

**Alma Mater Studiorum - Università di  
Bologna**

**Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed  
Ambientali - BiGeA**

**Corso di Laurea in  
Scienze Geologiche**

**Rilevamento e studio petrografico del  
Complesso di M. Calamita (Elba SE) nella  
zona di Spiaggia di Remaiolo**

**Candidato: Jacopo Maffei  
Relatore: Prof. Roberto Braga**

**Anno accademico 2016/2017**

## INDICE

<b>1. Introduzione</b>	pag. 3
<b>2. Inquadramento geologico</b>	pag. 3
<b>3. Area di studio</b>	
3.1. Localizzazione geografica	pag. 6
3.2. Inquadramento geologico della zona	pag. 6
<b>3.3. Evoluzione metamorfica-strutturale dell'Unità di Porto Azzurro</b>	pag. 10
<b>4. Metodi</b>	
4.1. Metodi di terreno	pag. 12
4.2. Metodi di laboratorio	pag. 12
<b>5. Risultati</b>	
5.1. Risultati di terreno	pag. 13
5.2. Analisi petrografiche di laboratorio	pag. 19
5.2.1. Scisti grigio-argentei	pag. 19
5.2.2. Scisti scuri	pag. 21
5.2.3. Quarziti	pag. 22
5.2.4. Scisti scuri con vene di quarzo	pag. 25
<b>6. Conclusioni</b>	pag. 28
<b>7. Bibliografia</b>	pag. 30
<b>Allegato 1:</b> Carta degli affioramenti	pag. 32
<b>Allegato 2:</b> Descrizione speditiva dei campioni a mano	pag. 33

# 1. INTRODUZIONE

Lo scopo di questo lavoro di tesi è il rilevamento, l'analisi petrografica e microstrutturale delle rocce affioranti nella zona di Spiaggia di Remaiolo, Elba Sud-Orientale. Il lavoro di campagna, riassunto in una carta degli affioramenti alla scala 1:3500 (Allegato 1), è stato integrato da microscopia ottica in luce polarizzata, per completare le classificazioni speditive fatte in campagna. Inoltre, lo studio microstrutturale ha permesso il riconoscimento dell'evoluzione metamorfica e deformativa di questa porzione di basamento cristallino Ercinico, che ha subito una sovraimpronta alpina Oligo-Miocenica legata alla strutturazione della catena dell'Appennino Settentrionale e in seguito una forte impronta termometamorfica Mio-Pliocenica, dovuta all'intrusione del plutone La Serra-Porto Azzurro.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'Isola d'Elba è la più grande delle isole dell'Arcipelago Toscano e rappresenta la porzione più occidentale della catena appenninica settentrionale. È situata tra il canale di Piombino a est, il mar Tirreno a sud e il canale di Corsica a ovest. Tradizionalmente la struttura tettonica viene divisa in 5 unità tettoniche principali-denominate Complessi (Trevisan, 1950; Fig. 2.1). Questi 5 Complessi sono stati recentemente divisi in nove sottogruppi (Fig. 2.2), in accordo con Bortolotti *et alii* (2001). Dalla base fino al tetto troviamo:

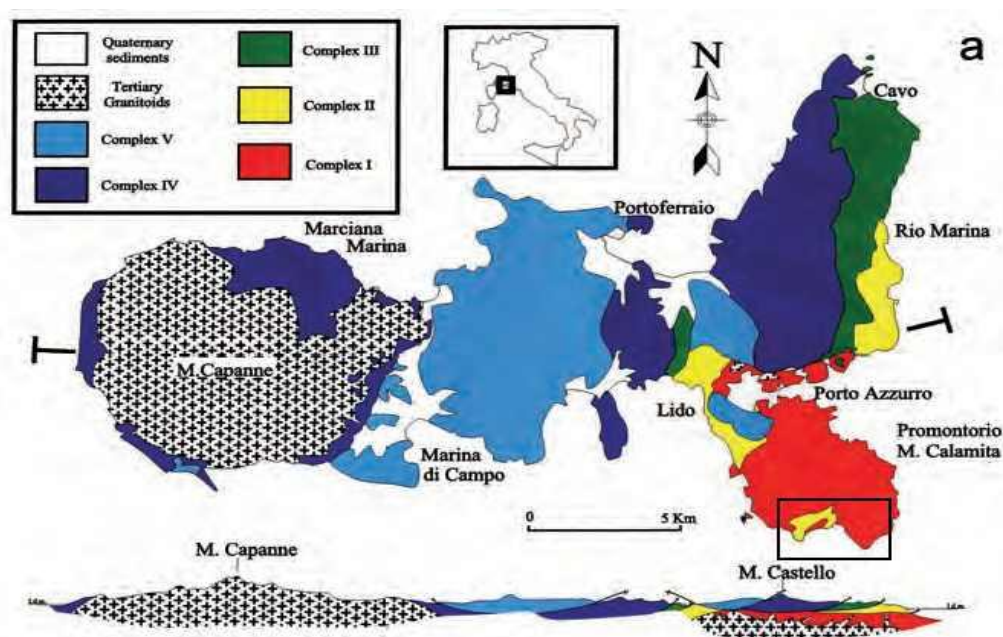


Fig 2.1 Carta tettonica schematica dell'Isola d'Elba (Barberi *et alii*, 1969b) e nel riquadro l'area di studio.

- 1) **Unità di Porto Azzurro** (Complesso I di Trevisan, 1950): costituita da micascisti, filladi e quarziti di età paleozoica con meta-carbonati e rocce meta-silicoclastiche di età compresa dal Triassico al Hettangiano. La zona di Porto Azzurro è tipicamente tagliata da dicchi aplitici e microgranitici legati al magmatismo del plutone monzogranitico di La Serra-Porto Azzurro di età compresa tra i 5.1-6.2 Ma (Maineri,

2003), con produzione di un forte termometamorfismo impresso sulle rocce incassanti.

- 2) **Unità di Ortano** (unità basale del Complesso II) costituita da filladi, quarziti, porfiroidi, meta-arenarie e meta-conglomerati. Questa successione è stata correlata con la formazione di età Ordoviciano della Sardegna e delle Alpi Apuane (Pandelli e Puxeddu, 1990). Questa unità è stata soggetta alla ricristallizzazione per termometamorfismo legata al plutone di La Serra-PortoAzzurro (Duranti *et alii*, 1992)
- 3) **Unità di Acquadolce** (unità sommitale del Complesso II) costituita da marmi dolomitici massivi, calcescisti e successioni silicoclastiche. Questa successione è considerata come il risultato del metamorfismo dei sedimenti oceanici del mare Ligure-Piemontese correlabili con gli *Schistes Lustrés* della Corsica. Il termometamorfismo di età Mio-Pliocenica è ben visibile su queste rocce.
- 4) **Unità di Monticiano-Roccastrada** (unità basale del Complesso III) costituita da metasedimenti ricchi in materia organica di età tardo carbonifera, in discordanza con la sovrastante successione del Verrucano del Triassico sup.
- 5) **Falda Toscana** (unità centrale del Complesso III) rappresentata dalla breccia calcarea e dolomitica (Calcere Cavernoso auctt.). calcari (<Calcere Massiccio>, tardo Triassico-Hettangiano), calcari nodulari(<Rosso Ammonitico>, Liassico medio e tardo) e calcari marnosi (Dogger).
- 6) **Unità di Grassera** (unità sommitale del Complesso III) costituita per la maggior parte da *slate* varicolori e da siltiti, con rare intercalazioni di metacalcari e meta-selci.
- 7) **Unità Ofiolitica** (Complesso IV) con formazioni di età dal Giurassico al Cretaceo. Questa unità è caratterizzata dalla successione ofiolitica (serpenitiniti ed oficalciti) e dai sedimenti pelagici ad essi associati (Diaspri, Calcari a Campionelle e Argille a Palombini)
- 8) **Unità del Flysh Paleogenico** (unità basale del Complesso V) consiste in argilliti, marne, calcari arenarie e breccie ofiolitiche. Correlabili con le successioni Epiliguri della Toscana.
- 9) **Unità del Flysh Cretaceo** (unità sommitale del complesso V) composta da Argille a Palombini e argille varicolori, con passaggio da depositi da corrente di torbida a conglomerati e alternati a rocce marnose.

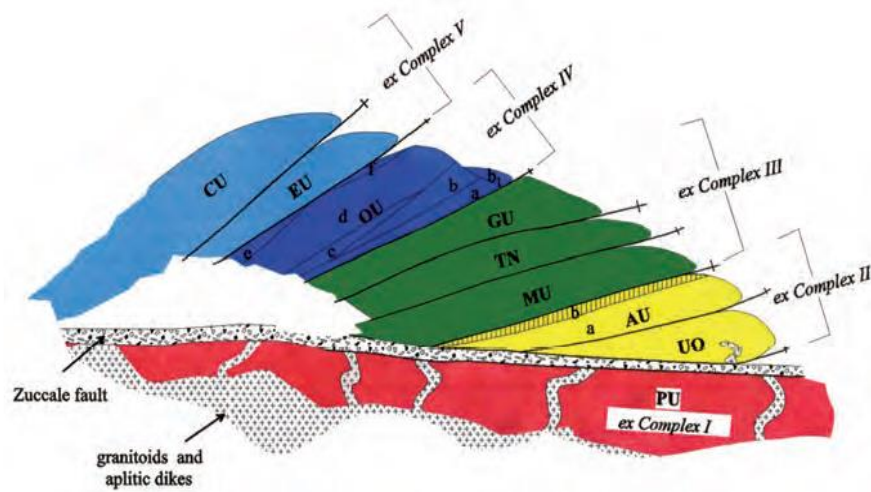


Figura 2.2 Schema tettonico dell' Elba con i 9 sottogruppi con cui sono stati suddivisi i tradizionali Complessi (Bortolotti et alii, 2001)

Le Unità di Porto Azzurro e di Ortano contengono le rocce di basamento più antiche; datazioni radiometriche U-Pb su zircone (Musumeci *et alii*, 2011) indicano un'età dei sedimenti del Carbonifero Inferiore, più precisamente Viséana (347-330 Ma). Relitti di deformazione legata all'orogenesi Varisica (Sx di Garfagnoli *et alii*, 2005) sono preservati in queste rocce intensamente deformate e trasformate durante gli eventi Oligo-Miocenici. Successivamente, durante la chiusura del Oceano Ligure-Piemontese dal Cretaceo superiore al Eocene, abbiamo la deformazione dei depositi e delle rocce riconducibili alle Liguridi, in particolare il Complesso IV e il Complesso V. L'imminente collisione e il raccorciamento del margine adriatico, durante l'Orogenesi Alpina durata in modo discontinuo dall'Eocene superiore al Miocene inferiore. In questo arco di tempo le Liguridi e le Toscanidi (Complessi I, II, III) hanno avuto modo di deformarsi e di impilarsi. Dal Miocene superiore incomincia una fase estensione e di assottigliamento della strutture impilate, legata all'apertura del Mare Tirreno, con la conseguenza attività magmatica e la successiva messa in posto del Mt. Capanne, circa 7 Ma (Dini *et alii*, 2002) e del plutone di Serra-Porto Azzurro, dai 5 ai 6 Ma (Maineri, 2003).

La messa in posto di questi plutoni ha prodotto un'impronta termometamorfica e metasomatica sulle rocce incassanti, inoltre ha indotto dei distacchi gravitativi delle Unità impilate embriciate. Queste Unità tettoniche vengono dislocate lungo uno sovrascorrimento (Faglia di Zuccale) a basso angolo che mette a contatto, tramite un orizzonte cataclastico decametrico (Breccia di Zuccale) l'Unità di Porto Azzurro con le altre unità già imbricate. Un sistema di faglie normali tardive con direzione Nord-Sud e ad alto angolo, dissesta le Unità tettoniche (Bortolotti *et alii*, 2001) e taglia la superficie di scorrimento a basso angolo. Localmente le faglie tardive sono interessate da circolazioni di fluidi idrotermali con mineralizzazione di ematite (Deschams *et alii*, 1983).

### 3. AREA DI STUDIO

L'area di studio è situata nei dintorni della Spiaggia di Remaiolo (Fig. 3.1.1). Di seguito viene riportato l'inquadramento geografico e un breve cenno sulla letteratura geologica del luogo.

#### 3.1. Localizzazione geografica

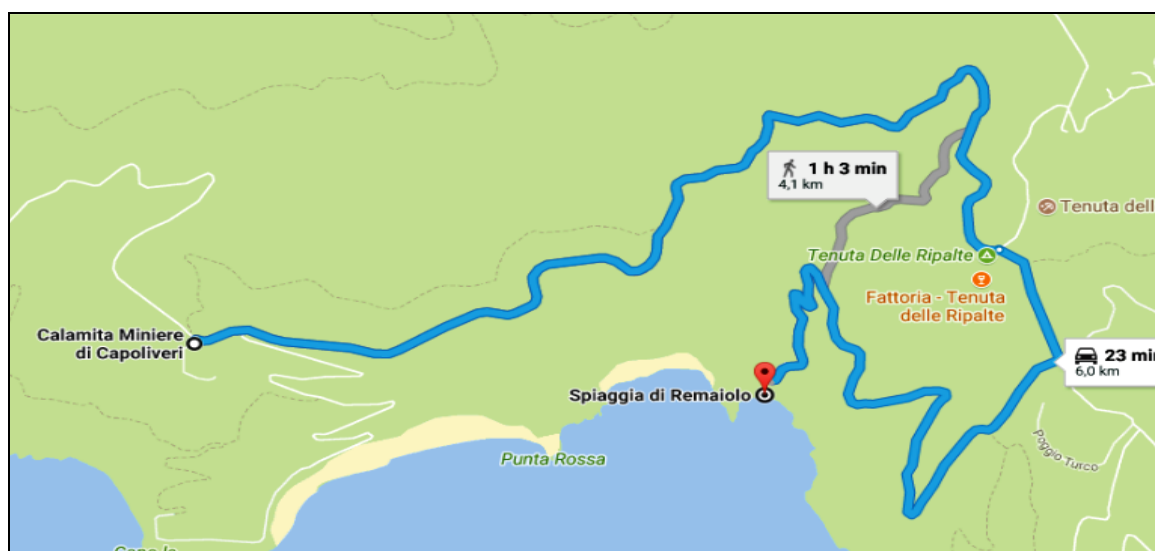


Figura 3.1.1 Carta dei sentieri e delle strade (Google Maps)

La Spiaggia di Remaiolo si trova a Sud di Mt. Calamita ed è situata nella zona Sud orientale dell'isola. Da Porto Ferraio, l'unico porto di grandi dimensioni dell'Isola d'Elba, dirigersi con una macchina verso Capoliveri. Da questa località si prosegue verso SE fino ad arrivare alle Calamita Miniere di Capoliveri. Dalle Miniere verso E la strada diventa bianca e prosegue fino alla Tenuta delle Ripalte. Per raggiungere l'area di studio (Spiaggia di Remaiolo) si può scendere con la macchina fino alla spiaggia, ma l'accesso è privato a partire dalla Tenuta; in alternativa, si parcheggia la macchina all'inizio del sentiero segnato con colore grigio (Fig. 3.1.1) e si scende a piedi. Per una migliore conoscenza della zona sono state effettuate tutte e due le strade.

