



COMUNE DI SANT'ANTIOCO
PROVINCIA DEL SULCIS IGLESIENTE

**INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA SUGLI EFFETTI DI CEDIMENTO DELLE
PARETI DI SCAVO A SEGUITO DELL'EVENTO DEL CICLONE HARRY IN
PROSSIMITÀ DI TRE ABITAZIONI RICADENTI IN AGRO DEL COMUNE DI
SANT'ANTIOCO**

PIANO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

ELABORATO

REL.02

**RELAZIONE GEOLOGICA E
GEOTECNICA**

Aggiornamento: Giugno 2026

Scala:

TECNICO

Dott. Geol. Lorenzo Ottelli

Collaboratori

Ing. Nicola Todde

Sindaco

Avv. Ignazio Locci

Vice Sindaco

Ing. Francesco Garau

Responsabile del Settore

Ing. Michele Tagliafico

Responsabile Unico del Progetto

Ing. Michele Tagliafico



INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
3	INQUADRAMENTO CLIMATICO	5
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE GENERALE	6
4.1	Introduzione	6
4.2	Geologia generale	7
4.3	Studi precedenti	7
4.4	La tettonica	9
4.5	Geologia dell'area d'indagine	10
4.6	Idrogeologia generale	11
4.7	Geomorfologia generale	12
5	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	12
5.1	verifica di esclusione delle condizioni di liquefazione rispetto al comportamento delle fondazioni in condizioni sismiche	14
6	RILEVAMENTI GEOLOGICI DI DETTAGLIO	15
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO	16
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	18



1 PREMESSA

La presente relazione è stata redatta a seguito dei fenomeni franosi che si sono verificati in occasione di eventi piovosi intensi nel corso del mese di Gennaio 2026, e che hanno interessato il fronte di scavo che insiste in un zona urbanizzata ai margini del centro abitato di Sant'Antioco e più precisamente a monte della via Cavallera.

Il presente lavoro analizzerà in linee generali la geologia, la geomorfologia e l'idrogeologia di base sino a poi arrivare a descrivere l'intervento che sarà messo in atto per risolvere il problema.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area d'indagine ricade nel foglio I.G.M. in scala 1:50.000 denominato 564 Carbonia. L'area inoltre è individuabile nello stralcio della carta I.G.M. 1:25.000, di seguito riportata (Figura n°1), Foglio n°564 sezione III – Sant'Antioco, mentre riferendosi alla Carta Tecnica Regionale, ricade all'interno della sezione n°564100 – Sant'Antioco (Figura n°2).

L'area di studio, è visibile nelle Foto n°1-2 ritratte da Google Earth. La zona è raggiungibile attraverso delle vie secondarie e si trova sul versante N del Monte Maggioni con quote comprese tra i 70 e 80 metri s.l.m.



Figura n°1 – Stralcio della carta IGM – Foglio 564 Sezione III – Sant'Antioco, con individuazione della zona in esame.

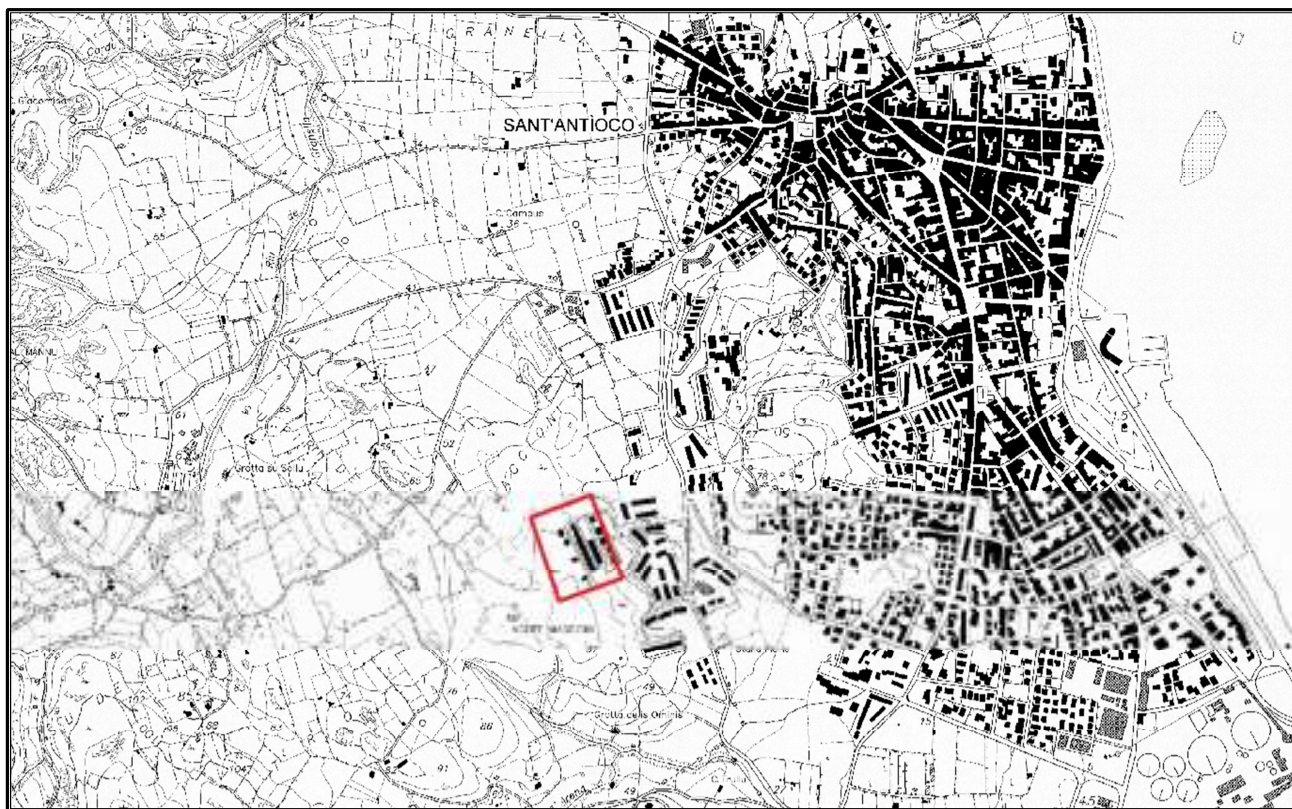


Figura n°2 – Stralcio della carta CTR in scala 1:10.000 – Foglio 564100 – Sant'Antioco – con individuazione dell'area di indagine.

