



## **REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**



## **PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA**



## **COMUNE DI ISILI**

**PROVVEDIMENTO AMBIENTALE UNICO REGIONALE (P.A.U.R.)  
PROGETTO DI COLTIVAZIONE E RECUPERO AMBIENTALE  
NELL'AMBITO DELLA RICHIESTA DI CONCESSIONE MINERARIA  
TEMPORANEA PER L'ESTRAZIONE DI ARGILLE SMETTICHE E  
BENTONITICHE DENOMINATA "MAURU MARRAS"  
IN AGRO DEL COMUNE DI ISILI (SU)**

**All.**

**C**

Settembre 2023

## **RELAZIONE GEOLOGICA**

SOC. E.T.A.S. S.R.L. - ESTRAZIONE E TRASFORMAZIONE ARGILLE SARDE - VILLANOVATULO

IL COMMITTENTE

E.T.A.S. S.R.L.

IL PROFESSIONISTA RESPONSABILE E COORDINATORE

DOTT. GEOL. ANTONELLO FRAU

PREMESSA .....	3
INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO .....	4
<i>Pluviometria, termometria e relazioni.</i> .....	10
<i>Ventosità</i> .....	13
MODELLO GEOLOGICO .....	15
CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE GENERALI DEL SETTORE .....	15
PERICOLOSITA' GEOLOGICA .....	25
- pericolosità idrogeologica .....	25
- pericolosità sismica e classificazione dei suoli .....	31
CARATTERISTICHE GEOPEDOLOGICHE DELL'AREA E USO DEL SUOLO .....	39
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA .....	42
IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA .....	49
Idrografia superficiale .....	49
Idrogeologia .....	54
CONSIDERAZIONI E VERIFICHE SULLA STABILITA' DEGLI SCAVI .....	60
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	61
ASPETTI GIACIMENTOLOGICI CONNESSI ALL'ESITO DELLA RICERCA MINERARIA AL TERMINE DEL PRIMO ANNO DI VIGENZA DEL PERMESSO DI RICERCA .....	62

## **PREMESSA**

Nell'ambito del progetto di coltivazione e recupero ambientale nell'ambito della richiesta di Concessione mineraria temporanea per argille bentonitiche e argille smettiche denominata "Mauru Marras" in agro del Comune di Isili (SU) è stata redatta la presente relazione geologica. L'analisi geologica è stata eseguita in conformità alla normativa vigente di cui al Decreto 17 Gennaio 2018, "aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (18A00716), GU n.42 del 20-2-2018 - Suppl. Ordinario n. 8" (NTC 2018 emesse ai sensi delle leggi 05.11.1971, n. 1086, e 02.02.1974, n. 64, al Testo Unico per l'Edilizia di cui al D.P.R. 06.06.2001, n.380, e dell'art. 5 del decreto legge 28.05.2004, n. 136, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della legge 27.07.2004, n. 186 e ss. mm. ii.) e in particolare al punto 6.2.1 secondo il quale la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio; caratteristiche che quindi devono essere descritte e sintetizzate dal modello geologico di riferimento.

La Relazione Geologica, in base ai contenuti di tale norma, comprende, pertanto, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi; definisce inoltre il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche. Attraverso l'osservazione diretta e sulla base della documentazione di indagini e studi eseguiti dal sottoscritto nell'ambito di progettazioni inerenti al medesimo ambito stratigrafico, è stato possibile ricostruire la sequenza litostratigrafica differenziando unità dotate di caratteristiche litologiche, petrografiche e geotecniche/geomeccaniche riconoscibili sul terreno e distinguibili da quelle adiacenti. Si è così pervenuti alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito che sarà direttamente interessato dalle opere in progetto. Lo studio geologico si articola pertanto essenzialmente nei seguenti punti:

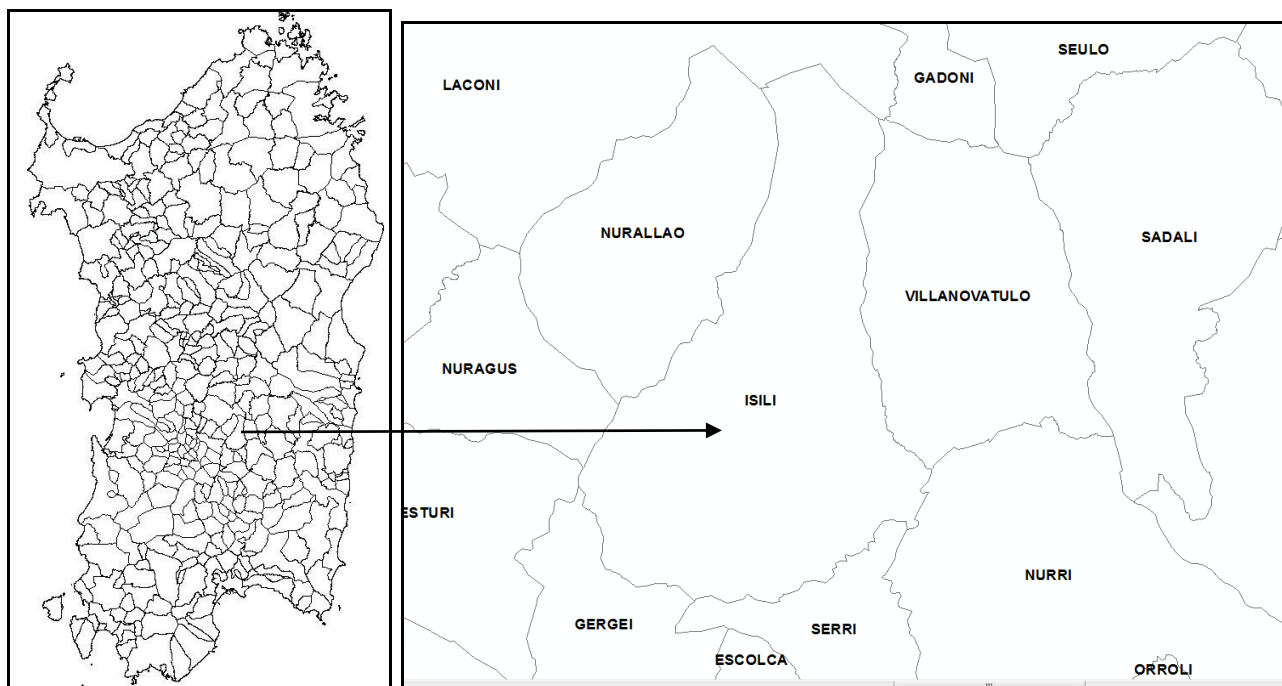
- raccolta sistematica di materiale bibliografico riguardante indagini e studi eseguiti nel settore;
- definizione del comparto geolitologico di superficie dell'area oggetto di studio e del territorio circostante;
- definizione del modello geologico attraverso la valutazione delle condizioni climatologiche, geomorfologiche, geologiche, idrogeologiche e di uso del suolo generali del territorio oggetto di intervento e delle relative situazioni di pericolosità geologica;
- stesura della relazione geologica.

La presente è relativa ai contenuti propriamente geologici del sito.

## INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

L'area di intervento su cui saranno sviluppate le attività di estrazione, è individuabile all'interno del territorio comunale di Isili, centro abitato localizzato nella Sardegna centro meridionale e con riferimento alla toponomastica regionale, nel Sarcidano e ad una distanza di circa 5 km a Nord del centro urbano, in prossimità dell'agglomerato Industriale del Sarcidano. L'area è localizzata a Ovest e Sud dell'area industriale.

E' topograficamente ubicata nel Foglio 540 sez. IV (Isili) della Carta Topografica d'Italia scala 1:25.000 e nella Carta Tecnica Regionale Numerica, in scala 1:10.000, nella Sezione 540020 denominata Stazione di Nurallao.



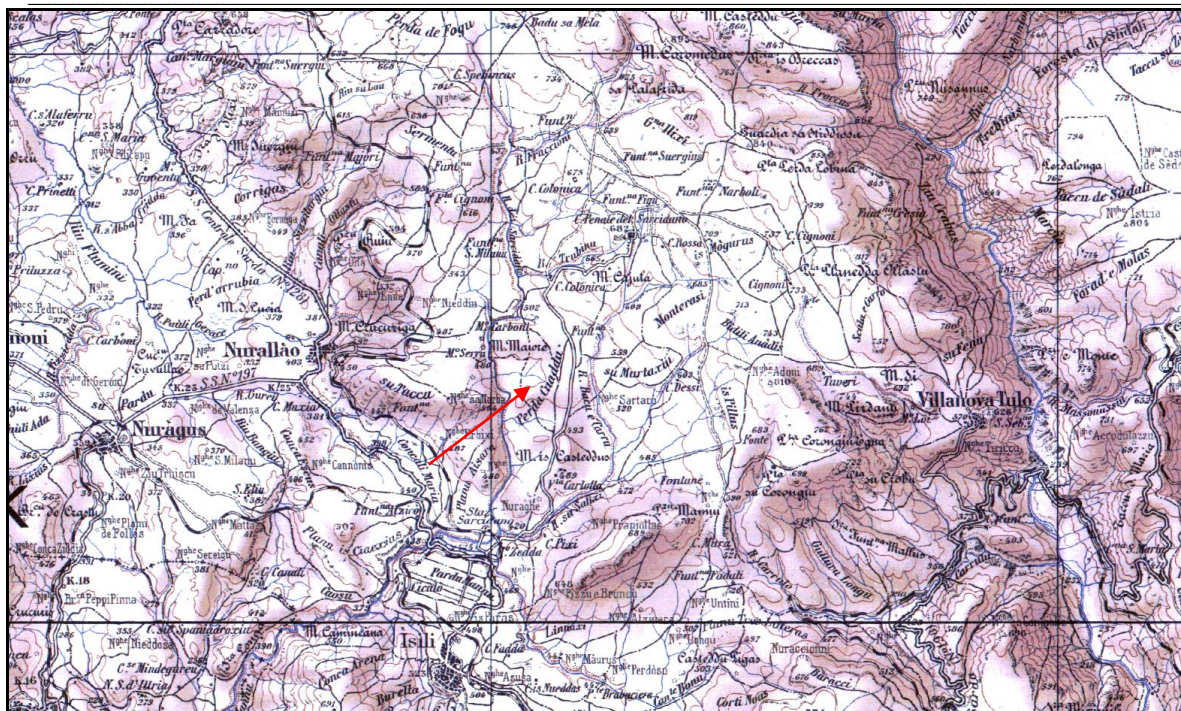
**Figura 1: inquadramento generale dei luoghi**

Ai fini della materializzazione dell'area richiesta in Concessione Mineraria, si individuano i seguenti vertici di riferimento (coordinate Gauss Boaga):

- **Vertice A:** Incrocio Ex Strada Consortile, strada interna (X:1510884, Y:4404223);
- **Vertice B:** Incrocio Ex Strade Consortili (X:1510720, Y:4403299);
- **Vertice C:** Incrocio Ex Strade Consortili (X:1510984, Y:4403242);
- **Vertice D:** Incrocio Ex Strada Consortile-Strada Comunale Isili C.P. (X:1511028, Y:4403025);
- **Vertice E:** Incrocio Ex Strade Consortili (X:1510598, Y:4403490);
- **Vertice F:** Traliccio esistente: (X:1510214, Y:4403179);
- **Vertice G:** Incrocio strade rurali (X:1510492, Y:4404334)

Si evidenzia che l'estensione dell'area e l'individuazione dei punti di appoggio è dovuta unicamente ad esigenze pratiche legate all'individuazione fisica di elementi sul terreno chiaramente individuati nella cartografia di riferimento.

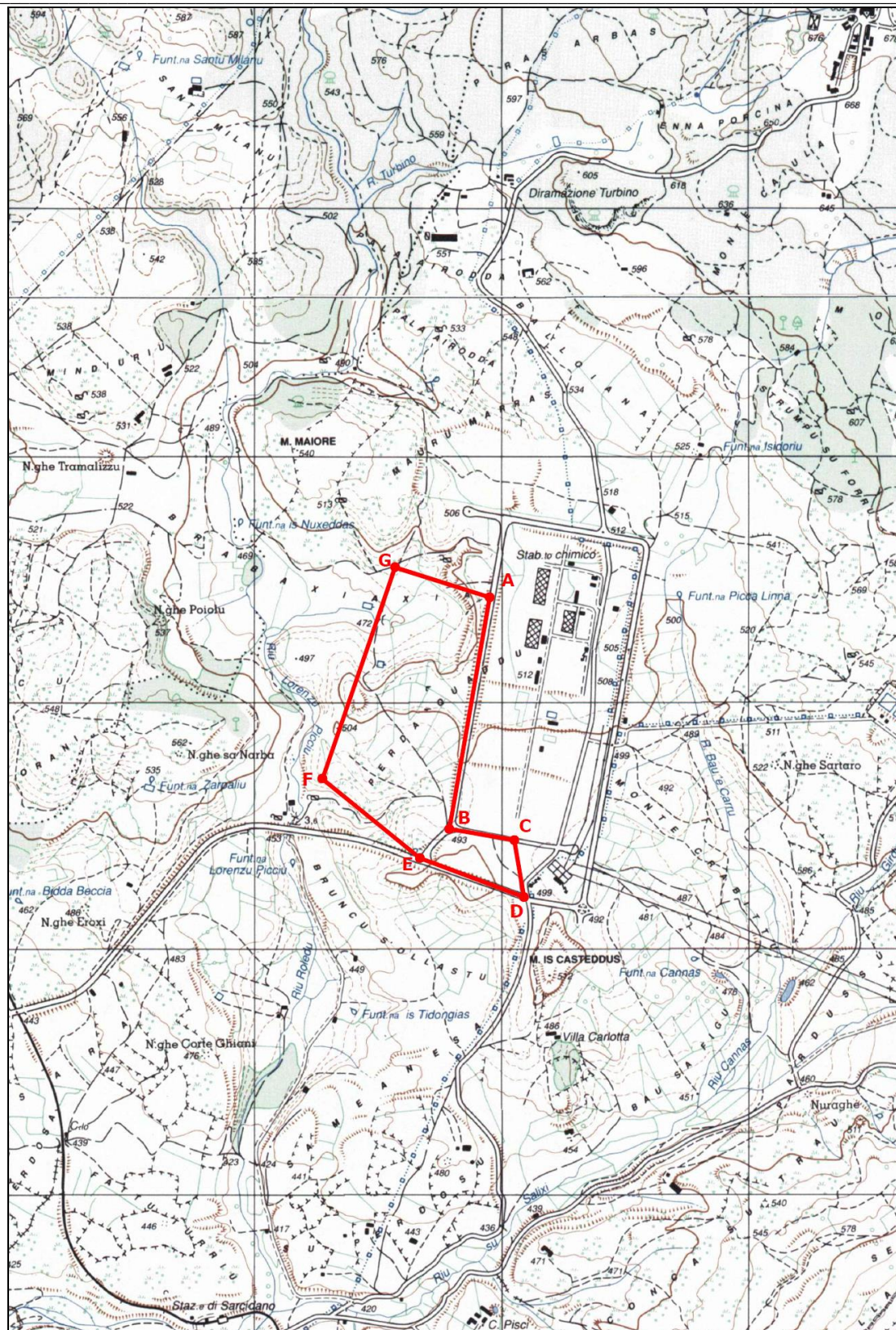
*Relazione geologica relativa al progetto di coltivazione e recupero ambientale nell'ambito della richiesta di Concessione mineraria temporanea per argille bentonitiche e argille smettiche denominata "Mauru Marras" in agro del Comune di Isili (SU)*



**Figura 2: inquadramento topografico generale – scala 1:100.000**



**Figura 3: inquadramento su I.G.M.I. - scala 1:50.000**



**Figura 4: Inquadramento topografico in scala 1:25.000**

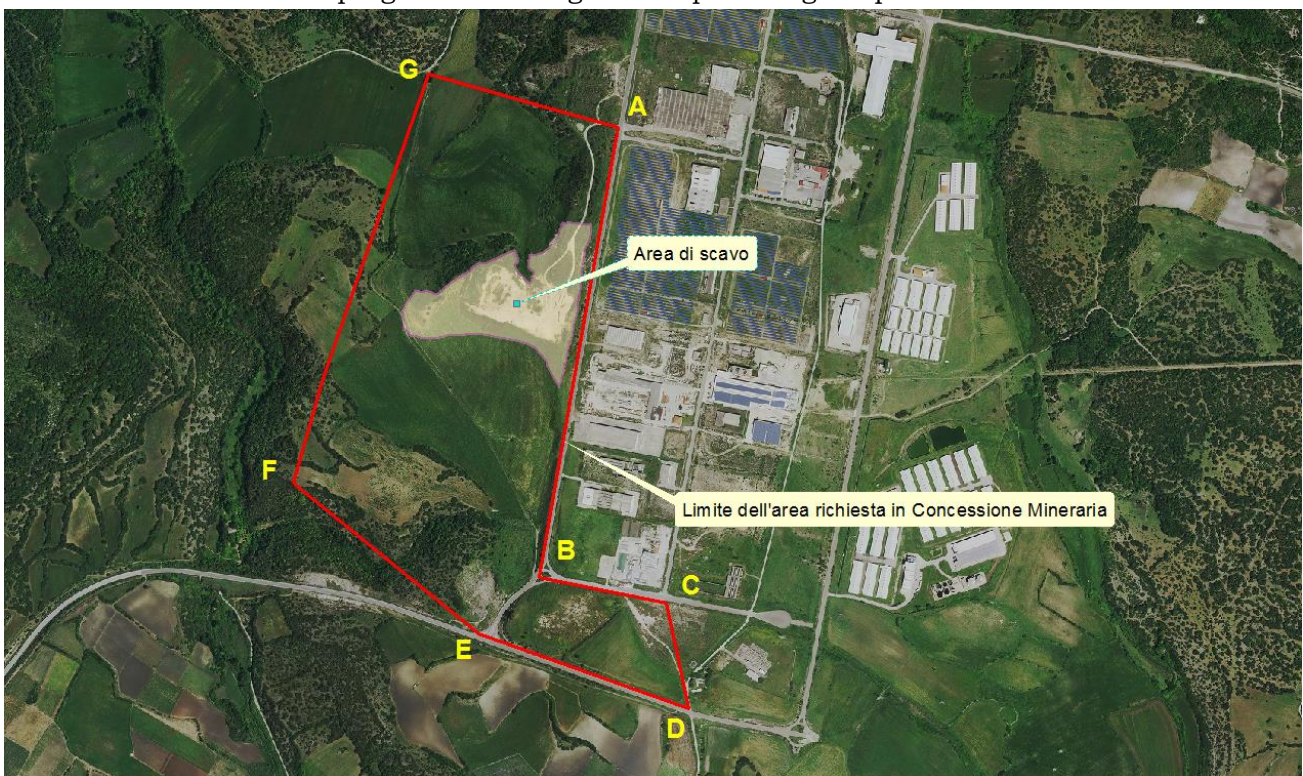
L'accessibilità al sito è garantita dalla S.S. 128 e dalla Strada Consortile che collega la diramazione della S.S. 128 con l'ex strada provinciale n. 52 (attuale S.P. n. 112 - Villanovatulo-

Santa Sofia). Inoltre, dalla Zona Industriale si diramano una fitta rete di strade rurali che potranno essere utilizzate per l'accesso alle aree di indagine.

L'area di intervento (così come visualizzabile anche dalla fotografia aerea) ricade in un settore prevalentemente di tipo agricolo anche se come sarà evidenziato nel proseguo, l'area è localizzata urbanisticamente all'interno della zona industriale. All'interno dell'area figurano dei settori che sono stati interessati in passato da scavi finalizzati al rimodellamento dell'area industriale.

Dal punto di vista catastale (Catasto Territoriale), l'area della Concessione è individuabile nei Foglio 11 del Comune di Isili in terreni non di proprietà della richiedente; la superficie complessiva dell'area della Concessione è pari a 54,58 ettari. Non tutta l'area sarà interessata dalle operazioni di scavo ma al momento solo ed unicamente 5.80 ettari. L'intera area di scavo ricade nel Foglio 11 all'interno dei seguenti mappali non interessati complessivamente dalle attività ma solo in parte e meglio indicati nella Tavola di inquadramento catastale di progetto: mappali n. 27, 29, 30, 32, 33, 34, 93, 275, 456, 457, 467, 469, 471, 473, 477, 478, 479.

Sia nelle tavole di progetto che di seguito si riportano gli inquadramenti.



**Figura 5: area di interesse**

La rappresentazione esatta dei luoghi è riportata negli elaborati cartografici di progetto (ai quali si rimanda per la localizzazione).

L'accessibilità e il trasporto delle materie prime al sito è garantita dalla S.S. 128 per 3 Km sino a Nurallao e da qui dalla S.S. 197 sino alla S.S. 131 (Villasanta) dove si imbecca la S.S. 131. Dalla S.S. 197 i mezzi possono accedere anche verso Genoni e a valle nella S.S. 442 sino al bivio Escovedu per poi procedere sulle Strade Provinciali in direzione Oristano e S.S. 131 verso Porto Torres.



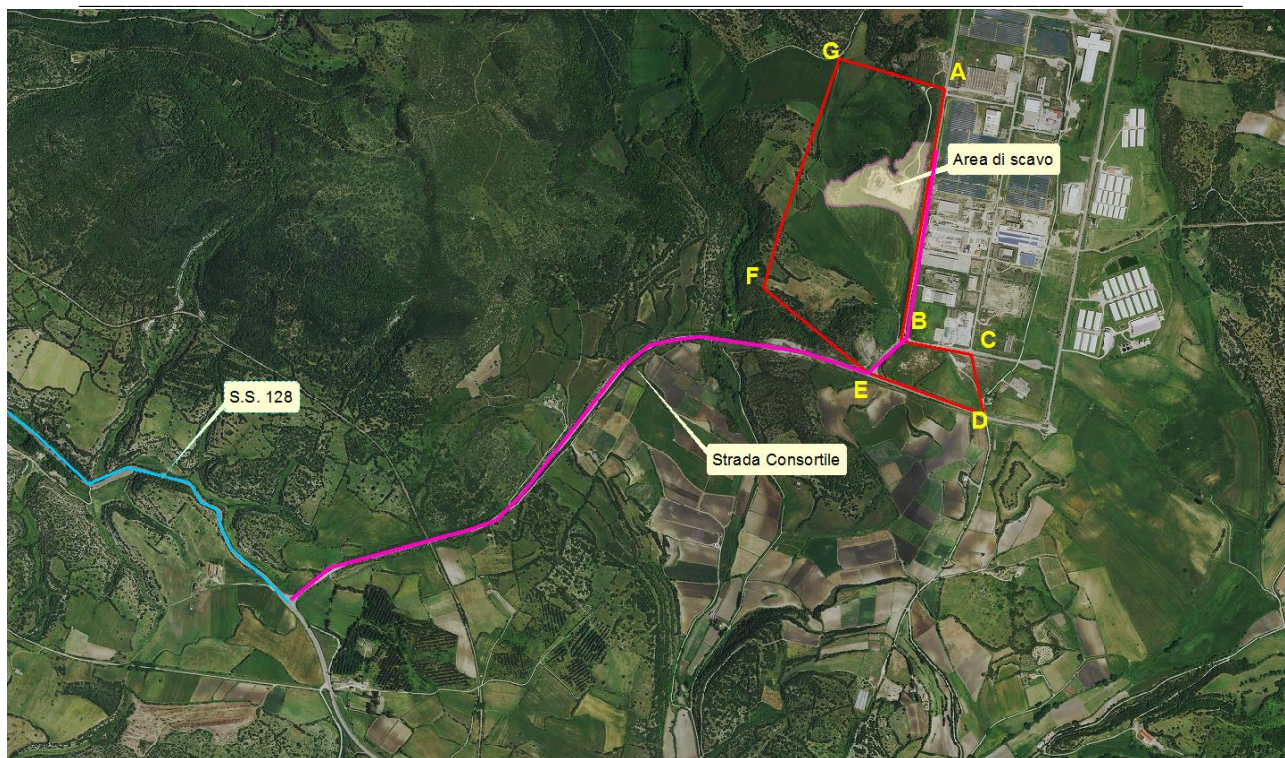
Figura 6: itinerario mezzi (in rosso direzione Cagliari, in ciano direzione Oristano e Porto Torres)

L'accesso alla S.S. 128 e Nurallao, è garantito dalla percorrenza di circa 3,4 Km della Strada Consortile.

Un altro accesso secondario in caso di necessità potrà essere reso disponibile dalla Strada Vicinale Mauru Marras dall'area di servizio n. 1 (parcheggio).

Si rimanda alla tavola di progetto della quale si riporta di seguito un apposito stralcio.

La viabilità indicata è idonea per il transito dei mezzi senza necessità di adeguamenti fatta eccezione per la Strada Mauru Marras verso la quale potranno essere effettuate a carico della proponente eventuali manutenzioni straordinarie previo accordo con il Comune di Isili, anche nell'ottica di una futura fattiva collaborazione con L'Ente al quale la Società proponente ha espresso la propria disponibilità anche per interventi di compensazione ambientale.



**Figura 7: percorrenza area consortile - S.S. 128**



**Figura 8: itinerario di accesso alla miniera**

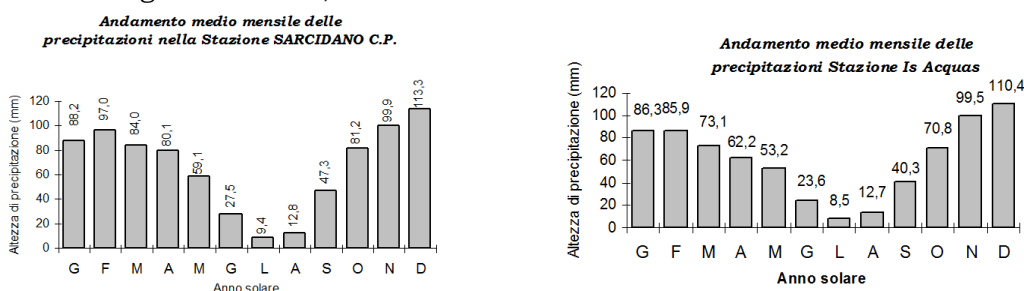
## CARATTERISTICHE METEOCLIMATICHE DEL SETTORE

L'analisi climatologica è stata condotta attraverso lo studio delle variabili termo-pluviometriche registrate nelle stazioni presenti nel territorio di Isili.

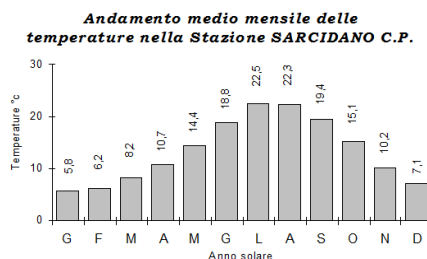
### *Pluviometria, termometria e relazioni.*

L'analisi delle condizioni pluviometriche del settore è stata eseguita utilizzando i dati rilevati dal SISS nelle diverse stazioni pluviometriche ricadenti nel territorio che presenta una vasta estensione in direzione N-S. Si è fatto quindi riferimento alla "Stazione "Sarcidano localizzata ad una altimetria di 699 m. s.l.m. e sia ai dati rilevati nella stazione pluviometrica di "Is Acquas" posta ad una altimetria di 450 m. s.l.m.. Partendo da questi dati, ottenuti dalle medie di quasi 70 anni di osservazione nelle prime due stazioni, è stato possibile calcolare il valore medio annuale delle precipitazioni che raggiunge rispettivamente, nelle stazioni indicate, i 794.3 e 722,8. L'andamento medio delle precipitazioni evidenzia che i mesi più piovosi risultano in genere Novembre, Dicembre, mentre il mese meno piovoso è Luglio.

Per lo studio delle condizioni termiche della zona sono stati utilizzati i dati relativi alla temperatura media mensile rapportata quasi a 70 anni di osservazioni e riferita alla stazione termometrica "Sarcidano" Tali dati, si ritengono rappresentativi dell'intero territorio. La temperatura media annuale è valutabile in 14°C. Il massimo valore della temperatura media si registra nei mesi di Luglio e Agosto con valori di 23.4 °C e 23.0 °C; il minimo valore della temperatura media a gennaio con 6,4 °C.



**Figura 9: andamento medio mensile delle precipitazioni**



**Figura 10: andamento medio mensile delle temperature**

Al fine di caratterizzare al meglio l'andamento climatico del settore, a cui è connesso in parte il comportamento reologico anche dei terreni e delle falde idriche superficiali, può rivestire una certa utilità l'andamento comparato dei due fondamentali elementi climatici già descritti: *la temperatura e le precipitazioni*. A tal fine si è proceduto al calcolo dell'*indice di Aridità (I<sub>a</sub>)*, adottando la formula di *De Martonne* in quanto risulta la più adatta per regioni con clima mediterraneo alle quali la zona studiata può ascriversi.

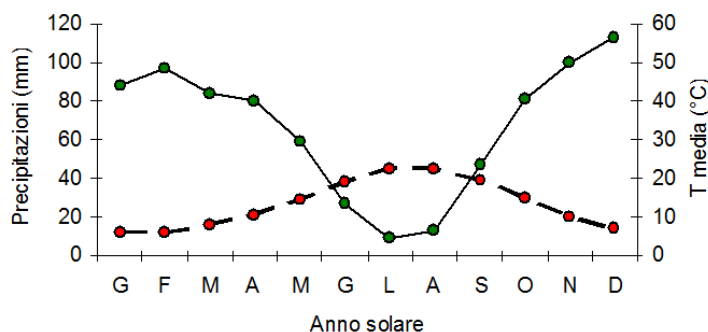
Per la stazione Sarcidano C.P. si hanno i seguenti valori di *I<sub>a</sub>*:

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
66.99	71.85	55.38	46.43	29.06	11.46	3.47	4.75	19.31	38.82	59.35	79.50

**Figura 11: indice di aridità**

Dai dati riportati si evince chiaramente che l'area in esame risente di un marcato periodo di aridità (indice inferiore a 10 o prossimo a tale valore) nei mesi di Giugno, Luglio, Agosto. Tale periodo di aridità è evidenziato graficamente nel diagramma ombro-termico. Tale diagramma, attraverso la larghezza dell'intervallo tra le due curve, evidenzia sia i periodi in cui si ha un prevalere delle precipitazioni sui consumi dovuti all'evapotraspirazione che i periodi in cui le perdite per evapotraspirazione superano gli afflussi. La stagione siccitosa, rappresentata dall'area racchiusa tra le due curve, inizia a giugno e termina a settembre. Durante questo periodo, pressoché tutta l'acqua che cade sul terreno evapora rapidamente a causa dei complessi fenomeni legati all'evapotraspirazione. Dall'andamento delle due curve si nota che l'alta temperatura atmosferica nei mesi estivi contribuisce a smaltire attraverso l'evapotraspirazione la quasi totalità delle acque superficiali.

**Rapporto tra stagione piovosa e siccitosa  
(Diagramma ombrotermico secondo Bagnouls-Gaussen)**



**Figura 12: diagramma ambrotermico**

Per ciò che concerne la localizzazione in relazione alle piogge brevi e intense si osserva che l'area ricade nella sottozona 1 o al limite tra la sottozona 1 e 2, i cui parametri della curva di possibilità climatica sono riportati nelle figure successive. La valutazione della precipitazione critica si può ottenere mediante l'uso delle formule ricavate da Cao, Pazzaglia e Puddu † e riviste poi da Puddu † (Università di Cagliari) e da Liguori e Piga, ottenute mediante l'elaborazione statistica di tutti i dati delle precipitazioni intense di durata compresa fra 5 minuti primi e un giorno, registrate dalla rete pluviometrica regionale. Vengono suddivise la stazioni pluviometriche della Sardegna in 4 gruppi a ciascuno dei quali corrispondono differenti curve segnalatrici. L'espressione matematica di tali curve di possibilità pluviometrica è la seguente:

$$h_{tc} = h_1 \cdot t_c^{(a+b \cdot u)} \quad \text{dove} \quad \log(h_1) = c + d \cdot u$$

Nelle precedenti espressioni  $h_1$  rappresenta la pioggia critica di durata oraria, espressa in mm/ora,  $h_{tc}$  rappresenta la pioggia critica di durata  $t_c$  ore, espressa in mm, mentre  $u$  rappresenta il frattile della distribuzione normale standardizzata. Poiché il valore di  $u$  è funzione della probabilità  $o$ , che è lo stesso, del periodo di ritorno, le espressioni precedenti consentono di ricavare l'altezza di precipitazione critica relativa ad un evento avente un prefissato periodo di ritorno.