#### 3.2. Inquadramento geologico della zona

La zona studiata appartiene all'**Unità tettonica di Porto Azzurro** (Complesso I, Trevisan, 1950 e Barberi *et alii*, 1969b; Unità del Calamita, Perrin, 1975; PU, Porto Azzurro Unit, Bortolotti *et alii*, 2001a), in particolare modo ci troviamo nell'area del **Complesso di Monte Calamita** (Gneiss del Monte Calamita, Trevisan, 1951; Complesso scistoso di Capo Calamita, Barberi *et alii*, 1967b; gc, Barberi *et alii*, 1969a, 1969b; Scisti del Calamita, Perrin, 1975; CI, Mt. Calamita Fm., Bortolotti *et alii*, 2001a), nel "**litodema dei micascisti**" (Scisti muscovitici-biotitici con metablastesi plagioclasica, Barberi *et alii*, 1967b). Questo litodema affiora solo nella parte meridionale del Promontorio di Monte Calamita (Pareti - Innamorata e Poggio Turco - Remaiolo - Costa dei Gabbiani). I migliori affioramenti sono visibili sulla strada che porta alla Spiaggia del Remaiolo (davanti allo Scoglio di Remaiolo). È costituito da micascisti e filladi di colore da grigio argenteo a grigio-verdastro con locali patine di alterazione ocracee (Principi *et alii*, in stampa).

Il Complesso di Monte Calamita (Fig. 3.2.1) costituisce la maggior parte dell'Unità Porto Azzurro ed affiora con buone esposizioni sull'intero Promontorio del Monte Calamita e nella fascia costiera tra La Mola - Porto Azzurro e l'area mineraria di Terranera.

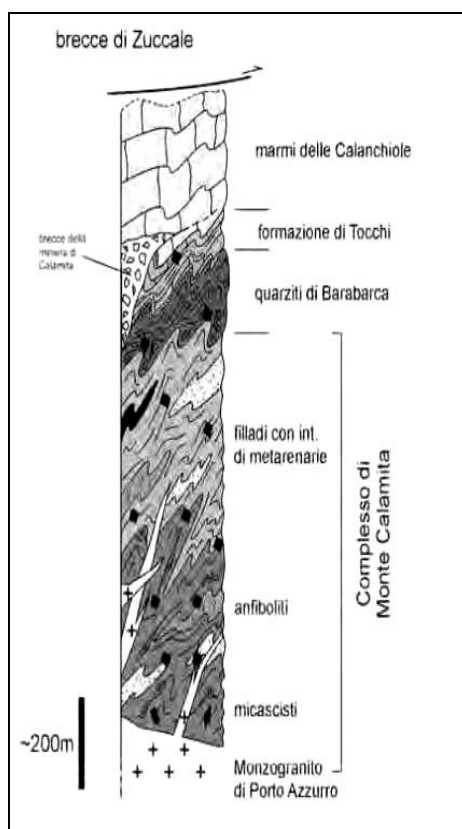


Figura 3.2.1 Colonna stratigrafica dell'Unità di Porto Azzurro (Principi et alii, in stampa).

Sopra al Complesso di Monte Calamita in contatto tettonico troviamo le **Quarziti di Barabarca** (Gruppo del Verrucano, Tq, Barberi *et alii*, 1967b; Formazione del Verrucano Tv, Barberi *et alii*, 1969a, 1969b; Quarziti di Barabarca, Perrin, 1975).

Questa formazione affiora estesamente lungo la costa, nell'area compresa tra la Punta dello Zuccale e Barabarca - Madonna delle Grazie. I migliori affioramenti si trovano presso la zona di Poggio Turco - Remaiolo. La successione è costituita prevalentemente da alternanze di strati quarziticci e metaconglomeratici ("anageniti" Auctt.) grigi chiari di spessore da decimetrico fino a metrico (max. 2,5 m). Questi litotipi includono clasti, da sub-angolari ad arrotondati di quarzo di colore bianco con una cernita molto scarsa. Lo spessore massimo apparente della formazione è stimabile intorno ai 50 m. L'ambiente sedimentario del protolite sedimentario è di un contesto continentale fluviale (Principi *et alii*, in stampa).

Il passaggio alla sovrastante "formazione di Tocchi" è generalmente tettonizzato.

**Formazione dei Tocchi** (T1 pp, Barberi *et alii*, 1967a; Td pp e Tc pp, Barberi *et alii*, 1969a, 1969b)

Questa formazione, per le analogie litologiche e la posizione stratigrafica, viene correlata con la Formazione di Tocchi affiorante in Toscana meridionale (Costantini *et alii*, 1980). Affiora nel Promontorio di Monte Calamita lungo la costa a sud di Lido. È una successione non fossilifera, costituita da livelli metrici-decimetrici di dolomie cristalline e metacalcari impuri, da grigi a giallo-arancio, alternati a calcescisti. Sono inoltre frequenti intercalazioni

decimetriche di filladi grigie, grigio-verdi, verdi e marroni. Si presenta spesso interessata da complesse strutture deformative in quanto costituisce un livello di scorrimento tettonico preferenziale. Il passaggio ai sovrastanti “marmi di Le Calanchiole” è stratigrafico, graduale, per la progressiva scomparsa della componente pelitica. Ambiente di deposizione litorale (Principi *et alii*, in stampa).

**Marmi di Le Calanchiole** (T1, Barberi *et alii*, 1967a; Tc pp e G1, Barberi *et alii*, 1969a, 1969b; dc,

Crystallines Dolostones and Dolomitic Limestones, Bortolotti *et alii*, 2001a).

Questa formazione è generalmente suddivisibile in due associazioni litologiche: quella inferiore è ben stratificata e costituita da strati marmorei e marnoso-dolomitici, di spessore da centimetrici fino a 1,5 m e colore bianco e grigiastro (talvolta possono risultare giallastri per infiltrazione di ossidi/idrossidi di ferro), con intercalazioni millimetriche-centimetriche di filladi e calcescisti; quella superiore è costituita da marmi, marmi dolomitici e dolomie cristalline saccaroidi ad aspetto massiccio o grossolanamente stratificato, di colore da grigio chiaro-biancastro a giallastro e localmente caratterizzata da bande bianche e grigie. Nell'area mineraria di Punta della Calamita (es. nella Miniera Macei Alti), questi litotipi sono interessati da estese mineralizzazioni e trasformazioni metasomatiche in corpi di skarn (Principi *et alii*, in stampa).

L'Unità di Porto Azzurro è divisa dalla Unità del Flysh Cretaceo sovrastante dalla **Breccia di Zuccale** (Keller & Piali, 1991; Pertusati *et alii*, 1993; Daniel & Jolivet, 1995; c1, Zuccale Cataclasite, Bortolotti *et alii*, 2001a; Collettini & Barchi, 2004; Collettini & Holdsworth, 2004; Collettini *et alii*, 2006, 2009).

Secondo il lavoro di Garfagnoli *et alii* (2005) il Complesso di Monte Calamita si può dividere in 5 litofacies anziché in 3 litodemi come è stato fatto nel più recente lavoro condotto da Principi *et alii* (in stampa):

- **Litofacies a:** principalmente composta da micascisti di colore da grigio argento a grigio verdastro e filladi grigie con patine ocracee di alterazione. I micascisti a biotite-muscovite tipicamente presentano porfiroblasti sin-tettonici di albite. Rari i porfiroblasti di granato. Questi ultimi sono rotti, cloritizzati e avvolti nella foliazione alpina (S1) oppure subisco il termometamorfismo e ricristallizzano in aggregati pseudomorfici di biotite. Questi litotipi affiorano nella zona di Remaiolo-Poggio Turco. Il contatto con la **Litofacies b** è rappresentato nella carta geologica (Fig. 3.2.2) come una linea tratteggiata.
- **Litofacies b:** è rappresentata da alternanze di filladi quarzose grigio-verdastre e meta-arenarie grigie. Le filladi sono scarse in clorite e le meta-arenarie hanno grana da fine a media. Localmente nelle filladi sono presenti allineamenti di ossidi di ferro di dimensioni millimetriche. Questi litotipi affiorano a NE di M. Calamita.
- **Litofacies c:** consiste in un alternanza di filladi di colore nero e quarziti ricche in materia organica. Formano corpi lenticolari con contatti regolari con la **Litofacies a**, nell'area di Poggio Turco, Costa dei Gabbiani e lungo la strada che porta alla Spiaggia di Remaiolo. I corpi lenticolari hanno spessore da centimetriche a decimetriche. Questi sono interpretati come metasedimenti risalenti al Carbonifero (Puxeddu *et alii*, 1984)



- *Litofacies d*: consiste in anfiboliti di colore da verde scuro con bande di colore chiaro. Affioranti in Pareti-Morcone, Punta del Praticolo e nella area di Remaiolo. Queste anfiboliti a E di Remaiolo mostrano un contatto graduale con i micasciti della *Litofacies a*.
- *Litofacies e*: roccia di colore da grigio a grigio scuro, con tessitura augen di composizione quarzoso-feldspatico con colore chiaro. Orizzonti decimetrici di litotipi filladici-quarzitici. La tessitura porfiroclastica è pre-cinematica data da relitti di dimensioni di 1cm di feldspati, quarzo e aggregati di quarzo+plagioclasio+K-feldspato.

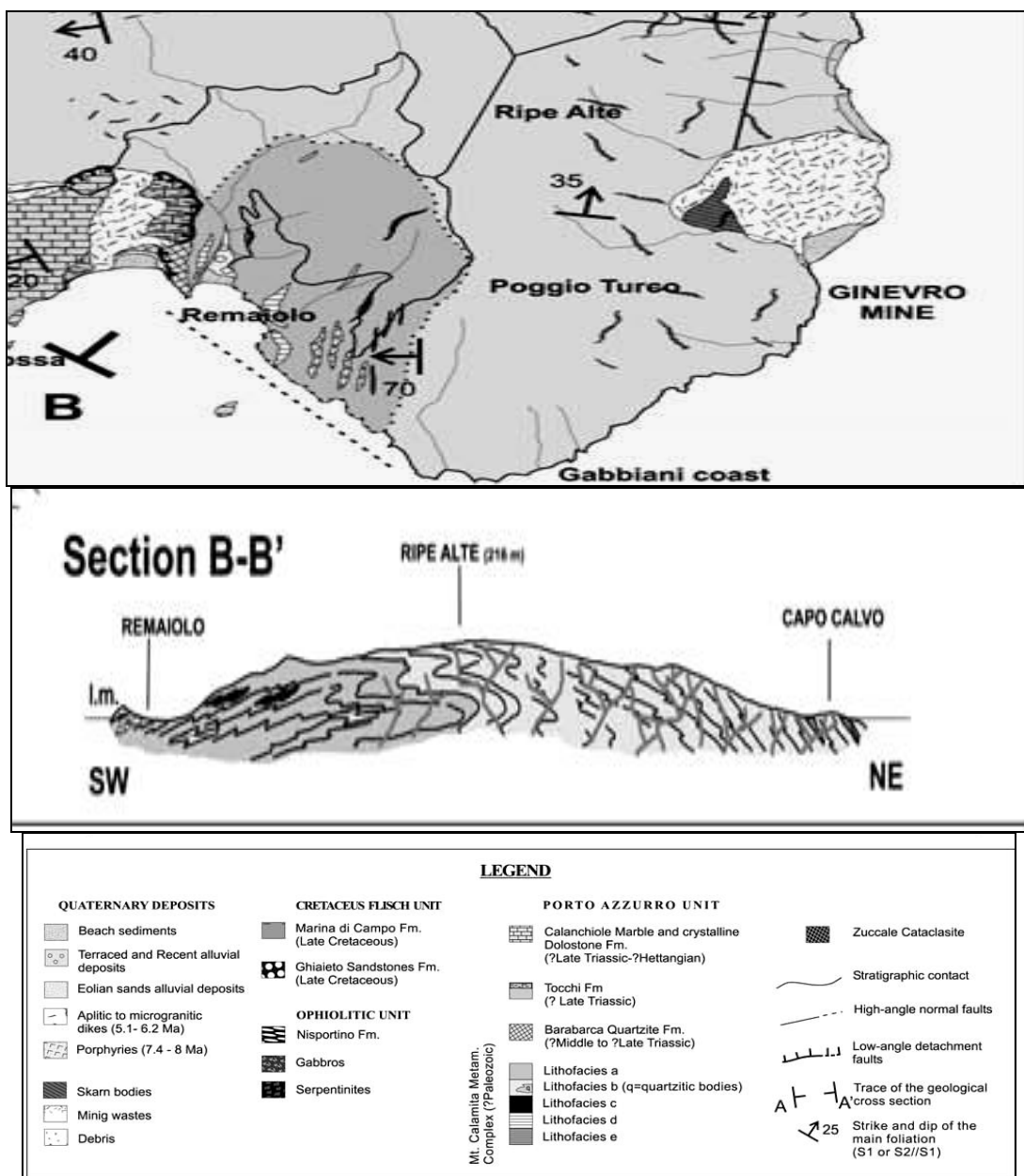


Figura 3.2.2 Carta geologica dell'area della Spiaggia di Remaiolo e zone limitrofe (da Garfagnoli et alii, 2005)

### 3.3. Evoluzione metamorfica-strutturale dell'Unità di Porto Azzurro

L'Unità di Porto Azzurro ha subito diversi eventi metamorfici. Questi eventi sono stati registrati nelle rocce di questa Unità come strutture, piani di foliazioni e associazioni mineralogiche (Tabella 1).

Queste tracce di eventi passati, sono meglio preservate e quindi più facilmente studiabili nelle litologie con livelli lepidoblastici dominanti.

Queste interpretazioni sono in accordo con lo studio condotto da Garfagnoli *et alii* (2005). Nel Carbonifero Inferiore i sedimenti che costituiranno il protolite del Complesso Metamorfico di M. Calamita subiscono un evento metamorfico e deformativo (Mx e Dx) legato all'Orogenesi Varisica.

Questo evento Dx e Mx genera un foliazione (Sx), data dall'associazione di mica bianca, clorite e biotite. In oltre il grado metamorfico è tale da permettere la blastesi di granati. Da 27-19 Ma il Complesso Metamorfico di M. Calamita e le coperture mesozoiche subiscono l'Orogenesi Alpina (D1 e M1) con formazione di una nuova foliazione (S1). Questa foliazione assimila la precedente Sx e genera un'associazione di minerali data da mica bianca, sericite e clorite. I granati ercinici vengono rotti e avvolti nel S1, subiscono un processo di metamorfismo retrogrado e ricristallizzano in clorite. Da 14-12 Ma l'Unità di Porto Azzurro subisce un secondo evento metamorfico (D2 e M2), sempre legato all'Orogenesi Alpina. Questo evento crea un clivaggio di crenulazione (S2) sul precedente S1, con un allineamento pervasivo di minerali opachi, mica bianca, sericite e clorite.

