



COMUNE DI TRINITA' D'AGULTU E VIGNOLA

PROVINCIA DI SASSARI



*«PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO
AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI
GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"»*

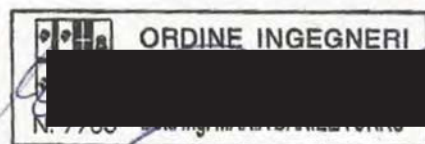
RELAZIONE COMPATIBILITÀ GEOLOGICA GEOTECNICA

DATA luglio 2025

IL COMMITTENTE

**ADDIS GIOVANNI
MATTEO**
via delle Poste, 21/a - 07038
TRINITA' D'AGULTU E VIGNOLA

I TECNICI



Dott. Ing. Maria Daniela Orrù
V. G. M. di 36-00124 G. di 1/1 (G. A.)

Dott. Geol. Daniele De Lisa

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 1 a 29	Rev. 0

Sommario

1. PREMESSA	2
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TOPOGRAFICO	2
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	6
4.1 GEOLOGIA E STRATIGRAFIA NELL'AREA DI STUDIO	7
4.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	9
5 ANALISI PAI.....	9
5.1. PERICOLOSITÀ FRANA	9
5.2 INQUADRAMENTO DEL SITO NELL'AMBITO DELLA PERIMETRAZIONE DEL PAI	10
6 ASSETTO GEOTECNICO DELL'AREA DI INTERESSE	12
6.1 INDAGINE GEOTECNICA	13
7. STABILITÀ DEI FRONTI: TEORIA E NORMATIVA	14
7.1 PROCEDURE E METODI DI CALCOLO UTILIZZATI.....	16
7.2 COMBINAZIONI DI CARICO.....	19
7.2.1 Verifiche combinazione fondamentale	19
7.2.2 Verifiche combinazione sismica	20
7.2.3 Caratteristiche geotecniche dei materiali utilizzate.....	20
7.3 VERIFICA DI STABILITÀ DEL PENDIO	21
7.3.1 Stato Attuale	22
7.3.2 Stato finale.....	24
7.3.3 Stato finale con ripristino	26
7.4 RISULTATI.....	28
8 AMMISSIBILITÀ DELL'INTERVENTO.....	28
9. CONCLUSIONI.....	29
10. ALLEGATI	29

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 2 a 29	Rev. 0

1. Premessa

Su incarico conferito da Addis Giovanni Matteo, con sede in via delle Poste, 21/a - 07038 Trinità d'Agultu (SS), il Dott. Geologo Daniele De Lisa e l'Ingegnere Maria Daniela Orrù, hanno redatto il presente Studio di Compatibilità geologica e geotecnica, ai sensi *dell'art. 8, comma 2, delle Norme di Attuazione del PAI*, per ***"PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"*** in agro del comune Trinità D'Agultu e Vignola (SS).

2 Normativa di Riferimento

Il lotto in è inquadrato all'interno di un'area sottoposta a vincolo idro-geologico del P.A.I. come si evince dalla Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 28/10/2024 è stata adottata in via preliminare la variante al PAI per la parte frane derivante dallo 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). Il suddetto lotto ricade in un'area codificata come *"Hg2 – Aree di pericolosità media di frana"*.

Lo studio di compatibilità geologica e geotecnica è necessario ai sensi dell'Art. 8, comma 2, delle Norme di Attuazione del PAI: "In applicazione dell'articolo 23, comma 6, lettera b, nei casi in cui è espressamente richiesto dalle presenti norme, i progetti proposti per l'approvazione nelle aree di pericolosità molto elevata, elevata e media da frana sono accompagnati da uno studio di compatibilità geologica e geotecnica predisposto secondo i criteri indicati nei seguenti commi."

Le indagini necessarie per la caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni dell'area sono state svolte inizialmente effettuando una attenta analisi cartografica delle foto aeree e della bibliografia esistente; successivamente sono stati analizzati gli aspetti normativi del PAI, applicandoli alle caratteristiche delle opere in progetto, ed infine è stato effettuato un sopralluogo per verificare le caratteristiche geologiche, strutturali, morfologiche e geotecniche dell'area.

Nelle pagine seguenti, verranno allegate le carte della litologia e della pericolosità da frana, estratte dalla cartografia regionale.

3. Inquadramento Geografico e Topografico

Il sito oggetto di studio, si trova all'interno della cava di graniti denominata "Buniccu", la stessa è localizzata a circa 7 km a nord dall'abitato di del comune Trinità D'Agultu e Vignola in località omonima.

Nella cartografia ufficiale è interamente contenuta:

- Inquadramento aereo (**Fig. 3/A**)
- Nel Foglio 426 sez. II, "Isola Rossa" della carta dell'I.G.M. in scala 1: 25.000 (**Fig. 3/B**);
- Nel Foglio 426 N° 160, "Porto Leccio" del C.T.R. numerico della Regione Sardegna in scala 1: 10.000 (**Fig. 3/C**);

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 3 a 29	Rev. 0

- Inquadramento catastale al foglio 23 mappale 56, 61, 62, 99, 215; Foglio 24 mappale 49

A completamento delle informazioni sull'ubicazione del sito, in **Tab. 3/A** si riportano le Coordinate Geografiche WGS 84 baricentriche.

