

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

Scuola di Scienze

Tesi di Laurea in Scienze Geologiche



Rilevamento geologico tra la spiaggia di Reale e Capo d'Arco dell'isola d'Elba

Presentata da

Riccardo Nitto

Relatore

Alessandro Simoni

Indice

1. Introduzione.....	2
2. Inquadramento geografico e morfologico.....	3
3. Inquadramento geologico.....	4
4. Rilevamento geologico: metodologia.....	7
5. Risultati	8
➤ 5.1 Carta Geologica.....	8
➤ 5.2 Formazioni affioranti.....	9
➤ 5.3 Sezione Geologica	15
➤ 5.4 Contatti stratigrafici	16
6. Approfondimento tematico: miniera di Terranera.....	17
7. Conclusioni.....	19
8. Bibliografia.....	20
9. Ringraziamenti.....	21

1. Introduzione

La seguente relazione è il risultato di un rilevamento geologico svolto sull'isola d'Elba tra il 16/06/2021 e il 25/06/2021. I primi quattro giorni si è svolta, insieme ai professori Gianluca Vignaroli e Giulio Viola dell'università di Bologna, l'analisi geologico-strutturale della messa in posto dei plutoni dell'isola d'Elba e della pila delle falde orientali che determinano tutta la geologia Nord-orientale dell'isola. Dal 20/06/2021 ai quattro giorni successivi, il rilevamento è stato svolto in un gruppo di 3 rilevatori (Riccardo Nitto, Stefano Fava e Antonio Pappalardo) ai quali è stato assegnato l'areale tra la spiaggia di Reale e Capo d'Arco.

La relazione sarà articolata inserendo un inquadramento geografico, morfologico e geologico per poi descrivere i risultati ottenuti dal rilevamento, inserendo una carta e una sezione geologica; l'obiettivo è descrivere le caratteristiche geologiche dell'area rilevata tramite le formazioni e i contatti individuati nel rilevamento.

In fine, verrà descritta la miniera di Terranera, ora in disuso, famosa per l'estrazione di Ematite e di Pirite; negli anni 50' la ricerca mineraria ha spinto ad eseguire numerosi sondaggi esplorativi, uno di questi verrà analizzato per mettere a confronto gli affioramenti rilevati con la stratigrafia in profondità.

2. Inquadramento geografico e morfologico

L'isola d'Elba fa parte dell'arcipelago toscano e si trova a circa 10 chilometri da Piombino (LI, Toscana), possiede una superficie di 223 km² e raggiunge l'altitudine massima di 1019 m (s.l.m.) sul monte Capanne. Le coste settentrionali e orientali sono bagnate dal Mar Ligure mentre quelle meridionali ed occidentali dal Mar Tirreno. Già dall'età dei romani fino alla fine del 900' si trovavano tantissime miniere, nelle quali si estraeva principalmente Ematite e Pirite, e cave, con asportazione di Marmo e Granito.

L'area sulla quale è focalizzata la relazione è situata nella parte Est del comune di Porto Azzurro a partire da spiaggia di Reale (figura 1), continuando verso Est nel residence privato di Capo d'Arco. Il territorio si presenta collinare con coste frastagliate, ad eccezione della spiaggia di Reale e la spiaggia di Terranera. Come descritto precedentemente ritroviamo contesti estrattivi come la Miniera di Terranera e la cava di Marmo all'interno di Capo d'Arco. A seguito dell'attività mineraria, si è formato un piccolo bacino di origine antropica, chiamato laghetto di Terranera, nato a motivo del riempimento di acqua sulfurea e marina dove precedentemente venivano estratti ematite, magnetite e pirite. Il lago, infatti, possiede una colorazione particolare verde smeraldo sullo specchio d'acqua e giallastro in profondità rendendo, a causa dei minerali disciolti, vietata la balneazione.

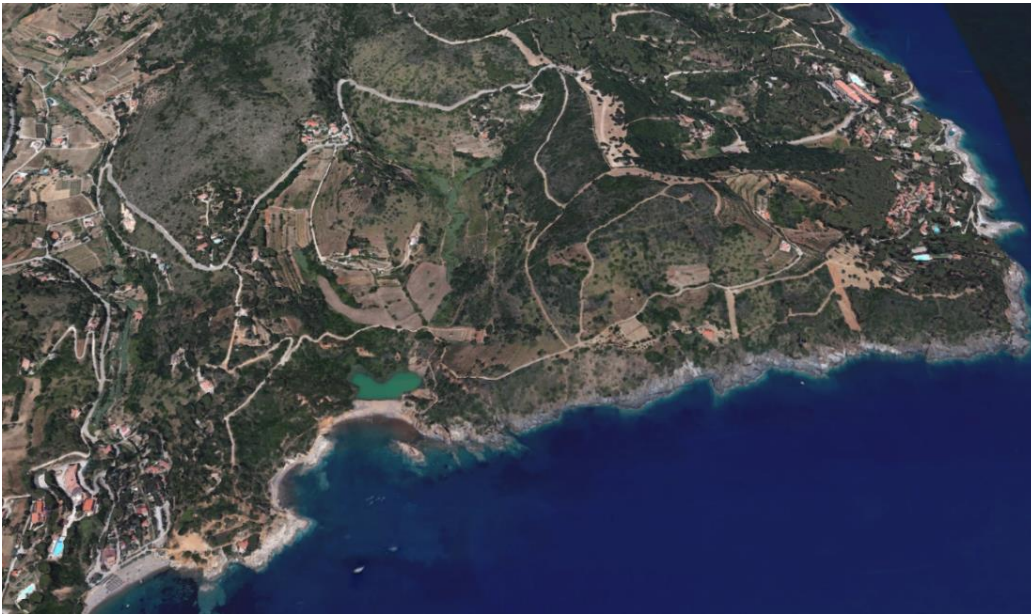


Figura 1. Immagine che inquadra l'area di studio. Google Earth.

