

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
COMUNE DI ITTIRI
Provincia di SASSARI

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

**PROGETTO DI COLTIVAZIONE E RECUPERO AMBIENTALE -AMPLIAMENTO DEL
CANTIERE "CASIDDU" -**

**CONCESSIONE MINERARIA "SA PIGADA BIANCA" COLTIVAZIONE DI ARGILLE
BENTONITICHE, SMETTICHE E REFRATTARIE E MANGANESE**

Richiedente:

Argillitti s.r.l.

Argillitti Srl

Elaborato:

02 RGM 24

Titolo:

Relazione Geologica – Mineraria

Data:

febbraio 2024

Prot.:

Revisioni

00

01

Ott 23

Feb 24

Timbri

SOMMARIO

PREMESSA	3
1 INQUADRAMENTO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	3
2 INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO E CATASTALE	4
3 Piano di assetto idrogeologico (PAI)	5
4 CARATTERISTICHE GENERALI GEO-LITOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA	7
4.1 Geologia generale.....	7
4.2 Geomorfologia	11
4.3 Acque superficiali e sotterranee	12
5 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	15
5.1 Stratigrafia.....	15
5.2 Dislocazioni	18
5.3 Caratterizzazione geotecnica dei livelli bentonitici	18
5.4 Risultanze verifica di stabilità delle fronti	19
5.5 Una stima qualitativa del materiale utile	21

ALLEGATI:

All.01_RGM_Carta Geologica di dettaglio

PREMESSA

Il presente studio geologico è relativo all'ampliamento del cantiere Casiddu all'interno della Concessione Mineraria per bentonite ed argille smettiche denominato "SA PIGADA BIANCA" localizzato in agro del Comune di Ittiri nella provincia di Sassari (SS).

La Società proponente, Argillitti s.r.l., è la titolare della Concessione Mineraria per Minerali di I° categoria, Argille Bentonitiche, Smectiche, Refrattarie e Manganese, denominata "Sa Pigada Bianca", ricadente in località Lettu e Cuga nei dei Comuni di Ittiri – Uri, della Provincia di Sassari, localizzata ad Ovest del centro abitato di Ittiri.

La presente relazione contiene la descrizione geologico mineraria dell'area individuata per la coltivazione al fine di fornire il quadro relativo alle informazioni geologico, geotecnico e giacimentologico necessarie alla definizione dell'intervento in oggetto.

1 INQUADRAMENTO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

- D.P.R. 18 aprile 1994, n. 382 - Disciplina dei procedimenti di conferimento dei permessi di ricerca e di concessioni di coltivazione di giacimenti minerari di interesse nazionale e di interesse locale
- D.L. 25 novembre 1996 n. 624 - Attuazione della direttiva 92/91/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive per trivellazione e della direttiva 92/104/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive a cielo aperto o sotterranee
- Circolare 19 maggio 1997 n. P1066 - Chiarimenti riguardanti il D.L. 25 novembre 1996 n. 624
- Circolare 26 maggio 1997 n. 600524 Chiarimenti relativi al decreto legislativo 25 novembre 1996, n. 624 da parte del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato
- D.L. 30 marzo 1999, n. 96 - Intervento sostitutivo del governo per la ripartizione di funzioni amministrative tra regioni ed enti locali a norma dell'articolo 4, comma 5, della L. 15 marzo 1997, n. 59, e successive modificazioni (art. 9)
- Legge Regionale n. 15/2002, Regione Autonoma della - Art.8 Concessioni Minerarie e Autorizzazioni di Cava
- D.L. 1° aprile 2005 - Modifiche all'elenco dei prodotti esplosivi riconosciuti idonei all'impiego nelle attività estrattive.

2 INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO E CATASTALE

L'area sulla quale sono state sviluppate le ricerche, evidenziata nella sottostante immagine, è individuabile nel settore Nord Occidentale della Sardegna, secondo la toponomastica regionale nell'area comunemente nota come "Logudoro". Amministrativamente insiste nel territorio del Comune di Ittiri ed è ubicata una distanza di circa 3 km a Ovest dalla medesima cittadina.

Cartograficamente situata al confine dei fogli n° 459 e n°459 della Cartografia d'Italia IGM alla scala 1:50.000, sezioni 459 II Ossi e sezione 459 I Ittiri della Cartografia d'Italia IGM alla scala 1: 25.000 e, nella Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1: 10.000, al confine tra le Sezioni 459-140 (Uri), 459-150 (Ittiri Nord), 479-020 (Putifigari) e 479-030 (Ittiri).

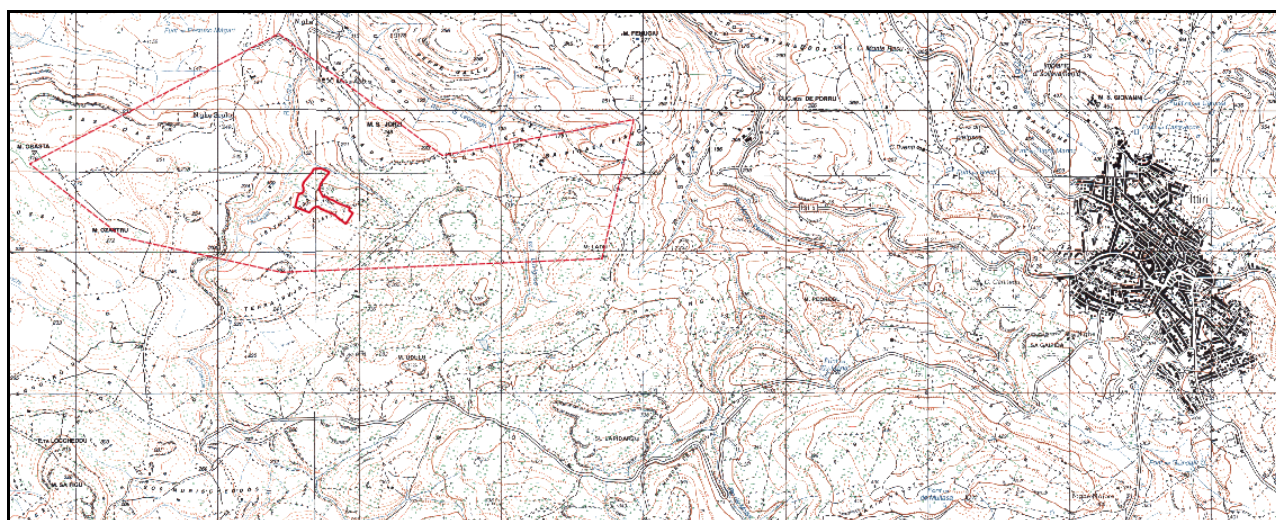


Figura 1: Inquadramento su base IGM dell'area vasta, nel riquadro l'area in studio

le aree interessate dalla coltivazione del cantiere Casiddu saranno completamente ricadenti nel Comune di Ittiri e, catastalmente, saranno inquadrare nei seguenti fogli e mappali.

COMUNE	FOGLIO	MAPPALE	CONCESSIONE
ITTIRI	17	7	Sa Pigada Bianca
ITTIRI	17	8	Sa Pigada Bianca
ITTIRI	17	9	Sa Pigada Bianca
ITTIRI	17	10	Sa Pigada Bianca
ITTIRI	17	11	Sa Pigada Bianca
ITTIRI	17	16	Sa Pigada Bianca
ITTIRI	17	18	Sa Pigada Bianca

La rappresentazione esatta dei luoghi è riportata negli elaborati cartografici di progetto ai quali si rimanda per una chiara e dettagliata localizzazione.

L'accessibilità al sito è garantita principalmente dalla S.S. 131 bis e successivamente da

questa, attraverso uno svincolo in corrispondenza del ponte sulla parte iniziale del bacino artificiale del Cuga, si impegna una strada di penetrazione che conduce sino ai cantieri.