Geografiche WGS 84	
Latitudine	Longitudine
1496724	4540683.25

Tab. 3/A - Coordinate Geografiche WGS 84 e Gauss-Boaga del sito

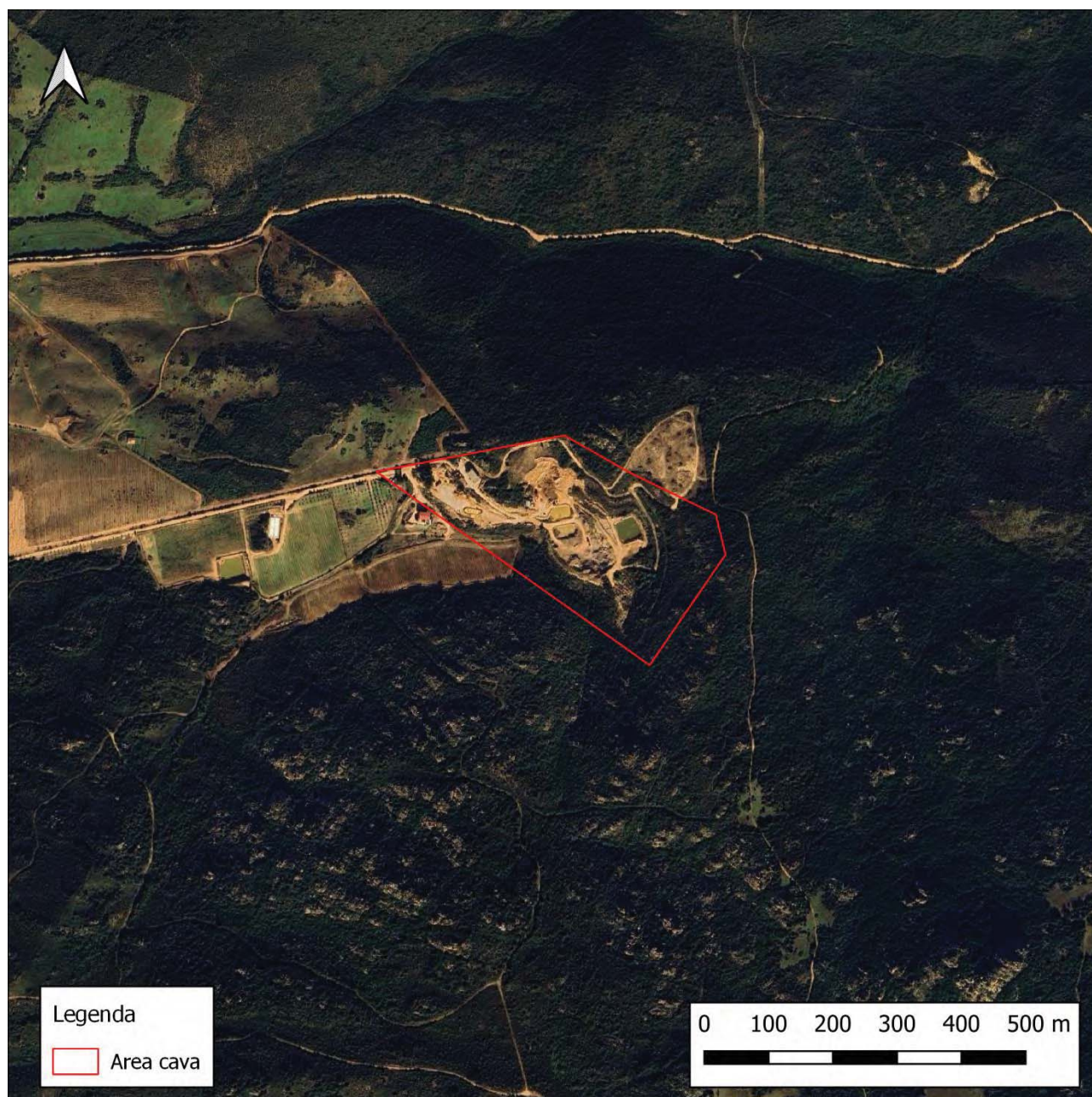


Fig. 3/A - Inquadramento aereo

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 4 a 29	Rev. 0

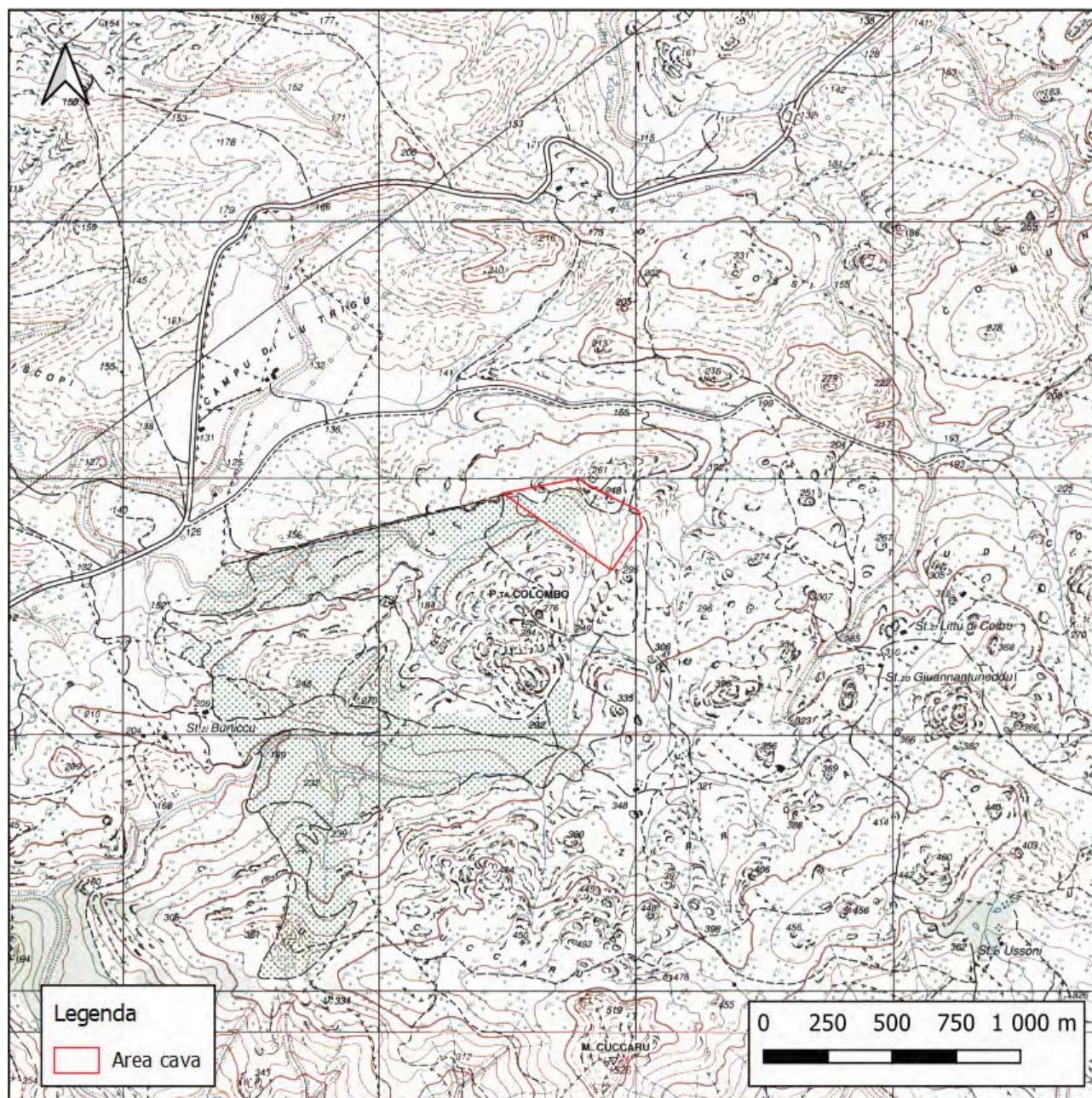


Fig. 3/B - Inquadramento IGM

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 6 a 29	Rev. 0

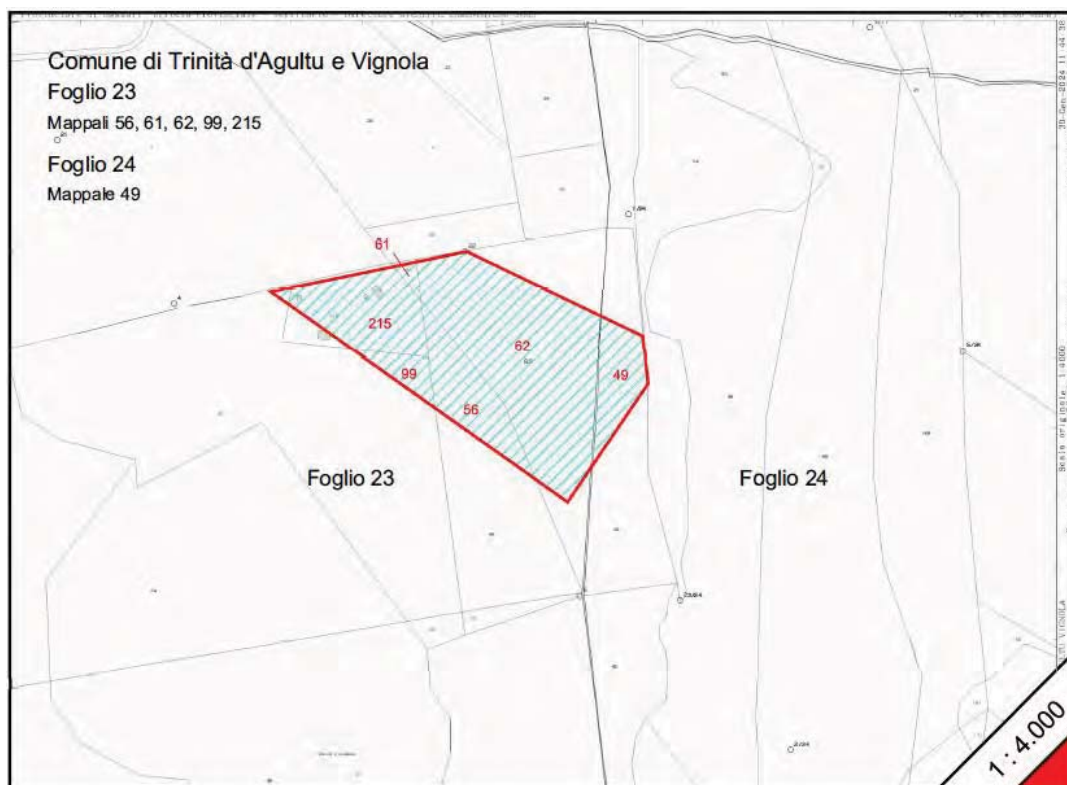


Fig. 3/D – Inquadramento catastale da Tav S2

4 Inquadramento Geologico e geomorfologico

Il nord Sardegna è caratterizzato per la presenza di rocce granitoidi post erciniche che costituiscono circa un terzo della superficie di tutta l'Isola e insieme a quelli della Corsica formano il Batolite Sardo. La messa in posto dell'intero batolite è avvenuta tra il Carbonifero e il Permiano in un intervallo di tempo di circa 40 Ma. All'interno del batolite sardo corso vengono distinte due associazioni principali: una magnesio – potassica che affiora solo nella Corica settentrionale e una calcalcalina riferibile al Carbonifero superiore - Permiano inferiore che costituisce la maggior parte dei granitoidi della Corsica meridionale e della Sardegna. La messa in posto del batolite sardo - corso è da ricondurre alla fase estensionale legata al collasso gravitativo della Catena ercincinica. Questa tettonica si manifesta con un metamorfismo regionale di alto grado, con lo sviluppo di bacini molassici e con un attivo vulcanismo calcalcalino. La maggior parte delle intrusioni mostra una grande varietà che va dalle quarzodioriti fino ai leucograniti. La petrogenesi del batolite è stata interpretata secondo ipotesi differenti. Alcuni autori considerano le caratteristiche geologico strutturali di alcune intrusioni composite e la variazione degli elementi maggiori nei principali massicci monzogranitici, dove si osserva una zonatura composizionale, risultato di processi complessi. Secondo altri autori le variazioni geochimiche del batolite sarebbero il risultato di un processo petrogenetico a due stadi. Sulla base di questo modello, il ruolo dell'anatessi crostale è prevalente nella petrogenesi dell'intero batolite.

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 7 a 29	Rev. 0

Successivamente si rileva un vulcanismo oligo – miocenico, si tratta di un'associazione di prodotti con affinità calcalcalina e subordinatamente tholeiitica e calcalcalina alta in potassio. I primi eventi vulcanici di questo ciclo calcalcalino sono rappresentati da lave andesitiche nella Sardegna meridionale e da quarzo-dioriti subvulcaniche in quella settentrionale con tendenza tholeiitica. La petrografia e la geochimica di queste rocce indicano una genesi dei magmi per fusione parziale di rocce mantelliche lungo zone di subduzione oceaniche. Da un punto di vista geodinamico questo ciclo vulcanico è comunemente associato ad un modello di subduzione di crosta oceanica con formazione di un bacino di retroarco. I caratteri chimici dei prodotti vulcanici indicherebbero un piano di subduzione immergente verso i quadranti settentrionali o nord occidentali.

Superiormente si rilevano dei depositi quaternari ascrivibili a depositi di versante e depositi di spiaggia e palustri.

4.1 Geologia e Stratigrafia nell'Area di Studio

L'intera area è ricoperta da un complesso intrusivo paleozoico caratterizzato da un complesso granitoide della Gallura, successivamente troviamo un complesso intrusivo e filoniano tardo paleozoico su cui si imposta la successione vulcano –sedimentaria oligo – miocenica.

Al fine di definire l'assetto geologico del settore di interesse di seguito verranno descritti in senso cronologico dal più recente al più antico i litotipi affioranti. (**Fig 4.1/A**):

SUCCESSIONE SEDIMENTARIA OLIGO-MIOCENICA

- Formazione di Castelsardo (**ELS**) Arenarie e sabbie, argille siltose, tufiti, conglomerati, tufi talora alterati, con intercalazioni di marne più o meno siltose, fossilifere per abbondanti malacofaune (Pettinidi, Echinidi, Gasteropodi, Pteropodi). Calcari grigio bruni in banchi, con ricca fauna a Gasteropodi millimetrici, selci, argilliti, marne arenaceosiltose giallastre e verdastre, tufiti a ricca componente pomicea. Conglomerati e breccie a ciottoli eterometrici di granitoidi, meno frequenti metamorfiti e vulcaniti, scarsamente classati, con matrice siltoso-sabbiosa. Ambiente fluviale passante a lagunare e a marino di piattaforma. OLIGOCENE SUP.? – AQUITANIANO

PALEOZOICO

Complesso intrusivo filoniano tardo paleozoico

- Filoni idrotermali (**fq**) a quarzo prevalente. PERMIANO
- Filoni basaltico – olivinici e trachibasaltici (**fb**) Filoni di composizione basica a serialità transizionale. PERMIANO

Unità intrusiva di Arzachena

Granodioriti della Gallura (**AZN**) CARBONIFERO SUP.

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 8 a 29	Rev. 0

Unità intrusiva di Tempio Pausania

Sub-unità intrusiva di Monte Limbara

- Microleucograniti. Facies Punta Bozzicu (TPS_{3e}) Leucograniti a grana fine, a tendenza aplitoide, equigranulari con cristalli di taglia submillime-trica. Rarissima biotite e inclusi microgranulari scurl assenti. PERMIANO

Sub-unità intrusiva di Catala

- Monzograniti inequigranulari. Facies Punta Paoleddu (TPS_{2f}) Monzograniti a grana grossa, inequigranulari per fenocristalli eudrali di K-feldspato con taglia da 1 a 4 cm, plagioclasio, quarzo, e biotite in percentuale del 10%. Tessitura orientata per flusso magmatico. PERMIANO

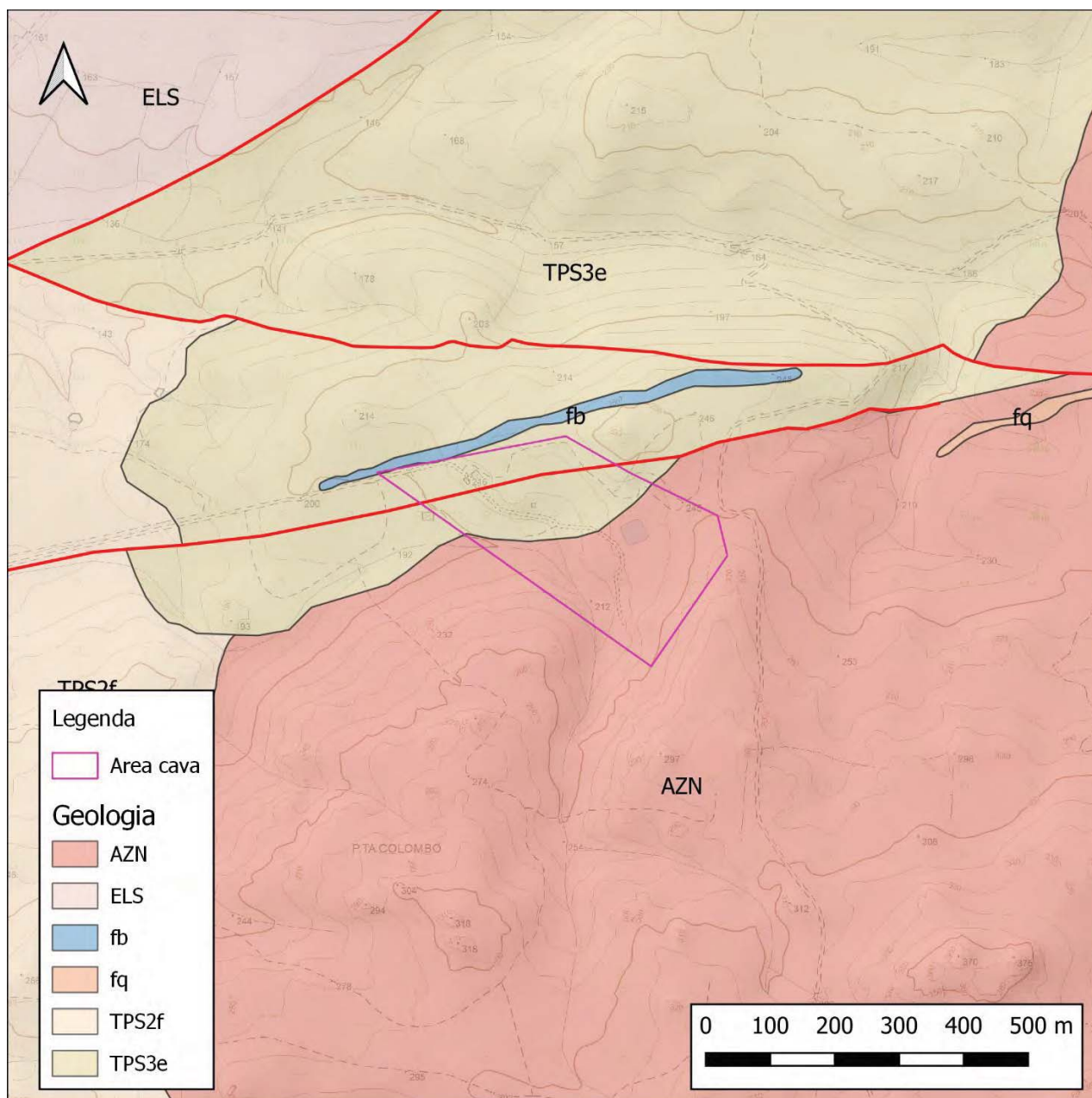


Fig. 4.1/A - Carta geologica

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 9 a 29	Rev. 0

4.2 Inquadramento Geomorfologico

Il paesaggio dell' area in esame, impostata su litologie granitiche, risente della tipica morfologia della Gallura in cui spiccano forme isolate più o meno erose, a strapiombo, denominate "Inselberg". Questi spuntori di roccia affioranti sono circondati da una vegetazione molto rada, e si affacciano su valli con declivi dolci, formatesi dalla degradazione del granito stesso. La zona circostante è rappresentata da morfologie isolate più o meno erose che originano degli allineamenti a sommità segmentate, per la presenza di sistemi filoniani; i rilievi degradano con versanti la cui acclività è attenuata dai depositi di detrito.

Le zone vallive sono formate dal prodotto della disgregazione del granito avvenuta attraverso milioni di anni. Questo processo che determina l'arenizzazione del granito ed è dovuto sia a fattori climatici, sia a processi fisici e chimici. Il prodotto di questi fenomeni disgreganti è stato dilavato dai versanti più ripidi e ridepositato nelle depressioni a valle, motivo per cui negli affioramenti rocciosi sono presenti delle scanalature parallele dovute alle acque meteoriche.