3. Inquadramento geologico

In seguito alla formazione delle Alpi, il processo di roll-back (sprofondamento della crosta oceanica nel mantello con conseguente movimento della crosta continentale), indusse la rotazione in senso antiorario del blocco Sardo-Corso verso Adria (promontorio appartenente alla placca Africana) provocando l'orogenesi dell'appennino settentrionale, la cui porzione più ad Ovest è considerata l'isola d'Elba data la correlazione dell'unità e i domini presenti. Durante la nascita dell'appennino (Miocene superiore), una parte del dominio ligure sovrascorse sul dominio toscano formando thrust e pieghe SO-NE, con top a NE. A seguire, nel Miocene medio, la tettonica estensionale provocata dai processi di smantellamento post orogenici, induce un progressivo assottigliamento litosferico fino a favorire la risalita di magmi anatectici verso la superficie complicando l'aspetto tettono-strutturale dell'isola (Bortolotti et al., 2001). L'ascensione delle masse laviche ha messo in posto due plutoni: a Ovest, il plutone di Monte Capanne (8.5-7 Ma) di composizione monzogranitica; a Est, il plutone di Porto Azzurro (7-6 Ma) di composizione, anch'esso, monzogranitica, determinando metamorfismo di contatto e l'intrusione di dicchi che tagliano gli ammassi rocciosi superiori. La tettonica distensiva in parte precede e in parte accompagna, con evidenti rapporti, la messa in posto dei plutoni mio-pliocenici e degli altri corpi magmatici minori, l'interpretazione proposta da Massa et al., (2017) mette in evidenza uno scollamento verso Est delle unità precedentemente impilate attraverso il sovrascorrimento Capo Norsì-Monte Arco (5 Ma). Successivamente la faglia a basso angolo di Zuccale (4.8 Ma) taglia verso, sempre verso Est con un rigetto di 6 km, le unità precedentemente formate.

L'area presa in analisi (riquadro in figura 2) si trova nella parte orientale all'interno del plutone di Porto Azzurro, ritroviamo una sequenza tettonizzata regolare orientata N-S formata da una serie di scaglie tettoniche con assetto monoclinale con immersione generalmente ad Ovest. Come vedremo, la complessa evoluzione geologica dell'Elba mette in luce come essa non sia composta da una stratigrafia semplice e regolare, bensì da una tettono-stratigrafia che mette in relazione le formazioni litologiche ai processi tettonici fino a creare sequenze di strati in discordanza cronologica.

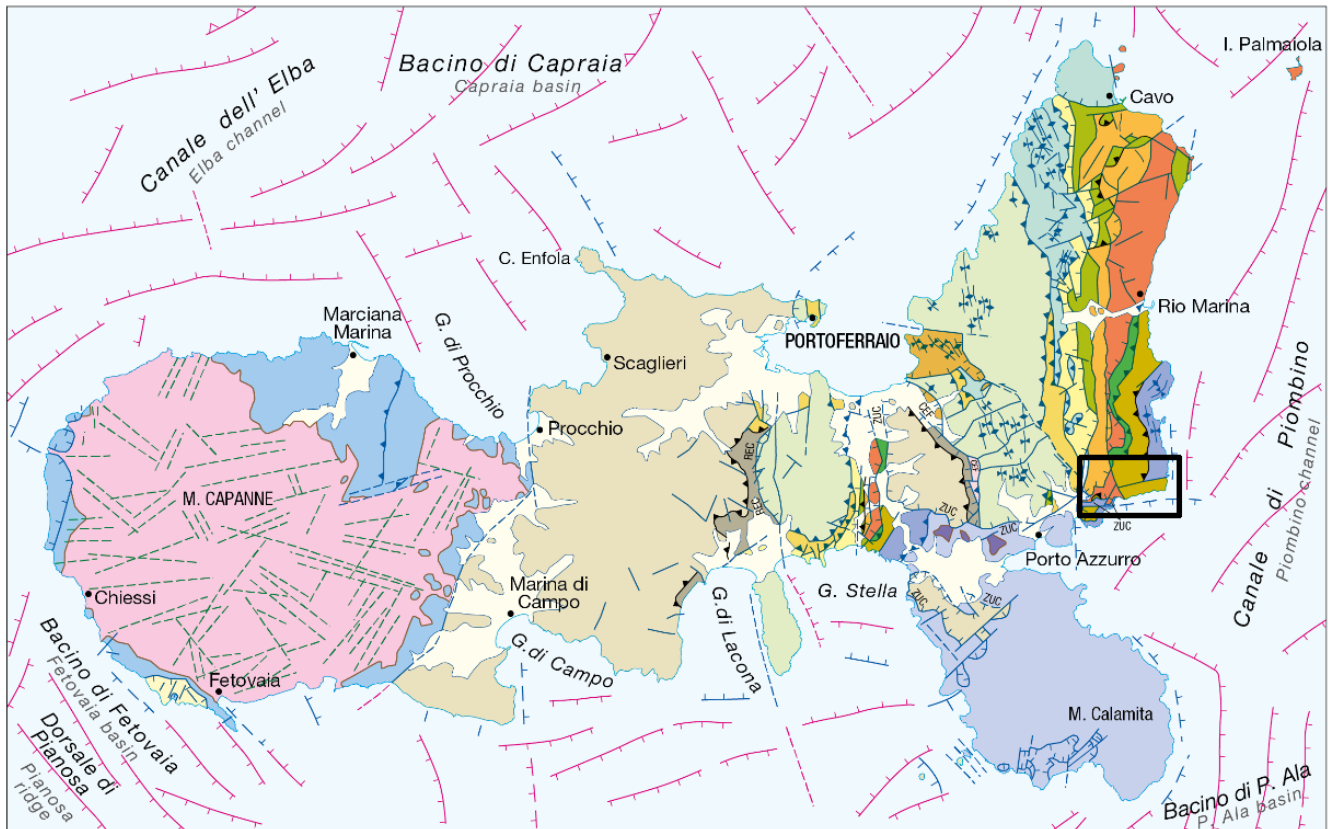


Figura 2. Schema tettonico dell'isola d'Elba. ISPRA.

Concordante con la storia appenninica, riscontriamo i due domini che compongono la storia geologica della catena, alla base della pila di falde ritroviamo il domino toscano, suddiviso in due complessi separati da una scaglia tettonica proveniente dalle unità liguridi; al top della successione ritroviamo il dominio ligure sovrascorso durante la formazione dell'appennino.