SZO	Durata ≤ 1 ora	Durata > 1 ora
Sottozona 1	$a=0.46420+1.0376*\text{Log} (T)$	$a=0.46420+1.0376*\text{Log} (T)$
	$n=-0.18488+0.22960*\text{Log}(T)- 3.3216*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=-1.0469*10^{-2}-7.8505*10^{-3} \text{ Log} (T)$
Sottozona 2	$a=0.43797+1.0890*\text{Log} (T)$	$a=0.43797+1.0890*\text{Log} (T)$
	$n=-0.18722+0.24862*\text{Log}(T)- 3.36305 *10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=-6.3887*10^{-3}-4.5420*10^{-3} * \text{Log} (T)$
Sottozona 3	$a=0.40926+1.1441*\text{Log} (T)$	$a=0.40926+1.1441*\text{Log} (T)$
	$n=-0.19060+0.264438*\text{Log}(T)- 3.8969 *10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=1.4929*10^{-2}+7.1973*10^{-3} * \text{Log} (T)$

Figura 13: parametri della curva di possibilità climatica

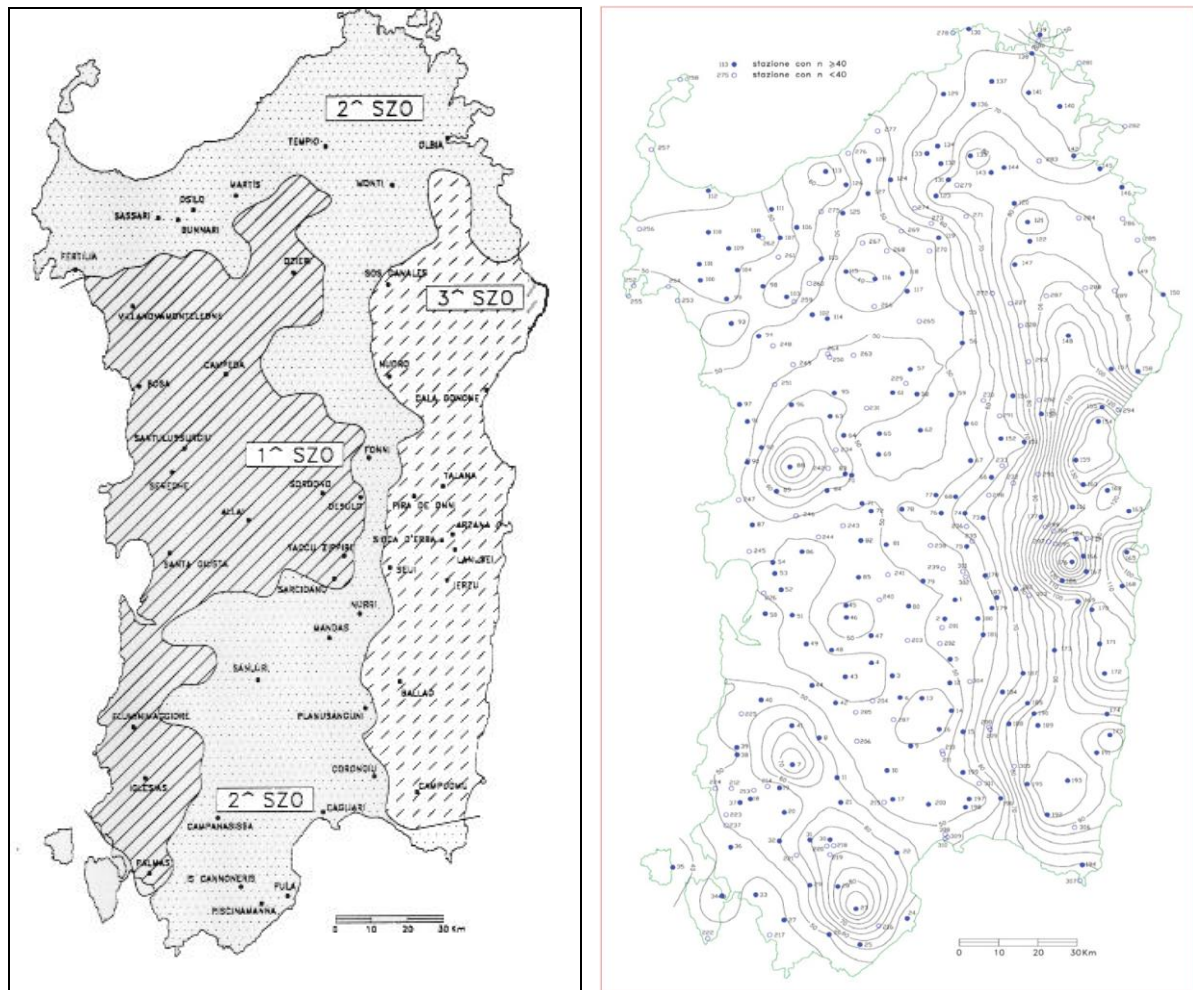


Figura 14: sottozone omogenee per piogge brevi ed intense

I valori dei parametri “a”, “b”, “c” e “d” delle curve di possibilità pluviometrica, rideterminati da Liguori e Piga nello studio “CAO C, PIGA E, SALIS M, SECHI G. M., Valutazione delle Piene in Sardegna-Rapporto Regionale, CNR-GNDICI.1991” sono i seguenti:

Parametri →	a	b	c	D
<b>Gruppo</b>				
<b>Pluviometrico</b>				
↓				
I° gruppo	0,305041	-0,017147	1,273178	0,179732
II° gruppo	0,359696	-0,017941	1,296212	0,167488
III° gruppo	0,418212	0,009093	1,379048	0,164598
IV° gruppo	0,497207	0,041251	1,460774	0,191832

In relazione alle piovosità critiche è stata considerata la serie storica di precipitazioni della stazione di Isili.

Si sono rilevate alcune giornate critiche nelle quali le precipitazioni di forte intensità hanno raggiunto valori superiori ai 70 mm/giorno nelle seguenti giornate:

Data	Precipitazione in mm
09/06/1953	71
23/11/1961	94
21/12/1976	105

#### Ventosità

Non si rinvenivano dati ufficiali relativi ai valori di ventosità provenienti da una stazione di misura presente in situ. Per ciò che concerne la pressione del vento si osserva che l'area è inserita nella zona 5; eventuali verifiche relative dovranno essere eseguite determinando, oltre alla pressione cinetica di riferimento, il coefficiente di esposizione, coefficiente di forma e coefficiente dinamico. Pur tuttavia, ai fini della realizzazione dell'opera risulta importante la definizione degli aspetti relativi alla ventosità in relazione alla dispersione di eventuali polveri.



Zona	Descrizione	$v_{ref0}$ (m/s)	$a_0$ (m)	$K_a$ (1/s)
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0.012
2	Emilia Romagna	25	750	0.024
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0.030
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0.030
5	Sardegna (zona ad oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola di Maddalena)	28	500	0.024
6	Sardegna (zona ad occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola di Maddalena)	28	500	0.030
7	Liguria	29	1000	0.024
8	Provincia di Trieste	31	1500	0.012
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0.030

Figura 15: parametri di riferimento per il calcolo della pressione del vento

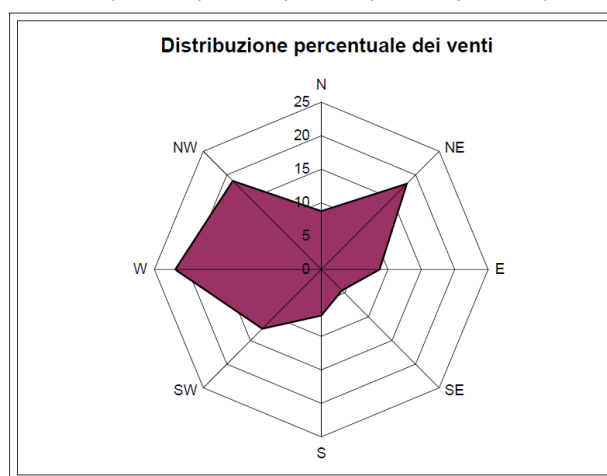
Circa i dati di ventosità, non essendoci parametri di riferimento per il territorio in esame, si sono riportati quelli relativi a diverse stazioni, mediando i cui valori si possono ottenere indicazioni sul regime anemometrico locale.

#### **Frequenze percentuali dei venti**

(\*) Stazione di Oristano (altitudine 28 m slm) periodo 1941-1950

(\*\*) Stazione di Oristano (altitudine 19 m slm) periodo 1959-1961

Stazione	Altitudine	Periodo oss.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calme
Oristano [1]	18		4	18	5	4	6	13	20	9	21
Oristano [2]	19		10	11	9	3	5	7	15	21	19
Elmas [1]	26		10	2	5	12	11	2	10	32	16
Elmas [2]	12		13	2	4	12	16	3	12	30	8
Fonni [1]	1000		6	6	6	5	6	13	25	5	18
Fonni [2]	986		2	5	5	4	3	9	32	8	32
Monte Serpeddi	1048	1959-1961	2	6	12	7	8	11	38	9	7



**Figura 16: parametri relativi alla ventosità**

## **MODELLO GEOLOGICO**

### **CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE GENERALI DEL SETTORE**

L'evoluzione geomorfologica della regione è il risultato della combinazione dei processi di natura endogena ed esogena e come tale è quindi influenzata dalla struttura geologica, intesa, sia come caratteristiche mineralogico-petrografiche delle rocce, sia come giacitura e diversa competenza in relazione alla resistenza che esse oppongono agli agenti di modellamento.

La morfologia ricalca pertanto fedelmente la distribuzione areale e i caratteri giaciturali delle formazioni geologiche predominanti rappresentate dal potente complesso carbonatico dolomitico mesozoico e da quello vulcano-clastico terziario.

Il primo complesso geomorfico è rappresentato dalle aree di affioramento dei litotipi calcareo-dolomitici mesozoici del settore settentrionale ed orientale dell'agglomerato industriale. Non si rileva quindi nell'area di intervento se non nel settore Nord verso il Monte Maggiore oppure nel settore Sud verso l'incrocio posto in corrispondenza del vertice E dell'area richiesta in concessione.

Il complesso geomorfico delle dolomie, laddove visibile nel settore indicato si presenta come una superficie strutturale sub-orizzontale (serie del Tacco) in cui le quote degradano leggermente in direzione N-S seguendo l'immersione degli strati.

L'altitudine media è di ca. 540 m. s.l.m. La continuità di questi versanti tabulari del Tacco è interrotta, a tratti, dalla emersione delle testate di bancata di strato che talvolta formano delle scarpate a gradinata di altezza modesta.

I processi geomorfici agenti in tale settore e che determinano il modellamento del rilievo sono comunque prevalentemente riconducibili a fenomeni erosivi di tipo carsico (anche se in fase di evoluzione molto lenta) e subordinatamente a quelli di dilavamento superficiale dovuti al ruscellamento diffuso. Questo complesso geomorfico si presenta abbastanza stabile dal punto di vista della pericolosità geomorfologica sia per le caratteristiche dei litotipi affioranti che per la conformazione del rilievo.



**Figura 17: sullo sfondo, forme tabulari associate alle dolomie giuresi**

Il secondo complesso geomorfico è rappresentato dalle aree di affioramento della successione sedimentaria vulcano-clastica terziaria ed interessa l'area in argomento.

Tale complesso è quello nel quale di fatto avviene la coltivazione dei livelli bentonitici. In essa prevalgono le forme dolci e arrotondate che danno luogo a delle superfici estese sub-

pianeggianti con locali emersioni di banchi rocciosi più resistenti (livelli arenaceo-conglomeratici) in corrispondenza delle piccole rotture di pendio concave.



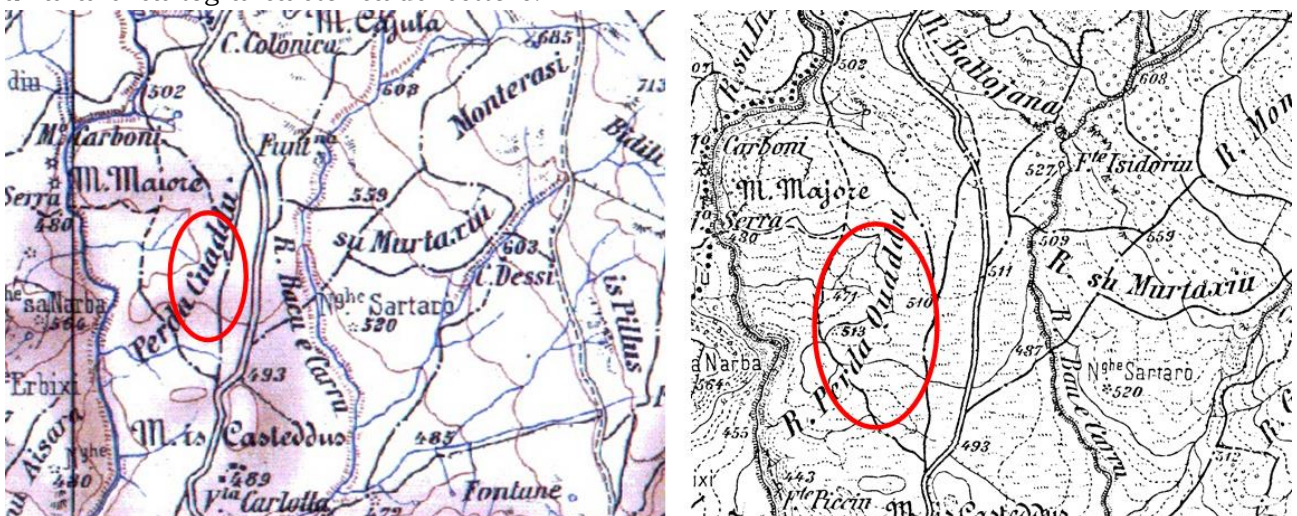
**Figura 18: forme dolci ed arrotondate dei rilievi oligomiocenici**

I processi erosivi che agiscono su tale complesso sono comunque prevalentemente riconducibili a fenomeni di dilavamento per effetto delle acque meteoriche. Il ruscellamento superficiale che agisce su terreni poco coerenti e facilmente erodibili determina infatti la formazione di solchi di erosione concentrata nei quali si riversano anche le acque provenienti dai canali di drenaggio della zona industriale.

Si ricordano infine i processi geomorfici di natura antropica riconducibili alle diverse attività di scavo e di riporto e a quelle di costruzione delle opere infrastrutturali connesse all'attività industriale passata ed attuale dove spiccano i modellamenti operati con i riporti.

Tali attività hanno infatti sconvolto totalmente l'assetto idrogeologico e geomorfologico del settore con la creazione di pieni e vuoti legati al movimento di terra.

Per rappresentare ed analizzare le modificazioni antropiche del settore è stata effettuata un'analisi cartografica storica del settore.

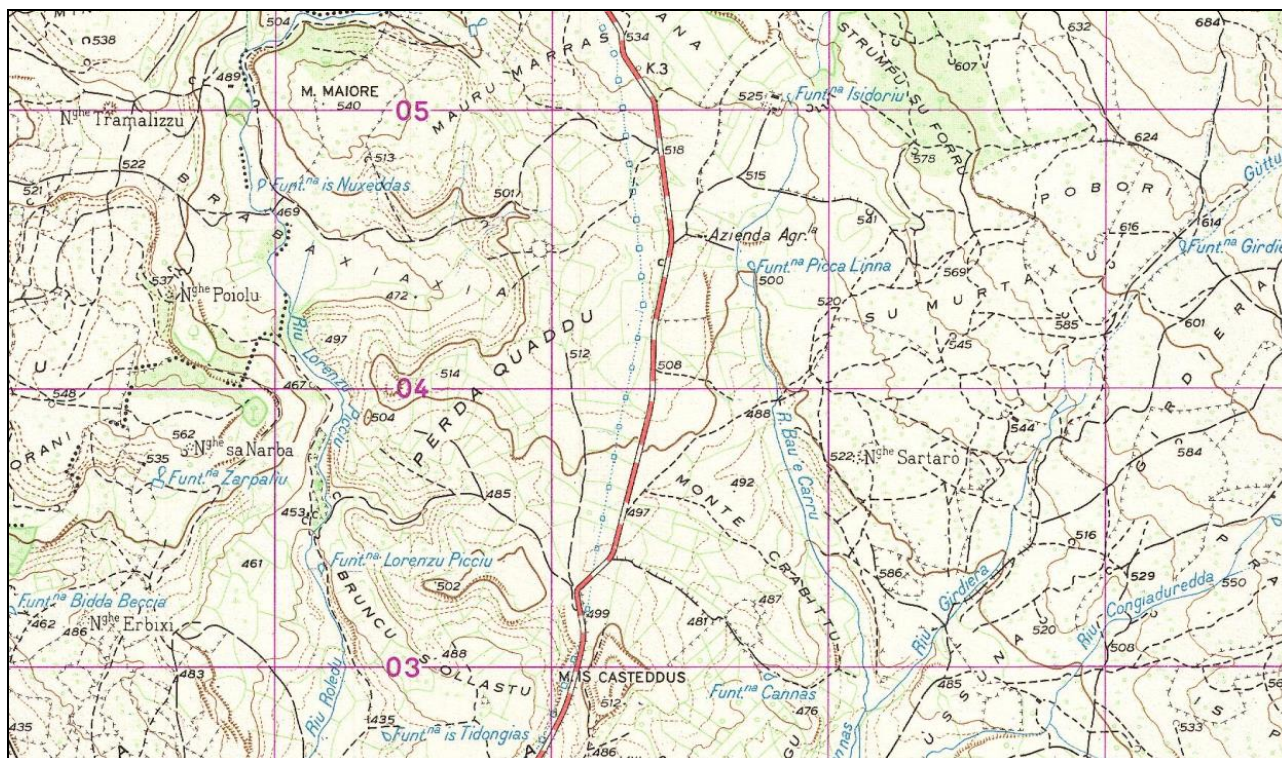


**Figura 19: situazione topografica locale nell'anno 1966 ca. a sinistra e 1900 ca. a destra**

Dall'analisi della cartografia storica emerge che l'infrastrutturazione è comunque avvenuta dopo la redazione della Cartografia d'Italia e quindi con ogni probabilità intorno agli anni 70 (nel 1977 la situazione dei luoghi appare già infrastrutturata) mentre nel 1968 non si rilevano ancora tracce di infrastrutturazione. Sino ad allora il sistema geomorfologico locale appare ben definito e ancora naturale con una morfologia prevalentemente di tipo collinare subpianeggiante e aste di drenaggio ben delineate. L'esame iniziale dell'ortofoto di riferimento della C.T.R. 1:10.000 (1977) e della cartografia I.G.M.I. datata 1992 evidenziano che a partire dagli anni 70 è iniziata una forte infrastrutturazione che ha modificato sostanzialmente le caratteristiche geomorfologiche del sito, in parte anche del settore Nord – Est dell'area richiesta in concessione.



**Figura 20:** La ciminiera ormai abbattuta che sino a pochi anni fa era il simbolo della zona industriale di Isili

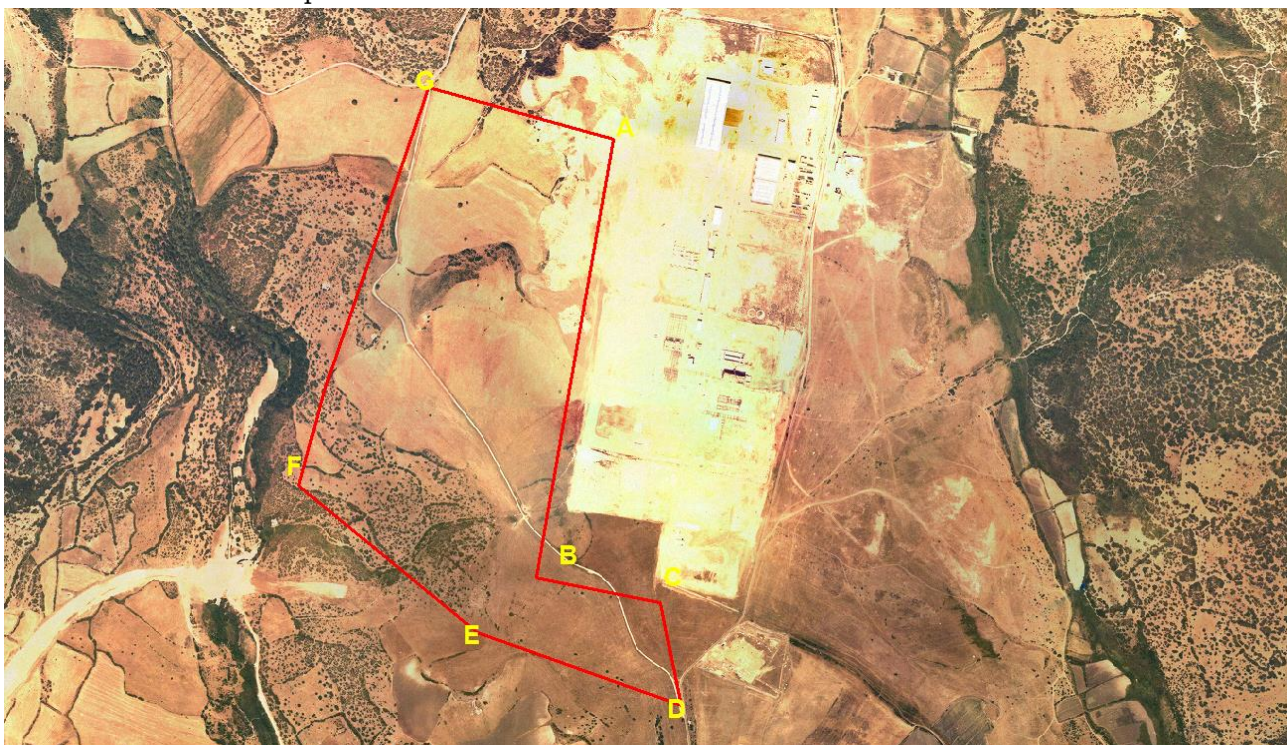


**Figura 21:** I.G.M. anno 1963



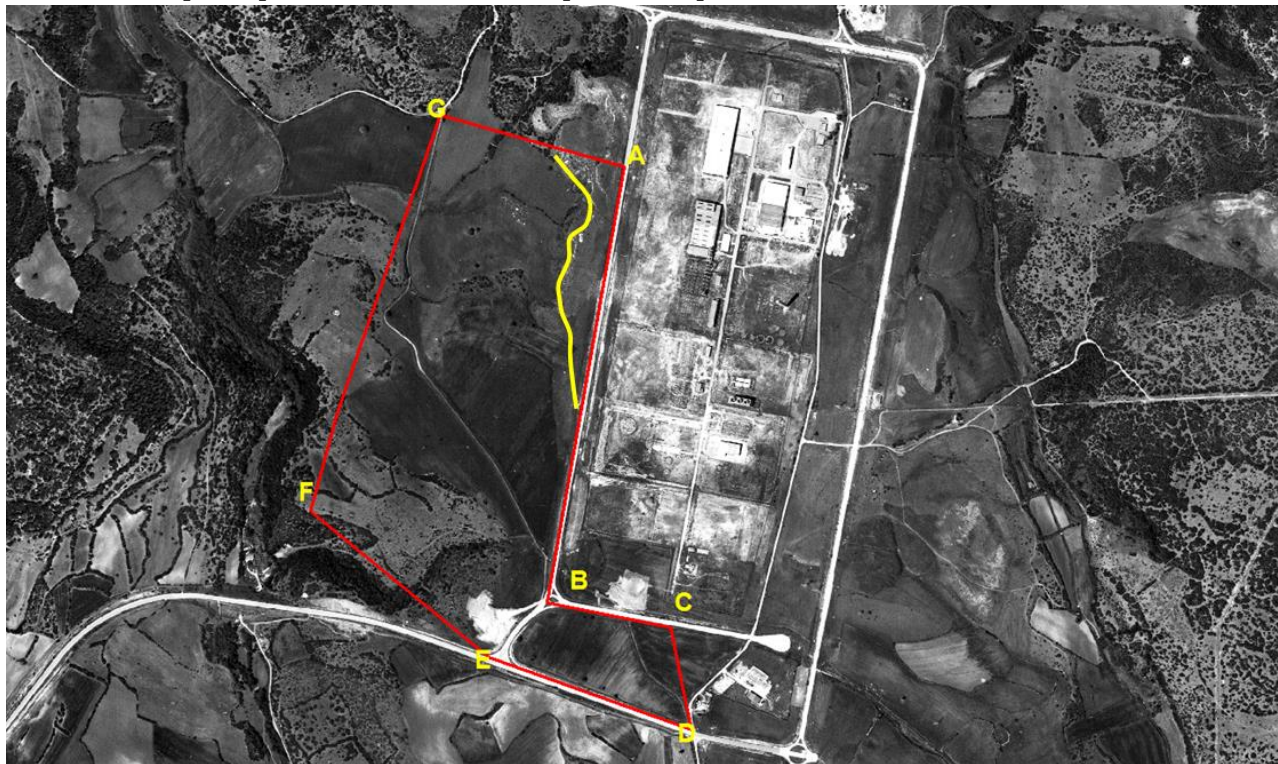
**Figura 22: ortofoto dell'anno 1968**

Il settore compreso tra le due aste di deflusso principali del Rio Sarcidano a Ovest e Rio Bau e Carru ad Est, viene infatti interamente modellato e l'assetto morfologico e idrogeologico del settore subisce comunque variazioni sostanziali che portano i deflussi, sino ad allora circolanti in maniera diffusa e solo localmente incanalata sulle superfici impermeabili argillose del substrato, ad essere incanalati superficialmente verso le due aste citate.



**Figura 23: ortofoto dell'anno 1977**

Nell'ortofoto dell'anno 1999 è evidente l'abbandono dell'area industriale e sono ben visibili le aree di riporto che erano state interessate dal movimento terra (in giallo nella figura che segue) e aree di scavo per il prelievo di inerti come quella compresa tra i vertici B ed E



**Figura 24:** ortofoto dell'anno 1999



**Figura 25:** area di scavo per prelievo inerti tra i vertici B ed E

Dall'analisi delle ortofoto si osserva che il settore ha risentito di una forte infrastrutturazione intorno alla seconda metà degli anni 90 e inizio 2000, anche in funzione delle forti agevolazioni finanziarie che hanno portato numerose imprese ad investire nel settore che si presentava in stato di totale abbandono. L'ortofoto dell'anno 2003 riporta quindi una situazione di

infrastrutturazione del comparto con la costruzione di nuovi capannoni e l'insediamento all'interno dell'area industriale, di numerose attività produttive.

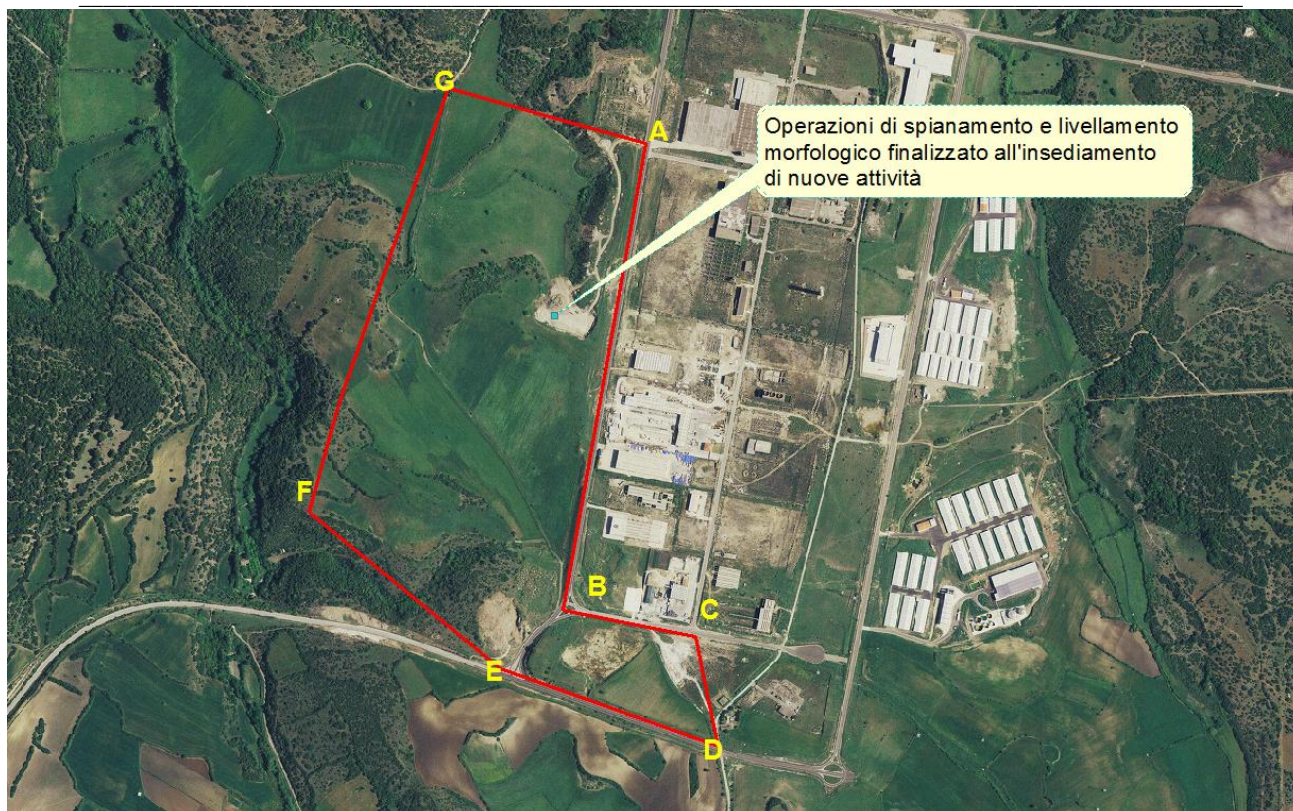


**Figura 26: nuovi e vecchi capannoni dei primi anni 2000**

All'interno dell'area richiesta in concessione permane tuttavia una situazione immutata fatta eccezione per l'apertura di scavi sul lato prossimo alla linea di congiunzione tra i vertici A e B, dove ebbero inizio le operazioni connesse allo spianamento per la preparazione dei lotti orientali. Tale situazione appare ancora meglio delineata anche con riferimento all'ortofoto dell'anno 2006 dove le operazioni di spianamento erano nel frattempo proseguite in parte del comparto a Ovest di quello già infrastrutturato. Sul lato Est della zona industriale prende nel frattempo corpo l'allevamento zootecnico intensivo di suini.



**Figura 27: allevamento zootecnico dei suini esistente intorno al 2006.**



**Figura 28; ortofoto dell'anno 2006**

La situazione rimane immutata sino a circa il 2012 – 2013 dove gran parte del settore industriale viene colmato con la posa di pannelli fotovoltaici a terra per la produzione di energia elettrica.



**Figura 29: pannelli fotovoltaici installati in aree della zona industriale**



**Figura 30: ortofoto dell'anno 2013**



**Figura 31: operazioni di scavo- livellamento eseguito in passato**

All'interno dell'area richiesta in concessione mineraria le quote variano altimetricamente in relazione alla presenza di un limite posto a quota di circa 500 m. s.l.m. nella zona centrale dell'area richiesta. Sul lato Nord le quote degradano sino alla quota di circa 475 m. s.l.m. e ugualmente sul lato sud tendono a degradare sino alle medesime quote. Di seguito una serie di profili altimetrici che evidenziano la morfologia dell'area. I processi agenti di natura geomorfologica sono legati al debole ruscellamento diffuso che si verifica sulle aree a debole pendenza e a quello incanalato lungo i principali corsi d'acqua. Nell'area di scavo prevista, a partire dalla quota 501 m. s.l.m. non si rilevano situazioni ostative alla realizzazione degli scavi stante la mancanza di situazioni di pericolosità idrogeologica o zone instabili dal punto di vista gravitativo.