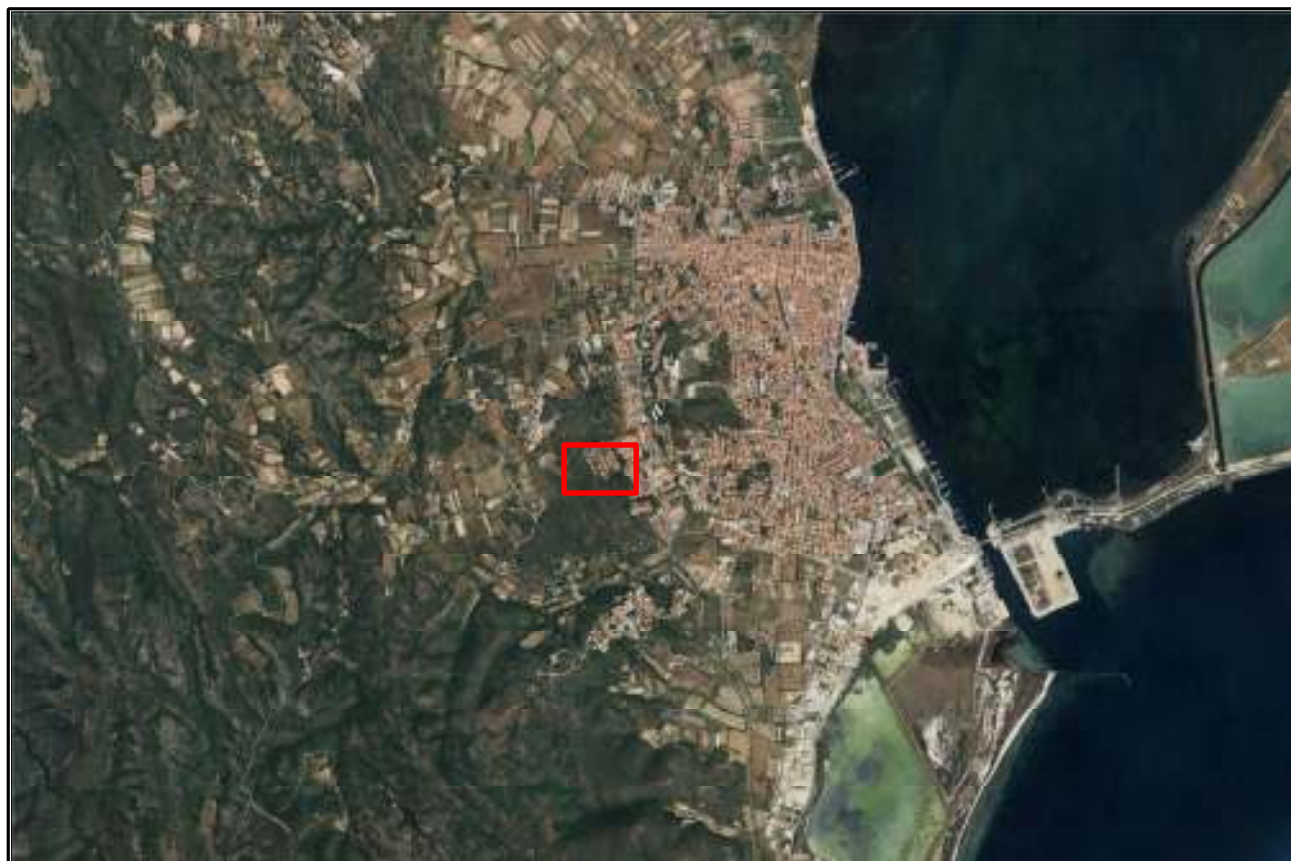


Foto n°1 – Area di indagine ripresa da Google.



Foto n°2 – Area di indagine ripresa da Google.

3 INQUADRAMENTO CLIMATICO

L'area d'indagine ricade nel territorio comunale di Sant'Antioco, ed è individuata ai margini della zona urbana di della città di Sant'Antioco.

Nel presente paragrafo relativo i cenni sui caratteri climatici e idrologici si riportano i dati rilevati dal sito dell'ARPAS <http://www.sar.sardegna.it>.

I dati riportati riguardano la ventosità, la temperatura massima e minima e la piovosità.

Nella successiva tabella n°1 è riportata la ventosità sulla base delle percentuali sul totale dei dati disponibili, rilevata nella vicina stazione di Carloforte, mentre nella Figura n°3 sono visibili i punti di rilevamento.

Nell'area d'indagine i venti predominanti sono provenienti da N e da NW.

Per quanto riguarda la temperatura nelle Figure n°4-5 sono riportate le medie delle temperature massime e minime in Sardegna.

L'area d'indagine ricade all'interno dei 21°-22° per quanto riguarda le medie annali delle temperature massime e 12°-13° per quanto riguarda le temperature minime.

Nella Figura n°6 è riportata la media delle precipitazioni annue che per quanto riguarda l'area d'indagine sono comprese nell'intervallo che varia da 500 a 600 mm.

I grafici sono stati estratti dal volume Analisi delle condizioni meteorologiche e conseguenze sul territorio regionale nel periodo ottobre 2010 - settembre 2011 dell'ARPAS.



Tabella n°1 - Direzione di provenienza del vento massimo (percentuali sul totale dei dati disponibili)

Direzione di provenienza del vento massimo (percentuali sul totale dei dati disponibili)									
Stazione	N	N-E	E	S-E	S	S-W	W	N-W	direzione variabile o calma di vento
Capo Frasca (Arbus)	10.41	3.97	9.62	15.94	2.00	9.72	19.83	28.26	0.26
Decimomannu	10.94	2.10	2.78	23.17	14.71	3.62	9.10	32.97	0.62
Elmas	14.68	0.84	4.35	17.68	20.85	2.36	11.98	27.11	0.15
Spalmatoreddu (Carloforte)	15.02	3.83	6.42	10.62	8.98	6.68	10.31	38.14	0.00
Fonni	6.79	6.60	7.94	6.58	5.40	16.00	33.60	16.41	0.67
Capo Bellavista (Arbatax)	8.34	15.07	10.94	7.98	15.45	5.23	15.70	21.19	0.10
Perdasdefogu	2.05	6.28	22.53	11.63	1.20	10.13	39.10	6.44	0.63
Guardiavecchia (La Maddalena)	4.41	10.53	15.95	5.51	0.72	6.64	51.07	4.99	0.19
Asinara	3.07	3.02	22.68	4.29	3.77	9.16	40.84	13.03	0.13
Alghero	6.85	11.57	4.24	0.73	16.65	12.05	27.76	19.97	0.19

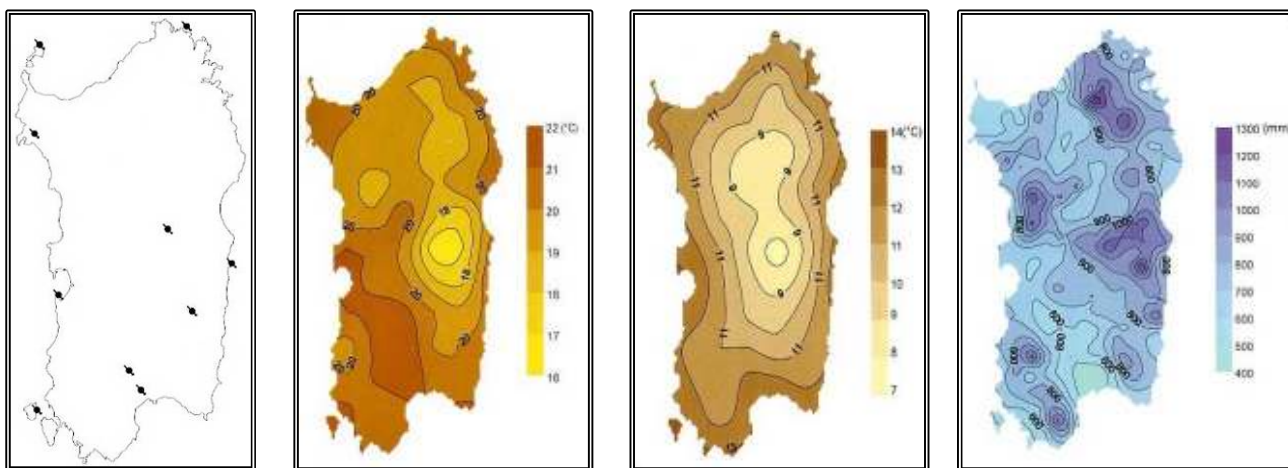


Figura 3-4-5-6 – Punti di rilevamento della ventosità, Temperature massime e minime, e media della piovosità in Sardegna.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE GENERALE

4.1 Introduzione

Lo studio geologico generale dell'area è stato incentrato sulle seguenti tematiche:

- definizione dell'assetto geologico, litostratigrafico, morfologico e idrogeologico generale;
- verifica della situazione geologica di dettaglio ove possibile.

