

**CONCESSIONE MINERARIA PER L'ESTRAZIONE E VALORIZZAZIONE DI
MINERALI DI FERRO "GIACURRU" FINALIZZATA ALLO SFRUTTAMENTO
DEL GIACIMENTO RESIDUO ED AL RIPRISTINO AMBIENTALE E
RICONVERSIONE TURISTICO - SOCIALE DELLA MINIERA.**

RELAZIONE GEOLOGICA e IDROGEOLOGICA



Committente: Società Sabbie di Parma S.r.l.

P.IVA 02235870348

Sede in Polesine Zibello (PR)

Strada Argine Maestro del Po 6

Dott. Geol. Sandro PAsCI

Via Mar Egeo, 29
09046 Quartu S. Elena (CA)
Tel. 328 1035797

aprile 2020

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
1.1	UBICAZIONE AREA STUDIATA	5
1.2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	5
1.3	OBIETTIVI DELLO STUDIO	7
2	CONTESTO GEOLOGICO	7
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SARCIDANO-BARBAGIA	7
2.1.1	<i>Successione cambriano-devoniana</i>	8
2.1.2	<i>Tettonica collisionale varisica</i>	9
2.1.3	<i>Ciclo magmatico tardo-varisico e mineralizzazioni</i>	11
2.2	ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE DELL'AREA DI GIACURRU	11
2.2.1	<i>Assetto stratigrafico</i>	11
2.2.1.1	Formazioni dell'Unità tettonica del Gennargentu	13
2.2.1.2	Formazioni dell'Unità tettonica di Meana Sardo	13
2.2.1.3	Ciclo magmatico tardo-varisico	16
2.2.2	<i>Assetto strutturale dell'area di Giacurru</i>	17
2.2.3	<i>Analisi dei sistemi di discontinuità dell'area di concessione</i>	20
2.2.4	<i>Mineralizzazioni dell'area di Giacurru</i>	21
2.3	MORFOLOGIA E PENDENZE NELL'AREA DI "GIACURRU"	22
2.4	CARATTERI IDROGRAFICI DELL'AREA DI GIACURRU	26
2.4.1	<i>Idrografia e deposito dei materiali estratti</i>	26
3	CARATTERI IDROGEOLOGICI DELL'AREA DI GIACURRU	27
3.1.1	<i>Caratteristiche di permeabilità delle rocce dell'area di Giacurru</i>	28
3.1.2	<i>Sorgenti dell'area di Giacurru</i>	30
3.1.3	<i>Acque sotterranee dell'area di "Giacurru"</i>	31
4	CONCLUSIONI	32
5	BIBLIOGRAFIA	36

FIGURE

Fig. 1 – Ubicazione dell'area concessione della mineraria "Giacurru" entro la quale sono ubicati i cantieri "Perdabila" e "Mamoini" nei comuni di Aritzo e di Gadoni.4

Fig. 2 – Ingresso di una vecchia galleria mineraria dell'area di "Giacurru".	5
Fig. 3 - Panoramica scattata dalla strada a fondo naturale del versante "Perd'Alesi" con alcune discariche minerarie presso la concessione mineraria "Giacurru", un centinaio di metri a ovest del cantiere "Perdabila"; vista verso sud. Indicata dalla freccia nera al centro della foto, si nota una discarica mineraria (di colore grigio) tagliata da uno stradello che porta nella valle sottostante. Ciò suggerisce che la discarica sia stabile almeno fin dalla realizzazione dello stradello.	6
Fig. 4 – Successione litostratigrafica dell'area di studio suddivisa per ciò che riguarda le due unità tettoniche affioranti (Meloni, Oggiano et al. 2017).	8
Fig. 5 - Schema tettono-metamorfico del basamento varisco in Sardegna (Funedda, Meloni et al. 2015).	9
Fig. 6 – Schema geologico dell'area della concessione mineraria Giacurru con l'indicazione dei cantieri "Perdabila" e Mamoini"; scala circa 1:10.000. La traccia "A-A'" si riferisce alla sezione di Fig. 16. Modificato da Meloni, Oggiano et al. (2017).	12
Fig. 7 - Alternanza di metarenarie quarzose e micacee, quarziti, filladi quarzifere e filladi dell'Unità del Gennargentu ("Post-Gotlandiano", Auct.). Affioramento lungo la strada che da Genna de Mandara conduce alla concessione mineraria "Giacurru".	13
Fig. 8 – Alternanze di metarenarie, metapeliti e metasiltiti della Formazione di Orroeledu. Affioramento presso il cantiere di "Perdabila".	14
Fig. 9 - Contatto tra gli "Scisti neri a Graptoliti" Auct. termo-metamorfosati (versante roccioso, in basso a sinistra nella foto) e le alternanze di metarenarie della Formazione di Orroeledu (con minori esposizioni rocciose, a destra).	15
Fig. 10 - Calcari venati con sottili intercalazioni di calcescisti e metasiltiti e intensamente piegati. Affioramento a circa un centinaio di metri a ovest del cantiere "Perdabila".	15
Fig. 11 – Calcari silicizzati. Affioramento a circa un centinaio di metri a ovest del cantiere "Perdabila".	16
Fig. 12 - Aspetto macroscopico di un filone a composizione acida. Sono ben riconoscibili i fenocristalli di quarzo e feldspato in una massa di fondo afanitica. Affioramento a circa un centinaio di metri a sud-est del cantiere "Perdabila".	17
Fig. 13 – I Fe-Skarn dell'area di Giacurru (affioramento nell'area di concessione mineraria).	18
Fig. 14 – Depositi di versante dell'area della concessione "Giacurru".	18
Fig. 15 – Schema tettonico dell'area attorno alla concessione mineraria "Giacurru" (Meloni, Oggiano et al. 2017). La traccia della sezione C-C' a NE dell'area di concessione è quella riportata in Fig. 16.	19
Fig. 16 – Sezione geologica del "duomo di Giacurru". Per le sigle delle formazioni si veda Fig. 6 (da Meloni, Oggiano et al., 2017). La traccia completa della sezione è indicata in Fig. 15 (C-C'). Il tratto di sezione indicato a sinistra in alto si riferisce alla traccia A-A' dello schema geologico di Fig. 6.	20
Fig. 17 – Schema dei principali sistemi di discontinuità rilevati da analisi in foto aerea (del 1977) ed integrati con rilievi sul terreno. In rosso, le faglie ed i sovrascorrimenti, in bianco i sistemi di discontinuità.	21
Fig. 18 - Metarenarie con sistemi di discontinuità a spaziatura pluricentimetrica: uno immerge di 50° verso NNE (scistosità che traspone la stratificazione); un altro, diretto NE-SW (fratture), è sub-verticale e ben spaziato. Affioramento a sud di "Perdabila".	22
Fig. 19 – Caratteri morfologici dell'area di "Giacurru" con versanti mediamente acclivi e spesso privi di vegetazione.	23
Fig. 20 - Immagini 3D dell'area di concessione mineraria "Giacurru"(in alto il DEM, in basso l'elaborazione da Google).	24
Fig. 21 - Carta delle pendenze percentuali dell'area di concessione mineraria "Giacurru". Si tratta di valori modesti e medi.	25
Fig. 22 – Proiezione stereografica (reticolo equiareale, emisfero inferiore) dei poli della superficie di scistosità di piano assiale principale nelle due unità tettoniche dell'area attorno alla concessione mineraria Giacurru (Meloni, Oggiano et al. 2017). Da questi dati si evince che queste superfici sono fortemente disperse nello spazio, come tipico delle aree con strutture a "Duomi e Bacini".	29
Fig. 23 – Delimitazione del bacino idrografico (esteso meno di 2 km ²) dell'area di concessione mineraria "Giacurru".	32

1 PREMESSA

La presente relazione geologica ed idrogeologica è stata commissionata dalla SOCIETÀ SABBIE DI PARMA S.r.l. allo scrivente, Dott. Geol. Sandro Pasci, per fornire la documentazione richiesta dal S.V.A. per valutare gli impatti sulla matrice "acque sotterranee" che si potrebbero generare dalle attività minerarie di sfruttamento del giacimento minerario denominato "Giacurru", ricadente nei comuni di Gadoni e di Aritzo.

La principale area mineralizzata, che in affioramento si estende per una lunghezza di circa 3 km e una larghezza di circa 1 km, costituisce un giacimento con una cubatura di materiale in vista già sufficiente per una lavorazione industriale. Inoltre, in passato il giacimento era stato accuratamente studiato ed esplorato con vari rilievi geologico-minerari ed indagini varie (di tipo magnetometrico, chimico, geognostico con sondaggi, con scavi in trincea e con lavori in sotterraneo, etc.). Sia la Soc. Naz. Cogne che la Soc. I.E.S. avevano avuto l'interesse a sviluppare i lavori di coltivazione per l'estrazione dei minerali di ferro. Gli studi ed i lavori precedentemente realizzati sono di recente stati rivisitati e confrontati alla luce di nuove tecnologie che sono in grado di valorizzare il giacimento oggetto di interesse. I nuovi rilievi geologici e minerari e le recenti attività svolte nell'area di Giacurru (compresi numerosi sondaggi) hanno confermato gli studi e le indagini precedenti ed hanno permesso di accertare che le mineralizzazioni sono contenute e concentrate entro corpi lenticolari, più o meno irregolari, ma ben definiti nello spazio ed hanno permesso di valutare le quantità di materiale ferroso presenti nel giacimento.

Nell'area della concessione mineraria sono presenti due cantieri (Fig. 1): quello di "Mamoini" e quello di "Perdabila" (quest'ultimo suddiviso in due siti: "Perdabila" e "Perdabila alta"). Nel primo cantiere le quantità di minerale accertato corrispondono a circa 1,75 milioni di tonnellate (quelle probabili arrivano a 4 milioni) con una percentuale in ferro del 49%. Nei cantieri "Perdabila" il materiale accertato è di circa 1,4 milioni di tonnellate (quelle probabili arrivano a 1,7 milioni) con tenori in ferro variabili tra 31% e 51%.

Queste quantità e questi tenori sono tali da poter soddisfare un'ampia richiesta di mercato, sia in termini di qualità che di quantità.

Pertanto, in questa relazione geologica ed idrogeologica saranno illustrati i risultati di uno studio volto, prima, alla determinazione dell'assetto geologico, stratigrafico e strutturale dell'area di concessione e poi alla definizione delle caratteristiche idrogeologiche che, soprattutto per aree come quella in studio, derivano prevalentemente dalle caratteristiche stratigrafico-strutturali.

Per determinare le caratteristiche geologico-stratigrafiche e strutturali dell'area sono stati acquisiti i numerosi lavori bibliografici riferibili all'area di studio (anche recenti), sono stati realizzati rilevamenti geologici attorno ed entro l'area di concessione mineraria e sono state analizzate le fotografie aeree (relative a diversi anni) riguardanti la stessa zona.

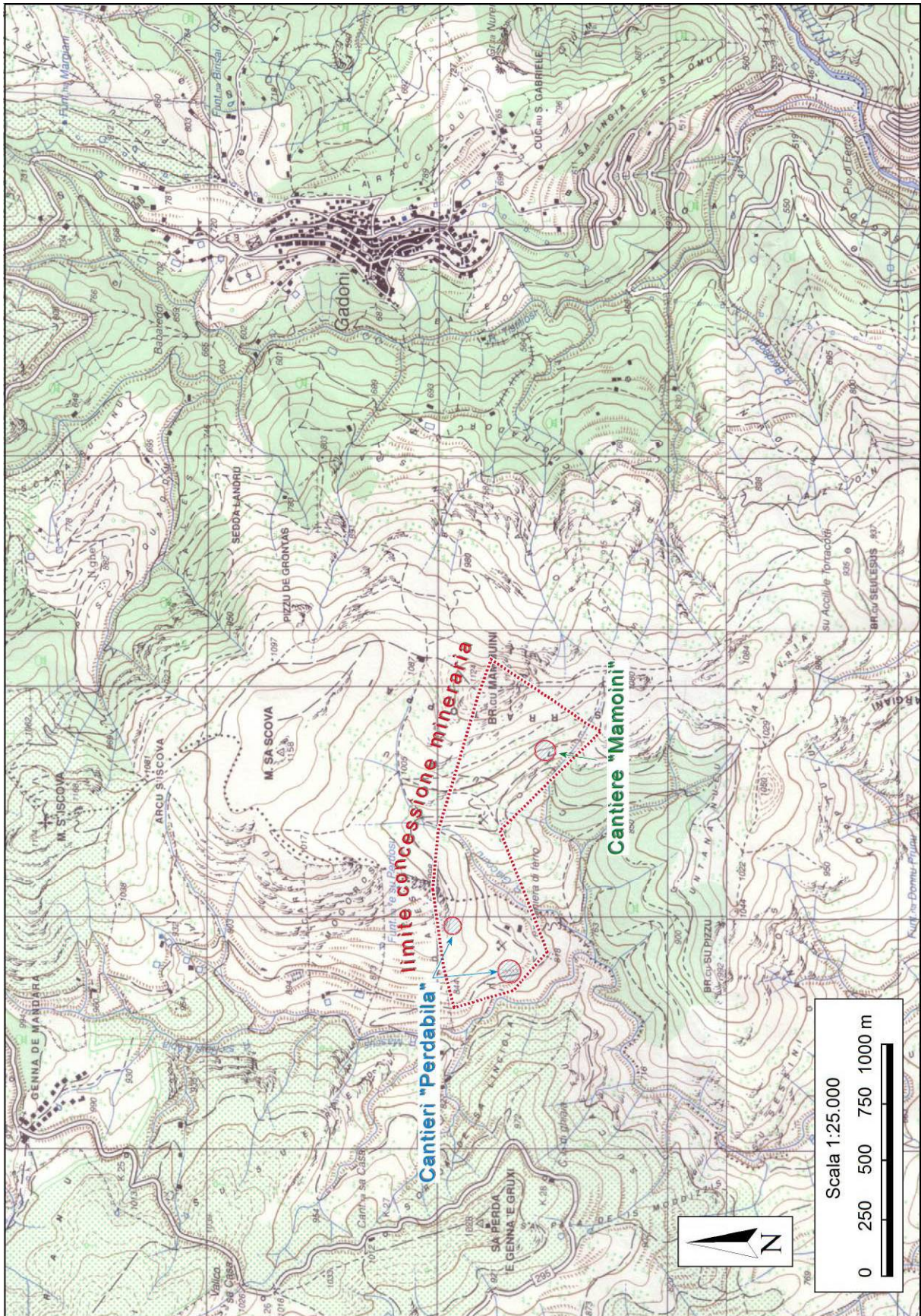


Fig. 1 – Ubicazione dell'area concessione della mineraria "Giacurru" entro la quale sono ubicati i cantieri "Perdabila" e "Mamoini" nei comuni di Aritzo e di Gadoni.

1.1 UBICAZIONE AREA STUDIATA

La concessione mineraria denominata "Giacurru" entro la quale sono ubicati i cantieri "Perdabila" e "Mamoini" si trova nei comuni di Aritzo e di Gadoni (Fig. 1) nel distretto minerario della Barbagia. L'area si trova a circa 2 km a ovest dell'abitato di Gadoni ed a circa 5,8 km a sud-ovest dell'abitato di Aritzo. L'area di concessione si inquadra nella cartografia in scala 1:50.000 nel Foglio 530 "Aritzo" nelle sezioni in scala 1:25.000 IV "Meana Sardo" e I "Aritzo". In quest'area è presente pure una copertura topografica in scala 1:10.000 (Carta Tecnica Regionale) che comprende le sezioni "530060" e "530070". L'area di interesse è facilmente raggiungibile dalla S.S. 295, presso Genna de Mandara, con una strada a fondo naturale che si può percorrere agevolmente per circa 2 km.