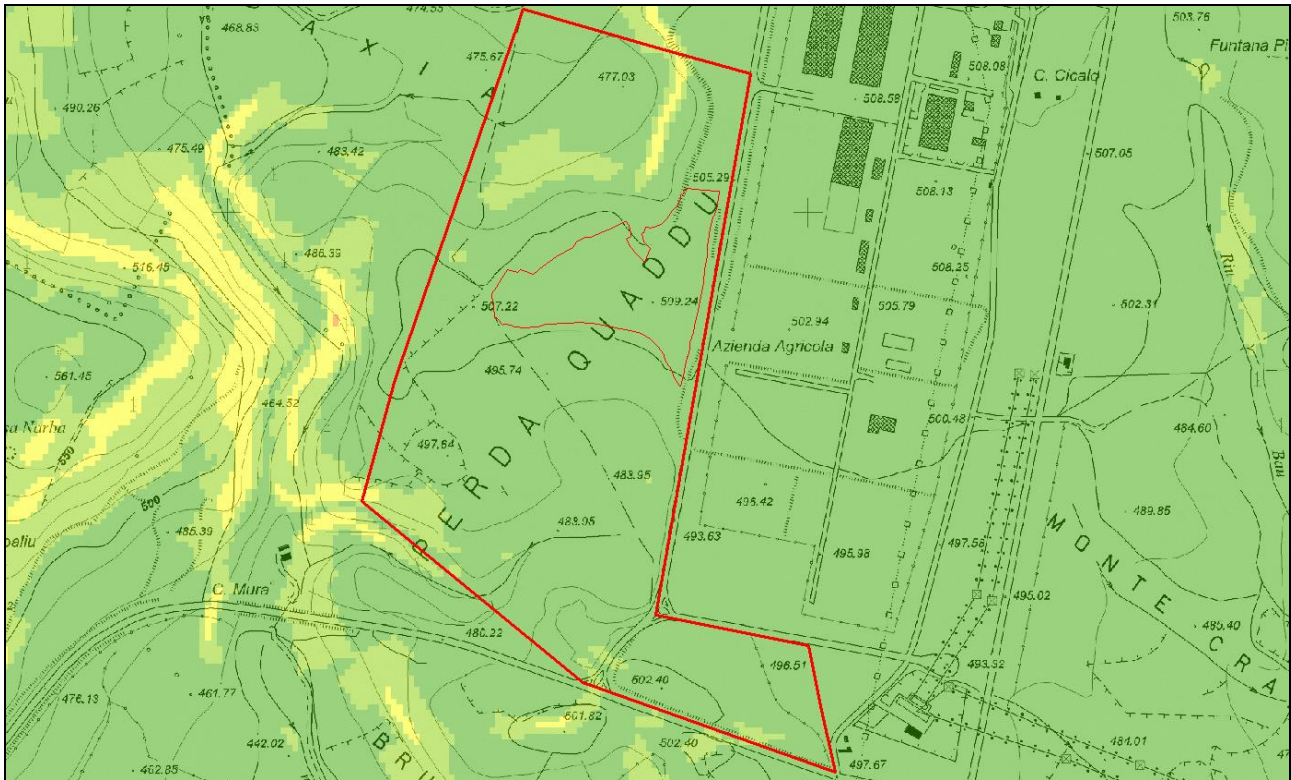


**Figura 32: profilo altimetrico passante per l'area di scavo ed orientato NNE-SSW**



**Figura 33: profilo altimetrico Est-Ovest - le quote degradano ad ovest verso la valle del Flumini Mannu**

Anche le pendenze del comparto sono lievi e contenute entro il 10%; solo verso la vallata del Flumini Mannu, ad ovest della zona di scavo, si hanno le rotture di pendio in corrispondenza delle bancate dolomitico-calcaree che talora si presentano anche con pareti ripide di altezza contenuta.



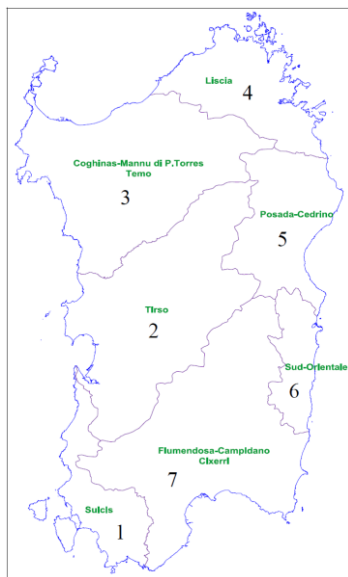
**Figura 34: acclività dell'area di intervento e della concessione mineraria**

Da quanto sopra si deduce che l'energia del rilievo è nel complesso bassa e che quindi il settore di intervento sia di fatto privo di significativi fenomeni geomorfologici che possano condizionare lo sviluppo delle opere in progetto. L'analisi delle ortofoto storiche ha permesso di verificare le trasformazioni del territorio avvenute nel tempo. Nell'area di intervento, da tale analisi non risultano significative variazioni fatta eccezione per l'area interessata dai movimenti di livellamento storici.

## PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Al fine di valutare la compatibilità anche in riferimento al quadro normativo, vengono riportate alcune considerazioni specie in merito al documento ufficiale di pericolosità e rischio idrogeologico della Regione Sardegna, ossia il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico nonché al Piano Stralcio delle Fasce Fluviali e del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni. Sono altresì riportate le relative considerazioni in merito alla pericolosità sismica e relativa classificazione dei suoli.

### - pericolosità idrogeologica



Il Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) individua le aree a rischio idraulico e di frana e ha valore di piano stralcio ai sensi della L. n° 183/89. Il PAI è stato adottato ed approvato dapprima in via preliminare (norme di salvaguardia) con DGR 54/33 del 30/12/2004 ed è stato approvato definitivamente con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 67 del 10/07/2006 con tutti i suoi elaborati descrittivi e cartografici.

Il Piano ha lo scopo di individuare e perimetrare le aree a rischio idraulico e geomorfologico, definire le relative misure di salvaguardia sulla base di quanto espresso dalla Legge n. 267 del 3 agosto 1998 e programmare le misure di mitigazione del rischio. Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale provinciale e comunale in quanto finalizzato alla salvaguardia di persone, beni, ed attività dai pericoli e dai rischi idrogeologici (Norme di Attuazione del PAI, Art. 4, comma 4). Le previsioni del Piano pertanto producono effetti sugli usi del territorio e delle risorse naturali e sulla pianificazione urbanistica

anche di livello attuativo, nonché su qualsiasi pianificazione e programmazione territoriale insistente sulle aree di pericolosità idrogeologica (N.A. PAI, art. 6).

Le Norme di Attuazione del PAI prescrivono che i Comuni e le altre Amministrazioni interessate, provvedano a riportare alla scala grafica della strumentazione urbanistica vigente i perimetri delle aree a pericolosità idraulica Hi e geomorfologica Hg e delle aree a rischio idraulico Ri e geomorfologico Rg, e ad adeguare contestualmente le norme dello strumento urbanistico (N.A. PAI, Art. 4, comma 5).

Prevedono inoltre che nell'adeguamento della pianificazione comunale vengano delimitate le aree di significativa pericolosità idraulica e geomorfologica non perimetrata in precedenza dal PAI (N.A. PAI, Art. 26). Indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal PAI, i Comuni, in base all'articolo 8 comma 2, devono produrre appositi studi di assetto idrogeologico riferiti all'intero territorio comunale, approvato dall'Autorità Idraulica competente per territorio, integrandolo negli atti di Piano che costituiranno oggetto della verifica di coerenza (art.31 commi 3, 5 L. R. n. 7/02).

Gli ambiti di riferimento del Piano sono i sette Sub-Bacini individuati, all'interno del Bacino Unico Regionale, ognuno dei quali è caratterizzato in generale da una omogeneità geomorfologica, geografica e idrologica: Sulcis, Tirso, Coghinna-Mannu-Temo, Liscia, Posada – Cedrina, Sud-Orientale, Flumendosa-Campidano-Cixerri.

Per ciò che concerne le perimetrazioni dell'area si osserva che il settore di intervento ricade nel sub-bacino n° 7 – Flumendosa Campidano Cixerri, e **non è inserito in alcuna area di pericolosità idraulica o di frana. Non sono inoltre segnalate aree pericolose secondo il progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani).**

Le situazioni di pericolosità del P.A.I. riportate graficamente nelle tavole del P.A.I. B7hg001/69 (sub-bacino del Flumendosa-Campidano -Cixerri, e r034\_2 (sub bacino del Tirso), sono state inoltre descritte nella scheda di riferimento del P.A.I. n. B7FR077. Tale scheda, seppur citata, non è stata rintracciata all'interno del P.A.I. ufficialmente pubblicato.

La cartografia del P.A.I. ufficiale e attualmente vigente, era già stata inizialmente recepita dal PUC del Comune di Isili riportando graficamente i limiti e adeguando contestualmente le norme di Attuazione del P.U.C. a quelle del P.A.I. Pur tuttavia si osserva che, sebbene le zone di pericolosità siano comunque esemplificative e abbiano costituito un indirizzo operativo per l'applicazione delle norme tecniche in tutti questi anni, il Comune di Isili aveva ritenuto necessario, in ottemperanza della normativa, effettuare le corrette perimetrazioni con gli appositi studi di compatibilità geologica, geotecnica ed idraulica di cui agli art. 8 c. 2 del P.A.I. in sede di adeguamento del P.U.C. al P.P.R. ed al P.A.I.

Per i motivi anzidetti il comune di Isili ha proceduto ad adottare il P.U.C. in adeguamento al P.P.R. ed al P.A.I. dapprima nell'anno 2011 e successivamente ha provveduto a riadottare il medesimo atto nel mese di Aprile dell'anno 2014. Al P.U.C. era allegato lo studio di compatibilità idraulica e geologica geotecnica ex art. 8 c. 2 che è stato tra l'altro depositato nell'anno 2011 all'Agenzia del Distretto Idrografico ma senza che si sia giunti all'approvazione definitiva dello studio. Nel frattempo, è decaduto il PUC con tutti i suoi allegati in quanto non adottato ulteriormente allo scadere del terzo anno e con esso anche le perimetrazioni dello studio di compatibilità che avevano fatto quantomeno scattare le norme di salvaguardia sull'intero territorio comunale.

Nel 2015 con Delibera n. 2 del 17.12.2015, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino della Regione Sardegna ha approvato in via definitiva, per l'intero territorio regionale, ai sensi dell'art. 9 delle L.R. 19/2006 come da ultimo modificato con L.R. 28/2015, il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali. Tale Piano ha inserito alcune modifiche alla perimetrazione originaria del P.A.I. (la pericolosità idraulica non era stata individuata dal P.A.I. in alcun settore del territorio isilese) senza però effettuare alcun tipo di classificazione gravosa di pericolosità idraulica. L'intero settore del Flumini Mannu (Rio Sarcidano), adiacente all'area, è stato inserito nella fascia "C" geomorfologica senza che però siano stati eseguiti rilievi specifici di dettaglio atti a suddividere le zone di pericolosità interne alla stessa fascia. In ogni caso anche la suddetta fascia è esterna all'area in argomento come è dimostrato anche nella figura successiva.

Nell'ambito della pianificazione per la gestione del rischio idrogeologico, l'Autorità di Distretto Idrografico della Regione Sardegna (ADIS) ha pubblicato, e procede periodicamente alla revisione e all'aggiornamento, dei propri piani di gestione del rischio idrogeologico, ovvero il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), il Piano stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) e il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA).

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni della Sardegna (PGRA), è stato dapprima approvato con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 del 15/03/2016. In adempimento delle previsioni dell'art. 14 della Direttiva 2007/60/CE e dell'art. 12 del D.Lgs. 49/2010, con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 21/12/2021 è stato approvato il Piano di gestione del rischio di alluvioni anche per il secondo ciclo di pianificazione del PGRA.

Nell'area, secondo tale piano, si recepiscono le precedenti perimetrazioni del P.S.F.F. senza introdurre alcun ulteriore elemento di vincolo.

Di seguito si riportano le situazioni delle perimetrazioni del P.A.I. come indicate nel geoportale regionale ed aggiornate al dicembre del 2022. Dalle medesime si evince la mancanza di elementi di vincolo per il settore in argomento sia per la pericolosità idraulica che di frana



Figura 35: perimetrazione del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

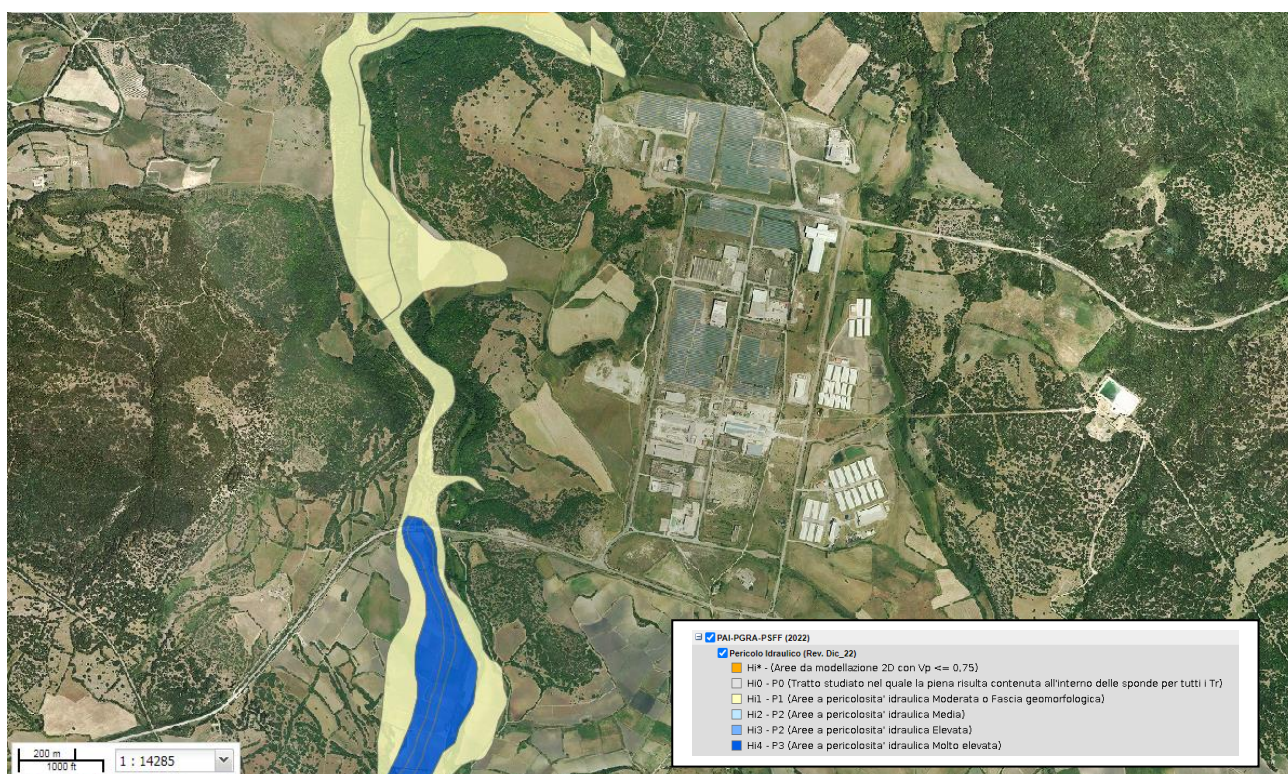
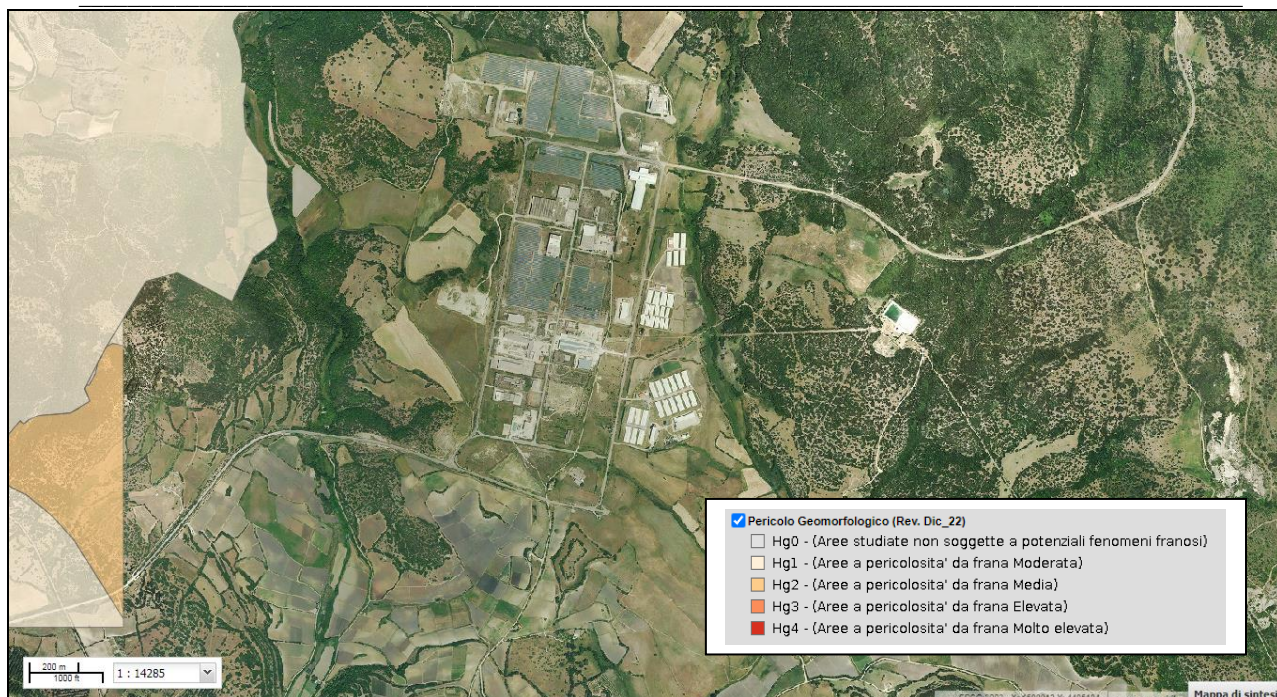


Figura 36: mappatura della pericolosità idraulica ((P.A.I. - P.S.F.F. - P.G.R.A.) dell'area vasta

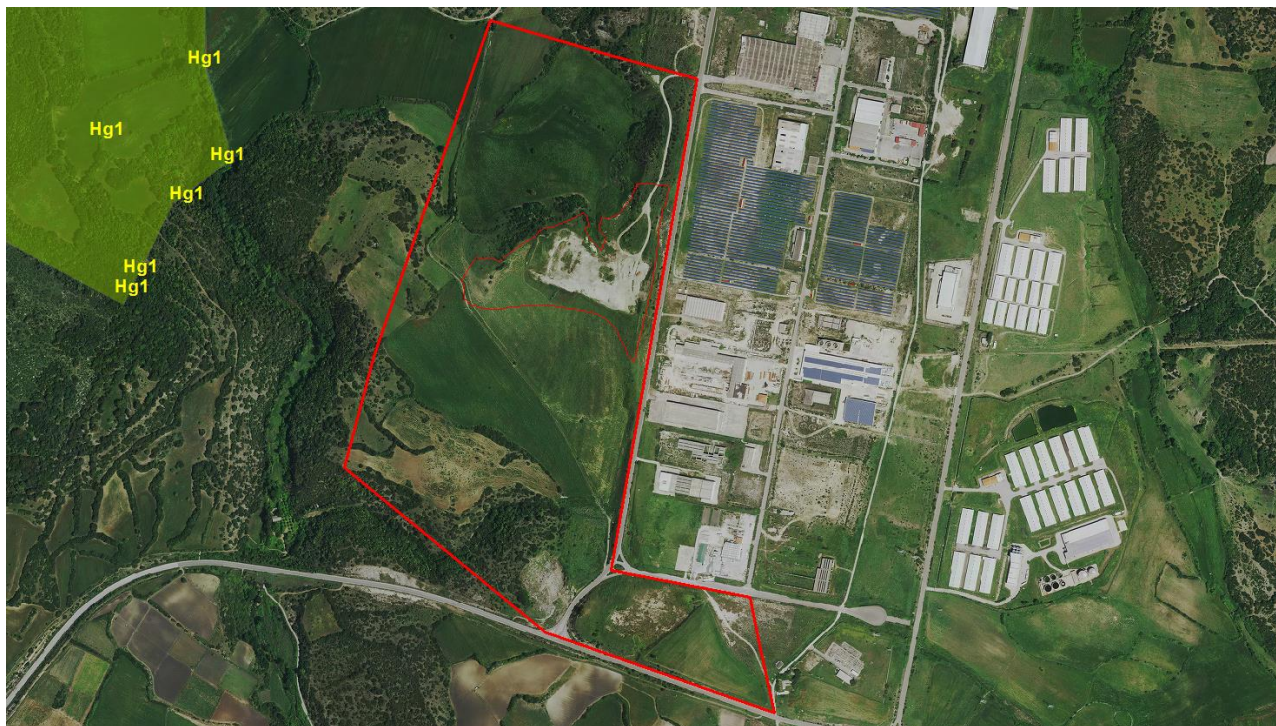


**Figura 37: mappatura pericolosità da frana dell'area vasta**

Di seguito l'elaborazione GIS con indicazione delle aree a pericolosità idraulica con riferimento alle perimetrazioni Hi e Hg.



**Figura 38: pericolosità idraulica in rapporto alle aree di concessione e di scavo**



**Figura 39: pericolosità di frana in rapporto alle aree di concessione e di scavo**

Non si rilevano aree a pericolosità elevata o molto elevata di frana neanche con riferimento al recente Schema di attività finalizzate all'adozione preliminare della variante generale del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) – parte frane, relativa allo studio di dettaglio e approfondimento del quadro conoscitivo della pericolosità e del rischio da frana nei SUB BACINI 1 (SULCIS), 2 (TIRSO), 4 (LISCIA), 5 (POSADA-CEDRINO), 6 (SUD-ORIENTALE), 7 (FLUMENDOSA – CAMPIDANO-CIXERRI di cui alla deliberazione n. 18 del 27/12/2022 del Comitato Istituzionale.

L'attività eseguita in tale processo iniziale di pianificazione prevede un processo di revisione ed approfondimento del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) vigente quale piano territoriale di settore, al fine di definire una maggiore e accurata conoscenza delle problematiche di dissesto, con particolare riferimento alle aree non ancora indagate o che nel frattempo, a decorrere dalla prima stesura del P.A.I., sono state oggetto di varianti specifiche o a seguito di sopravvenuti eventi di dissesto che hanno prodotto uno stato di criticità.

Di seguito la carta della pericolosità di frana secondo la previsione della revisione del P.A.I. citata e potenzialmente prossima all'adozione definitiva da parte del C.I.

Si noti come alcuni settori siano inseriti al massimo in zona Hg2.

Si precisa che la suddetta tavola non produce effetti vincolistici in quanto l'adozione del suddetto studio da parte della Regione non introduce alcuna norma di salvaguardia per l'applicazione delle Norme di Attuazione del P.A.I.

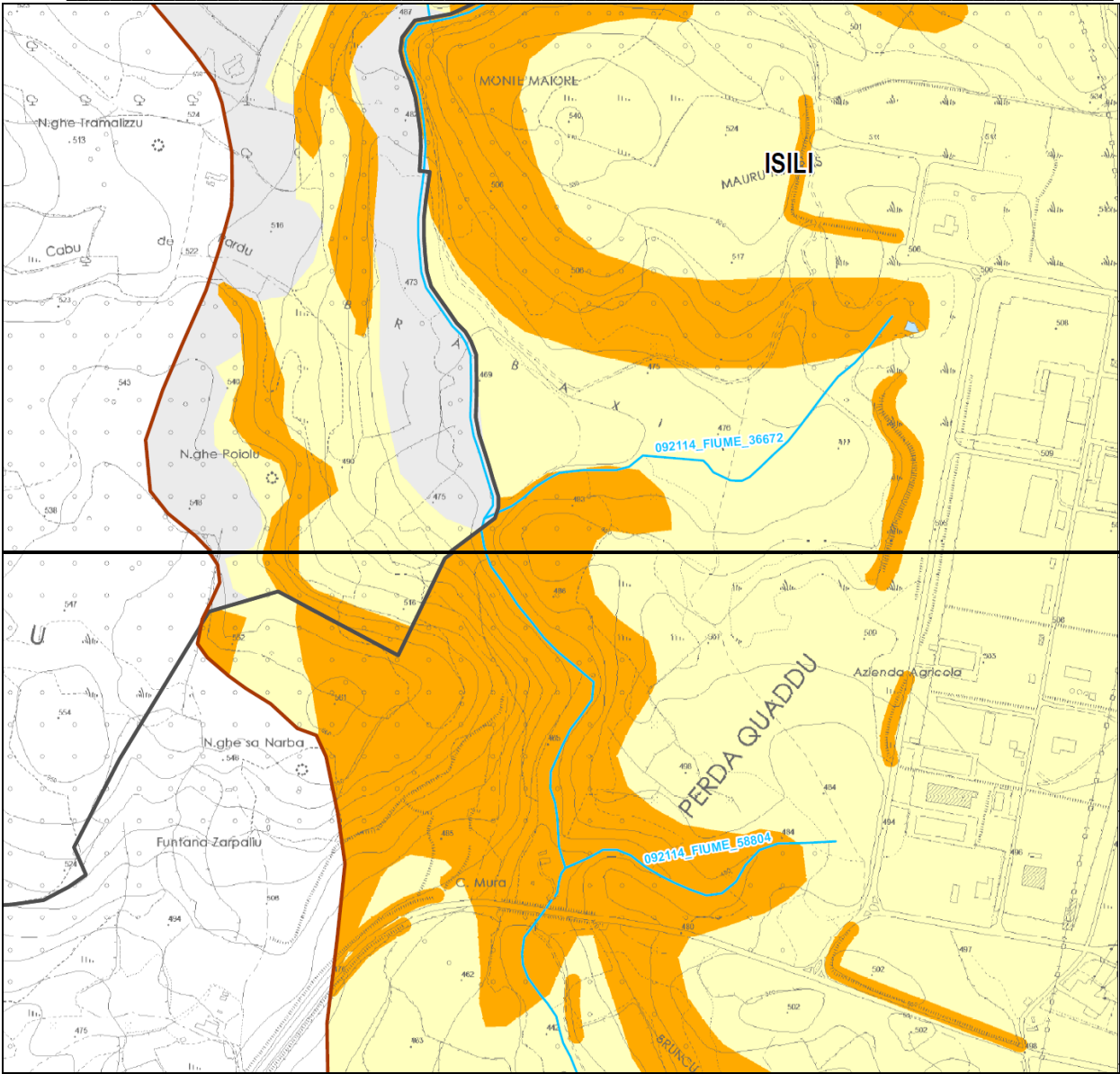


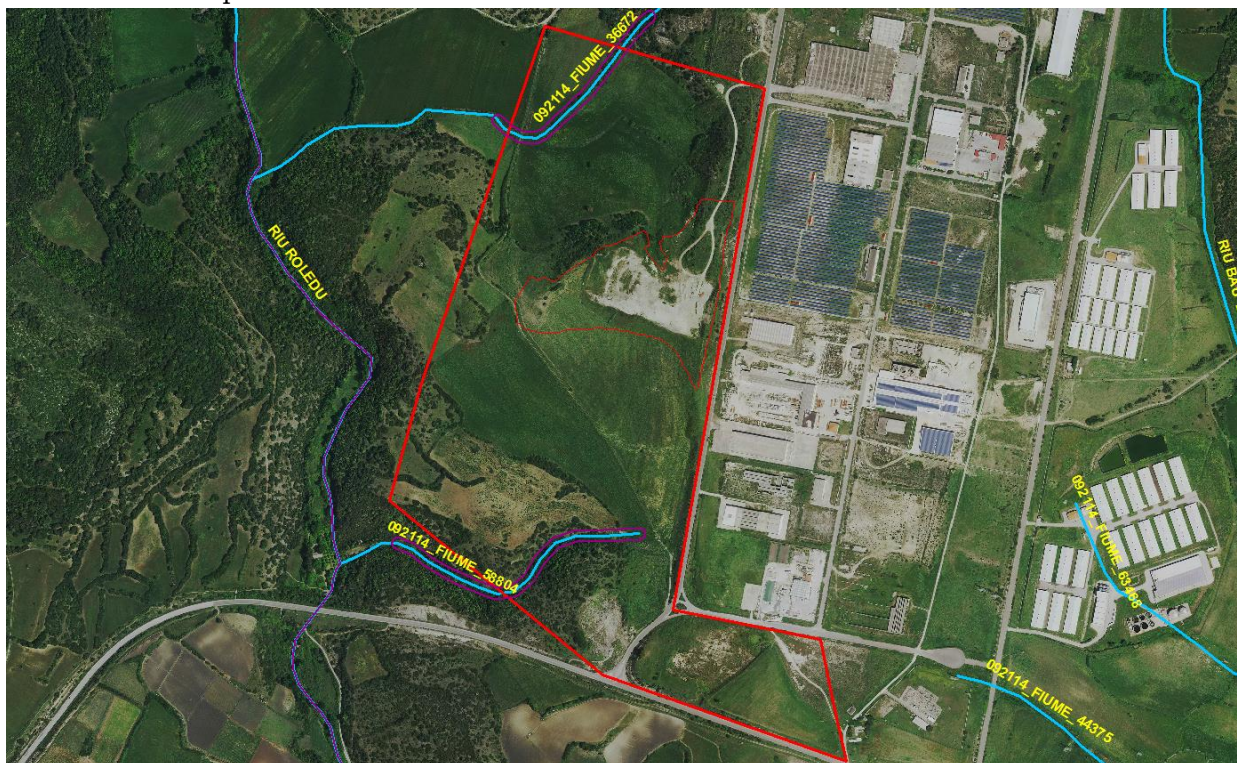
Figura 40: pericolosità di frana nel settore secondo lo schema di revisione del P.A.I.

PERICOLOSITA' DA FRANA		
Classe	Intensità	Descrizione
Hg0	Nulla	Aree studiate non soggette a potenziali fenomeni franosi
Hg1	Moderata	I fenomeni franosi presenti o potenziali sono marginali
Hg2	Media	Zone in cui sono presenti solo frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici (asseti di equilibrio raggiunti naturalmente o mediante interventi di consolidamento) zone in cui esistono condizioni geologiche e morfologiche sfavorevoli alla stabilità dei versanti ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi
Hg3	Elevata	Zone in cui sono presenti frane quiescenti per la cui riattivazione ci si aspettano presumibilmente tempi pluriennali o pluridecennali; zone di possibile espansione areale delle frane attualmente quiescenti; zone in cui sono presenti indizi geomorfologici di instabilità dei versanti e in cui si possono verificare frane di neoformazione presumibilmente in un intervallo di tempo pluriennale o pluridecennali
Hg4	Molto elevata	Zone in cui sono presenti frane attive, continue o stagionali; zone in cui è prevista l'espansione areale di una frana attiva; zone in cui sono presenti evidenze geomorfologiche di movimenti incipienti

Figura 41: legenda della Carta della pericolosità di frana della figura che precede

Nell'area di scavo non si rilevano fasce di tutela dei corpi idrici superficiali di cui all'art. 30 ter delle norme di attuazione del P.A.I. sebbene nell'area interna alla concessione si rilevi la

presenza di due corpi idrici (Fiume\_36672 e Fiume\_58804) della rete idrografica individuata dal database regionale approvato dall'Agenzia del Distretto idrografico e comitato istituzionale nella Deliberazione n. 3 del 30/07/2015, aventi ordine gerarchico di Stralher pari a 1 e quindi con fascia di vincolo pari a 10 metri.