In questo paesaggio non mancano altre due forme caratteristiche: i massi residui parzialmente disgregati e arrotondati che si trovano seminati nel terreno lungo i versanti e nelle valli; e quelle forme granitiche denominate "tafoni". I tafoni, forme di disgregazione granitica tipiche e pittoresche del paesaggio Gallurese, sono le testimonianze di un paleoclima "caldo-umido" tipico delle zone tropicali. Il disfacimento della roccia nei tafoni è legato essenzialmente a fenomeni chimici che avvengono dall'interno verso l'esterno e dal basso verso l'alto; umidità del terreno, raggiunge per capillarità la roccia ne altera i minerali, svuotando così il nucleo e provocando rotture e distacchi che originano quelle particolari forme che vengono poi modellate dalle variazioni di temperatura e dagli agenti atmosferici.

5 Analisi PAI

Il P.A.I. è uno strumento conoscitivo che fornisce delle norme di attuazione e delle linee guida per la perimetrazione di aree a rischio sia idraulico sia geologico.

5.1 Pericolosità frana

La pericolosità da frana Hg individua la possibilità dell'instaurarsi di un fenomeno franoso in un determinato punto del territorio. Contrariamente alla pericolosità idraulica non è possibile una quantificazione della frequenza di accadimento, e per tale motivo nella redazione del PAI si è assunta una suddivisione della pericolosità in quattro classi in base allo stato di attività ed al grado di importanza del fenomeno franoso (tratta dalle linee guida del PAI, **Tab. 5.1/A**). In questa ottica le aree di pericolosità da frana rappresentano le aree soggette a possibili fenomeni franosi.

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù		Data Documento luglio 2025	
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Fg. 10 a 29	Rev. 0

Pericolosità Hg			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
Hg1	Moderato	≤ 0,25	I fenomeni franosi presenti o potenziali sono marginali
Hg2	Medio	≤ 0,50	Zone in cui sono presenti solo frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici (assetti 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	Elevato	≤ 0,75	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 elevato	≤ 1,00	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

Tab. 5.1/A - definizione delle classi di Pericolosità Geomorfologica

5.2 Inquadramento del sito nell’ambito della perimetrazione del PAI

La zona oggetto della relazione è situata nel Comune di Trinità d’Agultu e Vignola (SS) in seguito allo “*Studio di compatibilità idraulica e geologico-geotecnica ai sensi del’art.8 comma 2 delle N.A. del PAI*” è stata perimetrata come “*area a pericolosità moderata da frana*” (Hg1), tuttavia con il nuovo aggiornamento del PGRA PAI del 2024, ad oggi in forma preliminare, l’area è stata rimappata come “*area a pericolosità media da frana*” (Hg2) sulla base dell’evoluzione morfologica dell’area interessata dalla cava di granito, marcati dalla presenza di depositi detritici di coltivazione e pareti di coltivo di diversi metri; pertanto ai sensi dell’art. 33 delle Norme di Attuazione dello stesso PAI gli interventi sono ammessi a verifica della Compatibilità geologica e geotecnica da comprovare mediante l’apposito studio da redatto ai sensi dell’art. 25 e dell’Allegato F.

In **Fig. 5.2/A e B** sono riportati gli stralci della Carta della pericolosità di frana vigente e in variante preliminare.

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici: Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fig. 11 a 29	Rev. 0

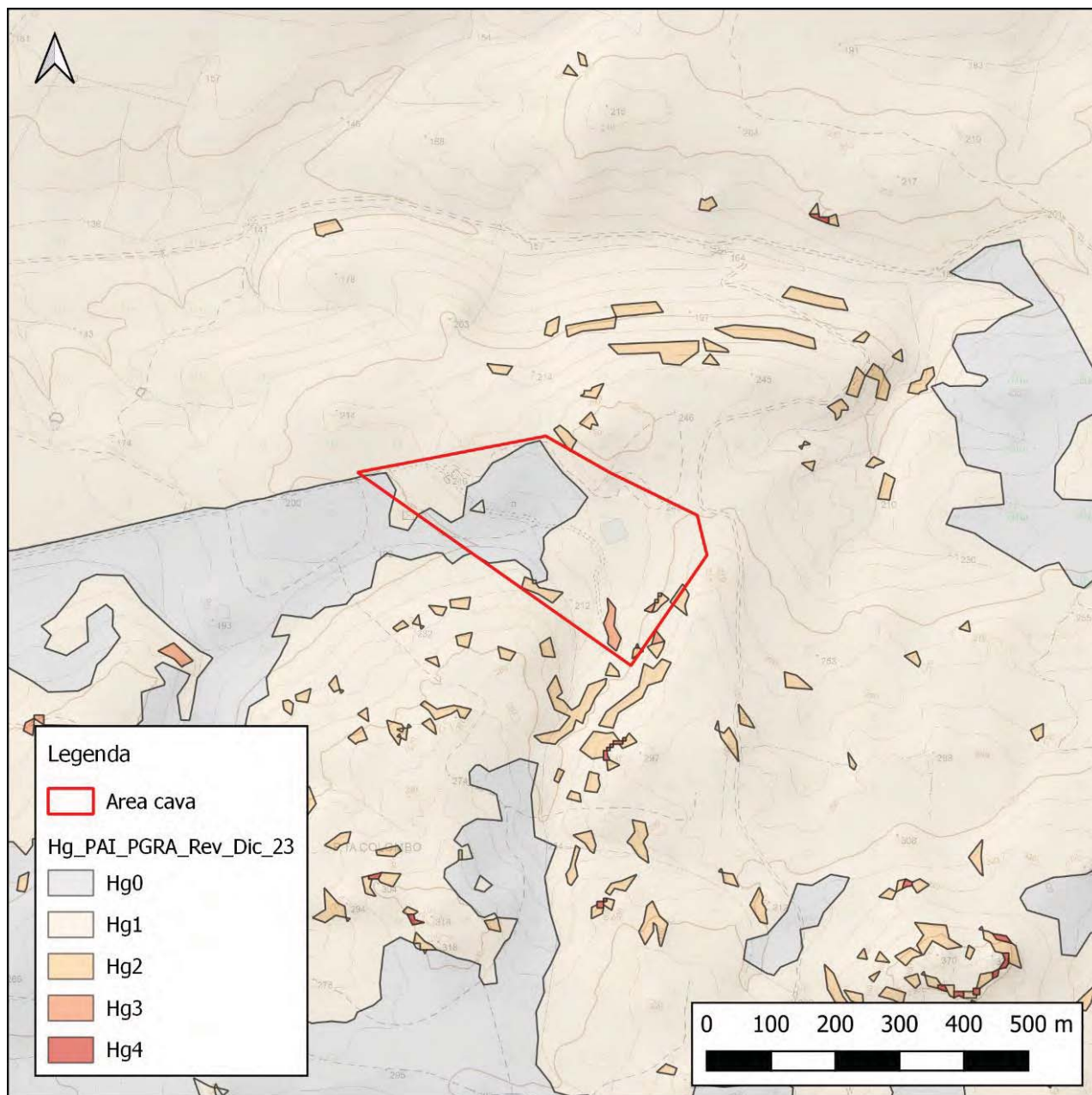


Fig. 5.2/A - Stralcio della Carta della pericolosità di frana vigente

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 12 a 29	Rev. 0

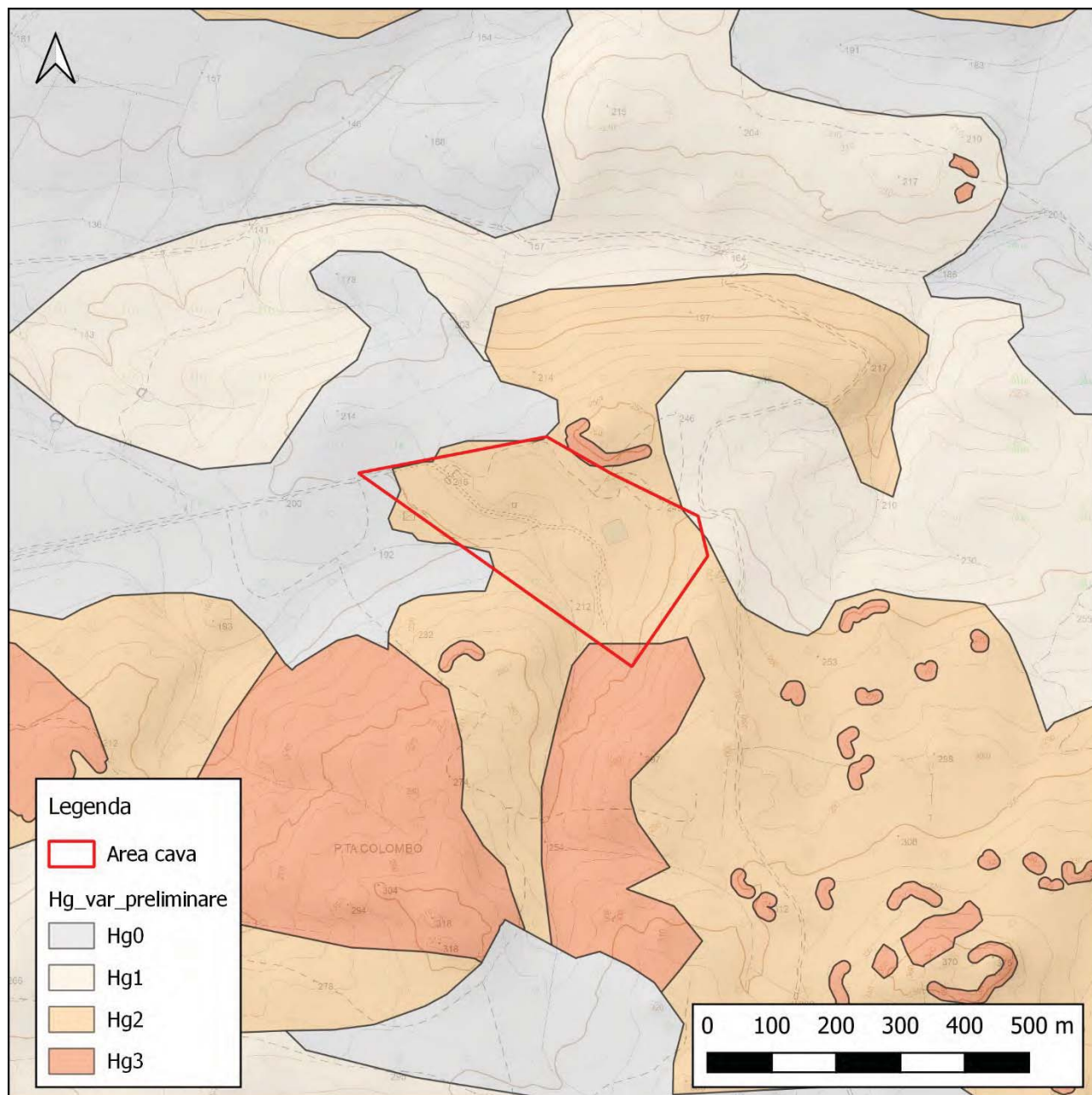


Fig. 5.2/B - Stralcio della Carta della pericolosità di frana PAI in variante preliminare

6 Assetto Geotecnico dell'area di interesse

Nel sito la stratigrafia superficiale e profonda è facilmente individuabile data la presenza dei fronti di scavo. Per questo siamo in grado di dire che superato l'eventuale strato sabbioso di riporto derivato dalle lavorazioni del granito di spessore variabile tra i 0,2 – 0,5 metri troviamo lo strato granitico.