1.2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

All'interno dell'area di concessione mineraria "Giacurru" sono presenti due aree mineralizzate (a magnetite e subordinata ematite) dove sono ubicati i cantieri denominati "Perdabila" (e "Perdabila alta") e "Mamoini". Queste aree mineralizzate sono già state sede di precedenti attività estrattive, come testimoniano le diffuse strutture minerarie (ad es. gallerie, Fig. 2) ed i frequenti depositi di discarica degli sterili (Fig. 3).

Nuove e più avanzate tecnologie rendono ora economicamente vantaggioso lo sfruttamento di queste risorse abbandonate in passato (cfr. allegati progettuali).



Fig. 2 – Ingresso di una vecchia galleria mineraria dell'area di "Giacurru".

Il cubaggio residuo accertato del giacimento è di circa 885.700 m³ pari a 3.100.000 t, mentre le riserve probabili ammontano a 1.857.000 m³ pari a 6.500.000 t. Il presente progetto prevede la coltivazione del giacimento col metodo delle "camere e pilastri"¹ (lasciando in posto circa il 35% del minerale) con i seguenti regimi produttivi, per un periodo di dieci anni di attività: 1) per il primo anno una produzione di 55.578 m³

pari a 194.523 t provenienti dalle sistemazioni delle aree esterne dei cantieri; 2) per il secondo anno una produzione di 83.298 m³ pari a 291.543 t, provenienti dalle sistemazioni delle aree esterne dei cantieri e dalla coltivazione in sotterraneo del cantiere Perdabila; 3) per i restanti otto anni una produzione media di circa 83.600 m³/anno pari a 292.600 t/anno provenienti dal sottosuolo. Le opere saranno realizzate:



Fig. 3 - Panoramica scattata dalla strada a fondo naturale del versante "Perd'Alesi" con alcune discariche minerarie presso la concessione mineraria "Giacurru", un centinaio di metri a ovest del cantiere "Perdabila"; vista verso sud. Indicata dalla freccia nera al centro della foto, si nota una discarica mineraria (di colore grigio) tagliata da uno stradello che porta nella valle sottostante. Ciò suggerisce che la discarica sia stabile almeno fin dalla realizzazione dello stradello.

-all'esterno: che consistono nei lavori per la messa in sicurezza e predisposizione dei cantieri con l'allargamento dei piazzali e il consolidamento dei versanti, accompagnate dagli interventi di ripristino morfologico e ambientale delle aree già compromesse dai vecchi lavori;

-in sotterraneo: dove si prevede la regolare ripresa della coltivazione dopo accurata esplorazione, constatazione della stabilità dei luoghi e l'eventuale ed accurata verifica delle strutture e dello stato di conservazione dei lavori esistenti.

Del progetto fanno parte integrante anche le attività di ripristino morfologico e ambientale e un progetto di sviluppo sociale per la gestione e riconversione turistico-sociale della concessione a fine coltivazione.

Il metodo di coltivazione previsto nei cantieri in sotterraneo è quello della coltivazione in ritirata per "camere, pilastri e solette" con eventuale ripiena parziale delle camere. Questo metodo di coltivazione è stato scelto in funzione della qualità e delle caratteristiche geotecniche della roccia incassante e della stessa mineralizzazione, ma soprattutto perché garantisce una maggiore stabilità dell'ammasso roccioso e garantisce in modo assoluto l'integrità della superficie all'esterno, evitando la comparsa di vuoti. In questo modo si lascia in posto circa il 35% del minerale contenuto nel giacimento. L'utilizzo di risorse idriche sarà molto limitato poiché l'approvvigionamento sarà garantito dall'esterno.

¹ La coltivazione col metodo delle "camere e pilastri" prevede una galleria principale dalla quale si dipartono rami secondari,

1.3 OBIETTIVI DELLO STUDIO

Il presente studio ha avuto, pertanto, i seguenti obiettivi:

- la definizione dell'assetto geologico, stratigrafico e strutturale dell'area della concessione mineraria "Giacurru";
- la definizione dell'assetto morfologico della stessa area;
- la definizione delle caratteristiche idrografiche in relazione alle attività di cantiere;
- la definizione delle caratteristiche idrogeologiche e di circolazione idrica sotterranea;
- la valutazione degli impatti che le attività minerarie e le opere previste genereranno sulla matrice "acque sotterranee".

2 CONTESTO GEOLOGICO

Per inquadrare al meglio le problematiche che saranno espresse nei prossimi paragrafi dedicati all'assetto morfologico, idrogeologico e idrografico dell'area, sarà precisato il contesto geologico generale dell'area del Sarcidano-Barbagia e saranno illustrate alcune caratteristiche geologiche e strutturali dell'area di studio. Questo consentirà di ottenere un supporto informativo tale da permettere lo sfruttamento della concessione mineraria "Giacurru" in condizioni di massima sicurezza.

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SARCIDANO-BARBAGIA

Le caratteristiche geologiche dell'area del Sarcidano-Barbagia e la messa in posto delle mineralizzazioni ferrose oggetto di interesse sono principalmente legate alle complesse dinamiche evolutive e geodinamiche avvenute principalmente durante il Paleozoico. Infatti:

- 1) durante l'intervallo di tempo compreso tra il Cambriano inferiore ed il Devoniano si sono formate la maggior parte delle rocce che attualmente affiorano nell'area di studio e quelle che ospitano i giacimenti di nostro interesse;
- 2) queste originarie rocce sedimentarie sono state poi intensamente deformate e metamorfosate durante l'orogenesi collisionale varisica;
- 3) infine, nelle ultime fasi di questa orogenesi, durante cioè le deformazioni estensionali del Carbonifero superiore e del Permiano, legate ad un importante magmatismo calcalkalino, si sono messi in posto i granitoidi del batolite sardo-corso, si sono intrusi i filoni che attraversano il basamento metamorfico e si sono messe in posto le varie mineralizzazioni, comprese quelle che sono ora oggetto di nostro interesse per lo sfruttamento dei minerali ferrosi.

Sulle formazioni paleozoiche poggiano poi in discordanza le successioni mesozoiche e quelle quaternarie.

2.1.1 SUCCESSIONE CAMBRIANO-DEVONIANA

La successione stratigrafica paleozoica dell'area del Sarcidano-Barbagia è costituita in prevalenza da rocce originariamente sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano inferiore ed il Carbonifero inferiore che sono state deformate e metamorfosate durante il Carbonifero inferiore (Orogenesi varisica). In generale, le successioni litostratigrafiche dell'area sono simili ad altre zone della Sardegna sud-orientale e sono formate principalmente da formazioni terrigene, ma ci sono alcune differenze tra l'Unità Meana Sardo, che appartiene alle "Falde esterne", e l'Unità della Barbagia che, invece, appartiene alle "Falde interne" (Fig. 4) entrambe presenti nell'area. La prima unità è composta, alla base, dalla Formazione di San Vito (SVI) (Calvino 1959) costituita da alternanze di metarenarie a grana da fine a grossolana, da metasiltiti e da metargilliti grigio-verdi. Segue poi la Formazione di Monte Santa Vittoria (MSV) che comprende tre unità litostratigrafiche precedentemente definite in modo informale da Minzoni (1975), tra cui le unità di Manixeddu (MSVa) (prevalentemente conglomeratica), di Monte Corte Cerbos (MSVc) (metariolitica) e di Serra Tonnai (MSVb) (costituita da metandesiti). Si tratta di tre unità litostratigrafiche ora considerate rappresentative di tre litofacies di una singola formazione di rocce metavulcaniche e metaepicastiche. Al di sopra, la Formazione di Orroledu (ORR) (Bosellini & Ogniben 1968) documenta la diffusa trasgressione tardo-ordoviciana. Si tratta di metarcose, metagrovacche arcose, quarziti e metaconglomerati (ORRa) alla base, e di monotone alternanze di metarenarie fini, metapeliti e metargilliti (ORR). Infine, la Formazione degli Scisti a Graptoliti (SGA) (Corradini & Ferretti 2009), composta da metargilliti nere (originariamente carboniose) alternate a strati di metasiltiti grigie. Nella parte inferiore delle metapeliti e metasiltiti carboniose sono intercalate quarziti nere con radiolari (liditi). Nella parte superiore della sequenza sono presenti metacalcari e calcescisti (SGAa).

Nella zona di Gadoni, la Formazione delle Filladi grigie del Gennargentu (GNN) è l'unica formazione affiorante dell'Unità della Barbagia (Vai & Coccozza 1974) e consiste quasi esclusivamente di filladi grigie e subordinatamente di metarenarie micacee e quarziti. In poche località, alla base, sono presenti metarcose e metagrovacche arcose con quarziti (Ark).

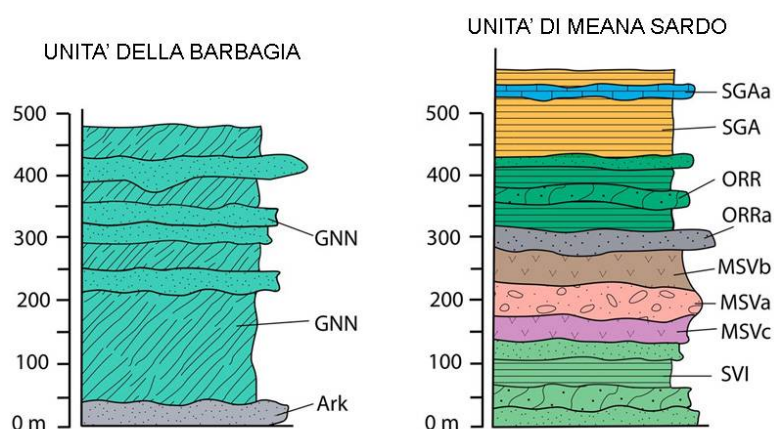


Fig. 4 – Successione litostratigrafica dell'area di studio suddivisa per ciò che riguarda le due unità tettoniche affioranti (Meloni, Oggiano et al. 2017).

2.1.2 TETTONICA COLLISIONALE VARISICA

I caratteri principali del basamento paleozoico sardo (e quindi anche quelli dell'area di studio) derivano dall'orogenesi varisica, che ha prodotto importanti deformazioni, metamorfismo e magmatismo. La catena varisica della Sardegna è considerata una catena collisionale, formata, in generale, da una "Zona assiale" che affiora nella Sardegna settentrionale, da una "Zona a falde" che affiora nella Sardegna centrale e sud-orientale (quindi nell'area di nostro interesse) e da una "Zona esterna" presente nel Sulcis, Iglesiasiente e Arburese (Fig. 5). In accordo con questa zonazione, la polarità della catena è marcata anche dal senso di trasporto tettonico delle falde verso SW e W, dal metamorfismo progrado verso NE e dalla minore estensione delle intrusioni granitiche nella "Zona esterna".

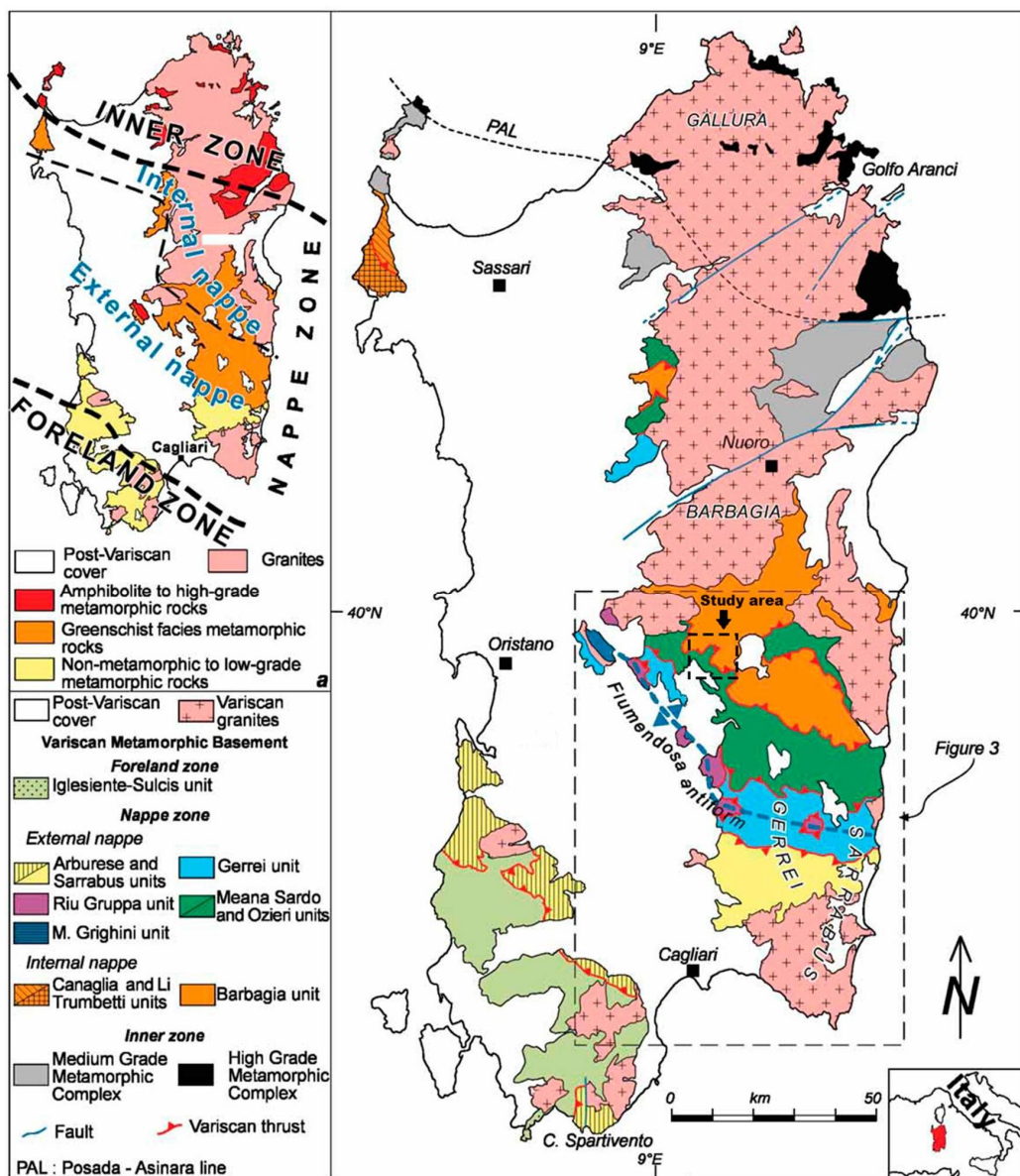


Fig. 5 - Schema tettonico-metamorfico del basamento varisco in Sardegna (Funedda, Meloni et al. 2015).

La "Zona a falde", della catena varisica sarda è costituita da una sovrapposizione di unità tettoniche interessate in buona sostanza da metamorfismo di basso grado. Questa "Zona a falde", rappresentata nell'area di interesse di questa relazione, è stata suddivisa in due gruppi: le "Falde interne" e le sottostanti "Falde esterne" (Fig. 5). Nell'area di studio sono presenti entrambe: a quelle interne appartiene l'Unità tettonica del Gennargentu (in precedenza conosciuta dai vari Autori come 'Postgotlandiano'; (Vai & Coccozza 1974; Minzoni 1988), mentre di quelle esterne fa parte l'Unità tettonica di Meana Sardo, che occupa la posizione strutturalmente più alta nell'impilamento delle falde esterne (Carmignani, Oggiano et al. 2015; Funedda, Meloni et al. 2015).