**Figura 42: vincolistica ai sensi dell'art. 30 ter delle norme di Attuazione del P.A.I.**

Il P.A.I. prevale su qualsiasi sistema di pianificazione regionale anche se in funzione dell'art. 13 delle NDA "Controllo delle attività estrattive" non sono comunque state emanate disposizioni per la gestione ottimale delle attività estrattive.

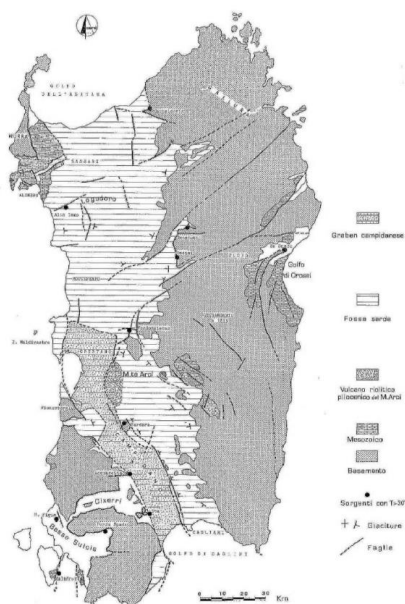
In ogni caso, con riferimento alle pericolosità di franamento ed in generale alle pericolosità del P.A.I., il progetto in questione è compatibile ed ammissibile con le perimetrazioni indicate.

#### **- pericolosità sismica e classificazione dei suoli**

Per una completa descrizione dei terreni in relazione alle caratteristiche sismiche, vengono di seguito riportate alcune considerazioni in merito alla pericolosità e alla classificazione dei terreni di intervento ai sensi delle NTC.

Allo stato attuale la Regione Sardegna non ha effettuato studi sulla microzonazione sismica specifica della Regione Sardegna. Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003. Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato



l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

**Zona 1** - E' la zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta

**Zona 2** - In questa zona forti terremoti sono possibili

**Zona 3** - In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2

**Zona 4** - E' la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa

Di fatto, sparisce il territorio "non classificato", e viene introdotta la zona 4, nella quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica. A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g, zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g). Le novità introdotte con l'ordinanza sono state

pienamente recepite e ulteriormente affinate, grazie anche agli studi svolti dai centri di competenza (Ingv, Reluis, Eucentre). Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale (Gruppo di Lavoro, 2004), previsto dall'OPCM 3274/03, è stato adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006.

Il nuovo studio di pericolosità, allegato all'Opcm n. 3519, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico
1	$0,25 < ag \leq 0,35g$	0,35g
2	$0,15 < ag \leq 0,25g$	0,25g
3	$0,05 < ag \leq 0,15g$	0,15g
4	$\leq 0,05g$	0,05g

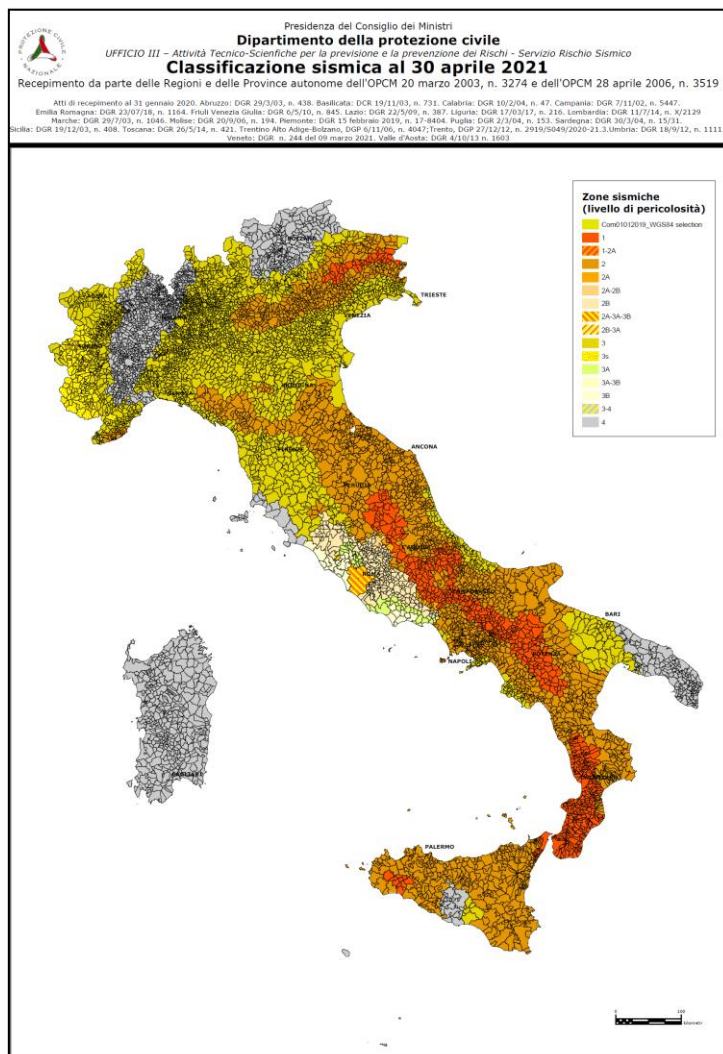
**Figura 43: accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)**

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.

L'area in studio è localizzata nel settore centro occidentale della Sardegna, all'esterno dell'area ribassata della piana del Campidano, notoriamente conosciuto come un areale particolarmente importante nel quadro dell'evoluzione geodinamica recente della Sardegna e che si estende per circa 100 km condirezione NO-SE dal Golfo di Oristano al Golfo di Cagliari.

Nella parte meridionale essa si sovrappone alla più vasta "fossa tettonica sarda" ("rift oligo-miocenico sardo" Auct.) che attraversa l'isola in senso longitudinale, unendo il Golfo dell'Asinara con quello di Cagliari con una larghezza di circa 40 km. Il centro urbano di Isili ricade all'interno di quest'ultima area. 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 RAS ha disciplinato l'argomento unicamente con la Delibera di Giunta Regionale 15/31 del 30/03/2004 "Disposizioni preliminari in attuazione dell'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20.3.2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la

classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" oggi comunque superata dalle NTC 2018. Infatti, tale Deliberazione sanciva di non introdurre l'obbligo di progettazione antisismica. In realtà la progettazione antisismica è comunque da ritenere sempre obbligatoria sulla base delle NTC 2018 che comunque precisa che studi sulla risposta locale devono essere sempre avviati ai fini della definizione della classe di appartenenza dei terreni e della definizione della pericolosità sismica di base. Ossia ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale (e quindi anche delle isole), su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.). Di seguito la mappa della classificazione sismica aggiornata al mese di Aprile del 2021 redatta dal Dipartimento di Protezione Civile.



**Figura 44: classificazione sismica del territorio nazionale**

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:

- 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 ( $I_{max}$ )  $\geq 5$  o con magnitudo ( $M_w$ )  $\geq 4.0$  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 ( $I_{max}$ )  $\geq 5$  avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti.

Sulla base di tali dati si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solamente 2 eventi nell'area meridionale della Sardegna uno riferibile al 1616 con magnitudo di  $4,91 \pm 0,46$  e uno riferibile al 1771 con magnitudo di  $4,43 \pm 0,60$ .

In realtà i terremoti più significativi (oltre ai primi registrati dall'Istituto Nazionale di Geofisica negli anni 1838 e 1870 rispettivamente del VI e V grado della scala Mercalli) risalgono al 1948 (epicentro nel Canale di Sardegna, verso la Tunisia, VI grado) e al 1960 (V grado), con epicentro i dintorni di Tempio Pausania). Si segnala anche quello avvertito nel cagliaritano il 30.08.1977 provocato dal vulcano sottomarino Quirino mentre, più recentemente (03.03.2001) è stato registrato un sisma di magnitudo 3,3 Richter (IV grado scala Mercalli) nella costa di San Teodoro ed un sisma di analoga magnitudo il 09.11.2010, nella costa NW dell'Isola. Altri ancora, con epicentro nel settore a mare poco a Ovest della Corsica e della Sardegna, sono stati registrati nel 2011 con magnitudo compresa tra 2,1 e 5,3 ed ipocentro a profondità tra 11 km e circa 40 km di profondità. Si segnalano altri terremoti tra il 2006 e il 2007 nel Medio Campidano seppure di magnitudo mai superiore e 2,7 (13.07.2006, magnitudo 2,7 a 10 km di profondità con epicentro Capoterra; 23.05.2007, magnitudo 1,4 a 10 km di profondità con epicentro Pabillonis; 02.10.2007, magnitudo 1,4 a 10 km di profondità con epicentro tra Pabillonis e Guspini).

Year	Mo	Da	Ho	Mi	Epicentral Area	Ref	com.	NOn	Is	Lat	Lon	M
1610	06	04			Sardegna merid.	MELAL020	ZZ	-	-	-	-	-
1616	06	04	14		Sardegna merid.	MELAL020		10	D	39.131	9.502	4.9
1619	06	24	16		Sardegna merid.	MELAL020	UNK	1	4-5	39.256	9.168	3.9
1771	08	17	13		Sardegna merid.	MELAL020		2	3	39.223	9.121	3.2
1771	08	17	18		Sardegna merid.	MELAL020		7	5	39.213	8.936	4.4
1835	03	06			Sardegna merid.	MELAL020	D	1	3	39.223	9.121	3.2
1838	02	02			Agro sassarese	MELAL020	ZZ	-	-	-	-	-
1855	06	11			Cagliari	MELAL020	ZD	-	-	-	-	-
1870	06	20	08	22	Ittireddu	MELAL020	ZZ	-	-	-	-	-
1870	07	04	17	45	Nuorese	MELAL020		4	5	40.477	9.383	4.2
1898	12	15			San Vito	MELAL020	ZZ	-	-	-	-	-
1901	01	18	16	30	Gergei	MELAL020	UNK	7	5	39.699	9.102	4.2
1901	01	18	17		Gergei	MELAL020		1	F	39.654	9.129	3.7
1901	03	22	13		Gergei	MELAL020		1	4-5	39.699	9.102	3.9
1906	04	03	16	20	Sardegna Settentrionale	MELAL020		6	3	41.048	9.599	3.2
1922	07	18	20	30	Nuorese	MELAL020		1	3	40.215	8.803	3.2
1922	07	18	22	30	Nuorese	MELAL020		1	3	40.215	8.803	3.2
1924	01	24	02	22	Sardegna Nord. Occ.	MELAL020	NM	-	-	-	-	-
1948	11	13	09	52	Mar di Sardegna	MELAL020		59	5-6	40.941	8.958	4.7
1948	11	13	12	00	Mar di Sardegna	MELAL020		2	F	40.913	9.302	3.7
1948	11	13	12	48	Mar di Sardegna	MELAL020		1	F	40.903	9.104	3.7
1948	11	13	22	45	Mar di Sardegna	MELAL020		1	3	40.914	8.713	3.2
1948	11	16	21	57	Mar di Sardegna	MELAL020		10	5	40.903	9.104	4.2
1948	11	17	00		Mar di Sardegna	MELAL020		2	3	40.903	9.104	3.2
1948	11	20	01		Mar di Sardegna	MELAL020		2	4-5	40.903	9.104	3.9
1948	11	20	02	07	Mar di Sardegna	MELAL020		1	F	40.929	9.065	3.7
1948	11	20	02	15	Mar di Sardegna	MELAL020		2	4-5	40.903	9.104	3.9
1948	11	20	13	45	Mar di Sardegna	MELAL020		1	4-5	40.903	9.104	3.9
1948	11	20	15	36	Mar di Sardegna	MELAL020		1	5-6	40.929	9.065	4.4
1948	11	21	21	50	Mar di Sardegna	MELAL020		4	5-6	40.948	8.938	4.4

Figura 45: Tabella dei sismi registrati in Sardegna dal 1610 al 1948 (estratto da Meletti et al., 2020)

Year	Mo	Da	Ho	MI	Epicentral Area	Ref	com.	NOM	Ix	Lat	Lon	M
1948	12	08	04	30	Sassarese	MELAL020		4	3	40.926	9.020	3.2
1948	12	08	13	15	Sassarese	MELAL020		4	3	40.926	9.020	3.2
1948	12	08	13	45	Sassarese	MELAL020		7	5-6	40.931	8.983	4.4
1948	12	08	23	00	Sassarese	MELAL020		3	3	40.944	9.009	3.2
1948	12	29	21	45	Mar di Sardegna	MELAL020		5	5	40.948	8.938	4.2
1949	01	06	17	30	Mar di Sardegna	MELAL020		4	5-6	40.948	8.938	4.4
1960	05	25	22		Calagianus	BSING		1	5	40.933	9.117	3.5
1970	06	18	09	03	Mare di Sardegna	ISC		13	4	40.950	7.420	4.8
1976	07	15	09	18	Medio Tirreno	BSING	NM			41.400	9.800	-
1977	05	29	16	19	Biancareddu	BSING	NM			40.783	8.183	2.7
1977	06	27	19	36	Valverde	BSING	NM			40.583	8.383	3.0
1977	08	28	09	45	Canale di Sardegna	ISC		20	5	38.235	8.187	5.4
2000	04	26	13	28	Tirreno centrale	ISC		-	-	40.929	10.077	4.3
2000	04	26	13	37	Tirreno centrale	ISC		46	5-6	40.955	10.097	4.8
2001	03	03	01	54	Tirreno centrale	ISC		1	3-4	40.884	9.990	4.0
2004	12	12	11	52	Tirreno centrale	ISC		19	3-4	41.015	9.967	4.1
2004	12	18	09	12	Tirreno centrale	ISC		13	4-5	40.958	10.050	4.6
2006	03	24	10	43	Capo Teulada	ISC		2	4-5	38.924	8.931	4.0
2011	07	02	14	43	Mare di Corsica	ISC		-	-	42.004	7.617	4.2
2011	07	07	19	21	Mare di Corsica	ISC		5	4	42.087	7.593	5.1
2012	03	04	03	47	Mare di Corsica	ISC		2	2-3	42.080	7.565	4.4

Figura 46: Tabella dei sismi registrati in Sardegna dal 1948 al 2012 (estratto da Meletti et al., 2020).

Ai fini della valutazione della classe di appartenenza stabilite dalle NTC 2018, vengono utilizzate, in base alle Norme Tecniche, indagini geofisiche con metodologia sismica. Di seguito si riportano alcune indicazioni in relazione alla metodologia di indagine e alla classificazione.

Solitamente, ai fini della classificazione sismica si utilizzano le **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves). Si tratta di una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo." (tratto da Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves – V. Roma 2006).

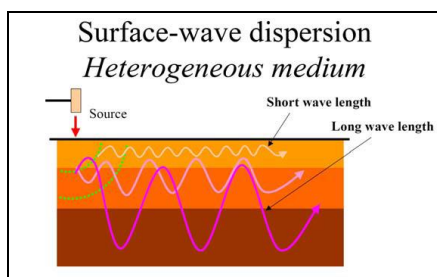


Figura 47: metodologia di indagine - trasmissione onde

L'indagine prevede l'applicazione di tecnica M.A.S.W. di tipo attivo, ossia misura del comportamento dei terreni a seguito di un'energizzazione.

Si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 2,0 m in funzione della disponibilità di spazio.

Esternamente alla stesa geofonica ("base sismica"), a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico. Al fine di svolgere al meglio la campagna geofisica M.A.S.W., è utile che lo sviluppo lineare della base sismica sia limitata in lunghezza secondo i siti. La maggior profondità di caratterizzazione raggiunta è legata alla minor frequenza registrata. Come già indicato nella figura, una frequenza alta caratterizza gli strati superficiali. La registrazione delle frequenze minori è destinata ai geofoni più lontani dalla sorgente.

Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" – D.M. del 17/01/2018 – NTC 2018, così come le precedenti NTC 2008, definiscono le regole per progettare l'opera sia in zona sismica che in zona non sismica. Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto nel suolo superficiale.

Per tale motivo si esegue una classificazione dei terreni compresi fra il piano di campagna ed il "bedrock" attraverso la stima delle velocità medie delle onde di taglio ( $V_{S30}$ ). Il sito può essere classificato con il valore delle  $V_{S30}$  così come riportato nella tabella 3.2II delle NTC 2018 al paragrafo 3.2.2. Rispetto alla precedente previsione delle NTC 2008, non è prevista la classificazione sulla base dei valori delle SPT. 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.

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

con:

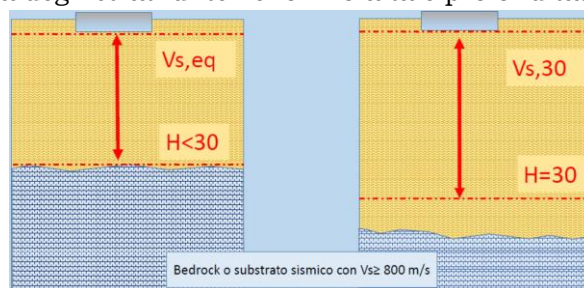
**$h_i$**  spessore dell'i-esimo strato;

**$V_{s,i}$**  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 depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.



**Figura 48: schema di calcolo delle  $V_{seq}$  e delle  $V_{s30}$**

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche

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>

Figura 49: categorie dei terreni secondo le NTC 2018

Il metodo interpretativo della M.A.S.W. si compone dei seguenti passaggi di analisi dei segnali acquisiti:

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita. A posteriori dell'analisi matematica del segnale acquisito, definito un modello stratigrafico compatibile con la geologia locale, si provvede all'inversione della curva di dispersione ottenendo la sismo-stratigrafia.

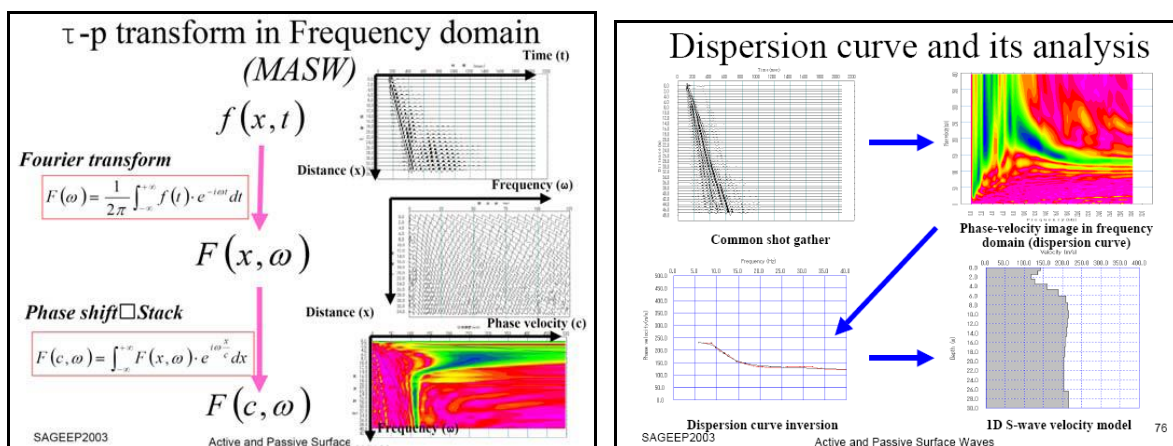


Figura 50: procedimento di elaborazione che produce il profilo di velocità

Dall'analisi del rilievo, sulla base delle conoscenze stratigrafiche della sezione di riferimento, ma anche sulla base di indagini geofisiche eseguite dal sottoscritto nell'ambito di progetti non distanti dal sito in questione (circa 700 metri a Nord Est del punto di scavo) si può indicare l'appartenenza della successione alla categoria C (*depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o*

terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, 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). Le indagini eseguite avevano infatti permesso di determinare un valore delle  $V_{s30} = 347$  m/s.

Di seguito ulteriori parametri di riferimento

Tipo opera: 1 - Opere provvisorie  
Classe d'uso: Classe I  
Vita nominale: 30,0 [anni]  
Vita di riferimento: 21,0 [anni]  
Categoria sottosuolo: C  
Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,19	2,61	0,27
S.L.D.	30,0	0,2	2,63	0,28
S.L.V.	199,0	0,44	2,86	0,33
S.L.C.	409,0	0,54	2,93	0,36

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe I

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,285	1,0	0,0291	0,0145
S.L.D.	0,3	0,47	0,0144	0,0072
S.L.V.	0,66	0,38	0,0256	0,0128
S.L.C.	0,81	1,0	0,0826	0,0413

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,029  
Coefficiente azione sismica verticale 0,015

## **CARATTERISTICHE GEOPEDOLOGICHE DELL'AREA E USO DEL SUOLO**

Con riferimento all'ambiente pedologico si evidenzia che nel settore considerato è stato possibile definire le peculiarità tessiturali e strutturali dei pedotipi presenti nell'ambito dell'area in cui si procederà alla realizzazione del progetto. Si osserva che la descrizione dell'ambiente pedologico del settore è derivata sia dalle indicazioni bibliografiche e sia dai rilievi diretti (pozzetti geognostici).

L'ambiente pedologico del territorio deve essere visto in relazione soprattutto alle formazioni geolitologiche presenti, ai loro diversi aspetti morfologici, vegetazionali, ed al loro uso. Pertanto, i suoli, nell'ambito delle aree di intervento, sono stati suddivisi prevalentemente in funzione della roccia madre dalla quale derivano e della relativa morfologia. Il livello tassonomico raggiunto nella classificazione (Soil Taxonomy) è quello del sottogruppo. E' stata inoltre effettuata un'analisi delle componenti pedologiche anche attraverso l'individuazione delle unità paesaggistico-ambientali. In via del tutto generale si rileva che i suoli risultano fondamentali per le seguenti funzioni:

- assumono un ruolo di grande rilievo nell'accrescimento delle piante e nell'ampliamento della biodiversità;
- hanno una funzione importantissima nella regimazione delle acque superficiali e nell'impinguimento delle falde sotterranee.

E' già stato evidenziato che parte dell'area di intervento è priva di suoli a causa di lavori svolti in passato. Nei tratti in cui i medesimi sono ancora presenti, si osserva che il suolo si presenta generalmente bruno, normalmente profondo (da 30 cm sino al metro di profondità circa) e con limitato scheletro. Il drenaggio è lento e localmente, in occasioni di forti precipitazioni, le aree depresse possono essere interessate da allagamenti per la presenza al di sotto di lenti rappresentate da litotipi argillosi. La pietrosità (frammenti < 25 cm) può provocare talora lievi interferenze con le lavorazioni. Secondo la Soil Taxonomy dell'U.S.D.A. tali suoli possono essere classificati come Vertic Xerochrepts e Typic Haploxererts, Typic Pelloxererts.

In genere il profilo è di tipo A-Bt-C, A-Btg-Cg e subordinatamente A-C, con una tessitura da franco sabbiosa a franco sabbiosa argillosa in superficie e da franco sabbioso argillosi ad argillosi in profondità



**Figura 51: suoli intercettati durante le fasi di ricerca (Prof. rinvenuta 30-50 cm)**

Per la classificazione del territorio oggetto di intervento ai fini della definizione della classe di capacità d'uso, è stato adottato il primo livello, integrato con informazioni relative al secondo livello di classificazione (classi e sottoclassi di capacità d'uso); sono state quindi identificate le principali limitazioni all'uso agricolo.

Le classi di riferimento sono 8 e vengono distinte in due gruppi in base al numero e alla severità delle limitazioni: le prime 4 comprendono i suoli idonei alle coltivazioni (suoli arabili) mentre le altre 4 raggruppano i suoli non idonei (suoli non arabili), tutte caratterizzate da un

grado di limitazione crescente. Ciascuna classe può riunire una o più sottoclassi in funzione del tipo di limitazione d'uso presentata (erosione, eccesso idrico, limitazioni climatiche, limitazioni nella zona di radicamento) e, a loro volta, queste possono essere suddivise in unità non prefissate, ma riferite alle particolari condizioni fisiche del suolo o alle caratteristiche del territorio. Nella figura che segue sono riportate le 8 classi e (poco più avanti) le 4 sottoclassi della *Land Capability* utilizzate (Cremaschi e Rodolfi, 1991, Aru, 1993).

CLASSE	DESCRIZIONE	ARABILITA'
I	suoli senza o con modestissime limitazioni o pericoli di erosione, molto profondi, quasi sempre livellati, facilmente lavorabili; sono necessarie pratiche per il mantenimento della fertilità e della struttura; possibile un'ampia scelta delle colture	si
II	suoli con modeste limitazioni e modesti pericoli di erosione, moderatamente profondi, pendenze leggere, occasionale erosione o sedimentazione; facile lavorabilità; possono essere necessarie pratiche speciali per la conservazione del suolo e delle potenzialità; ampia scelta delle colture	si
III	suoli con severe limitazioni e con rilevanti rischi per l'erosione, pendenze da moderate a forti, profondità modesta; sono necessarie pratiche speciali per proteggere il suolo dall'erosione; moderata scelta delle colture	si
IV	suoli con limitazioni molto severe e permanenti, notevoli pericoli di erosione se coltivati per pendenze notevoli anche con suoli profondi, o con pendenze moderate ma con suoli poco profondi; scarsa scelta delle colture, e limitata a quelle idonee alla protezione del suolo	si
V	non coltivabili o per pietrosità e rocciosità o per altre limitazioni; pendenze moderate o assenti, leggero pericolo di erosione, utilizzabili con foresta o con pascolo razionalmente gestito	no
VI	non idonei alle coltivazioni, moderate limitazioni per il pascolo e la selvicoltura; il pascolo deve essere regolato per non distruggere la copertura vegetale; moderato pericolo di erosione	no
VII	limitazioni severe e permanenti, forte pericolo di erosione, pendenze elevate, morfologia accidentata, scarsa profondità idromorfia, possibili il bosco od il pascolo da utilizzare con cautela	no
VIII	limitazioni molto severe per il pascolo ed il bosco a causa della fortissima pendenza, notevolissimo il pericolo di erosione; eccesso di pietrosità o rocciosità, oppure alta salinità, etc.  Le 4 sottoclassi sono identificate da una lettera minuscola che segue il numero romano della classe e sono le seguenti	no

**Figura 52: classi di capacità d'uso dei suoli**

Il secondo livello della classificazione, come è detto, è la sottoclasse, e raggruppa le unità che hanno lo stesso tipo di limitazione o rischio.

SOTTOCLASSE	LIMITAZIONI	DESCRIZIONE
e	Erosione	Suoli nei quali la limitazione o il rischio principale è la suscettività all'erosione. Sono suoli solitamente localizzati in versanti acclivi e scarsamente protetti dal manto vegetale
w	Eccesso di acqua	Suoli nei quali la limitazione o il rischio principale è dovuto all'eccesso di acqua. Sono suoli con problemi di drenaggio, eccessivamente umidi, interessati da falde molto superficiali o da esondazioni
s	Limitazioni nella zona di radicamento	Suoli con limitazioni del tipo pietrosità, scarso spessore, bassa capacità di ritenuta idrica, fertilità scarsa e difficile da correggere, salinità e sodicità
c	Limitazioni climatiche	Zone nelle quali il clima è il rischio o la limitazione maggiore. Sono zone soggette a temperature sfavorevoli, grandinate, nebbie persistenti, gelate tardive, etc.

**Figura 53: sottoclassi di capacità d'uso**

Le valutazioni pedologiche effettuate nell'ambito del presente studio evidenziano che il settore di scavo è privo di vegetazione; vi è una dominanza di forme leggermente convesse con pendenza comunque limitata e inferiore al 10% con prevalenza di aree a prato pascolo o seminativi non irrigui, laddove i suoli non sono stati ancora asportati. La classe di capacità d'uso assegnata è la II e quindi trattasi di suoli con modeste limitazioni e modesti pericoli di erosione. Come già precedentemente accennato si può valutare uno spessore medio del suolo (dati provenienti dai pozzetti eseguiti nell'area) pari a 50 cm circa in media. Il progetto prevede la totale asportazione dei suoli e il loro accantonamento nelle parti laterali al fine di effettuarne lo stoccaggio per il successivo riutilizzo in fase di restituzione ambientale al termine delle attività. Si stima che la

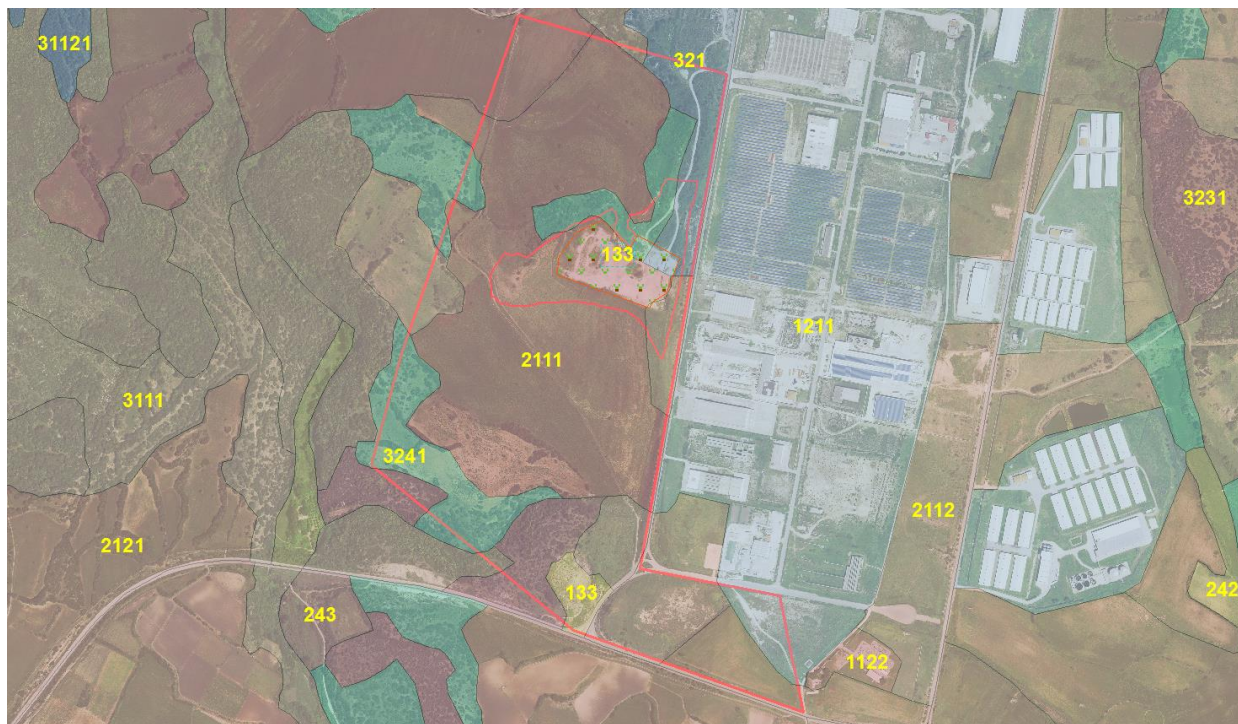
movimentazione del suolo assommi a circa 20.000 mc complessivi sull'area di circa 5,80 ettari anche se di fatto il medesimo si rinviene non il tutto il settore di intervento.

Pozzetto id	Spessore terra vegetale e/o sterili o riporti superficiali
10	0.50 metri terra vegetale
11	0.80 metri terra vegetale
12	0.70 terra vegetale
13	0.70 metri terra vegetale
14	0.70metri terra vegetale
15	0.30 metri terra vegetale 0.6 metri sterili carbonatici
16	0.5 metri terra vegetale
17	0.70 metri terra vegetale
18	0.70 metri terra vegetale
19	1.0 metri terra vegetale
20	0.70 m terra vegetale
23	0.20 metri Riporti antropici
25	0.5 metri terra vegetale
32	0.10 metri terra vegetale
34	0.60 m (terra vegetale)
35	0.0 m (terra vegetale)

**Figura 54:spessore del suolo nelle aree di intervento**

Con riferimento all'ambiente naturale specifico del sito oggetto dell'intervento progettuale, si evidenzia che l'uso reale del suolo identifica sistemi colturali quasi interamente legati all'agricoltura e all'area industriale.