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 13 a 29	Rev. 0

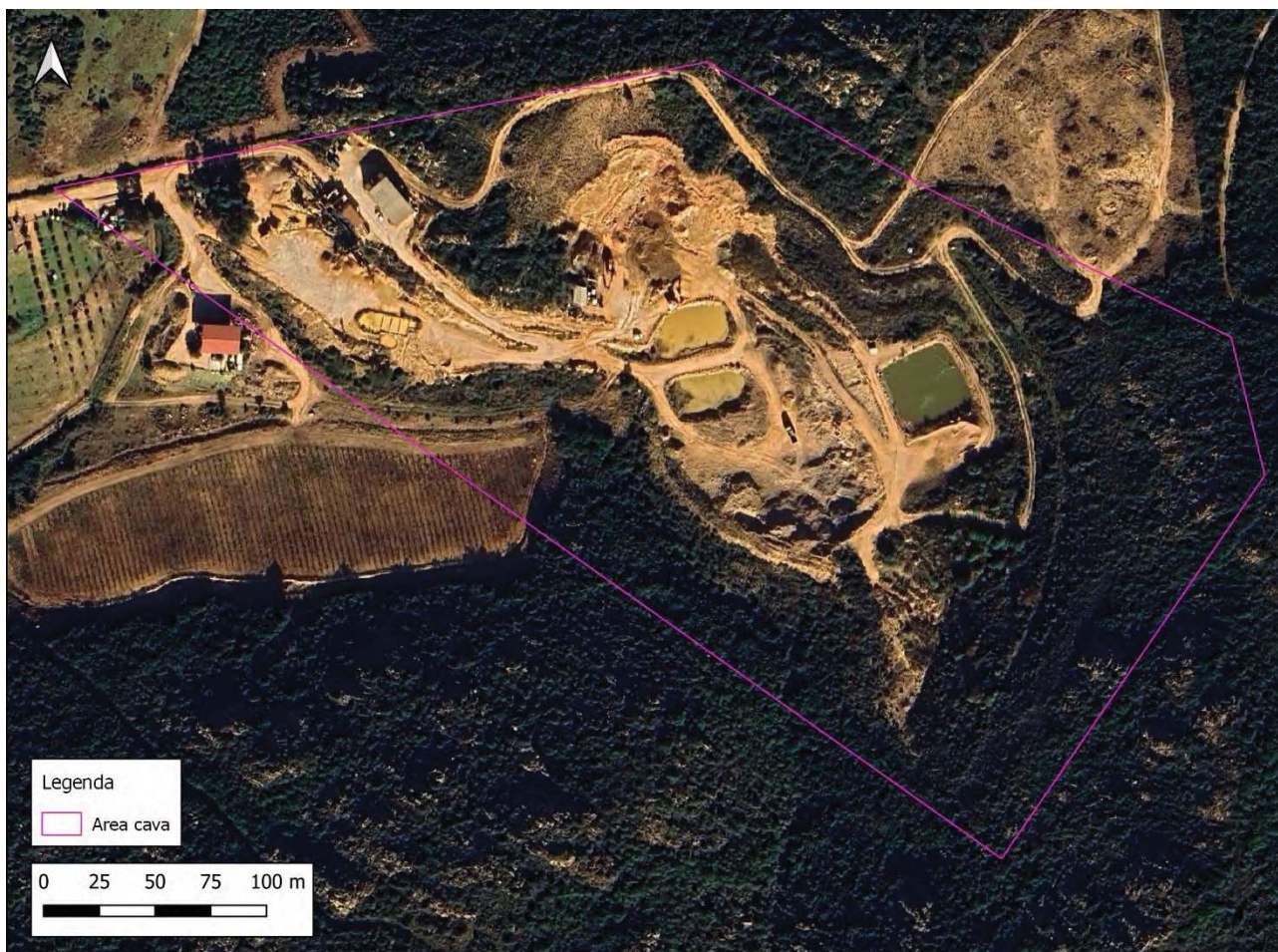


Fig. 6/A – Vista aerea e panoramica del sito con evidenti banchi granitici in affioramento (Google Earth)

6.1 Indagine Geotecnica

Come descritto nei paragrafi precedenti, la stratigrafia dei terreni è rappresentata da un livello superficiale costituito da graniti arenitizzati derivanti dalle lavorazioni di cava, di spessore variabile in base alle zone e dal basamento granitico. A queste 2 litologie si aggiungono gli sfridi di cava che saranno utilizzati durante le operazioni di ripristino.

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 14 a 29	Rev. 0

I valori dei parametri geotecnici caratteristici, sono stati ottenuti attraverso prove di laboratorio eseguite dalla ditta su campioni di materiale costituenti il giacimento e da bibliografia.

In **Tab. 6.1/A** vengono esposti i parametri:

Rocce	Granito compatto
Angolo di attrito (°):	50
Indice RMR	85
Resistenza alla compressione uniassiale (σ_c) in kg/cm ²	1713
Peso di volume sopra falda(kg/mc):	2600
Peso di volume sotto falda(kg/mc):	2500
Modulo di Young o edometrico (terreni coesivi) (kg/cmq):	49383,7
Coefficiente di Poisson:	0,2
O.C.R.:	1

Tab. 6.1/A - Parametri granito alterato e basamento

7. Stabilità dei Fronti: Teoria e Normativa

Il grado di stabilità di un pendio, in condizioni statiche o dinamiche (per azioni sismiche), nei confronti di movimenti gravitativi, viene valutato attraverso la determinazione del cosiddetto "**fattore o coefficiente di sicurezza**", indicato con il simbolo **Fs**.

I metodi di calcolo di **Fs** impiegati si basano sulle tecniche di verifica dette *LIMIT EQUILIBRIUM METHOD* (che di seguito indicheremo sempre come **LEM**), (Duncan, 1996; Krahn, 2003).

Nei metodi LEM il calcolo di **Fs** viene effettuato su una specifica superficie di scivolamento definita entro un pendio. Dato che le porzioni potenzialmente instabili sono definibili in uno spazio 3D, il calcolo viene sviluppato sopra una striscia rappresentativa di larghezza unitaria, quindi bidimensionale (2D) della superficie di potenziale scivolamento.

Nella applicazione del metodo dell'equilibrio limite tale superficie separa la parte di pendio stabile da quella potenzialmente instabile. La parte stabile inferiore rimane indeformata e non subisce rotture; si suppone inoltre che la massa superiore, fino al momento della rottura, non subisca deformazioni (collapsi e deformazioni sono posteriori allo sviluppo di una superficie di rottura). Vieni quindi assunto un comportamento a rottura rigido perfettamente plastico dove il corpo non si deforma fino a quando non arriva a rottura. Tuttavia il valore di **Fs** (e quindi il suo grado di stabilità o propensione al movimento) si riferisce comunque alle condizioni precedenti al fenomeno di rottura.

Per ogni superficie di potenziale scivolamento si può quindi derivare lo sforzo di taglio totale mobilitato τ_m (domanda) e la resistenza al taglio disponibile τ_f (capacità) e quindi è possibile definire **Fs** come (**Eq. 1**):

$$Fs = T_f/T_m \quad (\text{Eq. 1})$$

Usando ad esempio il criterio di rottura Mohr-Coulomb: **Fs** è il fattore per cui occorre dividere i parametri della resistenza al Taglio del terreno lungo i vari tratti della superficie, per provocare la rottura del pendio lungo tutta la superficie considerata e nel medesimo tempo, ovvero (**Eq. 2**):

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 15 a 29	Rev. 0

$$\tau f = \frac{c'}{Fs} + \frac{\sigma' \tan \varphi'}{Fs} \quad (\text{Eq. 2})$$

che avverrà qualora sia verificata la condizione di eguaglianza tra sforzi mobilitati e disponibili ovvero tra domanda e capacità.

Se $Fs > 1.0$ siamo in condizioni di stabilità, mentre per $Fs < 1.0$ siamo in condizioni instabili dovuti a un generalizzato deficit di resistenza.

Un altro assunto fondamentale dei metodi LEM è che nel caso di variabilità delle caratteristiche di resistenza al taglio lungo la superficie di scivolamento, sebbene Fs possa essere in realtà localmente variabile, si assume che Fs sia costante lungo tutta la superficie di potenziale scivolamento assunta. Ovvero che si abbia dovunque la medesima frazione di resistenza al taglio mobilitata rispetto a quella massima mobilitabile.

Il fattore di sicurezza deve essere valutato entro un preciso riferimento spaziale ed è perciò necessario considerare una potenziale superficie di scorrimento nella massa del pendio e valutare tutte le forze (e momenti) agenti (ovvero che inducono lo scivolamento) e resistenti (che si oppongono allo scivolamento) su detta superficie. In pratica, essendo infinite le superfici di scivolamento possibili, Fs viene valutato per ognuna delle superfici di un campione rappresentativo, generate con un certo criterio entro il volume del pendio assunto.

In tal modo il "**fattore di sicurezza**" del pendio sarà quello che compete alla superficie di scorrimento con Fs più basso. Tale superficie è detta anche "**superficie critica**". Una superficie di scivolamento assunta divide in due parti distinte il pendio (**Fig. 9/A**). Superiormente abbiamo una massa potenzialmente instabile supposta rigida e inferiormente una massa rigida stabile. L'**Eq. 1** permette di determinare la stabilità del pendio nei confronti della superficie considerata precedentemente.

Le forze agenti sulla superficie sono le componenti tangenziali del peso proprio della massa e degli eventuali sovraccarichi superficiali agenti sulla superficie di scivolamento, mentre le forze resistenti sono le resistenze al taglio mobilitate nei vari punti di detta superficie che dipendono dagli sforzi normali applicati e dalla resistenza al taglio locale del suolo.

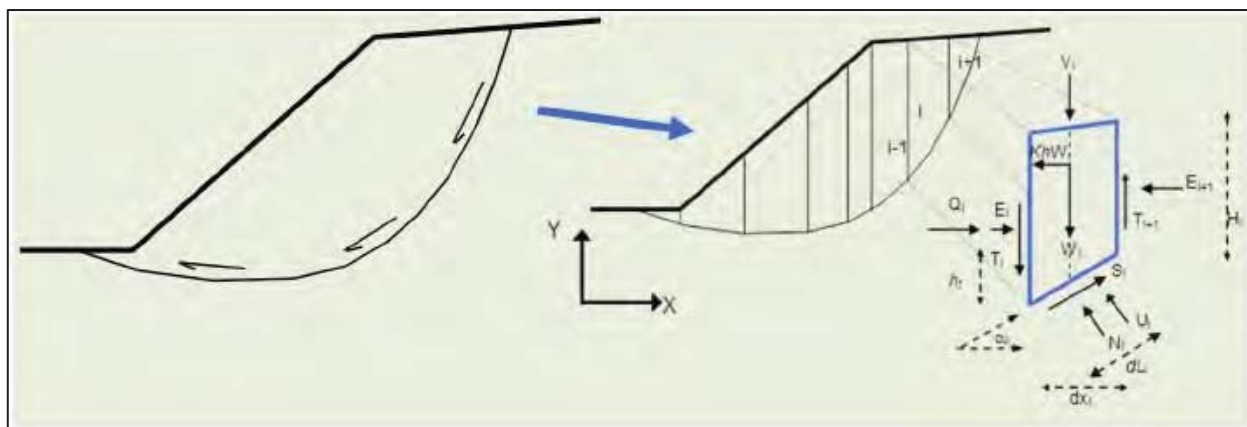


Fig. 7/A – Schema di una superficie critica e forze agenti su ogni concio.

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 16 a 29	Rev. 0

Eventuali sistemi di forze interne ed esterne (es. opere di rinforzo) influiscono nella stabilità globale del pendio e devono essere considerate opportunamente.

Per procedere con il calcolo di **F_s** la massa potenzialmente instabile viene suddivisa in "Fette" detti Conci delimitate da superficie verticali (**Fig. 7/A**). Su ogni concio vengono valutate singolarmente le forze agenti e resistenti. L'insieme delle forze agenti sul concio singolo è presentato in **Fig. 7/A**. Queste forze sono **W**=Peso del concio, **S**=Forza di taglio mobilitata sulla base del concio, **N**=Forza peso normale alla base del concio, **U**=Forza esercitata dal carico idraulico agente sulla base, **T**=Forza verticale interconcio, **E**=Forza orizzontale interconcio.

7.1 Procedure e Metodi di Calcolo Utilizzati

Il programma utilizzato per l'analisi di stabilità dei pendii è *SLOPE 2025 (GeoStru)*. Si tratta di un software per l'analisi di stabilità dei pendii in terreni sciolti o rocciosi con i metodi tradizionali della geotecnica (Equilibrio limite), ed il metodo ad Elementi Discreti con il quale è possibile conoscere gli spostamenti del pendio ed esaminare la rottura progressiva.

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è al minimo bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi

Pendii in roccia (*Metodo di Hoek e Bray*)

Per i versanti in roccia, diversamente da quelli in terra, il criterio di rottura di Mohr-Coulomb non può essere impiegato per definire la resistenza del materiale; tuttavia con questo metodo viene descritta una procedura che consente l'applicazione dei metodi classici dell'Equilibrio Limite anche nei versanti rocciosi. A tale scopo vengono definiti l'angolo di resistenza a taglio e la coesione che si mobilitano lungo la superficie di scorrimento secondo le seguenti espressioni:

$$\operatorname{tg} \varphi = AB \left(\frac{N}{\sigma_c} - T \right)^{B-1}$$

$$c = A \sigma_c \left(\frac{N}{\sigma_c} - T \right)^B - N \operatorname{tg} \varphi$$

dove:

sc è la resistenza a compressione monassiale della roccia;

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 17 a 29	Rev. 0

A, B, T costanti in funzione del litotipo e della qualità della roccia (*riportati in tabella*);

N sforzo normale alla base del concio.