L'allineamento dei minerali opachi è molto accentuato nei protoliti ricchi in materia organica. I due eventi metamorfici alpini sono entrambi in facies Scisti Verdi. A partire da 5.1-6.2 Ma (Suapè *et alii*, 1982) si registra un nuovo evento di deformazione (D3) legato alla risalita del corpo magmatico del plutone monzogranitico di La Serra-Porto Azzurro. Il calore generato dal plutone ha prodotto tracce di termometamorfismo (M3), con la crescita di porfibrasti di andalusite associati a biotite e muscovite. L'evento M3 è tipico di alte temperature (HT) e basse pressioni (LP), la facies metamorfica è *Hornblende Horfels* (Garfagnoli *et alii*, 2005). La ricristallizzazione statica è forte, tanto da obliterare le precedenti tessiture dei livelli lepidoblastici. Le cloriti, appartenenti ad eventi metamorfici precedenti, vengono ricristallizzate in biotiti a grana più grossa e con sfumature color verde. Queste biotiti possono disporsi in aggregati decussati, crescere in modo concorde con la foliazione se la mica precedente era allineata in una foliazione o in modo discordante se la crescita non avviene secondo la direzione di foliazione. La crescita dei minerali termometamorfici è precedente o immediatamente successiva alle crenulazioni prodotte dal evento D3. Questo evento crea un clivaggio di crenulazioni (S3) che può rompere i minerali termometamorfici già formati. Nella zona delle Miniere di Calamita l'evento M3 ha prodotto corpi di skarn a magnetite.

Le strutture deformative D4 e D5 non sono visibili alla scala della sezione sottile ma solo alla scala della carta geologica, sono dovute alla fase finale della messa in posto e dell'assestamento del plutone di La Serra-Porto Azzurro.

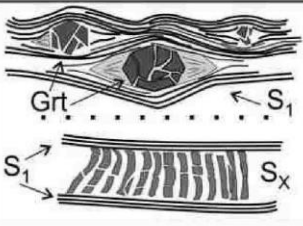

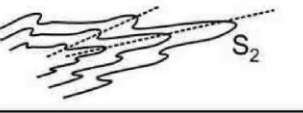
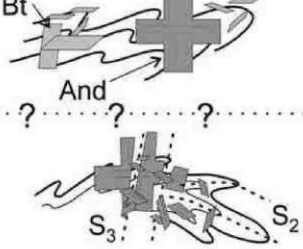
AGE	DEFORMATIONS (D) and METAMORPHIC (M) EVENTS	FOLIATIONS	STRUCTURES	MAIN FOLIATION MINERAL
Carb. Inf.	D <sub>x</sub> /M <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>		Ms±Bt ±Chl±Grt
27-19 Ma (?)	D <sub>1</sub> /M <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>		Ser/Ms+Chl
14-12 Ma (?)	D <sub>2</sub> /M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>		Op+Ser/Ms ±Chl
5.1-6.2 Ma	HT/LP event M3 ..... D <sub>3</sub>	--- ..... S <sub>3</sub>		And+Bt±Ms

Tabella 1 Schema dell'evoluzione metamorfico-strutturale dell'Unità di Porto Azzurro. La colonna colorata indica i principali minerali della foliazione caratteristici di un evento metamorfico e riconosciuti durante questo lavoro di tesi. (Garfagnoli et alii, 2005; dati cronologici da KLINGFIELD et alii, 1986; SAUPÉ et alii, 1982; BRUNET et alii, 2000; DEINO et alii, 1992).

## 4. METODI

Il lavoro di tesi ha comportato una fase di rilevamento delle aree adiacenti alla Spiaggia di Remaiolo, campionamento delle principali litologie affioranti e analisi mineralogica e petrografica dei campioni in laboratorio.

### 4.1. Metodi di terreno

Prima di andare sul campo e compiere il rilevamento, sono state condotte delle ricerche preliminari tramite lo studio della letteratura geologica e da vari articoli scientifici, in particolare il lavoro di Grafagnoli *et alii* (2005). Sulla base dell'analisi di orto-foto 1:10 000, anno 2013, e immagini da satellite disponibili on-line nel portale cartografico della Regione Toscana (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>) è stata realizzata una cartina degli affioramenti preliminare usando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale 1: 2 000. Questa operazione è servita per avere un'idea preliminare degli affioramenti e della loro posizione in campagna. Sul terreno gli affioramenti sono stati studiati sotto vari aspetti. Tramite la rappresentazione grafica sul quaderno di campagna e la rispettiva foto, è stato possibile elaborare foto interpretative delle strutture e degli affioramenti. Tramite l'utilizzo di bussola sono state prese le giaciture dei piani di scistosità e delle discontinuità. Le giaciture sono state riportate in accordo con il metodo del *dip direction*. Per le litologie sono state descritte le principali caratteristiche mineralogiche e strutturali. Tutte le informazioni cartografabili sono state acquisite e riportate in una carta degli affioramenti basata sulla cartografia della Regione Toscana (Allegato 1). La carta è stata compilata con il programma QuantumGIS (QGIS), versione 2.18.4. Per ogni affioramento sono stati prelevati dei campioni a mano e descritti al fine di caratterizzare l'affioramento anche alla scala del campione.

### 4.2. Metodi di laboratorio

I campioni raccolti sono stati scelti in base alle loro caratteristiche peculiari, ai fini della descrizione oppure in base a tessiture o mineralizzazioni particolari. Sulla base di questi parametri abbiamo deciso di fare 6 sezioni sottili, che potessero riassumere il numero maggiore di informazioni possibili. L'analisi mineralogica e petrografica è stata condotta con un microscopio ottico polarizzatore a luce trasmessa; le fotomicrografie sono state ottenute con uno stereoscopio WILD dotato di fotocamera digitale.

## 5. RISULTATI

### 5.1. Risultati di terreno

I risultati del lavoro di campagna sono presentati nella carta degli affioramenti 1: 1500 di Fig. 5.1 e in Allegato 1. Durante l'attività di rilevamento sono stati prelevati dei campioni su cui sono state eseguite le prove di laboratorio.

Ai campioni prelevati durante questa fase di lavoro sono stati assegnati delle sigle identificative e riportate sulla mappa con la loro posizione. In Allegato 2 è riportata la descrizione speditiva dei campioni raccolti. Vengono di seguito descritti i litotipi rilevati nell'area della Spiaggia di Remaiolo.

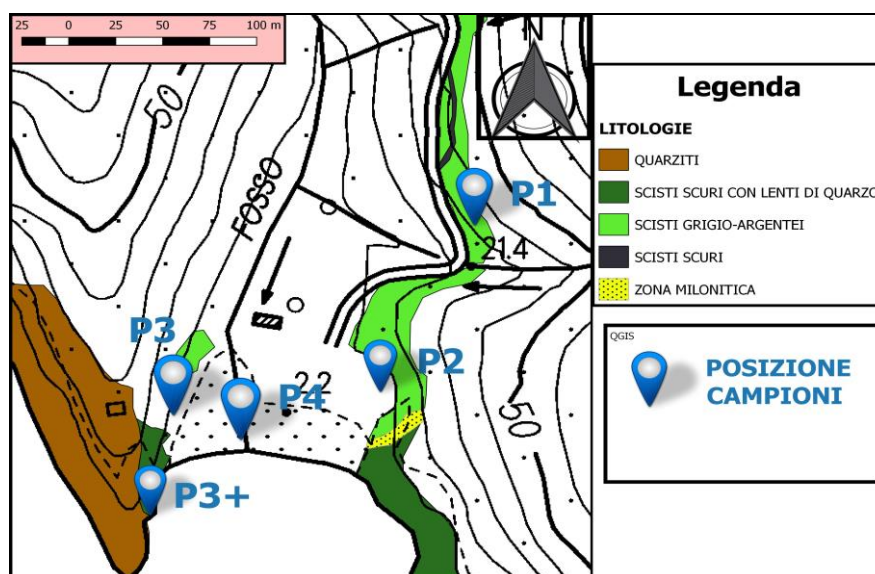


Figura 5.1 Carta dei campioni dei affioramenti e locazione dei campioni. Scala 1: 1500.

**Scisti grigio-argentei:** Questa litologia affiora lungo la strada che porta alla Spiaggia di Remaiolo. L'affioramento si presenta con un colore da grigio-argento a rosso ruggine nelle zone maggiormente alterate (Fig. 5.2). Le zone non soggette ad alterazione sono poche, le patine rosse sono dominanti su tutto l'affioramento, sono probabilmente ossidi di Fe. La tessitura è lepidoblastica, raramente alternata a lenti chiuse e poco persistenti di composizione quarzoso-feldpatica. La composizione mineralogica suggerisce un protolite pelitico. Nei livelli scistosi si notano cristalli a grana fine di biotite e mica bianca, saltuariamente si possono notare cristalli soprattutto di biotite e in minor quantità di mica bianca a grana leggermente più grossa disposti in aggregati. Intercalate a questa litologia è presente una lente di materiale più scuro di dimensioni centimetriche e decimetriche, con contatto graduale verso gli scisti grigio-argentei.

L'affioramento appare molto fratturato e presenta più set di discontinuità (Fig. 5.3), sulla parte sommitale è presente un orizzonte pedogenizzato con spessore da centimetrico a decimetrico.

Si nota un complesso sistema di vene che taglia la foliazione, con spessore delle vene di 1-2 cm. Localmente si possono trovare delle cavità anche di 3 cm di spessore, con formazioni di minerali di quarzo euedrali. Il quarzo si forma dalla parete delle discontinuità verso l'interno, con abito prismatico allungato e terminato; è incolore anche se localmente una patina di ossido di Fe gli conferisce un colore ocreo.

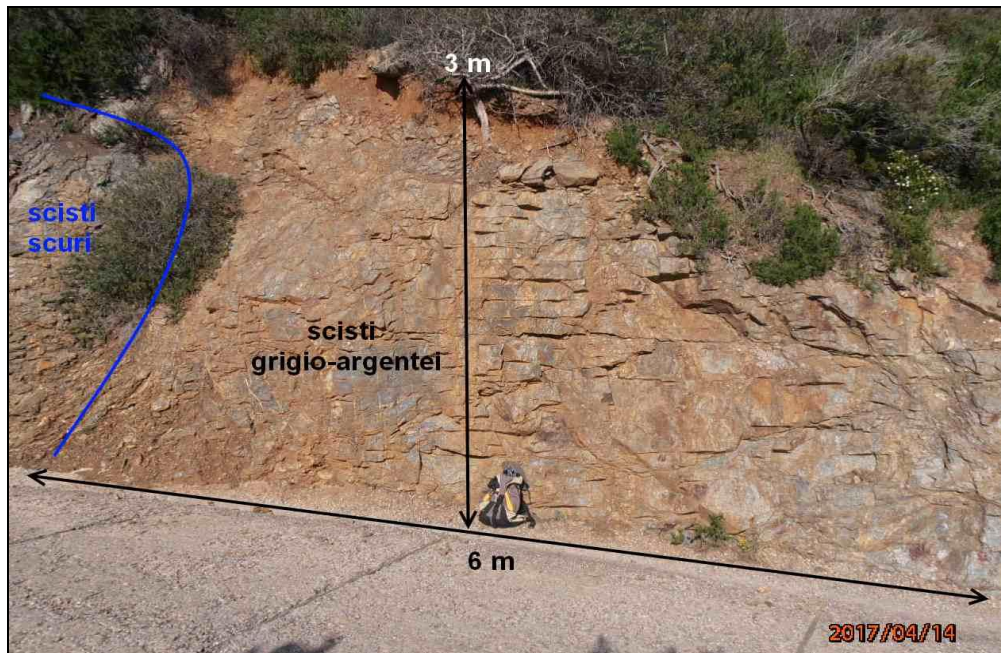


Figura 5.2 affioramento dei scisti grigio-argentei con lenti di scisti scuri.

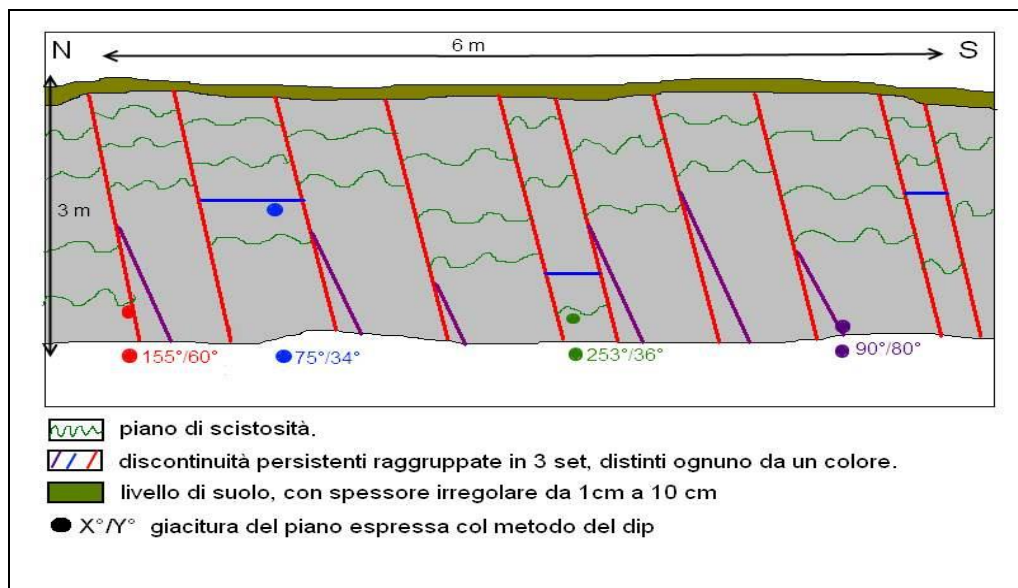


Figura 5.3 Schema dei piani di discontinuità e di scistosità dell'affioramento riferito alla Fig. 5.2.

**Scisti grafitici:** Si trovano sulla strada che porta alla spiaggia ad una quota di 30 m dal mare. Questa litologia consiste in uno scisto di colore grigio scuro e grana fine, con struttura lepidoblastica e assenza di lenti di quarzo. Gli scisti grafitici formano dei corpi lenticolari di spessore da centimetrici a decimetrici all'interno degli scisti grigio-argento (Fig. 5.2). Il colore scuro è probabilmente dato da un alto contenuto di materia organica nel protolite pelitico; in questi scisti la materia organica si presenta sotto forma di grafite. Le patine rosso ruggine sono poco evidenti rispetto agli scisti grigio-argento. Da questo affioramento provengono i campione P1, rappresentativo degli scisti grigio-argentei, e P2, rappresentativo delle lenti di scisti scuri.