E' presente un settore centrale molto vasto dell'area della concessione che seppur ricadente all'interno dell'area industriale e attualmente non interessato appunto da attività di tipo industriale, ed è caratterizzato dalla presenza di seminativi in aree non irrigue (codice 2111). Ai margini dell'area si rinvencono aree a ricolonizzazione naturale (codice 3241), aree di scavo (codice 133), locali settori di prati artificiali (2112), di aree a pascolo naturale (321), di macchia mediterranea (codice 3231). Chiaramente il settore che predomina è quello identificato dal codice 1211 relativo all'insediamento industriale. Di seguito si riportano le caratteristiche dell'uso del suolo su ortofoto dell'anno 2016.



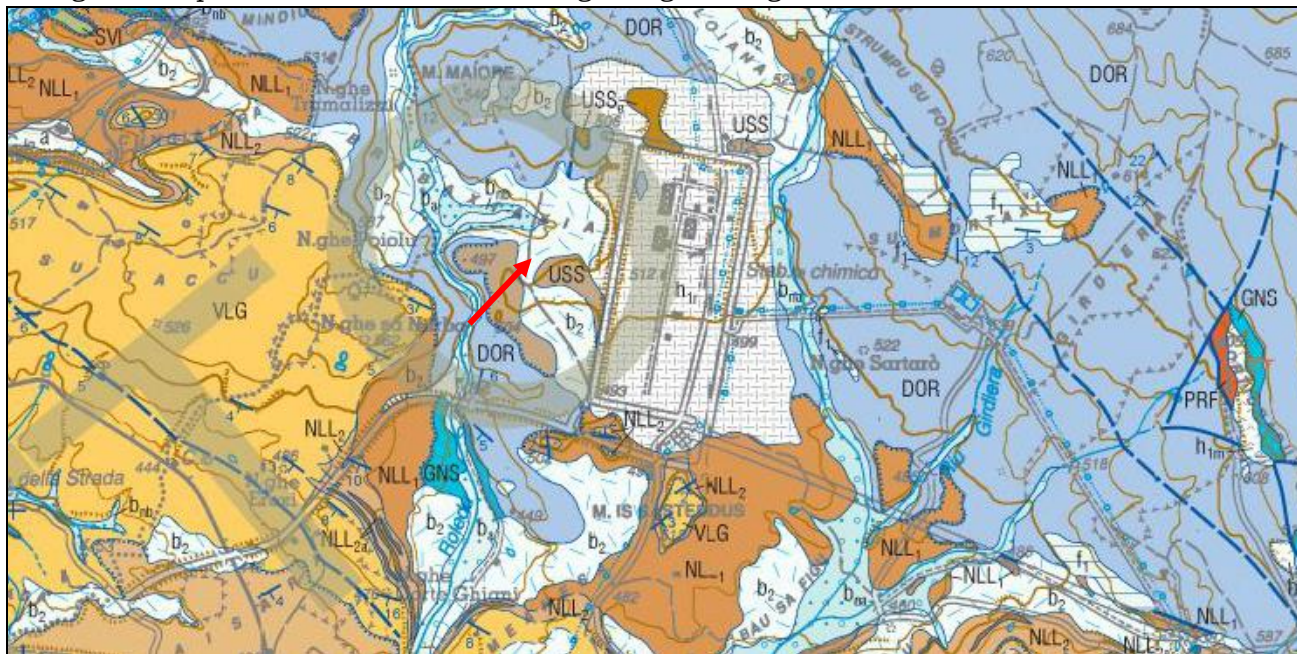
**Figura 55: uso del suolo del comparto**

## **CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA**

Dal punto di vista geologico generale il settore in questione ricade interamente all'interno delle sequenze sedimentarie terziarie del Sarcidano immediatamente trasgressive sui litotipi metamorfici del Paleozoico. La sequenza stratigrafica individuata nell'area oggetto di studio è quindi inquadrabile nell'ambito del potente complesso carbonatico della Formazione di Dorgali e in quello vulcanico e sedimentario della Formazione di Ussana affiorante prevalentemente nell'intero settore destinato alle attività industriali al di sotto dei riporti, suoli e limitati livelli conglomeratici. All'interno della Formazione di Ussana si distinguono sia le facies vulcaniche sia quelle conglomeratiche. Considerando la successione geologica del comparto, dal basso verso l'alto si distinguono:

- Formazione di Dorgali. Dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici, da litorali a circolitorali, con foraminiferi e alghe calcaree. Dogger-Malm – Sigla DOR
- Formazione Di Ussana. Conglomerati e brecce, grossolani, eterometrici, prevalentemente a spese di basamento cristallino paleozoico, carbonati giurassici, vulcaniti oligomioceniche; livelli argilloso-arenacei rossastri talora prevalenti nella base; sigla USS
- Conglomerato di Duidduru (NLL1) (Formazione Di Nurallao). Conglomerati poligenici eterometrici e sabbie con locali livelli di biocalcareni, talvolta con componente vulcanica. Oligocene Sup. - Burdigaliano?
- Arenarie di Serra Longa (NLL2) (Formazione Di Nurallao). Arenarie da grossolane a micro-conglomeratiche, con intercalazioni di arenarie siltose. Oligocene Sup. - Burdigaliano?
- Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE – sigla b2
- Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. Olocene (bna)
- Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. Olocene sigla h1r

Di seguito si riporta uno schema della cartografia geolitologica ufficiale dell'area



**Figura 56: Stralcio della Cartografia geologica ufficiale dell'ISPRA - progetto CARG**

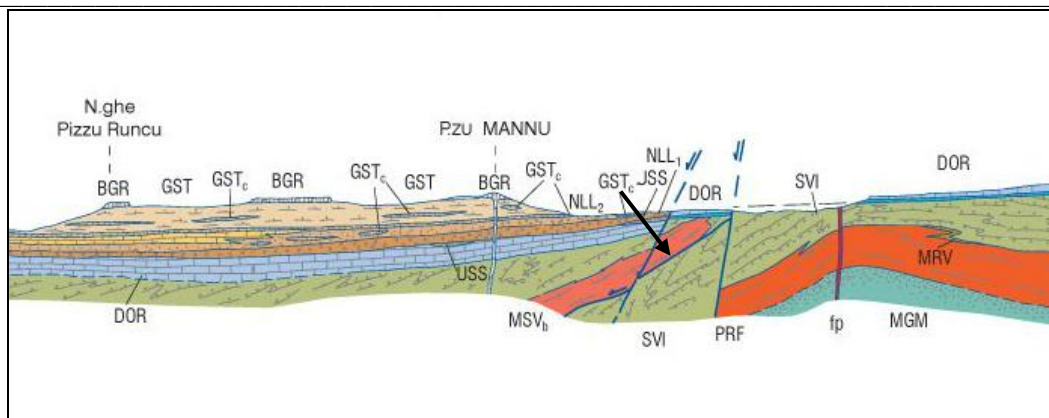


Figura 57: schema stratigrafico del settore

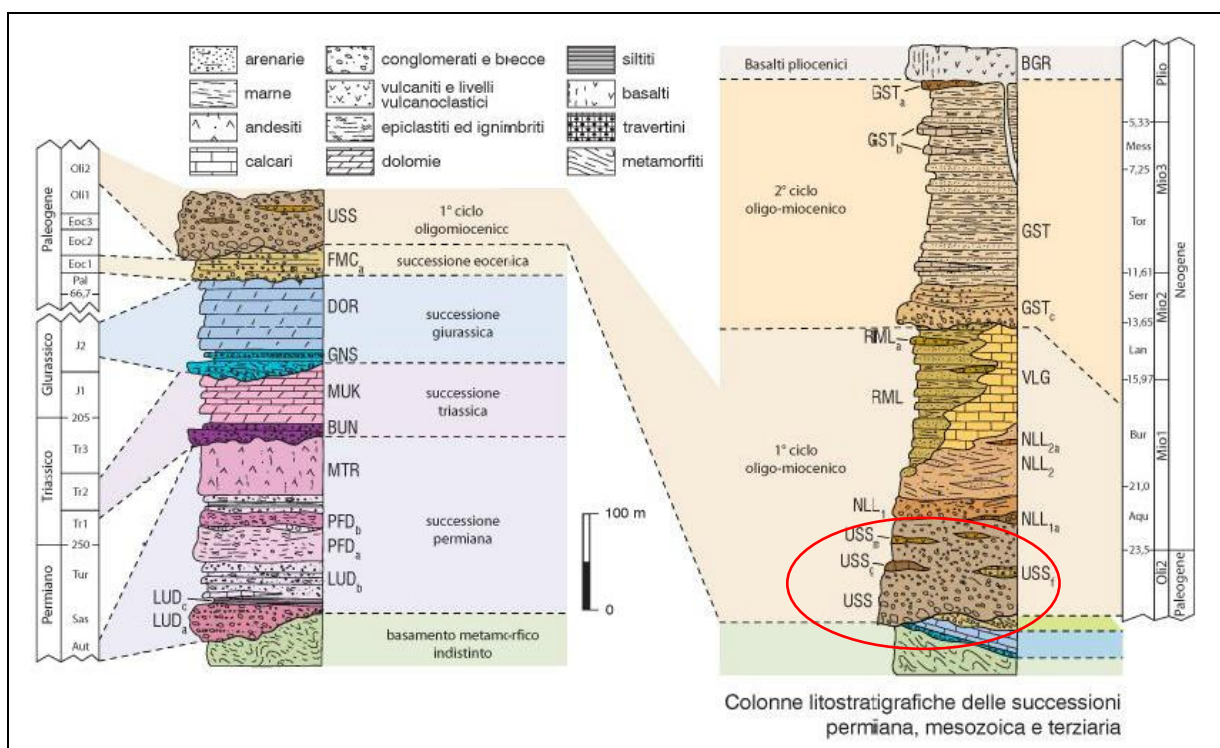


Figura 58: colonna stratigrafica (progetto CARG)

Di seguito la descrizione dei litotipi principali:

### Formazione di Dorgali:



Il complesso carbonatico della Formazione affiora localmente nel settore Nord Occidentale dell'area industriale ed è costituito prevalentemente da dolomie, dolomie calcaree, cristalline e microcristalline, talora porose, di colore grigiastro. I litotipi si presentano in genere carsificati e spesso interessati da un sistema di giunti a spaziatura in genere metrica, generalmente subverticali, vuoti o al massimo presentanti un riempimento ad ossidi di ferro depositatosi ad opera delle acque circolanti. Il

profilo di scabrezza dei giunti presenta un andamento a tratti irregolare.

Il complesso viene ribassato tettonicamente nell'area industriale di Isili da una serie di faglie di cui alcune delle quali facilmente visualizzabili lungo la strada che dall'Agglomerato Industriale conduce a Villanovatulo.

Nell'ambito del presente progetto si osserva che l'intervento non interesserà tali litologie in quanto le medesime si rinvenivano solitamente al letto delle lenti bentonitiche, così come dimostrano le numerose indagini eseguite nel settore.

#### **Intercalazioni della F. di Ussana - Vulcaniti oligomioceniche (USSe)**



All'interno della Formazione di Ussana si rinvenivano alcune litofacies rappresentate da vulcaniti oligoceniche. Si tratta di tufiti argilloso spesso bentonitizzati ma che sono fortemente alterate e rinvenibili unicamente in determinati settori della Zona industriale. Nel caso in esame tali litologie occupano localmente gli strati sottostanti i conglomerati appartenenti alla medesima formazione. Si tratta dei livelli di interesse minerario, ben evidenti tra l'altro proprio all'interno dell'area richiesta laddove sono state effettuate le operazioni di sbancamento finalizzate alla preparazione dell'area industriale. Le bancate in lenti di spessore metrico sono state intercettate in numerosi pozzetti e nelle numerose indagini svolte nell'area industriale.

Ed è proprio in tali settori, anche a seguito della conoscenza indiretta derivata da coloro che negli anni 70 eseguirono alcune ricerche minerarie prima dell'inserimento della zona industriale, che si intende concentrare l'attenzione. Le argilliti si presentano con tutte le sfumature tipiche che vanno dai litotipi vulcanici (tufi, trachiti), con inclusioni di plagioclasio bentonizzato su una pasta di fondo non risolvibile ad occhio nudo, a rocce tipicamente bentonitiche.

La roccia si presenta spesso in giacimenti massivi di colore variabile ma più frequentemente (grigio, verde, talora nero); talora sono comunque presenti tinte violacee e biancastre nelle quali spicca una pigmentazione nerastra della biotite.



**Figura 59: differenti tonalità delle bentoniti della zona industriale**

Presentano localmente una buona plasticità, notevole grado di rigonfiamento, grassezza e untuosità; altrove l'aumento della frazione sabbiosa tende a limitare tali caratteristiche e il litotipo assume l'aspetto di una sabbia argillosa e di un'argilla sabbiosa ben cementata.

L'estensione di questi affioramenti non è sempre evidente, si può comunque ipotizzare che i prodotti vulcanici iniettati abbiano subito processi di alterazione bentonitici al di sotto delle litologie oligomioceniche.

Lo spessore della formazione è variabile e raggiunge una potenza massima di 17 metri (dato fornito dalle prospezioni geologiche eseguite negli anni 70 in tutta l'area dell'attuale agglomerato industriale) nella parte più meridionale della successione, nella zona denominata "*Bruncu S'Ollastu*", anche se la potenza media si aggira generalmente intorno agli 6-7 mt come rinvenuto nelle indagini.

Le argilliti, spesso precedute dal conglomerato, sono distribuite in tutta l'area industriale al di sotto dei riporti antropici o dei livelli conglomeratici della Formazione di Ussana.

### **Formazione di Ussana (USS)**



E' rappresentata da conglomerati e breccie, grossolani, eterometrici, prevalentemente a spese di basamento cristallino paleozoico, carbonati giurassici, vulcaniti oligomioceniche e livelli arenacei rossastri talora prevalenti nella base.

I clasti (talvolta anche di grosse dimensioni) si presentano scarsamente arrotondati e a spigoli vivi, tanto che l'accumulo assume localmente l'aspetto di una breccia. I ciottoli e i blocchi sono immersi in una matrice arenacea fine a cemento argilloso.

Lo spessore massimo è valutabile in genere in circa 4-5 metri ma nell'area di intervento gli stessi non sono rilevabili se non in piccolissime lenti.

In genere nelle aree della zona industriale, a seguito di numerosi scavi eseguiti nell'ambito dei progetti di costruzione dei capannoni è stato possibile verificare che presentano uno spessore a volte inferiore e valutabile in circa 1,50 metri.

Al di sotto, come già affermato, si rinvencono in genere i livelli maggiormente argillosi in genere di colore verdastro della medesima formazione ma in facies vulcanica (a cui si è accennato in precedenza) e che saranno appunto oggetto di estrazione.

La cementazione aumenta verso il basso facendo assumere al litotipo una consistenza dura e lapidea e quindi l'aspetto di una roccia compatta.

Localmente nella successione si rinvencono livelli granulometricamente più fini di tipo arenaceo-conglomeratico con intraclasti di natura quarzosa e calcareo-dolomitica, di dimensioni centimetriche e immersi in una matrice arenacea grossolana, di colore rossastro, fortemente alterata dalla presenza di ossidi di ferro.

Anche in questo caso il cemento è di tipo argilloso-bentonitico di colore verdastro.

Tali variazioni sono probabilmente dovute alla variabilità geomorfologica del bacino di sedimentazione (ambiente continentale fluvio-lacustre) e della dimensione degli apporti clastici.

A photograph showing a grassy field in the foreground with some low-lying vegetation. In the middle ground, there is a line of trees and a building with a red roof. The background shows a hilly landscape with more trees and a clear sky.

La successione stratigrafica dei terreni che sono interessati dalle operazioni di estrazione mineraria è rappresentata e dalle argilliti della Formazione di Ussana. Alcune indicazioni sulle caratteristiche geotecniche derivano dalle indagini eseguite nel comparto in occasione di diversi progetti di costruzione ed infrastrutturazione. Ad esempio, dal progetto delle infrastrutture primarie – rete viaria 1° lotto del 1999 si possono rilevare una serie di indagini che hanno interessato il comparto ad est di quello di scavo lungo la viabilità adiacente.

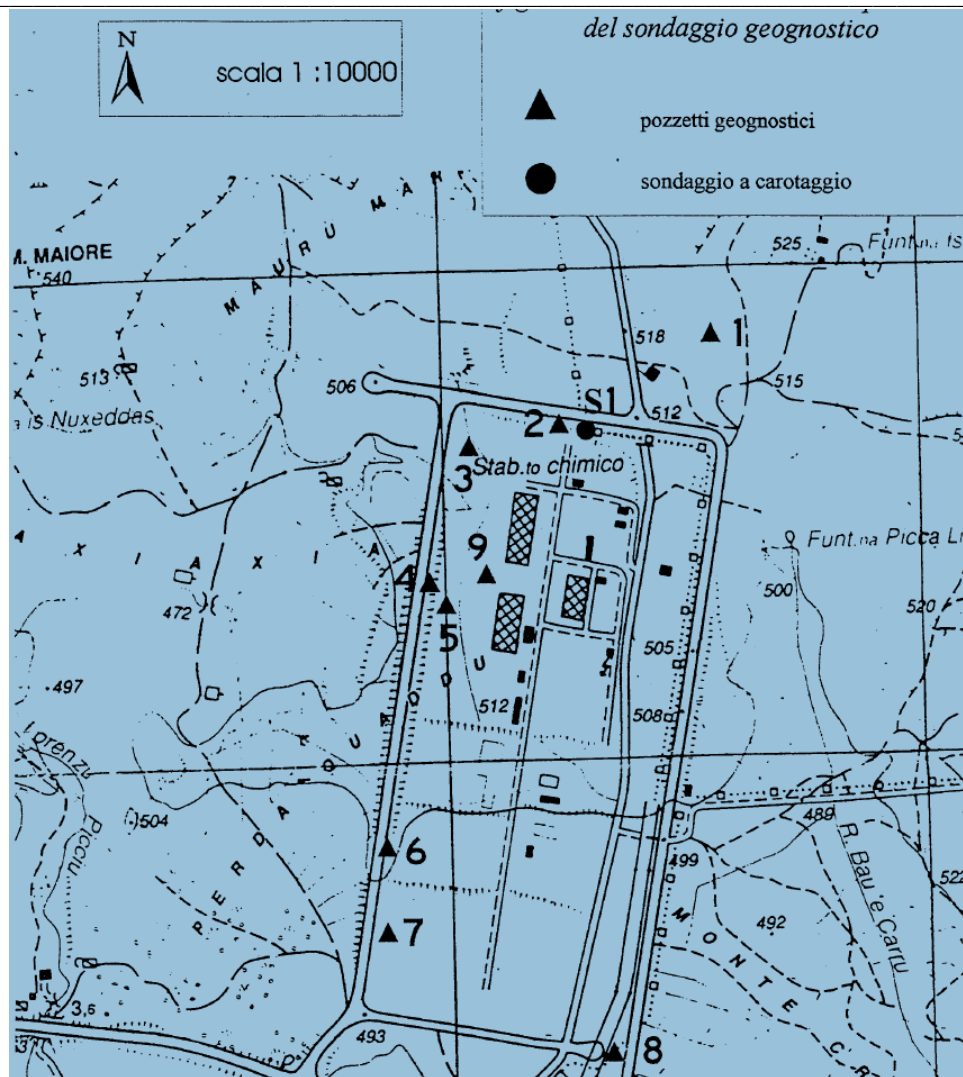


Figura 61: indagini eseguite lungo la viabilità.

Il pozzetto P4 ha intercettato il substrato lapideo dolomitico al di sotto del terreno vegetale; il pozzetto P5 ha riscontrato un conglomerato a matrice sabbioso -limosa al di sopra di un substrato roccioso alterato ed argillificato alla profondità di 1,90 metri. Il Pozzetto P6 ha intercettato un banco costituito da alternanze di marne, arenarie limo sabbiose e argille limose per uno spessore di 2,10 metri e al di sotto un conglomerato a grossa pezzatura con ciottoli immersi in una matrice sabbioso-limo argillosa.

Il pozzetto P7 ha intercettato livelli argillosi e sabbioso - argillosi per 3 metri (massima profondità raggiunta dall'escavatore).

Di seguito una tabella tratta dallo studio citato (progetto di infrastrutture primarie - rete viaria progetto esecutivo 1° lotto (progettisti Ing. Giovanni F.D. Fadda - Ing. Giovanni Mascia) per gentile concessione del progettista con indicazione dei parametri riscontrati nelle diverse indagini eseguite.

n° POZZ.	prof.	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	W (%)	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	Gs (g/cm <sup>3</sup> )	S (%)	e	Wl (%)	Wp (%)	Ip	Ig	$\Phi$ (°)	c (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	2.00 m	1,986	12,38	1,74	2,694	60,843	0,548	14,23	13,11	1,12	0	31,47	0,02
2	1.60 m	2,144	23,19	1,647	2,669	99,715	0,621	48,51	21,17	27,34	10,8	9,31	0,52
	2.70 m	2,014	17,34	1,665	2,637	78,297	0,584	26,31	13,84	12,47	0,3	19,72	0,17
3	1.30 m	2,225	31,14	1,532	2,678	111,505	0,748	50,17	20,31	29,86	11,7	8,22	0,47
	2.60 m	2,184	27,28	1,588	2,594	111,741	0,633	30,14	22,87	7,27	0,0	24,28	0,08
5	1.60 m	2,084	14,19	1,788	2,636	78,906	0,474	18,29	15,16	3,13	0,0	21,01	0,21
7	1.50 m	1,896	9,36	1,719	2,671	45,143	0,554	14,19	13,55	0,64	0,0	26,15	0,01
8	2.80 m	2,298	39,66	1,387	2,683	113,814	0,935	36,18	25,14	11,04	0,0	17,67	0,28
9	2.60 m	2,133	12,14	1,874	2,661	76,931	0,420	15,12	10,34	4,78	0,0	25,97	0,05

**Figura 62: risultanze indagini geotecniche eseguite nel comparto**

Ulteriori elementi provengono dal progetto di variante del Piano Regolatore dell'agglomerato industriale del 1997 (a firma del Dott. Geol. Paolo Pili) dove alcuni sondaggi eseguiti nel settore nord dell'area prevista di scavo si rinvenivano alcuni dati di intercettazione del banco argilloso.

In relazione alle caratteristiche chimiche dei terreni oggetto di scavo sono state eseguite le caratterizzazioni ai sensi del D.P.R. 120/2017 all'interno dell'area di scavo prevista. Non sono stati rilevati superamenti delle CSC e si rimanda alla relazione tecnica sul piano di gestione dei rifiuti di estrazione per le risultanze analitiche.

## IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA

### Idrografia superficiale



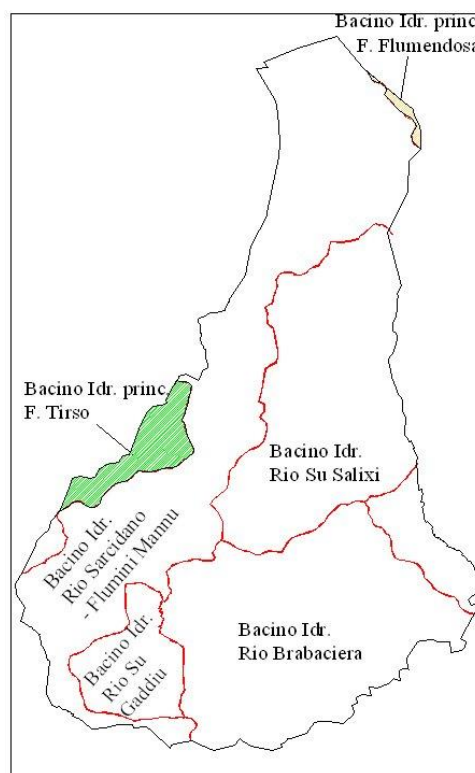
L'area in questione, secondo la classificazione dei bacini sardi riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico, è inclusa nel Sub – Bacino n° 7 del Flumendosa Campidano Cixerri. In particolare, si osserva che il bacino montano di riferimento è quello del Rio Sarcidano (denominato anche Flumini Mannu 041° Rio Roledu) a monte dell'invaso di San Sebastiano (sbarramento di Is Barroccus).

Da un punto di vista idrografico generale si osserva che il Fluminimannu raccoglie le acque del settore settentrionale dei territori di Isili e Nurallao ed è alimentato prevalentemente dalle sorgenti a carattere perenne del Tacco del Sarcidano. Ha quindi un bacino idrografico prevalentemente impostato sui litotipi dolomitico calcarei mesozoici a permeabilità elevata e il deflusso superficiale è talora limitato o assente per effetto della cattura fluviale operata dalle fratturazioni del complesso. Anche dal punto di vista dell'uso reale del suolo, si osserva che il bacino è impostato prevalentemente su aree boschive. Il reticolo idrografico non è molto sviluppato in quanto

l'intero bacino risulta impostato essenzialmente sul complesso carbonatico mesozoico che presenta una permeabilità da media ad alta per fessurazione e per carsismo e non permette la formazione di rilevanti riserve superficiali, mentre trasferisce in profondità le acque di infiltrazione alimentando quindi l'acquifero sottostante. Gli affluenti principali derivano prevalentemente dalla sinistra idrografica tra i quali spicca il Rio Fraccioni, in agro di Nurallao, e il Rio Su Salixi. Il Rio Su Salixi si snoda sul settore posto a Est e Sud dell'agglomerato industriale del Sarcidano e riceve le acque del Rio Funtana Iri, del Rio Congiaduredda e del Rio Bau e Carru. Si immette direttamente sul Flumini Mannu all'altezza del Lago di San Sebastiano.

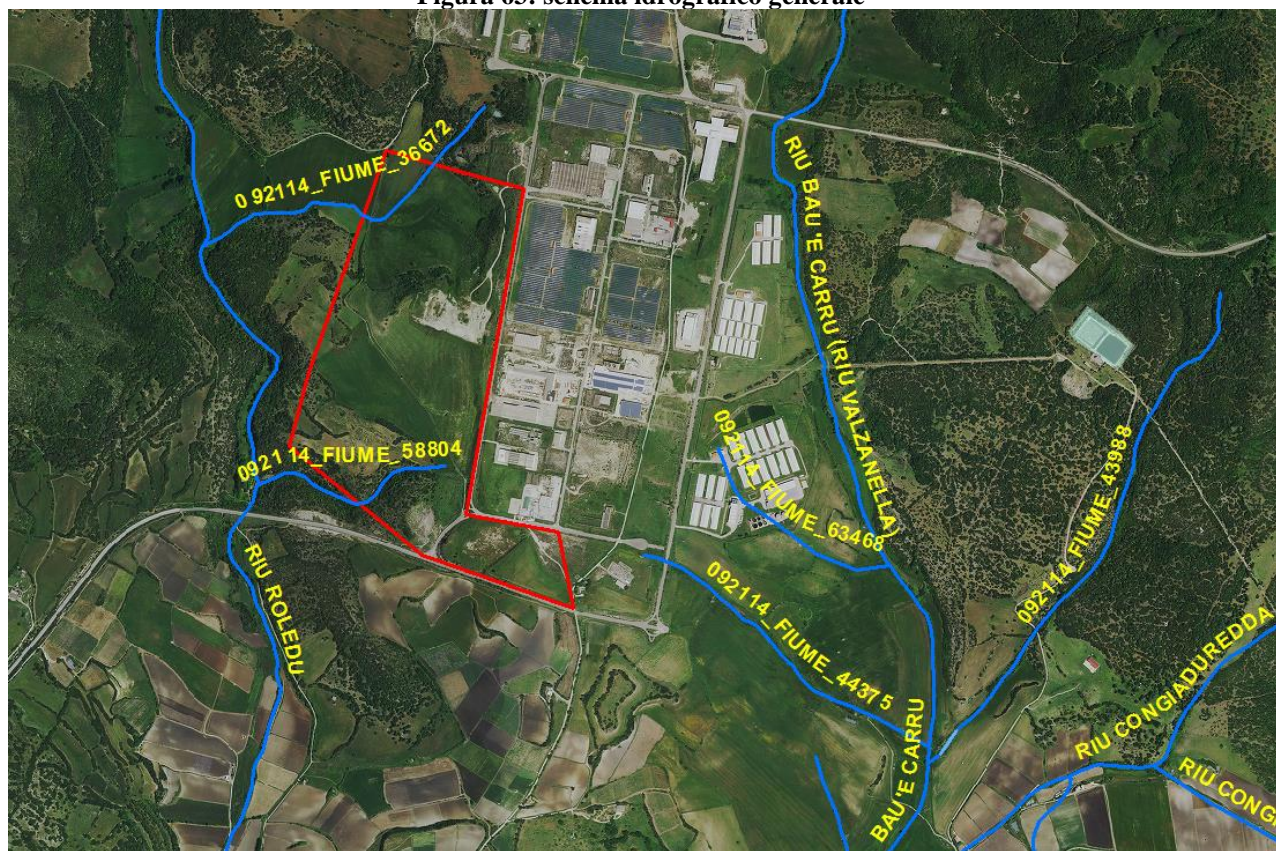
Il corso d'acqua presenta deflussi solitamente periodici in funzione della piovosità e quindi un regime di tipo torrentizio. Il suo bacino è impostato prevalentemente sulle dolomie mesozoiche e sui depositi terziari. Il Flumini Mannu041 (Rio Sarcidano) scorre ad Ovest delle aree interessate dal progetto e ad una distanza dalle stesse minima di 270 metri dal limite dell'area di scavo e si immette a valle dell'agglomerato Industriale, direttamente nell'Invaso artificiale di San Sebastiano sbarrato alla stretta di Is Barroccus nel territorio di Isili, sul versante Nord Occidentale del Monte Trepù. Il corso d'acqua ha un andamento fortemente dipendente dall'entità delle precipitazioni e quindi carattere in genere torrentizio con piene durante le stagioni piovose e alveo pressochè asciutto o con minimo deflusso durante le stagioni siccitose estive.

Uno schema idrografico generale del settore è riportato nella sottostante figura 63 mentre lo schema di dettaglio dell'area prossima a quella dell'area richiesta in Concessione è indicata nella figura 64.

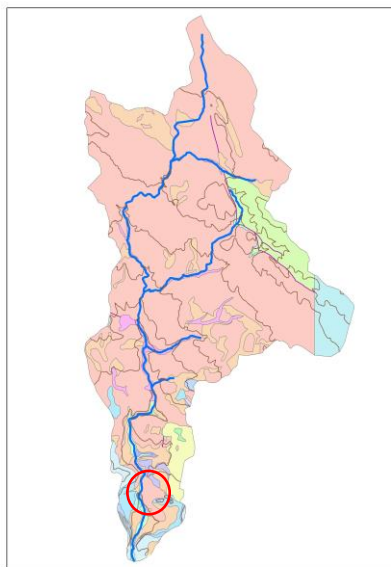




**Figura 63: schema idrografico generale**



**Figura 64: idrografia di dettaglio**



Il quadro di dettaglio dell'area evidenzia che all'interno dell'area della Concessione sono presenti due piccoli corsi d'acqua censiti nel database regionale (Fiume 36672 e fiume 58804) che in realtà rappresentano le aree di scarico delle acque bianche raccolte all'interno dell'area industriale. Entrambi drenano quindi acque solo in occasione di precipitazioni.

I corsi d'acqua indicati sono comunque particolarmente influenzati dalle precipitazioni e si presentano asciutti in parte dell'anno e con scorrimento che avviene a seguito di condizioni di saturazione dei suoli a seguito di precipitazioni intense e persistenti. Dalle modellizzazioni si rileva infatti che i deflussi estivi dei tributari principali tendono comunque ad annullarsi. Si sottolinea inoltre che quasi tutti i corsi d'acqua segnalati si trovano in stato di abbandono e localmente con alveo occluso dalla vegetazione. Il Flumini Mannu è inserito in aree a pericolosità idraulica ma le attività non avranno comunque alcuna ripercussione in quanto si svolgono a notevole distanza dalle aree segnate a pericolosità idraulica e comunque non

incidono sulle modifiche quantitative del deflusso considerato che gli afflussi sono già computati all'interno del bacino idrografico di riferimento. Le portate calcolate per il Flumini Mannu a monte dell'attraversamento della Strada Consortile hanno un valore minimo di almeno 126 mc/sec.