Le "Falde esterne" costituiscono la parte più esterna della struttura a falde del basamento varisico ed hanno caratteri di grado metamorfico da basso a molto basso (dall'anchizona alla facies degli scisti verdi). Metamorfismo e deformazione aumentano di intensità dalle unità geometricamente superiori a quelle sottostanti. Le "Falde esterne" condividono una stratigrafia ben definita, ben documentata dalla paleontologia, con poche variazioni tra le diverse unità tettoniche.

A causa del metamorfismo regionale di grado leggermente superiore e di una deformazione più intensa, le "Falde interne" hanno una stratigrafia mal definita, che ha limitato l'interpretazione del loro quadro strutturale. Inoltre, queste ultime unità mancano del caratteristico orizzonte litologico distintivo, rappresentato dalle rocce metavulcaniche calco-alcaline dell'Ordoviciano medio, al di sopra della "Discordanza Sarda" e che invece caratterizzano le "Falde esterne". Le "Falde interne" consistono principalmente in una sequenza metasedimentaria monotona da pelitica ad arenitica, dove non sono conservati resti di fossili e sono contraddistinte da un metamorfismo di grado variabile dalla facies scisti verdi a quella anfibolitica, da una foliazione sin-metamorfica ben sviluppata, da marcate lineazioni di estensione, da sovrascorrimenti e pieghe isoclinali (Carmignani, Pertusati et al. 1992).

Le rocce di quest'area del basamento paleozoico hanno dunque un assetto geologico-strutturale molto complesso e sono cioè caratterizzate da intense deformazioni che hanno determinato strutture complesse con sviluppo di deformazioni polifasiche, di pieghe isoclinali con associata scistosità penetrativa, faglie inverse e importanti sovrascorrimenti che hanno traslato le varie unità tettoniche di molte decine di chilometri, realizzando quindi raccorciamenti molto consistenti. Queste unità tettoniche rappresentano di conseguenza blocchi di rocce, caratterizzati da determinate successioni stratigrafiche, che sono sovrapposti ad altri blocchi di rocce con successioni stratigrafiche spesso analoghe, ma non sempre facilmente correlabili tra loro. Alcune differenze nella successione stratigrafica delle diverse unità tettoniche si riscontrano, come detto, soprattutto a livello della successione vulcanica e vulcano-clastica dell'Ordoviciano medio.

Le unità tettoniche alloctone della catena sono sovrapposte sulla "Zona esterna" (Sulcis-Iglesiente-Arburese), considerata autoctona (Oggiano, Gaggero et al. 2010; Gaggero, Oggiano et al. 2012). Ulteriori difficoltà nella comprensione del complesso assetto geologico-strutturale di questa'area sono rappresentate da una sovraimpronta termo-metamorfica e da diffusi affioramenti di skarn contenenti magnetite, metalli di base, solfuri e calco-silicati (Dessau 1937).

2.1.3 CICLO MAGMATICO TARDO-VARISICO E MINERALIZZAZIONI

Nel Carbonifero superiore-Permiano, successivamente alla tettonica collisionale, si sviluppa una tettonica distensiva che interessa tutta la trasversale della catena varisica e tutto lo spessore della crosta. Nei livelli strutturali più profondi (rocce con metamorfismo di alto e medio grado) sia nella "Zona assiale", che nella "Zona a falde" (compresa quella in esame) e nella "Zona esterna", la tettonica distensiva è associata a deformazioni duttili pervasive ed a metamorfismo di alta temperatura e bassa pressione, mentre nei livelli strutturali più superficiali sono frequenti zone di taglio estensionali e faglie dirette a basso e alto angolo. In questo periodo, il basamento sardo è caratterizzato anche dalla messa in posto del complesso granitoide e dallo sviluppo dei bacini molassici intra-continentali di età stefaniano-permiana associati a vulcanismo calcalalino (Carmignani, Pertusati et al. 1992).

In Sardegna, le intrusioni che costituiscono il Batolite sardo-corso sono state messe in posto da 285 Ma a 320 Ma. Si possono distinguere due episodi magmatici principali (Casini, Cuccuru et al. 2015), databili rispettivamente a circa 307 Ma ed a 290 Ma. In precedenza, questo ciclo magmatico ha prodotto principalmente monzograniti e subordinate granodioriti, mentre le ultime manifestazioni hanno composizioni prevalentemente leucogranitiche. Nell'area di Gadoni, i corpi intrusivi affioranti hanno composizione granodioritica, sono esclusivamente a grana fine, contengono diversi inclusi mafici e sono riconducibili al primo dei due episodi magmatici principali.

Durante il Carbonifero superiore-Permiano sono stati intrusi anche i vari corpi filonani a composizione prevalentemente acida. Alle ultime fasi del magmatismo calcalalino sono inoltre da ricollegare le diffuse mineralizzazioni che caratterizzano buona parte della Sardegna sia sud-occidentale (Iglesiente) che sud-orientale (Gerrei) e centrale (Sarcidano), comprese quelle dell'area di studio (Giacurru) e di Funtana Raminosa, poco distante. Queste mineralizzazioni sono controllate principalmente dalle strutture deformative della tettonica collisionale e post-collisionale.

Su queste rocce poggiano in discordanza i depositi mesozoici carbonatici ("Tacchi"), sedimenti quaternari sia fluviali, che eluvio-colluviali e di versante, che sono sempre molto subordinati. I caratteri di queste formazioni saranno discussi con maggiore dettaglio nel prossimo § 2.2.

2.2 ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE DELL'AREA DI GIACURRU

2.2.1 ASSETTO STRATIGRAFICO

Diverse formazioni geologiche affiorano nell'area della concessione mineraria "Giacurru" (Fig. 6) che, come detto, appartengono alle unità tettoniche del Gennargentu, a quella di Meana Sardo ed al ciclo magmatico tardo-varisico (Meloni, Oggiano et al. 2017). Sono poi presenti limitati affioramenti di depositi quaternari.

Concessione mineraria per l'estrazione e valorizzazione di minerali di ferro "GIACURRU" finalizzata allo sfruttamento del giacimento residuo ed al ripristino ambientale e riconversione turistico - sociale della miniera.

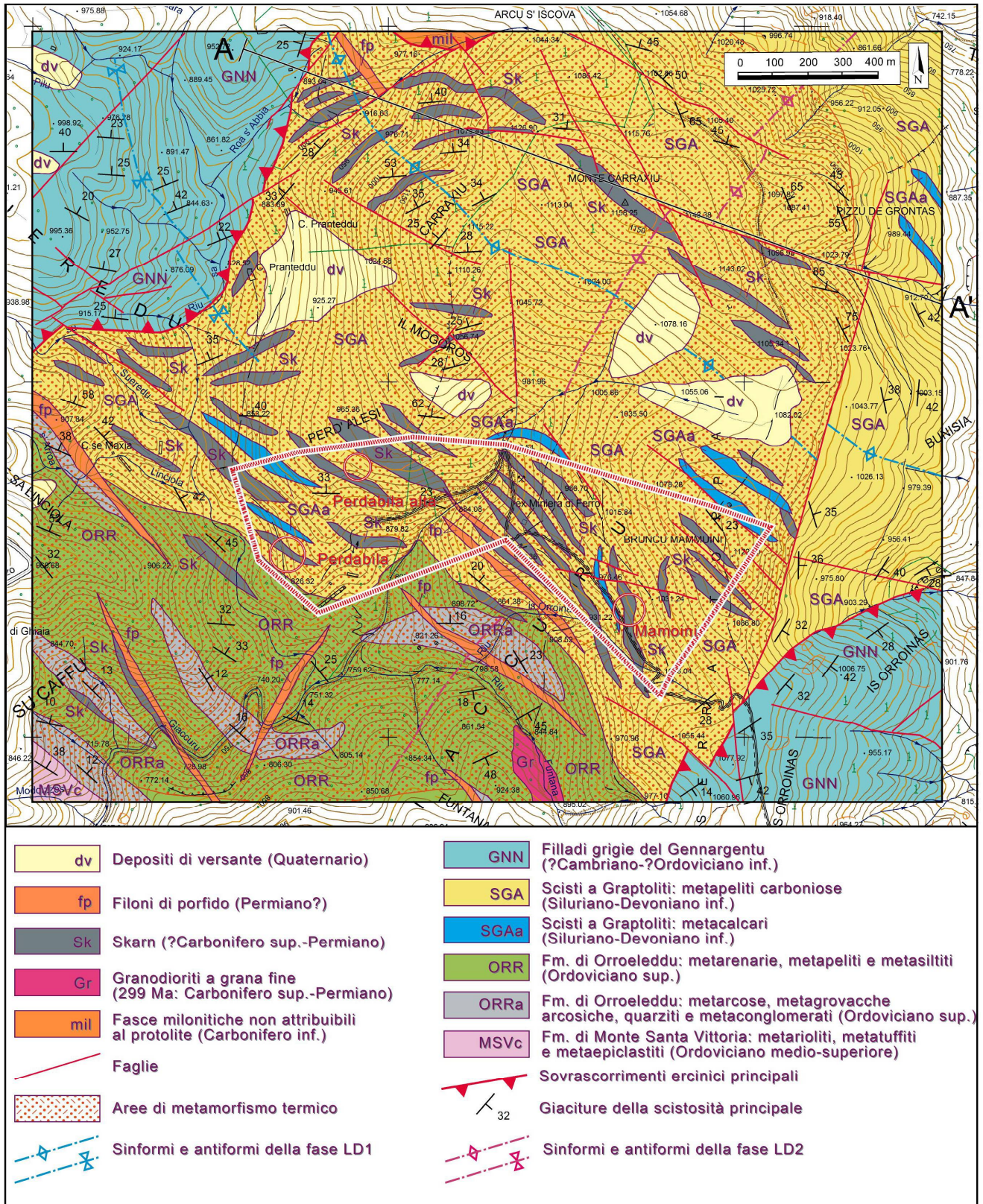


Fig. 6 – Schema geologico dell'area della concessione mineraria Giacurru con l'indicazione dei cantieri "Perdabilla" e Mamoini"; scala circa 1:10.000. La traccia "A-A" si riferisce alla sezione di Fig. 16. Modificato da Meloni, Oggiano et al. (2017).

2.2.1.1 FORMAZIONI DELL'UNITÀ TETTONICA DEL GENNARGENTU

Le rocce più antiche che affiorano nell'area della concessione mineraria sono quelle dell'Unità tettonica del Gennargentu ("Falde interne") e sono dubitativamente riferite al Cambriano-Ordoviciano sulla base di correlazioni lito-stratigrafiche. A questa unità litostratigrafica è attribuito gran parte del basamento metamorfico di basso grado affiorante nei Monti del Gennargentu ("Postgotlandiano" *Auct. p.p.*).

Questo complesso comprende rocce derivate da originarie successioni silico-clastiche. In nessuna località l'attribuzione stratigrafica è documentata paleontologicamente e le attribuzioni cronologiche, basate sulle correlazioni lito-stratigrafiche, divengono sempre più incerte con l'aumentare del grado metamorfico. E' possibile che questa successione, attribuita al Cambro-Ordoviciano inferiore, possa essere anche più recente.

Si tratta di una irregolare alternanza di livelli da metrici a decimetrici di metarenarie quarzose e micacee, quarziti, filladi quarzifere e filladi (Fig. 7). Le filladi hanno colori da grigio chiaro a viola e verdi. In alcune zone la somiglianza litologica con le successioni cambro-ordoviciane note in altre unità tettoniche datate paleontologicamente (come quella di Meana Sardo) è molto forte; in altre località prevalgono invece termini più quarzitici o metarenarie e metasiltiti. Nei Monti del Gennargentu lo spessore originario di tale successione metamorfica non è valutabile a causa del complesso assetto tettonico; lo spessore apparente è comunque di circa 1.000-1.500 m.



Fig. 7 - Alternanza di metarenarie quarzose e micacee, quarziti, filladi quarzifere e filladi dell'Unità del Gennargentu ("Post-Gotlandiano", *Auct.*). Affioramento lungo la strada che da Genna de Mandara conduce alla concessione mineraria "Giacurru".

2.2.1.2 FORMAZIONI DELL'UNITÀ TETTONICA DI MEANA SARDO

La stratigrafia di questa unità tettonica, ben descritta recentemente da Meloni, Oggiano et al. (2017), inizia con la Formazione delle Arenarie di San Vito che però non affiorano nell'area dello schema di Fig. 6 ed è attribuita, sulla base delle associazioni di acritarchi, al Cambriano medio-Ordoviciano inferiore. Su questa formazione poggia poi la Formazione di Monte Santa Vittoria, costituita da tre unità lito-stratigrafiche (Manixeddu, Monte Corte Cerbos, e Serra Tonnai) e di età ordoviciano medio-superiore. Di queste unità, solo quella di Monte Corte Cerbos affiora nello schema di Fig. 6 (nell'angolo a SW). Si tratta di meta-

vulcaniti a composizione riolitica, di metatuffiti e di metaepiclastiti. Le metarioliti sono di colore grigio chiaro-verdastro e contengono porfiroclasti di quarzo e feldspato.

Le successioni dell'Ordoviciano superiore (che affiorano limitatamente anche entro l'area della concessione mineraria, Fig. 6) sono rappresentate dalla Formazione di Orroledu (Bosellini & Ogniben 1968), riferibile alla trasgressione dell'Ordoviciano medio-superiore ("Trasgressione caradociana" *Auct.*). Si tratta di successioni detritiche, prima continentali, poi di mare basso e costiere con forte variabilità laterale di facies e di spessore, che risultano dallo smantellamento degli apparati vulcanici dell'Ordoviciano medio e sono depositate in ambienti caratterizzati da una morfologia articolata.

I depositi detritici basali grossolani, che indicano la persistenza di zone emerse in smantellamento, passano verso l'alto a metasedimenti contenenti caratteristiche associazioni fossili che marcano l'instaurazione di un dominio francamente marino. La tipica successione dell'Ordoviciano superiore del Sarcidano comprende dal basso verso l'alto:

- a) un'alternanza di strati di meta-arcose, meta-grovacche e subordinate metapeliti con matrice quarzoso-sericitica-cloritica, con frequenti intercalazioni di strati decimetrici e metrici di metaconglomerati minuti (ORRa in Fig. 6). Le metagrovacche sia a grana fine che grossolane sono spesso arricchite in minerali pesanti (minerali titaniferi, zircone e monazite) e corrispondono a depositi di *shoreface*. I metaconglomerati sono costituiti da quarzo e frammenti litici talora poco selezionati, in matrice quarzoso-sericitica e cloritica.
- b) metarenarie a grana fine e metasiltiti alternate a metargilliti (Fig. 8) che in precedenza erano riferiti alla Formazione di Bruncu su Pitzu (Bosellini & Ogniben 1968). Nelle metasiltiti e, più raramente, nelle metarenarie sono state rinvenute associazioni fossilifere con la tipica fauna ordoviciana superiore.



Fig. 8 – Alternanze di metarenarie, metapeliti e metasiltiti della Formazione di Orroledu. Affioramento presso il cantiere di "Perdabila".

La Formazione di Orroledu è ben correlabile per età e ambiente deposizionale con le successioni delle unità del Gerrei e del Sarrabus (Formazione degli Argilloscisti di Rio Canoni e quella di Punta Serpeddì).