Le costanti A, B e T sono vengono determinate in funzione della classificazione della roccia secondo Bieniawski (indice RMR) e secondo Barton (indice Q). Tra i due sistemi di classificazione, sulla base di 111 esempi analizzati, è stata trovata la seguente correlazione:

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

	Calcari	Argilliti	Areniti	Andesiti	Anfiboliti
	Dolomie	Siltiti	Quarziti	Basalti	Gneiss
	Marne	Scisti		Rioliti	Graniti
RMR = 85	A = 0.651	A = 0.739	A = 0.848	A = 0.883	A = 0.998
Q = 100	B = 0.679	B = 0.692	B = 0.702	B = 0.705	B = 0.712
	T = -0.028	T = -0.020	T = -0.013	T = -0.012	T = -0.008

I metodi dell'equilibrio limite (LEM) analizzano le condizioni di equilibrio di una massa potenzialmente instabile con lo scopo di determinare un coefficiente di sicurezza, definito come il rapporto tra le forze resistenti e le forze sollecitanti agenti sul pendio, riferite ad una particolare superficie di rottura. Il valore del coefficiente di sicurezza fornisce indicazioni sul livello di sicurezza posseduto da un versante:

- FS > 1: condizioni di stabilità;
- FS = 1: condizioni di "equilibrio limite";
- FS < 1: condizioni di instabilità.

Forze resistenti. Le forze resistenti, che si oppongono allo scorrimento della massa, sono quelle derivanti dall'applicazione del criterio di resistenza al taglio di Mohr-Coulomb e sono funzione dei parametri caratteristici del terreno coesione e angolo di attrito. Ne segue che terreni dotati di buone caratteristiche meccaniche offrono una maggiore resistenza al taglio e, in generale, una migliore stabilità; viceversa, terreni caratterizzati da scarsi parametri di resistenza risultano più sensibili ai fenomeni franosi o, in generale, ai fenomeni di dissesto.

Forze sollecitanti. Le forze sollecitanti sono quelle che innescano o favoriscono il movimento franoso, causando l'instabilità del versante, in quanto modificano lo stato delle forze interne ed esterne agenti sul terreno o sull'ammasso roccioso.

Superficie di rottura. Nella maggior parte dei casi, la probabile linea di scorrimento della frana non è nota a priori e pertanto, per determinarla, bisogna applicare iterativamente il metodo di analisi di stabilità, determinando di volta in volta il coefficiente di sicurezza fino all'individuazione della superficie critica (corrispondente al coefficiente di sicurezza più basso). Nel caso in cui è possibile assumere una superficie di rottura circolare, è necessario procedere all'individuazione della circonferenza il cui arco corrisponde alla superficie di scorrimento critica. Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 18 a 29	Rev. 0

tengano conto della forma e posizione della superficie di scorrimento, dell'assetto strutturale, dei parametri geotecnici e del regime delle pressioni interstiziali. Nel caso di pendii in frana l'analisi va eseguita lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini; negli altri casi, la verifica deve essere eseguita lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso. Quando sussistano condizioni tali da non consentire un'agevole valutazione delle pressioni interstiziali, le verifiche di sicurezza devono essere eseguite assumendo le condizioni più sfavorevoli che ragionevolmente si possono prevedere.

I metodi di analisi sono quelli dell'Equilibrio Limite: Fellenius, Bishop, Jambu, Bell, Spencer, Sarma, Spencer, Morgenster & Price e Zeng Liang; alcuni validi per superfici di forma circolare, altri anche per superfici di forma generica.

Il metodo che si è scelto per il calcolo del coefficiente di sicurezza F_s è quello di Janbu che estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi. Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo si valuta l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco (**Eq. 3**).

$$F_s = \frac{\sum \left\{ c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \right\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i} \quad (\text{Eq. 3})$$

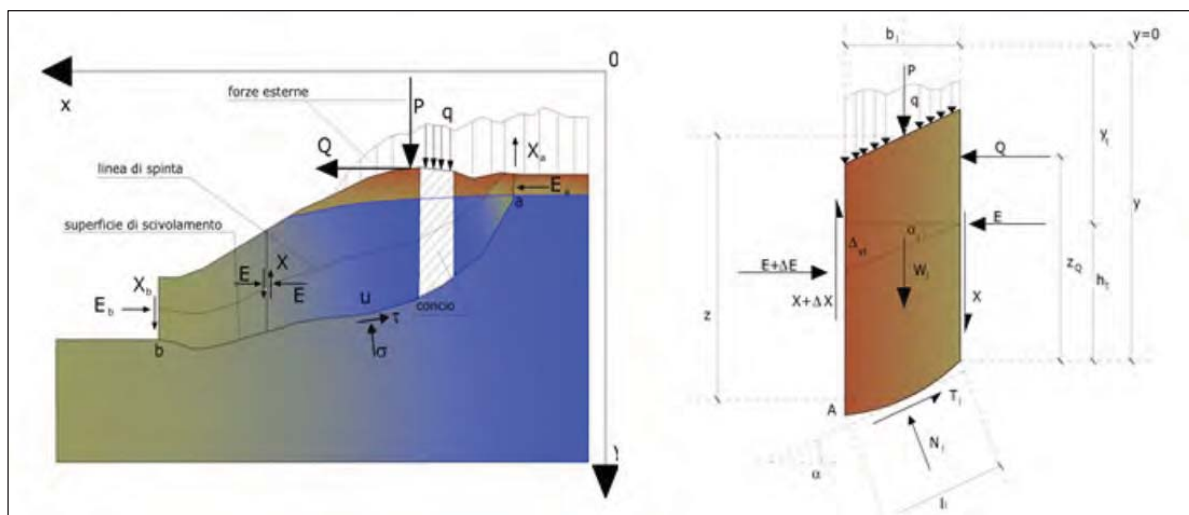


Fig. 7.1/A - Azioni sul conco i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente **Eq. 4**:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \times F_s \quad (\text{Eq. 4})$$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 19 a 29	Rev. 0

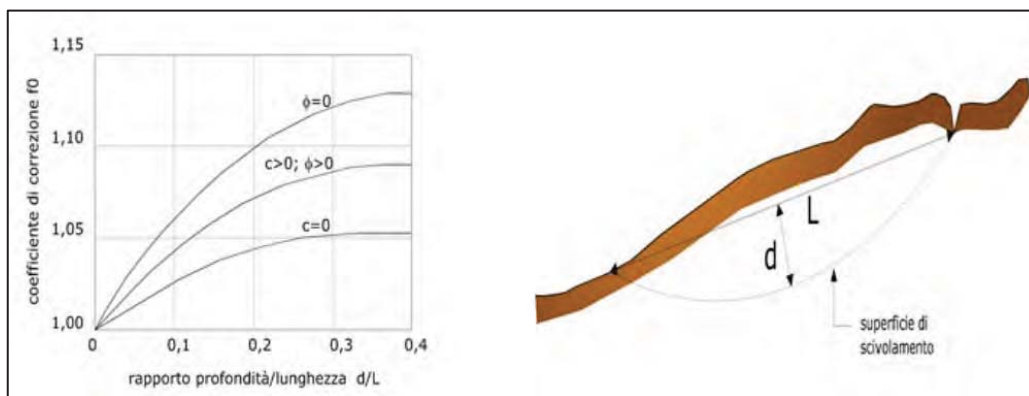


Fig. 7.1/B - Calcolo del coefficiente di correzione fornito da Jambu

7.2 Combinazioni di Carico

Individuate le caratteristiche geotecniche dei terreni, in accordo con la normativa, nelle verifiche di stabilità sono state prese in considerazione separatamente le seguenti combinazioni delle azioni (par. 2.5.3 delle NTC18):

- **Combinazione fondamentale**, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi:

$$\gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$
- **Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G1 + G2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

dove il simbolo “+” assume il significato di “combinato con”.

7.2.1 Verifiche combinazione fondamentale

Le verifiche allo stato limite SLV (stato limite di salvaguardia della vita) sono state condotte ai sensi del cap. 6.8 delle NTC 2018 “Opere di materiali sciolti e fronti di scavo” e del capitolo 7.11.4 “Fronti di scavo e rilevati”.

Le verifiche sono state condotte applicando il cosiddetto Approccio 1 definito dalle NTC18, ed in particolare è stata utilizzata la Combinazione 2 (A2+M2+R2) tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle Norme.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente	Coefficiente	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'$	$\gamma_{m,\varphi}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'	$\gamma_{m,c}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c_u	$\gamma_{m,cu}$	1,00	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,00	1,00

Tab. 7.2.1/A - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni (ex Tab. 6.2.II delle NTC18)

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 20 a 29	Rev. 0

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G2 ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 7.2.1/B - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (ex Tab. 6.2.I delle NTC18)

(1) Per i carichi permanenti G2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Coefficiente	R2
γ_R	1

Tab. 7.2.1/C - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (ex Tab. 6.8.I delle NTC18)

7.2.2 Verifiche combinazione sismica

Nelle verifiche di sicurezza in condizioni sismiche, in accordo al § 7.11.4 delle NTC 2018, è stato applicato il metodo pseudo statico, in cui l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.

Le componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente sono espresse come:

$$F_h = K_h \cdot W$$

$$F_v = K_v \cdot W$$

con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale definiti nel § 7.11.3.5.2 delle NTC 2018 e adottando i seguenti valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito:

$\beta_s = 0,38$ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV);

Per quanto concerne la **progettazione per azioni sismiche** per le opere di materiali sciolti e fronti di scavo, in accordo con le NTC 2018 (ex par. 7.11.4. Fronti di scavo e rilevati), le verifiche sono state condotte secondo il cosiddetto Approccio 1 definito dalle NTC18, ed in particolare è stata utilizzata la Combinazione 2 (A2+M2+R2), ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1$.

Coefficienti sismici (SLV) per le verifiche di Fronti di scavo e rilevati (NTC 2018 § 7.11.4)

I coefficienti sismici di progetto sono riportati al precedente §. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

7.2.3 Caratteristiche geotecniche dei materiali utilizzati

I valori dei parametri geotecnici caratteristici, sono stati ottenuti attraverso prove di laboratorio eseguite dalla ditta sui graniti costituenti il giacimento, si fa presente che le caratteristiche riportate avranno un valore maggiore all'aumentare della profondità.

In **Tab. 7.2.3/A** vengono esposti i parametri

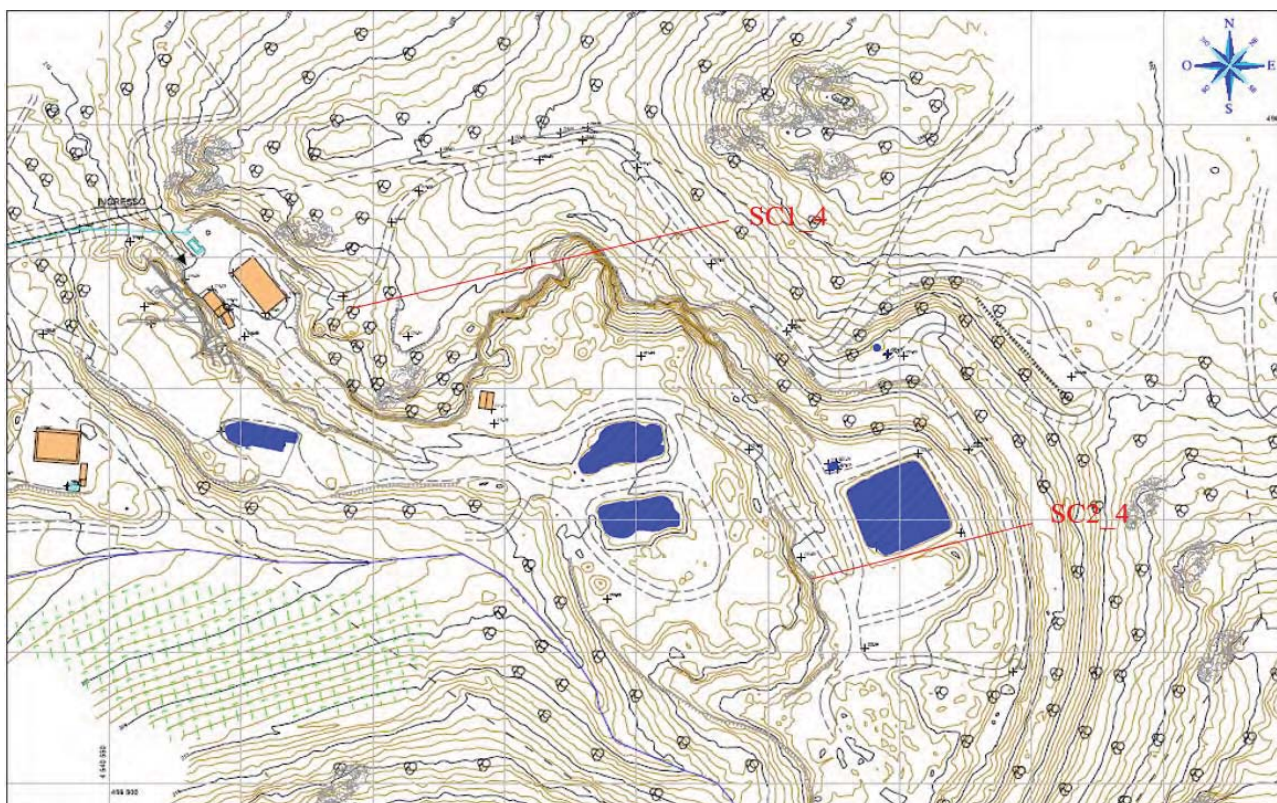
COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 21 a 29	Rev. 0

