = modulo elastico

K = coefficiente di permeabilità

σ_c = resistenza a compressione

Utilizzando i valori medi per le % di rappresentatività della categoria di rifiuti si ricavano i seguenti parametri geotecnici per i rifiuti abbancati da "WASTE DATAB":

CATEGORIA RIFIUTI	γ (kN/m ³)	Φ' med (°)	C' med (kPa)	E (Mpa)	Cu med (kPa)
RSU, RP, RTA-RC, RT, RCD	15.2	33	17	13	90

PARAMETRI GEOTECNICI SECONDO GRISOLIA

Utilizzando i grafici di Grisolia in cui sono evidenziati i due campi (cerchiolino e triangolo) in cui possono ricadere i rifiuti, sulla base della caratterizzazione merceologica precedentemente riportata si evince che ai rifiuti abbancati da SIGED si potrebbe affidare un angolo di attrito di 31° ed una coesione di 10 kPa al 10 % della deformazione: tali valori si possono considerare tendenzialmente cautelativi in quanto validi soprattutto per rifiuti solidi urbani.

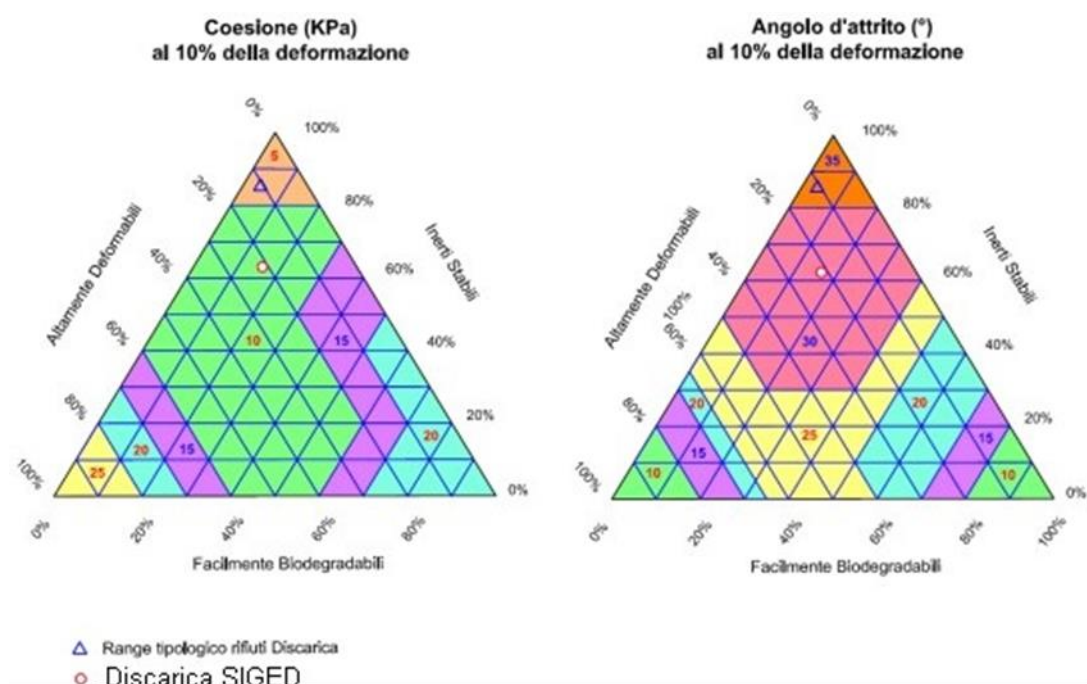


Fig. 19 Abachi materici triangolari di Grisolia

PARAMETRI GEOTECNICI DI RESISTENZA A TAGLIO DEI RIFIUTI RIFERITI ALLE ATTUALI E PRECEDENTI INDAGINI PRESSO LA DISCARICA SIGED

Si sintetizzano i dati di cui al titolo dalle indagini a disposizione:

- ❖ indagini 2014
- ❖ “Waste DataB” 2015
- ❖ Grisolia 2015

TIPOLOGIA INDAGINE	γ_{nat} (kN/m ³)	Φ' med (°)	C' med (kPa)	Cu* med (kPa)
INDAGINI 2014	17.4 **	ND	ND	74-100
“WASTE DATAB” 2015	15	33	17	90
GRISOLIA 2015	ND	31	10	ND

γ_{nat} = peso di volume naturale (** per ceneri)
 Φ' = angolo di resistenza al taglio efficace
 C' = coesione efficace
 Cu = coesione non drenata (*per la frazione di fanghi)
 E = modulo elastico

SINTESI GEOTECNICA PARAMETRI RESISTENZA A TAGLIO	γ (kN/m ³)	Φ' med (°)	C' med (kPa)	Cu* med (kPa)
RIFIUTI SIGED (ad esclusione rifiuti imballati o strutturati)	16 - 18	31 - 33	10 - 20	70-100

VERIFICHE DI STABILITA' DEL PIANO DI FONDAZIONE DELLA DISCARICA – 3° LOTTO SIGED

In merito all'oggetto ed alle caratteristiche dimensionali, geotecniche e di portanza del fondo della discarica si risale alle tensioni pre-scavo nelle condizioni di massimo spessore

Il fondo di approntamento della vasca prima dell'attività estrattiva era assoggettato ad una tensione litostatica data da una colonna di argille e ghiaie e sabbie a supporto di matrice argillosa $\gamma_{\min} = 19 \text{ kN/m}^3$ a 46 – 47 m slm per un'altezza media di 14 m, pari cioè a circa 0.27 MPa (26.6 t/m²).

Valutando un peso di volume di rifiuto al massimo costipamento di 18 kN/m³ per un'altezza massima con quota finale (rifiuto + capping + pacco argille di fondo) di 51 m slm, 49 m slm, 46 m slm il fondo vasca naturale (piano posa argilla medio 33.5 slm) è assoggettato rispettivamente nel settore ovest a circa 0.32 Mpa (31.5 t/m²), il settore centrale a circa 0,28 Mpa (27.9 t/m²), nel settore est a circa 0.23 Mpa (22.5 t/m²).

Pertanto per quest'ultimo settore il valore di tensione indotta dalla discarica è inferiore del 15% rispetto a quella originaria: nei due settori restanti le tensioni indotte della discarica sono di poco superiori alla tensione geostatica originaria (incremento del 5% e 18% rispettivamente per il settore est e centrale).

Con l'esiguo incremento di carichi in fondazione, la tipologia di fondazione (platea flessibile) e la tipologia di sedime argille da normalconsolidate a sovraconsolidate, in alternanza a passate sabbiose ghiaiose a supporto di matrice, la stabilità fondazionale del piano di appoggio in terreno naturale è condotta in termini di cedimenti.

Il calcolo dei cedimenti dello strato minerale impermeabilizzante di fondo e di sponda è stato utilizzato un apposito foglio di calcolo allegato a fine relazione (Allegato 11) basato sulla metodica di Giraud 1968.

Per il settore occidentale, al baricentro i cedimenti saranno di circa 9 cm ed ai bordi di circa 5 cm

Per il settore centrale, al baricentro i cedimenti saranno di circa 6 cm ed ai bordi di circa 3 cm

