

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Scienze Geologiche

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Relazione di Laurea

Analisi petrografica delle ultramafiti del Passo Val
Clapa (Austroalpino superiore, Alta Val di Non)

Candidato:
Giulia Giorgetti

Relatore:
Prof. Roberto Braga

Indice

1. INTRODUZIONE	pag. 1
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO	pag. 2
3. DESCRIZIONE DEI METODI DI RILEVAMENTO E ANALISI DI LABORATORIO	pag. 4
4. DESCRIZIONE DEI RISULTATI	pag. 6
4.1 Dati di campagna	pag. 6
4.2 Osservazioni al microscopio ottico polarizzatore	pag. 9
4.2.1 Sezione 11: Peridotite a granato	pag. 9
4.2.2 Sezione 13: Pirossenite a granato	pag. 13
5. INTERPRETAZIONI E CONCLUSIONI	pag. 16
BIBLIOGRAFIA, CARTOGRAFIA E SITOGRAFIA	pag. 17
ALLEGATO 1: CARTA GEOLOGICA	pag. 19
ALLEGATO 2: CARTA DEGLI AFFIORAMENTI	pag. 21
ALLEGATO 3: CATALOGO DEI CAMPIONI	pag. 22

1. INTRODUZIONE

Questo elaborato ha come obiettivo l'analisi petrografica di due campioni prelevati da un affioramento di ultramafiti appartenenti all'Unità di Ultimo sud-occidentale (Trentino-Alto Adige, Italia settentrionale). A tal fine è stato rilevato in dettaglio un affioramento di peridotiti a granato ospitante un filone di pirosseniti a granato situato nelle vicinanze del passo Val Clapa, in Alta Val di Non.

L'attività ha previsto sia una descrizione petrografica delle principali litologie alla scala dell'affioramento, all'interno della quale sono state evidenziate le principali caratteristiche mineralogiche e granulometriche, sia una descrizione dei principali elementi strutturali riscontrabili (foliazioni, pieghe, fratture). Le informazioni cartografabili sono state riassunte e riportate in una carta degli affioramenti basata sulla cartografia della Provincia Autonoma di Trento.

A partire dai campioni a mano è stato possibile ottenere sezioni sottili da destinare alle analisi di laboratorio condotte tramite il microscopio ottico polarizzatore.

Al fine di confrontare, integrare e interpretare i dati rilevati e i risultati ottenuti si è provveduto, parallelamente alle altre attività, alla lettura di articoli inerenti al tema trattato.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

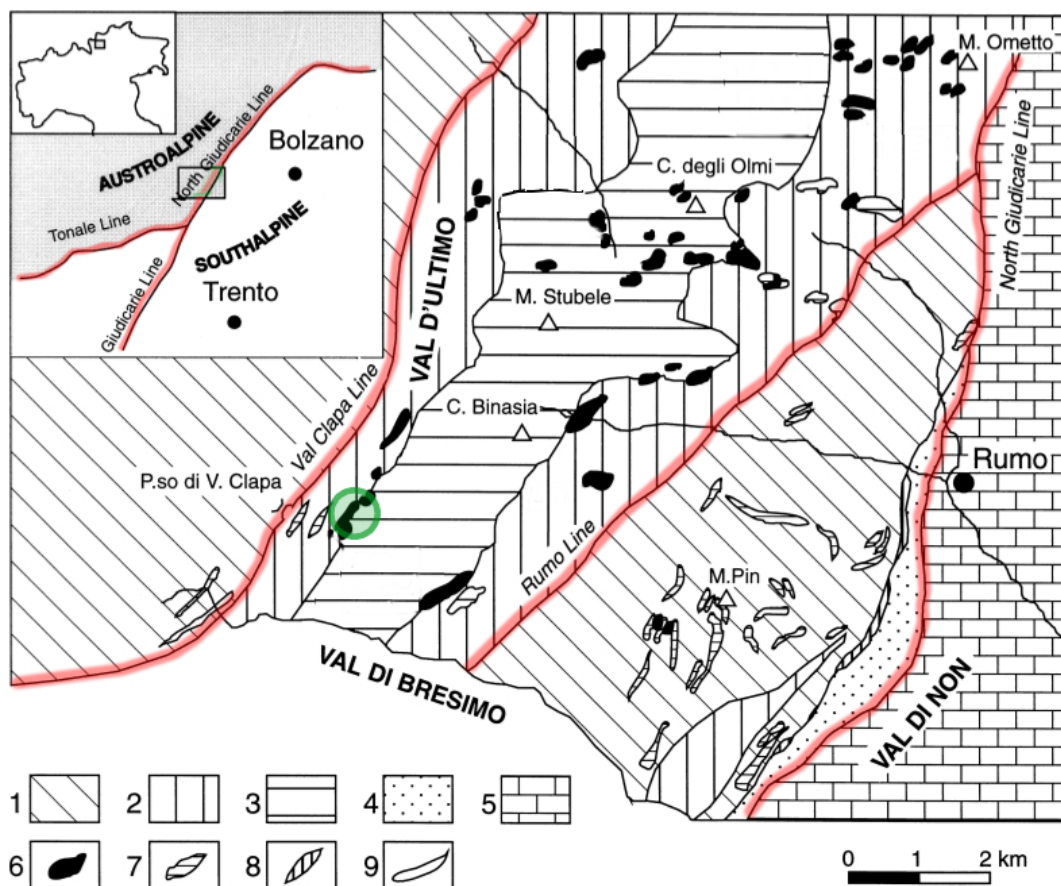


Fig. 1: carta geologica schematica raffigurante le principali litologie e i principali lineamenti tettonici dell'Alta Val di Non (rielaborata da Nimis & Morten, 2000): 1) paragneiss a biotite e muscovite; 2) paragneiss a granato e cianite; 3) migmatiti e ortogneiss; 4) siltiti, arenarie e conglomerati del Flysch Insubrico; 5) dolomie triassiche; 6) ultramafiti; 7) anfiboliti; 8) tonaliti; 9) marmi. In rosso sono rappresentate le principali linee tettoniche alpine, in verde è indicata la zona di studio.