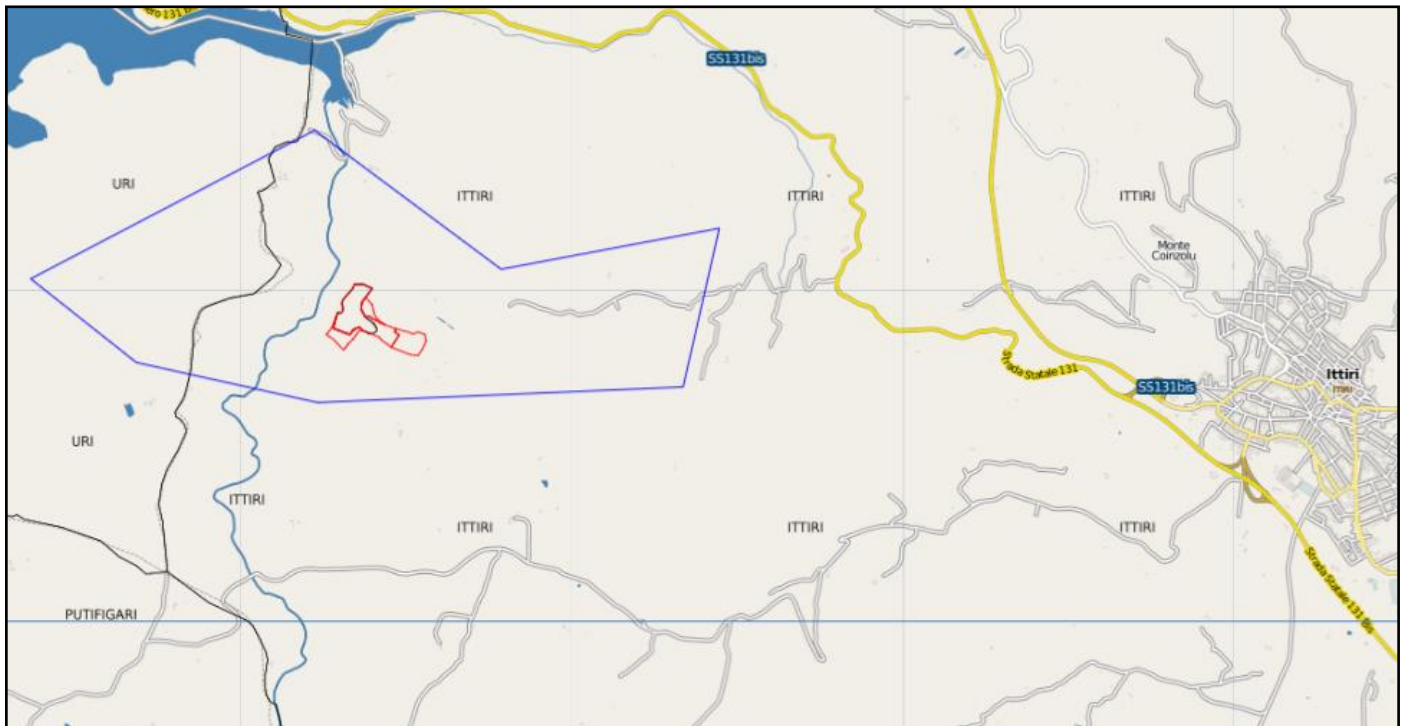


Figura 2: Viabilità e localizzazione amministrativa, nel riquadro l'area in oggetto

3 Piano di assetto idrogeologico (PAI)

Il P.A.I. (Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico) è lo strumento giuridico che disciplina le azioni riguardanti la difesa idrogeologica del territorio e della rete idrografica, attraverso l'individuazione delle linee generali di assetto idraulico ed idrogeologico.

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico individua le aree a rischio idraulico e di frana e ha valore di "piano stralcio" ai sensi della L. 183/89 e successive modifiche. Adottato e approvato limitatamente alla perimetrazione delle aree a pericolosità H4, H3, H2 e a rischio R4, R3, R2, il PAI è entrato in vigore con Decreto dell'Assessore ai Lavori Pubblici n. 3 del 21/2/2006.

L'inquadramento cartografico delle aree a rischio PAI risulta condizionato dalla presenza di entità vulnerabili (E) la cui sovrapposizione con le aree a pericolosità (H) produce un certo grado di rischio (R); la mitigazione del rischio R rappresenta obiettivo principale del PAI. La presenza o meno di entità vulnerabili ha determinato una concentrazione delle analisi del PAI su areali discretizzati rispetto ad ambiti di pericolosità più allargati con paesaggi affini per proprietà geologiche, podologiche, di copertura vegetale.

Di seguito si riporta stralcio della cartografia PAI presente sul Geoportale Sardegna Mappe.

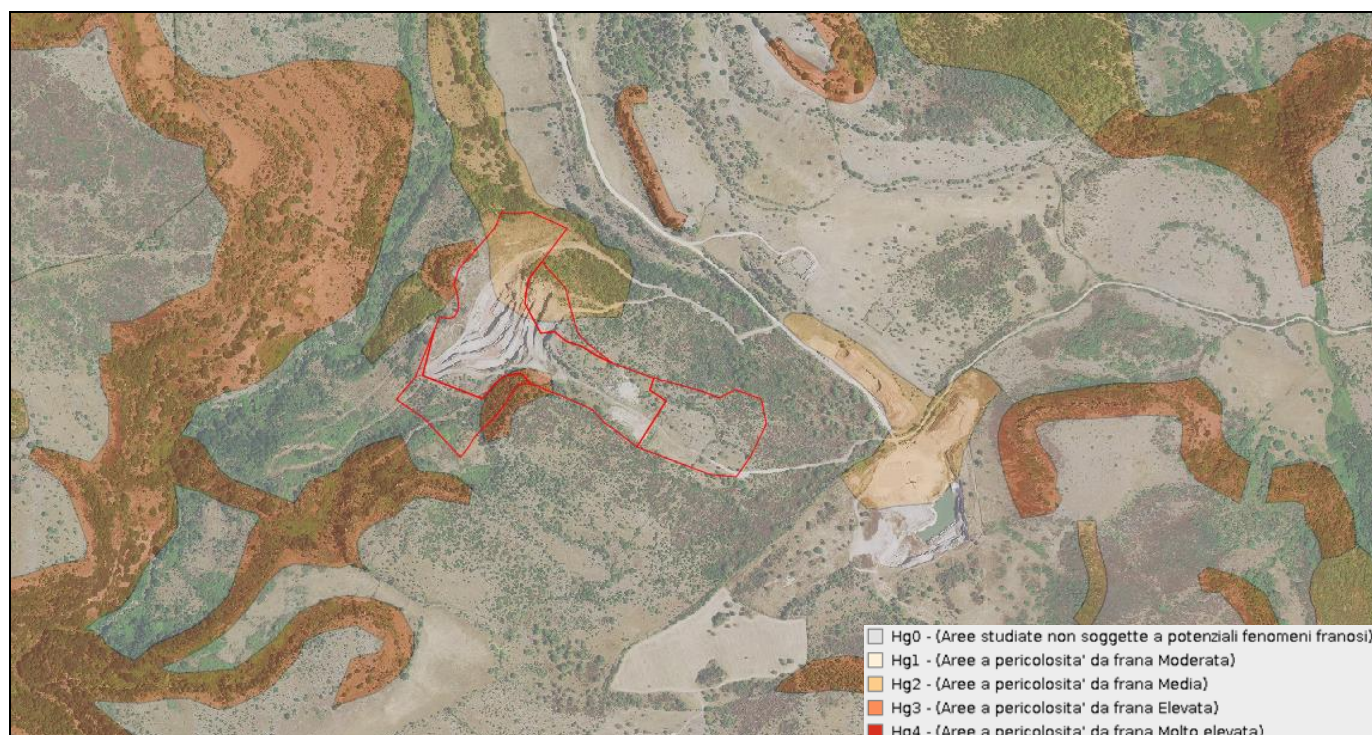


Figura 3: Stralcio fuori scala delle componenti areali della Perimetrazione PAI (Sardegna Mappe - Rev. Dic_22).