A queste rocce seguono stratigraficamente le successioni del Siluriano-Devoniano inferiore (spesso interessate da termo-metamorfismo). Questa successione che poggia con contatto netto, evidente (Fig. 9) e concordante sui metasedimenti dell'Ordoviciano superiore, è inferiormente costituita da metapeliti grigie e metasiltiti nere, spesso carboniose e ricche di pirite, con resti di graptoliti ("Scisti neri a graptoliti", *Auct.*). Nella parte inferiore delle metapeliti e metasiltiti carboniose sono intercalati diaspri neri (quarziti con radiolari, noti come "liditi"). Lo spessore originario di queste metapeliti e metasiltiti carboniose era probabilmente inferiore a 100 m. Nella parte superiore della sequenza, sono presenti metacalcari e originarie marne, talvolta con pirite, ("Ockerkalk" *Auct.*) del Devoniano inferiore che fanno transizione ai metacalcari e marmi del Devoniano inferiore-medio. I metacalcari ed i metacalcari nodulari (Fig. 10) (SGAa), sono talora silicizzati (Fig. 11) e ormai ridotti a lenti (*boudins*) a causa della intensa deformazione.

L'intera formazione comprende il Siluriano e il Devoniano inferiore (Corradini, Ferretti et al. 1998), ed è un buon *marker* stratigrafico all'interno dell'unità di Meana Sardo.



Fig. 9 - Contatto tra gli "Scisti neri a Graptoliti" Auct. termo-metamorfosati (versante roccioso, in basso a sinistra nella foto) e le alternanze di metarenarie della Formazione di Orroledu (con minori esposizioni rocciose, a destra).



Fig. 10 - Calcari venati con sottili intercalazioni di calcescisti e metasiltiti e intensamente piegati. Affioramento a circa un centinaio di metri a ovest del cantiere "Perdabila".



Fig. 11 – Calcari silicizzati. Affioramento a circa un centinaio di metri a ovest del cantiere "Perdabila".

2.2.1.3 CICLO MAGMATICO TARDO-VARISICO

Nelle rocce metamorfiche descritte in precedenza si intrudono estesi corpi magmatici granitoidi e filoni a composizione prevalentemente acida con spessori generalmente metrici, ma che talora possono raggiungere i 10 m (Fig. 6). Pure le mineralizzazioni sono da associare alle fasi terminali di questo ciclo.

GRANODIORITE

Le intrusioni di granodiorite sono esclusivamente a grana fine e contengono spesso inclusi melanocrati. Formano corpi intrusivi che, nell'area di studio, sono limitati in affioramento al settore meridionale di Fig. 6. Questi corpi intrusivi possono essere correlati con il complesso vulcanico e sub-vulcanico di Seui, situato a pochi chilometri a est. L'estesa e spessa aureola di contatto che interessa le rocce incassanti delle granodioriti, suggerisce che questi rappresentino l'espressione superficiale di un'intrusione ben più ampia. Datazioni radiometriche U-Pb su zirconi della granodiorite hanno dato età di 299 ± 3 Ma (Meloni, Oggiano et al. 2017), quindi proprio al passaggio tra il Carbonifero superiore ed il Permiano inferiore. Pertanto, i corpi granodioritici dell'area di Gadoni sono correlabili al primo dei due eventi plutonici principali del batolite sardo-corso, come di frequente per altri corpi granitoidi tardo-varisici del sud Sardegna.

FILONI DI PORFIDO

Queste rocce ipoabissali sono presenti nell'area di studio. Questi filoni hanno in genere direzioni N-S e NNW-SSE e inclinazioni sempre molto elevate. La maggior parte dei corpi filoniani ha composizione da riolitica a riodacitica; generalmente contengono fenocristalli di feldspato alcalino, quarzo e plagioclasio, nonché biotite in pasta di fondo a grana fine (Fig. 12). Sembra verosimile che queste rocce ipoabissali rappresentino i filoni alimentatori degli apparati vulcanici lavici riolitici permiani. Come detto in precedenza, queste rocce sono legate al ciclo magmatico calcalkalino e sono associate alle fasi terminali della messa in posto delle rocce granitoidi, riferibili al Permiano.



Fig. 12 - Aspetto macroscopico di un filone a composizione acida. Sono ben riconoscibili i fenocristalli di quarzo e feldspato in una massa di fondo afanitica. Affioramento a circa un centinaio di metri a sud-est del cantiere "Perdabila".

SKARN

Alle ultime fasi del ciclo magmatico calcocalcino (riferibili al Permiano inferiore o forse al Carbonifero superiore) sono inoltre da associare le mineralizzazioni dell'area di Giacurru come pure quelle dell'area di Funtana Raminosa e le altre presenti in Sardegna (Iglesiente, Gerrei, etc.). Queste mineralizzazioni sono fortemente controllate dalle strutture della tettonica collisionale e post-collisionale. I fluidi magmatici hanno interessato principalmente la successione carbonatica e quella argilloso-scitosa del Siluriano-Devoniano generando quel processo metasomatico² che ha portato alla formazione degli skarn ricchi in ferro (Fig. 13) nell'area di interesse.

In discordanza sulle rocce paleozoiche si rinvencono localmente esigui spessori di depositi quaternari. Si tratta di esigui lembi di depositi fluviali e colluviali. Sono poi presenti depositi di versante, maggiormente diffusi nell'area della concessione "Giacurru" e rappresentati nello schema geologico di Fig. 6 con la sigla "dv". Sono costituiti da brecce eterometriche con matrice sabbiosa e argillosa (Fig. 14).

2.2.2 ASSETTO STRUTTURALE DELL'AREA DI GIACURRU

La tettonica varisica nella Sardegna centrale è tradizionalmente divisa in due eventi principali (Dessau, Duchi et al. 1982).

² Il metasomatismo è un processo metamorfico per cui una roccia, o una porzione di essa, permanendo allo stato solido, è alterata in modo pervasivo attraverso l'introduzione o la rimozione di componenti chimici come risultato della sua interazione con fluidi magmatici. In questo processo alcuni preesistenti minerali sono sostituiti, parzialmente o totalmente, da nuovi minerali di chimismo differente ed in equilibrio con le nuove condizioni chimico-fisiche in cui si trova la roccia.



Fig. 13 – I Fe-Skarn dell'area di Giacurru (affioramento nell'area di concessione mineraria).



Fig. 14 – Depositi di versante dell'area della concessione "Giacurru".

Il primo evento è legato ai processi di collisione ed è stato suddiviso in diverse fasi, che sono generalmente indicate come D1 e D2 (Carmignani, Cocozza et al. 1982; Carosi & Pertusati 1990; Oggiano 1994) o, in alternativa, denominate come le fasi "Gerrei" e "Meana" (Conti, Carmignani et al. 2001). Le prime due fasi sin-metamorfiche sono responsabili della messa in posto delle falde tettoniche e della formazione di pieghe isoclinali rovesciate con associata foliazione di piano assiale pervasiva e blastesi sin-cinematica (Fig. 15). Il raccorciamento tardivo, (post-falde) e post-metamorfico (LD1 e LD2) ha dato origine a pieghe regionali verticali con ampia lunghezza d'onda, che interessano l'intera zona a falde (Funedda, Naitza et al. 2011; Funedda, Meloni et al. 2015). Questa fase di raccorciamento ha generato strutture con direzioni quasi ortogonali: si tratta di pieghe con piani assiali sub-verticali ed assi poco inclinati diretti circa N130° (LD1) e N230° (LD2). L'interferenza tra i due sistemi di pieghe ortogonali ha prodotto strutture a "duomi e bacini" con lunghezze d'onda di circa 5-6 km. Il "Duomo di Giacurru" è particolarmente importante, in quanto il suo nucleo ospita i diffusi skarn mineralizzati a ferro.

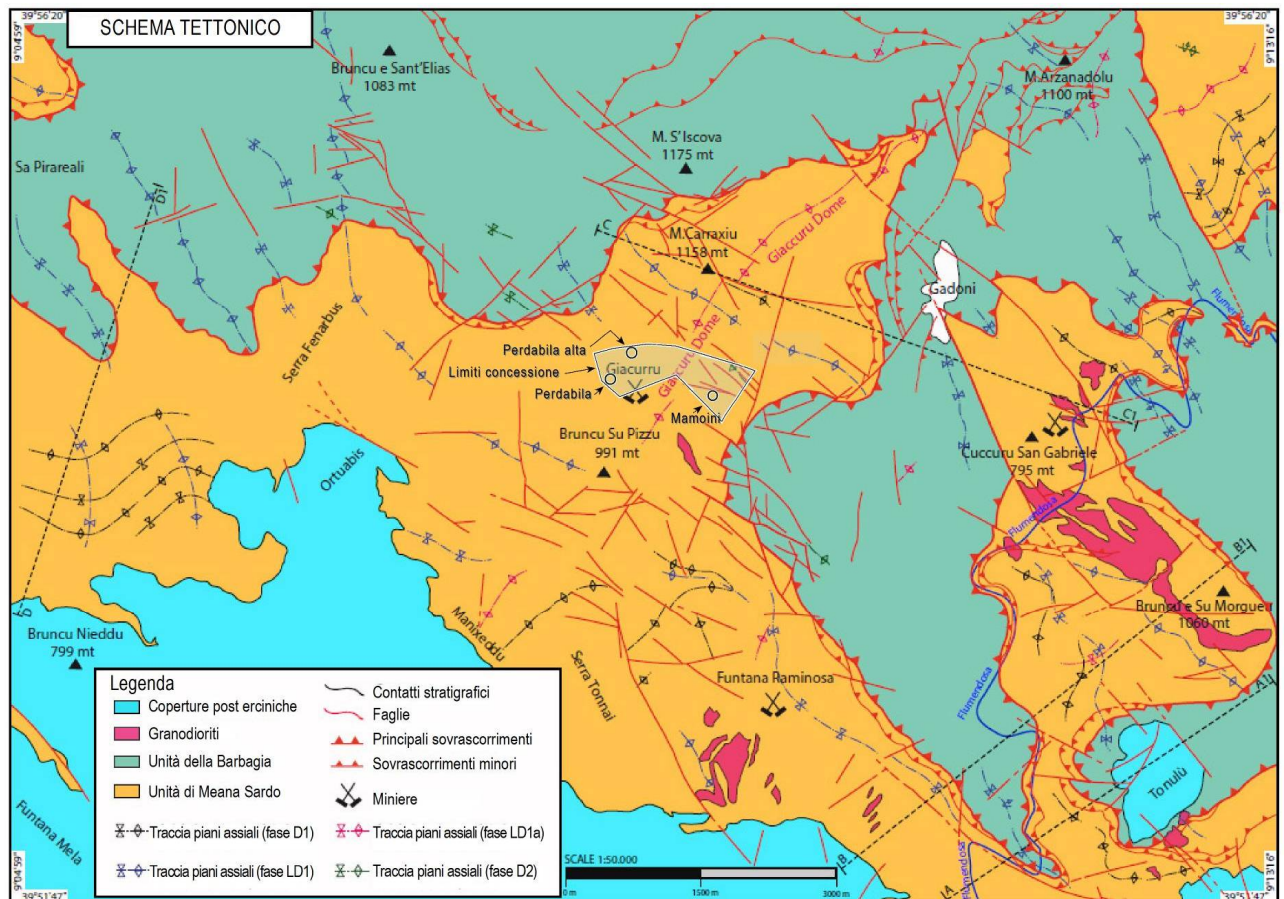


Fig. 15 – Schema tettonico dell'area attorno alla concessione mineraria "Giacurru" (Meloni, Oggiano et al. 2017). La traccia della sezione C-C' a NE dell'area di concessione è quella riportata in Fig. 16.

Il secondo evento tettonico varisico nella Sardegna centrale è stato definito fase "Riu Grappa" (Conti, Carmignani et al. 2001) o D3 (Oggiano 1994) ed è legato al collasso della catena orogenica. L'estensione post-collisionale ha interessato, come detto, tutta la catena con strutture diverse in relazione al livello strutturale. Questa fase estensionale è stata ampiamente controllata dalla strutturazione collisionale "post-falde" (Conti, Carmignani et al. 1999; Casini & Oggiano 2008).

Nell'area di studio, in particolare intorno alle strutture a duomo tardo-collisionali come quella di Giacurru (Fig. 16), la fase estensionale ha generato zone di taglio duttile a basso angolo che hanno accentuato l'assetto delle antiformali formate durante la fase tardo-collisionale. In alcune aree, le zone di taglio lungo i precedenti sovrascorrimenti sono state riattivate in zone di taglio estensionali. Ad esempio, sul fianco nord del duomo di Giacurru, a sud di Monte s'Iscova, gli indicatori cinematici lungo le zone di taglio duttili a basso angolo indicano un movimento verso nord, che contrasta con il senso di trasporto generale (verso SW) della messa in posto dell'edificio a falde durante la fase collisionale, indicando quindi un'inversione della cinematica.

Le pieghe asimmetriche della fase estensionale D2 (generate da raccorciamenti verticali a spese delle foliazioni) sono diffuse sui fianchi delle strutture a duomo con caratteristica vergenza centrifuga rispetto alle culminazioni delle antiformali.

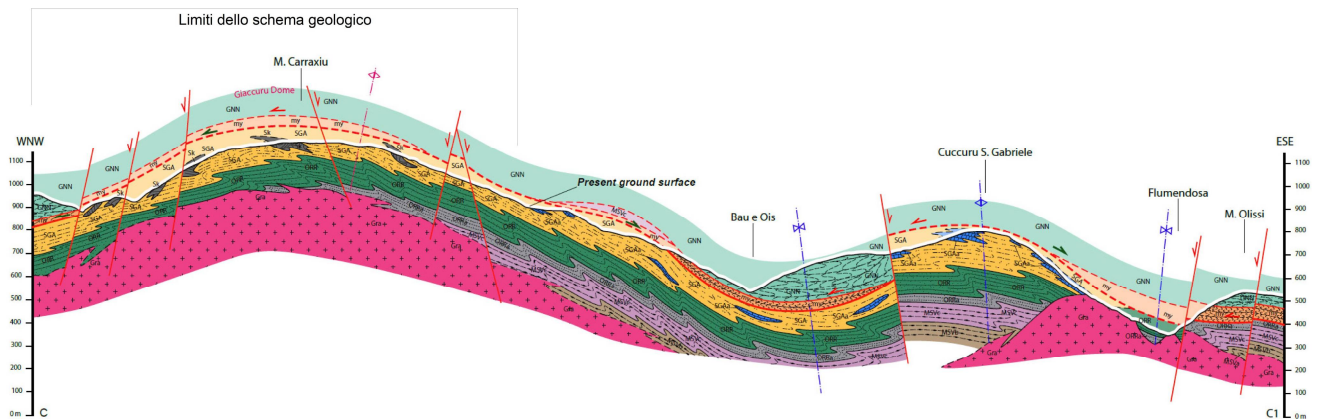


Fig. 16 – Sezione geologica del “duomo di Giacurru”. Per le sigle delle formazioni si veda Fig. 6 (da Meloni, Oggiano et al., 2017). La traccia completa della sezione è indicata in Fig. 15 (C-C’). Il tratto di sezione indicato a sinistra in alto si riferisce alla traccia A-A’ dello schema geologico di Fig. 6.