Il sito di studio si trova all'interno del territorio della provincia di Trento, nella catena delle Maddalene: l'affioramento di rocce ultramafiche dell'Unità di Ultimo esaminato durante la campagna di rilevamento, in particolare, è localizzato in Alta Val di Non, nel versante sinistro della Val di Bresimo, 500 metri ad E-SE del passo di Val Clapa. Quest'ultimo si trova a quota 2296 ed è posto a cavallo del confine tra la Val di Non, in provincia di Trento, a Sud, e la Val Clapa, tributaria della Val d'Ultimo, in provincia di Bolzano, a Nord.

L'Unità di Ultimo appartiene alla Falda del Tonale, la falda strutturalmente più elevata del dominio Austroalpino superiore, ed è compresa entro tre linee tettoniche di età alpina: la linea della Val Clapa, a W, quella di Rumo, a SE e la linea delle Giudicarie Nord, a NE. L'area centrale dell'unità, come si può vedere in Fig. 1, è costituita da rocce a più elevato grado metamorfico (migmatiti e ortogneiss), mentre le aree marginali sono costituite da paragneiss a granato e cianite. I corpi ultramafici affiorano prevalentemente nei pressi del contatto tra i due gruppi litologici precedentemente citati (Nimis & Morten, 2000).

Le rocce che ospitano le lenti peridotitiche hanno affinità continentale. Le datazioni effettuate sia sugli gneiss ospitanti che sulle peridotiti incluse hanno condotto alla stima di età di raffreddamento di 330 ± 6 Ma (Carbonifero Sup.); nella vicina Val di Lavazzè (zona del Monte Pin) sono state eseguite datazioni che hanno portato ad un'età di raffreddamento molto più recente (circa 130 Ma, Cretaceo) (Martin & Montresor, 2009). Grazie alla stima delle età di raffreddamento è possibile concludere che tali rocce sono state deformate durante l'orogenesi Ercinica. Secondo Godard et al. (1996), l'Unità di Ultimo è un relitto di crosta inferiore della catena Ercinica, ed attualmente è composta da basamento di alto grado con associazioni mineralogiche precedenti all'orogenesi alpina e debolmente influenzate da essa. Le stime delle pressioni e temperature corrispondenti al picco metamorfico riportano, rispettivamente, 1,6-2,5 GPa e 750-900°C (facies eclogitica). In tutta l'Unità di Ultimo la deformazione alpina è blanda e concentrata lungo le zone di taglio: in queste aree si osserva una retrocessione in facies scisti verdi.

L'affioramento analizzato è composto da due elementi affioranti di grandi dimensioni leggermente distanziati tra loro. Si può supporre, basandosi sulla *Tavola 25 II, Bresimo* in scala 1:25000 della Provincia Autonoma di Trento (Allegato 1), che essi costituiscano un unico corpo lenticolare di peridotiti a granato attraversato da un filone di pirossenite a granato. Questa interpretazione è stata adottata nella carta degli affioramenti realizzata a seguito dell'attività di campagna (Allegato 2).

Morten e Obata (1983) hanno ipotizzato un'origine magmatica di alta temperatura per le lenti pirossenitiche incluse nelle peridotiti dell'Unità di Ultimo.

Le pirosseniti potrebbero essersi originate a partire da un filone monomineralico, costituito da clinopirosseni e da una quantità esigua di fase *intercumulus*, che ha intruso una peridotite a spinello solida, probabilmente situata nel mantello superiore. Nei campioni di websterite analizzati da Morten e Obata sono presenti megacristalli di clinopirosseno che costituiscono fasi relitte della pirossenite magmatica originaria. Al loro interno sono presenti lamelle di essoluzione di ortopirosseno che si sono originate durante un calo di temperatura associato al metamorfismo. La matrice ricristallizzata è omogenea, e la sua composizione è confrontabile con quella delle fasi essolute all'interno dei porfiroclasti e con quella delle peridotiti ospitanti. Ciò suggerisce che le peridotiti e le pirosseniti incluse abbiano seguito lo stesso percorso *P-T* (Pressione-Temperatura). I valori della temperatura di formazione dei cristalli primari (1450-1550°C) sono stati ricavati dall'analisi della presunta composizione dei pirosseni iniziali.

Riprendendo quest'idea, Nimis e Morten (2000) hanno sviluppato una ricostruzione della probabile evoluzione P - T seguita dalle peridotiti a granato e dalle pirosseniti incluse appartenenti all'Unità di Ultimo, nell'area del Nonsberg.

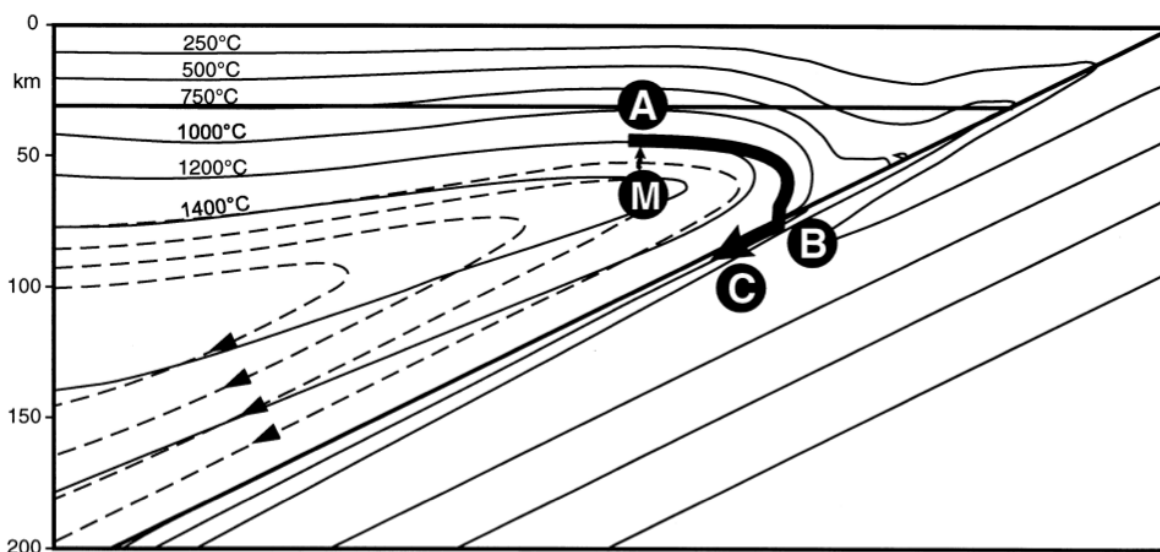


Fig. 2: possibile traiettoria P - T seguita dalle peridotiti del Nonsberg (Nimis & Morten, 2000).