Dallo stralcio della cartografia PAI emerge che le opere previste in progetto ricadono parzialmente su aree perimetrate dallo strumento pianificatorio in oggetto per la parte situata sul versante nord (Hg2) e per l'ampliamento nel lato sud del cantiere (Hg3).

Le NTA PAI normano le condizioni di effettiva compatibilità all'art. 25 comma 9 (lettere b, c, e), specificando che "Allo scopo di impedire l'aggravarsi delle situazioni di pericolosità e di rischio esistenti nelle aree di pericolosità idrogeologica tutti i nuovi interventi previsti dal PAI e consentiti dalle presenti norme devono essere tali da":

- b. migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli attraverso trasformazioni del territorio non compatibili;
- c. non compromettere la riduzione o l'eliminazione delle cause di pericolosità o di danno potenziale né la sistemazione idrogeologica a regime;
- e. limitare l'impermeabilizzazione dei suoli e creare idonee reti di regimazione e drenaggio.

La situazione più cautelativa dal punto di vista prescrittivo è relativa alla porzione ricadente in Hg3 illustrata all'art 31 delle NTA del PAI, per la quale al comma 9 si riporta come elemento di valutazione il divieto di realizzazione "di scavi, riporti e movimenti di terra capaci di aumentare il livello del pericolo e del rischio da frana".

In questo senso le opere in progetto saranno realizzate secondo principi di controllo della stabilità delle fronti di scavo e nella realizzazione dei ripristini, garantendo contestualmente un

miglioramento delle condizioni di stabilità complessive post opera.

Secondo le previsioni normative delle NTA PAI, sarà richiesta per il progetto la Compatibilità Geologico – Geotecnica avviando la procedura di cui all'art. 25 delle summenzionate Norme.

4 CARATTERISTICHE GENERALI GEO-LITOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA

Il presente capitolo è specificatamente dedicato alla descrizione del suolo e del sottosuolo.

Esso si articola nei seguenti sei paragrafi:

- inquadramento geologico, morfologico, tettonico-strutturale dell'area vasta;
- caratteristiche geologico-morfologiche specifiche del sito.

4.1 Geologia generale

L'area in valutazione fa parte del bacino del Logudoro, geologicamente un semi-graben orientato NNW, che si estende dall'altopiano di Campeda a sud fino alla zona di Ittiri e Ploaghe a nord.

Strutturalmente caratterizzato da una tettonica distensiva che è legata alla presenza di una serie di faglie dirette sia nel margine occidentale che in quello orientale. Al suo interno sono si sono accumulati sia depositi di ambiente di sedimentazione transizionale che più francamente marino che hanno ricoperto parzialmente il substrato di età cenozoica costituito da vulcaniti di epoca terziaria (aquitaniense-burdigaliano).

Il riempimento di questo graben è costituito da tre sequenze stratigrafiche principali:

- la più antica è rappresentata da vulcaniti del Miocene inferiore e relative epiclastiti (1° ciclo tettono-sedimentario oligo-miocenico);
- la seconda sequenza è una successione sedimentaria costituita alla base da sedimenti clastici grossolani tipici di ambiente alluvionale, da conioide prossimale a delta, che passano a calcari litorali e sabbie, seguiti da siltiti e marne arenacee epibatiali (2° ciclo tettono-sedimentario oligo-miocenico). Questa seconda sequenza ha un'età che va dal Burdigaliano superiore fino al Langhiano, poggia in discordanza sulle sottostanti vulcaniti ed epiclastiti ed è interrotta superiormente da una superficie erosiva;
- una terza sequenza deposizionale (3° ciclo tettono-sedimentario oligo-miocenico) che arriva fino al Tortonian-Messiniano, costituita da sabbie fluvio-marine e da calcari di piattaforma interna (Mazzei & Oggiano, 1990).

Le faglie NNW che strutturano i diversi sub bacini non affiorano con continuità: in genere si configurano come ristrette zone di taglio più che come singole superfici e, spesso, sono state riattivate a più riprese, sia durante l'evoluzione dei bacini miocenici che nel Pliocene.

L'area in oggetto è profondamente caratterizzata dalla presenza di prodotti vulcanici di età terziaria e di età quaternaria.

Il vulcanismo oligo miocenico che ha interessato la parte occidentale della Sardegna, è rappresentato principalmente da prodotti in facies ignimbrítica (chimismo prevalente intermedio) e subordinatamente da lave e duomi a chimismo andesitico.

Tali litologie sono parzialmente ricoperte da sedimenti marini di età miocenica, sia di ambiente litorale (sabbie e carbonati) che di ambiente più profondo (marne).

Localmente questa successione stratigrafica evidenzia una superficie erosiva, sormontata dai prodotti del recente vulcanismo basaltico pleistocenico, con fenomeni di inversione del rilievo.

Tali espandimenti, mettendosi in posto su originario paleo valli, le hanno protette dai fenomeni di erosione ed oggi rappresentano gli altri morfologici locali.

La geologia dell'area vasta, comprendente l'area di progetto, è la seguente:

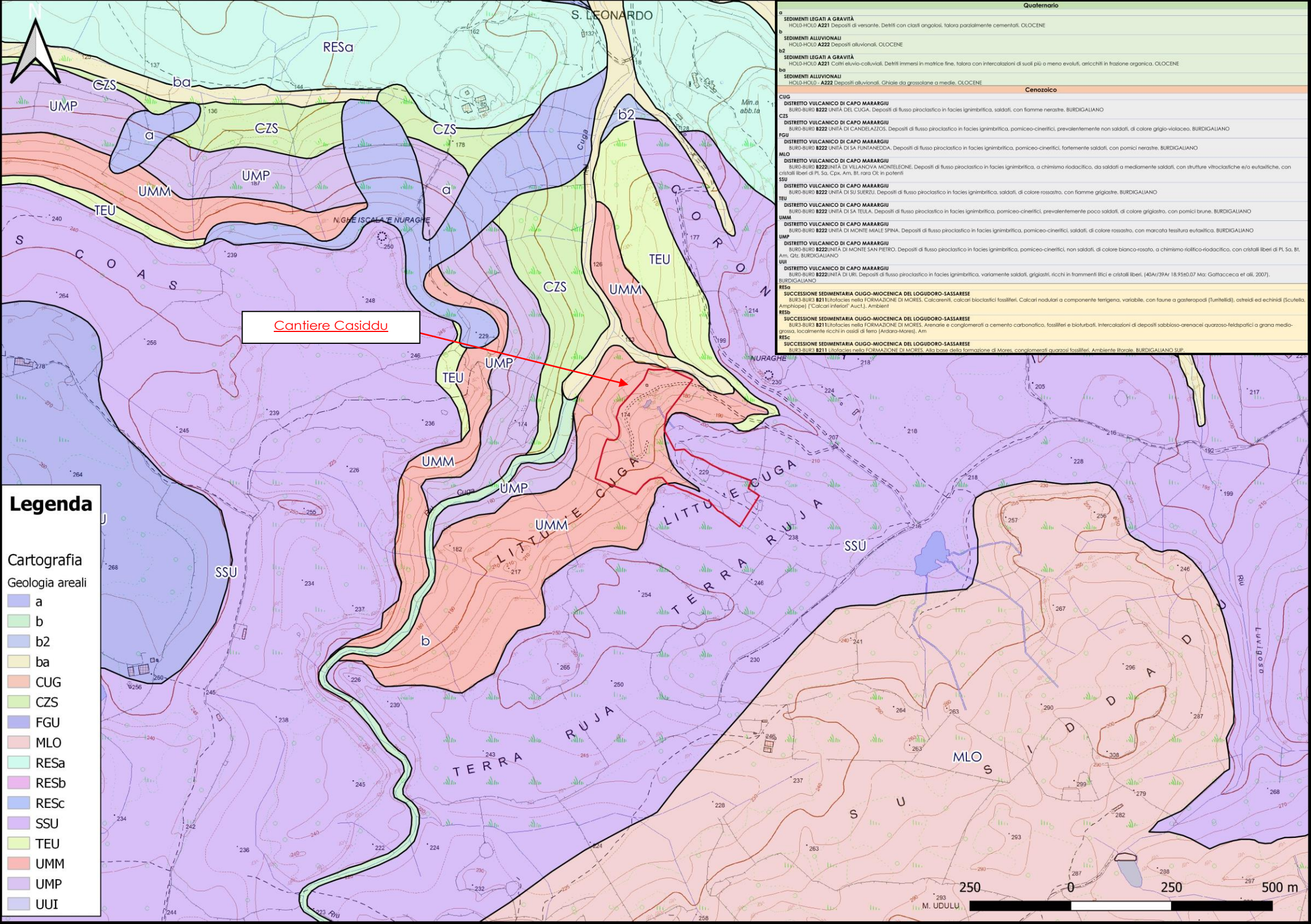


Figura 4: stralcio fuori scala della carta geologica della zona in studio (Sardegna mappe)

L'assetto geologico di questa relazione è fondamentalmente rappresentato dai depositi di flusso piroclastico, pomiceo-cineritici, sovente fortemente saldati, di colore prevalentemente rossastro, di età cenozoica terminale (BURDIGALIANO) associati ai fenomeni vulcano esplosivi di tipo ignimbrítico. In particolare l'area di coltivazione viene interessata dalle Unità di Suerzu per la sua parte centro orientale e dall'Unità di Miale Spina per la parte occidentale.

Tali orizzonti, quando si verificano fenomeni di rielaborazione, possono dare origine a depositi di materiali argillosi a prevalente componente mineralogica montmorillonitica (bentoniti).

Le bentoniti sono state ritrovate in zone appartenenti a diverse epoche geologiche, ma più abbondantemente in strati dell'era cenozoica e terziaria, nel cosiddetto cretaceo dell'era mesozoica, o nel giurassico, ma raramente in strati dell'epoca paleozoica.

La loro genesi viene attribuita ad un processo di devettrificazione e parziale decomposizione in ambiente acquoso di ceneri vulcaniche vetrose e tufi, con allontanamento di una parte della silice, seguita dalla cristallizzazione della montmorillonite, la cui composizione chimica è governata dal chimismo dell'acqua nella quale le ceneri vulcaniche sono depositate.

La tettonica a livello locale gioca quindi un ruolo molto importante sia nella genesi che nella maturazione dei complessi bentonitici.

La tettonica dell'area è caratterizzata dalla presenza di due sistemi di faglie: il primo ha andamento NE-SO ed è rappresentato da faglie distensive che ribassano la parte settentrionale dell'area studiata, con rigetti di alcune decine di metri, il secondo sistema ha andamento NO-SE, ed è rappresentato da faglie dirette con rigetti verticali stimati in 20-30 m e una componente orizzontale di alcune centinaia di metri.

La sequenza geologica locale, ricostruita attraverso l'analisi dei sondaggi precedentemente effettuati, può essere schematicamente riportata come segue (dal basso verso l'altro):

- Flusso pomiceo cineritico, di età Oligocene inf., con intercalazioni epiclastiche, rari livelli vetrosi rossastri e livelli ignimbríticos spessi fino a 10 metri;
- Flusso piroclastico ignimbrítico rosso – violaceo, ben saldato con livello vitrofirico, talvolta scoriaceo e con fiamme sottili, presenta talora livelli tufacei. La potenza varia da 10 a 15 metri e la sua età è attribuita all'Oligocene – Miocene;
- Flusso pomiceo – cineritico, di colore grigio chiaro, con frammenti litici. Spesso nella sommità presente un livello piroclastico. Lo spessore è di 50 metri, l'età Oligocene – miocene;
- Flusso piroclastico ignimbrítico saldato, di colore rosso violaceo, presenta fiamme bianche fino a 20 cm e livelli coriacei. Alla base la piroclastite è saldata, nera, vetrosa con frammenti litici ed intercalati livelli tufacei discontinui. Il suo spessore massimo è di 80 metri e la sua giacitura è sub orizzontale con immersione a NNE. Questo flusso è quello che presenta la maggior parte dei livelli argillificati.
- Flusso piroclastico pomiceo – cineritico, poco coerente, discordante con la

sottostante successione vulcanica. Questa formazione del miocene inferiore, spesso 15 m circa, la meno rappresentata dell'area ed è inserita tra i calcari e la serie vulcanica sottostante;

- Conglomerati e bio calcareniti alternate a sabbie Mioceniche che ricoprono la serie vulcanica;
- Copertura detritica ed alluvionale recente.

4.2 Geomorfologia

L'area di progetto di ricerca ricade interamente all'interno del complesso sedimentario e vulcanico del Logudoro, caratterizzato da un ambiente geomorfico di tipo collinare, con altimetria media intorno ai 400 m. s.l.m.; le creste possono superare i 550 metri, con valori medi attestanti attorno ai 480-500 metri, mentre il fondo valle è caratterizzato da valori di altitudine medi attorno ai 330-350 metri.

Localmente si evidenzia un valore della acclività da media ed alta, in funzione dei litotipi affioranti, sovente in bancate, e dei prodotti del loro disfacimento che si accumulano in colti di ricoprimento.

In via generale si evidenzia che la geomorfologia del settore è il risultato della combinazione dei differenti processi, endogeni ed esogeni, e come è normale in ultima istanza dipende dalla struttura geologica locale.

Questa si intende sia come l'insieme delle caratteristiche mineralogico-petrografiche delle rocce, sia come giacitura e diversa competenza che esse oppongono in termini di resistenza, agli agenti del modellamento.

La dinamica morfologica è strettamente legata alle alternanze litologiche ed alle vicende tettoniche e magmatiche che hanno interessato l'area.

La regolarità delle paleosuperfici presenti che, per motivi tettonici e giacaturali si presentano come alti strutturali, è alternata alle forme maggiormente arrotondate delle vulcaniti. Il contatto tra le due superfici è spesso marcato da brusche rotture di pendio, acclività più elevate, gradini e locali scarpate di faglia ben conservate.

L'analisi della successione geologico – morfologica evidenzia che nell'immediato intorno le rotture di pendio più evidenti si notano in corrispondenza delle bancate vulcaniche più resistenti. In corrispondenza della zona di intervento tali forme sono comunque evidenti in corrispondenza degli affioramenti vulcanici sottostanti le coltri detritiche ed alluvionali. Nell'ambito delle vulcaniti i processi geomorfologici maggiormente rappresentativi sono legati al ruscellamento diffuso e incanalato. L'area è caratterizzata da una discreta antropizzazione sia per effetto della presenza di aziende agro-zootecniche.

4.3 Acque superficiali e sotterranee

Per ciò che concerne l'aspetto idrogeologico locale possiamo considerare come bacino di riferimento quello relativo del Barca, che prende origine dal corso d'acqua omonimo (classificato al codice **01910001** nella legenda dei corsi d'acqua del PTA). L'U.I.O. del Barca ha un'estensione pari a 555,46 Km² ed è formata, oltre che dall'omonimo bacino principale, da una serie di bacini costieri tra i quali spicca per importanza quello del Canale Urune, che interessa l'area di Capo Caccia. La U.I.O. si estende dal mare alle zone interne dell'isola con quote che variano tra 0 e 506 m s.l.m. (Punta Sa Casa) e quota media di 119 m. Il Rio Barca, nella parte a monte, si suddivide in tronchi con diverse denominazioni:

- Rio Su Catala, detto a monte Rio Cuga;
- Rio Serra, detto a monte Sette Ortas;
- Rio Su Mattone;
- Rio Filibertu.