Per il raggiungimento delle finalità prefissate, sono stati analizzati, con il dettaglio imposto dalla fase progettuale, tutti gli aspetti territoriali della zona, necessari per individuare eventuali criticità e predisporre idonei interventi progettuali.

A titolo generale nella Figura n°7, si riporta lo stralcio della carta geologica della Sardegna in scala 1:200.000, dove è evidenziata l'area d'indagine.

Come si evince dalla figura l'area in cui sarà previsto di realizzare gli interventi di messa in sicurezza, ricade in linee generali all'interno di uno dei due gruppi litologici appartenenti alle formazioni di:

- Ghiaie sabbie, limi e argille sabbiose dei depositi alluvionali, colluviali, attribuibili all'Olocene.
- Rioliti, riodaciti, daciti, e subordinatamente comenditi, in espandimenti ignimbrici, cupole di ristagno e rare colate, cui si associano prodotti freatomagmatici (fail e surge); talora livelli epiclastici intercalati. Oligocene superiore – Miocene inferiore medio.

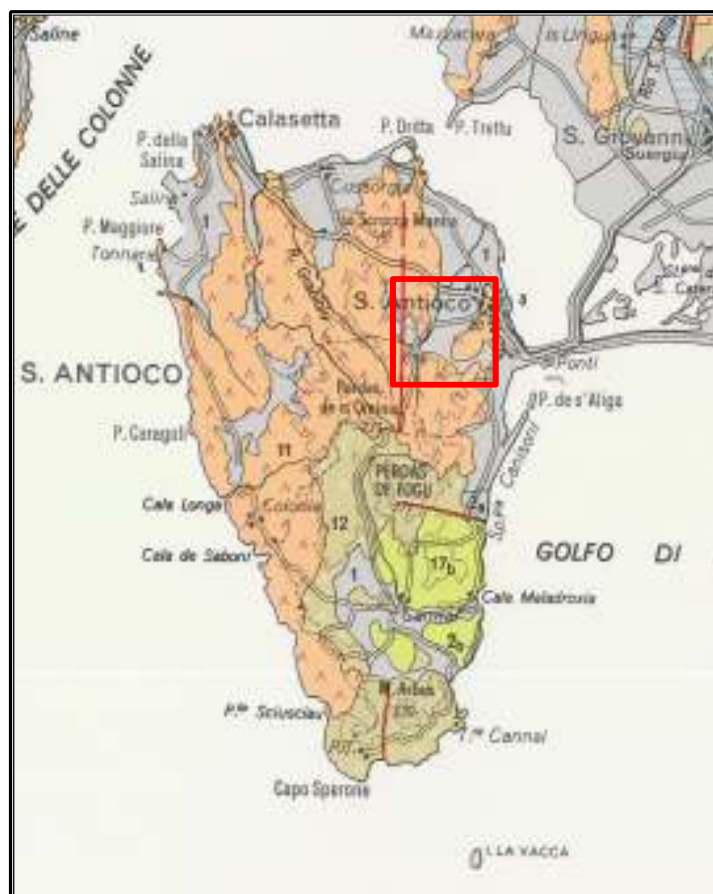


Figura n°7 – Stralcio della Carta geologica 1:200.000 con individuazione dell'area di studio.

4.2 Geologia generale

Dal punto di vista geologico l'area d'indagine ricade all'interno del Foglio 564 Carbonia della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000. In tale foglio, come del resto negli altri pubblicati, sono evidenziate le unità litostратigrafiche fondamentali chiamate anche formazioni.

Le formazioni, a loro volta possono essere suddivise all'interno della stessa zona o della medesima carta in unità aventi un rango inferiore.

Le formazioni suddette sono quindi distinguibili anche come membri e/o litofacies.

Nella zona in esame si rinvencono diverse litologie appartenenti ai depositi quaternari dell'area continentale e le litologie appartenenti alla successione vulcanica miocenica.

4.3 Studi precedenti

L'area in cui ricadono gli interventi, fa parte di una più vasta zona appartenente al blocco terziario, che rappresenta su vasta scala il cosiddetto bacino carbonifero.

Le prime notizie sul bacino carbonifero del Sulcis si devono ad Alberto de La Marmora che lo attribuisce per diverse similitudini con alcune analoghe formazioni continentali, all'Eocene (1851).

Successivamente, nell'anno 1857, lo stesso La Marmora in una descrizione degli affioramenti di "Terra Segada" e Gonnese (Nuraghe di Sa Saracca) riferisce ancora sul "Lignifero" riportando alcune sezioni geologiche, nonché la colonna stratigrafica del pozzo realizzato dalla società "Timon Varsi" nel 1852.

Nel 1903 Sartori confermando la descrizione fatta da La Marmora ipotizza l'estensione del "Lignifero" non solo sotto la copertura vulcanica ma anche sotto il mare.

Dallo studio in dettaglio dei carotaggi fatti dalla Carbosulcis S.p.A., Assorgia et alii (1987-1990) pongono le basi per una sempre più completa conoscenza della Serie Ignimbrica. Infatti, essi definiscono



una successione di almeno 10 unità vulcaniche ben individuabili e correlabili. Maccioni et alii (1991) definiscono i caratteri cronostratigrafici, vulcanologici nell'Isola di Sant'Antioco.

Successivamente Assorgia et alii (1992) definiscono ulteriormente la successione vulcanica portando a 12 il numero delle unità riconosciute in questo settore. Nel 1992 i suddetti autori realizzano la Carta geologica in scala 1:50.000 del Sulcis.

Nel (1989) Cocozza, De Candia e Gandin ricostruiscono e correlano quattro principali intervalli stratigrafici tentando un'eventuale ricostruzione paleogeografica del bacino.

Tale studio è inedito poiché realizzato per Carbosulcis S.p.A.

Dal punto di vista prettamente stratigrafico l'area vasta dell'isola di Sant'Antioco ricade all'interno di una complessa struttura vulcanica e quindi all'interno di quello definito più in generale bacino carbonifero.

Tale struttura è separata dalle formazioni pre-terziarie che costituiscono il basamento, di cui per semplicità si riporta una breve descrizione.

Il bacino carbonifero poggia in prevalenza sopra il substrato paleozoico con evidente e marcata discordanza angolare, per lo più tramite un conglomerato di base a ciottoli notevolmente arrotondati.

Lo studio sulla complessa struttura vulcanica è stato realizzato sulla base dei dati a disposizione e sulle analisi di oltre 40 sondaggi, eseguiti da Carbosulcis S.p.A., che hanno permesso la ricostruzione e suddivisione del vulcanismo terminale in 12 unità principali (Assorgia et Alii., 1994).