La loro interpretazione è basata sul modello termico di Honda per la subduzione (1985) illustrato in Fig. 2, e può essere così schematizzata:

- una prima fase vede la formazione di fusi basaltici idrati (M) provenienti dal mantello profondo che intrudono lherzoliti a spinello pre-erciniche di alta T (1130-1230°C) e P intermedia (1,3-1,6 GPa), probabilmente in minima parte fuse, situate all'interno del mantello superiore (A). I fusi basaltici danno origine a vene pirossenitiche analoghe a quelle descritte da Morten e Obata (1983), con età di raffreddamento media di 334 Ma, come testimoniato dalle datazioni U-Pb effettuate su zircone da Gebauer e Grunefelder (1980). Le stime più recenti condotte sulla T di cristallizzazione danno valori compresi tra 1430 e 1470°C.
- Durante la collisione continentale legata all'orogenesi Ercinica, peridotiti e pirosseniti entrano a far parte di un cuneo mantellico e vengono incluse nel *corner flow*: ciò comporta un raffreddamento delle rocce a P costante; successivamente vengono trascinate a profondità (e P) maggiori, mentre la T rimane stabile o diminuisce lievemente (B).
- Il flusso mantellico fa sì che, durante la collisione continentale Ercinica, avvenga l'incorporazione di lenti di mantello nello slab crostale in subduzione. Il picco metamorfico (C) è caratterizzato da temperature di 810-1010°C ad una profondità di 90 km (corrispondente ad una P di 2,65 GPa). In questo contesto si ha la formazione di granato a spese dello spinello. Siccome le condizioni sono vicine alla transizione spinello-granato, si riscontrano spinelli relitti all'interno dei granati e della matrice.
- Durante l'evoluzione del cuneo di mantello, le peridotiti sono state interessate da metasomatismo dovuto alla circolazione di fluidi crostali prodotti dalla disidratazione dei minerali idrati presenti nelle rocce dello slab. A seguito dell'orogenesi Ercinica, durante l'esumazione, si ha risalita dello slab, ora parzialmente migmatizzato, con annesse le lenti peridotitiche.

La modalità di ingresso delle peridotiti nella crosta continentale in subduzione rimane oscura: potrebbero essere state incluse come scaglie tettoniche, in regime fragile, oppure

come masse dense sprofondate, in regime duttile, all'interno dello slab in subduzione. In entrambi i casi, le masse provenienti dal mantello hanno subito un processo di sprofondamento all'interno della crosta, possibile a causa del contrasto di densità dei due mezzi (Fig. 3).

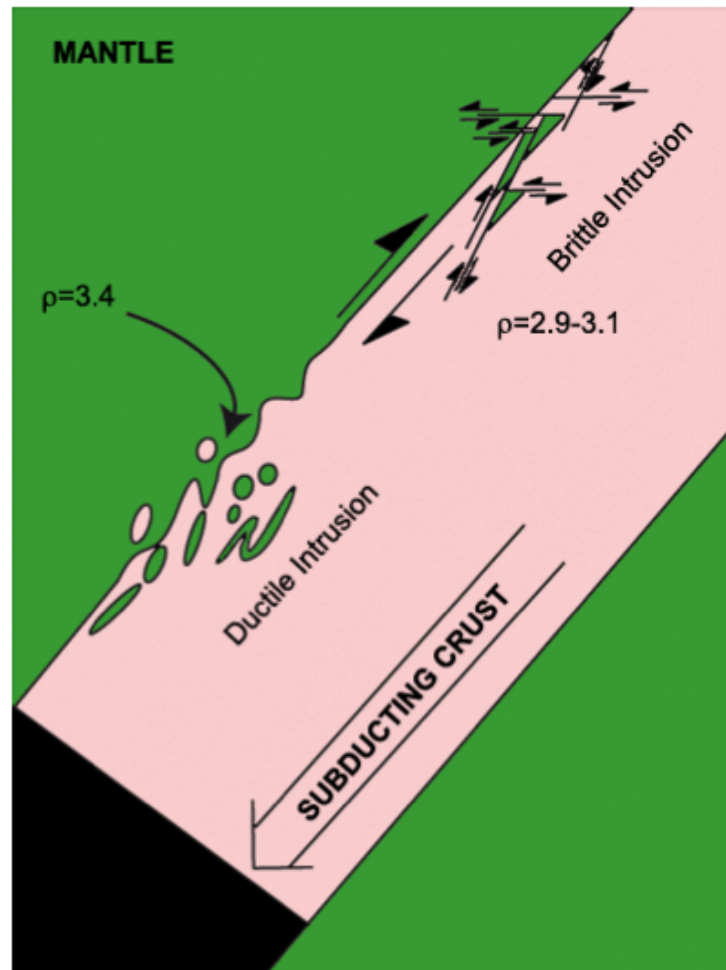


Fig. 3: possibili modalità di ingresso delle peridotiti nella crosta in subduzione (Scambelluri et al., 2010).

Il picco metamorfico ha avuto luogo durante l'orogenesi Ercinica, al momento del passaggio delle peridotiti dal mantello superiore alla crosta inferiore della catena. In questo modo, le ultramafiti sono entrate a far parte della microplacca Adria ed hanno seguito la sua evoluzione, entrando a far parte della catena alpina. Secondo Godard e Martin (2000) l'evoluzione retrograda subita dalle rocce ultramafiche dell'unità di Ultimo è documentata dalle corone kelifitiche post-cinematiche cresciute a spese del granato durante l'esumazione. La zona, durante l'orogenesi Alpina, è stata presa in carico dalla catena avanzante senza registrare alcuna sovraimpronta metamorfica.