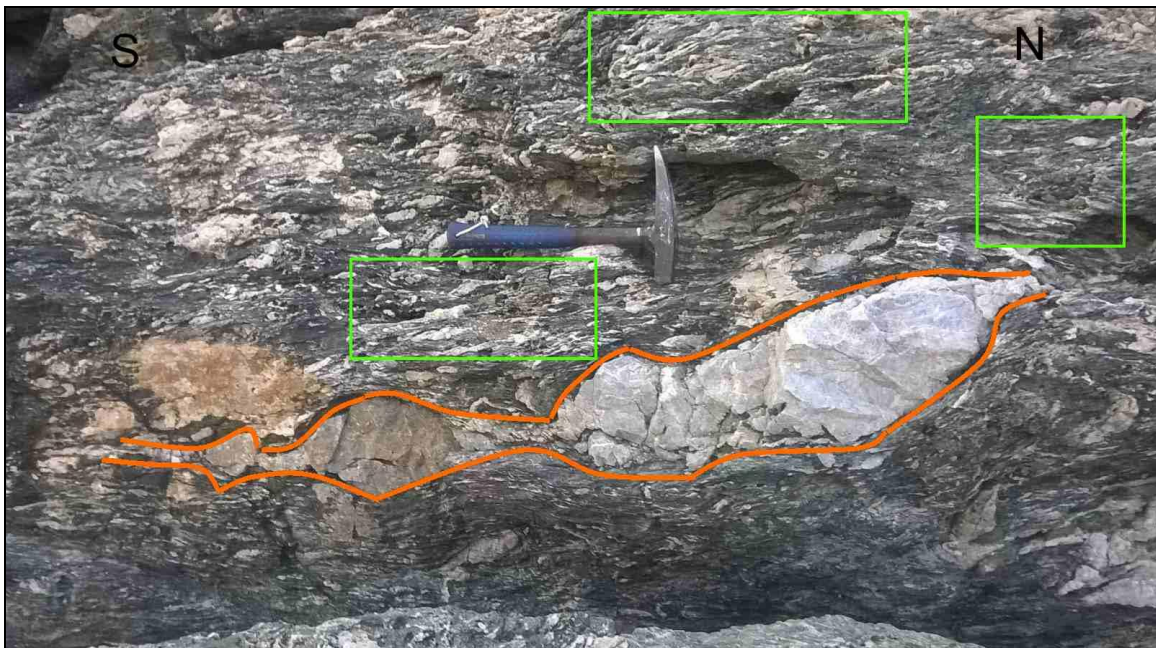


**Scisti scuri con lenti di quarzo:** L'ubicazione di questo litotipo è nella porzione a Ovest e Est della Spiaggia di Remaiolo. L'affioramento si presenta con colori scuri, dal verde molto scuro al blu scuro. La roccia appare non affetta da alterazione e non mostra le patine color rosso ruggine. La struttura dell'affioramento è alternata da livelli foliati a lenti quarzoso-feldspatiche. Le lenti leucocratiche sono abbondanti, abbastanza persistenti e polideformate da pieghe. La foliazione è data da biotite e mica bianca, la biotite è in quantità maggiore, tanto da imprimere alla roccia un colore molto scuro. Le lenti leucocratiche risultano appiattite e stirate lungo la direzione di foliazione. Sono presenti strutture di boudinage (Fig. 5.4), dovute alla differenza di competenza tra le lenti di quarzo e gli scisti incassanti. La porzione di quarzo si frattura in modo fragile e la porzione foliata in modo duttile. Si nota la presenza di porfiroclasti di quarzo-feldspato che formano strutture tipo augen-gneiss. In questo affioramento le lenti di quarzo possono essere deformate da pieghe (Fig. 5.6).

Dall'esame della composizione mineralogica si può suggerire che il protolite fosse di natura pelitico-arenacea, con una componente di quarzo maggiore rispetto agli scisti grigio-argentei. Nella zona ad Est della spiaggia in prossimità della riva, è possibile notare il contatto tettonico con gli scisti grigio-argento.

Il contatto è di tipo milonitico (Fig. 5.5), si presenta come una zona di transizione dove avviene un cambio generale del fabric, la continuità delle lenti è interrotta e ci sono dei relitti di materiale quarzoso-feldspatico appartenente alle lenti. La giacitura dell'immersione di questo contatto è di  $260^\circ/40^\circ$ .

Il campione P4 è stato raccolto in spiaggia nel detrito sciolto ed è stato correlato all'affioramento di scisti scuri con vene di quarzo sulla base delle sue caratteristiche petrografiche e tessiturali.



*Figura 5.4 Scisti scuri con lenti di quarzo stirate (riquadri verdi) e boudinate (in arancione).*



Figura 5.5 Contatto tettonico con sviluppo di una zona milonitica.



Figura 5.6 Lenti di quarzo deformata da piega di dimensioni centimetriche.

**Quarziti:** Questa litologia affiora nel promontorio a W della Spiaggia di Remaiolo. La roccia è di colore chiaro con sfumature grigio chiaro (Fig. 5.7). La struttura è data da



abbondanti livelli di quarzo-feldspato, alternati a sottili livelli micacei di 1 mm di spessore massimo. Sono visibili lenti di quarzo-feldspato che conferiscono alla roccia una struttura ad augen. I livelli lepidoblastici sono costituiti da mica bianca e biotite. Dalle caratteristiche mineralogiche e dal fabric visibile in affioramento, possiamo definire il protolite come un deposito silicoclastico con un'esigua frazione pelitica. Il contatto con gli scisti scuri è tettonico ed è presente una zona milonitica (Fig. 5.8). Questa zona presenta una perdita quasi totale del fabric precedente e un aspetto massivo. Risulta composta da frammenti di roccia sbriciolata e polverizzata, con la formazione di un deposito abbastanza caotico, soggetto ad una facile erosione da parte del moto ondoso.

I campioni prelevati hanno sigla P3 per la roccia normale, P3+ quando la roccia è tagliata da un sistema di vene con mineralizzazioni principalmente di quarzo. I campioni con sigla P3 sono stati raccolti alla base dell'affioramento, dove si accumula il detrito sciolto e poi correlati in base alle somiglianze petrografiche e strutturali all'affioramento.



*Figura 5.7 Contatto tra le due litologie e giacitura del piano di foliazione dei scisti scuri con lenti in quarzo.*

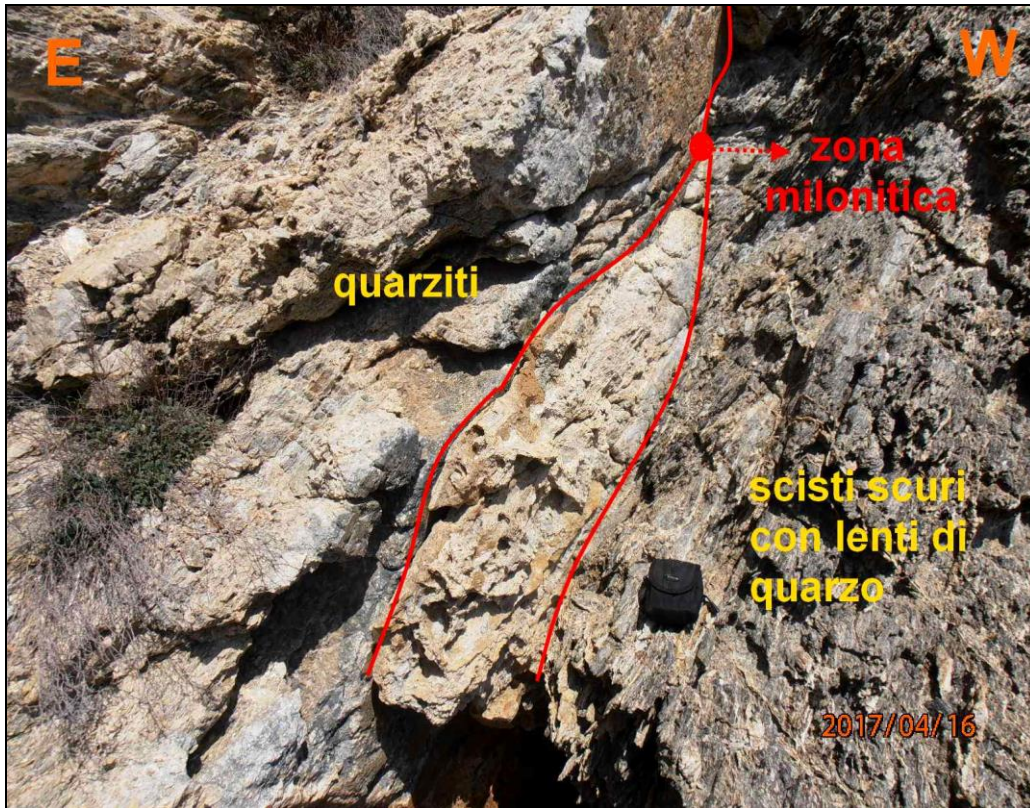


Figura 5.8 Contatto tettonico tra le Quarziti e i sottostanti Scisti scuri con lenti di quarzo.

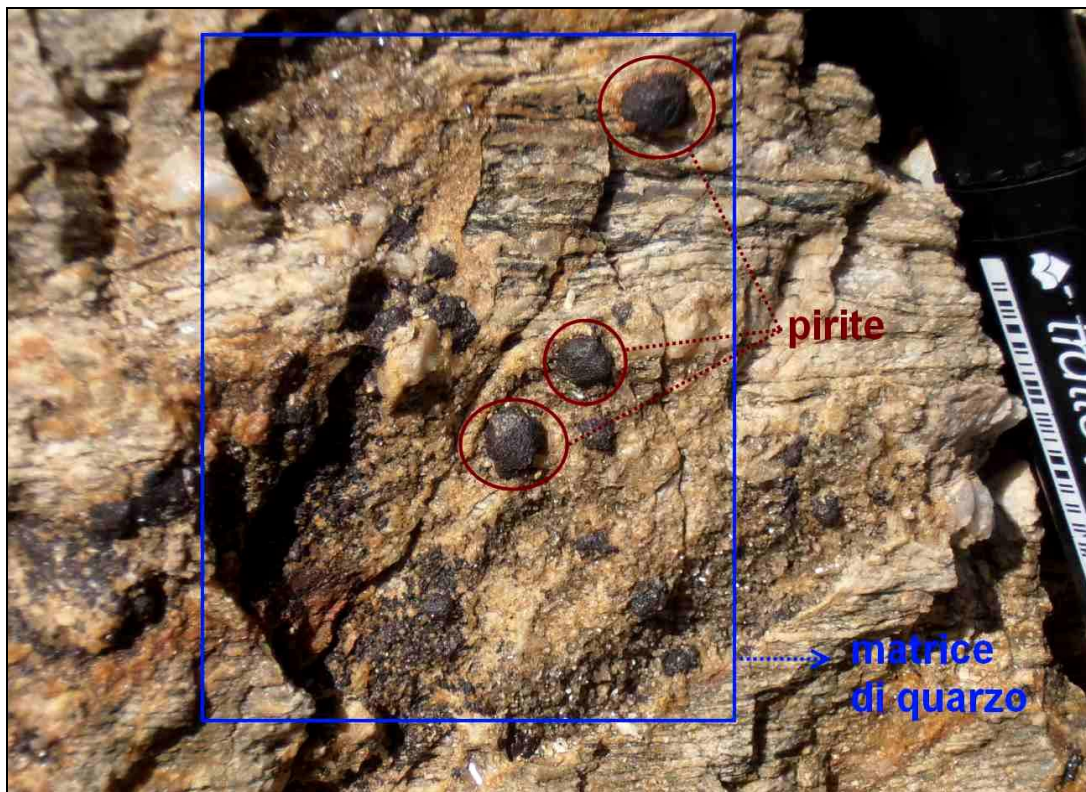


Figura 5.9 Quarziti con vene. Individui euedrali di pirite su matrice di quarzo. Si nota nella parte in alto la struttura foliata della quarzite.

In prossimità del contatto tra gli scisti scuri e le quarziti, l'affioramento è interessato da un sistema di vene, che taglia ad alto angolo la foliazione. I campioni P3 + sono stati raccolti in questa zona. Le vene con spessore millimetrico hanno composizione quarzosa. Se le



vene hanno dimensioni centimetriche la loro composizione può essere più complessa (Fig. 5.9). Si manifestano con una matrice di quarzo con abito terminato, dimensioni millimetriche e apprezzabili con la lente. La vena mostra associazione di quarzo+pirite e quarzo+pirite+minerali non riconoscibili in campagna. Pirite di colore rosso ruggine, nei cristalli meno alterati si nota l'abito originario penta-dodecaedro.

## 5.2. Analisi petrografiche di laboratorio

Da i campioni raccolti in campagna sono state ricavate 6 sezioni sottili e analizzate tramite l'utilizzo del microscopio ottico polarizzatore.

### 5.2.1. Scisti grigio-argentei (Campione P1)

Questa sezione è stata realizzata con il campione raccolto ed etichettato con la sigla P1. **Struttura:** La roccia si presenta con grana da molto fine a fine e tessitura lepidoblastica. La foliazione è ben marcata e continua, data dall'orientamento preferenziale delle miche. Le porzioni lepidoblastiche sono date da biotite con pleocroismo da arancione a bruno e mica bianca incolore. Relitti della foliazione ercinica Sx, foliazione costituita da biotite e mica bianca, sono orientati ad alto angolo rispetto alle foliazioni S1 e S2 legati al Orogenesi Alpina (Fig. 5.2.1). A volte alcuni cristalli di mica bianca e biotite a grana grossa appaiono sovrainposti sulla foliazione. La crescita di questi cristalli è legata al termometamorfismo del plutone di La Serra-Porto Azzurro; in questo contesto la mica bianca appare allungata quasi con abito aciculare mentre la biotite mostra un abito più tozzo. Queste miche a grana grossa legate ad una crescita statica possono sovrainporsi in modo discordante o concorde con la foliazione (Fig. 5.2.2). Nella roccia è presente un clivaggio di crenulazione dato dalla deformazione di seconda fase D2 che produce una scistosità S2 (Fig. 5.2.3).

**Minerali secondari:** Compaiono in modo sporadico cristalli di quarzo con bordi ameboidi. Si notano alcuni piccoli frammenti di cristallo avvolti e avvolto dalla foliazione S2. Questi frammenti di cristalli hanno rilievo alto e ai nicol incrociati sono sempre estinti (Fig. 5.2.4). Secondo Garfagnoli *et alii* (2005) questi sono relitti di granati legati all'evento metamorfico ercinico Mx.

**Minerali accessori:** Nei livelli lepidoblastici S1 e Sx compaiono porfiroclasti di tormalina tagliati in sezione basale. Il cristallo si presenta euedrale di colore verde pallido con una leggera zonatura di colore azzurro tenue. L'estinzione è sempre retta nelle sezioni basali e colori di interferenza del 2° ordine. Sempre in questi livelli compaiono porfiroblasti sub-euedrali di andalusite.

Si notano vene parallele alla foliazione di colore rosso forse riempite di ematite.

**Classificazione:** In base a queste osservazioni classifico gli scisti grigio-argentei come scisto a biotite e mica bianca.