2.2.3 ANALISI DEI SISTEMI DI DISCONTINUITÀ DELL’AREA DI CONCESSIONE

Per determinare le caratteristiche idrogeologiche delle rocce affioranti nell’area di studio è stato effettuato uno studio sullo sviluppo dei sistemi di discontinuità, fondamentale per la comprensione e per la valutazione dei circuiti idrici sotterranei. Infatti, le coperture sedimentarie quaternarie (depositi fluviali, colluviali e di versante), permeabili per porosità, sono assolutamente trascurabili perché sempre presenti con estensioni trascurabili e con spessori molto modesti. I materiali lapidei costituiti da rocce metamorfiche (quasi esclusivamente terrigene e quindi impermeabili) dell’area di studio sono, invece, caratterizzati da permeabilità per fessurazione, in relazione allo sviluppo dei vari sistemi di discontinuità (giunti di stratificazione, scistosità, faglie e fratture). L’esame dell’assetto strutturale dell’area e dello sviluppo dei sistemi di discontinuità si è basato sui rilievi di campagna e su una specifica analisi in foto aerea.

L’osservazione in foto aerea ha permesso di identificare in maniera veloce i principali sistemi di discontinuità che caratterizzano l’area di studio (tra quelle disponibili sono state scelte quelle del 1977 caratterizzate da poca copertura vegetale e riportate in Fig. 17) e di circoscrivere le diverse aree del bacino idrografico che presentano caratteristiche omogenee. Questa analisi è stata facilitata dalla frequente scarsa vegetazione presente nell’area che permette una visione dettagliata delle caratteristiche strutturali delle rocce.

Da questa figura si evince che i principali sistemi di discontinuità sono orientati NW-SE e NE-SW ed hanno inclinazioni elevate, spesso sub-verticali, come spesso osservato in questi settori della Sardegna. Si tratta di sistemi di discontinuità legati alla tettonica fragile tardo-varisica (sia estensionale che quella trascorrente). L’età di queste deformazioni si correla facilmente con la direzione dei principali corpi filoniani del basamento paleozoico di quest’area. Tuttavia, è noto che questi sistemi di faglie e fratture sono stati riattivati in tempi successivi, durante la tettonica trascorrente oligo-aquitana e quella estensionale burdigaliano-langhiana (Pasci 1997).

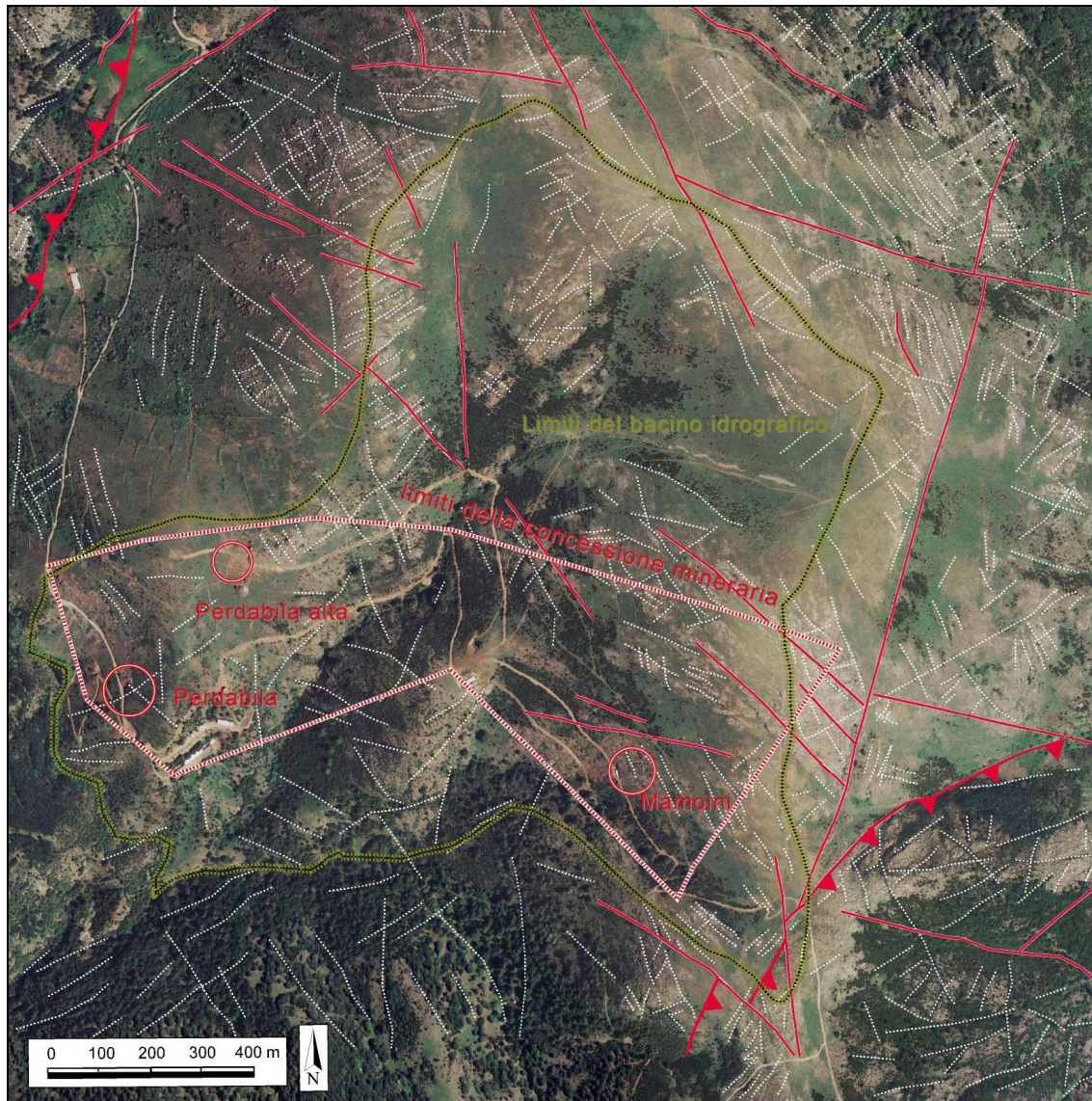


Fig. 17 – Schema dei principali sistemi di discontinuità rilevati da analisi in foto aerea (del 1977) ed integrati con rilievi sul terreno. In rosso, le faglie ed i sovrascorrimenti, in bianco i sistemi di discontinuità.

I dati acquisiti da analisi in foto aerea sono stati confermati sul campo dove i sistemi di discontinuità (faglie, fratture, scistosità) hanno mostrato analoghe giaciture (Fig. 18). Si tratta di strutture disgiuntive con spaziatura centimetrico-decimetrica, spesso con modeste aperture e con frequenti riempimenti di materiale argilloso. In generale, l'ammasso roccioso è caratterizzato da un medio grado di fratturazione.

2.2.4 MINERALIZZAZIONI DELL'AREA DI GIACURRU

Il giacimento di minerario di Giacuru, oggetto di recenti studi strutturali e mineralogici (Meloni, Oggiano et al. 2017), è il più grande Fe-skarn della Sardegna, infatti, le recenti esplorazioni minerarie hanno stimato diversi milioni di tonnellate di magnetite con subordinata ematite (cfr. § 1.2). Solo localmente, lo Zn domina sul Fe sotto forma di sfalerite e sono presenti anche tracce di galena (Stara, Rizzo et al. 1999).



Fig. 18 - Metarenarie con sistemi di discontinuità a spaziatura pluricentimetrica: uno immerge di 50° verso NNE (scistosità che traspone la stratificazione); un altro, diretto NE-SW (fratture), è sub-verticale e ben spaziato. Affioramento a sud di "Perdabila".

Questi skarn si sono formati principalmente attraverso l'interazione tra fluidi magmatici supercritici³ e la successione carbonatico-argilloscitosa siluriano-devoniana. Più raramente, fuori dall'area di studio, sono sviluppati a spese delle metandestiti (fatto abbastanza comune all'interno di un'aureola termometamorfica) o, talvolta, a spese delle metagrovacche della Formazione di Orroledu. La paragenesi e l'assortimento mineralogico (Meloni, Oggiano et al. 2017), oltre alla magnetite prevalente, comprende granato che ha in prevalenza una composizione di andradite-grossularia, con un contenuto molto basso di spessartina e piropo (1-2%). L'andradite prevale in prossimità di Zn-skarns, mentre la grossularia è onnipresente e invariabilmente associata alla magnetite. L'anfibolo è sempre actinolitico. Il pirossene è edenbergitte-diopside con piccole quantità di johannsenite. L'epidoto è generalmente localizzato nelle vene che tagliano in modo massiccio la magnetite ed è associato alla pirite. La zoisite è comune anche se l'allite non è rara. I minerali del gruppo dell'epidoto sono interpretati come retrogradi e probabilmente erano associati alla circolazione tardiva dei fluidi epitermali. Si stima che il granato di andradite e ricco di piropi si sia formato a temperature superiori a 500° C, mentre le associazioni di epidoto e pirite-pirrotina si siano sviluppate a temperature inferiori a 300° C. Lo skarn del giacimento minerario di Giacurru è localizzato a nucleo del duomo dell'antiforme di Giacurru (Fig. 15 e Fig. 16), che sembra aver funzionato da trappola strutturale per i fluidi, analogamente ad altre aree nel basamento varisco della Sardegna meridionale (Funedda, Naitza et al. 2011).

2.3 MORFOLOGIA E PENDENZE NELL'AREA DI "GIACURRU"

L'attuale assetto morfologico del Sarcidano-Barbagia e della zona di intervento è il risultato di complessi e articolati fenomeni tettono-strutturali e di modellazione superficiale che hanno interessato questo settore della Sardegna, soprattutto durante il Terziario e il Quaternario. Tuttavia, l'evoluzione geomorfologica dell'area è sicuramente influenzata anche dalle caratteristiche del substrato, costituito principalmente da rocce paleozoiche fortemente strutturate. La strutturazione pervasiva delle rocce paleozoiche deriva, come

³ Un fluido è in uno stato supercritico quando si trova in condizioni di temperatura superiore alla temperatura critica e di pressione superiore alla pressione critica. In queste condizioni, le proprietà del fluido sono in parte analoghe a quelle di un liquido (ad esempio la densità) ed in parte simili a quelle di un gas (ad esempio la viscosità).

detto, dagli effetti delle fasi collisionali ed estensionali dell'orogenesi varisica, mentre i caratteri fisiografici, la riattivazione dell'eredità strutturale e l'assetto geologico generale derivano anche dagli effetti della tettonica fragile "alpina" s.l., che ha svolto un ruolo importante nel modellamento anche di quest'area della Sardegna, riattivando le precedenti discontinuità orientate circa NE-SW, NW-SE e N-S che, come detto, sono le principali e più diffuse dell'area (Fig. 17).

L'area della concessione mineraria di "Giacurru" è caratterizzata da estesi affioramenti di rocce terrigene paleozoiche intensamente deformate e interessate da metamorfismo regionale e, in buona parte, anche da quello termico. La morfologia risultante è quindi quella tipica delle rocce metamorfiche, cioè con forme generalmente dolci e arrotondate, ampie dorsali, qualche settore sommitale sub-pianeggiante (Fig. 19), valli incise e un reticolo idrografico contorto e spesso incassato, con prevalente andamento circa N-S, NE-SW e NW-SE, come quello delle principali e più evidenti discontinuità dell'area (cfr. § 2.2.3 e Fig. 17).

I versanti, con pendenze di media acclività, sono tipicamente convessi, con inclinazioni che si accentuano verso i fondovalle. Localmente sono presenti morfologie accidentate, sia lungo le creste che nei versanti, in corrispondenza di affioramenti particolarmente resistenti all'erosione; sostanzialmente quelli interessati da metamorfismo termico che determina una notevole compattezza dell'ammasso roccioso ed una conseguente maggiore resistenza all'erosione. Le cime maggiori superano di poco i 1150 m s.l.m. (M.te Sa Scova, Fig. 1, indicato come M.te Carraxiu sul CTR, in Fig. 6); quelle dei cantieri superano i 900 m s.l.m..

Una evidente condizione morfologica che si rileva in maniera diffusa è la complessiva esposizione all'erosione che si manifesta attraverso una generale assenza di significativi depositi di copertura.



Fig. 19 – Caratteri morfologici dell'area di "Giacurru" con versanti mediamente acclivi e spesso privi di vegetazione.

In Fig. 20 sono indicate due immagini 3D dell'area di concessione mineraria "Giacurru" che danno una visione della morfologia dell'area: il DEM (in alto) e quella elaborata da Google Earth (sotto), dove, in alto a destra, è visibile il vicino abitato di Gadoni.

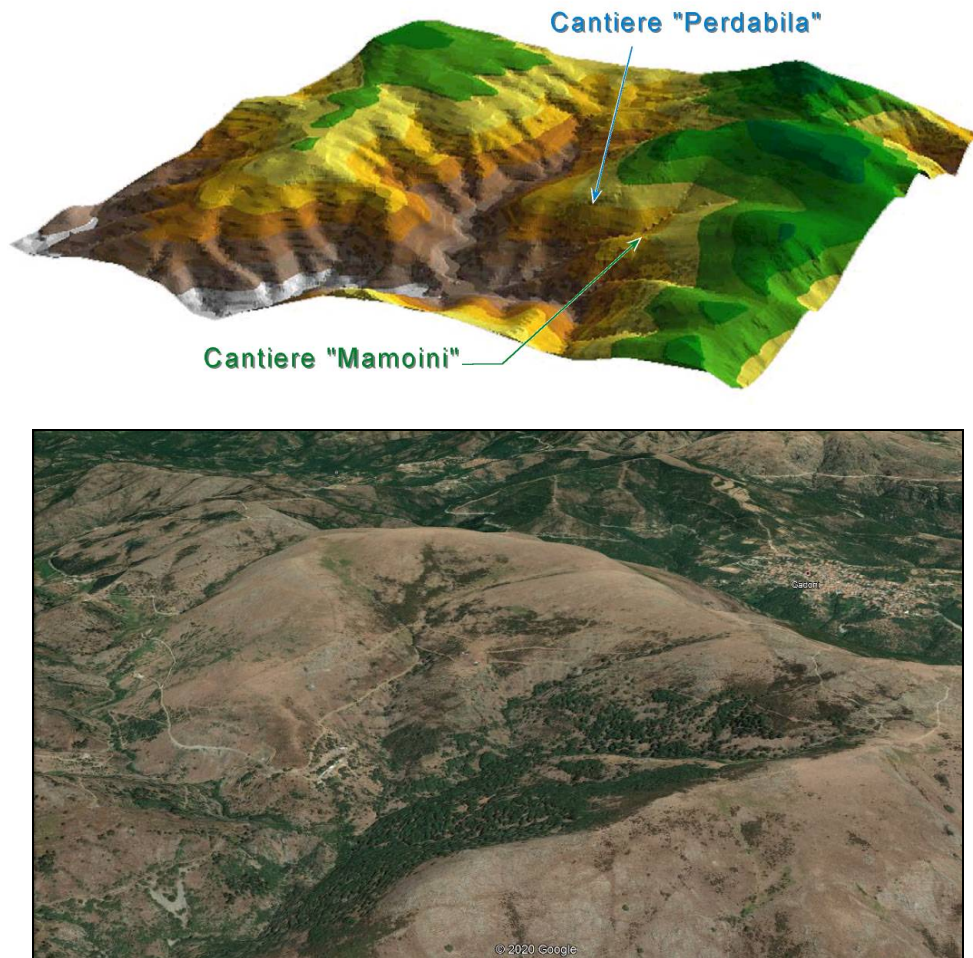


Fig. 20 - Immagini 3D dell'area di concessione mineraria "Giacurru" (in alto il DEM, in basso l'elaborazione da Google).