3. DESCRIZIONE DEI METODI DI RILEVAMENTO E ANALISI DI LABORATORIO

I dati relativi all'area presa in esame nel corso di questo elaborato sono stati raccolti nell'arco di quattro giornate trascorse sul campo nel mese di giugno 2015.



Fig. 4: carta sentieristica dell'Alta Val di Non (Kompass). In giallo è evidenziata la zona di studio.

L'affioramento di peridotiti e pirosseniti a granato è raggiungibile percorrendo, in un primo momento, il sentiero 112, che collega la Malga Bordolona di Sotto al passo Val Clapa; 200 metri a S del passo occorre proseguire ad E sul sentiero 133, e, dopo aver percorso circa 500 m lungo quest'ultimo, è necessario salire di quota verso N per circa 200 m (Fig. 4).

Sul luogo è stato possibile rilevare le caratteristiche macroscopiche dell'affioramento (estensione, morfologia) ed effettuare una prima descrizione delle litologie principali; inoltre, sono stati acquisiti i principali dati strutturali (giaciture di foliazioni, deformazioni fragili e duttili) utilizzando una bussola da geologo. Le giaciture sono indicate come azimuth di immersione/inclinazione.

Le informazioni cartografabili sono state riportate su una carta degli affioramenti in scala 1:5000, basata sulla cartografia della provincia autonoma di Trento e realizzata utilizzando ArcGis.

Le caratteristiche salienti dell'affioramento sono state documentate con schemi e fotografie a diversa scala; inoltre, sono stati prelevati campioni rappresentanti le litologie rilevate. I campioni a mano sono stati fotografati, catalogati e descritti con l'ausilio di una lente 10x (Allegato 3).

L'attività di rilevamento è stata seguita da una serie di analisi in laboratorio volte a realizzare una descrizione petrografica sia alla scala del campione a mano che alla scala della sezione sottile.

Partendo dai campioni a mano sono state realizzate due sezioni sottili destinate alle analisi di laboratorio: la sezione 11 rappresenta la peridotite mentre la 13 rappresenta la pirossenite.

Le sezioni sottili sono state esaminate al microscopio ottico polarizzatore al fine di descriverne le caratteristiche microstrutturali e mineralogiche. I minerali osservati sono stati suddivisi in tre categorie:

- minerali primari: costituiscono la quasi totalità della roccia;
- minerali secondari: crescono a spese dei primari durante alterazione e/o metamorfismo;

- minerali accessori: presenti in minore quantità, non significativi al fine di identificare la roccia.

Tali osservazioni si sono rivelate utili per ricostruire la probabile evoluzione *P-T* seguita dalle rocce. Sono state effettuate stime quantitative delle dimensioni dei granuli e analisi modali speditive basate sul conteggio di 100 punti per ciascuna sezione sottile.

La documentazione fotomicrografica è stata acquisita con una fotocamera digitale *DeltaPix* collegata ad uno stereoscopio *WILD*.

4. DESCRIZIONE DEI RISULTATI

4.1 Dati di campagna

L'affioramento di peridotiti a granato è composto da due gruppi (il primo ha dimensioni 30 m x 10 m, il secondo è circa 10 m x 10 m) di blocchi affioranti (Fig. 5). I gruppi sono tra loro distanziati di pochi metri.



Fig. 5: visione globale dell'affioramento di peridotiti a granato. Si possono notare due gruppi di affioramenti: 1, il più esteso (foliazione 40/60); 2, il più ridotto, interessato dalla presenza di livelli pirossenitici (foliazione 40/40). La foto è orientata E-W.

La peridotite presenta una crosta di alterazione color giallo ocra spessa fino a qualche cm dalla quale spiccano, in rilievo, porfiroclasti eterogranulari (fino a 1 cm di diametro) di pirosseno, di colore verde bottiglia riflettente, e granato, di colore rosso opaco (Fig. 6).

Esaminando la frattura fresca si può notare la presenza di olivina verde chiaro, ortopirosseno verde scuro e granato violaceo. La granulometria varia in modo irregolare all'interno dell'affioramento: si passa da grana medio-fine a grana grossolana (come visibile in Fig. 6 A, B e Fig. 7). In entrambi i casi si possono riscontrare porfiroclasti centimetrici di pirosseno e granato.

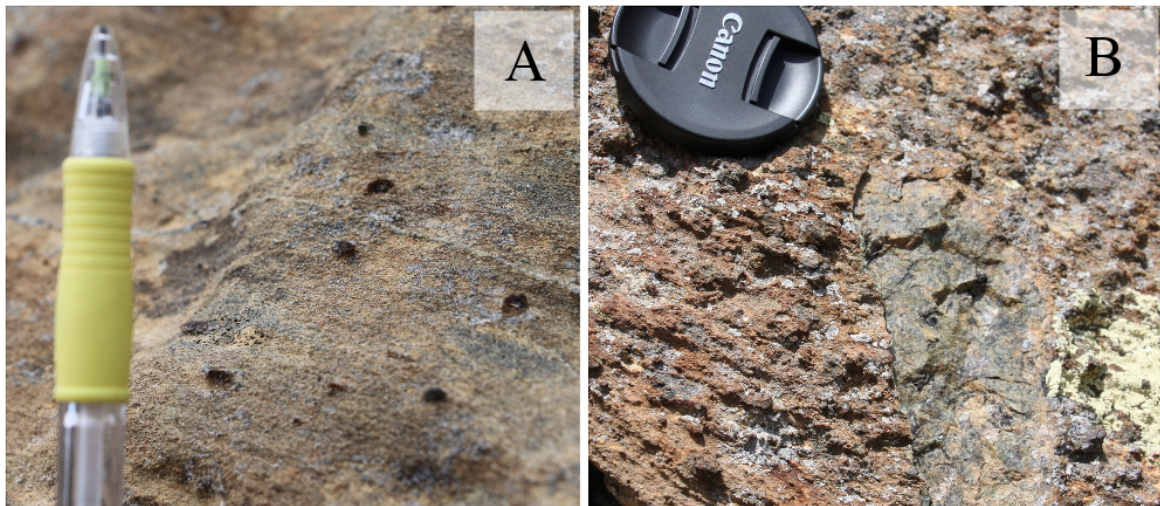


Fig. 6: dettagli dell'affioramento di peridotiti a granato. A) Superficie di alterazione in peridotiti a grana medio-fine; la porzione di penna è lunga 7 cm. B) Superficie di alterazione e frattura fresca in peridotiti a grana medio-grossolana; il diametro del tappo è 7 cm. In entrambe le figure si notano, in rilievo, porfiroclasti di pirosseno e porfiroblasti di granato.