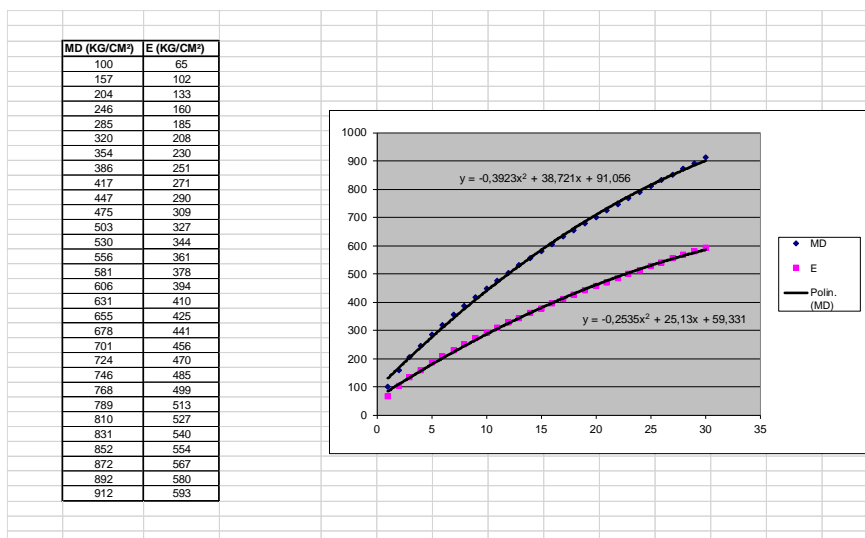
Per il settore orientale i cedimenti saranno nulli.

CEDIMENTI STRATO ARGILLOSO MINERALE DI FONDO E DELLE PARETI DELLA III VASCA

Per il calcolo dei cedimenti dello strato minerale impermeabilizzante di fondo e di sponda è stato utilizzato lo stesso modello geometrico e geotecnico utilizzato per gli assestamenti del fondo.

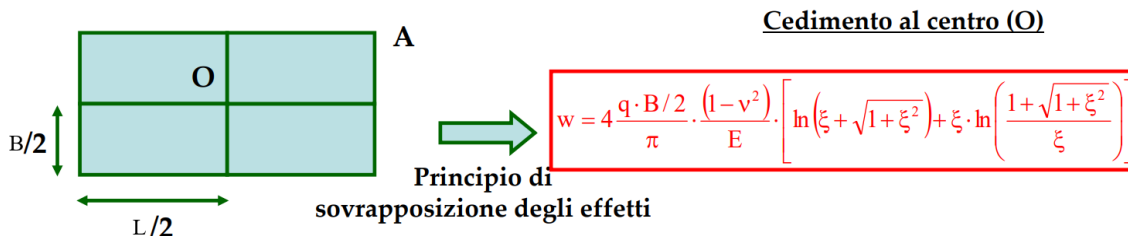
Il pacchetto impermeabilizzante di fondo costituito da due strati di argilla di un metro ed un metro e venti dovranno garantire un modulo elastico operativo di almeno 50 Mpa cadauno.

Come evidenziato nella sottostante tabella per la verifica del modulo elastico operativo sarà necessario che le prove di controllo di carico su piastra da 30 cm, diano un Md (modulo di deformazione al primo ciclo di carico tra 15 e 25 MPa) di almeno 77 MPa.



In relazione alla tipologia fondazionale non rigida, all'estensione areale ed al comportamento coesivo del materiale naturale in questione

Analiticamente, il cedimento immediato H_i è stato calcolato secondo Bowles (1991), implementando l'equazione di elasticità (Timoshenko e Goodier)



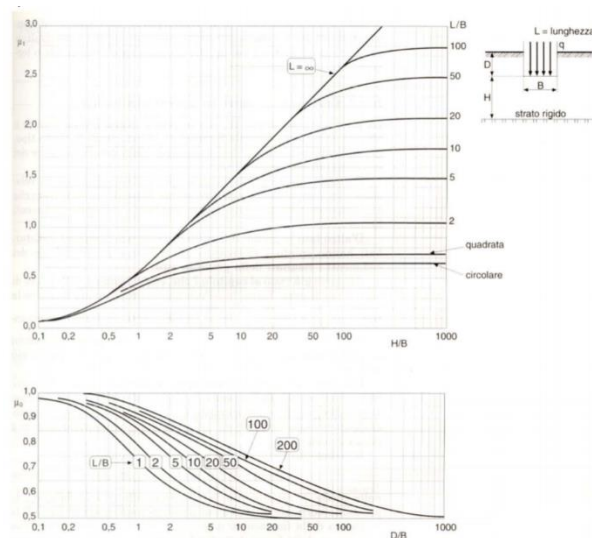
Cedimento allo spigolo (A)