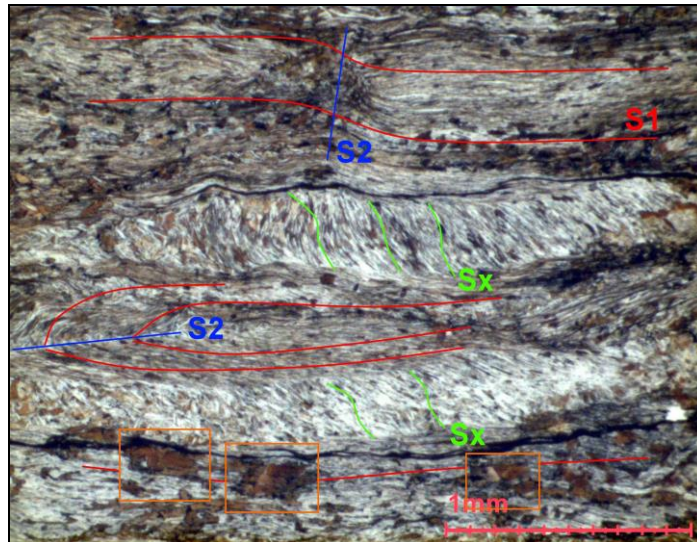


Figura 5.2.1 Microfotografia del campione P1; nel riquadro arancione le biotiti a grana grossa legate all'evento termometamorfico Mio-Pliocenico.

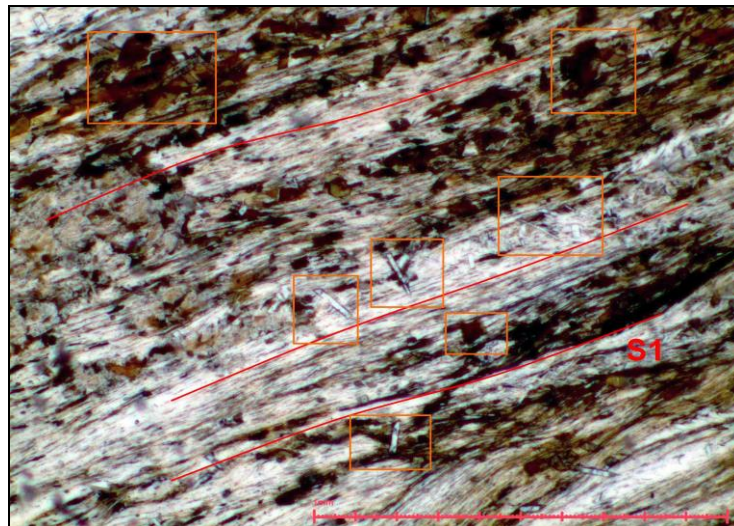


Figura 5.2.2 Biotite e mica bianca a grana grossa e sovrainposti alla foliazione S1 (riquadro arancione).

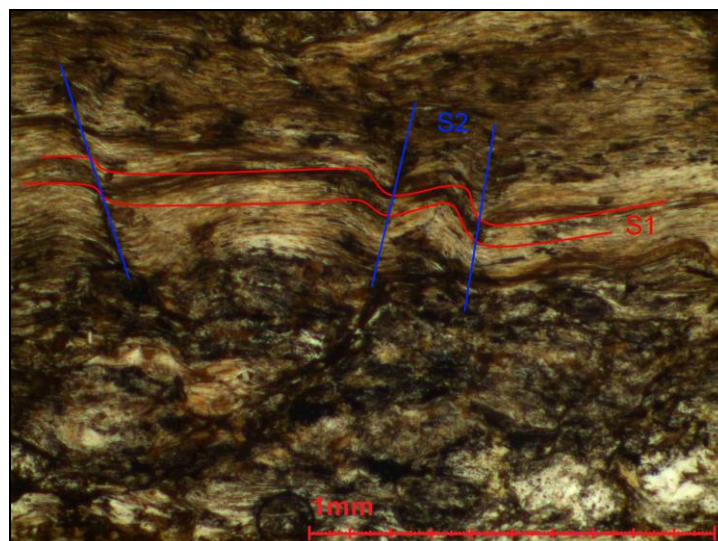


Figura 5.2.3 Fotomicrografia degli scisti grigio argentei (campione P1) che evidenzia le crenulazioni nella S1 e la formazione della S2 ad alto angolo rispetto alla prima.

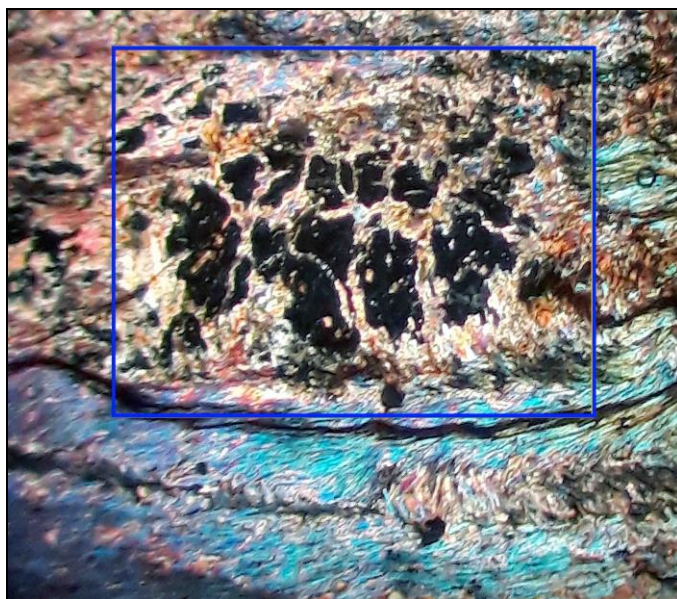


Figura 5.2.4 Possibili frammenti di granato, intensamente fratturato e avvolto nella foliazione (il quadrato blu ha dimensioni di 0,5 mm circa)

### 5.2.2. Scisti scuri (campione P2)

Questa sezione è stata realizzata con il campione P2, uno scisto scuro raccolto nel detrito sciolto alla base dell'affioramento (Fig. 5.1).

**Struttura:** La roccia presenta una struttura foliata continua a grana fine, data da miche e opachi. Localmente deflessa su lenti quarzoso-feldspatiche. I minerali costituenti la foliazione S1 sono mica bianca e minerali opachi (Fig. 5.2.6). L'aspetto del minerale opaco, allungato nel verso della foliazione, è riconducibile alla grafite; la classificazione dei minerali opachi, che esula dagli scopi di questo lavoro di tesi, richiederebbe uno studio in microscopia ottica in luce riflessa su sezioni lucide senza coprioggetto. Si può osservare un clivaggio di crenulazione legati alla deformazione alpina D2 che piega la foliazione S2. La foliazione è localmente deflessa attorno a lenti costituite da aggregati solo di quarzo e ad aggregati quarzoso-feldspatici (Fig. 5.2.5), entrambi con grana più grossa (intorno ad 1 mm) rispetto a quella della foliazione. I minerali che formano le lenti hanno abito sub-eudrale. La biotite compare nei livelli lepidoblastici, ma rispetto alla mica bianca è presente in minor quantità. Si presenta sotto forma di fiocchi di color brucicco. Questa biotite è legata alla crescita statica dovuta all'evento termometamorfico causato dall'intrusione del plutone di La Serra-Porto Azzurro.

**Minerali secondari:** Nei livelli lepidoblastici sono presenti da cristalli di andalusite rotti, probabilmente deformati dall'evento D3 in accordo con Garfagnoli *et alii* (2005).

**Minerali accessori:** La roccia localmente è interessata da un'evidente alterazione secondaria di ematite che imprime domini di colore rossastro. Nei livelli lepidoblastici compaiono porfiroclasti di tormalina tagliata nella sua sezione basale.

**Classificazione:** in base a quanto osservato, gli scisti scuri che formano lenti intercalate negli scisti a biotite e mica bianca (gli scisti grigio-argentei della classificazione di terreno) sono classificabili come scisti a grafite.



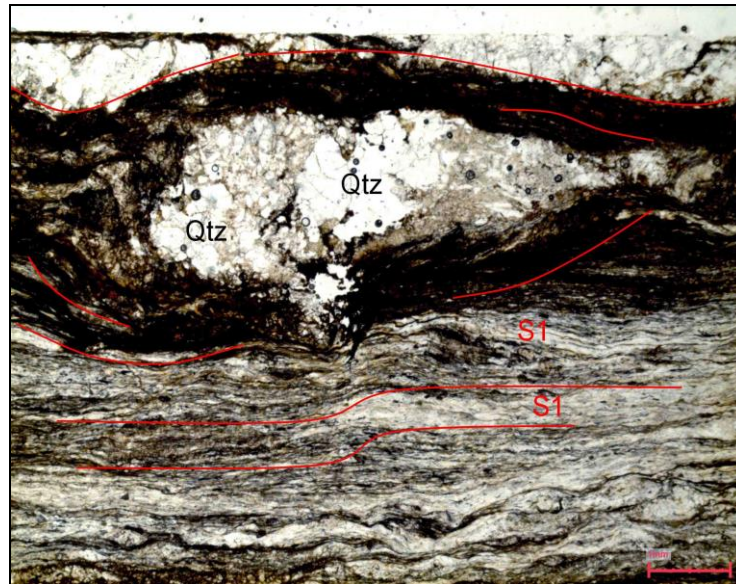


Figura 5.2.5 Porfiroclasto quarzoso-feldspatico avviluppato dalla foliazione S1.

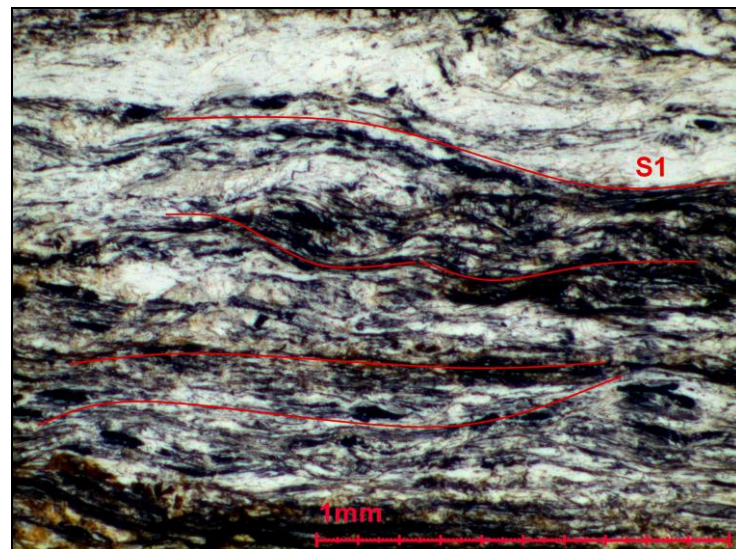


Figura 5.2.6 Foliazione S1 definita dall'orientazione preferenziale di mica bianca e opachi.

### 5.2.3. Quarziti (campioni P3 e P3+)

I campioni P3 e P3+ provengono dalle quarziti che affiorano lungo il promontorio occidentale rispetto alla Spiaggia di Remaiolo. I campioni raccolti possono essere distinti in due gruppi: quarziti (campione P3 A) e quarziti con vene mineralizzate (campioni P3 C e P3+ A).

Il campione utilizzato per fare la sezione sottile è il P3 A (vedi Allegato 2).

**Struttura:** La roccia ha struttura gneissica, grana molto variabile e foliazione poco marcata, data dall'orientamento preferenziale di sporadiche miche. La composizione mineralogica è costituita in gran parte da quarzo (stimato, per via visiva, maggiore del 70%) con estinzione ondulata. Il quarzo forma aggregati eteroblastici, con grana di dimensioni da fine a media. Localmente, dove la foliazione delle miche è assente, si formano aggregati granoblastici di quarzo. Il quarzo risulta deformato, deflesso e stirato lungo la direzione di foliazione S1 (Fig. 5.2.7).

**Minerali secondari:** La biotite, con un pleocroismo da arancione pallido a bruno scuro e mica bianca incolore formano la debole foliazione presente. La sericite è il terzo

componente della foliazione, si presenta come un aggregato a grana fine di colore da grigio-torbido a ocreo, a forma di placchette. La sua formazione è data dall'alterazione delle miche o dall'alterazione di feldspato.

**Minerali accessori:** È stato trovato zircone incluso dentro un cristallo di quarzo (Fig.5.2.8). L'incluso si presenta con abito prismatico bipiramidale, rilievo alto, incolore ai nicol paralleli e elevati colori di interferenza. Cristalli di zircone sono presenti anche in altre zone della sezione sottile, ma tagliati in sezione basale. Si rinvengono minerali opachi prismatici con contorni esagonali e cristalli opachi con abito anedrale.

**Classificazione:** In base a queste osservazioni, la roccia è classificata come quarzite.

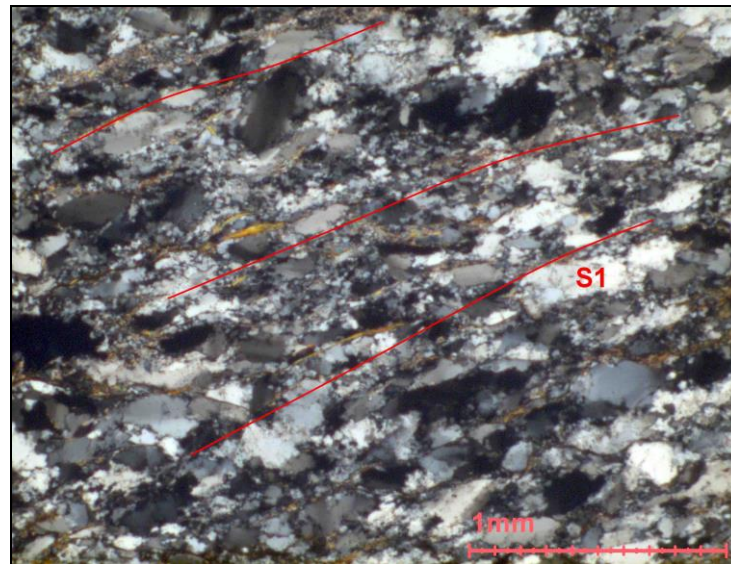


Figura 5.2.7 Quarzo allungato e deformato lungo la foliazione S1.

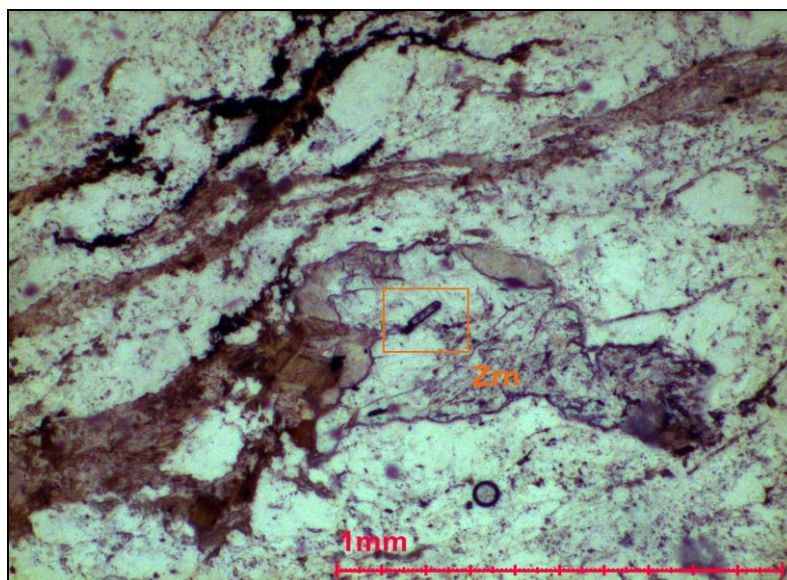


Figura 5.2.8 Inclusione di Zircone(riquadro arancione).