Dominio toscano

Il dominio toscano è caratterizzato da un basamento ercinico su cui si depone una copertura sedimentaria antecedente al processo di rift della crosta continentale, in cui si sedimentano le unità evaporitiche e una serie di piattaforme risalenti al Giurassico Inferiore. Successivamente, con l'apertura nel Giurassico Medio dell'oceano Ligure-Piemontese, la successione toscana diventa un margine passivo, che solamente nel Cretaceo inizia la deposizione di marne a via via aumentando la componente pelagica e priva di apporti terrigeni; infine con l'arrivo del blocco sardo-corso abbiamo la sedimentazione di torbiditi, non riscontrate però all'Elba. In dettaglio, sull'isola, la messa in posto dei plutoni ha scollato, tramite una scaglia tettonica delle unità liguridi

intercalata durante la formazione appenninica, una parte del dominio toscano suddividendolo in due complessi:

Complesso Inferiore

Il complesso inferiore è costituito dalle unità del dominio Toscano inferiore, è caratterizzato da metamorfismo di medio grado ed in alcune aree di contatto, è composto da:

Complesso del monte Calamita (Carbonifero): Scisti quarzosi e paragneiss.

Complesso di Ortano (Ordoviciano): rocce vulcanoclastiche.

Marmi di Ortano (Giurassico).

Acquadolce (Oligocene): divisa in superiore ed inferiore. La formazione superiore presenta scisti maculati formati da metapeliti, metasiltiti, metarenarie; la formazione inferiore è composta da calcescisti metamorfosati bandati.

Complesso Superiore

Il complesso superiore è composto dalle unità del dominio Toscano superiore, il metamorfismo è assente o di basso grado, ed è composto dalle seguenti formazioni:

Rio Marina (Carbonifero): metapeliti e metasiltiti, con intercalazioni di livelli arenacei e microconglomeratici.

Verrucano (Triassico Medio): meta-arenarie con intercalazioni di livelli conglomeratici.

Calcere cavernoso (Triassico): packstone, calcari e calcari dolomitizzati con vacuoli.

Calcari e Marne a Posidonia Alpina (Giurassico Medio).

Dominio Ligure

Il dominio ligure deriva dal bacino oceanico ligure-piemontese (parte della Tetide Alpina), formatosi a seguito dell'apertura della Pangea nel Giurassico Medio, è formato da una successione ofiolitica formata, partendo dalla base, da peridotiti, gabbri e basalti con lave a pillow; successivamente si sono depositi i sedimenti oceanici al di sotto della CCD, per poi sedimentarsi calcari ed argille, al top della successione troviamo torbiditi riferite al progressivo avvicinamento della placca africana verso il continente europeo. Le formazioni individuate sono:

Unità dei Gabbri e Serpentiniti (Giurassico Medio): rocce di crosta oceanica con processi di serpentizzazione della peridotite.

Diaspri (Giurassico Superiore): con radiolariti depositate al di sotto della CCD.

Calcari a Calpionele (Cretaceo Inferiore): mudstone depositato subito sopra la CCD.

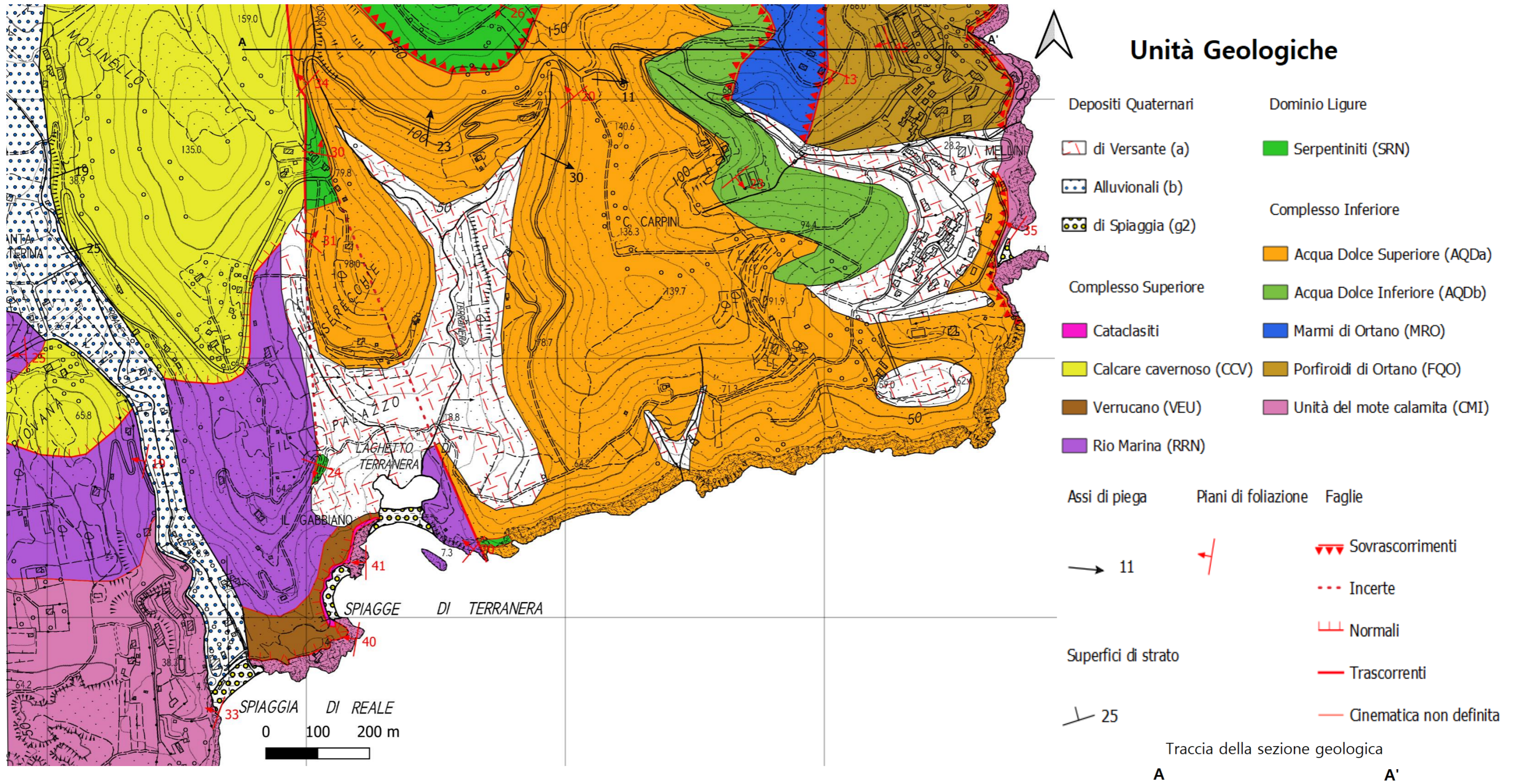
Argille a Palombini (Cretaceo Superiore): peliti e areniti di piana abissale.