$$s = \frac{p \cdot B \cdot (1-v^2)}{E} \cdot I_s$$

$$\xi = \frac{L}{B}$$

$$I_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\ln(\xi + \sqrt{1+\xi^2}) + \xi \cdot \ln\left(\frac{1+\sqrt{1+\xi^2}}{\xi}\right) \right]$$

modificata con i coefficienti di influenza di Christian e Carrier 1978 in cui $\mu_0 = 1$ e $\mu_1 = 0,48$ ricavato da D/B circa 2 ed H/B (H rappresenta la soggiacenza del substrato lapideo e $B = B/2$).



Il cedimento ΔH_i secondo la relazione di calcolo riferita alla media ponderata del sovraccarico $q_0=0.28$ MPa ragguagliata ad un quarto dell'impronta di fondo discarica (rettangolo di 105 m per 47 m di lato) è espresso come aliquota di fattori di profondità / geometria, inseriti nel rapporto tra il coefficiente di Poisson (0.4) e modulo elastico M (50 MPa) e per il carico q_0 , ricavati in precedenza.

Analiticamente si potrà avere al baricentro del fondo vasca un cedimento max ΔH_i di 40 cm ed ai lati di 10 – 20 cm: tali valori sono corretti con i coefficienti di Christian e Carrier 1978 che dimezzano l'entità degli assestamenti.

I cedimenti primari massimi risultano pertanto al centro discarica $W = 19$ cm e minimi ai lati $S = 9$ cm.

I cedimenti secondari saranno l'aliquota inferiore, stimati tra il 10 ed il 25% rispetto a quelli di cedimento primario (in base alle caratteristiche geotecniche di rigidità dell'argilla), e potranno dare pertanto a quota geomembrana un cedimento massimo complessivo di 25 cm.

La miglior stima degli assestamenti complessivi a fondo vasca può essere presa pertanto di 35 cm a fine colmatazione (a lungo termine), valori compatibili ed usuali superfici impermeabilizzate con teli saldati in PEAD di spessore ≥ 2 mm.

In merito al mantenimento delle caratteristiche dimensionali dell'impermeabilizzazione di fondo e delle strutture drenanti connesse, gli eventuali assestamenti saranno distribuiti uniformemente in relazione alle dimensioni del sovraccarico che risulta uniformemente distribuito sull'attuale area di influenza alla sezione, i rapporti geometrici e le pendenze rimarranno reciprocamente costanti.

I massimi cedimenti sulle scarpate si manifesteranno alla base delle stesse in relazione all'altezza massima di coltivazione del giacimento controllato.

Si verifica la componente ortogonale al pendio della III vasca con inclinazione media 25° sull'orizzontale, per un dislivello di 18m al coronamento. Utilizzando la massima tensione di 320 kPa si ricava la componente agente su una fascia di 10 m basale e parallela (H media carichi ≈ 10 m) al pendio risultante di circa a 260 kPa.

Analiticamente, utilizzando la stessa procedura di calcolo si evince un cedimento primario sulla fascia basale dell'argilla posata in parete di 8 cm ed un secondario di 2 cm.

La stima degli assestamenti complessivi sulla parete della vasca può essere presa limitatamente ad una prima fascia basale di sponda (10 m) di 10 cm a lungo termine.