Esse dal basso verso l'alto sono state distinte in:

- 1) Unità di Corona Maria (Daciti): è caratterizzata come un prodotto saldato composto da abbondanti frammenti magmatici. Gli spessori di quest'unità variano dai 15 m ai 40 m.
- 2) Unità di Lenzu (Rioliti-Riodaciti): quest'unità si presenta piuttosto uniforme e molto saldata. Gli spessori registrati variano dai 2 m ai 13 m.
- 3) Unità di Acqua sa Canna (Daciti): si presenta sotto forma di flussi piroclastici in più bancate, poco saldati tra loro. Lo spessore di quest'unità varia dai 2 m ai 17 m.
- 4) Unità di Seruci (Rioliti): talora mostra elevate saldature, altre volte invece sono visibili diverse frammentazioni per la presenza di grossi brandelli lavici. Il colore è marroncino e lo spessore varia da un minimo di 9 m ad un massimo di 40 m.
- 5) Unità di Monte Crobu (Rioliti): è caratterizzata da 2 unità di flusso estremamente saldate. Raggiunge spessori massimi superiori al centinaio di metri. Lo spessore decresce verso W.
- 6) Unità di Conca is Angius (Rioliti-Riodaciti): si ritrova estremamente frammentata e molto friabile, il colore varia dal grigio al rosato in funzione delle pomici e della matrice cineritica. Lo spessore varia da qualche m fino ad oltre i 50 m nel sondaggio nei pressi di M. Ulmus.
- 7) Unità di Nuraxi (Rioliti): caratterizzata da estrema saldatura e generale massività, di colore dal grigio ceruleo al rosso cupo con struttura porfirica o glomeruloporfirica per feldspati; presenta spessore sempre notevole, da 20 m a 200 m nel foro di sonda 19/82 (Carbosulcis S.p.A.). Tra tutte le vulcaniti del Sulcis è quella che arealmente è più estesa in affioramento.
- 8) Unità di Matzaccara (daciti): caratterizzata da flussi piroclastici pomicei poco saldati. Raggiunge spessori massimi sino a 15 m.
- 9) Complesso comenditico (Comenditi): si tratta di ignimbriti porfiriche, in più unità di flusso talora saldate a struttura eutassica. Raggiunge spessori da pochi metri a oltre 50 m.
- 10) Unità di Monte Ulmus (Comenditi): si tratta di prodotti molto saldati scarsamente porfirici con facies ossidianacee basali. Raggiunge spessori tra i 40 m e i 130 m.



- 11) Unità di Paringianu (Rioliti): si tratta di flussi piroclastici cineritici mediamente saldati e a struttura massiva porfiroclastica. Raggiunge spessori variabili tra la decina di metri ei 30 m.
- 12) Unità di Serra di Paringianu (Rioliti): si tratta di prodotti massivi molto saldati a struttura porfirica. Raggiunge spessori da poco meno di 10 m a 20 m.

Chiudono la sequenza vulcanica, le litologie attribuibili all'era quaternaria che si presentano sia nell'area vasta, sia nell'area indagata in forma piuttosto varia di cui si parlerà in seguito.

Recentemente il CARG ha aggiornato la carta geologica della zona vasta e di quella d'indagine suddividendo ulteriormente le formazioni vulcaniche in funzione delle loro caratteristiche litologiche.

4.4 La tettonica

Dal punto di vista strutturale come indicato in precedenza, il bacino carbonifero poggia in prevalenza sopra il substrato paleozoico con evidente e marcata discordanza angolare. Secondo Cocozza & Schäffer (1973) le faglie dirette che hanno dato origine ai "Graben" della Sardegna si sono individuate a partire dall'Eocene inferiore, come in tutto il Mediterraneo e nell'Europa Centrale e Orientale.

La sedimentazione dei bacini terziari avviene in conseguenza all'abbassamento dei compartimenti ad opera dei movimenti verticali con successiva ingressione marina nel Paleocene inferiore.

Sempre secondo i suddetti autori, l'orientazione delle tensioni in campo regionale varia nel corso del tempo.

Durante la rotazione antioraria della Sardegna, avvenuta nell'Oligocene, l'asse regionale assume una direzione N-S e determina di conseguenza la formazione di un sistema di faglie in direzione NW e SE, N-S e NE e SW.

Verso la fine del Neogene l'asse regionale è orientato secondo la direttrice NW-SE; da qui il collasso del blocco tirrenico secondo un sistema di fratture orientate N-S.

Precedentemente, nel 1967, Valera sostenne che le principali strutture legate alla tettonica disgiuntiva di età alpina derivano dalla riattivazione di faglie paleozoiche.

Sempre secondo Valera queste zone di frattura sarebbero state la sede d'imponenti fenomeni disgiuntivi in epoche anche recentissime che hanno determinato il conseguente sprofondamento.

Ciò sarebbe confermato dalla presenza di valli sospese e di fenomeni di cattura che interessano il settore occidentale dell'Isola.

Nel 1975 Arthaud & Matte affermano che le spinte orizzontali mediamente orientate N10 hanno riattivato diverse faglie del Paleozoico superiore con il conseguente riflesso su importanti strutture Terziarie.

Queste faglie trascorrenti destre e sinistre, orientate rispettivamente NW-SE le prime e NE-SW le seconde, hanno formato dei "domini" distribuiti in una grande zona di taglio legata al movimento di tutto il complesso Scudo Canadese-Groenlandia-Europa rispetto al blocco africano.

Successivamente le suddette faglie riattivandosi con movimenti prevalentemente verticali avrebbero originato la struttura terziaria del Campidano impostatasi, infatti, su una grande faglia trascorrente destra NW-SE di età paleozoica.

Già nel 1923 il Taricco segnalò che "le pendenze del lignitifero all'orlo costantemente dirette verso l'interno del bacino accennano dunque ad una conca", quindi da ciò si deduce che la base del "Lignitifero" non ha una pendenza costante ma è caratterizzata da ondulazioni.

Il sistema di faglie che interessa tutta la sequenza terziaria controlla spesso i principali elementi morfologici degli affioramenti; la direzione è prevalentemente N-NW e S-SE e coniugata, e, subordinatamente, E-W.

A causa di queste strutture l'intero bacino e quindi di conseguenza anche il giacimento di carbone sottostante, sono suddivisi in diversi blocchi che giacciono a diverse quote generalmente approfondite in direzione S-SW, dando così origine ad una morfologia simile ad un semigraben (Carbosulcis S.p.A., 1994).



4.5 Geologia dell'area d'indagine

Nel seguente paragrafo sarà analizzata in generale la geologia dell'area in cui ricadranno i futuri interventi, sulla base dei sopralluoghi eseguiti nell'area stessa.

Come indicato nei precedenti capitoli, l'area d'indagine ricade all'interno del foglio 564 Carbonia.

Più in particolare è visibile nella carta geologica allegata a margine della presente relazione, ed è interessata dalle seguenti litologie distinte dalla più recente alla più antica:

DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

Depositi Olocenici

Depositi Antropici

- Discariche industriali. Caratterizzano la zona in cui sono presenti attività artigianali e commerciali e sono distanti dall'area di indagine.
- Materiali di riporto e aree bonificate. Caratterizzano la zona in cui sono presenti attività artigianali e commerciali e sono distanti dall'area di indagine.

Depositi di spiaggia

- g_{2b} – Sabbie e ghiaie talvolta con molluschi ecc. Olocene. Caratterizzano il terreno della zona prossima al mare.