Figura 5 - Rappresentazione della U.I.O. del Barca (PTA Sardegna)

Nel bacino del Rio Barca sono presenti gli invasi del Cuga e del Surigheddu. Nell'area in indagine riveste particolare interesse l'invaso artificiale "Rio Cuga e Nuraghe Attentu" ricadente nel Comune di Uri (SS) che ha uno sviluppo superficiale pari a 3.1 Km² ed una capacità di invaso di circa 34 milioni di m³.

Di seguito, si riportano gli acquiferi che interessano il territorio della U.I.O. del Barca (Figura 5).

1. Acquifero dei Carbonati Mesozoici della Nurra;
2. Acquifero Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico del Sassarese;
3. Acquifero delle Vulcaniti Oligo-Mioceniche della Sardegna Nord Occidentale;
4. Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario della Nurra.

L'area in oggetto ricade interamente nel complesso dell'Acquifero delle Vulcaniti Oligo-Mioceniche della Sardegna Nord Occidentale. Non trascurabile, in funzione di potenziali interferenze, la vicinanza del complesso sedimentario terziario.

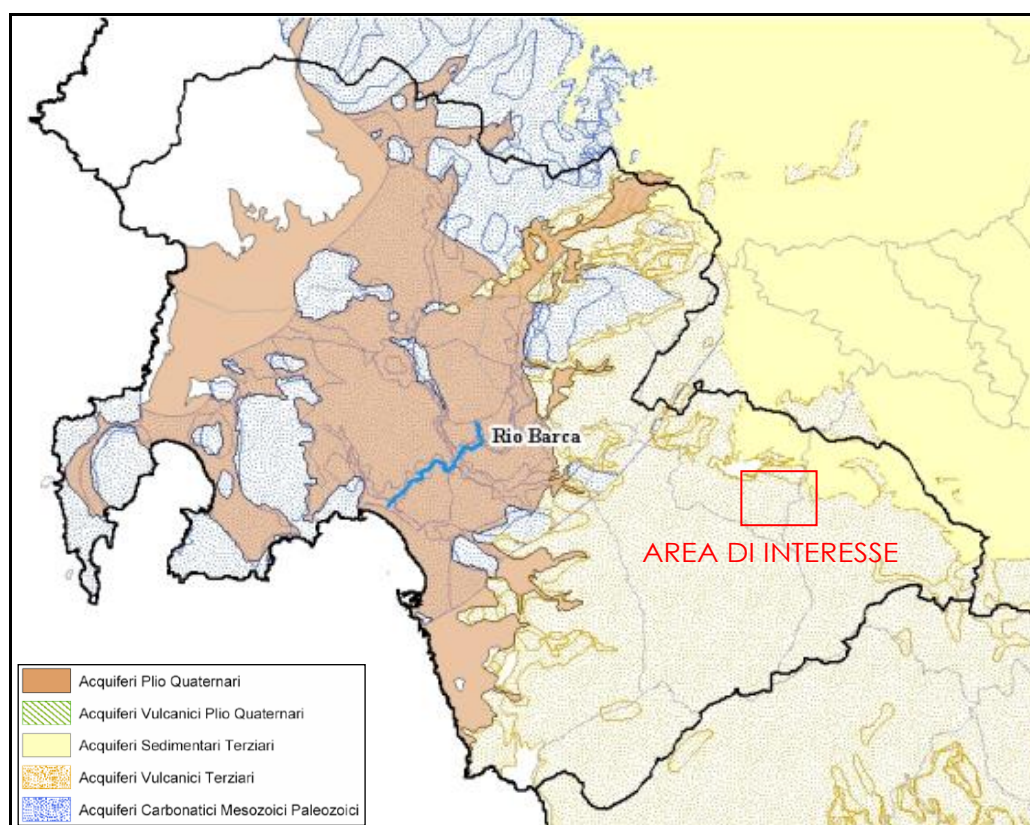


Figura 6: Complessi acquiferi presenti nella U.I.O. del Barca (PTA Sardegna)

L'idrografia superficiale del territorio in esame - di evidente impostazione tettonica - vede la presenza di brevi rii e torrenti il cui deflusso è strettamente legato al tipo ed alla intensità delle precipitazioni. Queste, a carattere stagionale, provocano piene nei torrenti in occasione delle prime piogge autunnali e massimi di portata nei mesi di febbraio-marzo.

Durante la stagione secca (maggio-settembre) i corsi d'acqua risultano quasi del tutto privi di deflusso superficiale pur mantenendolo in parte in sub-alveo, nei tratti a valle.

L'andamento del reticolo idrografico, in stretta relazione con l'assetto tettonico e la natura dei litotipi dominanti (vulcaniti), si presenta nel complesso omogeneo, caratterizzato da un andamento dendritico di tipo anastomizzato e subordinatamente sub-parallelo, anche se

talora le principali strutture tettoniche guidano i corsi d'acqua secondo direzioni alternative sub-angolari. L'area oggetto è caratterizzata da due principali corsi d'acqua:

- Il Rio Luvigoso, con scorrimento in direzione Sud – Est – Nord – Ovest;
- Il Rio Cuga, con scorrimento in direzione Sud – Nord.

Il Rio Luvigoso non è interessato dalla coltivazione del cantiere Casiddu in quanto, il suo bacino idrografico, risulta essere dallo stesso separato dalla formazione del Monte Santu Giorzi.

L'area di coltivazione si trova su un pendio che degrada con pendenze che variano tra il 10 ed il 40%, su tale pendio le acque defluiscono secondo la direzione SSE – NNW verso il Rio Cuga, il quale rappresenta il bacino ultimo di confluenza di tutte le acque dell'area in esame. La testimonianza dello scorrimento superficiale è rappresentata dalla localizzazione nell'area di diversi solchi che rappresentano le linee di scorrimento superficiale delle acque meteoriche. L'analisi idrogeologica locale fa ipotizzare un modello ben caratterizzato composto alla base da litologie poco o nulla permeabili, vulcaniti e prodotti cineritico pomicei associati, localmente sormontati da sequenze di rielaborazione e sedimentazione in ambiente fluvio lacustre di epoca quaternaria.

In generale la parte impermeabile o scarsamente permeabile dell'area in oggetto è costituita dai livelli argillificati e bentonitici della successione vulcanica oligo-miocenica mentre i sedimenti alluvionali presenti, così come tutti i sedimenti colluviali e detritici quaternari presentano una permeabilità medio-alta per porosità.

Dal punto di vista idrogeologico sia le vulcaniti che i soprastanti depositi cineritico pomicei alterati e argillificati possono essere definiti sostanzialmente impermeabili. La loro definizione però è differente in quanto le vulcaniti (banchi ignimbrici) possono essere dotate di permeabilità secondaria. Questa condizione è legata al meccanismo di messa in posto di tali litologie effusive, spesso accompagnato dalla creazione di sistemi di fratture che caratterizzano principalmente la parte sommitale della sequenza. La permeabilità in questi casi è legata alla possibilità dell'acqua di circolare nelle fratture e quindi il valore di potenziale accumulo idrico è funzione diretta del sistema di dislocazioni presenti; si può definire più dettagliatamente tale concetto attraverso i valori di persistenza (frequenza e numero di famiglie di fratture presenti) e di spaziatura (distanza tra le superfici della frattura).

Le coltri vulcaniche cineritico pomicee normalmente mostrano valori di permeabilità bassissima, ricadenti nel campo di variabilità delle argille, valore ancora più realistico nel caso di alterazione delle stesse con conseguente processo di argillificazione bentonitica.

Per quanto attiene le acque sotterranee, sia dalle trivellazioni condotte che dalla interpretazione della copiosa mole di sezioni geoelettriche disponibili, non si è evinta la presenza di una falda superficiale. Probabilmente anche in virtù degli importanti strati bentonitici presenti.