Il campione utilizzato per fare la sezione sottile è il P3 C (vedi Allegato 2).

**Struttura:** Roccia simile sia per aspetto che per tessitura alla sezione sottile realizzata con il campione P3 A. La scistosità S1 è poco marcata. Si differenzia dalla precedente sezione sottile per la presenza di vene mineralizzate a quarzo, i cristalli sono euedrali hanno una grana più grossa rispetto a quelli della roccia incassante e sono disposti perpendicolarmente ai bordi della vena (Fig. 5.2.9). Queste vene mostrano contatti netti e



ad alto angolo con i piani di scistosità S1. Localmente queste vene tagliano la foliazione e ne producono un dislocamento, con rigetto di 1-2 mm. La vena, con la sua geometria, ci indica che è tardiva rispetto all'evento di deformazione alpina D1 e D2. La cristallizzazione di quarzo euedrale è legata alla circolazione di fluidi idrotermali lungo debolezze strutturali preesistenti come fratture o discontinuità.

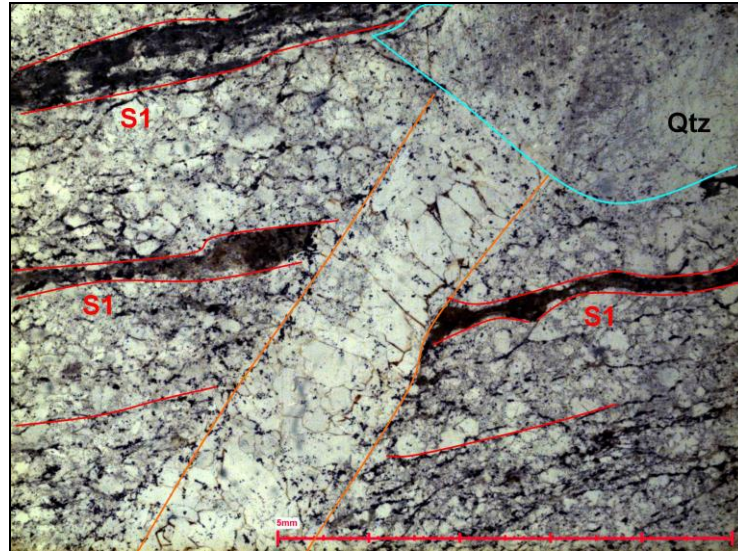


Figura 5.2.9 Vena quarzosa (contorno arancio) che termina contro un cristallo a grana grossa di quarzo (contorno azzurro).

Questa sezione sottile è stata realizzata con il campione P3+ A (vedi Allegato 2).

**Struttura:** Roccia simile sia per aspetto che per tessitura alla sezione sottile realizzata con il campione P3 A. Presenza di quarzo etero dimensionale con abito anedrale. In questa sezione è presente una vena mineralizzata che mostra contatti da netti a gradualmente con l'incassante. Quando i contatti non sono netti, i minerali della vena si insinuano nelle cavità e nelle discontinuità della roccia. I fluidi, muovendosi attraverso fratture e cavità, percolano e impregnano i granuli e i cristalli. La vena presenta un'associazione di minerali di quarzo + stilpnomelano + opachi (Fig. 5.2.10). Lo stilpnomelano è un minerale con estinzione retta, pleocroismo debole e colore marrone con sfumature verdi. Si presenta in aggregati fibroso-raggianti con alti colori di interferenza sul 2° ordine. Segno ottico biassico negativo. Il minerale di stilpnomelano è un fillosilicato ricco in  $Fe^{2+}$ . Gli opachi sono riconducibili a solfuri di ferro (pirite). Sono presenti micro domini opachi, rossici, tipici dell'ematite.

Durante la circolazione dei fluidi o per eventi di deformazione fragile tardiva, riconducibili alle fasi deformative D4 e D5 di Garfagnoli *et alii* (2005), abbiamo la dislocazione della foliazione S1 e la fratturazione del quarzo (Fig.5.2.11).



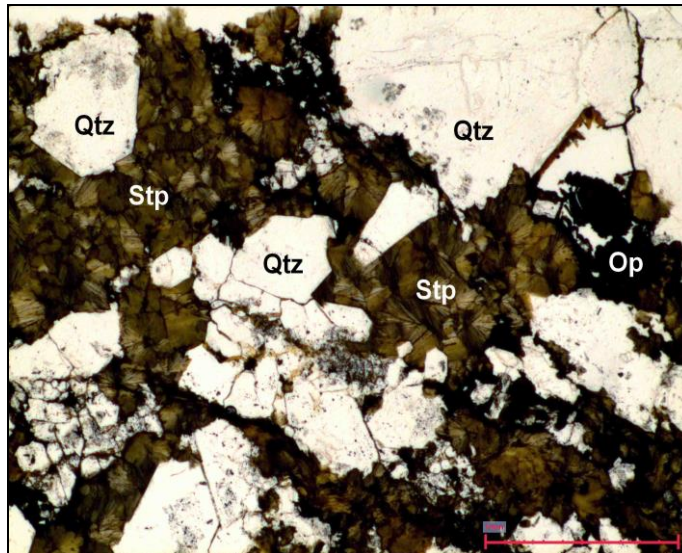


Figura 5.2.10 Mineralizzazione della vena. ( Stp= stilpnomelano , Op= opachi, Qrz= quarzo).

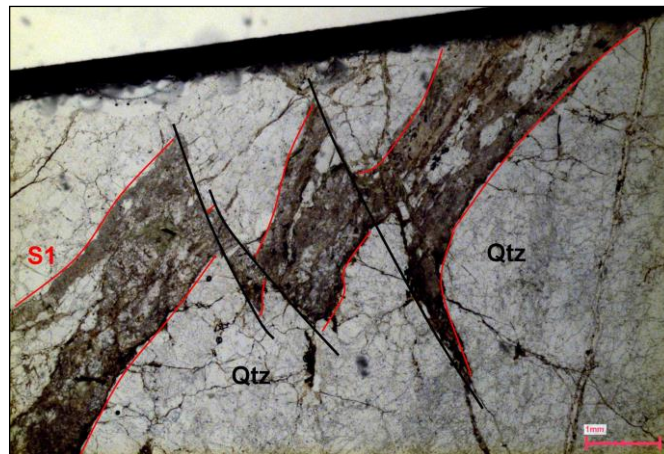


Figura 5.2.11 Dislocamento della foliazione S1.

#### 5.2.4. Scisti scuri con vene di quarzo (Campione P4)

Questa sezione è stata realizzata con il campione P4.

**Struttura:** La roccia ha tessitura spaziata data dall'alternanza di livelli micacei con lenti di quarzo. Il quarzo si presenta con abito anedrale, con grana variabile da media a fine.

Localmente si osservano lenti di quarzo microboudinate confinate da livelli lepidoblastici S1 (Fig.5.2.14). Nella figura appena citata i due cristalli di quarzo sono a grana media e presentano un'estinzione ondulata, intercalati tra loro è presente una matrice di quarzo a grana fine dovuta alla ricristallizzazione indotta dalla deformazione. Tale struttura è possibile apprezzarla sia alla microscala che alla scala dell'affioramento (Fig. 5.4).

La scistosità è data da mica bianca, sericite e biotite, localmente alcuni minerali opachi presentano un allungamento concorde con la foliazione (Fig.5.2.15). La biotite raramente costituisce la foliazione S1, ma tende a formare aggregati decussati e mostra una grana più grossa (Fig. 5.2.13). Questi aggregati di biotite si accrescono in modo statico durante l'evento termometamorfico Mio-Pliocenico. La loro crescita non è influenzata da *stress* orientati, questo gli permette di crescere in modo caotico sulla foliazione e obliterare la

scistosità precedente. Queste biotiti si accrescono su biotiti pre-esistenti o per ricristallizzazione di cloriti.

**Minerali secondari:** Nei livelli lepidoblastici compaiono minerali di andalusite tagliati in sezione basale da euedrali a sub-euedrali, con abito prismatico e sezione quadrata. Incolore al solo polarizzatore e con colori di interferenza dal grigio al marroncino di 1° ordine. I cristalli di andalusite includono inclusioni di minerali opachi di forma irregolare. I cristalli di andalusite sono talvolta frammentati (Fig. 5.2.12) a causa dell'evento deformativo D3 con creazione di piccoli livelli di crenulazione S3.

**Minerali accessori:** Nei livelli quarzosi, intercalata tra un minerale e l'altro, si notano lamelle di clorite fortemente anedrali e talvolta scheletriche. Nei livelli lepidoblastici compaiono cristalli di piccole dimensioni di tormalina tagliata in sezione basale.

**Classificazione:** In base a queste osservazioni, classifico la roccia come uno scisto a biotite e andalusite.

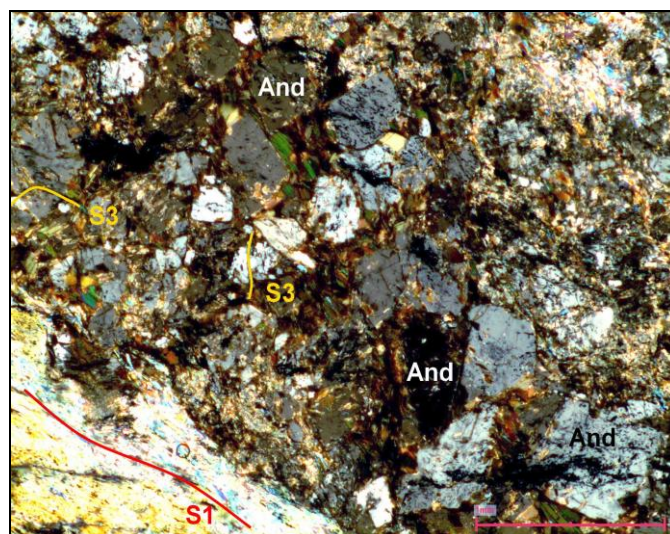


Figura 5.2.12 Cristalli di andalusite (And) e foliazione S1. Alcuni cristalli di andalusite sono rotti dalla fase deformativa D3 che genera la foliazione S3.

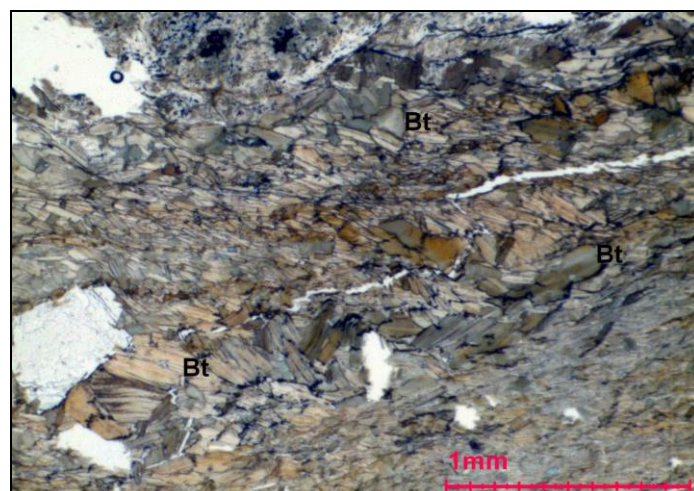
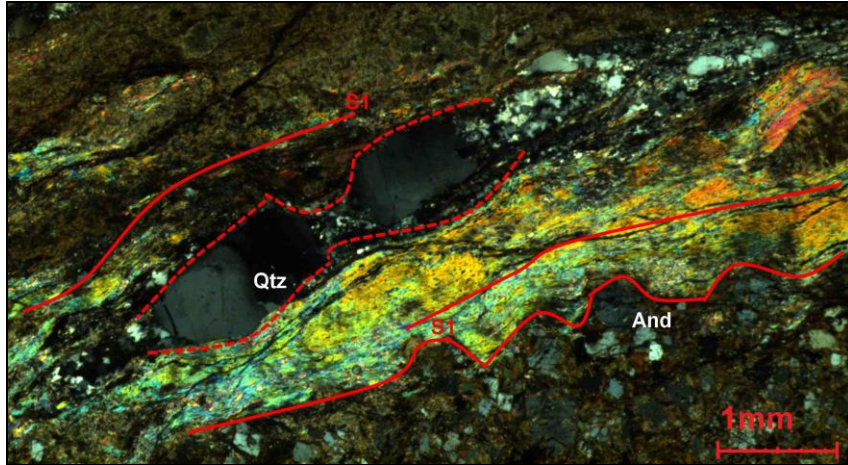
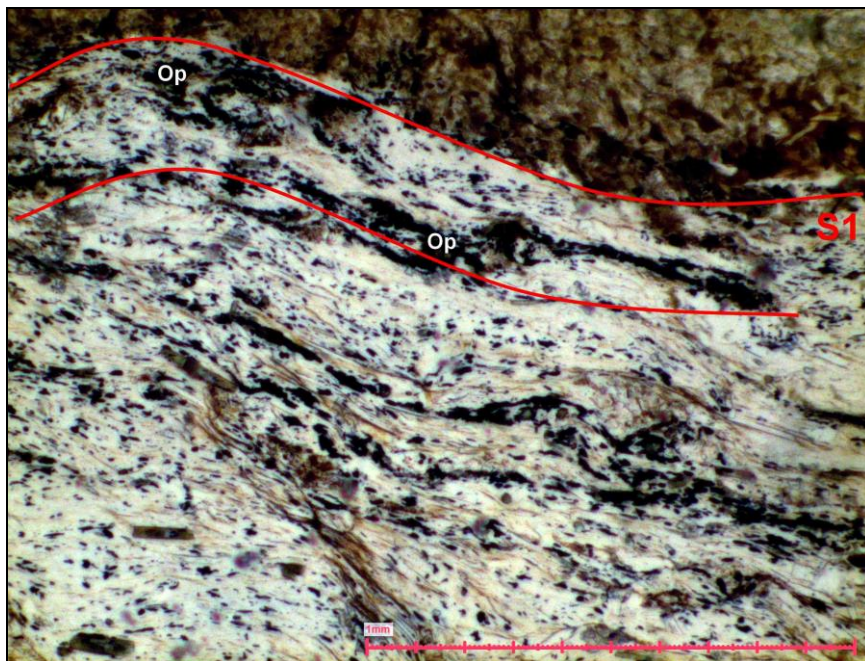


Figura 5.2.13 Aggregati decussati di biotite.