Rocce	Granito compatto
Angolo di attrito (°):	50
Indice RMR	85
Resistenza alla compressione uniassiale (σ_c) in kg/cm ²	1713
Peso di volume sopra falda(kg/mc):	2600
Peso di volume sotto falda(kg/mc):	2500
Modulo di Young o edometrico (terreni coesivi) (kg/cmq):	49383,7
Coefficiente di Poisson:	0,2
O.C.R.:	1

Tab. 7.2.3/A - Parametri geotecnici

7.3 Verifica di Stabilità del Pendio

Per la verifica di stabilità dei versanti si sono scelte 2 sezione di progetto mediane per le 2 aree in coltivazione. Più precisamente la SC1_4 e la SC2_4



Tab. 7.3/A – Inquadramento sezioni su CTR di progetto (Tav. P.3)

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù		Data Documento luglio 2025	
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Fg. 22 a 29	Rev. 0

7.3.1 Stato Attuale

Sezione SC1_4 iniziale

Di seguito si riportano le caratteristiche dimensionali della sezione:

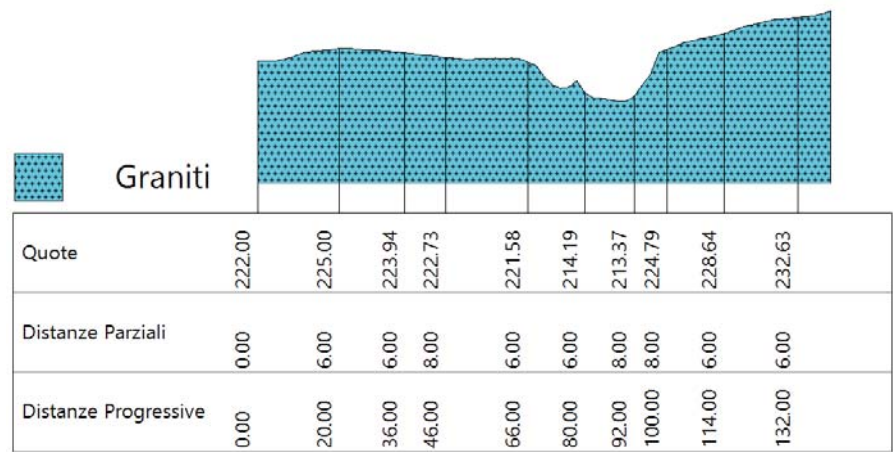


Fig. 7.3.1/B - Sezione SC1_4 non in scala

I parametri ottenuti dai lavori di rilevamento in situ e dalla bibliografia stati inseriti nel programma di modellazione *SLOPE 2025* per la verifica di stabilità dei versanti. Nella **Fig. 7.3.1/C** è stata sintetizzata l’elaborazione del profilo della sezione SC1_4 iniziale in cui vengono evidenziate le superfici calcolate e la più critica. L’elaborazione è stata eseguita direttamente in condizioni di combinazione fondamentale secondo i fattori di riduzione delle NTC.

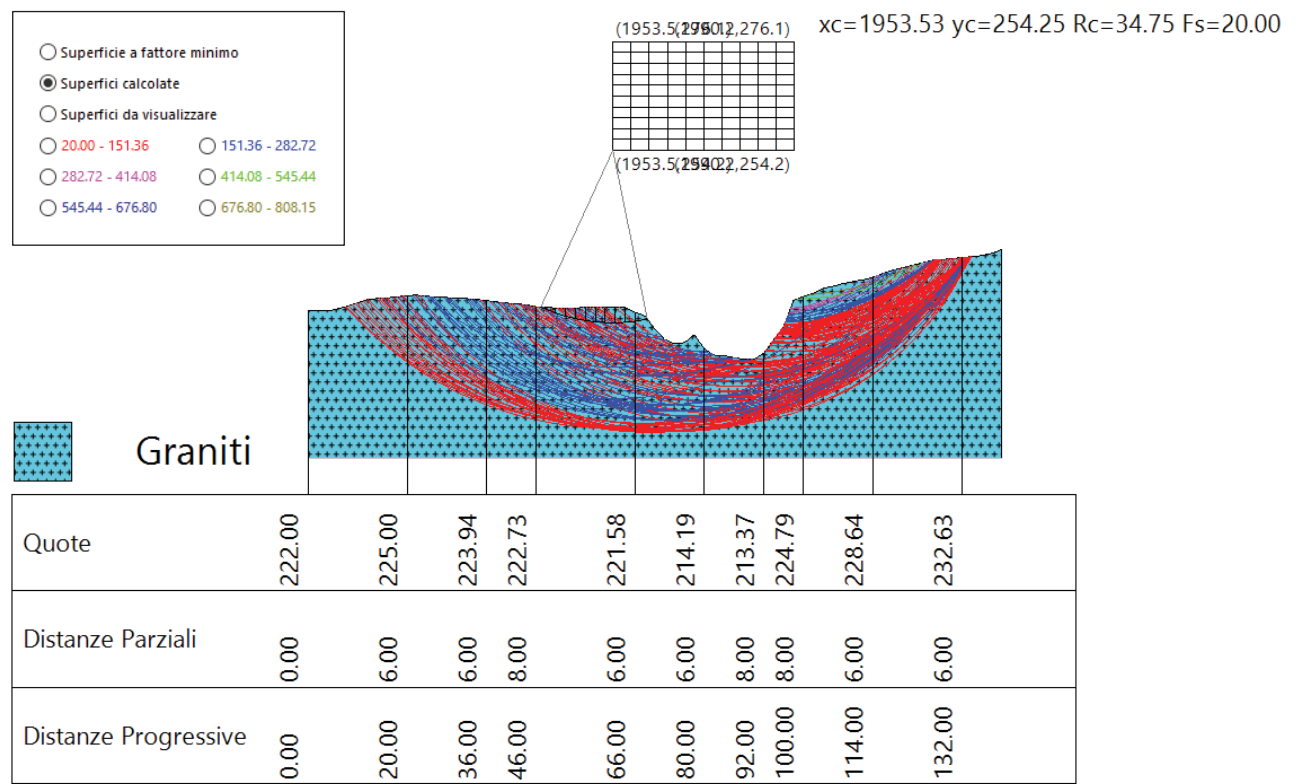


Fig. 7.3.1/C – Calcolo della superficie di scorrimento critica e del fattore di sicurezza minimo relativo alla sezione SC1_4.

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 23 a 29	Rev. 0

Si nota che la superficie di scorrimento più critica è superficiale e comunque con un F_s di 20,00 rimane al di sopra del valore limite di 1,1-1,2.

Sezione SC2_4 iniziale

La seguente sezione passa per l'altra area di scavo posta più a valle. Di seguito si riportano le caratteristiche dimensionali della sezione "SC2_4 iniziale" (**Fig. 7.3.1/D**):

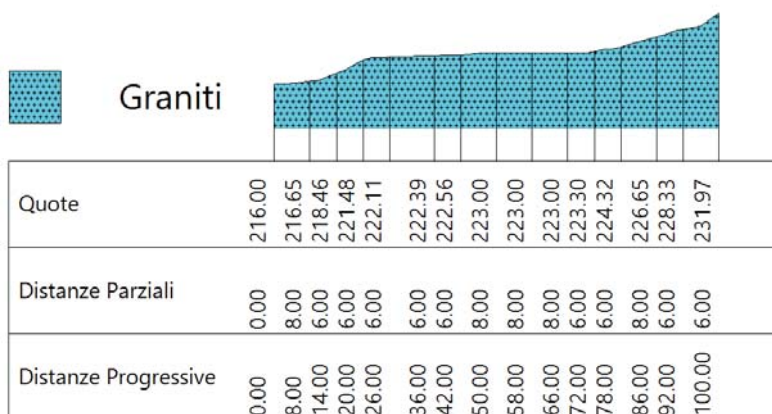


Fig. 7.3.1/D - Sezione SC2_4 iniziale

Anche in questo caso i dati della componente argillosa caratteristica sono stati inseriti nel programma di modellazione *SLOPE 2025* per la verifica di stabilità dei versanti. Nella **Fig. 7.3.1/E** è stata sintetizzata l'elaborazione del profilo della sezione SC2_4 in cui vengono evidenziate le superfici di scorrimento più critiche.

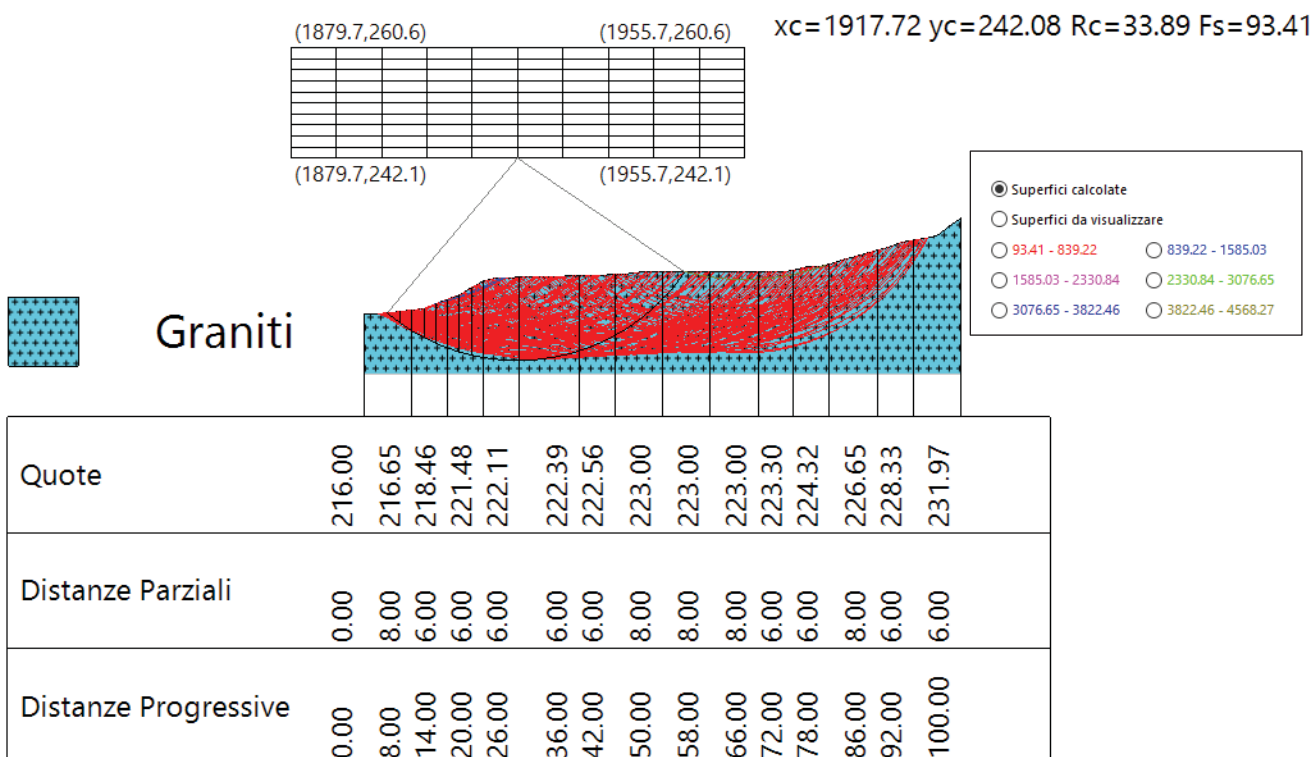


Fig. 7.3.1/E - Calcolo della superficie di scorrimento critica e del fattore di sicurezza minimo relativo alla sezione SC2_4 iniziale.

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d’Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' “BUNICCU”		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 24 a 29	Rev. 0

Si nota che la superficie di scorrimento più critica è mediamente profonda e con un F_s di 93.41 rimane al di sopra del valore limite di 1,1-1,2.

7.3.2 Stato finale

Nella planimetria in **Fig. 7.3.2/A** è visibile la sezione SC1_4 e SC2_4 finali di dettaglio, usate come sezioni rappresentative per la verifica di stabilità.