Schema semplificato assestamenti fondo vasca in piano posa rifiuto e ripristino finale completato (misure in cm) –
Discarica Siged III lotto

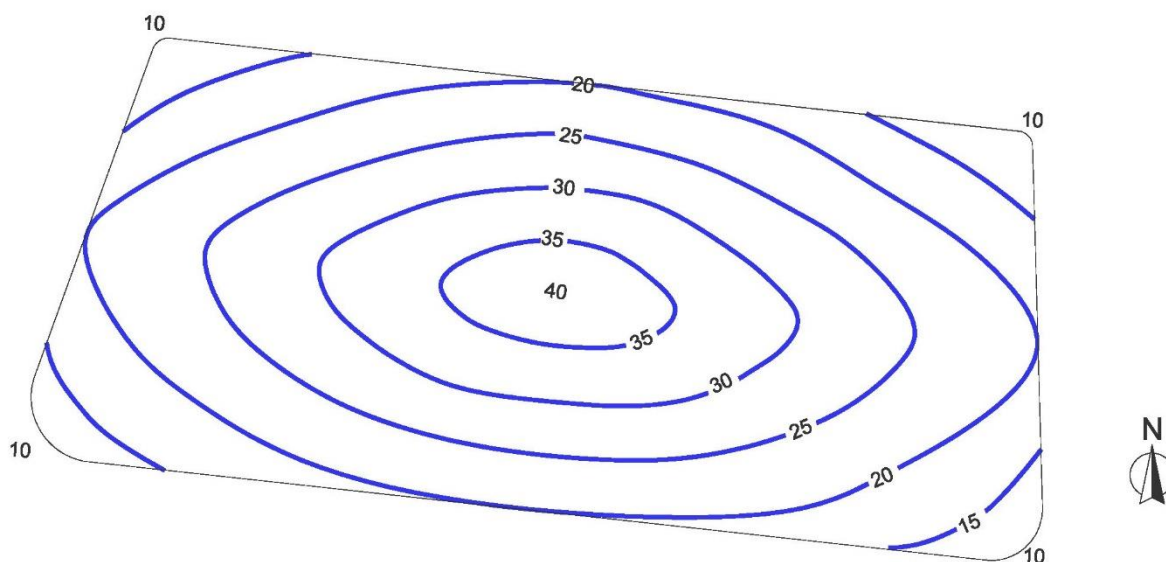


Fig. 20) Assestamenti totali piano di posa fondo vasca a ripristino finale completato

VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SCARPATE IN RIPORTO PER IL TERZO LOTTO SIGED DI SCALA ERRE

La verifica di cui al titolo è dedicata all'analisi della stabilità delle scarpate della nuova vasca in progetto valutata per il suo massimo sviluppo in altezza, con l'obiettivo di valutare i fattori di sicurezza che si ottengono in caso di scivolamenti rotazionali lungo la scarpata tra le litozone RS (riporti a componente prevalente di scorie, della pregressa discarica di inerti autorizzata) e GS (terreni naturali a supporto granulare).

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il criterio di scivolamento di vari autori

con superficie circolare e tra tutte le superfici di scorrimento possibili, è stata scelta quella corrispondente al fattore di sicurezza minimo, e cioè alla situazione più critica e probabile (Fellenius).

Si riportano negli Allegati 13. le simulazioni critiche effettuate su più di 300 superfici generate dal software utilizzato.

Per l'analisi della stabilità si è scelta la sezione più critica non solo per la max inclinazione della scarpata di scavo (25 °) ma anche per la massima altezza valutata in 16 m, che riguarda lo scavo del piano posa argilla.

Ad ogni litozona, poi, sono stati assegnati i parametri geotecnici visibili alla successiva tabella ricavati dalla bibliografia e dalle prove esaurientemente illustrate alle pagine precedenti considerando i pesi di volume del rifiuto alla massima densità preconizzabile.

In particolare per la caratterizzazione dei rifiuti abbancati nella discarica si fa riferimento oltre alle prove geotecniche attuali (anche per la discarica Ecotorres), all'indagine della Bossich Geoengineering Srl del 2014 ed alle esperienze maturata dalla scrivente società nell'ambito di discariche a partire dal 1981.

A questo riguardo si rammenta per i terreni naturali, che le prove di laboratorio danno valori tendenzialmente cautelativi rispetto a quelli intrinseci dei terreni sedimentati naturalmente in quanto non tengono conto dell'interlocking ed aging e per motivi strumentali vengono effettuati su campioni necessariamente rimaneggiati e sulla frazione più fine degli stessi.