Depositi alluvionali terrazzati

- b_{na} – Ghiaie con subordinate sabbie. Olocene. Interessano alcune zone dell'area vasta considerata.
- b_{nb} – Sabbie con subordinati limi ed argille. Olocene. Interessano alcune zone dell'area vasta considerata.

Depositi lacustri e palustri

- e - Limi ed argille grigio scure con intercalazioni sabbiose. Olocene. Si rinvencono a Est dell'area vasta considerata.

Coltri eluvio colluviali

- b₂ - Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. Olocene. Sono presenti in modo vario nell'area vasta considerata e si rinvencono anche in prossimità della zona di indagine.

DEPOSITI PLEISTOCENICI

Sintema di Portovesme – Subsintema di Portoscuso

- PVM_{2b} – Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali. Spessori sino a 20 metri. Pleistocene Sup. Caratterizza ampie zone dell'area vasta considerata. Sovrasta le formazioni della successione vulcanica Oligo-Miocenica.

SUCCESSIONE VULCANICA OLIGO-MIOCENICA “Ignimbriti Auct.”

Gruppo di Monte Sirai

- NUR – Rioliti di Nuraxi. Depositi piroclastici di flusso densamente saldati, da grigio a rosso violaceo, con marcata foliazione, porfirici per PI e Sa, con tessitura da eutassica a paratassica, spesso reomorfici, a composizione riolitica; livello vitrofirico alla base. Spessore 20 m. Miocene medio – Langhiano. Caratterizza ampie zone a Ovest dell'area di indagine. E' sovrastata dalla formazione del Sintema di Portovesme– Subsintema di Portoscuso nelle zone vallive.
- CBU – Rioliti di Monte Crobu. Depositi piroclastici di flusso da densamente saldati con tessitura eutassica, di colore rosso bruno, a non saldati (tufi, tufi a lapilli e tufi-breccia), porfirici per Sa e PI, a composizione riolitica; spesso con livello vitrofirico basale, talora, a tetto, subordinati livelli piroclastici di caduta e paleosuoli (Sant'Antioco). Spessore in genere da alcuni metri fino a qualche decina di metri, eccezionalmente fino a più di 100 metri. Miocene Inferiore – Medio (Burdigaliano Superiore – Langhiano). Caratterizza il terreno di sedime dell'area di indagine.



Gruppo di Su Ruvu Mannu

- MLN – Rioliti di Monte La Noce. Lave in colate con strutture di flusso e brecce laviche autoclastiche, spesso ossidianacee da afiriche a scarsamente porfiriche per PI e Bt, a composizione porfirica; alla base e in alternanza depositi piroclastici (tufi, tufi a lapilli e tufi-breccia) ed epiclastici (grovacche vulcanoclastiche). Spessore affiorante 30-40 metri. Miocene inferiore (Burdigaliano). Si rinviene nella zona prossima all'area di indagine.

4.6 Idrogeologia generale

Nell'area in esame anche per l'idrogeologia, come per la parte geologica, sono stati numerosi gli studi. L'area vasta secondo quanto previsto nel Piano di tutela delle acque (art. 44 D.Lgs. 152/99 e s.m.i. - art.2 L.R. 14/2000 - Dir. 2000/60/CE) - Piano stralcio di settore del piano di Bacino (art. 17, comma 6-ter L. 183/89), redatto dalla R.A.S. ricade all'interno dell'Unità idrografica Omogena denominata Palmas (Figura n°8).

Per quanto riguarda l'acquifero, esso è identificato come Acquifero delle Vulcaniti Oligo-Mioceniche del Sulcis.

I corsi d'acqua presenti nel territorio dell'area vasta come la maggior parte dei corsi d'acqua della Sardegna, hanno un regime per lo più irregolare con deflussi e portate condizionate dall'andamento stagionale delle precipitazioni.

Nella quasi totalità scorrono all'interno di valli con versanti a medio bassa pendenza.

Con riferimento all'assetto idrogeologico, l'area vasta è caratterizzata dalla prevalenza di litotipi che possiedono una permeabilità medio-bassa.

Questo tipo di permeabilità è tipica in questa zona delle rocce appartenenti alle successioni vulcaniche terziarie che caratterizzano l'isola di Sant'Antioco.

I litotipi appartenenti invece ai depositi Pleistocenici ed Olocenici presentano una permeabilità medio-alta.

L'area in cui ricade l'intervento, è stata distinta in unità idrogeologiche in funzione della permeabilità. Le unità idrogeologiche dell'area vasta in funzione dell'età di appartenenza, partendo dalla più giovane alla più antica, sono le seguenti:

- **Unità Idrogeologica dei depositi quaternari.** In quest'unità come si evince anche dalla descrizione geologica precedente, sono compresi diversi tipi di depositi. Tali depositi come descritto in precedenza, di solito possiedono spessori modesti e permeabilità in genere elevata, dovuta al tipo di matrice e alla componente principale che li caratterizzano. In casi limitati e sporadici possiedono permeabilità bassa, e possono essere interessati da modeste falde a carattere stagionale, strettamente legate all'andamento delle precipitazioni (Sintema di Portovesme– Subsintema di Portoscuso). Nel caso dei terreni con caratteristiche alluvionali, si osserva una permeabilità medio-alta e sono sede talvolta di una falda freatica di subalveo quando insistono lungo i corsi d'acqua. Il K di quest'unità è pari a $10^{-3} < k < 10^{-5}$ m/sec.
- **Unità Idrogeologica vulcanica ignimbratica Miocenica.** I valori di permeabilità dell'Unità vulcanica ignimbratica Miocenica sono mediamente bassi. Nei casi in cui vi è un eventuale aumento, esso è legato esclusivamente all'elevato grado di fratturazione. Sia nell'area vasta che anche in quella di studio, sono, infatti, permeabili solo aree fratturate e brecciate che a causa dell'infiltrazione dovuta alle acque superficiali. Generalmente il k dell'Unità Idrogeologica vulcanica ignimbratica è pari a $10^{-4} < k < 10^{-2}$ m/sec, talvolta, in funzione della fratturazione il grado di permeabilità aumenta leggermente.

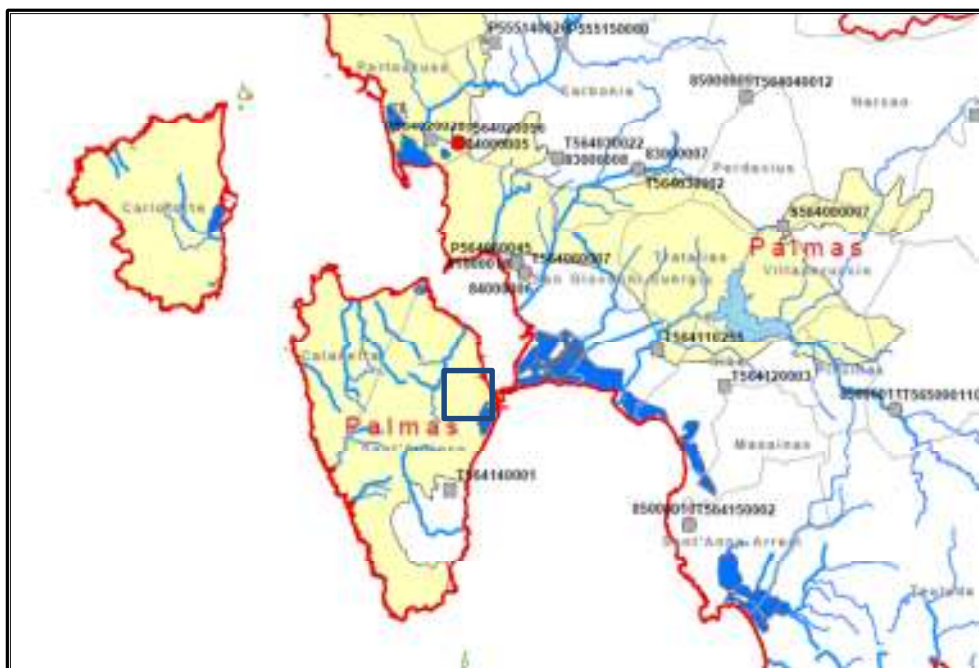


Figura n°8 – L'area d'indagine inserita all'interno dell'Unità idrografica Omogenea denominata Palmas.