Dalla carta delle pendenze (Fig. 21) si evince chiaramente che la zona di concessione "Giacurru" è caratterizzata per la maggior parte da aree con pendenza inferiore al 40% (aree gialline e violette) e solo limitate zone appartengono alla classe di pendenze comprese tra 40 e 60% (aree in viola-rosso). Aree con classe di pendenza tra il 60 e l'80% sono occasionali e circoscritte. Non esistono infine aree con pendenza maggiore. Si tratta quindi, in buona sostanza, di versanti con acclività generalmente modesta e media.

Dalla stessa figura si evince che il cantiere "Mamoini" è caratterizzato da pendenze inferiori al 40%; nel cantiere "Perdabila" le pendenze si mantengono quasi sempre al di sotto del 40% e solo occasionalmente (puntini rossi in Fig. 21) si superano questi moderati valori in pochi punti.

Nell'area di concessione ed in quella circostante non sono state riscontrate evidenze di instabilità dei versanti o fenomeni di dissesto franoso in atto o passati (recenti o antichi). Infatti, sebbene le rocce siano caratterizzate da superfici di scistosità più o meno pervasive (che conferiscono quindi una certa fissilità alla compagine rocciosa) e da vari sistemi di fratturazione, l'ammasso roccioso si presenta quasi sempre compatto e dotato di buone caratteristiche meccaniche (soprattutto le rocce termo-metamorfiche che ospitano le mineralizzazioni ferrose e oggetto di coltivazione).

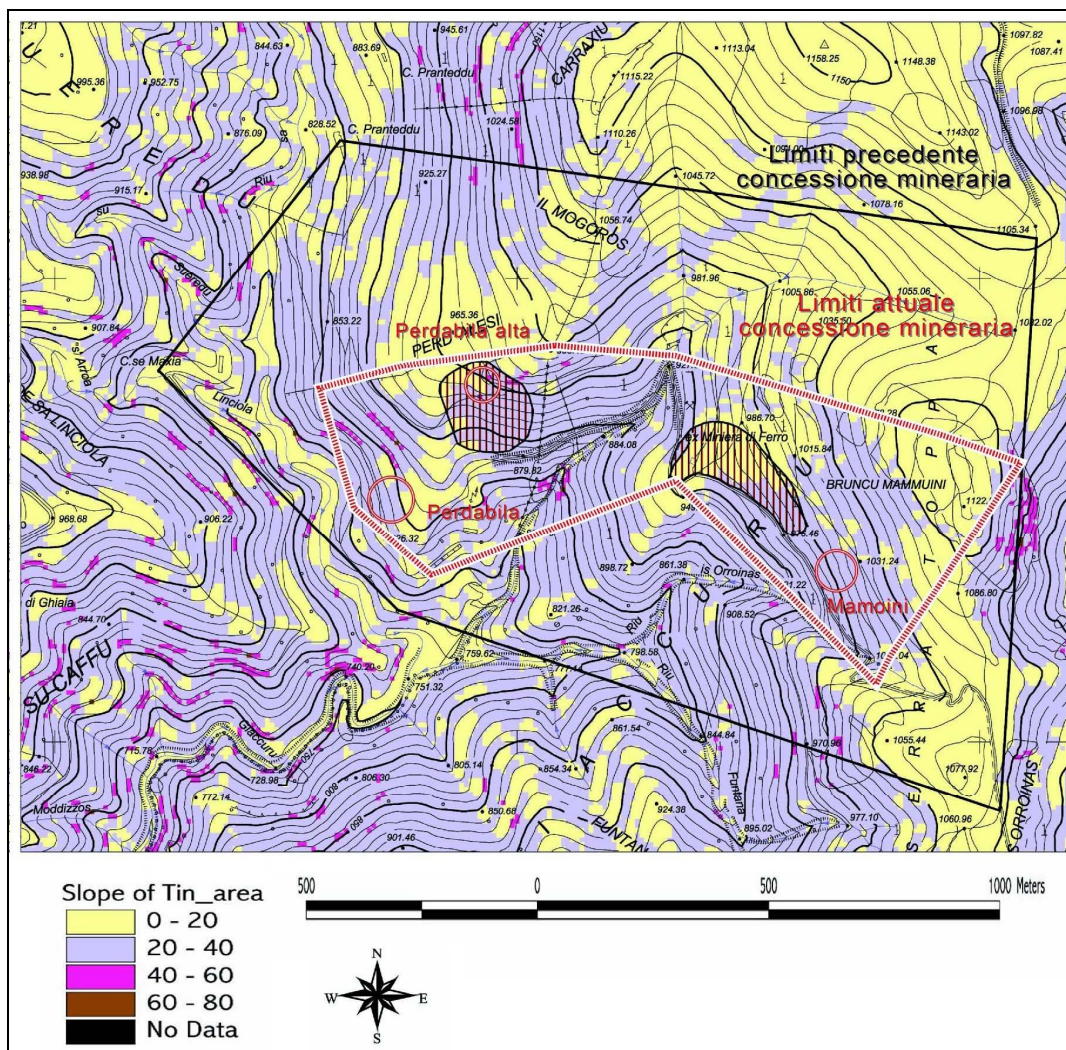


Fig. 21 - Carta delle pendenze percentuali dell'area di concessione mineraria "Giacurru". Si tratta di valori modesti e medi.

Inoltre, nell'area di concessione la giacitura della scistosità, che sul terreno è la superficie più evidente e maggiormente penetrativa, è quasi sempre inclinata verso i quadranti settentrionali o nord-orientali con inclinazioni che di norma variano da 30° a 60° (Fig. 6). Ciò è in accordo con la struttura generale della catena varisca e di questa parte del "Duomo di Giacurru" e pertanto, essendo i versanti della concessione mineraria pendenti verso sud e sud-ovest, queste superfici si trovano a reggiopoggio sui versanti. I vari sistemi di fratturazione hanno giaciture sub-verticali, quindi influenzano marginalmente la stabilità dei versanti poco acclivi dell'area di intervento.

Le evidenze di stabilità dei versanti sono valide, anche per quasi tutti i pendii caratterizzati da sottili spessori di discariche minerarie che, nel complesso hanno estensione molto limitata. Questi accumuli, notoriamente più instabili anche per la mancanza pressochè totale di copertura vegetale e per la presenza di materiali sciolti, generalmente non mostrano evidenze di instabilità e si adagiano sui versanti secondo il loro naturale angolo di riposo (Fig. 3). Comunque, nei pochi casi in cui fossero presenti fenomeni di dissesto a

carico di questi depositi antropici, saranno previsti interventi di messa in sicurezza; inoltre, l'attività di estrazione dei due cantieri di "Perdabila" e di "Mamoini" determinerà accumuli solo temporanei nei piazzali di stoccaggio adibiti allo scopo e non creerà alcun impatto negativo sulla stabilità delle preesistenti discariche che si trovano in questo stato fin dalla cessazione della precedente attività estrattiva.

2.4 CARATTERI IDROGRAFICI DELL'AREA DI GIACURRU

In generale, i corsi d'acqua di questa zona della Barbagia-Sarcidano, ed in particolare anche quelli dell'area di interesse, hanno carattere torrentizio con portate medie generalmente modeste, anche se periodicamente si assiste a piene non trascurabili. Queste caratteristiche idrologiche dipendono sia da cause climatiche che geologiche. Infatti, la piovosità dell'area è spesso intensa, ma concentrata in brevi periodi di tempo e il territorio presenta una morfologia con pendenze dei versanti generalmente medie che determinano tempi di corrivazione molto brevi. Inoltre, l'infiltrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche è molto modesta, in virtù delle scarse caratteristiche di permeabilità delle rocce (vedi oltre) e della scarsa copertura vegetale (Fig. 19 e Fig. 20). Infatti, in molte parti del territorio in studio sono presenti affioramenti rocciosi che evidenziano la mancanza di una copertura pedologica in grado di trattenerne le acque, permettendone l'infiltrazione e sottraendole allo scorrimento superficiale.

Alcuni corsi d'acqua (ad esempio il Rio Giacurru) presentano un caratteristico andamento a meandri, dovuto a processi di erosione differenziale lungo discontinuità particolarmente sviluppate o litologie più facilmente erodibili. In generale, tutto il reticolo idrografico è fortemente controllato dalle strutture tettoniche (sia fragili che duttili).

Come indicato nel prossimo § 2.4.1, il normale deflusso delle acque superficiali non verrà condizionato dai cumuli di materiale stoccato che saranno protetti da idonee barriere di pietrisco. Questa soluzione tecnica permetterà di contrastare fortemente il riversamento di materiali nel reticolo idrografico, evitando il conseguente aumento del carico solido da parte delle acque di ruscellamento. Allo stesso scopo è prevista la realizzazione di piccole vasche di decantazione collegate in serie che raccoglieranno le canalette di regimazione di tutte le acque dei cantieri (acque di fuoriuscita dalle gallerie minerarie, acque piovane, acque dei piazzali di stoccaggio, etc.). Pertanto, le attività di estrazione non interferiranno sulle dinamiche delle acque superficiali attuali.

2.4.1 IDROGRAFIA E DEPOSITO DEI MATERIALI ESTRATTI

Il materiale che sarà depositato presso i due cantieri di estrazione durante l'attività mineraria sarà di volumetria limitata e quasi esclusivamente riferibile al materiale mineralizzato ed al terreno vegetale asportato dalle aree esterne di messa in sicurezza. Oltre alla limitata volumetria, i depositi stoccati saranno tali solo temporaneamente. Infatti, come specificato anche nel progetto di coltivazione e di ripristino ambientale, il programma dei lavori di messa in sicurezza prevede lo sbancamento di aree

limitate (sbancamento a fasi successive) in un arco di tempo ragionevolmente breve. Il ripristino ambientale di queste aree limitate sarà immediatamente successivo alla fine delle attività di sbancamento di quelle aree e precedente alle attività in altre aree limitrofe. In questo modo, la quantità di materiale accumulato rimarrà sempre contenuta e presente in un arco di tempo relativamente piccolo. Inoltre, come indicato in precedenza lo spessore di suolo è spesso molto modesto, o in certi casi assente. Di conseguenza, pure la volumetria dei materiali accumulati sarà modesta. Anche il materiale mineralizzato sarà accumulato solo temporaneamente in un apposito spiazzo prima di essere frantumato ad una pezzatura idonea e caricato sugli automezzi per l'invio a destinazione.

In ogni caso, i cumuli del terreno vegetale asportato e poi stoccato saranno circoscritti da barriere di pietrame grossolano in modo da limitare l'azione di dilavamento delle acque meteoriche. Si ricorda infine, che l'area dei cantieri non si trova in corrispondenza di compluvi e che pertanto i cumuli di questi materiali stoccati non interromperanno il naturale deflusso delle acque superficiali.

3 CARATTERI IDROGEOLOGICI DELL'AREA DI GIACURRU

I corsi d'acqua dell'area hanno, come detto, carattere torrentizio, determinato dalla scarsità delle precipitazioni durante buona parte dell'anno: sono praticamente asciutti nella stagione estiva e spesso soggetti a fenomeni di piena in occasione di piogge brevi, ma intense. La distribuzione degli afflussi meteorici nell'arco dell'anno segue l'andamento tipico del clima mediterraneo e la stagione piovosa è irregolare e variabile. Le prime piogge dopo la siccità estiva si verificano nei mesi di settembre-ottobre, con caratteristiche di acquazzoni autunnali, mentre il normale periodo piovoso si estende da novembre-dicembre ad aprile, interrotto quasi sempre da periodi asciutti che generalmente iniziano in gennaio ed hanno nel mese una breve durata, ma che a volte si prolungano sino a febbraio ed oltre.

Inoltre, i versanti dell'area sono mediamente acclivi in buona parte del territorio (Fig. 19, Fig. 20 e Fig. 21). Queste caratteristiche climatiche e morfologiche dell'area di studio, oltre alla natura molto poco permeabile del terreno e lo stato di degrado del suolo, sfavoriscono decisamente e nel complesso, l'infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo. Infatti, a causa dell'acclività dei pendii e della mancanza della vegetazione arborea, il terreno vegetale manca quasi del tutto su molti rilievi. Questo fatto è particolarmente evidente in panorama (Fig. 19), in foto aerea (Fig. 17 e Fig. 20) e spesso sul terreno, dove c'è una grande continuità di affioramenti rocciosi. Le principali cause del degrado del suolo dell'area sono dovute ad un regime pluviometrico caratterizzato da elevata intensità e da una concentrazione stagionale delle piogge, da un substrato roccioso molto poco permeabile, da versanti mediamente acclivi, da un eccesso di pascolamento anche in aree non adatte al pascolo e da ripetuti incendi che determinano la rarefazione della copertura vegetale esponendo il suolo all'erosione. La

distruzione della vegetazione modifica sostanzialmente il processo di infiltrazione delle acque meteoriche e il regime dei deflussi superficiali e sotterranei.

La bassissima permeabilità media delle rocce del bacino idrografico e idrogeologico dell'area, l'acclività dei versanti, la concentrazione stagionale delle piogge e la mancanza di una copertura pedologica e vegetale determinano per queste aree deflussi unitari che si possono classificare fra i maggiori di tutti i corsi d'acqua della Sardegna. Per contro, i valori di infiltrazione sono tra i più bassi. Per questi motivi, non ha alcun senso la stima del bilancio idrogeologico dell'area.

3.1.1 CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ DELLE ROCCE DELL'AREA DI GIACURRU

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area sono una diretta conseguenza dell'evoluzione geologico-strutturale del territorio che, come visto in precedenza, è molto lunga ed articolata. Nonostante ciò, questi caratteri possono essere schematizzati, con buona approssimazione, considerando che si tratta quasi esclusivamente di rocce paleozoiche metamorfiche terrigene caratterizzate da permeabilità per fessurazione e da subordinati ed esigui spessori di rocce sedimentarie quaternarie con permeabilità per porosità. Le caratteristiche di permeabilità sono discontinue anche all'interno di questi due gruppi di rocce. Infatti, le rocce metamorfiche variano la loro permeabilità in funzione dell'importanza delle strutture disgiuntive (fratture, faglie, fasce cataclastiche, superfici di stratificazione e di scistosità, giunti di varia origine, etc.), della loro spaziatura, rugosità, riempimenti ed apertura e mostrano valori di permeabilità generalmente da molto bassi a bassi. Anche nei depositi quaternari la permeabilità può variare repentinamente, in relazione all'assortimento granulometrico, quantità di matrice ed alla compattazione. Sono presenti anche litologie carbonatiche (siluro-devoniche), ma si tratta, come detto, di corpi lenticolari, spesso compatti, senza una continuità verticale e laterale e spesso parzialmente silicizzati che quindi non sono interessati da importanti fenomeni di natura carsica.

Tralasciando i corpi lenticolari calcarei ed i depositi superficiali che affiorano molto limitatamente e presentano spessori fino a qualche metro, lo schema di circolazione delle acque sotterranee profonde è riconducibile ad un complesso idrogeologico, di tipo fessurato (impostato sulle metarenarie, metapeliti e metasiltiti paleozoiche), in parziale comunicazione con le modestissime formazioni idrogeologiche superficiali (impostate sugli esigui sedimenti quaternari).