4. Rilevamento geologico: metodologia

La campagna di rilevamento geologico si è svolta dal 20/06/2021 al 24/06/2021 ed è stata eseguita dai rilevatori: Nitto Riccardo, Stefano Fava e Antonio Pappalardo. Il lavoro aveva come obiettivo un rilevamento della zona compresa tra la spiaggia di Reale e Capo d'Arco dell'isola d'Elba con la compilazione di una cartina geologica a scala 1:10000. I dati acquisiti erano appuntati sul quaderno di campagna e riportati sulla cartina usati durante l'attività, si riferivano a: litologie, soffermandosi sulla granulometria, colore, fabric, mineralogia, foliazione, segni caratteristici, misurando le giaciture (immersione e inclinazione); fianchi e assi di pieghe; faglie, misurando immersione e inclinazione, cercando, dove possibile, di riconoscere la cinematica calcolandone il pitch e osservando gli indicatori cinematici. In molti casi è stato utile disegnare sul quaderno di campagna sketch riassuntivi dell'affioramento incontrato. I principali strumenti utilizzati sono stati: bussola (per la misura degli angoli rispetto al Nord e l'inclinazione rispetto al piano orizzontale), martello da geologo (per prelievo di frammenti di roccia fresca, potendola analizzare in maniera inalterata e più dettagliata), lente di ingrandimento 10x (per osservare in dettaglio la composizione mineralogica), goniometro (per la misura del pitch), metro (per la misura dell'altezza e larghezza degli affioramenti) e fotocamera (per l'acquisizione di documentazione fotografica degli affioramenti).

5. Risultati

5.1 Carta Geologica



5.2 Formazioni affioranti

La descrizione delle formazioni è basata sulle formazioni individuate nel rilevamento e riportate sulla carta geologica (figura 3), ordinate partendo dal basso stratigrafico.

Complesso inferiore

Complesso del monte Calamita: rappresenta la base del complesso del dominio Toscano inferiore. È formato da scisti quarzosi e paragneiss con minerali di cordierite e andalusite; l'ammasso roccioso è tagliato da filoni aplitici, come in figura 4, da centrimetrici a decimetrici, composti da quarzo, k-feldspato e miche scure che rispecchiano la composizione del plutone di Porto Azzurro, sono presenti anche sill di tormalina che riflettono l'attività idrotermale finale del raffreddamento del plutone; sono presenti faglie interformazionali successive all'intrusione dei dicchi. Affiorano su tutta la costa tra la spiaggia di Reale e la spiaggia di Terranera e tutta la parte est di Capo d'Arco. L'età del protolite è Carbonifera, mentre quella del metamorfismo è del Messiniano.

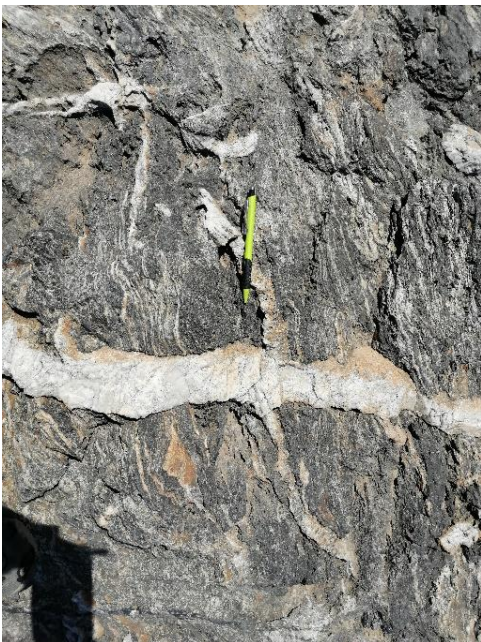


Figura 4. Unità del monte calamita con filoni aplitici. Costa nel residence di Capo d'Arco.

Complesso di Ortano: porfiroidi e scisti porfirici interpretabili come metavulcaniti di color marrone-grigio. La loro parte sommitale è ricca di scistosità da mica bianca che denota una lucentezza chiara di color argento (figura 5). La porzione basale, di colore rossastro, giallo e grigio, presenta fenocristalli di k-feldspato sotto forma di fiamme e ocelli di origine primaria; è molto comune la presenza di vene di quarzo. Affiorano nel residence di Capo. L'età risale all'Ordoviciano. Da notare che la formazione appena descritta è più

antica rispetto alle unità del monte Calamita, poiché Carbonifera, seppur stratigraficamente più in alto, infatti, il contatto tra i due ammassi rocciosi è definito da un sovrascorrimento.



Figura 5. Unità del complesso di ortano. Scistosità elevata. Sopra alla cava di Marmo.

Marmi di Ortano: marmo derivante da un ammasso roccioso carbonatico ricristallizzato a seguito della messa in posto del plutone di Porto Azzurro. La tessitura è da meso a microcristallino, a grana media e grossolana di colore grigio chiaro/biancastro occasionalmente bandato, con alternanza di livelli calcari puri e impuri. Sono presenti minerali di ricristallizzazione in condizione statica e dinamica/deformativa come la Wallastonite e la Tremolite. Alla base della formazione è presente un basamento di bancate dolomitiche risalente al Giurassico Inferiore. È interposta tra il complesso di Ortano la formazione dell'Acquadolce divisa da sovrascorrimenti immergenti verso Ovest. Affiora nella cava di marmo abbandonata all'interno di Capo d'Arco.

Acquadolce: rappresenta l'ultima unità al top del complesso inferiore sulla quale è sovrascorso il complesso superiore che usa come superficie di scollamento la scaglia tettonica di serpentiniti del dominio ligure grazie al thrust di Capo Norsì-Monte Arco. È divisa in superiore ed inferiore: la prima (figura 6) presenta filladi e scisti maculati formati da metapeliti, metasiltiti, metarenarie di colore brunastro caratterizzate da scistosità pervasiva micacea. L'ammasso roccioso si presenta intensamente foliato con un'immersione generale a Nord-Ovest monoclinale (figura 7), tutta la struttura presenta pieghe da centimetriche a decimetriche. È caratterizzata da neoblastesi di biotite e, dove predomina il metamorfismo di contatto (stiamto a 600/630 gradi), cordierite, che si sovraimpronta come elemento statico in uno stadio successivo alla formazione. La mica bianca è datata 6,7-6,3 Ma grazie all'analisi radiometrica Argon/Argon. Affiora lungo la strada e i sentieri all'ingresso della zona del Residence; l'età del protolite risale al Cretaceo Inferiore.