5 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

5.1 Stratigrafia

La sequenza stratigrafica di dettaglio, dedotta dai carotaggi e dai rilievi in situ è la seguente (dall'alto verso il basso):

- ignimbrite di colore grigio-nerastra, a consistenza litoide con intensa fratturazione che individua blocchi di varie dimensioni; lo spessore di questo livello risulta fino a 25 mt nell'area di studio;
- bentonite superiore con spessore variabile fino a 10 metri circa in cui è stato prelevato il campione indisturbato n°1-2014;
- ignimbrite di colore grigio-nerastro, a consistenza litoide con intensa fratturazione che individua blocchi di varie dimensioni; lo spessore di questo livello risulta pari a 19 mt nell'area di studio potendo variare da 15,0 a 20,0 mt;
- bentonite inferiore con spessore variabile fino a 10,0 mt circa in cui è stato prelevato il campione indisturbato n°2-2014;
- ignimbrite inferiore di colore rosso-violacea con caratteristiche simili alla precedente;

I livelli bentonitici si rinvencono all'interno delle serie ignimbriche e dei depositi di flusso pomiceo - cineritici ad esse intercalate. Dalle osservazioni fatte durante i rilievi geologici si è potuto notare che la bentonite si rinviene in banchi di forma lenticolare allungati parallelamente alle faglie presenti nella zona. In tutti i sondaggi dove è stata trovata la sequenza ignimbriti – bentonite - ignimbrite si è osservato un progressivo aumento della bentonite all'interno delle fratture fino alla completa disgregazione della roccia e conseguente aumento dell'argilla. La presenza di un litotipo ignimbrico per spessori di circa 15 – 20 mt separato dai banchi mineralizzati comporta la necessità di eseguire considerazioni in merito alle caratteristiche geomeccaniche ed alla possibile formazione di strutture cinematicamente rimovibili durante la coltivazione. Tali considerazioni saranno oggetto di apposito studio di stabilità dei versanti in configurazione finale di ripristino al termine delle lavorazioni. Di seguito si riporta uno stralcio della carta geologica di dettaglio.

Le coltivazioni pregresse, ed i relativi banchi esposti a gradonatura come ad esempio nel fronte NW illustrano molto bene sia la sequenza sopra esposta che il sistema di dislocazioni a scala locale che è da tenere in debita considerazione sia per il corretto dimensionamento e successivamente per la gestione del giacimento in coltivazione.