La foliazione interessa tutto l'ammasso roccioso e mette in evidenza una piega sinforme (Fig. 7) con asse orientato 10/15. Le giaciture medie registrate per la foliazione sono 40/40 per il lembo destro della piega e 40/60 per il sinistro.

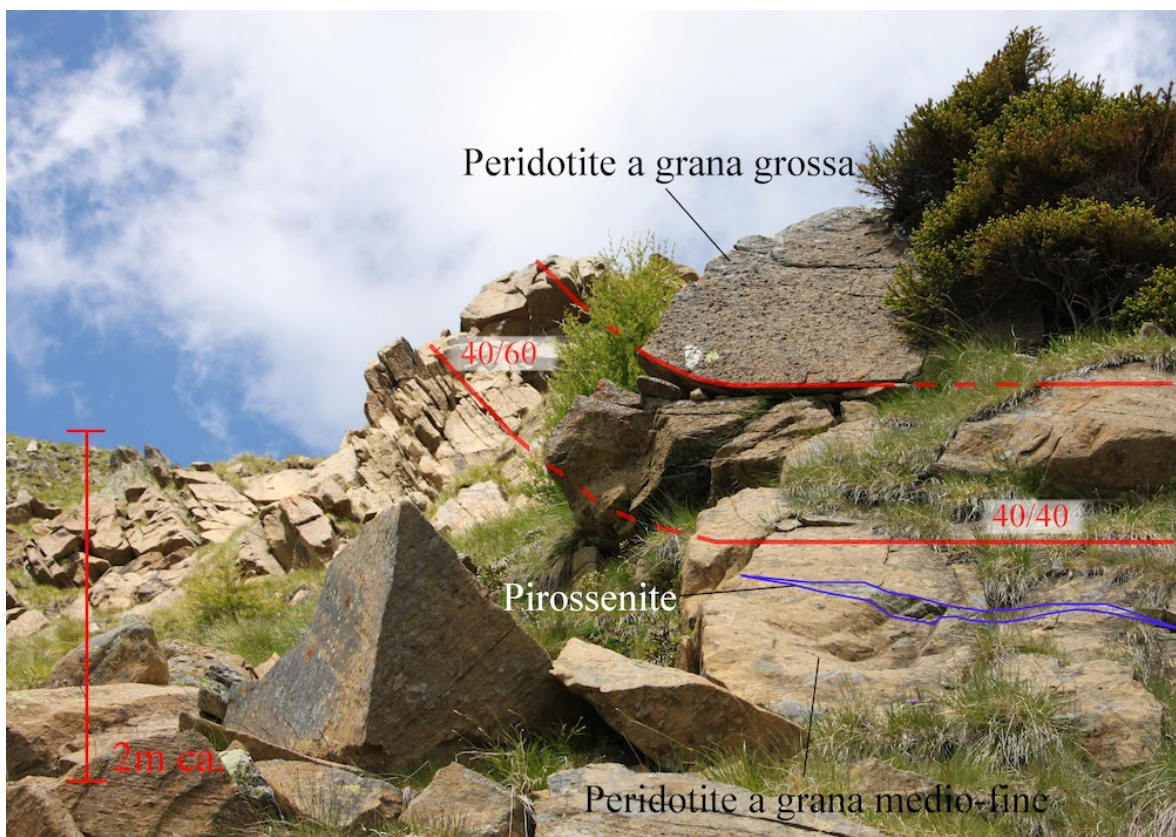


Fig. 7: Piega sinforme evidenziata dall'andamento delle fratture. A questa scala sono visibili significative variazioni granulometriche. In blu è evidenziato il filone pirossenitico, in rosso l'andamento della foliazione. La foto è orientata E-W.

L'affioramento, inoltre, è intensamente fratturato: sono stati riscontrati quattro set di fratture. Il più evidente è parallelo alla foliazione e, a sua volta, mette in evidenza la piega;

gli altri hanno giaciture medie di 240/70, 75/80 e 70/55.

Il blocco inferiore che compone l'affioramento è attraversato da alcune bande pirossenitiche aventi spessori variabili: oltre a pochi livelli di spessore millimetrico concordanti con la foliazione (Fig. 8 B), è stata riscontrata una banda di pirossenite con struttura a *boudin* (Fig. 8 A) avente uno spessore massimo di 30 cm. Strutture analoghe sono state descritte da Braga e Bargossi (2014).

La lente, di colore verde scuro, è caratterizzata da grana medio-fine, non è alterata in superficie ed è interessata da un set di fratture subverticali (Fig. 8 C). Esaminando la frattura fresca si può riconoscere granato violaceo a grana medio-grossolana e pirosseno verde bottiglia. Il filone è attraversato da sottili bande millimetrico-centimetriche color ocra (Fig. 8 C), composte principalmente da olivina alterata.

La giacitura della lente è concordante con la foliazione del corpo di peridotiti ospitanti.