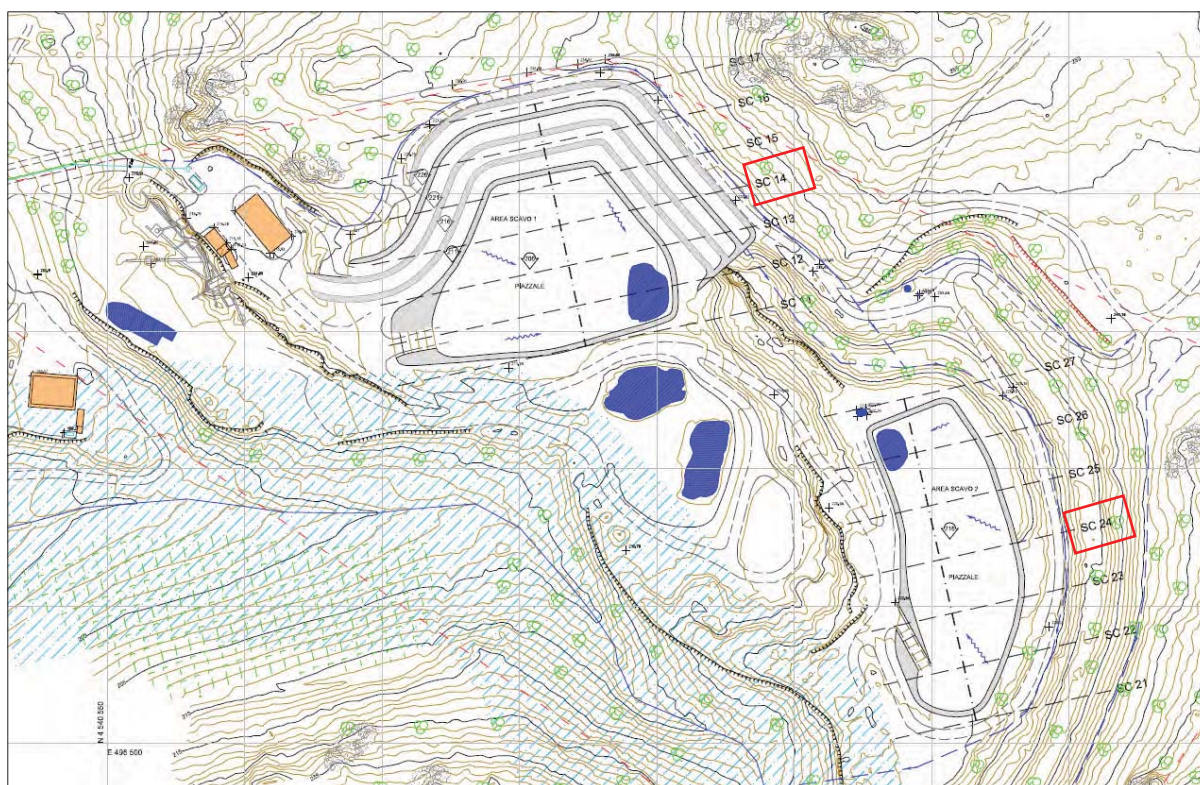


Fig. 7.3.2/A – Planimetria del sito allo stato finale di coltivazione (Tav. P.6)

Sezione SC1_4 finale

Di seguito si riportano le caratteristiche dimensionali della sezione “SC1_4 allo stato finale. Rispetto allo stato attuale si notano i gradoni di coltivo.

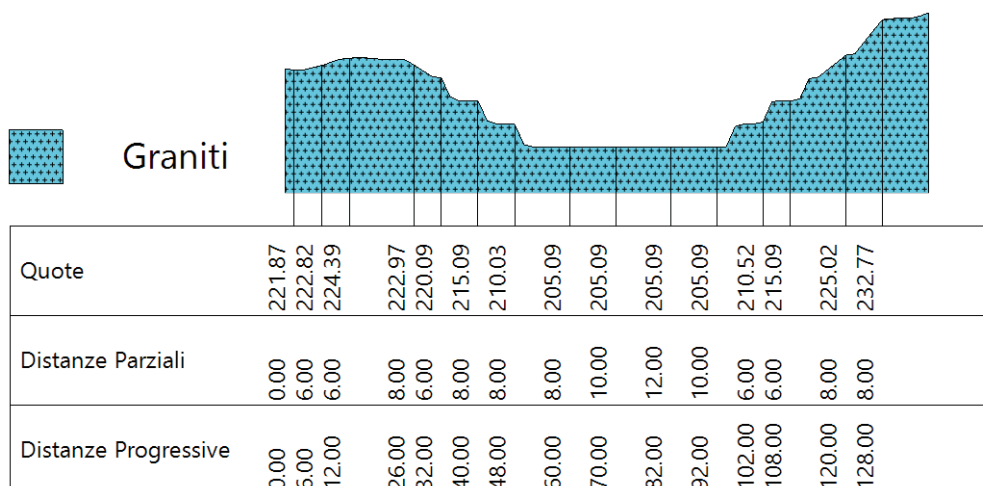


Fig. 7.3.2/B - Sezione SC1_4 finale non in scala

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 25 a 29	Rev. 0

I parametri ottenuti dai lavori di rilevamento in situ e dalla bibliografia sono stati inseriti nel programma di modellazione *SLOPE 2025* per la verifica di stabilità dei versanti. Nella **Fig. 9.3.2/C** è stata sintetizzata l'elaborazione del profilo della sezione SC1_4 finale in cui vengono evidenziate le superfici più critiche. L'elaborazione è stata eseguita direttamente in condizioni di combinazione fondamentale secondo i fattori di riduzione delle NTC.

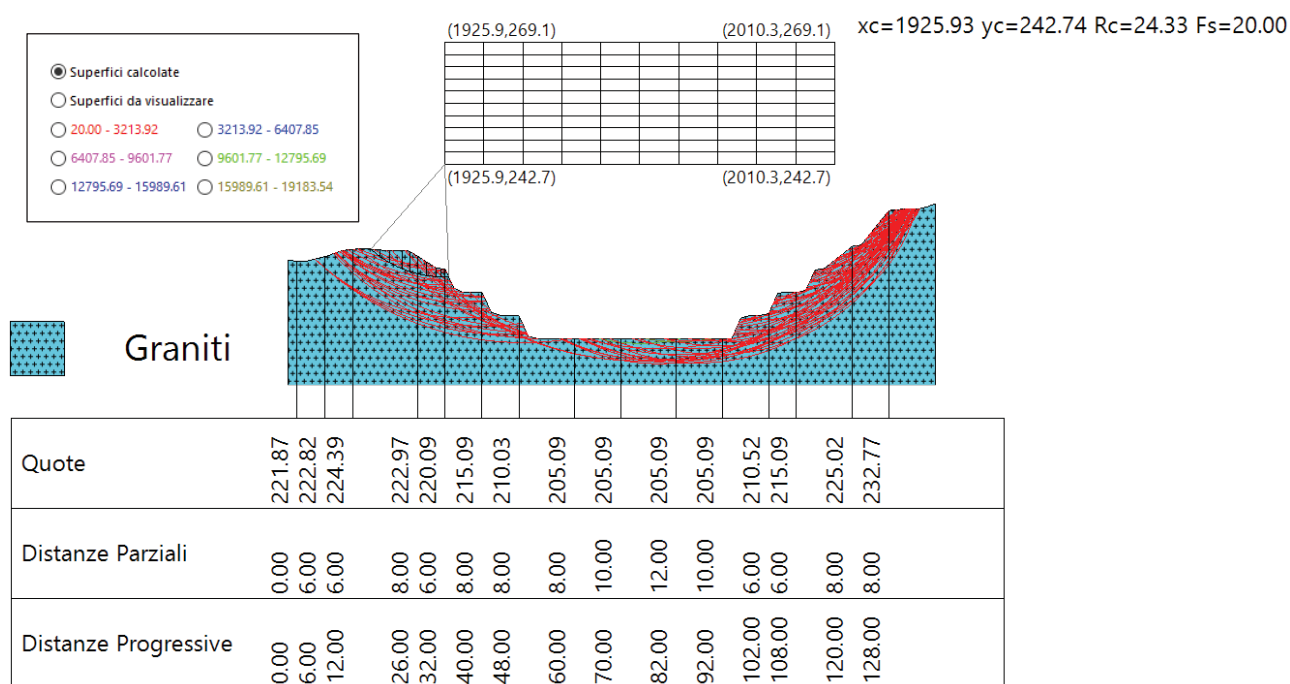


Fig. 7.3.2/C – Calcolo delle superfici di scorrimento critiche e del fattore di sicurezza minimo

Si nota che la superficie di scorrimento più critica ha un Fs di 20 al di sopra del valore limite di 1,1-1,2.

Sezione SC2_4 finale

La seguente sezione passa per l'altra area di scavo posta più a valle. Di seguito si riportano le caratteristiche dimensionali della sezione "SC2_4 finale" (**Fig. 7.3.2/D**):

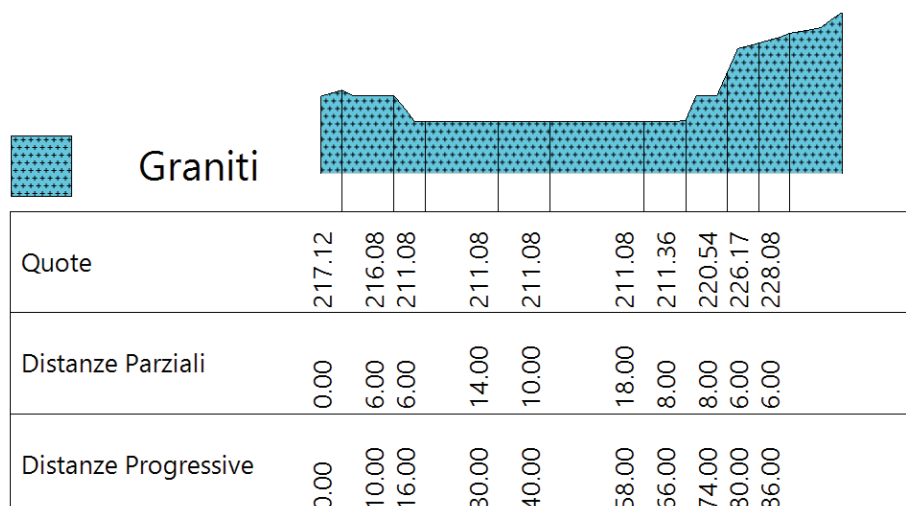


Fig. 7.3.2/D - Sezione SC2_4 finale non in scala

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 26 a 29	Rev. 0

Anche in questo caso i dati della litologia sono stati inseriti nel programma di modellazione *SLOPE 2025* per la verifica di stabilità dei versanti. Nella **Fig. 7.3.1/E** è stata sintetizzata l'elaborazione del profilo della sezione SC2_4 finale in cui vengono evidenziate le superfici più critiche.

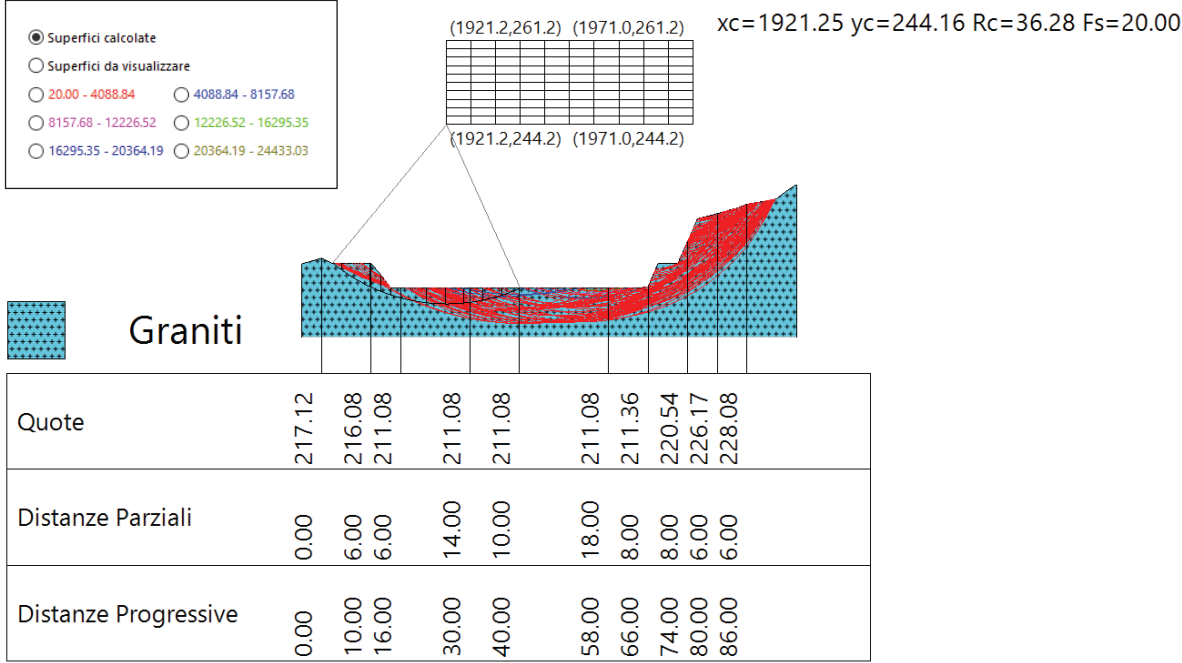


Fig. 7.3.2/E – Calcolo delle superfici di scorrimento critiche e del fattore di sicurezza minimo.

Come per la sezione precedente si nota che la superficie di scorrimento più critica è superficiale e con un F_s di 20 rimane al di sopra del valore limite di 1,1-1,2.

7.3.3 Stato finale con ripristino

Nella planimetria in **Fig. 7.3.3/A** è visibile la sezione A-A' e B-B' di dettaglio.