Figura 6. Acquadolce superiore. Ingresso residence Capo d'Arco.

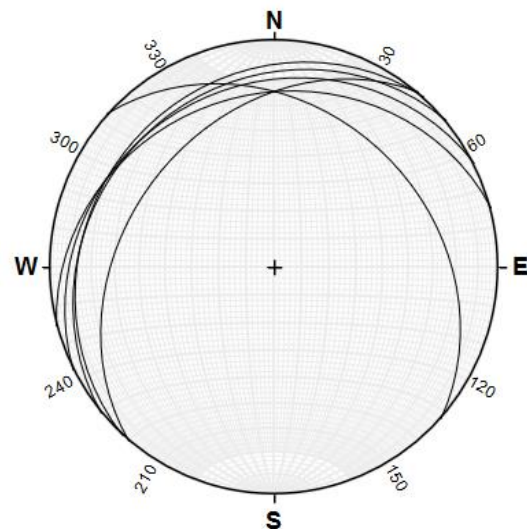


Figura 7. Steronet dei piani di foliazione della formazione dell'Acqua dolce superiore.

La porzione inferiore è formata da calcescisti derivanti da un protolite calcareo/selcifero, è contraddistinto da bande, da millimetriche a centimetriche, quarzose di colore scuro intercalate da bande calcaree di colore biancastro con occasionali lenti pelitiche. L'età è oligocenica. L'unico affioramento riscontrato si trova a Capo d'Arco a lato dei campi da tennis.

Dominio Ligure

L'Unità dei Gabbri e delle Serpentiniti: è interposta tra la base del complesso superiore ed il tetto del complesso inferiore grazie al sovrascorrimento di Capo Norsi-Monte Arco. I Gabbri si presentano scuri e fortemente alterati; le serpentiniti appaiono di color nero-verdi con struttura porfiroclastica caratterizzata dalla presenza di Olivina, Pirosseni (figura 8), Plagioclasio e Serpentino, si presentano altamente fratturate con clivaggio poco pervasivo. L'Olivina è presente come residuo del processo di serpentizzazione. L'età di tutta l'unità risale al Giurassico medio. Nell'area rilevata riscontriamo solamente Serpentinite sopra alla strada per l'ingresso di Capo d'Arco, nel sentiero e poco più ad Est del laghetto di Terranera.



Figura 8. Serpentinite in cui si evidenzia un minerale di Hedenbergite (Pirosseno). Strada per Terranera.

Complesso superiore

Rio Marina: è la formazione alla base del complesso superiore. È composto da metapeliti e metasiltiti color grigio scuro e nerastro, come in figura 9, dove è abbiamo una concentrazione maggiore di grafite, sono presenti intercalazioni di livelli arenacei e microconglomeratici; sono caratterizzati da una leggera presenza di miche bianche e sono stati rinvenuti fossili marini e resti vegetali (De Stefani, et alii). Le superfici di strato S0 sono ripiegate a formare piani di clivaggio S1 che quasi cancellano la stratificazione primaria. Inoltre, sono visibili fratture secondarie che tagliano in discordanza gli strati a causa del passaggio di fluidi mineralizzanti. L'età risale al Carbonifero. Affiora sopra la spiaggia di Reale a contatto con il calcare Cavernoso, coerentemente con la successione

del complesso superiore, mentre nella spiaggia di Terranera, è visibile al contatto con la formazione dell'Acquadolce superiore a causa di una faglia trascorrente.



Figura 9. F.Ma di Rio Marina.

Verrucano: formato a seguito della sedimentazione continentale di fiumi braided e deriva dall'erosione della catena Varisica. L'ammasso roccioso presenta meta-arenarie di color brunastro con intercalazioni di livelli conglomeratici (figura 10). L'età risulta essere del Triassico medio. Nell'affioramento rilevato tra la spiaggia di Reale e di Terranera si presenta molto alterato e incoerente, nel quale non sono riconoscibili fasi mineralogiche, ma è ben evidente la struttura sedimentaria.



Figura 10. Formazione del Verrucano. Spiaggia di Terranera.

Calcere cavernoso: deriva da una serie di trasformazioni post-deposizionali di una successione carbonatico-evaporitica di ambiente lagunare-tidale. L'ammasso roccioso si presenta massivo o poco stratificato; è formato da una breccia autoclastica calcareo-dolomitica di colore da grigio a rosa con aspetto vacuolare (equivalente stratigrafico delle Anidriti di Burano) di dimensione millimetrica e centimetrica di forma irregolare. Sono presenti livelli arenacei silteosi. L'età risale al Triassico. Affiora più a nord della spiaggia di Reale.

Altri depositi

Depositi quaternari: divisi in depositi di spiaggia, molto variabili con granulometria prevalentemente medio-grossolana da sabbiose a ghiaiose e da poligeniche a monogeniche, depositi alluvionali, tutt'ora in evoluzione all'interno degli alvei; depositi di versante, situati alla base di versanti acclivi ed impluvi.

Cataclasiti: rocce interposte tra il blocco di tetto e quello di letto di una faglia, subiscono processi di fratturazione meccanica con conseguente formazione di una breccia formata da clasti tendenzialmente angolari immersi in una matrice più fine di stessa composizione (figura 11). Nella spiaggia di Terranera l'orizzonte cataclasitico è prodotto a seguito della faglia di Zuccale, si presenta con uno spessore di circa 10 metri, questo riflette che la superficie di scorrimento è molto estesa, a supporto di questo, il rigetto della LANF è stimato circa 6 km. Uno degli elementi di primaria importanza delle cataclasiti consiste nella possibilità di risalire all'età radiometrica grazie allo studio dei gouge di faglia, nella spiaggia di Terranera risulta essere di 3.6 Ma.