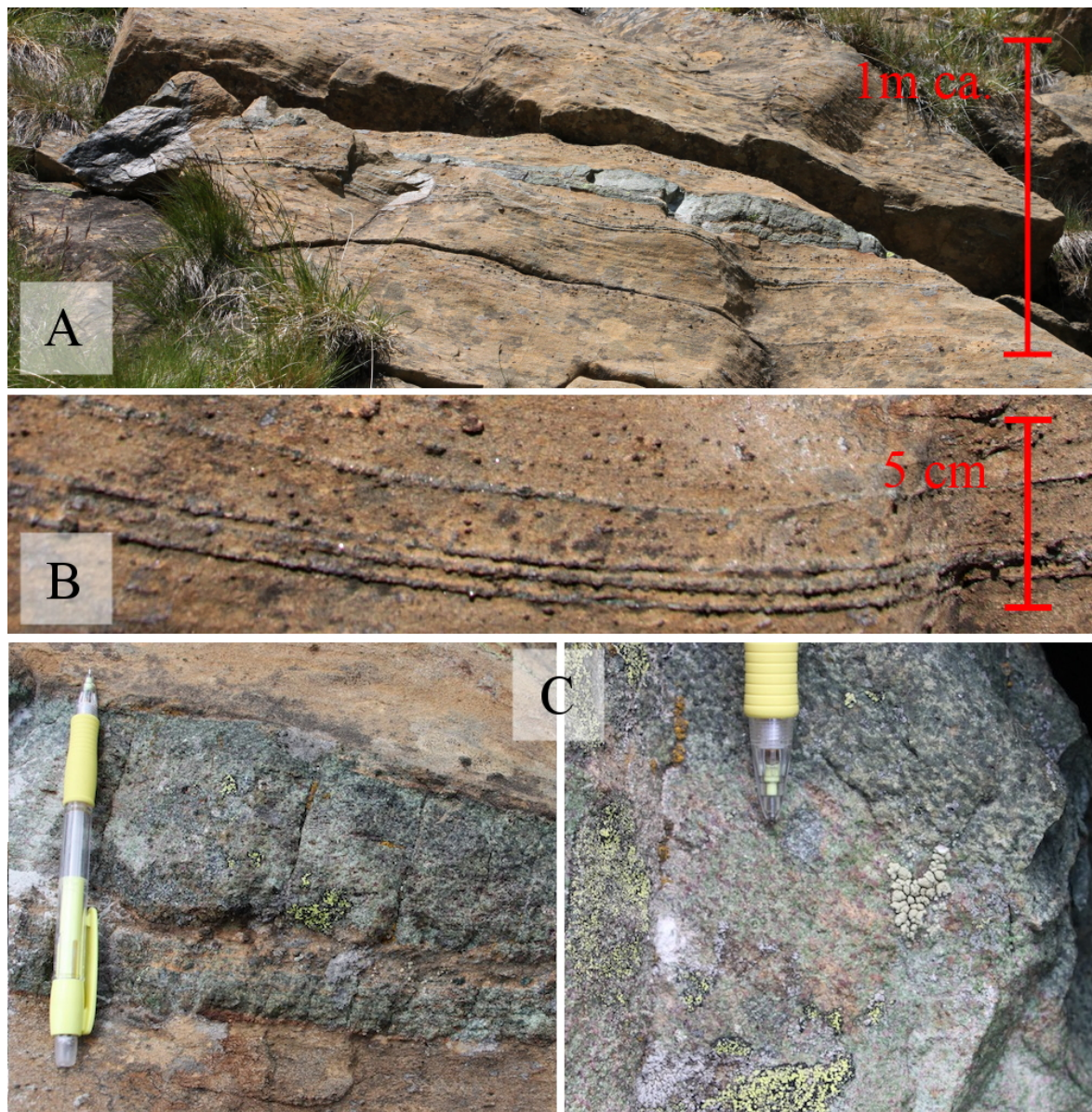


Fig. 8: A) Filone pirossenitico con struttura a boudin; sono evidenti variazioni di spessore. B) Livelli pirossenitici in rilievo rispetto alla superficie di alterazione e aventi giacitura concordante con la foliazione. C) Dettagli del boudin pirossenitico (lunghezza della penna: 15 cm). Le foto sono orientate E-W.

Morten e Obata (1983) riscontrano, al contatto tra le peridotiti e le pirosseniti dell'Unità di

Ultimo, una zona di taglio porfiroclastica, con spessore massimo di 4 cm, ricca di flogopite. In questo affioramento non è stata riscontrata flogopite e il contatto tra i due corpi appare netto.

Tutti e due i gruppi che compongono l'affioramento possono essere ricondotti ad un unico corpo lenticolare con estensione, in carta, di circa 500m² e andamento parallelo a quello della foliazione delle peridotiti e delle rocce ospitanti (Nogarotto, 2015), come riportato nella carta geologica schematica presente nell'Allegato 2. Non sono state riscontrate evidenze di altri affioramenti nelle immediate vicinanze, per cui si è deciso di non adottare l'estensione della lente cartografata nella carta geologica riportata nell'Allegato 1.