4.7 Geomorfologia generale

L'area oggetto dell'indagine, come più volte ricordato in precedenza ricade all'interno del Foglio Geologico in scala 1:50.000 n°564 Carbonia.

L'area vasta è caratterizzata da una presenza di edifici adibiti ad uso abitativo e commerciale che unitamente alle infrastrutture, in gran parte ne hanno condizionato la morfologia, tuttavia nella zona di indagine sebbene in parte la morfologia sia stata alterata con scavi in cui hanno trovato posto le abitazioni in generale la morfologia è rimasta quella originaria.

La morfologia dell'area vasta, ma anche quella in cui s'inserisce la zona di studio, è condizionata dalla presenza delle formazioni ascrivibili alle successioni vulcaniche terziarie.

Tali formazioni come indicato anche nelle note illustrative della carta geologica, generano un plateau leggermente inclinato verso Nord.

A differenza della zona occidentale dell'isola dove la costa è caratterizzata da falesie di rocce piroclastiche mioceniche la zona in cui ricade l'opera, è caratterizzata da una morfologia generata da forme più dolci e collinari.

I rilievi più alti, raggiungono generalmente quote intorno ai 100 metri s.l.m. e raramente superano i 150 m s.l.m.

Tra i più importanti si segnala Monte la Noce (159 s.l.m.) e Monte Maggioni (87 m s.l.m.), che si trovano nelle vicinanze della zona di indagine.

Per quanto riguarda l'idrografia superficiale si segnalano i principali corsi d'acqua in particolare il Rio s'Ega S'Arena e il Rio de Granella, comunque distanti dall'area d'indagine.

E' opportuno inoltre tenere presente che, l'analisi dei processi evolutivi, effettuata durante i sopralluoghi, sulla base anche della bibliografia esistente, fa emergere che nell'area vasta, non è stata evidenziata la presenza di versanti o condizioni d'instabilità tali da ripercuotersi sulla zona di indagine.

5 CLASSIFICAZIONE SISMICA

La classificazione sismica dell'intero territorio nazionale prevede quanto segue:



“Per ridurre gli effetti del terremoto, l'azione dello Stato si è concentrata sulla classificazione del territorio, in base all'intensità e frequenza dei terremoti del passato, e sull'applicazione di speciali norme per le costruzioni nelle zone classificate sismiche.

La legislazione antisismica italiana, allineata alle più moderne normative a livello internazionale prescrive norme tecniche in base alle quali un edificio debba sopportare senza gravi danni i terremoti meno forti e senza crollare i terremoti più forti, salvaguardando prima di tutto le vite umane.

Sino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità.

I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione.

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).

L'attuazione dell'ordinanza n.3274 del 2003 ha permesso di ridurre notevolmente la distanza fra la conoscenza scientifica consolidata e la sua traduzione in strumenti normativi e ha portato a progettare e realizzare costruzioni nuove, più sicure ed aperte all'uso di tecnologie innovative.

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.

Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06 in allegato) - vedi tabella

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità.

Per il dettaglio e significato delle zonazioni di ciascuna Regione, si rimanda alle disposizioni normative regionali.



Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione.

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008), infatti, hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche.

Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione 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, 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.)."

Zona sismica - Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)		
Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico
1	$0.25 < a_g \leq 0.35g$	0.35g
2	$0.15 < a_g \leq 0.25g$	0.25g
3	$0.05 < a_g \leq 0.15g$	0.15g
4	$\leq 0.05g$	0.05g

Il comune di Sant'Antioco, ricade all'interno della zona 4 così come anche riportato nel database sulla Classificazione sismica - Aggiornata ad aprile 2021 del sito governativo del Dipartimento della Protezione Civile.

Di seguito si riporta la figura relativa la classificazione sismica nazionale.

5.1 verifica di esclusione delle condizioni di liquefazione rispetto al comportamento delle fondazioni in condizioni sismiche

Secondo quanto riportato nella normativa del Ministero delle infrastrutture e trasporti – Decreto 17 Gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». nel capitolo 7.11.3.4.2. è previsto di definire i criteri per l'esclusione della verifica a liquefazione dei terreni.

La norma prevede che: "La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;

profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna. per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N_1) $60 > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove (N_1) 60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e in Fig. 7.11.1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4."

Sulla base di quanto indicato in precedenza e soprattutto sulla base di quanto previsto dalla classificazione di cui al capitolo specifico, la verifica a liquefazione può essere omessa in quanto è verificata la condizione al punto 1 di cui sopra: accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g.

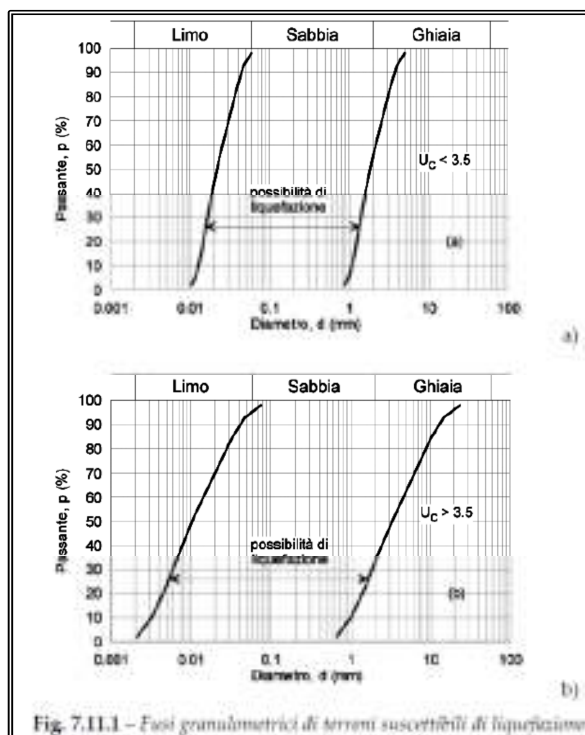
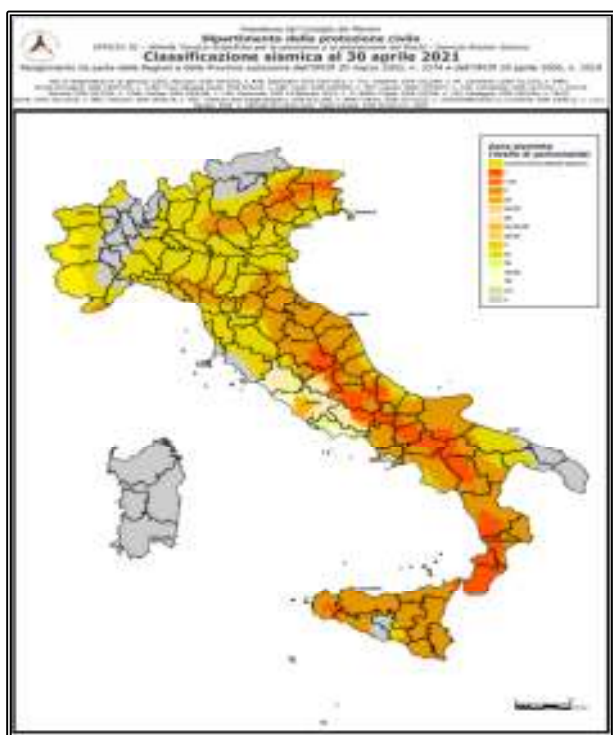