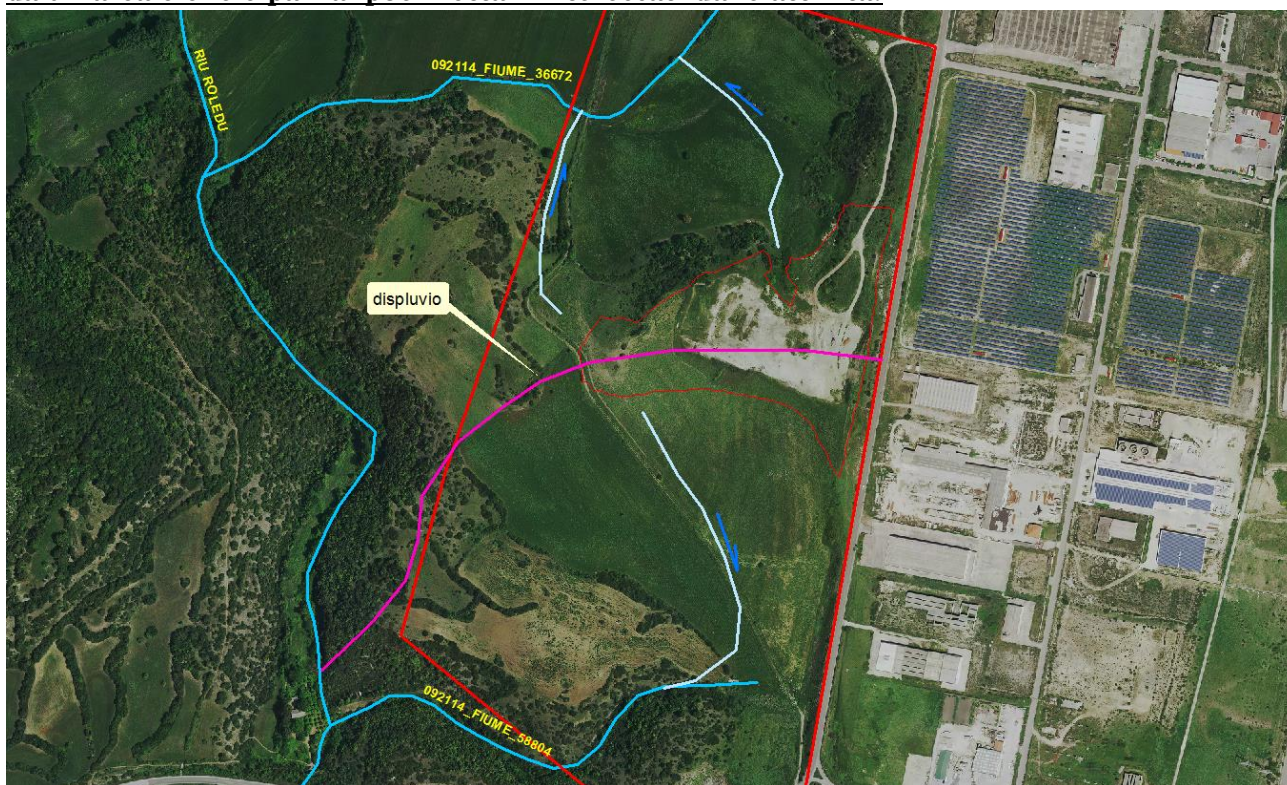
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Bacino1	14	PF 1	201.29	496.50	499.34	500.02	502.17	0.053164	9.17	34.56	54.32	1.89
Bacino1	14	PF 2	171.33	496.50	499.24	499.89	502.08	0.053159	8.92	29.54	48.87	1.88
Bacino1	14	PF 3	148.80	496.50	499.15	499.81	502.01	0.053173	8.70	25.59	44.13	1.87
Bacino1	14	PF 4	126.41	496.50	499.06	499.69	501.93	0.053187	8.44	21.50	38.60	1.85
Bacino1	13	PF 1	201.29	483.80	487.14	487.31	487.88	0.011087	4.92	60.85	58.72	0.95
Bacino1	13	PF 2	171.33	483.80	487.01	487.18	487.72	0.011091	4.76	53.25	54.46	0.94
Bacino1	13	PF 3	148.80	483.80	486.90	487.07	487.59	0.011053	4.62	47.40	50.93	0.93
Bacino1	13	PF 4	126.41	483.80	486.77	486.94	487.44	0.011067	4.47	41.25	46.93	0.92
Bacino1	12	PF 1	201.29	465.50	469.81	469.35	469.85	0.000817	1.43	264.79	321.88	0.26
Bacino1	12	PF 2	171.33	465.50	469.70	469.30	469.74	0.000824	1.41	233.28	305.72	0.26
Bacino1	12	PF 3	148.80	465.50	469.62	469.25	469.66	0.000833	1.39	208.32	292.30	0.26
Bacino1	12	PF 4	126.41	465.50	469.53	469.19	469.57	0.000831	1.36	183.59	278.35	0.26
Bacino1	11	PF 1	201.29	458.50	461.28	461.32	461.87	0.012454	4.29	60.63	54.85	0.84
Bacino1	11	PF 2	171.33	458.50	461.19	461.21	461.71	0.011530	4.04	58.08	54.61	0.81
Bacino1	11	PF 3	148.80	458.50	461.11	461.14	461.58	0.011386	3.93	51.40	54.36	0.80
Bacino1	11	PF 4	126.41	458.50	460.98	461.05	461.45	0.012690	4.00	44.44	53.32	0.83
Bacino1	10.8	PF 1	201.29	450.60	458.67	454.42	458.87	0.001547	2.11	113.78	59.31	0.30
Bacino1	10.8	PF 2	171.33	450.60	457.76	454.05	458.08	0.002893	2.54	71.33	33.88	0.39
Bacino1	10.8	PF 3	148.80	450.60	457.30	453.75	457.62	0.002363	2.51	59.30	9.01	0.31
Bacino1	10.8	PF 4	126.41	450.60	456.89	453.44	457.16	0.002019	2.27	55.60	9.01	0.29

Figura 65: studio delle portate di massima piena del Flumini Mannu immediatamente a valle dell'area di intervento

Considerando i deflussi dell'area di scavo si osserva che gli stessi allo stato attuale seguono le linee di massima pendenza per raccogliersi sul lato Sud e sul lato Nord ed affluire ai due corsi d'acqua secondari già citati, affluenti del Flumini Mannu.

Di seguito lo schema di circolazione in occasione di forti precipitazioni. Dal lato Nord dello scavo le acque si immettono nel Fiume\_36672 mentre dal lato Sud si immettono nel Fiume\_58804. Si evidenzia che di fatto non vi sono apporti esterni provenienti dal lato Est dell'area di scavo in quanto la trincea stradale esistente delimita di fatto un bacino idrografico che drena le acque del settore industriale verso i punti di recapito naturali. **L'area di scavo, durante le precipitazioni, è**

**quindi strettamente alimentata solo ed unicamente dal settore di scavo medesimo e quindi da un areale che è pari ai pochi ettari interessati dalle attività.**



**Figura 66: ricostruzione della rete di deflusso delle acque meteoriche**

Anche a seguito dell'attuazione del progetto le acque saranno controllate e convogliate in alcuni bacini di decantazione che saranno operativi durante le attività e che permetteranno il controllo delle medesime prima di immetterle, nel rispetto dei limiti qualitativi, all'interno della rete di drenaggio naturale.

Considerando che comunque tra il limite est dell'area di scavo e la scarpata stradale vi è una fascia di rispetto della larghezza di circa 20 metri che comunque può drenare le acque verso l'intero dello scavo, durante le attività è prevista sempre la realizzazione di una canaletta esterna che intercetti eventuali acque meteoriche impedendo alle medesime di entrare all'interno dello scavo. Come già specificato non si ritiene necessario il dimensionamento di eventuali opere di intercettazione e drenaggio in quanto di fatto nell'area sovrastante non si ha un bacino idrografico di raccolta di acque esterne all'area di intervento.

Pur tuttavia si evidenzia che la cunetta sarà sagomata a sezione trapezoidale, sarà dimensionata opportunamente in funzione della massima portata prevedibile con un tempo di ritorno di 30 anni. Si riportano di seguito alcuni stralci delle tavole di progetto dalle quali sin dal terzo anno si evidenzia che le acque esterne saranno sempre controllate e drenate in modo tale da evitare qualsiasi interferenza con le lavorazioni previste.

Dalle medesime tavole si evince anche che le acque circolanti all'interno della miniera saranno invece controllate grazie alle pendenze assegnate ai gradoni e ai piazzali, dotati di adeguata contropendenza verso monte e debole inclinazione tale da convogliare le acque verso i bacini di decantazione appositamente realizzati.

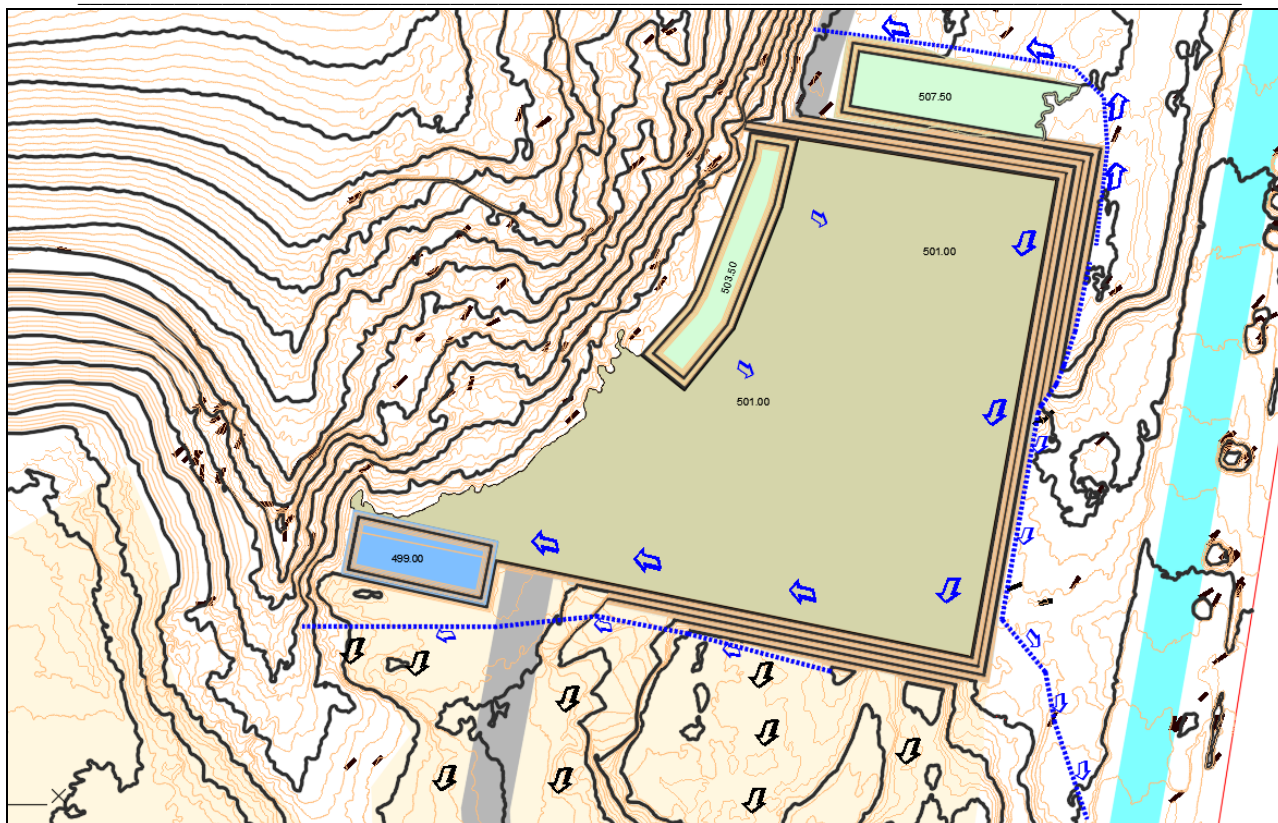


Figura 67: situazione al terzo anno- le acque del settore est comprese tra la trincea stradale (ciano) e lo scavo vengono convogliate attraverso apposite canalette sia in direzione Nord che Sud. Le acque che possono invece gravare sul settore sud dello scavo vengono drenate in direzione Ovest.

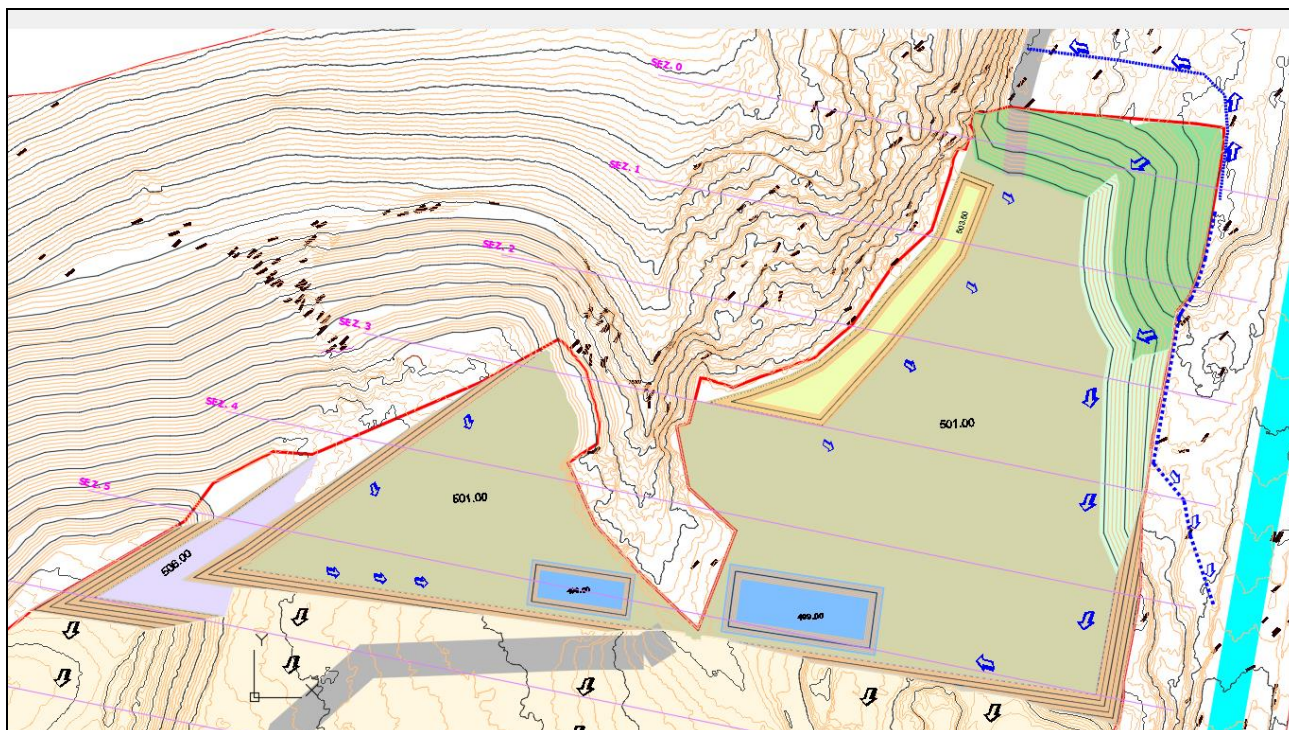
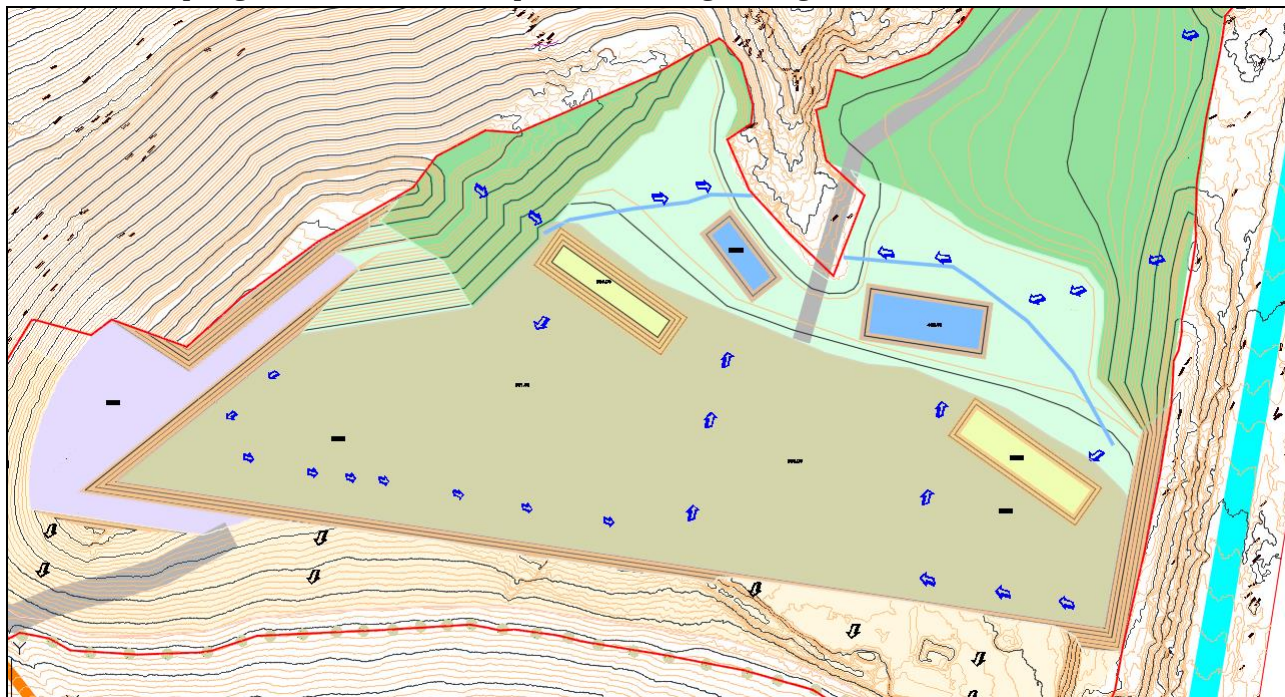


Figura 68: situazione al sesto anno. Si mantiene inalterato il sistema di drenaggio esterno mentre è potenziato il sistema di decantazione interno che drena le acque dello scavo grazie alle pendenze assegnate al medesimo

Il controllo esterno ed interno dei drenaggi è assicurato anche nelle fasi successive di coltivazione dove si pone particolare attenzione all'interfaccia delle aree di scavo con quelle già ripristinate. Infatti, oltre al controllo esterno di eventuali ruscellamenti, le acque interne provenienti dalle aree già recuperate vengono drenate ed immesse nella rete naturale di drenaggio prima ancora che le stesse possano ruscellare verso le zone di scavo. Il controllo delle acque interne è sempre garantito dalle contropendenze assegnate agli scavi.



**Figura 69: sistema di controllo dei ruscellamenti al 15° anno**

In relazione alle quantità delle acque di ruscellamento e circolazione superficiale del bacino scolante a monte delle vasche di raccolta e decantazione delle acque meteoriche interne e che comprende l'area di scavo, si osserva che il medesimo può avere una estensione che in funzione delle fasi di coltivazione è pari a circa 2 ettari.

Le acque di "prima pioggia" sono identificate nei primi 5 mm di acqua meteorica di dilavamento, uniformemente distribuita su tutta la superficie scolante servita dal sistema di drenaggio. Per il calcolo delle relative portate si assume che tale valore venga raggiunto dopo un periodo di tempo di 15 minuti di pioggia.

Adottando tale sistema, prescindendo dalla reale distribuzione dei deflussi si evidenzia che sulla superficie di 20.000 mq (tale è infatti la superficie netta sulla quale deve essere effettuata la raccolta acque interne alla miniera durante le operazioni di scavo nelle diverse fasi), si avrebbe un volume di acque di prima pioggia pari a 100 mc.

Tale volume è estremamente basso e può sufficientemente essere contenuto dalle vasche di accumulo per le quali si stimano capienze superiori ai 1.000-1.500 mc complessive fatta eccezione per il primo triennio (500 mc). Si tratta di valori che quindi garantiscono la tenuta di eventuali situazioni di piovosità particolarmente gravosa. Se ne deduce che quindi anche ipotizzando uno scenario di deflusso con intensità di precipitazione elevata in breve tempo, si avrebbe comunque il controllo degli afflussi data la scarsa superficie di intervento.

## **Idrogeologia**

Per ciò che concerne le caratteristiche idrogeologiche si osserva che il territorio in questione costituisce un complesso idrogeologico ben caratterizzato e relativamente semplice in funzione dei

suoi aspetti morfologici e geologici. Sono presenti tre complessi litologici che mostrano, dal punto di vista della permeabilità, caratteristiche differenti. Le distinzioni sono state fatte seguendo lo schema rappresentato da quattro livelli con grado diverso di permeabilità:

- Impermeabile ( $k < 10^{-7}$  cm/sec)
- Bassa Permeabilità ( $10^{-4} > k > 10^{-7}$  cm/sec)
- Media Permeabilità ( $10 > k > 10^{-4}$  cm/sec)
- Alta permeabilità ( $k > 10$  cm/sec)

Distinguendo due tipi differenti di permeabilità:

1. per porosità
2. per fessurazione e carsismo;

Occorre precisare che la precedente distinzione, in assenza di sicure prove di permeabilità che consentano l'esatta determinazione del coefficiente K, è stata effettuata sulla base dei dati riportati in letteratura e dall'insieme delle osservazioni di campagna relative agli aspetti litologici, giaciturali etc. E' comunque possibile che la permeabilità di certi litotipi, in seno alla medesima formazione, possa essere differente perchè al limite delle classi di permeabilità sopra definite.

LITOLOGIE DEL SUBSTRATO		
UNITA'	FORMAZIONE GEOLOGICA	DESCRIZIONE
Detritico carbonatica quaternaria	travertini, detriti di falda	Permeabilità alta per porosità
Alluvioni plio quaternarie	Alluvioni antiche, alluvioni recenti, alluvioni attuali, depositi fluvio lacustri, Sintema di Portovesme	Permeabilità per porosità complessiva medio bassa; localmente medio alta nei livelli a matrice più grossolana
Vulcaniti plio quaternarie	Basalti delle Giare	Permeabilità complessiva per fessurazione da medio-bassa a bassa, localmente in corrispondenza di facies fessurate e cavernose permeabilità per fessurazione e subord. per porosità medio alta
Detritica pliocenica	Conglomerati, arenarie, argille di sistema alluvionale	Permeabilità per porosità complessivamente bassa localmente media in corrispondenza dei livelli a matrice più grossolana
Detritico carbonatica miocenica superiore	calcarei, calcareniti, arenarie marnose con subordinate marne e siltiti, conglomerati arenarie	Permeabilità complessiva medio alta, da medio bassa a medio alta per porosità nei termini detritici, medio alta per fessurazione e/o carsismo nei termini carbonatici
	marne, marne arenacee e siltose, conglomerati a matrice argillosa con subordinate arenarie, calcareniti e sabbie con locali intercalazioni tufacee	Permeabilità complessiva medio bassa per porosità alta, localmente medio alta per porosità nei termini sabbioso-arenacei
Detritica carbonatica oligo miocenica inferiore	Conglomerati e arenarie con matrice generalmente argillosa siltiti e argille con locali intercalazioni di tufi di ambiente continentale	Permeabilità per porosità bassa
Vulcaniti oligomioceniche	vulcaniti calcalcaline	Permeabilità per fessurazione complessiva medio bassa
carbonatica mesozoica	calcarei, calcari dolomitici, dolomie, calcari oolitici, calcari bioclastici, calcari marnosi, marne calcareniti, calcari selciferi, arenarie, calcari micritici, dolomie, marnose, marne e gessi e argille di ambiente transizionale e marino	Permeabilità complessiva medio alta per fessurazione e carsismo nei termini carbonatici, e per porosità nei termini arenacei, localmente bassa nei termini marnosi e argillosi
detritico permo carbonifera e triassica	argille, siltiti, arenarie e conglomerati, talora con intercalazioni di calcari silicizzati, di calcari con selci lacustri di ambiente continentale	Permeabilità per fessurazione complessiva medio bassa, localmente media in corrispondenza dei livelli arenacei e conglomeratici
Magmatica paleozoica	complesso filoniano, complesso vulcanico	Permeabilità complessiva bassa per fessurazione localmente media in corrispondenza delle aree con sistemi di fraturazione sviluppati
Metamorfica superiore paleozoica	complesso metamorfico scistoso	Permeabilità complessiva bassa per fessurazione, localmente in corrispondenza delle lenti carbonatiche medio alta per fessurazione e carsismo

**Figura 70: permeabilità generale delle Formazioni**

In generale la parte impermeabile del bacino è costituita dalle litologie oligomioceniche a carattere prevalentemente bentonitico (Formazione di Ussana) che presenta una **permeabilità molto bassa o nulla** per porosità ( $10^{-4} > k > 10^{-7}$  cm/sec) o ( $k < 10^{-7}$  cm/sec) e rappresenta il substrato impermeabile in cui la circolazione delle acque per moto verticale è pressoché nulla. Al di sotto delle dolomie giuresi possono ugualmente essere intercettati livelli argillosi della

Formazione di Genna Selole che costituiscono ugualmente un limite impermeabile per il confinamento della falda profonda. Il limite basale delle metamorfiti paleozoiche è quello comunque che garantisce l'intera permeabilità al comparto profondo.

La parte mediamente permeabile è costituita invece dal complesso arenaceo-conglomeratico soprastante le argilliti (Formazione di Ussana) che presenta una **permeabilità relativa da bassa a media** per porosità ( $10^{-4} > k > 10^{-7}$  cm/sec o  $10^{-4} > k > 10^{-4}$  cm/sec) e variabile in funzione delle condizioni di cementazione dei clasti e quindi del contenuto argilloso.

La parte da **mediamente ad altamente permeabile** per fessurazione e carsismo è rappresentata dal potente complesso carbonatico mesozoico della Formazione di Dorgali ( $10^{-4} < K < 10^{-4}$  cm/sec). Essendo delimitato alla base da argilliti o da metamorfiti si verifica che le acque di infiltrazione riemergono pertanto o come sorgenti di frattura nelle dolomie stesse o di contatto stratigrafico al passaggio con le argille e le metamorfiti sottostanti l'assise carbonatica. Le caratteristiche idrogeologiche del settore carbonatico sono comunque ben note in quanto il "Tacco del Sarcidano", che si presenta come un'unità ben delineata dal punto di vista geologico-morfologico e idrogeologico, rappresenta il più importante serbatoio acquifero della Sardegna centrale. La permeabilità dell'acquifero è strettamente legata all'intensità di fratturazione e di carsificazione; il complesso dolomitico si comporta infatti come un grande corpo assorbente delimitato alla base dai livelli impermeabili. Numerose sorgenti in agro di Isili, presentano cospicue portate (ad esempio *Funtana Onadi*, *Funtana Figu*, *Funtana Isidoriu*) e alcune di queste sono state da sempre captate da Abbanoa S.p.a. per uso acquedottistico. Il Tacco trova comunque sviluppo a Nord delle aree di intervento o al di sotto delle aree di scavo mostra continuità. In ogni caso lo scavo non interessa tali litologie e pertanto si esclude qualsiasi interferenza con tale acquifero.

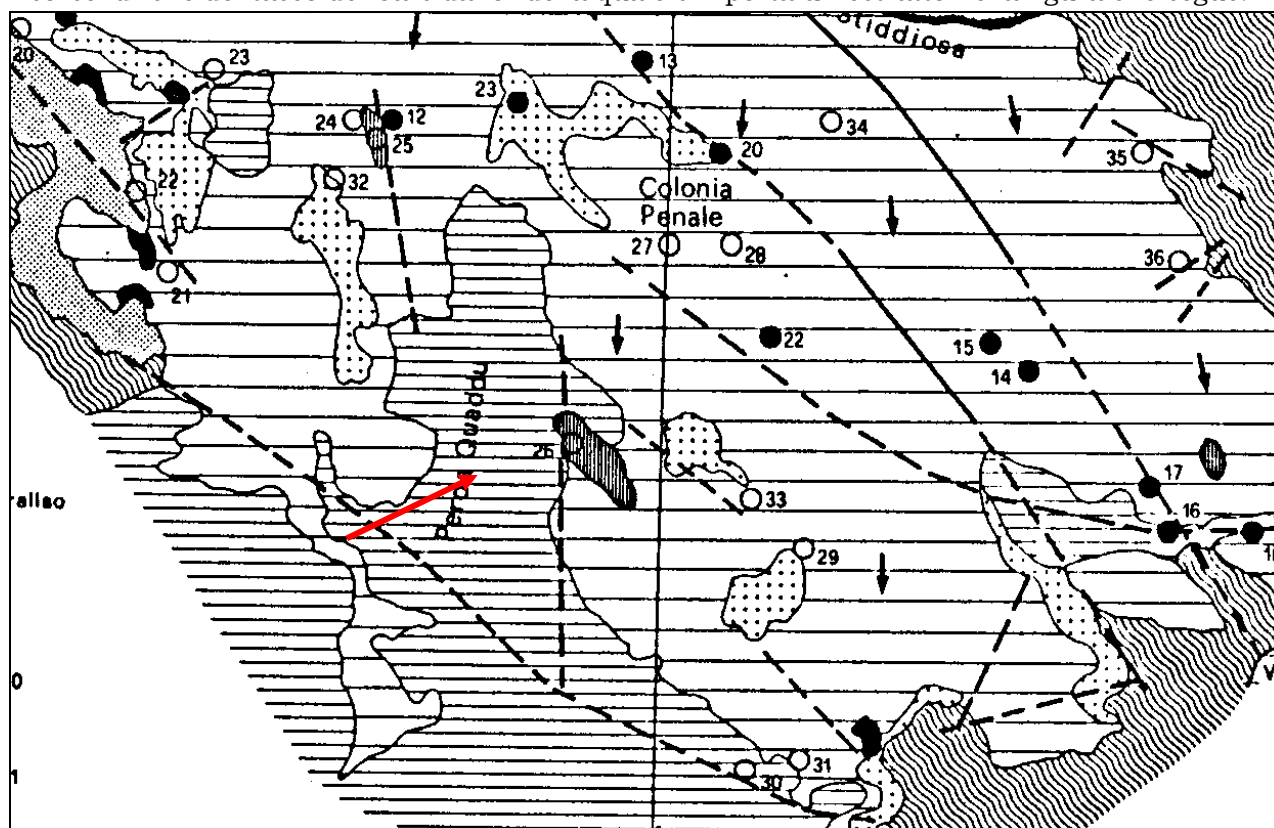
Lo schema delle Unità a permeabilità omogenea riportato più sopra, consente di definire l'andamento della circolazione idrica subsuperficiale del settore. Laddove è presente la Formazione di Ussana, si innesca localmente una circolazione idrica subsuperficiale, alimentata direttamente per infiltrazione della piovosità e per drenaggio dalle aree dolomitiche poste più a Nord, delimitata inferiormente dalle vulcaniti oligoceniche. Tale potenziale circolazione di falda subsuperficiale mostra comunque il suo massimo sviluppo con livelli statici prossimi al piano di campagna in occasione di periodi di forte piovosità in zone interne all'area industriale in quanto la direzione di deflusso della medesima è verso SE. All'interno dell'area industriale tale falda presenta comunque criticità in relazione alla vulnerabilità in quanto manca di un orizzonte di protezione. Tale situazione può verificarsi anche nelle zone prossime al Flumini Mannu e sia nelle zone più depresse poste immediatamente a Nord e Sud del settore rialzato centrale nel quale sono avvenuti gli scavi di spianamento.