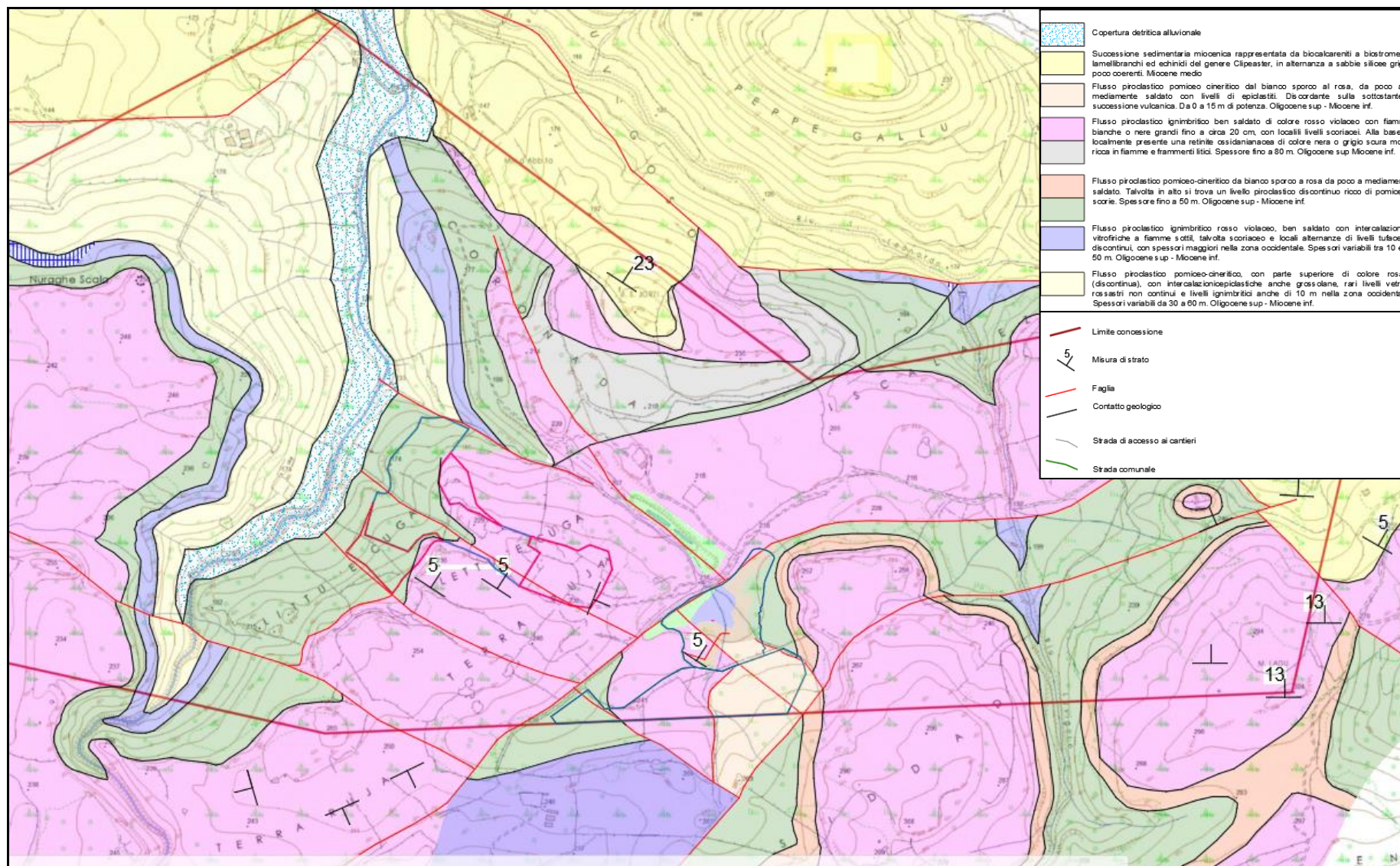


Figura 7: Carta geologica di dettaglio

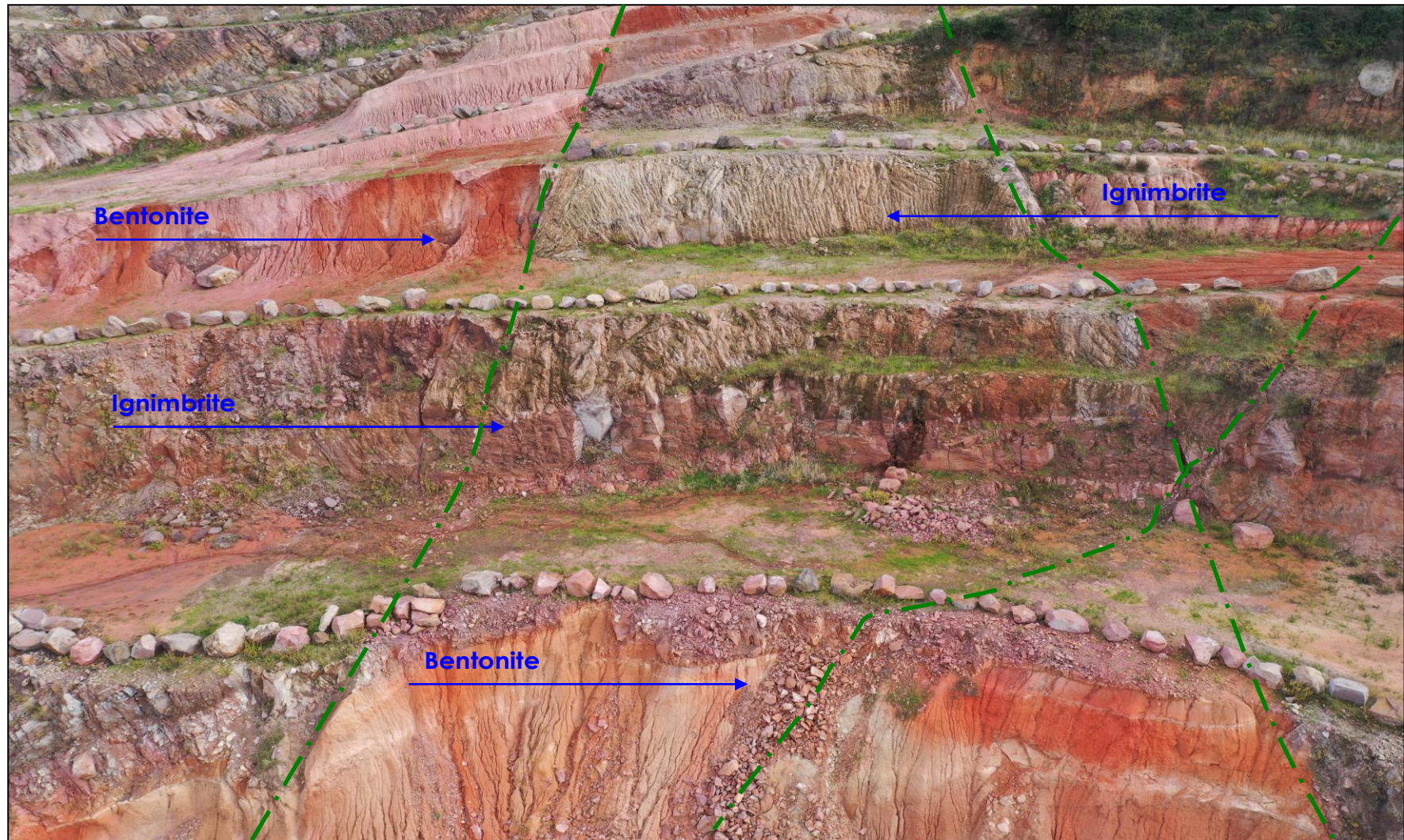


Foto n. 1 – Particolare del fronte NW in lavorazione presso il cantiere "Casiddu" con indicati i banchi di sterile (ignimbrite litoide) e di minerale (bentonite).

5.2 Dislocazioni

Nello specifico, basandoci sulle considerazioni espresse in sede di verifica delle fonti di coltivazione per la parte del giacimento in esercizio e nella verifica in configurazione di termine lavori e ripristino, si osserva che L'assetto strutturale del giacimento è dominato sostanzialmente dalla presenza di due sistemi di faglie. Il sistema principale è costituito da una faglia diretta con orientazione NE-SW che ribassa la porzione NW; il secondo sistema, con andamento sub-ortogonale al precedente ovvero NW-SE, è costituito da una serie di faglie dirette che ribassano i lati orientali in modo tale da condizionare la geometria e l'impostazione dei gradoni al fine di effettuare i lavori in condizioni di sicurezza. Al secondo sistema si associano linee di faglia accessorie, con la stessa direzione del sistema NW-SE ma con immersione a SW, che "scalettano" il lato Sud-Ovest.

5.3 Caratterizzazione geotecnica dei livelli bentonitici

I valori geotecnici caratteristici per le litologie riscontrate, dedotti da lavori simili e da osservazioni geotecniche in situ, possono essere i seguenti:

Litotipo	Peso di volume naturale secco e saturo (γ) kg/mc	Resistenza non drenata (Cu) kg/cm ²	Angolo di attrito interno efficace (ϕ')	Coesione efficace (C') kg/cm ²
Detrito terroso	1600 ÷ 1800	0,01	30°	0,05
Tufo biancastro argillificato	1750 ÷ 2050	4,5	28°-30°	1,9
Ignimbrite vetrosa	2500	1,0	40°- 45°	0,3
Bentonite rosso violacea	1750 ÷ 2050	4,5	28°	1,9
Ignimbrite molto argillificata	2300 ÷ 2500	10	35°- 38°	1,0

Facendo riferimento alla campagna di sondaggi e verifiche effettuati in sede di rinnovo (2014) si illustrano i principali parametri geotecnici per le litologie di interesse. Sui due campioni indisturbati prelevati nel 2014 sono state seguite le seguenti prove:

- Contenuto Acqua (**W**);
- Peso Volume(**y**);
- Peso Specifico (**Gs**);
- Limiti consistenza (**LL**);
- Limite di Ritiro(**LR**);
- Granulometria (**Gr**);
- Compressione (**ELL**);
- Triassiale (**TX CU**).



Foto n. 2 e 3 – Particolari dei campioni cubici all'apertura nel laboratorio geotecnico.

Di seguito vengono sintetizzati i risultati prodotti dal laboratorio CGT Centro di GeoTecnologie dell'Università di Siena.

Principali parametri geotecnici dei livelli bentonitici del cantiere "Casiddu"				
Campione	Peso di Volume (kN/m³)	TX CU		ELL
		C' (kPa)	φ' (°)	kPa
SPB Casiddu 1 (I° livello)	16,8	131	28	704
SPB Casiddu 2 (II° livello)	17,0	289,2	26,5	978,6

5.4 Risultanze verifica di stabilità delle fronti

Durante i sopralluoghi eseguiti nel mese di Settembre 2023 si è provveduto ad aggiornare il quadro geomeccanico-strutturale complessivo derivato dai rilievi eseguiti negli anni precedenti e a partire dal 2013; tale rilievo è stato condotto in maniera speditiva lungo i fronti di arretramento della copertura litoide ignimbratica sommitale con valutazione della immersione ed inclinazione e delle caratteristiche generali dei sistemi di dislocazioni presenti ed in generale dei giunti osservabili.

L'analisi di stabilità ha preso in considerazione le sezioni 1 – 1', 2 – 2' e 3 – 3' riportate nelle tavv. 1 e 2 allegate allo studio di verifica (03 RCS 21 - Relazione Calcolo Stabilità Versanti) in quanto maggiormente rappresentative della configurazione finale del cantiere e, soprattutto, della fascia di raccordo con la morfologia non oggetto di coltivazione.

Il ripristino finale del cantiere, infatti, prevede la collocazione del detrito proveniente dalla coltivazione secondo una morfologia che prevede estese porzioni di versante a debole

inclinazione (6°-12° ca.) e dei raccordi sommitali con la morfologia naturale caratterizzate da inclinazioni che raggiungono un angolo di circa 26°-30° e sui quali si sono concentrate le verifiche di stabilità. Tali analisi sono state effettuate in condizioni drenate ovvero a lungo termine in quanto maggiormente cautelative e utilizzando i parametri geotecnici così come riassunto nelle successive tabelle. Sono stati parametrati i livelli geotecnici presenti in configurazione di ripristino finale, cioè il livello ignimbrico, quello bentonitico e il livello di materiale detritico da porre in fase di ripristino tramite colmamento dei vuoti di coltivazione e il rimodellamento finale della miniera.

1. Per il litotipo Ignimbrico sono stati usati in via cautelativa i seguenti parametri caratteristici (verifica a lungo termine - tensioni efficaci):
 - Angolo di attrito interno efficace (ϕ') = 40°
 - Coesione efficace (C') = 1,0 kg/cm²;
 - Peso di volume naturale (γ) = 2500 kg/m³;
 - Peso di volume saturo (γ_{sat}) = 2500 kg/m³.
2. Per il litotipo bentonitico (terroso) sono stati usati i seguenti parametri derivanti da analisi e determinazioni in laboratorio (verifica a lungo termine - tensioni efficaci):
 - Angolo di attrito interno efficace (ϕ') = 28° (I° livello) - 26,5 (II° livello)
 - Coesione efficace (C') = 1,3 kg/cm² (I° livello) - 2,9 kg/cm² (II° livello)
 - Peso di volume naturale (γ) = 1710 kg/m³ (I° livello) - 1730 kg/m³ (II° livello)
 - Peso di volume saturo (γ_{sat}) = 2050 kg/m³ (I° livello) - 2050 kg/m³ (II° livello).
3. Per il materiale detritico da impiegare in fase di ripristino finale sono stati usati in via cautelativa i seguenti parametri caratteristici (verifica a lungo termine - tensioni efficaci):
 - Angolo di attrito interno efficace (ϕ') = 35°
 - Coesione efficace (C') = 0.03 kg/cm²;
 - Peso di volume naturale (γ) = 1750 kg/m³;
 - Peso di volume saturo (γ_{sat}) = 1950 kg/m³.