Per quanto riguarda i parametri dell'argilla (due strati di materiale naturale impermeabilizzante) si è fatto riferimento alla caratterizzazione dell'argilla prescelta proveniente dalla Cava in Loc La Crucca (Bossich Geoengineering Srl - Comm. 1315 / PRO 159 / 19-1.

Pertanto in base a parametrizzazioni pregresse ed esperienze di terreni consimili si possono affidare i seguenti valori alle litozone assoggettate a verifica.

LITOZONA	Peso di volume in sito naturale (kN/m³)	Angolo di attrito disponibile (°)	Coesione disponibile (kPa)
ARGILLA IMPERMEABILIZZANTE	21,7 – 18,2*	33	0,5
RIPORTO ARGILLOSO	20,0 - 18,0*	29	0 – 60**
ARGILLE IN POSTO CONGLOMERATICHE	21 – 20*	37	0 - 320**

(*) peso di volume secco

(**) coesione non drenata

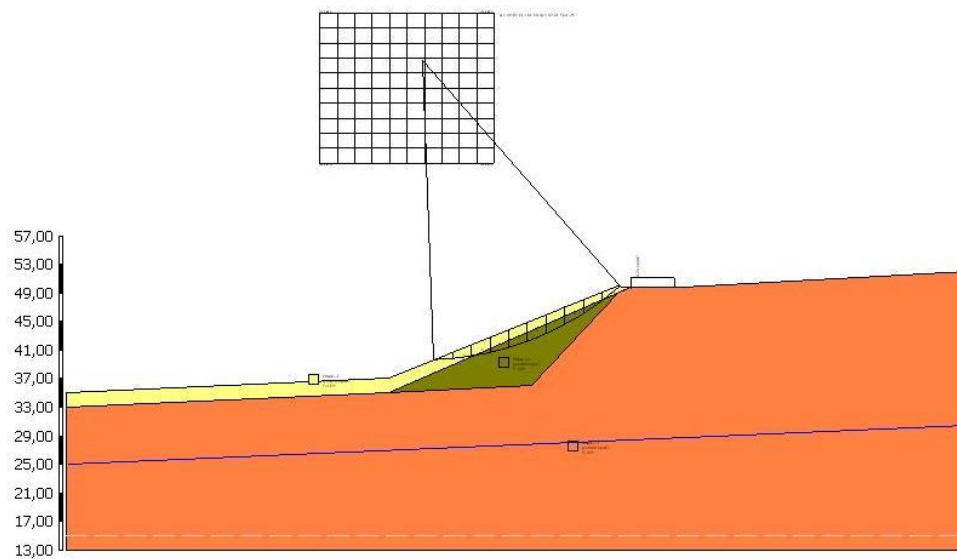


Fig. 21) Schema sezione verifica di stabilità in scarpata riportata

Infine si è tenuto conto della presenza di sovraccarichi sulla cresta (pista) di 20 kN/m^2 , e l'esistenza della falda,

In condizioni drenate si ottengono i seguenti Fattori di sicurezza, nel caso di rottura lungo la scarpata nella configurazione sismica e statica

Metodica di calcolo	Fs min SISMICO	Fs min STATICO
FELLENIOUS	1.26	1.30
BISHOP	1.28	1.33
JAMBU	1.50	1.56
MORGERSTEN - PRICE	1.30	1.33
SPENCER	1.30	1.33
BELL	1.29	1.33
SARMA	1.30	1.35
ZENG - LIANG	1.48	1.46

Pertanto poiché i **Fs dell'analisi globale del pendio sono sempre superiori ad 1** l'analisi è verificata secondo le NTC 2018.