Le operazioni di scavo non interferiranno invece con la falda in quanto la stessa non è stata intercettata durante le operazioni di scavo dei pozzetti geognostici o con moto trivella e si ritiene che la medesima, al di sotto del profilo collinare interessato dagli scavi, sia rinvenibile ad almeno 10 metri di profondità al di sotto dei livelli argillosi.

Si consideri infatti che gli scavi minerari non interesseranno l'intera sezione argillosa e pertanto il basamento argilloso che potrebbe confinare un'eventuale sottostante falda non viene di fatto interamente scavato e garantisce la protezione dell'eventuale acquifero profondo.

Infatti, anche per ciò che concerne la presenza di eventuali falde ancora più profonde si osserva che le stesse sono confinate al di sotto dei banchi argillosi bentonitici laddove gli stessi si presentano con continuità e al contatto tra le formazioni carbonatiche giuresi e il basamento scistoso che si rileva a profondità superiori ai 100 metri. In quest'ultimo caso una funzione di sbarramento intermedia potrebbe essere data dalle argille sottostanti le dolomie e poste immediatamente al di sopra del basamento. La falda profonda che alimenta le sorgenti di trabocco del tacco del Sarcidano è comunque disposta con verso di deflusso in direzione Sud come

mostrano gli studi condotti sin dal 1987 nella pubblicazione Lecca-Pala-Serra "Valutazione delle risorse idriche del tacco del Sarcidano" della quale si riporta un estratto nella figura che segue.



**Figura 71: andamento dell'asse di deflusso sotterraneo del complesso del tacco ubicato immediatamente a nord dell'area industriale**

Le sorgenti del settore sono legate alle fratturazioni del complesso carbonatico o al contatto stratigrafico. L'unica sorgente di interesse è posta a NE dell'area industriale ma non ha alcuna relazione con l'area in questione (Funtana Isidoriu).

Gran parte dell'acqua che circola nelle dolomie giuresi si infila sotto la formazione calcareo arenacea conglomeratica miocenica e riemerge in corrispondenza delle variazioni di permeabilità della stessa serie o scorre sui tufi oligocenici (e sulle bentoniti) o sulle metamorfite paleozoiche. Questo tipo di circolazione si innesta ad alti livelli creando un flusso non profondo; laddove manca però la copertura argillosa o in corrispondenza dei termini conglomeratici sottostanti le dolomie è possibile che le acque meteoriche diano luogo, per infiltrazione verticale, ad una circolazione profonda che segue le linee del sottostante limite impermeabile scistoso.

La circolazione profonda nel settore dei tacchi è comunque particolarmente condizionata anche dalla struttura tettonica del settore. Le faglie hanno infatti una importante funzione di sbarramento e condizionano la direzione di deflusso sotterranea.

Di seguito si riportano alcune indicazioni relative alle portate storiche di alcune sorgenti del tacco del Sarcidano poste qualche km a Nord dell'area di intervento ma senza che vi sia alcuna relazione specifica tra le due aree in termini idrogeologici.

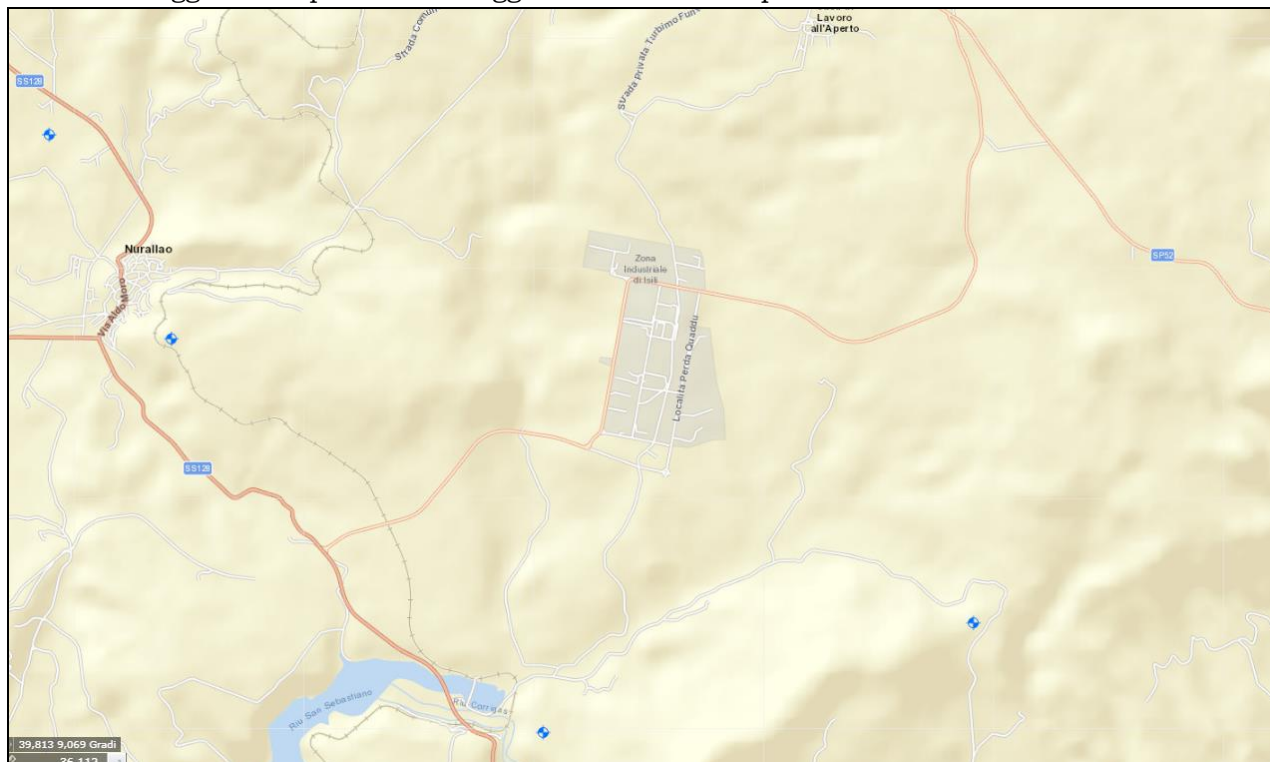
- Funtana Suergiu (Isili) con portata di 7 l/s
- Funtana 'e Figu (Isili) con portata di 16 l/s
- Rio Valzanella (Isili) con portata di 9 l/s
- Funtana de Onadi (Isili) con portata di 4 l/s
- Funtana Isidoriu (Isili) con portata di 9.00 l/s

In relazione alle falde profonde sono state effettuate alcune ricerche finalizzate a reperire ulteriore materiale utile per la ricostruzione del modello idrogeologico. Per la raccolta di dati idrogeologici sono stati consultati dati reperibili sia da pubblicazioni del settore e sia ricerche svolte presso enti pubblici nonché con rilievi diretti in campo. Per il settore in questione non sono reperibili particolari dati storici rispetto a quelli sinora citati. Il primo catasto delle acque sotterranee in Sardegna fu realizzato negli anni 1931-32 dalla sezione di Cagliari del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici. Furono censite tutte le sorgenti con portata superiore o uguale a 0,10 litri/s; le stesse furono riportate su una carta in scala 1:250.000. I risultati delle ricerche, corredati da elenchi e da fotografie delle sorgenti principali, figurano nel volume *Le Sorgenti Italiane Sardegna* curato da Manfredi [1934]. Negli anni 1955-56 fu redatta dal Prof. Vardabasso, dell'Istituto di Geologia dell'Università di Cagliari, una Carta delle Permeabilità della Sardegna, per conto della CASMEZ, a cura dell'Assessorato all'Agricoltura della Regione Sardegna. In questa carta, in scala 1:250.000, risultavano indicate le sorgenti con portata uguale o superiore a 0,5 litri/s, e una distinzione delle diverse formazioni sulla base delle caratteristiche di permeabilità. Successivamente intorno agli anni 80 è stato realizzato un ulteriore studio delle risorse idriche sotterranee dal Prof. A. Pietracaprina, per conto della CASMEZ.

Lo studio, fondamentalmente impostato sul censimento delle captazioni, fu concretizzato in numerosi volumi e atlanti cartografici (Carte IGM 1:25.000) contenenti descrizioni e dati di pozzi e sorgenti. A parte gli studi citati, ai fini della ricerca, ci si può rifare ufficialmente solo ed esclusivamente ai dati reperibili presso gli enti pubblici e in particolare, solo dopo l'emanazione del Decreto Ass.le n. 676/96, ai Servizi del Genio Civile che hanno potuto acquisire una documentazione adeguata sulle ricerche e sulle utilizzazioni idriche.

E' stato consultato il database dell'ex Servizio Geologico d'Italia (attuale ISPRA) al fine di verificare le perforazioni profonde eseguite nell'area per scopi idrici.

Da tale analisi emerge che nell'area di intervento e in prossimità della medesima non sono censiti pozzi profondi. Nella vasta area e prossima a quella di intervento sono infatti assenti i pozzi che hanno raggiunto la profondità maggiore di 30 metri e quindi denunciati all'ISPRA.



**Figura 72: database ISPRA legge 464/84**

In definitiva si osserva che non si rilevano interferenze di tipo idrogeologico tra le opere proposte e l'assetto idrogeologico locale. Tutte le indagini eseguite nonché quelle reperite da fonti o da lavori svolti dal coordinatore della VAS in numerosi progetti relativi all'edificazione delle aziende evidenziano la presenza di una falda sub superficiale in genere unicamente nel settore Nord -Est ed Est della zona industriale, in genere laddove le argilliti sono sottostanti a spessori metrici dei conglomerati della formazione di Ussana che quindi si satura consentendo il raggiungimento del livello statico a circa 1,50 metri dal p.c.

Nell'area di intervento, a seguito dello scavo si esclude qualsiasi interferenza di natura idrogeologica.

## **CONSIDERAZIONI E VERIFICHE SULLA STABILITA' DEGLI SCAVI**

In relazione alle modalità costruttive delle opere previste, si evidenzia che è prevista la realizzazione di gradoni di altezza limitata (massimo 5 metri). L'intervento dovrà quindi necessariamente comportare l'esecuzione di scavi più o meno profondi. La larghezza degli scavi deve in ogni caso consentire l'esecuzione dei lavori in condizioni di massima sicurezza e in osservanza di tutte le norme vigenti in materia. Si evidenzia a tal fine che l'apertura di uno scavo altera sempre la pendenza naturale delle scarpate creando i presupposti per pericolosi incrementi degli sforzi di taglio, i quali possono condurre alla creazione di superfici di rottura e quindi al collasso dello scavo.

La scelta delle pendenze di sicurezza da assegnare al profilo degli scavi dipende dalla resistenza al taglio del terreno, dall'altezza dello scavo e dalle condizioni di circolazione delle acque sotterranee. Considerando che l'opera interessa materiali terrosi argillosi, le pendenze da assegnare allo scavo, per verifiche a breve termine, possano essere di 1/1 considerando che normalmente le attività proseguono giornalmente e garantiscono comunque un controllo continuo della stabilità.

Si evidenzia che comunque in fase definitiva e di rilascio del titolo minerario sarà sempre prodotta annualmente la relazione sulla verifica di stabilità dei fronti a garanzia e tutela dei lavoratori contro eventuali franamenti.

## **CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

La presente relazione, redatta sulla base di apposito incarico, fa parte degli studi geologici di corredo agli atti progettuali per il progetto *di coltivazione e recupero ambientale nell'ambito della richiesta di Concessione mineraria temporanea per argille bentonitiche e argille smettiche denominata "Mauru Marras" in agro del Comune di Isili (SU)*. Sono stati presi in esame lo stato di fatto dei luoghi e le principali caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche della zona.

Quindi, in conformità alle regole e norme tecniche stabilite dalle disposizioni vigenti in materia, è stato redatto questo documento contenente le indicazioni circa gli interventi proposti, nonché la sintesi degli interventi tecnici da effettuare in rapporto all'entità, alla tipologia e categoria dei lavori.

Le indagini geologiche hanno permesso di ottenere una conoscenza dello stato di fatto del sito di interesse e di valutare la completa assenza di fenomeni di rischio o di pericolosità tali da compromettere la realizzazione delle opere.

Eventuali scostamenti rispetto a quanto previsto nel presente elaborato dovranno necessariamente essere verificati e supportati in caso di necessità da approfondimenti di dettaglio. Non sussistono particolari problematiche di natura geologica, idrogeologica ed idrologica in merito alla stabilità dei luoghi di indagine.

Non si rilevano particolari interferenze con il sistema idrologico superficiale che pregiudichino la realizzazione delle opere in progetto.

*Il Tecnico*

Isili, Settembre 2023

Dott. Geol. Antonello Frau

## ASPETTI GIACIMENTOLOGICI CONNESSI ALL'ESITO DELLA RICERCA MINERARIA AL TERMINE DEL PRIMO ANNO DI VIGENZA DEL PERMESSO DI RICERCA

Come più volte ricordato il permesso di ricerca mineraria propedeutico per la richiesta della presente Concessione Mineraria è stato originariamente accordato con determinazione n. 554 del 09/07/2021 prot. n. 0025862 per la durata di anni 1.

Le ricerche effettuate nell'area, attraverso i rilievi geologici di superficie, il campionamento e i pozzetti geognostici, hanno consentito di accertare e delineare i principali caratteri giacimentologici dei livelli argillosi di interesse e permettere così l'identificazione delle potenzialità dell'intero giacimento e delle diverse aree di rilievo.

Alcune prove di caratterizzazione chimico-fisiche eseguite sui campioni, sia superficiali che profondi, hanno consentito di valutare l'idoneità e l'interesse dei livelli minerari.

Nell'area in argomento è stato eseguito dapprima un rilievo topografico con ricostruzione del dtm di dettaglio dal quale è stato ottenuto un rilievo topografico specifico a isoipse con rilievo di fotografie aeree di dettaglio.

Tale rilievo topografico è stato di ausilio per l'identificazione dei punti di posizionamento delle indagini. Inoltre, il medesimo rilievo di base costituisce il supporto sul quale è stata eseguita anche l'analisi geologica che ha permesso di identificare le diverse formazioni geologiche di interesse.

Dai rilievi geologici effettuati si evince che il territorio interessato dalla ricerca è costituito da terreni appartenenti a diverse unità e formazioni geologiche ma che i minerali oggetto di interesse ed indagine sono localizzati nell'ambito della successione vulcano sedimentaria oligomiocenica. Le medesime si sviluppano al di sotto di suoli o dei colluvi (sigla b2) o comunque sedimenti detritici o deboli copertura conglomeratiche della Formazione di Ussana (USS) o ancora riporti antropici prossimi all'area industriale (h1r).

Le indagini dirette sono state eseguite attraverso l'uso di una macchina cingolata in modo da consentire l'agevole accesso ai luoghi di lavoro senza ulteriori necessità di realizzazione di opere complementari.

**Attraverso le prime indagini eseguite è stata confermata la presenza della mineralizzazione nei settori indagati (in particolare in tutto il settore centro Nord dell'area del permesso).**

Nel complesso la mineralizzazione in oggetto presenta spessori variabili anche di quasi 5 metri considerato che a volte non è stata raggiunta la base del giacimento. Le caratteristiche chimico-fisiche sono nel complesso ottime a giudicare dai risultati delle analisi chimiche e mineralogiche effettuate. Senza dover riportare l'esito dell'intera campagna, di seguito si riportano alcune fotografie e le stratigrafie relative riscontrate in alcune aree di indagine sebbene le stesse costituiscano comunque motivi di segreto di natura commerciale ed industriale.

Si relaziona il posizionamento del pozzetto con i fotogrammi e la relativa stratigrafia.

Pozzetto id	Spessore terra vegetale e/o sterili o riporti superficiali	Stratigrafia e relativo spessore
1	30 cm terra vegetale + 5-10 cm conglomerati	1.70 metri argilla bentonitica
10	0.50 metri terra vegetale	4.0 metri argilla bentonitica verdastra
11	0.80 metri terra vegetale	3.10 metri argilla bentonitica verdastra
12	0.70 terra vegetale	4.20 metri argilla bentonitica verdastra
13	0.70 metri terra vegetale	4.50 metri argilla bentonitica grigia
14	0.70 metri terra vegetale	4.0 m argilla bentonitica grigio verdastra
15	0.30 metri terra vegetale 0.6 metri sterili carbonatici	2.0 metri argilla bentonitica grigia legg. sabbiosa 2.0 metri argilla bentonitica verdastra
16	0.5 metri terra vegetale	3.30 metri argilla bentonitica grigia
17	0.70 metri terra vegetale	4.0 metri argilla bentonitica
18	0.70 metri terra vegetale	4.0 metri argilla bentonitica verdastra

19	1.0 metri terra vegetale	3.30 metri argilla bentonitica verdastra
20	0.70 m terra vegetale	3.0 metri argilla bentonitica verdastra
23	0.20 metri Riporti antropici	2.0 metri argilla bentonitica verdastra
25	0.5 metri terra vegetale	3.50 metri argilla bentonitica grigio verdastra
32	0.10 metri terra vegetale	calcare
34	0.60 m (terra vegetale)	4.30 m (argilla bent. con interc. ciottolose)
35	0.0 m (terra vegetale)	4.00 m (argilla bentonitica)



**Figura 73: pozzetto P1**



**Figura 74: pozzetto P1**



**Figura 75: pozzetto P1**

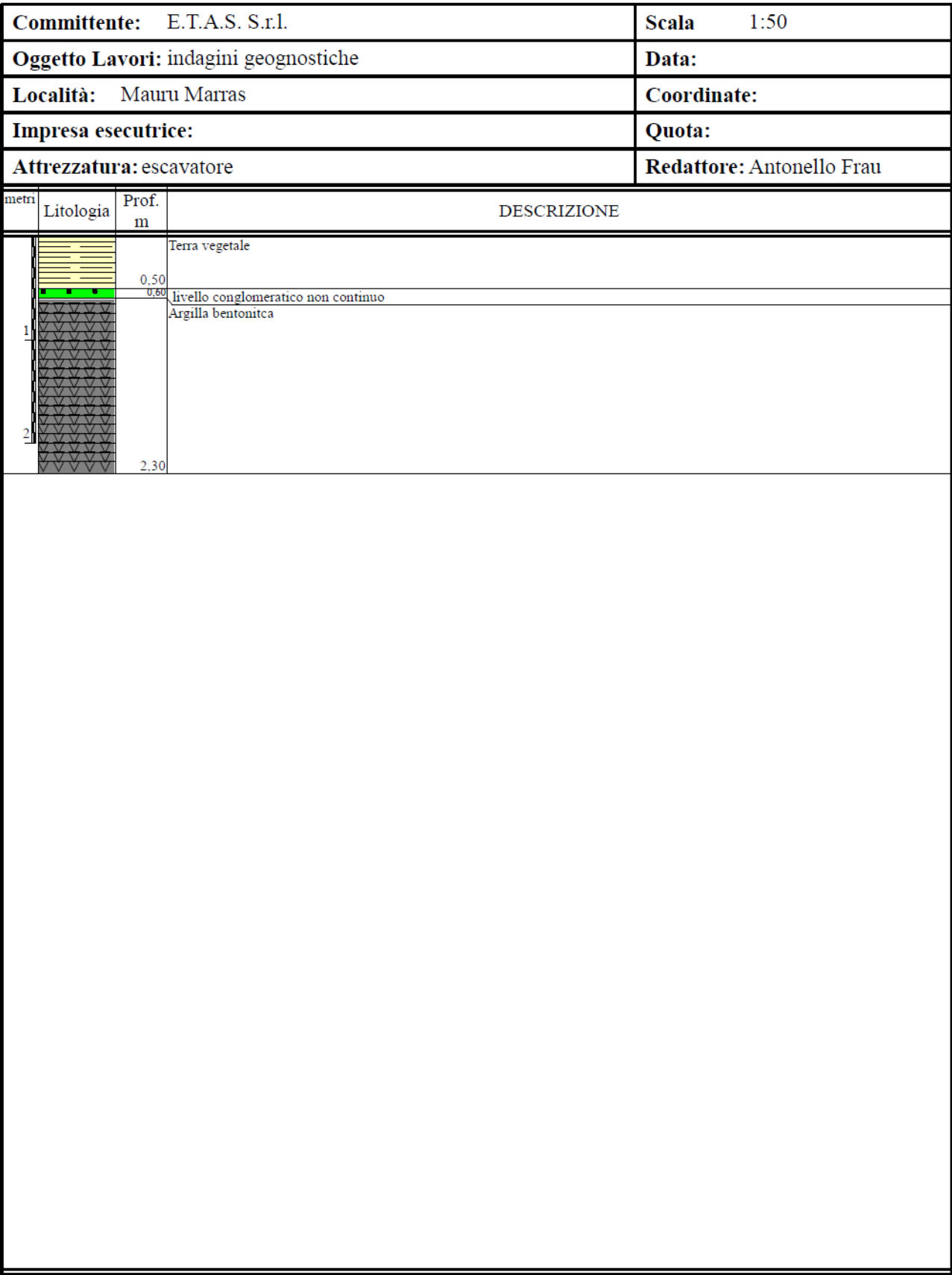


Figura 76: stratigrafia pozzetto P1



**Figura 77: Pozzetto P2**



**Figura 78: Pozzetto P2**



**Figura 79: Pozzetto P2**

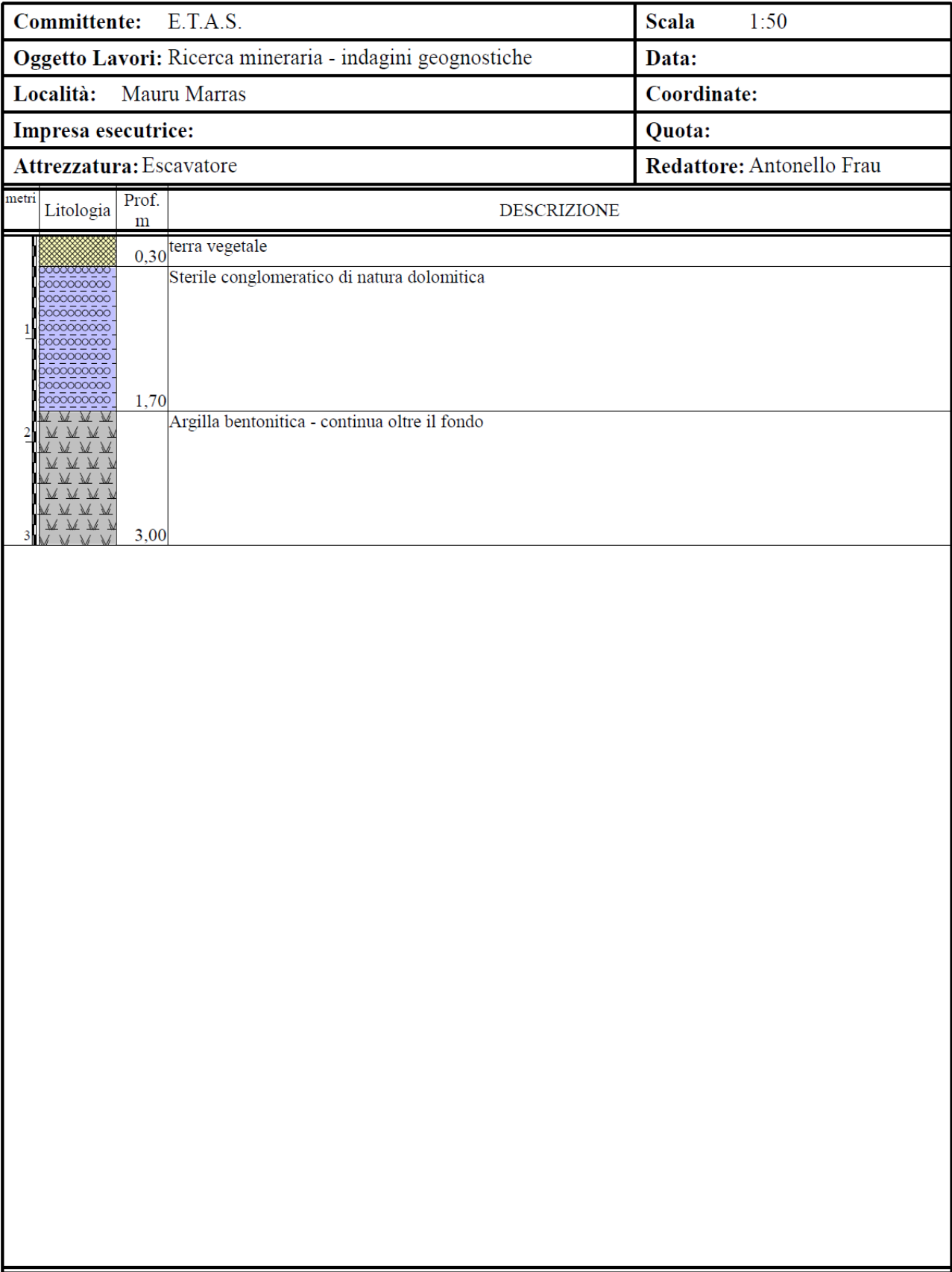
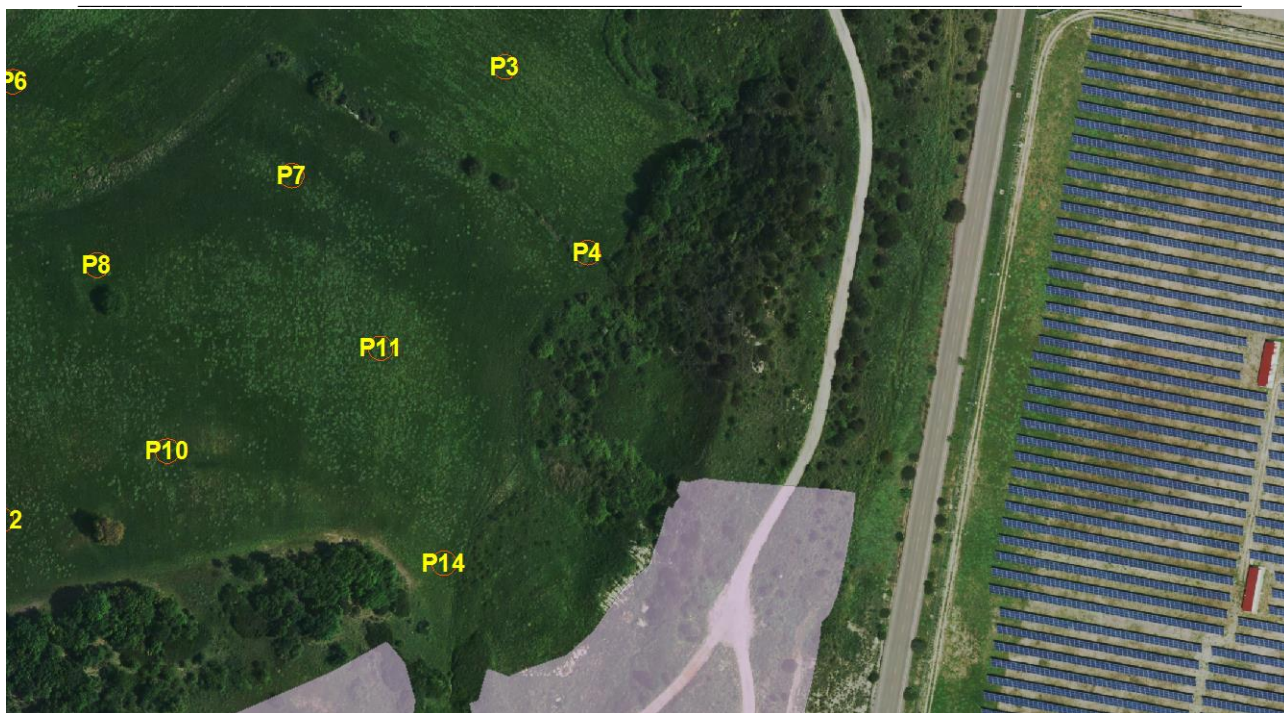