Come riportato nella citata relazione di verifica (03 RCS 24 - Relazione Calcolo Stabilità Versanti), dal complesso delle analisi condotte e discusse nei capitoli di illustrazione si rileva che il cantiere "Casiddu" dopo la coltivazione di progetto e successivamente al colmamento dei vuoti e al rimodellamento previsto per la sua restituzione possa essere ritenuto realisticamente in una condizione di stabilità e sicurezza senza apprezzabili situazioni di potenziale instabilità.

La stabilità viene ulteriormente migliorata dalla messa a dimora, nelle parti più acclivi, di coperture arboree e arbustive opportunamente predisposte in accordo ai piani di riforestazione previsti dalla società e approvati dagli enti.

In particolare per le considerazioni relative alla presenza di aree sensibili ai fini della classificazione P.A.I. per la pericolosità da frana nella cartografia Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, si evidenzia come le lavorazioni non comportino un aumento dei livelli di pericolosità. Si può evidenziare che, di fatto, l'asportazione della copertura detritica

superficiale fino alla scopertura e gradonatura degli orizzonti ignimbrici secondo le geometrie proposte, riduce o quanto meno non aumenta la pericolosità e di conseguenza il rischio connesso grazie alla principalmente restituzione delle aree con una morfologia a minore inclinazione.

5.5 Stima qualitativa del materiale utile

Una sintetica stima può essere riportata facendo riferimento alle analisi chimiche effettuate sui campioni prelevati in situ sia per il primo progetto di coltivazione facente riferimento al cantiere Casiddu (2008) che per il successivo rinnovo di concessione del 2014. I dati riportati in questa sede sono la sintesi tratta dai diversi piani industriali a corredo delle sopracitate pratiche autorizzative.

I campioni analizzati presso i laboratori della Società sono stati classificati con criteri messi a punto in funzione delle caratteristiche produttive degli impianti nei quali il materiale doveva essere lavorato e in accordo alle specifiche commerciali richieste dal mercato.

Visto che il principale settore di applicazione del prodotto è la fonderia sono stati assunti come parametri guida per la definizione della qualità la coesione (c) e l'assorbimento al blu di metilene (mb) i cui valori limite adottati sono:

- **c $\geq 7,5$ N/cm²;**
- **mb ≥ 390 mgr/gr.**

Sulla base dei suddetti parametri di riferimento i campioni analizzati sono stati raggruppati in tre categorie:

- Categoria A: c $\geq 7,5$ N/cm² e mb ≥ 390 mgr/gr
- Categoria B: c $\geq 7,5$ N/cm² e mb < 390 mgr/gr o anche: c < 7,5 N/cm² e mb ≥ 390 mgr/gr
- Categoria C: c < 7,5 N/cm² e mb < 390 mgr/gr

Nel grafico della pagina seguente sono riportati i valori di coesione e assorbimento del blu di metilene per i campioni analizzati, è immediata l'identificazione delle qualità dei singoli campioni. Di queste la categoria A è considerata idonea, la categoria B è considerata accettabile a seconda del contesto stratigrafico nel quale si trova il campione e la categoria C non è idonea agli impieghi previsti. Campioni appartenenti alla categoria B possono essere accettati quando, nel contesto stratigrafico, si trovano associati ad altri di categoria A; al contrario quando sono associati a campioni di categoria C devono essere scartati. Su queste basi si è proceduto alla classificazione dei campioni e alla conseguente ricostruzione delle geometrie dei livelli di bentonite qualitativamente omogenei.

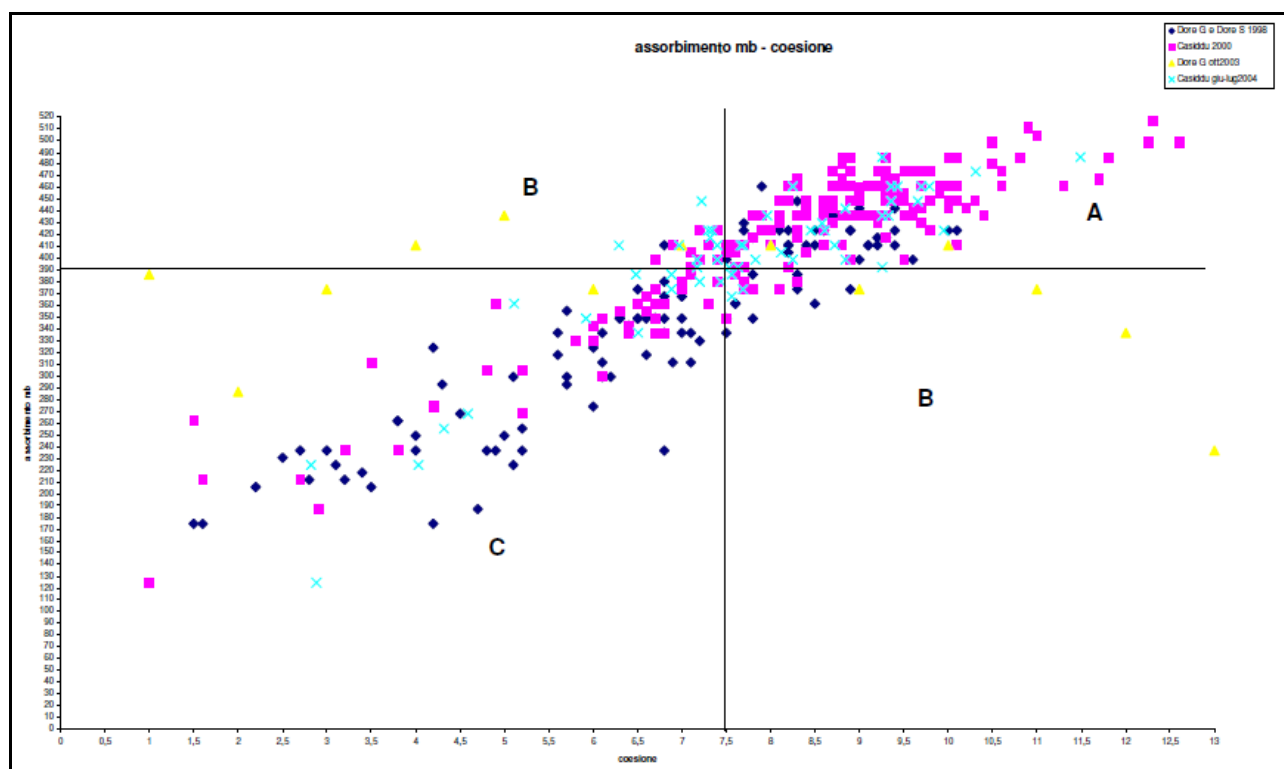


Figura 8: distribuzione mb/c per i campioni Concessione Mineraria Sa Pigada Bianca

Com'è possibile osservare dal diagramma nella figura soprastante, la qualità media dei campioni del cantiere Casiddu è tendenzialmente superiore a quelli del cantiere Dore attestandosi prevalentemente nell'area identificativa dei campioni tipo A. tale base rappresenta un prerequisito ai fini del dimensionamento orizzonti produttivi, stime quantitative e relativi cubaggi.