Il complesso idrogeologico delle metamorfite terrigene è contraddistinto da una permeabilità per fessurazione; i deflussi idrici sotterranei sono dunque caratterizzati da un forte controllo strutturale, analogamente a quanto detto prima per i deflussi superficiali. Si possono distinguere le discontinuità legate alla tettonica fragile (sia varisica che quella successiva) e quelle riconducibili a stratificazione e scistosità. In relazione alle prime, l'ammasso roccioso è relativamente eterogeneo ed anisotropo. Infatti, il sistema di discontinuità è fitto e ben sviluppato solo localmente, in corrispondenza delle fasce di maggior deformazione fragile o nelle aree di intersezione tra di esse. Come discusso in precedenza nel § 2.2.3,

L'area di studio è contraddistinta da importanti strutture fragili, ripetutamente riattivate e con cinematiche differenti, che si caratterizzano per fasce di deformazione discrete. Ciò implica che lo sviluppo delle discontinuità non è omogeneo nell'area di studio. Sul terreno le rocce talvolta mostrano che i caratteri di spaziatura e di apertura delle fratture sono molto variabili, anche nell'ambito di uno stesso affioramento. Inoltre, la circolazione idrica sotterranea all'interno di queste fessure è favorita nella parte più superficiale dove le discontinuità sono più aperte per fenomeni di decompressione, fino alla profondità di una cinquantina di metri o al massimo fino ad un centinaio di metri. Al di sotto di questa profondità, il carico litostatico tende ad anastomizzare le fessure, chiudendole e limitando ancora maggiormente la circolazione sotterranea delle acque. Ciò avviene soprattutto se le discontinuità sono poco o mediamente inclinate. Per questo tipo di discontinuità è possibile stabilire un *trend* preciso che riflette possibili direzioni di deflusso sotterraneo (cfr. § 2.2.3 e Fig. 17).

Nel caso delle discontinuità più penetrative (come è il caso delle superfici di stratificazione e della scistosità principale nelle metamorfiti), le fessurazioni sono quasi sempre sigillate dalla presenza di materiale filladico o dai suoi prodotti argillosi di alterazione. Negli ammassi rocciosi delle metamorfiti terrigene a grana fine, caratterizzate da un comportamento deformativo prevalentemente duttile, le superfici di scistosità sono inoltre deformate da strutture plicative polifasiche (cfr. § 2.2.2) che tendono ad omogeneizzare nello spazio l'ammasso roccioso, spesso senza lo sviluppo un *pattern* ben definito e quindi difficilmente estrapolabile in dettaglio nel sottosuolo (Fig. 22).

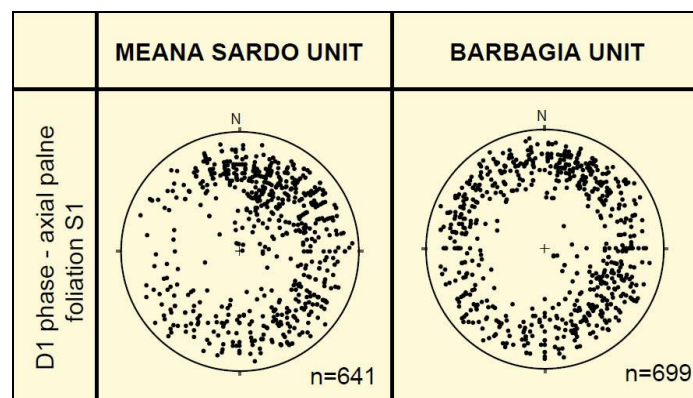


Fig. 22 – Proiezione stereografica (reticolo equiareale, emisfero inferiore) dei poli della superficie di scistosità di piano assiale principale nelle due unità tettoniche dell'area attorno alla concessione mineraria Giacurru (Meloni, Oggiano et al. 2017). Da questi dati si evince che queste superfici sono fortemente disperse nello spazio, come tipico delle aree con strutture a "Duomi e Bacini".

Questo complesso metamorfico terrigeno ha uno spessore considerevole (superiore a 300 m), è limitato inferiormente dal substrato granitoide (Fig. 16) ed è interessato da una circolazione sotterranea molto scarsa, che solo in corrispondenza di discontinuità di particolarmente importanti può divenire non trascurabile. Tali discontinuità non sono però presenti entro l'area di concessione e nel suo immediato intorno (Duomo di Giacurru), ma sono ubicate nei settori nord-occidentale e sud-orientale

(sovrascorrimenti dell'Unità della Barbagia) e soprattutto a tetto delle rocce dell'area di concessione, ossia in posizione strutturale tale da non essere coinvolti dai lavori minerari (cfr. Fig. 16).

Queste caratteristiche di permeabilità molto bassa sono tipiche delle rocce metamorfiche con questa composizione, come comunemente riportato nella letteratura geologica e come evidenziato anche dalla mancanza di pozzi in tutta l'area di studio. I dati sulla permeabilità di questo ammasso roccioso, sulla base di correlazioni con analoghe formazioni in simili contesti, indicano valori in genere compresi tra 10^{-5} e 10^{-6} cm/s, ossia molto bassi.

Anche in corrispondenza dei corpi filoniani, le osservazioni in affioramento indicano condizioni di fratturazione disomogenee, con affioramenti sia poco fratturati che più o meno mediamente fessurati. In generale, i filoni hanno un minor grado di fratturazione (rispetto alle metamorfiti), ma i valori di permeabilità sono sempre bassi, nell'ordine dei 10^{-4} - 10^{-5} cm/s.

3.1.2 SORGENTI DELL'AREA DI GIACURRU

Questa situazione di generale scarsa infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo, legata alle caratteristiche climatiche e morfologiche del territorio esposte nei paragrafi precedenti, e la bassa permeabilità delle rocce (che ne condiziona infiltrazione e mobilità sotterranea) sembra confermata anche dalla totale assenza di significative emergenze sorgive nell'area, salvo piccole ed effimere sorgenti attive solo contemporaneamente e/o subito dopo periodi di piovosità prolungata, nessuna delle quali è compresa entro i limiti della concessione mineraria in esame. Queste emergenze idriche naturali sono infatti ubicate nel settore dei versanti settentrionali di M.te Sa Scova (o M.te Carraxiu), peraltro a quote superiori rispetto a quelle dei cantieri. A queste emergenze naturali, poco significative e sicuramente temporanee e con portate molto modeste se non trascurabili, ben inferiori a 0,1 l/s, si aggiungono quelle scaturite dalla realizzazione di gallerie minerarie che hanno intercettato gli ammassi rocciosi fratturati, determinando fuoriuscite di quantità molto modeste di acqua dagli imbocchi delle stesse gallerie.

La presenza di discontinuità sub-verticali (fratture legate alla tettonica fragile tardo-varisica e terziaria) e mediamente inclinate e sub-orizzontali (giunti di stratificazione e superfici di scistosità principale) nelle rocce metamorfiche e magmatiche in un'area morfologicamente incisa da profonde valli determina circolazioni idriche sotterranee che difficilmente passano da un bacino idrografico ad un'altro. Questo implica che le effimere e piccole emergenze idriche hanno generalmente circuiti sotterranei molto corti, che sicuramente partono dallo stesso bacino idrografico. Ciò significa che i lavori minerari nell'area di concessione non potranno produrre modifiche nella struttura della circolazione idrica sotterranea se non negli immediati settori delle zone di intervento.

In altri casi, come detto, alcune emergenze idriche sono legate alla presenza delle gallerie minerarie. Si tratta di acque di stillicidio che percolano dalla volta e/o dalle pareti delle strutture minerarie in

corrispondenza delle maggiori discontinuità e che seguono lo sviluppo della galleria fino a fuoriuscire dalle zone di imbocco. Anche in questi casi, le portate osservate sono sempre molto modeste.

3.1.3 ACQUE SOTTERRANEE DELL'AREA DI "GIACURRU"

Secondo Gilbert Castany (2009), considerato uno dei più autorevoli esperti di idrogeologia, "*Un acquifero è una formazione idrogeologica permeabile che permette il deflusso significativo di una falda idrica sotterranea e la captazione di quantità apprezzabili d'acqua con mezzi economici*". Nel nostro caso, dunque, non si può parlare di presenza di acquiferi, visto quanto detto in precedenza sulle caratteristiche idrogeologiche delle formazioni dell'area di interesse. Mancano cioè condizioni di buona permeabilità, di deflussi sotterranei significativi e di possibili captazioni di quantità apprezzabili.

Le caratteristiche di circolazione idrica sotterranea dell'area di "Giacurru" dipendono sostanzialmente dalle scarse infiltrazioni di acque meteoriche nel sottosuolo (cfr. § 3) e dai caratteri di scarsa permeabilità delle rocce dell'area. Una infiltrazione non trascurabile nel sottosuolo è consentita solo in corrispondenza di quei limitati settori con discontinuità particolarmente sviluppate (fratture, faglie o fasce cataclastiche) ed in zone non particolarmente acclivi e con un minimo di copertura pedologica. Nell'area della concessione mineraria non sono presenti ne importanti coperture di suolo, ne importanti fasce di deformazione fragile. Le importanti fasce cataclastiche (o milonitiche) al contatto tra le unità tettoniche della Barbagia e di Meana Sardo immergono verso nord-ovest nel settore a nord-ovest della concessione e a sud-est nel settore a sud-est della concessione e quindi lungo i fianchi dell'antiforme di Giacurru (Fig. 16) dove è ubicata l'area di intervento. Di conseguenza, queste fasce cataclastico-milonitiche non hanno nessuna relazione, come detto, con la circolazione idrica sotterranea dell'area mineraria (cfr. Fig. 16).

Le acque sotterranee tendono a scorrere più o meno verticalmente lungo le fratture della roccia oppure, con lenti movimenti, lungo le stesse discontinuità mediamente inclinate per poi infiltrarsi in nuove fratture sub-verticali. In questo tipo di ammassi rocciosi i limiti dei bacini idrografici coincidono con quelli dei bacini idrogeologici; ciò significa che la loro ricarica avviene quindi senza apporti da settori esterni e che gli spartiacque sotterranei corrispondono, in pianta, sostanzialmente a quelli morfologici. Essendo il bacino idrografico dell'area in oggetto estremamente circoscritto (meno di 2 km²) (Fig. 23) e le infiltrazioni quasi nulle, ne consegue che gli apporti idrici nel sottosuolo sono veramente trascurabili. A ciò si aggiunge, come già asserito, un lentissima circolazione sotterranea, in relazione alla bassissima permeabilità.

In generale quindi, la permeabilità di buona parte del settore dell'area di studio è di basso o bassissimo grado e le modestissime circolazioni delle acque sotterranee che si sviluppano in queste rocce paleozoiche sono superficiali e molto discontinue, spesso senza immediata comunicazione tra i diversi settori. Pertanto, nell'area di studio non è presente alcun acquifero di una certa rilevanza o importanza produttiva e nell'area non sono presenti pozzi di alcun uso. Di conseguenza, le modificazioni che le opere minerarie

in progetto indurranno sulla circolazione idrica sotterranea saranno di entità quasi nulla e quindi assolutamente trascurabili e non creeranno impatti negativi apprezzabili sulla quantità e sulla qualità delle acque sotterranee.

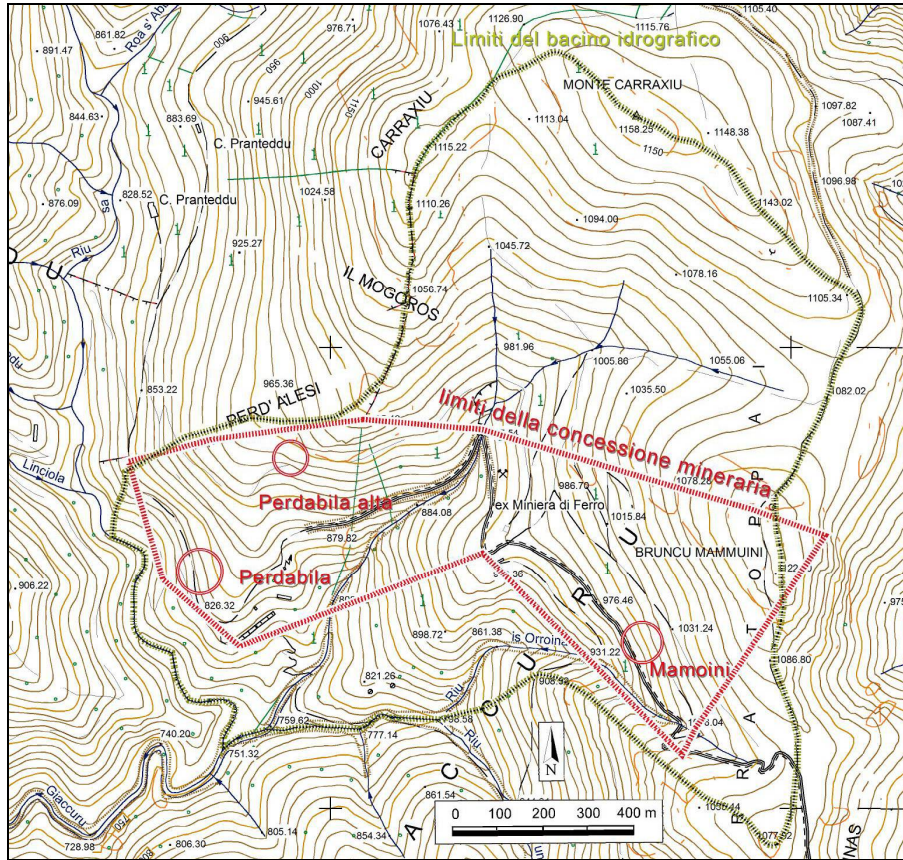


Fig. 23 – Delimitazione del bacino idrografico (esteso meno di 2 km²) dell'area di concessione mineraria "Giacurru".

Anche durante le fasi di cantiere, gli impatti legati sostanzialmente alle operazioni di scavo, non creeranno impatti sulla circolazione e sul deflusso idrico sotterraneo; e riguarderanno essenzialmente lo stillicidio delle acque che percoleranno dalla volta e/o dalle pareti dei fronti di scavo in corrispondenza delle maggiori discontinuità. Anche in questi casi, le portate saranno sempre molto modeste e facilmente gestibili. In ogni caso, durante le operazioni di cantiere, si suggerisce di monitorare la quantità di acque drenate dalle attività di scavo.

4 CONCLUSIONI

Nell'area della concessione mineraria "Giacurru" è presente un'importante mineralizzazione a magnetite prevalente (cfr. § 1.2 e 2.2.4), già parzialmente sfruttata in passato. Gli studi e le indagini effettuati a suo tempo per la valutazione del giacimento sono stati confrontati con nuovi studi ed indagini, in relazione a

nuove tecnologie che sono in grado di valorizzare il giacimento residuo oggetto di interesse. Nell'area della concessione mineraria sono presenti due cantieri: quello di "Mamoini" e quello di "Perdabila" (quest'ultimo suddiviso in due siti: "Perdabila" e "Perdabila alta") che complessivamente contengono quantità di minerale accertato superiori a 3 milioni di tonnellate, e superiori a 6 milioni sono quelle probabili. Queste quantità e questi tenori sono tali da poter soddisfare un'ampia richiesta di mercato, sia in termini di qualità che di quantità.