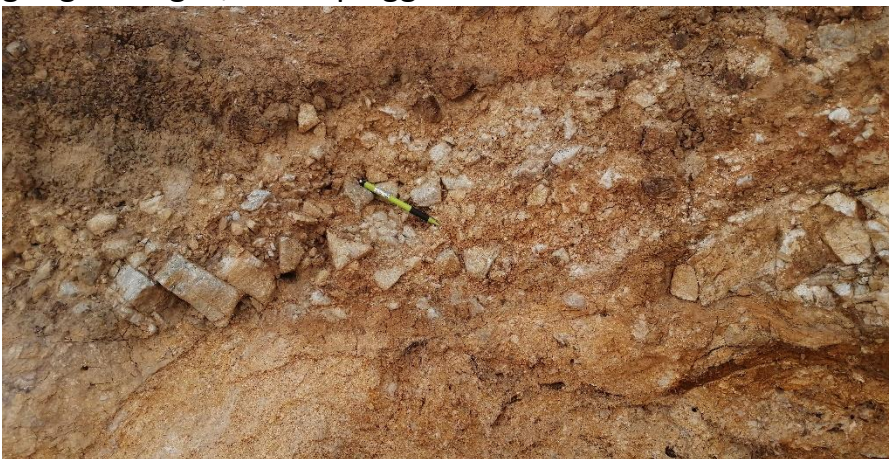


Figura 11. Cataclasiti. Spiaggia di Terranera.

5.3 Sezione geologica

La sezione illustrata in figura 12 è stata eseguita tramite la linea A-A' riportata nella carta geologica (figura 3), mette ben evidenza l'impilamento delle falde del complesso inferiore, con una serie di sovrascorrimenti che determinano il suo aspetto strutturale.

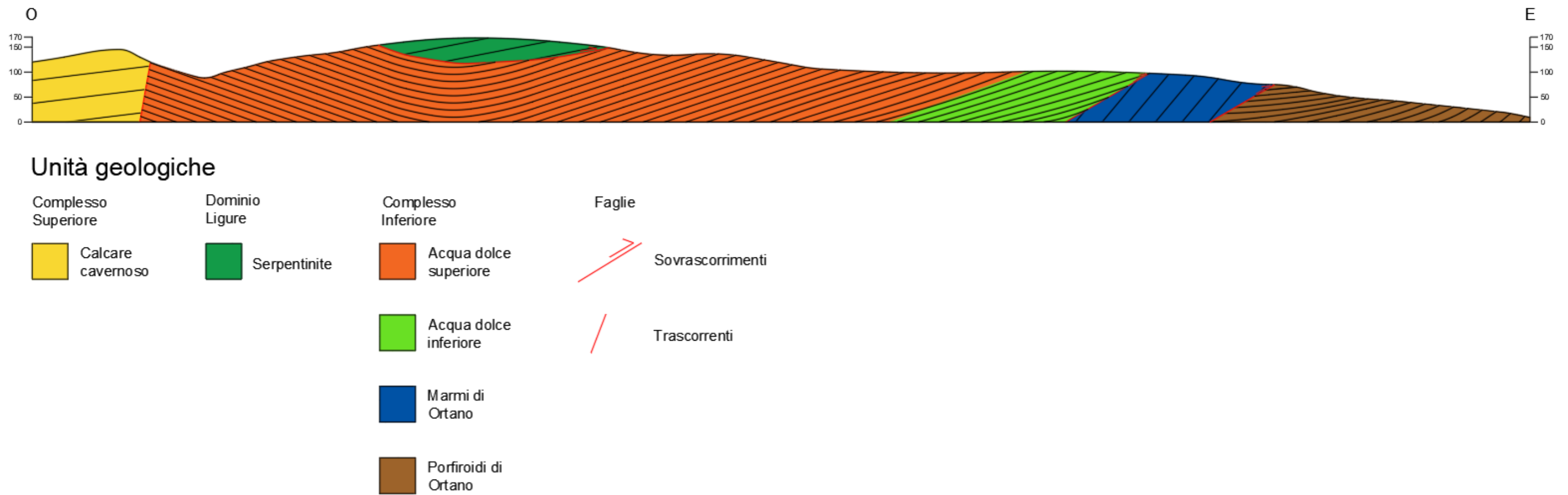


Figura 12. Sezione geologica eseguita lungo la retta A-A' della carta geologica in figura 3.

5.4 Contatti stratigrafici

Partendo sempre dal basso stratigrafico, l'unità del monte Calamita rappresenta il basamento di tutta la pila delle falde orientali, i contatti stratigrafici sono individuati con la formazione di Rio Marina, non affiorante e di cinematica non definita, del Verrucano, tramite la faglia di Zuccale nella spiaggia di Terranera intercalato da cataclasiti (figura 13) ed a tetto dell'Acqua dolce ed i porfiroidi di Ortano con due sovrascorrimenti Ovest immergenti.



Figura 13. Superficie di faglia della LANF, a tetto le cataclasiti a letto le unità del monte calamita.

Il complesso e i marmi di Ortano sono interposti tra la formazione di Acquadolce ed il basamento Carbonifero, oltre ad essere divisi tra loro da un thrust con i marmi a tetto, anche i contatti con le altre due formazioni risulta essere di tipo compressivo Ovest immergente rispecchiando l'impilamento della sequenza della pila delle falde orientali dell'Elba.

Per quanto riguarda la formazione dell'Acquadolce, risulta essere molto estesa con numerosi contatti stratigrafici: le Serpentiniti a più Nord della cartina sovrascorrono a tetto dell'ammasso roccioso, mentre, anche contatto anche con il calcare Cavernoso, è individuata una faglia trascorrente che disloca le Serpentiniti sia al contatto con Rio Marina, nella strada per la spiaggia di Terranera, che vicino alla costa frastagliata a Est del laghetto, dove è visibile il contatto, sempre trascorrente, con la formazione di Rio Marina.

Oltre ai limiti precedentemente descritti per la formazione di Rio Marina, riscontriamo anche il contatto con il calcare Cavernoso, ad Ovest della cartina, con una cinematica estensiva; da notare che il calcare della formazione massiva dovrebbe trovarsi stratigraficamente più in alto di Rio Marina, ma la cinematica estensionale ha tagliato il calcare tramite faglie normali facendo scendere l'ammasso roccioso.