4.2 Osservazioni al microscopio ottico polarizzatore

4.2.1 Sezione 11: Peridotite a granato

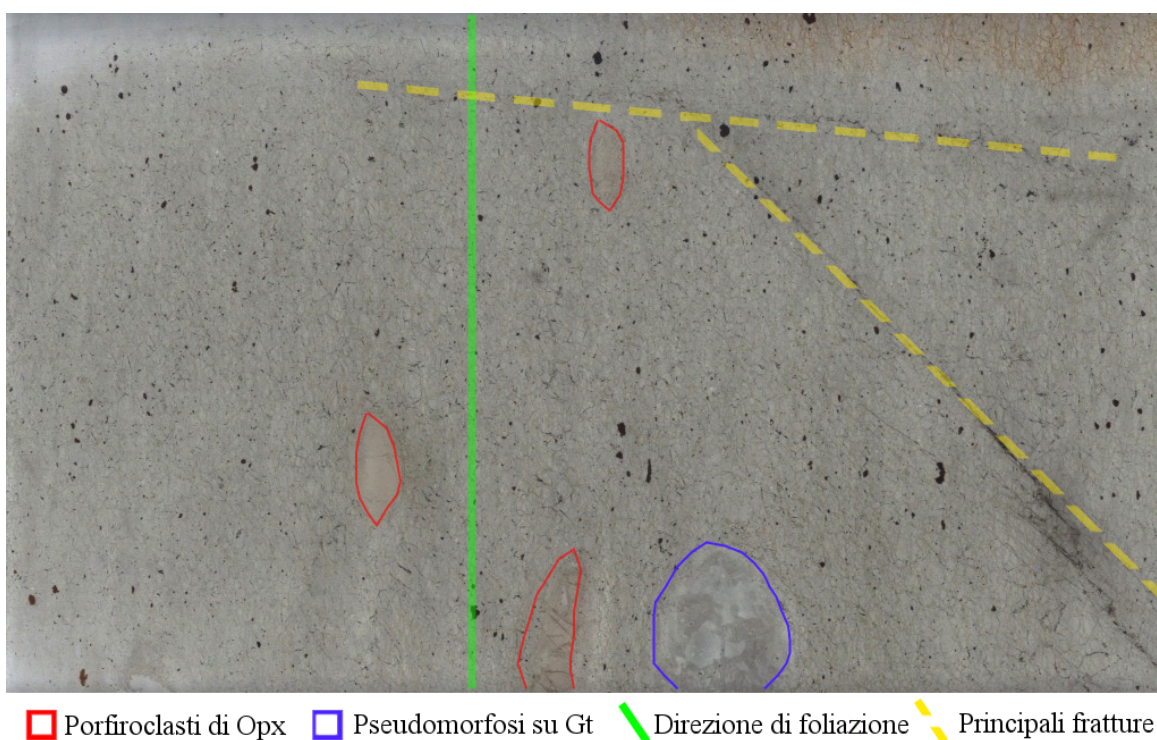


Fig. 9: Scansione della sezione sottile di peridotite (dimensione del lato lungo: 4,5 cm). Sono state messe in evidenza le caratteristiche salienti della roccia.

La roccia ha tessitura porfiroclastica ed è costituita da porfiroclasti di ortopirosseno (dimensione massima 0,5 cm) e di olivina (dimensione massima 3 mm) in una pasta di fondo harzburgitica (data da Ol e Opx) a grana fine. I porfiroclasti di Opx sono allineati lungo una direzione preferenziale e, insieme ai minerali opachi, sembrano suggerire una blanda foliazione, come evidenziato in Fig. 9. Si possono distinguere bande accennate, a grana medio-grossolana, costituite da cristalli intensamente fratturati di Ol e Opx e bande a grana fine costituite da Ol, Opx e, in misura molto minore, Cpx (Fig. 10 A, B, D).

Sono presenti set di fratture non concordanti con la foliazione dati da un insieme di microfratture con andamento parallelo e spaziatura inferiore al millimetro. Tutte le fratture intergranulari e intragranulari che circondano l'olivina sono riempite da serpentino (Fig. 10 B, C).

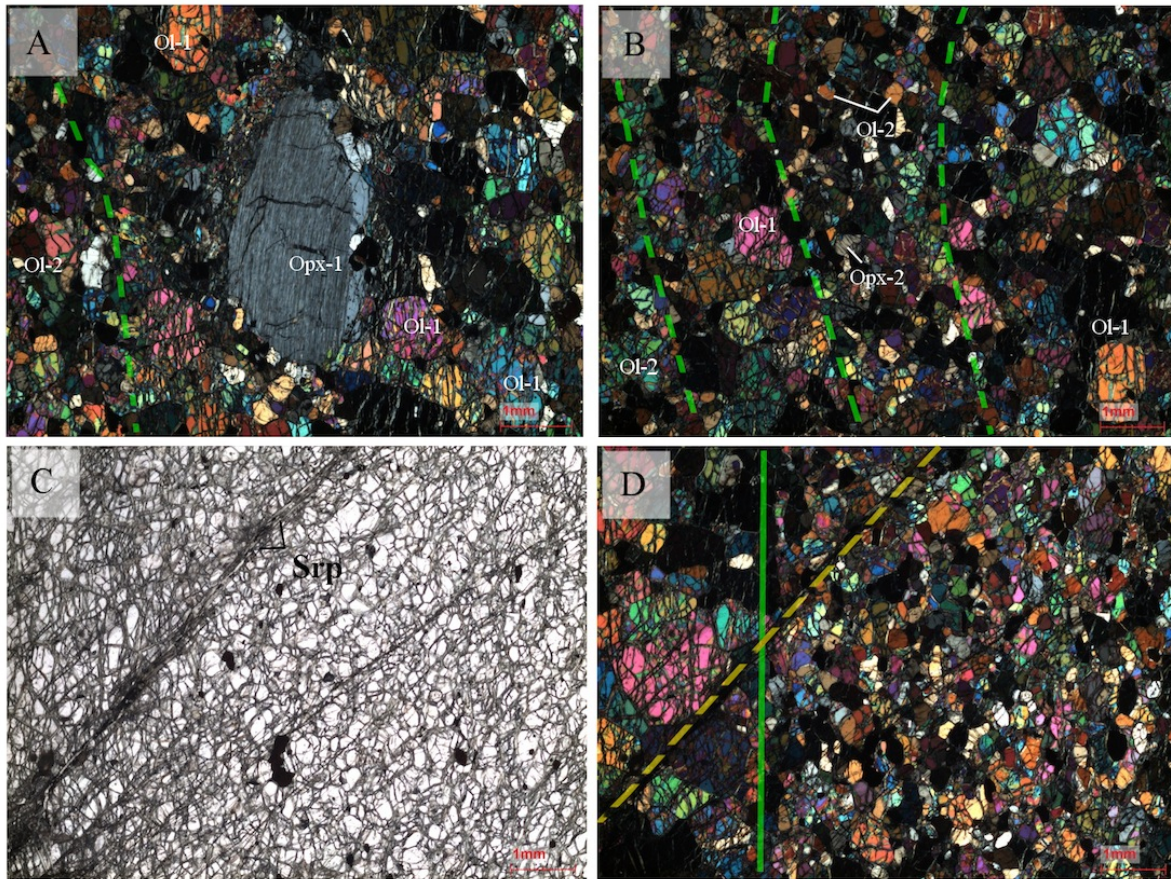


Fig. 10: Le quattro foto riassumono le principali caratteristiche della peridotite a granato e dei suoi minerali primari. Le bande a granulometria differente sono evidenziate da linee verdi tratteggiate; linee gialle tratteggiate indicano la direzione delle microfratture; la direzione della foliazione è rappresentata con una linea verde continua. A e B) Immagini a nicol incrociati in cui è possibile distinguere entrambe le generazioni di olivina (Ol-1 e Ol-2) e di ortopirosseni (Opx-1 e Opx-2). C) Sono evidenti le fratture riempite da serpentino (Srp) fibroso (solo polarizzatore). D) Immagine a nicol incrociati in cui è evidente la divisione in bande a differente granulometria.