Fig. 7.11.1 – Fasi granulometriche di terreni suscettibili di liquefazione

6 RILEVAMENTI GEOLOGICI DI DETTAGLIO

Durante i sopralluoghi effettuati, è stato rilevato che nella zona di indagine i crolli che hanno interessato le pareti di scavo a ridosso dell'edificio evacuato la parete di scavo con pendenza circa verticale di altezza intorno agli 8-10 metri, interessata da intensa fratturazione in concomitanza con le abbondanti piogge è stata oggetto di distacchi di blocchi anche di dimensioni notevoli.

Al coronamento della parete, è presente peraltro una coltre di terreno vegetale e della vegetazione di carattere mediterraneo che attraverso l'apparato radicale ha contribuito ad accuire il fenomeno.

Al fine di predisporre adeguate misure di mitigazione del rischio da frana si è quindi optato di attendere la fine del periodo piovoso che ha interessato la Sardegna tutta e di conseguenza anche il Comune di Sant'Antioco.

Nelle successive foto, si possono notare gli effetti dei distacchi di roccia avvenuti presso l'edificio di cui è stata ordinata l'evacuazione, con il materiale distaccato, poggiato alla base della parete.

La prima analisi del fronte interessato dai movimenti franosi, ha messo in evidenza che la roccia è affetta da una serie di giunti di taglio o di tensione intersecantisi fra loro, nonché di una stratificazione orizzontale che si rinviene nella zona basale.

I giunti presenti, hanno scomposto la roccia secondo corpi prismatici di forma e dimensioni variabili.

Nel corso del sopralluogo effettuato nel mese di Gennaio 2026, si è potuto inoltre riscontrare che gran parte dei giunti visibili anche a distanza erano interessati dal passaggio dell'acqua che ne ha contribuito non poco ad indebolire notevolmente la tenuta.

La zona più prossima all'abitazione, è inoltre interessata da materiale di alterazione che in gran parte è stato la causa del fenomeno di crollo.



Foto n°3 - 4 – Fronte di scavo con materiale franato alla base e parete dello scavo interessata da fenomeni di instabilità e crolli.



Foto n°5 - 6 – Fronte di scavo con materiale prossimo al distacco e parete dello scavo interessata dai fenomeni di instabilità e crolli in prossimità del pilastro dell'abitazione evacuata.

7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Nel seguente paragrafo verrà caratterizzato l'ammasso roccioso su cui sarà fondato il nuovo edificio.

Per caratterizzare l'ammasso roccioso, si è quindi ricorsi alla classificazione di Beniawsky e Romana che consentono di soddisfare i quesiti richiesti e le problematiche che si presentano.

La classificazione di Beniawsky com'è noto, si basa sull'esecuzione di un rilievo.

Esso può essere fatto, o in campagna oppure in laboratorio.

Il rilievo consente di individuare sei parametri così come riportati di seguito:

A1 = resistenza a compressione uniassiale;

A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);

A3 = spaziatura delle discontinuità;

A4 = condizioni delle discontinuità;

A5 = condizioni idrauliche;

A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'Rock Mass Rating (RMR, Beniawsky) e con le dovute correzioni apportate da Romana nel 1985 lo Slope Mass Rating (SMR).

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$$RMR \text{ di base} = RMRb = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$RMR \text{ corretto} = RM Rc = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$



Di seguito si riporta la descrizione di come vengono individuati i diversi parametri giungendo quindi alla caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

VALORE DI A1

A1 si può ricavare sia da prove di laboratorio (Point Load Test), sia da prove di campagna mediante sclerometro o da prove speditive (Standard ISRM), definendo la resistenza a compressione uniassiale S_u .

Le prove sclerometriche

Il martello di Schmidt, noto come sclerometro, è ampiamente utilizzato come prova non distruttiva e volta a misurare la "durezza di rimbalzo" della roccia.

Per la caratterizzazione dell'ammasso è stato utilizzato un martello di Schmidt modello Geohammer.

Dalle letture effettuate in campo si è ricavato l'indice di rimbalzo R che è possibile correlare alla resistenza alla compressione uniassiale mediante la relazione di Irfan e Dearman (1978):

$$S_u = 0,775 R + 21,3$$

Il valore di A_1 calcolato è pari a 4.44.

VALORE DI A2

Se si effettuano sondaggi è possibile ricavare il valore di RQD, da cui si ottiene il coefficiente A_2 , dal recupero di percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

$$RQD = \frac{\sum L_c}{L_t} * 100$$

dove:

L_c = somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm

L_t = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata L_c .

In mancanza di carote di sondaggio, RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura.

Dalla relazione di Palmström (1982) si ha:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

dove J_v è il numero di fratture per metro cubo di roccia.

In forma alternativa RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

$$RQD = 100 * e^{(0,1*n)} * (0,1 * n + 1)$$

con n numero medio di giunti per metro.

Il valore A_2 calcolato è pari a 10,05.

VALORE DI A3

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare quindi il valore del coefficiente A_3 .

Il valore calcolato per il parametro A_3 è pari a 9,00.

VALORE DI A4

Determinare dalle tavole di classificazione di Beniauskas il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo.

Perciò per valutare correttamente A_4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:

$$A_4 = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$$

I valori da assegnare sono equivalenti alla somma dei valori:

V_1 – Persistenza del giunto;



V2 - Apertura del giunto;

V3 – Rugosità del giunto;

V4 – Alterazione delle pareti;

V5 – Riempimento delle discontinuità;

Il valore calcolato per A4 è pari a 13,00.

VALORE DI A5

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m.

Il valore calcolato per A5 è pari a 15,00.

VALORE DI A6

Per l'orientamento delle discontinuità si applica un coefficiente di correzione A6, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni.

In questo caso il valore di A6 è pari a 0.

Per quanto riguarda i versanti il coefficiente A6 proposto da Beniauskis risulta troppo “conservativo” e pertanto nel calcolo di RMR si utilizza la metodologia proposta da Romana.

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMRc calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia secondo la successiva tabella:

Tabella - RMRc

RMRc					
	100-81	80-61	60-41	40-21	<=20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

I valori ottenuti mostrano che l'analisi ha restituito un valore della roccia scadente.