6. Miniera di Terranera

L'isola d'Elba fin dall'epoca romana è stata sfruttata per l'estrazione di rocce e di minerali, infatti, un'importante miniera in disuso è situata vicino alla spiaggia di Terranera: una porzione era sviluppata all'interno della roccia, mentre un altro settore a cielo aperto, in seguito agli scavi ha prodotto un bacino sotto la quota del livello del mare, che successivamente con l'abbandono dell'operatività le acque hanno occupato e pareggiato a livello marino la depressione. Le fasi mineralogiche coltivate consistevano in ossidi di Ferro sotto forma di Ematite, con Magnetite subordinata, e Pirite posizionata al contratto tra la formazione di Rio Marina e del Verrucano. Nella parte superiore del giacimento erano presenti prevalentemente masse limonitiche (ossidi idrati di Ferro: $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), derivanti dall'alterazione esogena della pirite. Si suppone che il giacimento di ferro sia esteso anche al di sotto della faglia di Zuccale. Ancora oggi sono visibili dei macchinari (figura 14) in disuso che servivano per il trasporto del materiale dalla terraferma al mare per il commercio in tutta Europa. Negli anni 50' al fine della ricerca di Pirite sono stati eseguiti vari sondaggi esplorativi in prossimità della miniera data l'importanza economica del giacimento, portando in luce numerose carote di sondaggio.



Figura 14. Foto presa su google street, in cui ritrae macchinari in disuso della miniera e la spiaggia di Terranera.

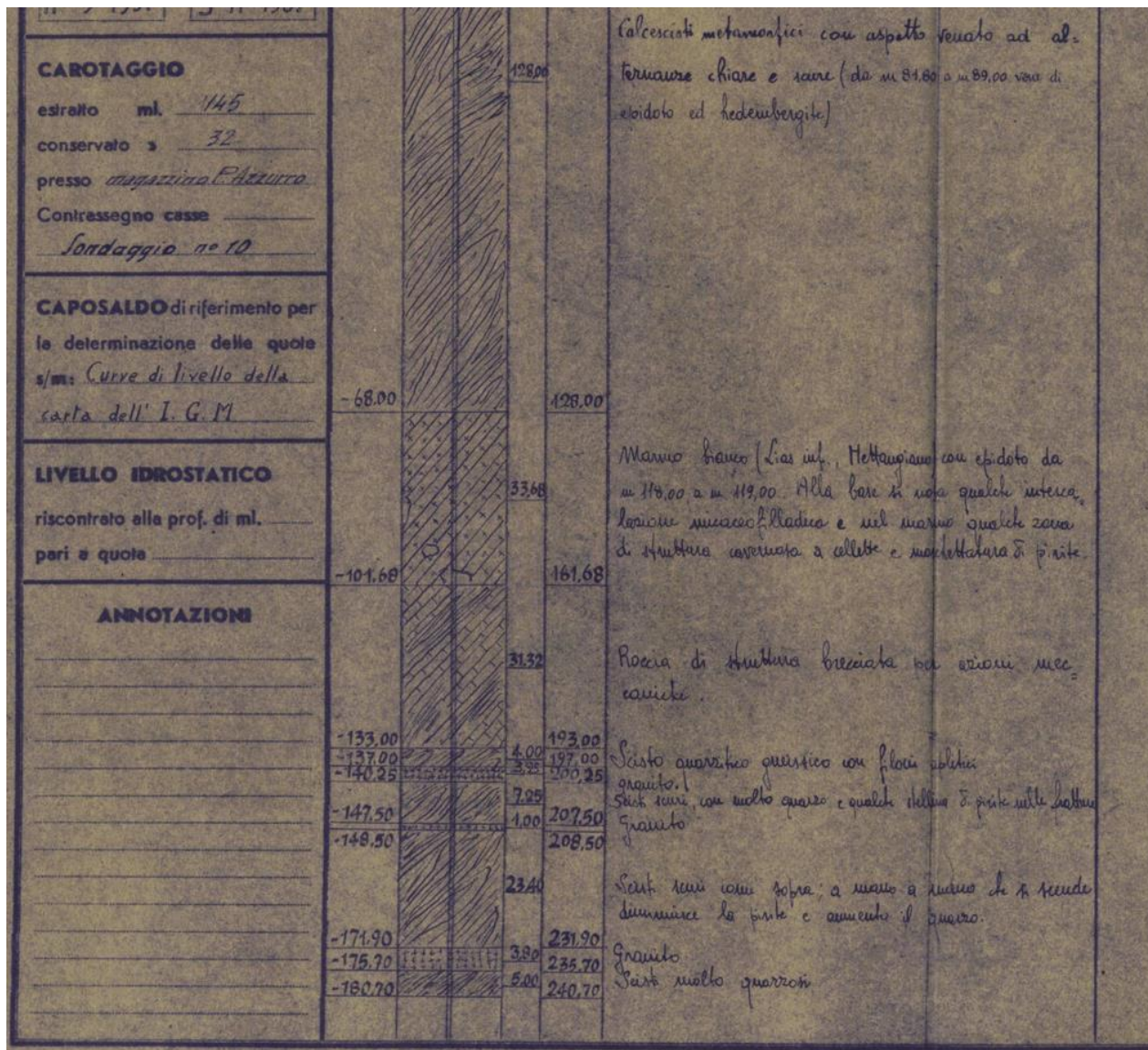


Figura 15. Sondaggio esplorativo.

Il sondaggio esplorativo, riportato in figura 15, è stato eseguito dalla ditta Montecatini tra l'11/09/1951 ed il 03/11/1951 localizzato a Nord-Est del laghetto di Terranera: il foro di sondaggio ha raggiunto una profondità di 240 m da piano campagna e di 182 m al di sotto del livello del mare. I primi 128 m sono stati descritti come calciscisti metamorfosati ad aspetto venato con alternanze chiare e scure, con vene di Epidoto ed Hedembergite tra gli 82 e gli 89 m, questa descrizione è caratteristica della formazione dell'Acquadolce inferiore con la presenza di vene minerali derivanti dal metamorfismo di contatto; proseguendo lungo la verticale fino ai 161 m, rispetto al piano campagna, è stato riscontrato il Marmo bianco di Ortano con qualche fase mineralogica di Epidoto, tra i 118 e 119 m, e di Pirite aumentando la profondità, dove il marmo assume una struttura cavernosa a cellette; continuando la verticale di scavo fino ai 193 m, è stata individuata

una roccia con struttura brecciata per azioni meccaniche, probabilmente deformata a causa del sovrascorrimento della formazione del Marmo di Ortano sulle unità del monte Calamita, da notare che all'interno della colonna stratigrafica del sondaggio il riempimento si riferisce ad un ammasso roccioso carbonatico associabile ai banchi dolomitizzati alla base della formazione dei marmi, seppur, come descritto nel sondaggio, interessati da processi di frizione; proseguendo fino a fondo foro, a 240 m, è diventata dominante la facies a scisti quarzosi gneissici con filoni aplitici tipici delle unità del monte Calamita, con un aumento progressivo della concentrazione di Quarzo all'aumentare della profondità ma con una diminuzione di Pirite, tutta la formazione è intercalata da vene quarzose in seguito a fenomeni intrusivi che riflettono la composizione del plutone di Porto Azzurro.