*Figura 5.2.14 Microboudinage.*



*Figura 5.2.15 Foliazione data da mica bianca e opachi.*

## 6. Conclusioni

Lo scopo del lavoro di tesi consiste nello studio petrografico dalla scala dell'affioramento a quella della sezione sottile di rocce di basamento cristallino soggetto a metamorfismo e deformazione polifasiche.

La zona di studio è la Spiaggia di Remaiolo, Elba SE. Questo settore da un punto di vista geologico fa parte del Complesso di M. Calamita, all'interno dell'Unità di Porto Azzurro. Gli affioramenti studiati mostrano diversi eventi metamorfici: il basamento metamorfico Ercinico e le sue coperture mesozoiche subiscono una sovraimpronta metamorfica alpina di età Oligo-Miocenico correlabile alla strutturazione della catena dell'Appennino Settentrionale. Successivamente le rocce subiscono un'ulteriore sovraimpronta termometamorfica Mio-Pliocenica legata all'intrusione del plutone La Serra-Porto Azzurro. Il lavoro di campagna ha riguardato il rilevamento di dettaglio degli affioramenti per creare una Carta degli affioramenti (Allegato 1) e prelevare dei campioni rappresentativi delle litologie. Il lavoro di laboratorio si è svolto su 6 sezioni sottili, realizzate con i campioni prelevati in campagna, tramite l'ausilio del microscopio ottico a luce polarizzata.

Sono stati riconosciuti, dal basso verso l'alto strutturale (Fig. 6.1):

- **Scisti a biotite e mica bianca**, di colore grigio-argento in affioramento, con intercalazioni da metriche a decimetriche di scisti a grafite di colore scuro. La foliazione dominante è la S1, legata alla deformazione D1 di età Alpina. In sezione sottile sono inoltre visibili relitti della foliazione Ercinica (Sx) e di granati intensamente fratturati ed alterati legati ad eventi metamorfici Ercinici (Mx) questi scisti sono in contatto tettonico (milonite) con i sovrastanti Scisti a biotite e andalusite.
- **Scisti a biotite e andalusite**, di colore blu scuro in affioramento. Il fabric è dato dall'alternanza di livelli foliati dominata dalla foliazione S1, con lenti poli-deformate di quarzo-feldspato. Si notano estese porzioni di livelli lepidoblastici interessati per la crescita di porfiroblasti di andalusite. Questi scisti sono in contatto tettonico con le sovrastanti quarziti.
- **Quarziti**, di colore da giallo chiaro a bianco pallido in affioramento. In sezione sottile mostrano una debole foliazione S1, i cristalli di quarzo hanno una cernita scarsa e sono stirati lungo la direzione della foliazione.

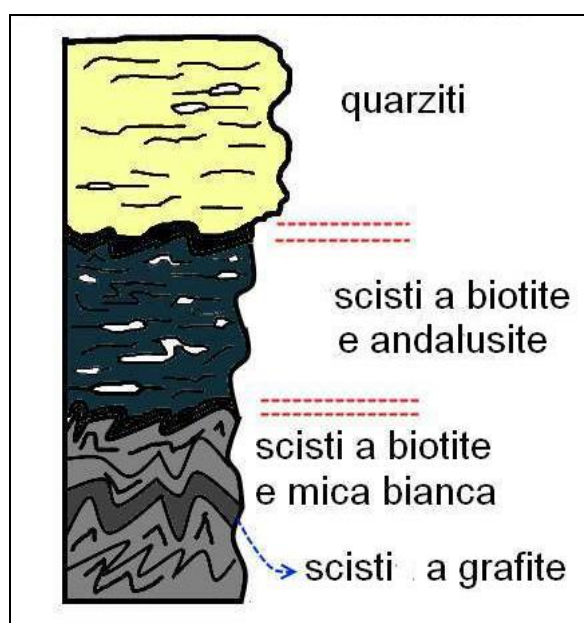


Figura 6.1 Schema stratigrafico e strutturale dell'area della Spiaggia di Remaiolo, Unità di Porto Azzurro. Le linee tratteggiate rosse indicano le zone milonitiche al contatto tra i litotipi.

La costante presenza di mica bianca nella foliazione principale (S1) e nella foliazione Ercinica (Sx) suggerisce condizioni metamorfiche di basso grado (facies scisti verdi). Le biotiti a grana grossa e i porfiroblasti di andalusite si formano durante l'evento termo metamorfico legato all'intrusione del plutone La Serra-Porto Azzurro (5.1-6.2 Ma). È possibile stimare le condizioni di pressioni e temperatura di questo evento con la griglia petrogenetica calcolata da Spear *et alii* (1999) per metapeliti, rappresentato dal sistema NaKFMASH (Fig. 6.2). La presenza di andalusite vincola la pressione a valori massimi di 4-5 Kbar, l'assenza di granato indica che le temperature massime raggiunte non superano i 650 °C circa. Queste condizioni metamorfiche sono in accordo con le stime di letteratura che indicano, per le rocce di quest'area, il raggiungimento della facies metamorfica delle "Cornubianiti ad orneblenda" (Garfagnoli *et alii*, 2005).

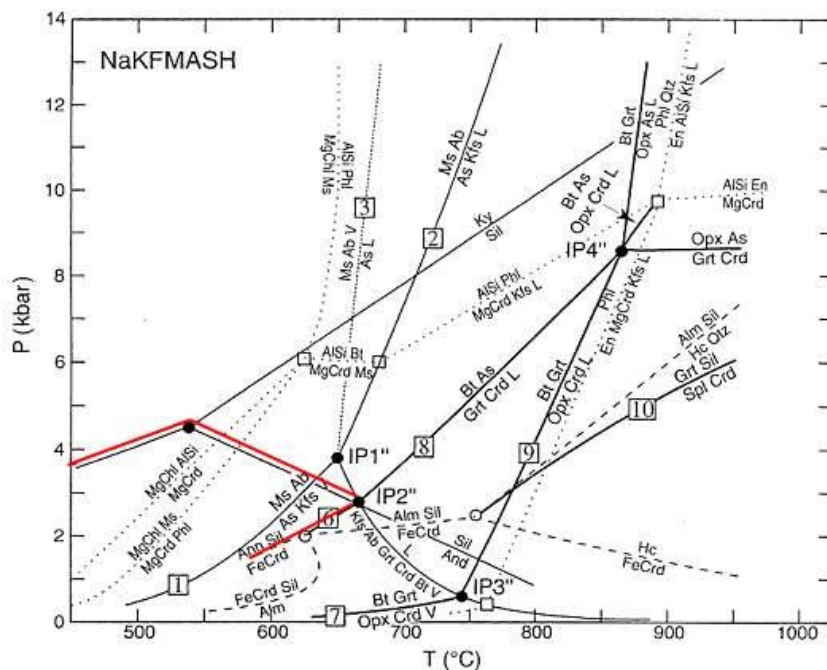


Figura 6.2 Griglia petrogenetica pressione-temperatura per metapeliti nel sistema NaKFMASH (Spear *et alii*, 1999). Nella griglia sono evidenziati i valori massimi di pressione e temperatura raggiunti degli scisti a biotite e andalusite. La reazione 6 indica il seguente equilibrio: biotite +  $Al_2SiO_5$  + quarzo = granato + cordierite + K-feldspato +  $H_2O$



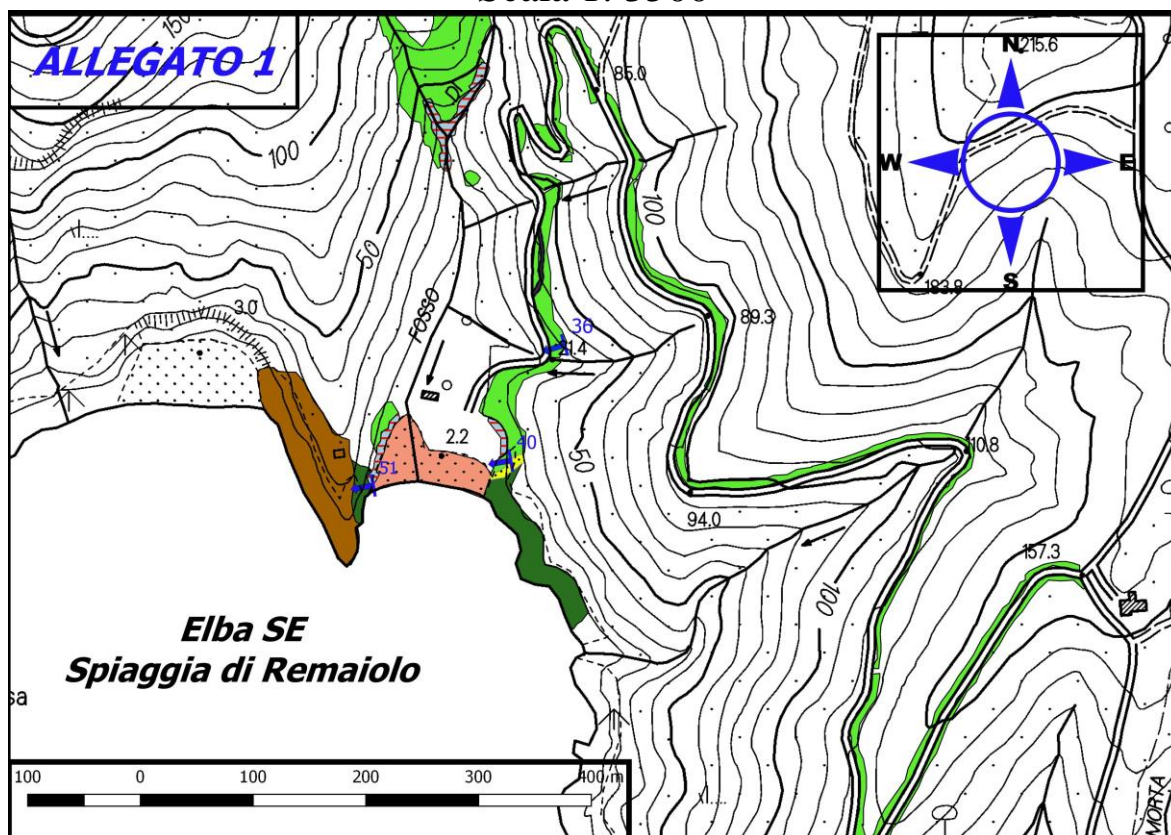
## 7. Bibliografia

- **Collettini C. & Barchi M.R.** (2004) - *A comparison of structural data and seismic images for low angle normal faults in the Northern Apennines (Central Italy): constraints on activity*. In: G.I. Alsop & R.E. Holdsworth (Eds.), *Flow processes in faults and shear zones*. Geol. Soc. London Spec. Publ., **224**, 95-112
- **Collettini C. & Holdsworth R.E.** (2004) - *Fault zone weakening processes along low-angle normal faults: insights from the Zuccale Fault, Isle of Elba, Italy*. J. Geol. Soc. London, **161**, 1039-1051.
- **Collettini C., De Paola N. & Gouly N.R.** (2006) - *Switches in the minimum compressive stress direction induced by overpressure beneath a low-permeability fault zone*. Terra Nova, **18**, 224-231.
- **Collettini C., Niemeijer A., Viti C. & Marone C.** (2009) - *Fault zone fabric and fault weakness*. Nature, Letters, **462**, 907-911.
- **Barberi, F., Dallan, L., Franzini, M., Giglia, G., Innocenti, F., Marinelli, G., Raggi, G., Squarci, P., Taffi, L., Trevisan, L.** (1969) - Foglio 126 (Isola d'Elba). *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000*. Servizio Geologico d'Italia. 32pp.
- **Barberi, F., Dallan, L., Franzini, M., Giglia, G., Innocenti, F., Marinelli, G., Raggi, G., Squarci, P., Taffi, L., Trevisan, L.** (1969b) - *Foglio 126 (Isola d'Elba). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000*. Serv. Geol. d'It., 32 pp.
- **Bortolotti, V., Babbini A., Corti S., Dini C., Fazzuoli M., Pandeli E., Principi, G.** (2001) - *The geology of Central and Eastern Elba Island, Italy*. Ofioliti **26**, 97–150.
- **Brunet C., Moniè P., Jolivet L. & Cadet J.P.** (2000) - *Migration of compression and extension in the Tyrrhenian Sea, insights from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages on micas along a transect from Corsica to Tuscany*. Tectonophysics, **33**, 127-155.
- **Daniel J.M. & Jolivet L.** (1995) - *Detachment faults and pluton emplacement: Elba Island (Tyrrhenian Sea)*. Bull. Soc. Géol. France, **166**, 341-354.
- **Deino, A., Keller, J.V.A., Minelli, G., Piali, G.** (1992) - *Datazioni  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  del metamorfismo dell'Unità di Ortano-Rio Marina (Isola d'Elba): risultati preliminari*. Studi Geologici Camerti Volume Speciale, 1992/2, CROP 1-1A, 187–192.
- **Duranti S., Palmieri, Pertusati P.C. & Ricci C.A.** (1992) – *Geological evolution and metamorphic petrology of the basal sequences of Eastern Elba (Complex II)*. Acta Vulca, Marinelli, **2**, 213-229.
- **Francesca Garfagnoli, Francesco Menna, Enrico Pandelli, Gianfranco Principi.** *The Porto Azzurro Unit (Mt. Calamita promontory, south-eastern Elba Island, Tuscany): stratigraphic, tectonic and metamorphic evolution*. Boll. Soc. Geol. It., Volume Speciale n. 3 (2005), 119-138, 15 ff., 2 tab.
- **Giovanni Musumeci, Francesco Mazzarini, Massimo Tiepoli, Gianfranco di Vincenzo** (2011) - *U-Pb and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronology of Palaeozoic units in the northern Apennines: determining protolith age and alpine evolution using the Calamita Schist and Ortano Porphyroid*. Geol. J. **46**, 288–310.
- **G. Principi, V. Bortolotti, E. Pandeli, F. Fanucci, M. Benvenuti, M. Chiari, A. Dini, M. Fazzuoli, F. Menna, D. Morelli, S. Moretti, G. Nirta e V. Reale.** NOTE ILLUSTRATIVE della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA alla scala 1:50.000 foglio 316, 317, 328, 329, in stampa.
- **Keller J.V.A. & Piali G.** (1990) - *Tectonics of the Island of Elba: a reappraisal*. Boll. Soc. Geol. It, **109**, 413-425.
- **Kligfield R., Hunziker J., Dall Meyer R.D. & Schamel S.** (1986) - *Dating of deformation phases using K/Ar and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  techniques: results from the Northern Apennines*. J. Struct. Geol., **8**, 781-798.