Figura 80: stratigrafia Pozzetto P2



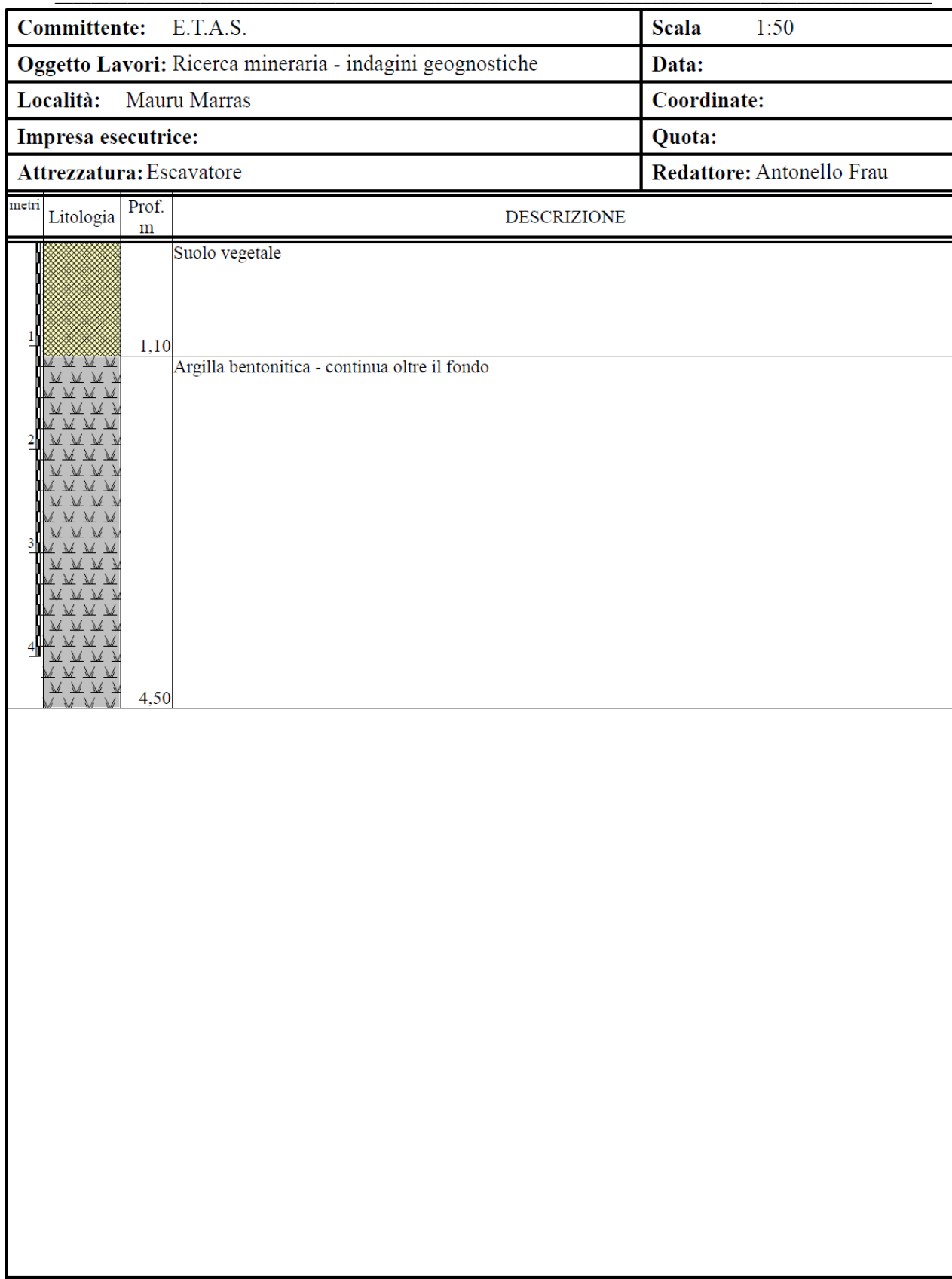
**Figura 81: Pozzetto P4**



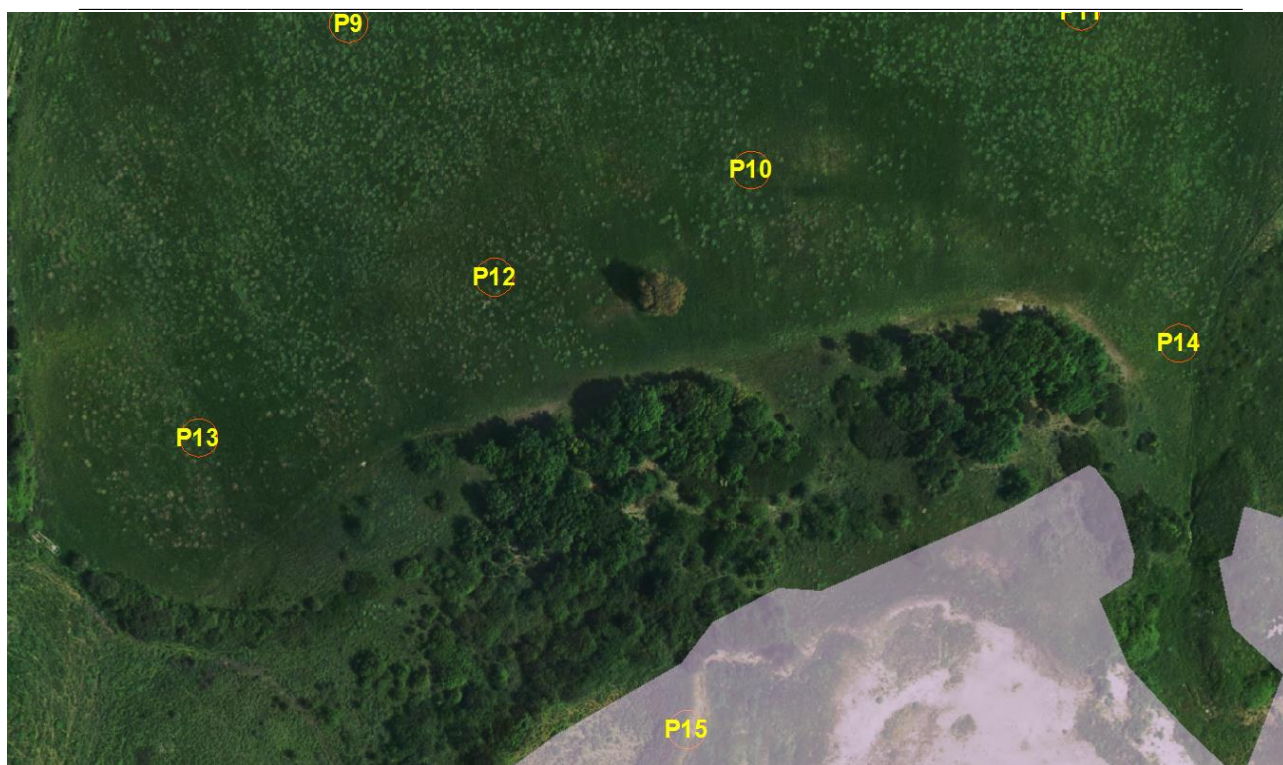
**Figura 82: Pozzetto P4**



**Figura 83: Pozzetto P4**



**Figura 84: stratigrafia Pozzetto P4**



**Figura 85: Pozzetto 12**



**Figura 86: pozzetto 12**

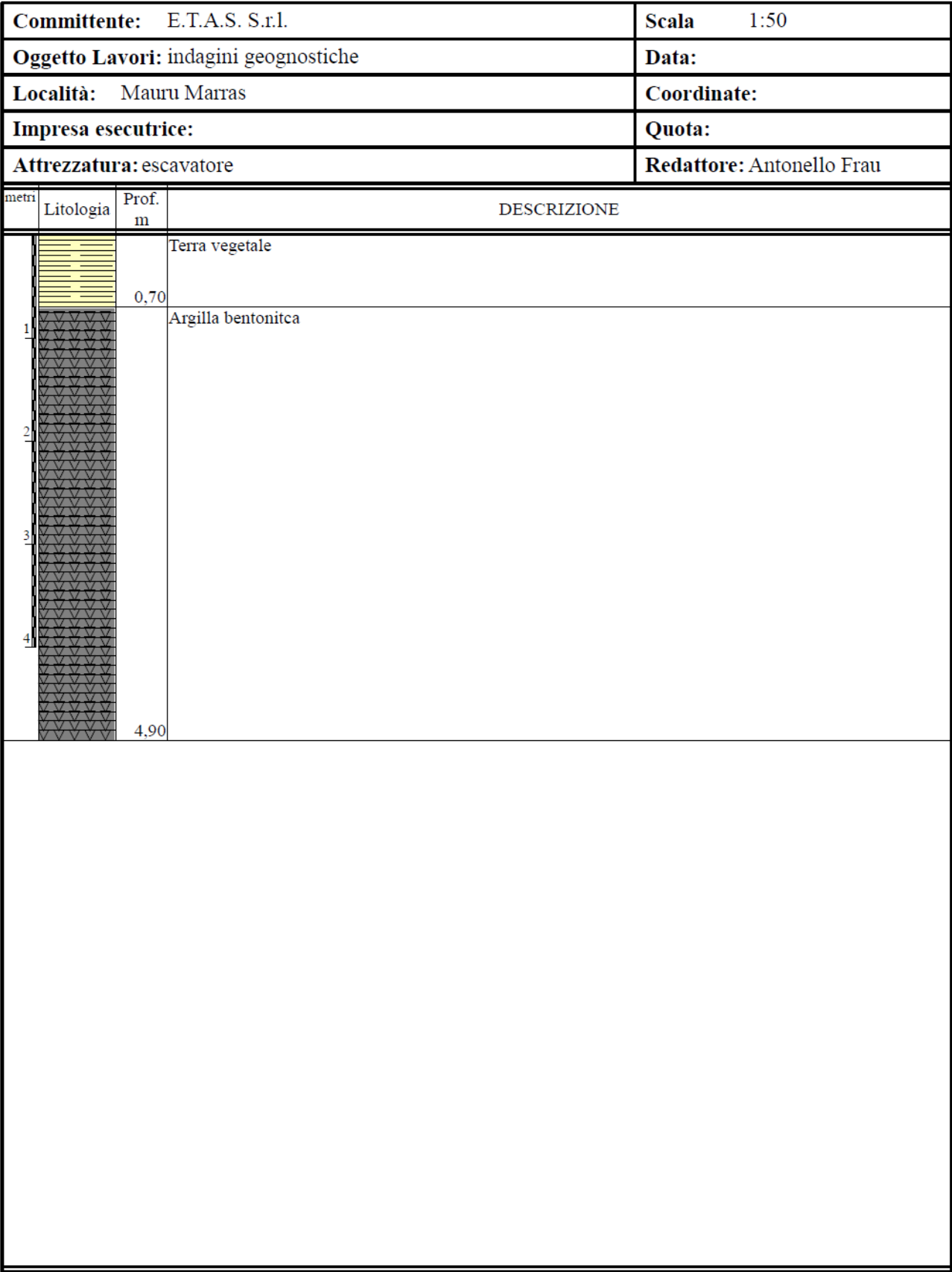
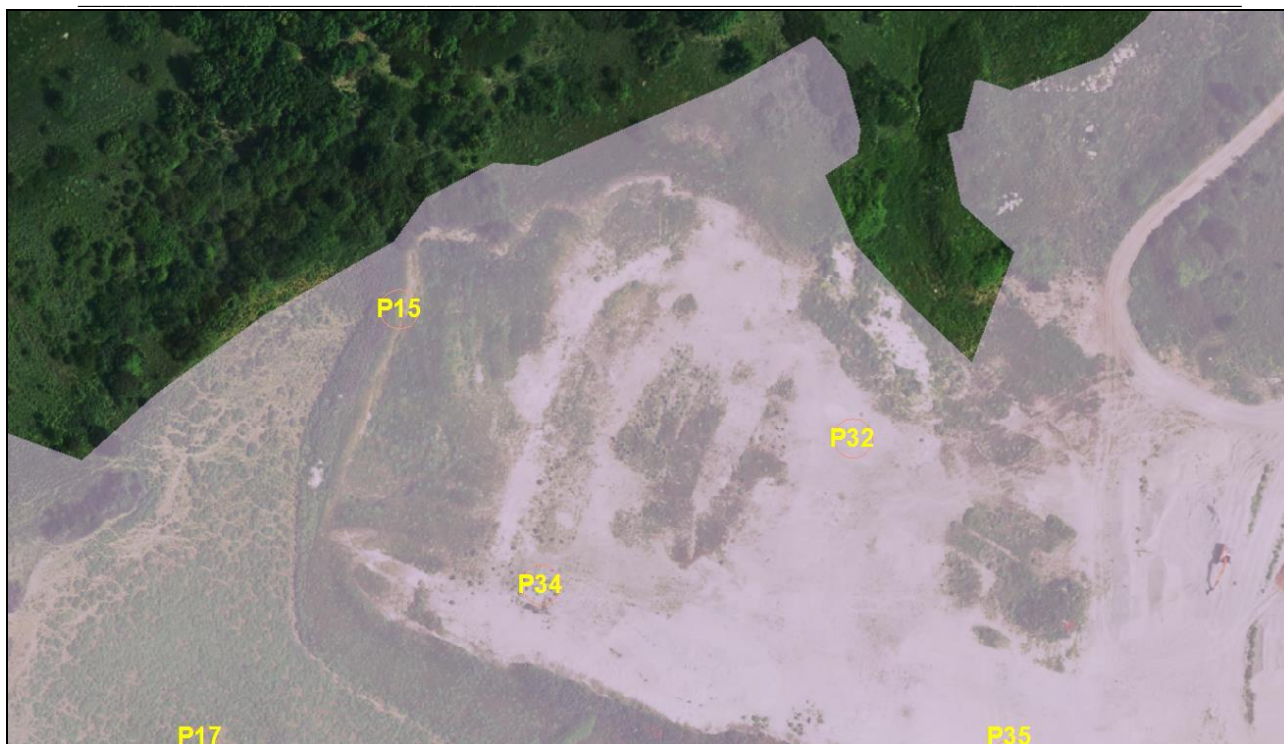


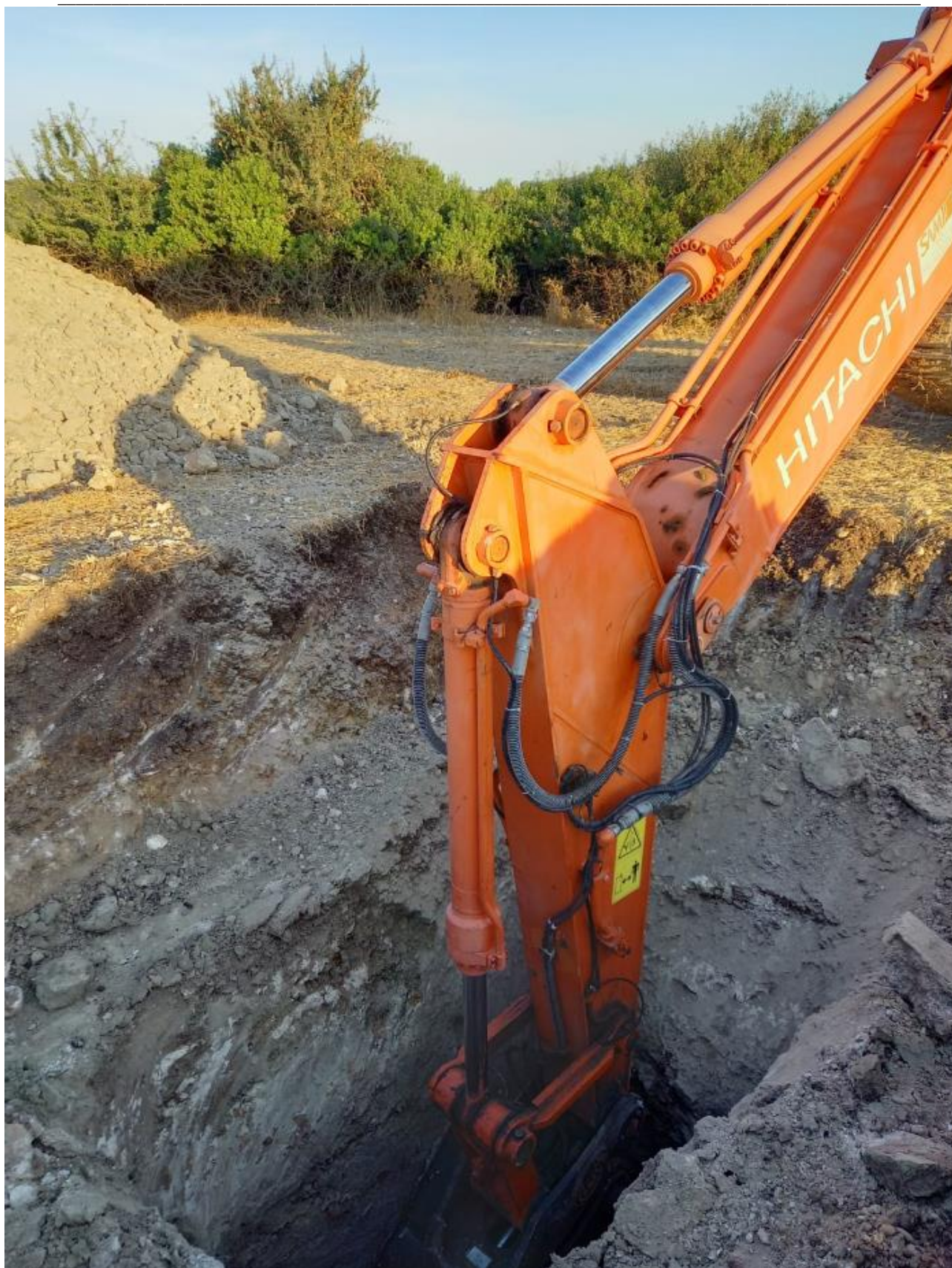
Figura 87: stratigrafia Pozzetto 12



**Figura 88:** pozzetto P15



**Figura 89:** pozzetto P15



**Figura 90:** pozzetto P15

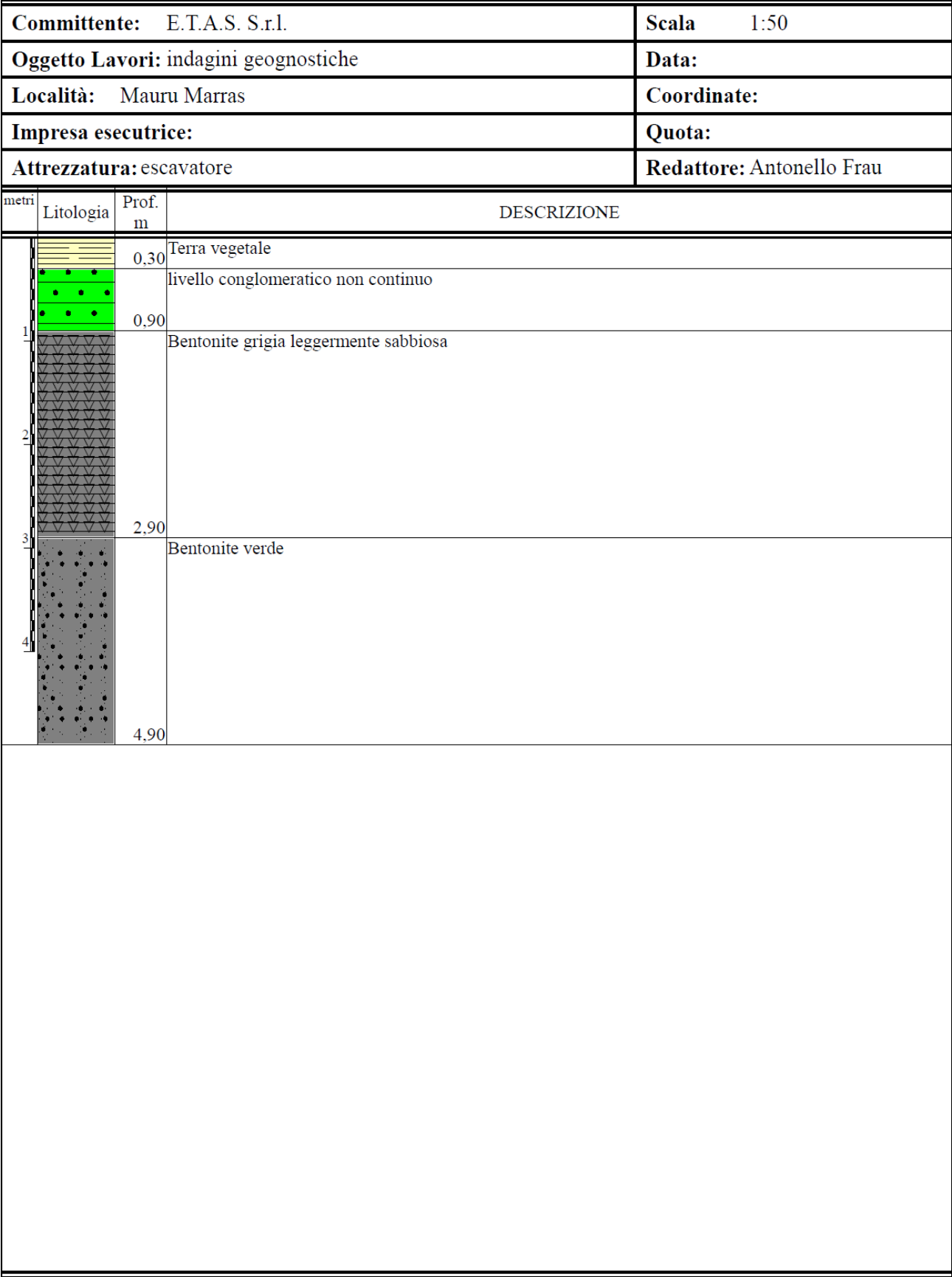



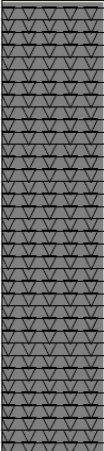
Figura 91: stratigrafia pozzetto P15



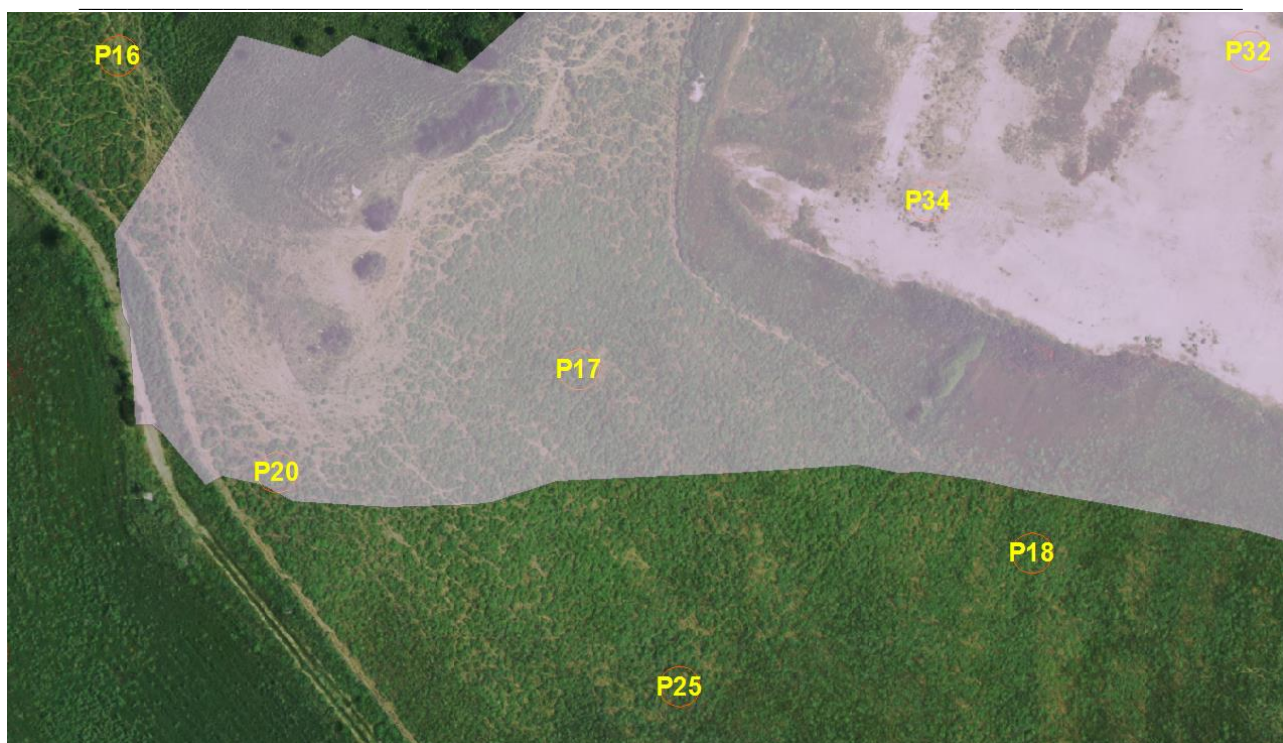
**Figura 92:** pozzetto P16



**Figura 93:** pozzetto P16

<b>Committente:</b> E.T.A.S. S.r.l.			<b>Scala</b> 1:50
<b>Oggetto Lavori:</b> indagini geognostiche			<b>Data:</b>
<b>Località:</b> Mauru Marras			<b>Coordinate:</b>
<b>Impresa esecutrice:</b>			<b>Quota:</b>
<b>Attrezzatura:</b> escavatore			<b>Redattore:</b> Antonello Frau
metri	Litologia	Prof. m	DESCRIZIONE
		0,50	Terra vegetale
1 2 3		3,80	Argilla bentonitica

**Figura 94: stratigrafia Pozzetto P16**



**Figura 95: pozzetto P17**

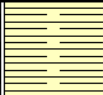
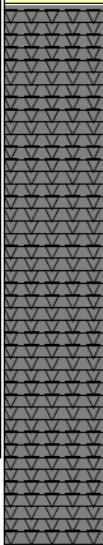


**Figura 96: pozzetto P17**

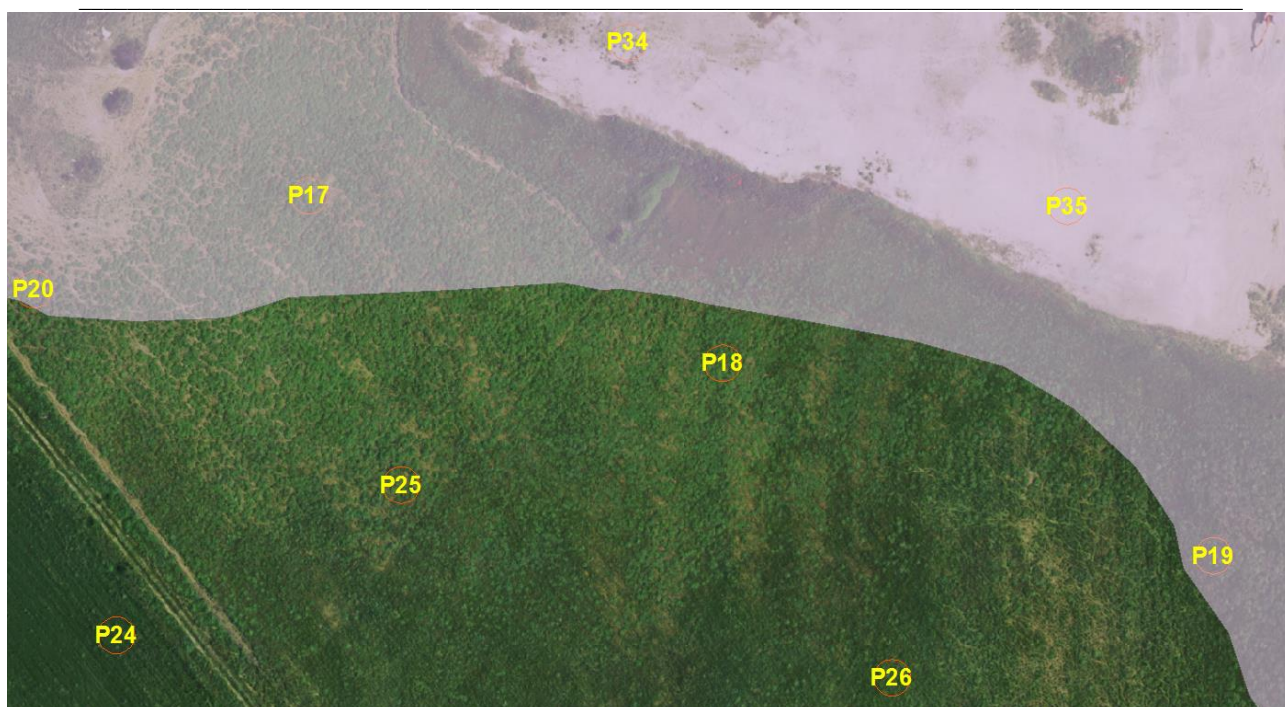


**Figura 97: pozzetto P17**

<b>Committente:</b> E.T.A.S. S.r.l.		<b>Scala</b> 1:50
<b>Oggetto Lavori:</b> indagini geognostiche		<b>Data:</b>
<b>Località:</b> Mauru Marras		<b>Coordinate:</b>
<b>Impresa esecutrice:</b>		<b>Quota:</b>
<b>Attrezzatura:</b> escavatore		<b>Redattore:</b> Antonello Frau

metri	Litologia	Prof. m	DESCRIZIONE
		0,70	Terra vegetale
1 2 3 4		4,70	Argilla bentonitica

### Figura 98: Pozzetto P17



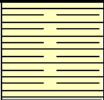
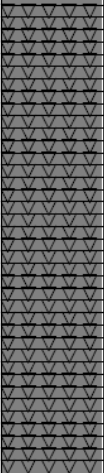
**Figura 99: Pozzetto P18**



**Figura 100: Pozzetto P18**



**Figura 101: Pozzetto P18**

<b>Committente:</b> E.T.A.S. S.r.l.			<b>Scala</b> 1:50
<b>Oggetto Lavori:</b> indagini geognostiche			<b>Data:</b>
<b>Località:</b> Mauru Marras			<b>Coordinate:</b>
<b>Impresa esecutrice:</b>			<b>Quota:</b>
<b>Attrezzatura:</b> escavatore			<b>Redattore:</b> Antonello Frau
metri	Litologia	Prof. m	DESCRIZIONE
		0,70	Terra vegetale
1			Argilla bentonitica (prosegue anche oltre il fondo)
2			
3			
4			
		4,20	

**Figura 102: Pozzetto P18**



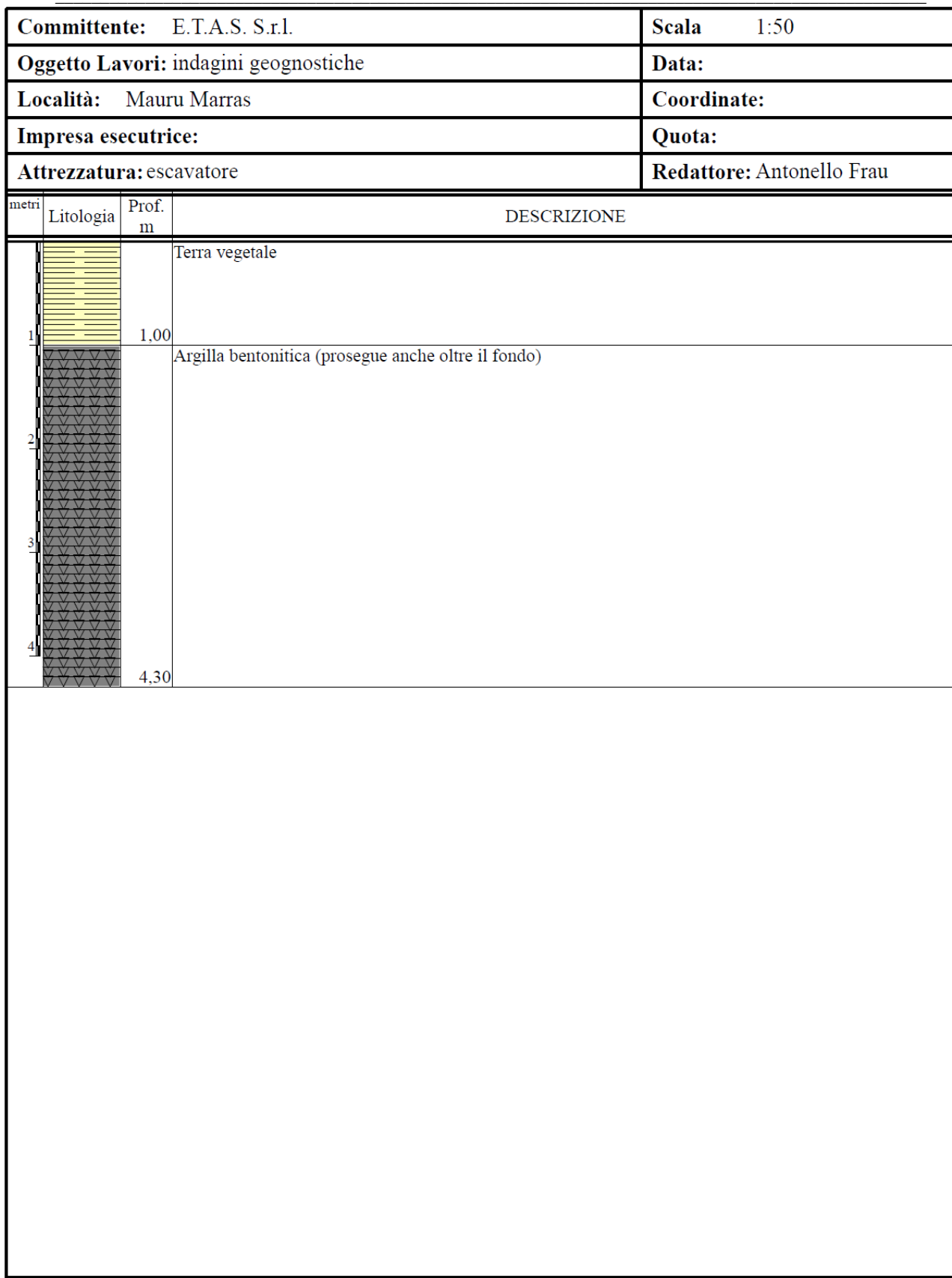
**Figura 103: Pozzetto P19**



**Figura 104: Pozzetto P19**



**Figura 105: Pozzetto P19**



**Figura 106: stratigrafia P19**





**Figura 107: Pozzetto P20**



**Figura 108: Pozzetto P20**



**Figura 109: Pozzetto P20**

<b>Committente:</b> E.T.A.S.			<b>Scala</b> 1:50
<b>Oggetto Lavori:</b> Ricerca mineraria - indagini geognostiche			<b>Data:</b>
<b>Località:</b> Mauru Marras			<b>Coordinate:</b>
<b>Impresa esecutrice:</b>			<b>Quota:</b>
<b>Attrezzatura:</b> Escavatore			<b>Redattore:</b> Antonello Frau
metri	Litologia	Prof. m	DESCRIZIONE
		0,70	terra vegetale
1 2 3		3,70	Argilla bentonitica - continua oltre il fondo

**Figura 110: Pozzetto P20**





**Figura 111: Pozzetto P34**



**Figura 112: Pozzetto P34**



**Figura 113: Pozzetto P34**

<b>Committente:</b> E.T.A.S.			<b>Scala</b> 1:50
<b>Oggetto Lavori:</b> Ricerca mineraria - indagini geognostiche			<b>Data:</b>
<b>Località:</b> Mauru Marras			<b>Coordinate:</b>
<b>Impresa esecutrice:</b>			<b>Quota:</b>
<b>Attrezzatura:</b> Escavatore			<b>Redattore:</b> Antonello Frau
metri	Litologia	Prof. m	DESCRIZIONE
1		2,50	Materiali sterili conglomeratici
2			
3		4,00	Argilla bentonitica - continua oltre il fondo
4			

**Figura 114: stratigrafia Pozzetto P34**



**Figura 115: Pozzetto P35**