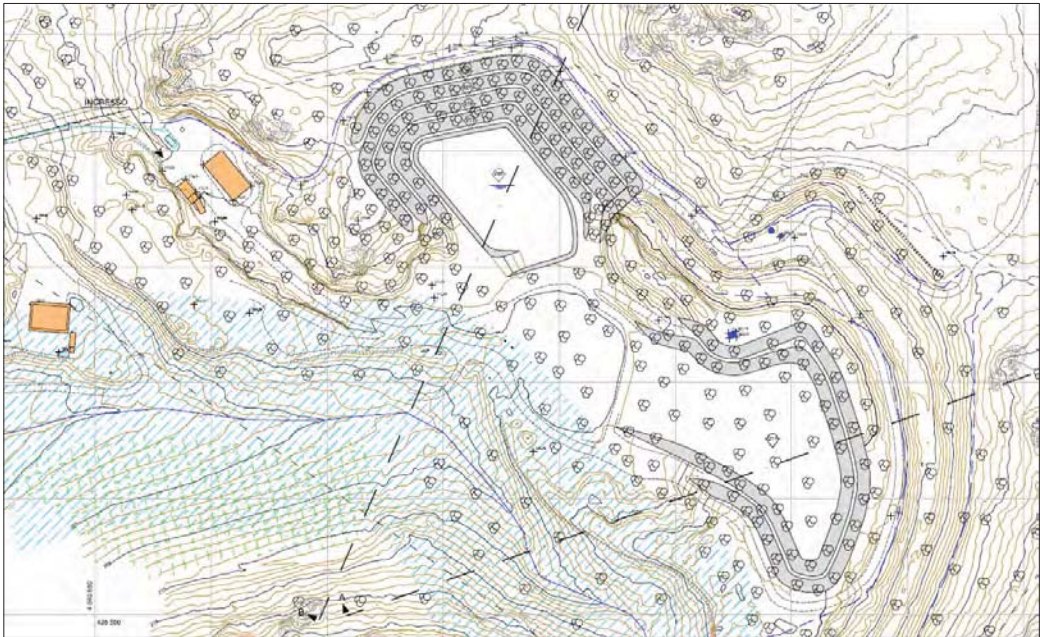


Fig. 9.3.3/A – Planimetria del sito allo stato finale con il ripristino

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fig. 27 a 29	Rev. 0

Sezione A-A'

Di seguito si riportano le caratteristiche dimensionali della sezione "A-A'" allo stato finale con il ripristino. Si nota come siano stati rimodellati i versanti e rimpiti parzialmente i volumi di scavo, con la realizzazione del rinverdimento.

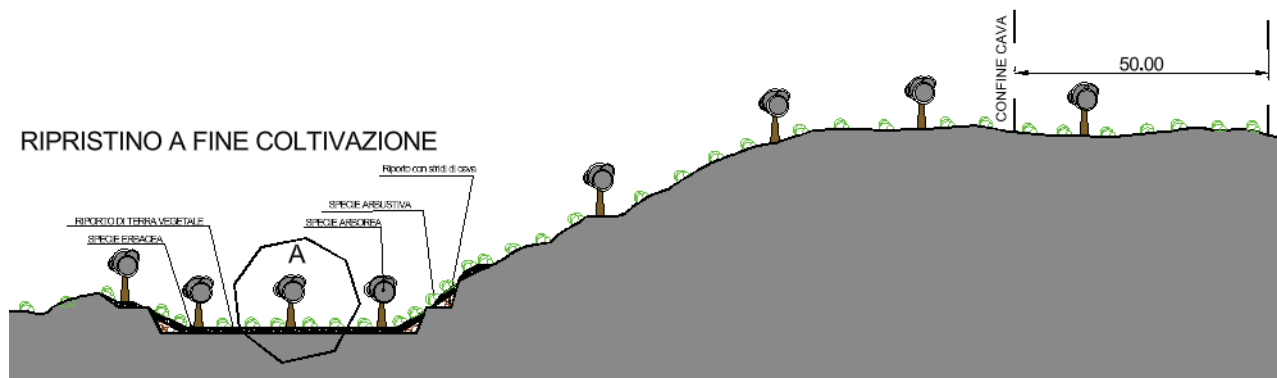


Fig. 7.3.3/B - Sezione A-A' non in scala

Non si è calcolata la verifica di stabilità in quanto il versante, già stabile, non subisce grosse modificazioni rispetto alle condizioni di coltivo se non un parziale riempimento dei gradoni con sfredi e un abbattimento degli dei cigli realizzati a seguito della coltivazione.

Sezione B-B'

Si nota come anche in questo caso siano stati rimodellati i versanti e rimpiti parzialmente i volumi di scavo, con la realizzazione del rinverdimento e del laghetto sul fondo.

La seguente sezione passa per l'altra area di scavo posta più a valle. Di seguito si riportano le caratteristiche dimensionali della sezione "B-B'" (Fig. 7.3.3/D):

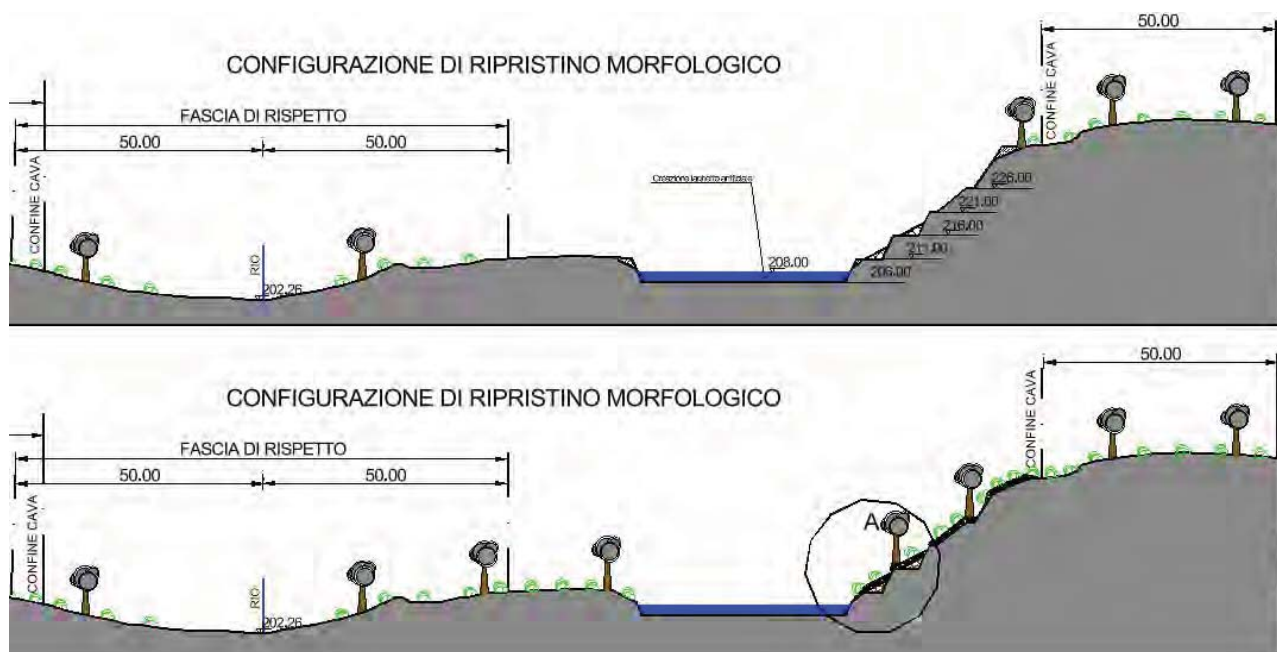


Fig. 7.3.3/D - Sezione B-B'

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 28 a 29	Rev. 0

Come nel caso precedente non si è calcolata la verifica di stabilità in quanto il versante, già stabile, non subisce grosse modificazioni rispetto alle condizioni di coltivo se non un parziale riempimento dei gradoni con sfridi e un abbattimento degli dei cigli realizzati a seguito della coltivazione.

7.4 Risultati

I risultati della verifica di stabilità, eseguita nei differenti casi, ha messo in evidenza una buona stabilità degli stessi.

Il calcolo eseguito con software dedicato ed in particolare con diversi metodi, ha fornito i seguenti risultati (**Tab. 7.4/A**):

Sezione	Metodo	Coef. Sic. minimo	Limite NTC 2018
Sezione SC1 4 iniziale	Jambu (1967)	20	1,1-1,2
Sezione SC2 4 iniziale	Jambu (1967)	93.41	1,1-1,2
Sezione SC1 4 finale	Jambu (1967)	20	1,1-1,2
Sezione SC2 4 finale	Jambu (1967)	20	1,1-1,2

Tab. 7.4/A – Risultati delle elaborazioni mediante il software *Slope 2025*

Viste le caratteristiche dei materiali di cui sono composti i versanti soggetti alla presente indagine e i coefficienti di sicurezza ottenuti dalla modellizzazione mediante il software *Slope 2025*, si può affermare che essi hanno evidenziato buoni margini di sicurezza in relazione alla stabilità globale.

Tuttavia è necessario fare le seguenti considerazioni relative al software utilizzato per la verifica di stabilità dei versanti (SLOPE 2025):

Il software considera le caratteristiche geomeccaniche dei versanti omogenee in ogni punto, condizione non verificabile nella realtà.

8 Ammissibilità dell'intervento

Il progetto prevede un sistema di coltivazione a gradoni discendenti, questo sistema rispetto agli altri alleggerisce il versante, rendendolo più stabile e sicuro, rispetto ad altre coltivazioni.

Questa nuova conformazione risulta coerente con la verifica di stabilità dei fronti. Il materiale estratto verrà lavorato in piazzali appositi esterni all'area in coltivo. I ripristini ambientali e le diminuzioni di pendenza favoriranno la rinaturalizzazione dei fronti. Tutto questo risulta in ottemperanza con quanto prescritto nell'**Art. 13** delle NTA del PAI, in particolare ai commi 2, 4, 6, 7 e 10.

L'intervento è ammissibile ai sensi **dell'Art. 33** delle NTA del PAI, l'area ricade zona rischio media Hg2, pertanto verificata la compatibilità dell'intervento ai sensi dell'**Art. 25**, fermo restando quanto stabilito nelle aree di pericolosità media da frana. Infatti, sono consentiti tutti gli interventi, le opere e le attività ammessi nelle aree di pericolosità molto elevata ed elevata da frana, alle medesime condizioni riportate negli **articoli 31 e 32**, in particolare per quanto citato nell'Art. 31 comm. 1 lettere a, b e c, *viste le migliorie morfologiche, idrauliche e le opere di riqualificazione ambientale*.

Il sito non è oggetto di pericolosità idraulica (ex Artt. 27, 28, 29, 30 NTA del P.A.I.).

COMMITTENTE: ADDIS GIOVANNI MATTEO via delle Poste, 21/a - 07038 TRINITA' D'AGULTU	I Tecnici:	Comune: Trinità d'Agultu e Vignola Provincia: Sassari	Studio di compatibilità geologico - geotecnica	
	Dott. Geol. D. De Lisa Dott. Ing. D. Orrù			
	PROGETTO DI COLTIVAZIONE E DI RECUPERO AMBIENTALE DI UNA CAVA DI INERTI DI GRANITO IN LOCALITA' "BUNICCU"		Data Documento luglio 2025	
			Fg. 29 a 29	Rev. 0

9. Conclusioni

Lo studio effettuato ha analizzato la compatibilità geologica e geotecnica del progetto, "Progetto di coltivazione e di recupero ambientale di una cava di inertici di granito in località "Buniccu", nel comune di Trinità d'Agultu e Vignola (SS)

Il sito oggetto di studio, si trova all'interno dell'area di cava denominata "Buniccu", la stessa è localizzata a circa 8 km a nord dall'abitato di Trinità d'Agultu e Vignola.

Il progetto utilizzerà il metodo dei gradoni discendenti, eseguendo i lavori di ripristino a fine coltivazione del materiale.

La geologia del settore è caratterizzata da affioramenti di arenarie Oligo-Mioceniche e basamento paleozoico costituito dai granitoidi, su cui si sviluppa l'attività di cava.

La campagna di indagini in situ ha permesso di definire un modello geologico e geotecnico, infatti, la natura litoide dell'ammasso roccioso e le caratteristiche geomeccaniche ha portato alle seguenti conclusioni:

- Il presente studio non ha mostrato aspetti di ordine geologico, geomorfologico e idrogeologico sfavorevoli alla realizzazione delle opere in progetto;
- Le opere di coltivazione e pur rappresentando un potenziale pericolo di instabilità non risultano alterare la stabilità generale di progetto ed il successivo ripristino riporta l'area ad una situazione iniziale non andando ad aggravare il pericolo ed il livello di rischio da frana presente.
- Il progetto rispetta pertanto le condizioni imposte dalle Norme di attuazione del PAI e risulta compatibile con quanto previsto da tale strumento.

10. Allegati

- Report Sezione SC1_4 iniziale
- Report Sezione SC2_4 iniziale
- Report Sezione SC1_4 finale
- Report Sezione SC2_4 finale.

Cagliari, luglio 2025

I Tecnici