- **Maineri, C., Benvenuti, M., Costagliola, P., Dini, A., Lattanzi, P., Ruggieri, G., Villa, I.M.** (2003) - *Sericitic alteration at the La Crocetta deposit (Elba Island, Italy): interplay between magmatism, tectonism and hydrothermal activity*. *Mineralium Deposita* 38, 67–86.
- **Perrin M.** (1975) - *L'Ile d'Elbe et la limite Alpes-Appennins: données sur la structure géologique et l'évolution tectogénétique del'Elbe alpin et de l'Elbe apennine*. *Bollettino Società Geologica Italiana* 94, 1929– 1955.
- **Pertusati, P.C., Raggi, G., Ricci, C.A., Duranti, S., Palmeri, R.** (1993) - *Evoluzione post-collisionale dell'Elba centro-orientale*. *Memorie della Società Geologica Italiana* 49, 297–312.
- **Puxeddu M., Saupè F., Dèchomets R., Gianelli G. & Moine B.** (1984) - *Geochemistry and stratigraphic correlations-application to the investigation of geothermal and mineral resources of Tuscany, Italy*. *Chem. Geol.*, 43, 77-113
- **Trevisan L.** (1950) - *L'Elba orientale e la sua tettonica di scivolamento per gravità*. *Mem. Ist. Geol. Univ. Padova*, 16, 5-39.
- **Saupè F., Marignac C., Moine B., Sonet J. & Zimmermann J.L.** (1982) - *Datation par les methodes K/Ar et Rb/Sr de quelques roches de la partie orientale de l'Ile d'Elbe (Province de Livourne, Italie)*. *Bull. Mineral*, 105, 236-245.
- **Spear F.S., Kohn M.J., Cheney J.T.** (1999) - *P-T paths from anatexis pelites*. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134, 17-32.

# Allegato 1 Carta degli affioramenti



Scala 1: 3500







## ALLEGATO 1

## Legenda



### DEPOSITI QUATERNARI

-  DEPOSITO DI VERSANTE: accumulo di materiale sciolto alla base dell'affioramento. Deposito gravitativo di materiale eterogeneo ed eterometrico.
-  DEPOSITO DI SPIAGGIA: deposito di rielaborazione marina soggetto all'azione del moto ondoso. Accumulo di materiale sciolto a seguito dell'erosione degli affioramenti adiacenti.

### BASAMENTO

-  QUARZITI: di colore da grigio chiaro a giallo pallido, con struttura gneissica, debolmente foliata. I cristalli di quarzo mostrano una granulometria eterogenea.
-  SCISTI SCURI CON LENTI DI QUARZO: scisti di colore da blu scuro a verde scuro con fabric costituito dall'alternanza di livelli lepidoblastici, dati da mica bianca e biotite e lenti poli-deformate di quarzo-feldspato.
-  SCISTI GRIGIO-ARGENTEI: scisti colore grigio metallico con spot di color rosso ruggine. Tessitura lepidoblastica data da mica bianca. Presenta una forte alterazione.
-  SCISTI SCURI: corpi lenticolari di spessore da centimetrino a decimetrico. Il colore scuro è dato dalla presenza di grafite negli scisti.

### TETTONICA

-  ZONA MILONITICA
-  GIACITURE: acquisite con il metodo del Dip Direction



## Allegato 2

### Descrizione speditiva dei campioni a mano



SIGLA CAMPIONE: P1

COORDINATE CAMPIONE: 42.716824°N / 10.41429°E

QUANTITA' CAMPIONI: 1

DIMENSIONI: 7x7x2 cm.

DESCRIZIONE: scisto con lucentezza argentea, molto alterata con patine rosso ruggine. Localmente vene mineralizzate di quarzo presente con cristalli di alcuni millimetri fino a 2 cm.



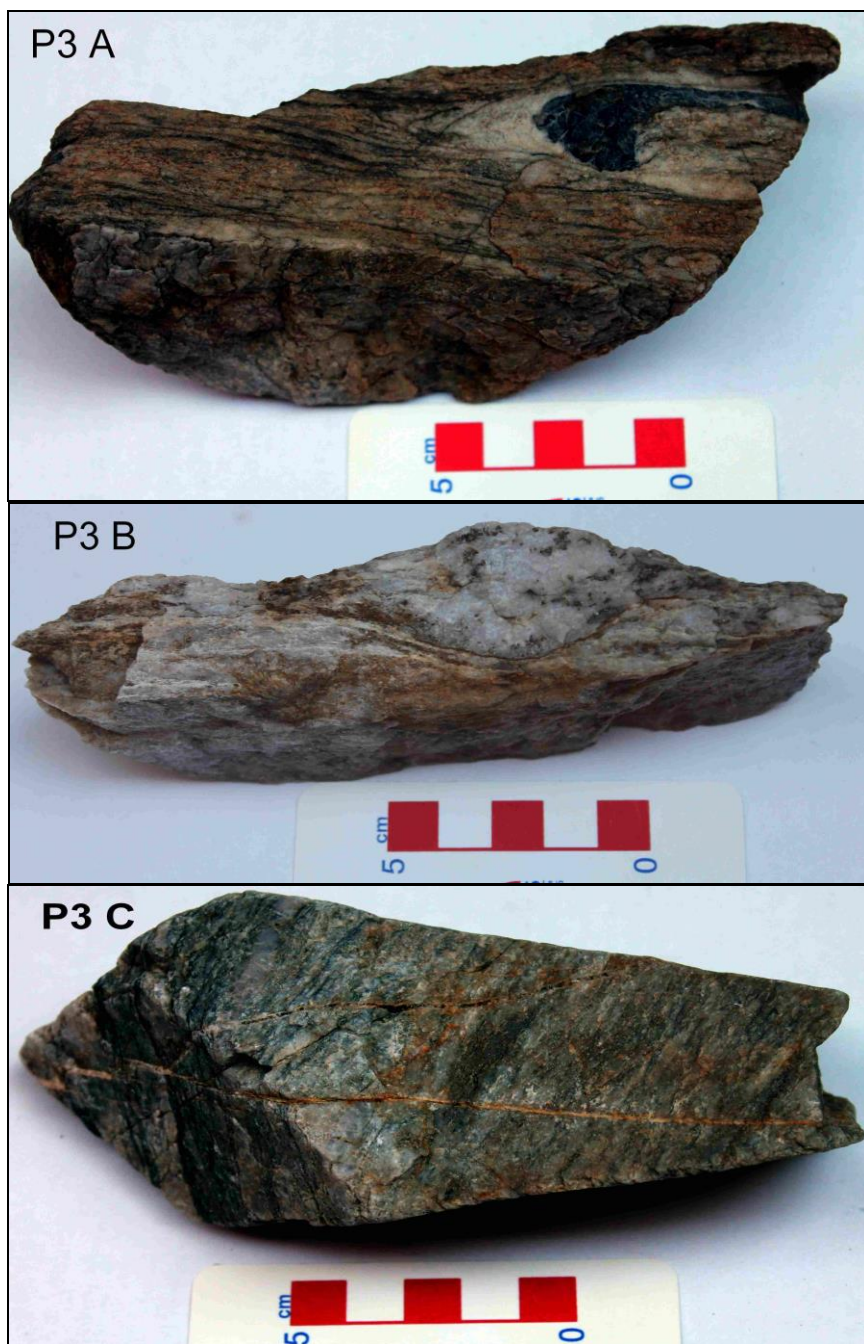
SIGLA CAMPIONE: P2

COORDINATE CAMPIONE: 42.715804°N / 10.413704°E

QUANTITA' CAMPIONI: 1

DIMENSIONI: 7x8x5 cm.

DESCRIZIONE: scisto di colore grigio scuro con sfumature grige. Foliazione molto persistente data da livelli micacei alternata a sottili livelli leucocratici discontinui di quarzo-feldspato. Questa foliazione (S2) poli-deformata da pieghe ripiegate. Localmente è visibile il clivaggio di crenulazione, in cui sono presenti pieghe isoclinali riconducibili alla deformazione precedente (S1/ D1).



**SIGLA CAMPIONE:** P3

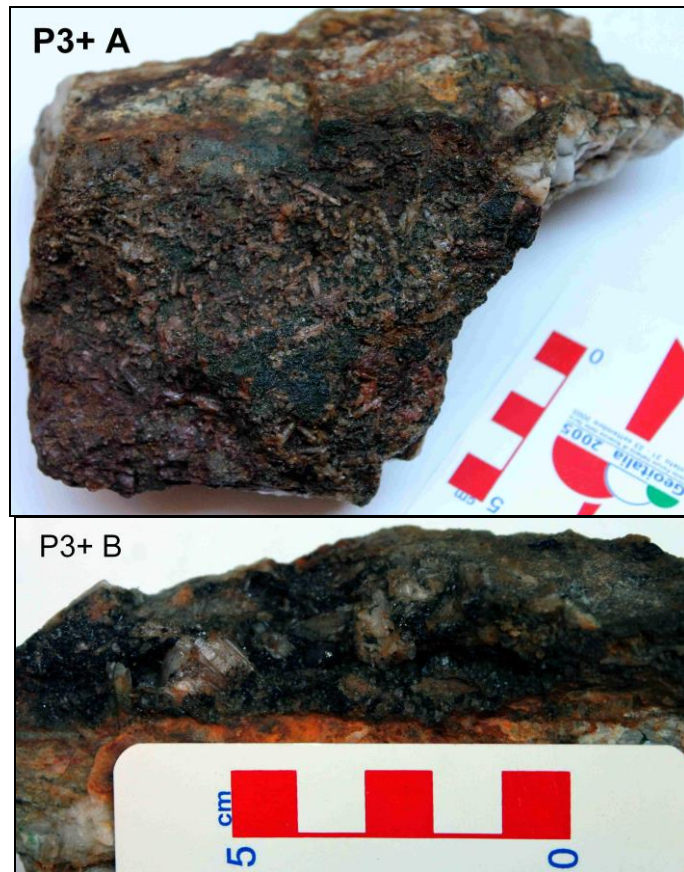
**COORDINATE CAMPIONE:** campione prelevato dal detrito sciolto alla basa del affioramento (Fig. 5.1).

**QUANTITA' CAMPIONI:** 3

**DIMENSIONI:** Figura A 16x5x5 cm. Figura B 15x4x3 cm . Figura C 15x6x5 cm.

**DESCRIZIONE:** quarzite con struttura debolmente foliata data da film di biotite (spessore max 1 mm), alternata a livelli di composizione quarzoso-feldspatico di spessore millimetrico.

Presenza di due tipi di lenti. La prima lente (Fig. A) è di composizione aplitica e contiene un livello polideformato di quarzite grigio scuro. Il secondo tipo (Fig. B) presenta una struttura granulare a grana medio-fine, ricca in quarzo subordinato a feldspato e biotite. I film di biotite formano strutture anastomizzate. Localmente la foliazione è tagliata ad alto angolo da vene di 1-2 mm riempite da quarzo orientato perpendicolarmente alla parete della vena (Fig. C).



SIGLA CAMPIONE: P3+

COORDINATE CAMPIONE: Queste vene si trovano in prossimità del contatto milonitico, tra le quarziti e gli scisti scuri con lenti di quarzo.

QUANTITA' CAMPIONI: 2

DIMENSIONI: Figura A 15x17x8 cm. Figura B 9x15x6 cm.

DESCRIZIONE: quarzite riconducibile con la descrizione P3. Presenza di vene con dimensioni di dimensione di 2-3 cm , mineralizzate a quarzo-solfuri- feldspato. Alcuni di questi cristalli raggiungono dimensioni plurimillimetriche. Si rinvencono in una matrice verde scuro. Il contatto tra la vena e la roccia ospite è netto. Localmente matrice è evidenziata da colorazione rosso ruggine dovuta all'alterazione. Le mineralizzazioni delle vene sono associate a solfuri in singoli individui o in aggregati di dimensioni di 1 cm.





**SIGLA CAMPIONE:** P4

**COORDINATE CAMPIONE:** campione prelevato dal deposito di spiaggia.

**QUANTITA' CAMPIONI:** 1

**DIMENSIONI:** 19x10x4 cm.

**DESCRIZIONE:** scisto argenteo con porfiroblasti grigio-scuro di andalusite post-cinematici di dimensioni da millimetriche a centimetrica. La foliazione è debolmente crenulata.

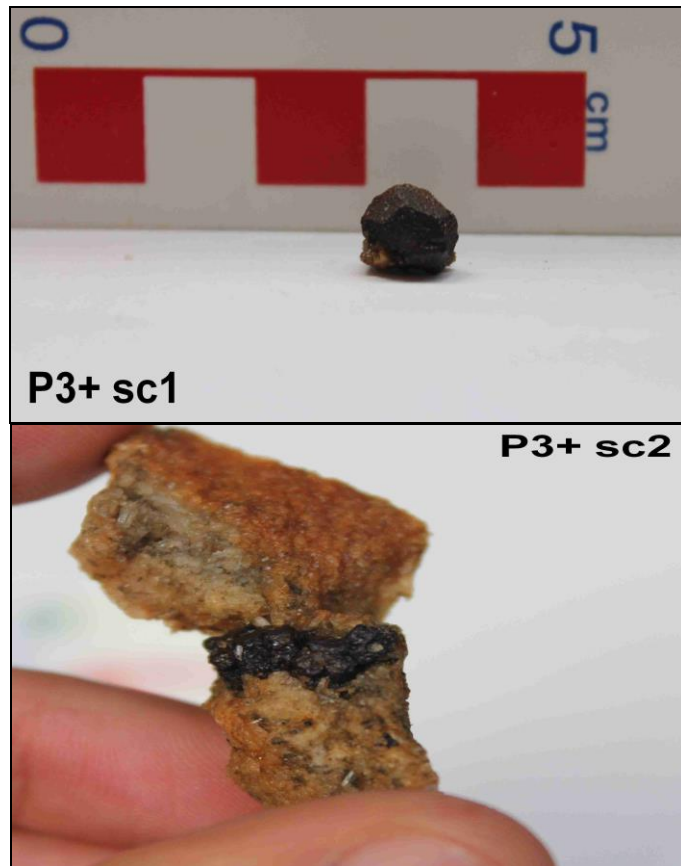


**SIGLA CAMPIONE:** singolo cristallo P1

**QUANTITA' CAMPIONI:** 1

**DIMENSIONI:** 1,7x0,4 cm.

**DESCRIZIONE:** cristallo di quarzo con lunghezza di circa 2 cm. Prelevato dall'affioramento del campione P1. Rinvenuto in una vena mineralizzata interamente a quarzo. Lungo le pareti il quarzo si presenta con abito massivo. Verso il centro della vena, in corrispondenza di cavità o vuoti il quarzo sviluppa un abito prismatico e terminato.



**SIGLA CAMPIONE:** singolo cristallo (sc) P3+.

**QUANTITA' CAMPIONI:** 2

**DIMENSIONI:** sc2 6x4x6 cm; sc1 0,5x0,5 cm.

**DESCRIZIONE:** mineralizzazione di solfuri di colore da rosso scuro a rosso vinaccia.

Cristallo eudrale con abito penta-dodecaedro di pirite (fig.P3+ sc1). I solfuri si presentano come aggregati di più cristalli, l'abito risulta alterato e corrosivo. Dimensioni millimetriche.

Associati a cristalli di quarzo con dimensioni più piccole (Fig. P3+sc2)