$$\frac{R_d}{E_d} \geq \frac{\sigma_s}{\sigma_m} * \frac{1}{R_2} > 1$$

VERIFICHE DI STABILITA' DEL FRONTE DI ABBANCAMENTO DI RIFIUTI PER IL TERZO LOTTO SIGED DI SCALA ERRE

La verifica in oggetto è dedicata all'analisi della stabilità delle scarpate in rifiuto nel loro massimo sviluppo in altezza a fine abbancamento nella fase terminale di ripristino del capping

Sino a quota 52 slm. Anche in questo frangente si è tenuto conto della presenza di sovraccarichi sulla cresta (pista) di 20 kN/m², e la presenza della falda,

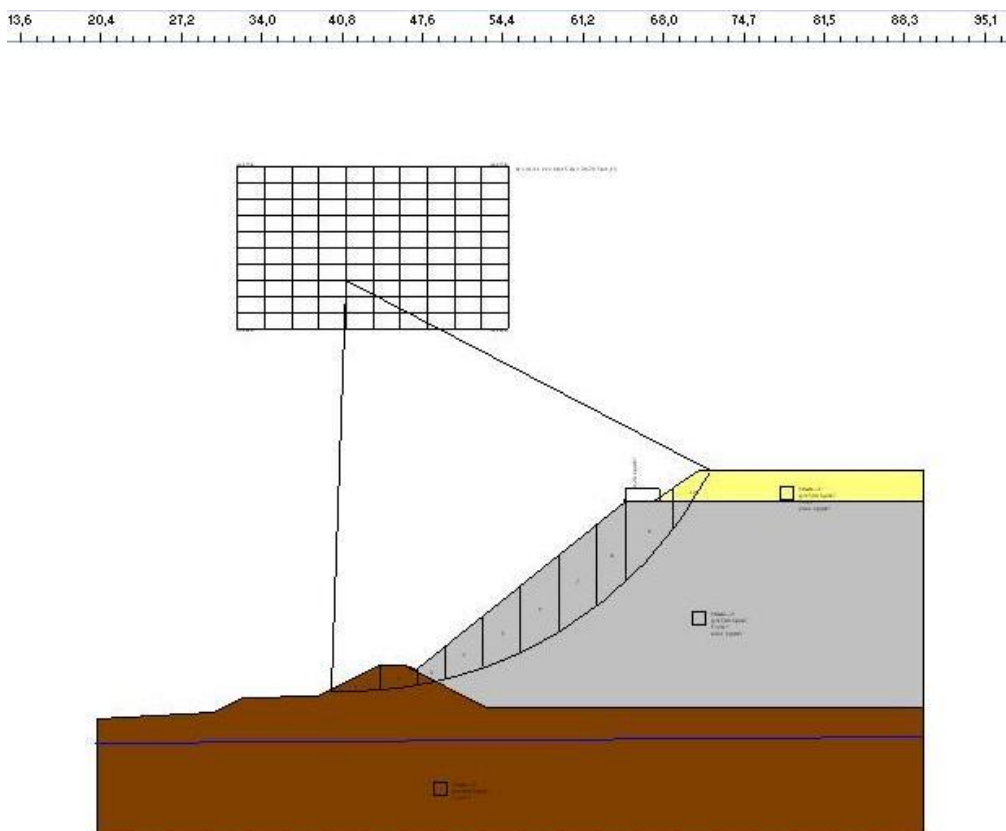


Fig. 22) Schema sezione verifica di stabilità del fronte di rifiuto

In condizioni drenate si ottengono i seguenti Fattori di sicurezza, nel caso di rottura lungo la scarpata nella configurazione sismica e statica

Metodica di calcolo	Fs min SISMICO	Fs min STATICO
FELLENIOUS	1.15	1.17
BISHOP	1.19	1.23
JAMBU	1.35	1.40
MORGERSTEN - PRICE	1.19	1.22
SPENCER	1.19	1.22
BELL	1.20	1.22
SARMA	1.21	1.26
ZENG - LIANG	1.34	1.34