La geometria e l'assetto del giacimento di Giacurru sono fortemente condizionati dalla complessa evoluzione geologica e strutturale che le rocce dell'area di concessione hanno subito durante il Paleozoico (cfr. § 2 e 2.2). Questo complesso assetto geologico-strutturale si riflette in misura determinante anche sulle caratteristiche idrogeologiche dell'area (cfr. § 3). Infatti, essendo le rocce dell'area in esame sostanzialmente riferibili a metamorfiti terrigene di basso grado (metarenarie, metasiltiti, filladi e metargilliti), le loro caratteristiche idrogeologiche dipendono soprattutto dalla presenza, caratteristiche e diffusione delle strutture deformative fragili, riconducibili a vari sistemi di discontinuità, con differente giacitura.

Nell'area circostante la concessione mineraria affiorano due unità tettoniche dell'edificio a falde della catena collisionale varisica (l'Unità della Barbagia e quella di Meana Sardo). La prima appartiene alle cosiddette "Falde interne", sovrapposte alle "Falde esterne" di cui l'Unità di Meana Sardo rappresenta quella geometricamente superiore (cfr. § 2.1.2). Si tratta dunque di strutture di importanza regionale che hanno sviluppato intense deformazioni polifasiche (pieghe isoclinali rovesciate con associata scistosità penetrativa di piano assiale e blastesi sin-tettonica, importanti traslazioni lungo fasce cataclastico-milonitiche, etc.). La successione stratigrafica comprende formazioni metamorfiche di età compresa tra il Cambriano ed il Devoniano (cfr. § 2.2.1). Su queste rocce metamorfiche si sono intrusi corpi intrusivi granitoidi, filoni e si sono messe in posto le mineralizzazioni di nostro interesse. Sono poi presenti esigui e limitati spessori di depositi quaternari (depositi di versante e depositi di discarica mineraria, testimoni della precedente attività mineraria).

Dal punto di vista morfologico (cfr. § 2.3), l'area di concessione mineraria è caratterizzata da versanti con media acclività, con una copertura pedologica e vegetale assai scarsa che sfavoriscono fortemente l'infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo. Ad ampie zone di roccia affiorante o con scarsa presenza di suoli e spesso prive di vegetazione, si affiancano aree più circoscritte costituite da macchia e raramente da bosco. Nel settore a sud-ovest della zona di concessione è presente un'area di rimboschimento a pini che non sarà interessata dalle attività estrattive e che si trova oltre il Rio Mascus. Di conseguenza, la copertura boschiva, peraltro discontinua e sporadica nelle aree adiacenti ai cantieri, non sarà coinvolta o danneggiata dalle attività estrattive. Ulteriori elementi che non facilitano l'infiltrazione idrica nel sottosuolo sono i regimi di piovosità (intensi e brevi) e, soprattutto, le caratteristiche di bassa o bassissima permeabilità delle rocce.

Dall'esame delle caratteristiche stratigrafiche, strutturali, morfologiche, climatiche, pedologiche e idrogeologiche dell'area di intervento e di un suo idoneo intorno, è stato possibile stabilire che l'area di

studio è contraddistinta da deflussi superficiali unitari che si possono classificare fra i maggiori di tutti i corsi d'acqua della Sardegna e, per contro, da valori di infiltrazione tra i più bassi.

Lo studio idrogeologico nell'area di intervento delle attività minerarie previste identifica un modestissimo sistema di circolazione idrico sotterraneo impostato su rocce metamorfiche terrigene più o meno fratturate con valori bassi o molto bassi di permeabilità, localmente sormontato da una esigua e molto circoscritta coltre di depositi di versante con spessori di qualche metro.

Nonostante la complessa ed articolata evoluzione geologico-strutturale (cfr. § 2.2.2), gli ammassi rocciosi dell'area in esame hanno un grado medio di fratturazione (cfr. § 2.2.3), con discontinuità non molto pervasive (spaziatura decimetrica), non particolarmente aperte e spesso con riempimenti di materiale argilloso. Le principali strutture tettoniche (ossia le fasce cataclastico-milonitiche sviluppate durante la messa in posto dell'importante edificio a falde) immergono verso nord-ovest nel settore a nord-ovest della concessione e a sud-est nel settore a sud-est della stessa e quindi lungo i fianchi dell'antiforme di Giacurru (Fig. 16) dove è ubicata l'area di intervento. Di conseguenza, queste fasce cataclastico-milonitiche (potenzialmente più permeabili) non hanno nessuna relazione con la circolazione idrica sotterranea dell'area mineraria.

In definitiva, i dati sulla permeabilità di questo ammasso roccioso, sulla base di correlazioni con analoghe formazioni in simili contesti, indicano valori in genere compresi tra 10^{-5} e 10^{-6} cm/s, ossia molto bassi.

Le acque meteoriche che cadono su queste rocce metamorfiche (dopo aver subito il processo di evotraspirazione) tendono quindi ad essere, per la quasi totalità, drenate dal reticolo idrografico superficiale, poiché come detto, l'infiltrazione è fortemente inibita, motivando quindi gli alti valori di deflusso superficiale. La bassa o bassissima permeabilità di questo acquifero è essenzialmente legata alla presenza di superfici di scistosità e di sistemi di fratture sub-verticali con orientazioni differenti, spaziatura e frequenza variabile, che determina in generale una circolazione di acque sotterranee molto limitata, discontinua, complessa e non facilmente schematizzabile nel dettaglio.

L'assetto idrogeologico descritto è localmente complicato dalla presenza di gallerie minerarie che presentano uno sviluppo sub-orizzontale nell'ordine di un centinaio di metri e che interferiscono limitatamente con le vie di drenaggio delle acque sotterranee. Si tratta sostanzialmente di acque di stillicidio che fuoriescono dalle volte o dalle pareti delle strutture minerarie sotterranee lungo le maggiori discontinuità. Nonostante ciò, le emersioni idriche dalle gallerie minerarie, osservate durante i sopralluoghi effettuati nell'area di concessione (versanti meridionali), sono sempre state di modestissima entità. Le uniche emergenze idriche naturali della zona, peraltro sicuramente effimere (perché connesse a circuiti sotterranei molto corti) e molto modeste, sono ubicate nel settore settentrionale del M.te Sa Scova (M.te Carraxiu). Tutte queste caratteristiche discusse indicano che nel nostro caso non si può parlare della presenza di alcun acquifero: mancano infatti condizioni di buona permeabilità, di deflussi sotterranei significativi e di possibili captazioni di quantità apprezzabili.

In queste condizioni ed in questo tipo di ammassi rocciosi con circuiti sotterranei "a rete", i limiti dei bacini idrografici coincidono con quelli dei bacini idrogeologici; ciò significa che la loro ricarica avviene quindi senza apporti da settori esterni e che gli spartiacque sotterranei corrispondono, in pianta, sostanzialmente a quelli morfologici. Il bacino idrografico sotteso all'area della concessione mineraria è molto circoscritto (meno di 2 km²) ed essendo le infiltrazioni quasi nulle, ne consegue che gli apporti idrici nel sottosuolo sono veramente trascurabili. A ciò si aggiunge, come già asserito, un lentissima circolazione sotterranea, in relazione alla bassa/bassissima permeabilità.

In conclusione, gli impatti che le attività ed i lavori di coltivazione previsti nell'ambito della concessione mineraria "Giacurru" avranno sull'equilibrio idrodinamico delle acque sotterranee saranno, se non nulli, trascurabili. Le scarse potenzialità e le altrettanto esigue volumetrie del sistema di flusso sotterraneo che interessa l'ammasso roccioso dell'area in esame sono infatti tali da non risentire di alcuna modifica del campo di flusso sotterraneo che dovesse essere originato dai lavori di coltivazione. A ciò si aggiunge la bassa e/o bassissima permeabilità delle rocce metamorfiche terrigene che implica un difficile e lento scorrimento sotterraneo con la conseguente possibilità di depurazione sotterranea. Anche dal punto di vista qualitativo tale impatto sarà del tutto insignificante, per due motivi fondamentali:

- 1) I lavori di coltivazione non andranno ad intersecare alcuna superficie freatica/piezometrica della falda. Pertanto, è da escludere lo sversamento diretto nella zona satura dell'ammasso roccioso di sostanze eventualmente pericolose per la qualità delle acque sotterranee.
- 2) Non esistono nelle vicinanze della concessione mineraria opere di captazione di acque sotterranee adibite ad uso idropotabile pubblico (o ad altro uso) che prelevano acque dal complesso metamorfico.

Tenuto conto, inoltre, che il tipo di attività di estrazione non prevede l'utilizzo di agenti di potenziale inquinamento e considerato che la circolazione idrica sotterranea è molto modesta, le acque del sottosuolo non potranno essere interessate da alcun fenomeno di inquinamento che dovesse eventualmente originarsi nel corso dei lavori di coltivazione.

Pertanto, gli impatti sulla matrice "acque sotterranee" generati dalle attività minerarie in progetto non solo saranno di poca rilevanza, ma si produrranno su un complesso idrogeologico di importanza pressoché nulla, considerata la bassissima permeabilità delle rocce e la modestissima infiltrazione delle acque meteoriche dovuta alle condizioni climatiche (piogge brevi e intense), alla morfologia (versanti mediamente acclivi e bacino idrografico molto circoscritto) ed alla mancanza in vasti settori di coperture pedologiche e vegetali. Gli unici sedimenti della zona in esame con una certa permeabilità (per porosità) hanno estensione molto limitata e con spessori molto modesti (fino a qualche metro). Inoltre, i volumi di acque sotterranee intercettati e drenati dalle opere e attività di scavo saranno insignificanti rispetto ai volumi complessivi (anch'essi sempre molto modesti).

5 BIBLIOGRAFIA

- Bosellini, A., & G. Ogniben (1968), *Ricoprimenti ercinici nella Sardegna centrale*: Annali dell'Università di Ferrara, v. 1, p. 1-15.
- Calvino, F. (1959), *Lineamenti strutturali del Sarrabus-Gerrei (Sardegna sud-orientale)*: Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, v. 81, p. 489-556.
- Carmignani, L., T. Cocozza, C. Ghezzi, P. C. Pertusati, & C. A. Ricci (1982), *Guida alla Geologia del Paleozoico Sardo*: Guide Reologiche Regionali: Roma, Società Geologica Italiana, 215 p.
- Carmignani, L., G. Oggiano, A. Funedda, P. Conti, & S. Pasci (2015), *The geological map of Sardinia (Italy) at 1:250,000 scale*: Journal of Maps. doi:10.1080/17445647.2015.1084544.
- Carmignani, L., P. C. Pertusati, S. Barca, R. Carosi, A. Di Pisa, M. Gattiglio, G. Musumeci, & G. Oggiano (1992), *Struttura della Catena Ercinica in Sardegna. Guida all'Escursione*: Siena, Gruppo Informale di Geologia Strutturale, 177 p.
- Carosi, R., & P. C. Pertusati (1990), *Evoluzione strutturale delle unità tettoniche erciniche nella Sardegna centro-meridionale*: Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 109, p. 325-335.
- Casini, L., S. Cuccuru, M. Maino, & G. Oggiano (2015), *Structural map of Variscan northern Sardinia (Italy)*. Journal of Maps, 11(1), p. 75-84.
- Casini, L., & G. Oggiano (2008), *Late orogenic collapse and thermal doming in the northern Gondwana margin incorporated in the Variscan Chain: A case study from the Ozieri Metamorphic Complex, northern Sardinia, Italy*: Gondwana Research, v. 13, p. 396-406.
- Castany, G. (2009), *Idrogeologia - Principi e metodi*. Dario Flacciovio editore.
- Conti, P., L. Carmignani, N. Cerbai, A. Eltrudis, A. Funedda, & G. Oggiano (1999), *From thickening to extension in the Variscan belt - kinematic evidence from Sardinia (Italy)*: Terra Nova, v. 11(2-3), 93-99. doi:10.1046/j.1365-3121.1999.00231.
- Conti, P., L. Carmignani, & A. Funedda (2001), *Changing of nappe transport direction during the Variscan collisional evolution of central-southern Sardinia (Italy)*. Tectonophysics, v. 332, p. 255-273.
- Corradini, C., & A. Ferretti (2009), *The Silurian of the external Nappes (southeastern Sardinia)*. Rendiconti della Società Paleontologica Italiana, v. 48(1), p. 43-49.
- Corradini, C., A. Ferretti, & E. Serpagli (1998), *The Silurian and Devonian sequence in SE Sardinia*: ECOS VII-Sardinia Guidebook, p. 71-74.
- Dessau, G., 1937, *Studi sulla miniera di Fontana Raminosa (Sardegna)*: Periodico di Mineralogia, v. 2, p. 177-215.
- Dessau, G., G. Duchi, A. Moretti, & G. Oggiano (1982), *Geologia della zona del Valico di Correboi (Sardegna centro-orientale)*. Rilevamento, tettonica e giacimenti minerali: Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 101, p. 497-522.
- Funedda, A., M. A. Meloni, & A. Loi (2015), *Geology of the Variscan basement of the Laconi-Asuni area (central Sardinia, Italy): The core of a regional antiform refolding a tectonic nappe stack*: Journal of Maps, 11(1), 146-156. doi:10.1080/17445647.2014.942396.
- Funedda, A., S. Naitza, P. Conti, A. Dini, C. Butta, & S. Tocco (2011), *The geological and metallogenic map of the Baccu Locci mine area (Sardinia, Italy)*. Journal of Maps, v. 7(1), p. 103-114. doi:10.4113/jom.2011.1134.
- Gaggero, L., G. Oggiano, A. Funedda, & L. Buzzi (2012), *Rifting and arc-related early Paleozoic volcanism along the North Gondwana margin: geochemical and geological evidence from Sardinia (Italy)*. Journal of Geology, v. 120(3), p. 273-292. doi:10.1086/664776.
- Meloni, M. A., G. Oggiano, A. Funedda, M. Pistis, & U. Linneman (2017), *Tectonics, ore bodies and gamma-ray logging of the Variscan basement, southern Gennargentu massif (central Sardinia, Italy)*: Journal of Maps, Vol. 13, NO.02, 196-206. ISSN: (Print) 1744-5647 (online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/tjom20>. Link: <http://dx.doi.org/10.1080/17445647.2017.1287601>.
- Minzoni, N., (1975), *La serie delle formazioni paleozoiche a Sud del Gennargentu*: Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 94, p. 347-365.
- Minzoni, N., (1988), *Geologia strutturale della zona di Gadoni-Funtana Raminosa (Sardegna centrale)*: Memorie di Scienze Geologiche, v. 40, p. 195-201.
- Oggiano, G., (1994), *Lineamenti stratigrafico-strutturali del basamento del Goceano (Sardegna centro-settentrionale)*: Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 113, p. 105-115.
- Oggiano, G., L. Gaggero, A. Funedda, L. Buzzi, & M. Tiepolo, (2010), *Multiple early Paleozoic volcanic events at the northern Gondwana margin: U-Pb age evidence from the Southern Variscan branch (Sardinia, Italy)*. Gondwana Research, v. 17(1), p. 44-58. doi:10.1016/j.gr.2009.06.001.
- Pasci, S., (1997), *Tertiary transcurrent tectonics of North-Central Sardinia*: Bulletin de la Société Géologique de France, v. 168, p. 301-312.
- Stara, P., R. Rizzo, C. Sabelli, & A. Iba (1999), *I minerali di Funtana Raminosa (Gadoni, Sardegna centrale)*. Rivista Mineralogica Italiana, v. 1, p. 10-27.
- Vai, G. B., & T. Cocozza (1974), *Il "Postgotlandiano" sardo, unità sinorogenica ercinica*: Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 93, p. 61-72.

Dott. Geol. Sandro Pasci