Il sondaggio mette in evidenza che la sequenza del complesso inferiore è rispettata anche in profondità secondo una verticale di scavo, rispecchiando la storia tettono-stratigrafica dell'area Nord-orientale dell'isola d'Elba; l'unica eccezione si può notare a causa dell'assenza della formazione dei Porfiroidi di Ortano interposta tra i marmi e il basamento Carbonifero, si suppone che il corpo porfirico termini la sua estensione più a Nord del sondaggio smettendo di affiorare, infatti, osservando la carta geologica realizzata, nella parte più a Sud-Est, abbiamo il contatto diretto tra la formazione di Acquadolce e le unità del monte Calamita escludendo così altre formazioni.

7. Conclusioni

L'isola d'Elba rappresenta una delle isole più complesse a livello geologico: a seguito della fase di compressione durante l'orogenesi appenninica, abbiamo avuto l'impilamento delle falde divise da sovrascorrimenti top to Est. Successivamente il plutone monzogranitico di Porto Azzurro ha inciso fortemente sulla storia geologica dell'Elba orientale, intrudendo con dicchi e sill le rocce precedentemente formate causando metamorfismo di contatto favorendo la ricristallizzazione di depositi sedimentari e aumentando la circolazione di fluidi ricchi di minerali nelle fratture rocciose; la messa imposto ha prodotto anche le due faglie importanti di Capo Norsì-Monte Arco e di Zuccale che complicano ulteriormente la sequenza stratigrafica dividendo inizialmente i due complessi per poi traslare una parte degli ammassi rocciosi attraverso la faglia a basso angolo.

L'area analizzata riflette a pieno la storia geologica dell'isola riuscendo a ricostruire dal basamento del monte Calamita del dominio toscano inferiore fino al calcare cavernoso del dominio toscano superiore, intercalato da una scaglia tettonica di serpentiniti dell'unità liguridi tra i due complessi toscani.

La carta geologica e la sezione di accompagnamento realizzate in seguito all'attività di rilevamento hanno permesso di comprendere con più chiarezza quello che è l'assetto morfologico-strutturale dell'isola d'Elba: le giaciture di strato riportate in carta nonché i piani di foliazione mostrano una tendenza generale ad immergere verso Ovest il che si traduce in una vergenza tipicamente top-to-NE delle formazioni incontrate. Inoltre, anche i contatti tra le formazioni stesse costituiscono ottimi indicatori per quanto riguarda la cinematica del complesso elbano: per esempio, i sovrascorrimenti che separano i marmi di Ortano rispettivamente dalla formazione dell'Acquadolce Superiore e dai porfiroidi di Ortano, mostrano anch'essi una immersione verso i quadranti occidentali favorendo così l'impilamento delle varie formazioni verso Est. Il sondaggio geologico riportato in figura 15 costituisce un ulteriore elemento di supporto nella comprensione dell'assetto tettonico dell'area rilevata: esso ha messo in evidenza come, anche in profondità, vengano rispettati i rapporti geometrici tra le varie formazioni, dal momento che è stato possibile incontrarle con continuità (ad eccezione dei porfiroidi) nella verticale di scavo scendendo verso profondità sempre maggiori. Si può quindi concludere che, i risultati ottenuti dall'attività di rilevamento, sono perlopiù in accordo non solo con quella che è la letteratura riguardante quest'area ma anche con quello che è l'assetto geo-tettonico tipico di tutto l'Appennino Settentrionale.

8. Bibliografia

Bortolotti V., Pandeli E. e Principi G., 2015. *Geological map of Elba island 1:25000 scale, ISPRA, Regione Toscana, Provincia di Livorno, Università degli studi di Firenze, Parco Nazionale Arcipelago Toscano, D.R.E.Am Italia.*

Benvenuti M., Costagliola P., Corretti A. e Dini A., 2012. *Geositi Isola d'Elba. Mineralizzazioni a ferro della zona Terranera.*

Bortolotti V., Fazzuoli M., Pandeli E., Principi G., Babbini A. & Corti S., 2001. *Geology of Central and Eastern Elba Island, Itlay. Ofioliti, 26 (2a), 97-150.*

A. Deino, J.V.A Keller, 1992. *Datazioni $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ del metamorfismo dell'unità di Ortano-Rio Marina (Isola d'Elba): risultati preliminari*

Massa G., Musumeci G., Mazzarini F. & Pieruccioni D., 2017. *Coexistence of contractional ed extensional tectonics during the Northern Appennines orogeny: the late Miocene out-of-sequence thrust in the Elba Island nappe stack. Geological Journal 52, 353-368.*

Paneschi et alii. 2017. *An outline of the geology of the Northern Appennines(Italy), with geological map at 1:250.000 scale.*

9. Ringraziamenti

Vorrei qui ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutato, sostenuto e accompagnato alla fine di questo percorso.

Un ringraziamento per tutto il corpo docenti del corso di Scienze Geologiche dell'università di Bologna, in particolare al mio relatore Alessandro Simoni per la disponibilità ed il supporto per la redazione della tesi ed ai professori Gianluca Vignaroli e Giulio Viola per la realizzazione e guida del campo di rilevamento.

Un enorme grazie va a Valentina, mia madre, che mi ha spinto nel mondo universitario sostenendomi e impegnandosi ogni giorno affinché io potessi continuare al meglio il mio percorso.

Un altro ringraziamento va alle mie sorelle Virginia e Marina, che hanno sempre creduto nelle mie capacità e hanno condiviso con me tutti i momenti importanti, rivelandosi compagne di vita.

Uno speciale grazie alla mia ragazza Gioia che mi ha spinto nel credere di più in me stesso, stimolandomi ed incoraggiandomi ogni giorno, aiutandomi a superare qualsiasi ostacolo.

Un ringraziamento a tutti i miei compagni di corso per la condivisione e l'aiuto di questi anni, in particolare a Stefano e Gennaro che sono diventati molto di più che semplici colleghi.

Un ultimo, ma non meno importante, ringraziamento va a tutti i miei amici (Davide, Samuel, Alice, Federico, Denis, Fernando e Nicolas) che mi hanno sostenuto e accompagnato in questi anni.