Pertanto poiché i **Fs dell'analisi globale del versante in rifiuto sono sempre superiori a 1** l'analisi è verificata per $R_2 = 1,2$ secondo le NTC 2018.

$$\frac{R_d}{E_d} \geq \frac{\sigma_s}{\sigma_m} * \frac{1}{R_2} > 1$$

BIBLIOGRAFIA ESTERNA DI RIFERIMENTO

- Report Annuali – Dipartimento meteorologico Sardegna Arpa
- SIGED S.r.l.: Discarica rifiuti speciali non pericolosi località Scala Erre (SS) 2° lotto – Progetto definitivo – Studio geologico, idrogeologico e geotecnico; Bossich Geoengineering S.r.l.; 2007
- ECOTORRES S.r.l.: Studio idrogeologico e delle acque di superficie imbaccinate per il progetto Discarica Ecotorres in località “Cazzalarga” (Sassari); Bossich Geoengineering S.r.l.; 2014
- ECOTORRES S.r.l. - Prove di Laboratorio su terreni argillosi da utilizzare per la Discarica Ecotorres Comm. 1315 / PRO 159 / 19-1, Bossich Geoengineering Srl – Giugno 2019.
- SIGED S.r.l.: Studio idrogeologico congiunto con il comune di Sassari in regione Scala Erre - Cazzalarga (Sassari); Bossich Geoengineering S.r.l.; 2018
- SIGED S.r.l.: Relazione annuale 2017; Bossich Geoengineering S.r.l.; 2018
- SIGED S.r.l.: Relazione annuale 2018; Bossich Geoengineering S.r.l.; 2019
- Snam rete gas – Saipem metanizzazione Sardegna met. Palmas Arborea – Macomer dn 650 (26”), dp 75 bar met. Macomer – Porto Torres dn 650 (26”), dp 75 bar met. Macomer

– olbia dn 400 (16”), dp 75 bar progetto definitivo annesso c relazione sismica e verifica allo scuotimento sismico_2017

- REGIONE SARDEGNA “Piano regionale di protezione civile per il rischio idraulico, idrogeologico e da fenomeni meteorologici avversi” approvato con deliberazione della giunta regionale sarda n. 1/9 del 8 gennaio_ 2019
- INGV (National Institute of Geophysics and Volcanology)
- L’esperienza Sardinia Passive Array (SPA): acquisizione dati sismici per lo studio della geodinamica e della sismotettonica dell’area mediterranea G.B.Cimini, A. Marchetti, M.Silvestri_2016

RIFERIMENTI NORMATIVI

- Ministero delle infrastrutture e dei trasporti.
“Norme tecniche per le costruzioni DM.14.01.2008 – (G.U. n°29 del 04.02.2008 supp.ord.n°30)”.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Circolare del 2 febbraio 2009
Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Allegato al voto n. 36 del 27 luglio 2007
“Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”.
- D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni” – cap. 6 “Progettazione geotecnica” - cap. 7 “Progettazione per azioni sismiche”;
- Eurocodice 7.1 (1997).
“Progettazione geotecnica”.
Parte I: “Regole Generali. UNI”
- Eurocodice 7.2 (2002).
“Progettazione geotecnica”.
Parte II: “Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI”
- Eurocodice 7.3 (2002).
“Progettazione geotecnica”.
Parte II: “Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI”
- AGI – Associazione Geotecnica Italiana (1977) “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.

- AGI – Associazione Geotecnica Italiana (1994) “Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio”.

PROCEDURE E SOFTWARE INTERNI

- RQD SIS .BAS – Ver. 1-1998, Ver. 2-2005 –
- GEOCAP 5 _Ver 1_ 2006 Sub routine elaborazioni di prove di permeabilità in sito
- “WASTE DATAB”, banca dati interrogabile delle caratteristiche geotecniche dei rifiuti

SOFTWARE ESTERNI

- SLOPE. – Analisi stabilità versanti_ Licenza Geostru Software, 2013
- Geostru PS - Geostru Software, 2017