Dal valore di RMRb si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Beniauskis assumono il valore:

coesione c (kPa) = 5 RMRb

angolo di attrito ϕ = 0,5 RMRb + 5

modulo di deformazione E (GPa) = 2 RMRb – 100

La formula di E è però da considerare valida per valori di RMR superiori di 50, mentre per valori inferiori si utilizza la formula di Serafim e Pereira (1983):

$$E \text{ (GPa)} = 10^{(RMR_b - 10/40)}$$

L'analisi sin qui condotta relativamente la caratterizzazione dell'ammasso ha restituito dei valori pari a:

Coesione c (kPa) = 197,05

Coesione c (Kg/cm²) = 2,01

angolo di attrito ϕ = 0,5 RMRb + 5 = 24,7

Serafim e Pereira (1983): E (GPa) = $10^{(RMR_b - 10 / 40)}$ = 5,44

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione è stata redatta a seguito dei fenomeni franosi che si sono verificati in occasione di eventi piovosi intensi nel corso del mese di Gennaio 2026 attribuiti al ciclone Harry, e che hanno interessato alcuni fronti di scavo che insistono in una zona urbanizzata ai margini del centro abitato di Sant'Antioco.

Al fine di predisporre gli interventi di messa in sicurezza è stata analizzata la situazione che, nonostante richieda un intervento contenuto dal punto di vista dimensionale, ha messo in evidenza come esposto nei capitoli precedenti una situazione di rischio per l'abitazione principalmente coinvolta.

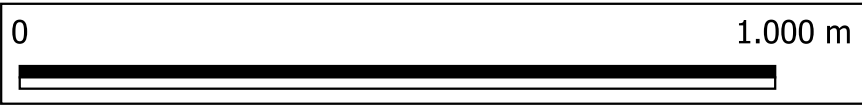
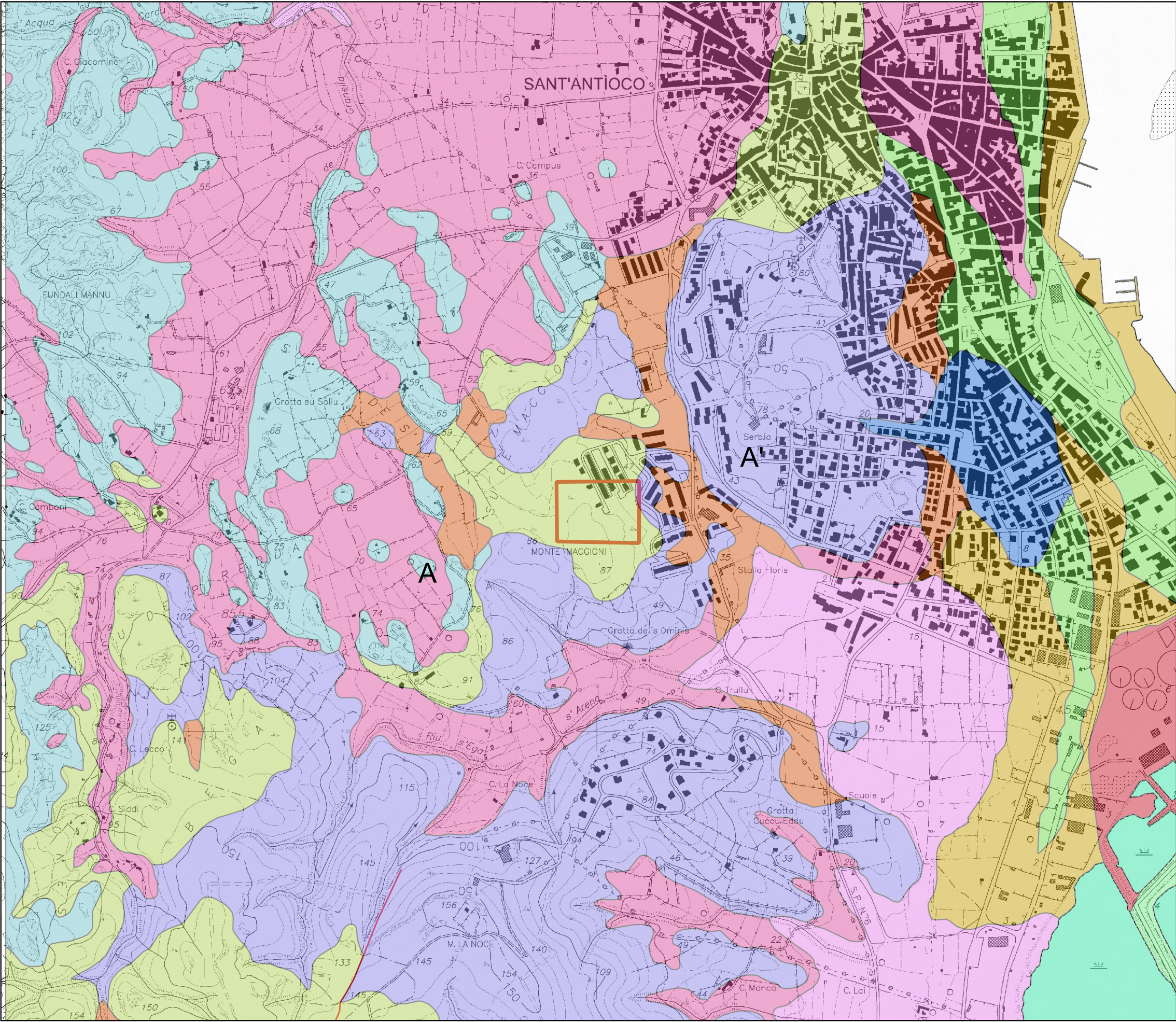


I lavori di messa in sicurezza dovranno essere effettuati il più possibile prima che si riproponga la stagione piovosa.

I sopralluoghi e la situazione stratigrafica, hanno messo in evidenza che nella zona è presente, ad esclusione dello strato superficiale di una decina di centimetri di terreno vegetale, la presenza di una zona di alterazione delle ignimbriti presente sulla destra dello scavo e che in concomitanza del ciclone Harry che ha colpito Sant'Antioco nel mese di Gennaio 2026 ha generato un fenomeno di crollo di blocchi eterometrici, che hanno interessato l'abitazione presente a pochi metri dalla parete rocciosa.

L'analisi geologica e idrogeologica dell'area in esame, allo stato attuale non mostra comunque fenomeni di dissesto che siano ostativi per gli interventi in progetto.

Pertanto in virtù dei dati esposti si può affermare che il terreno è geologicamente idoneo alla realizzazione dell'intervento.



Carta Geologica

Legenda

Geologia

Comune di Sant'Antioco

Carta Geologica Sant'Antioco

Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE

Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE

Depositi alluvionali terrazzati. Sabbie con subordinati limi ed argille. OLOCENE

Depositi antropici. Discariche industriali. OLOCENE

Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE

Depositi di spiaggia. Sabbie e ghiaie, talvolta con molluschi, etc. OLOCENE

Depositi lacustri, palustri. Limi ed argille grigio scure con intercalazioni sabbiose. OLOCENE

Laghi

Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali. PLEISTOCENE SUP.

RIOLITI DI MONTE CROBU. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbritica a chimismo riolitico, con cristalli liberi di Sa, Pl, e subordinati Px, Ol e Bt, da densamente saldati con tessitura eutassitica, a non saldati (tufi, tufi a lapilli e tufi-br

RIOLITI DI MONTE LA NOCE. Rioliti in colate con strutture di flusso e breccie autoclastiche spesso ossidianacee, da afiriche a scarsamente porfiriche per fenocristalli di Pl e Bt; alla base e in alternanza depositi piroclastici (tufi, tufi a lapilli e tuf

Dati progetuali

Area Indagine

Geologia

Faglie



Scala 1:10.000