Minerali primari Tra i minerali primari figurano unicamente Ol e Opx: per entrambe le fasi sono state identificate due generazioni di minerali.

- La prima generazione di Ol (indicata come Ol-1) è caratterizzata da cristalli a grana media, tendenzialmente tondeggianti, intensamente fratturati e alterati (serpentinizzati), concentrati in bande insieme agli Opx a grana medio-grossolana; la seconda (Ol-2) è caratterizzata da cristalli a grana fine, tondeggianti, poco fratturati e talvolta serpentinizzati (entrambe le generazioni di Ol sono visibili in Fig. 10)
- Analogamente, la prima generazione di Opx (Opx-1) mostra cristalli a grana medio-grossolana, molto fratturati, allungati lungo la direzione della foliazione e deformati, caratterizzati da estinzione lievemente inclinata e lamelle di essoluzione (Fig. 11 A, B); la seconda (Opx-2) è data da cristalli a grana fine, poco fratturati, non caratterizzati dalla presenza di fasi essolute. I pirosseni di seconda generazione, insieme all'olivina a grana fine, formano la matrice harzburgitica della peridotite (Fig. 11 C, D).

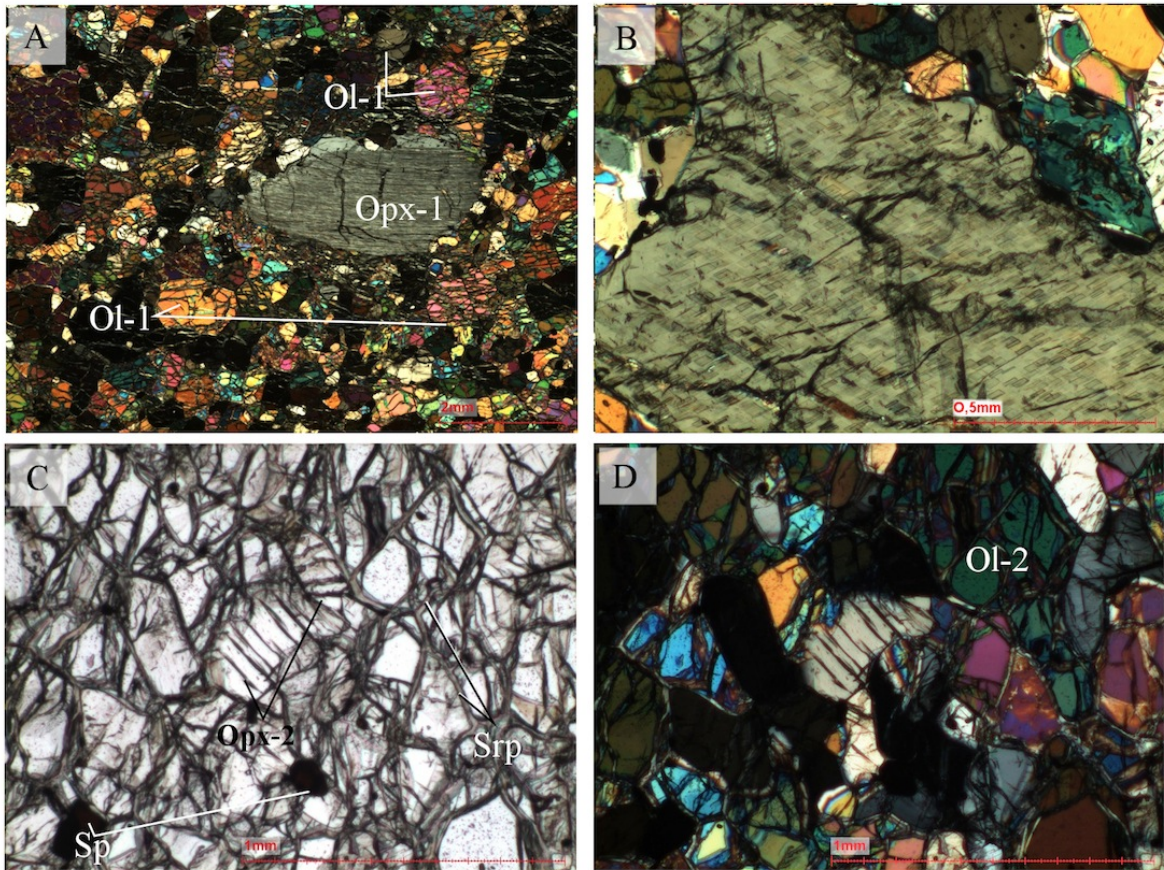
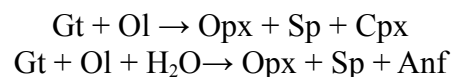


Fig. 11: A) Porfiroclasto di ortopirosseno di prima generazione lievemente deformato e allungato nella direzione della foliazione. B) Lamelle di essoluzione all'interno di un porfiroclasto di Opx-1. C) Sono evidenti minerali primari di seconda generazione. Nelle fratture che interessano l'olivina si osserva serpentino (Srp) secondario. Sono presenti minerali opachi neri, probabilmente spinello (Sp) (solo polarizzatore). D) Immagine a nicol incrociati in cui spicca un cristallo di olivina di seconda generazione.

All'interno di questa sezione non sono presenti granati primari: l'aggregato di minerali secondari che verrà descritto in seguito, già individuato in sezione sottile (Fig. 9), è interpretato come pseudomorfo su un precedente granato.

Minerali secondari Le principali fasi secondarie sono date da serpentino, dalle fasi che costituiscono un aggregato kelifitico attorno allo pseudomorfo su granato e da anfibolo.

- Il serpentino cresce a spese dell'olivina all'interno delle fratture (Fig. 11 C).
- La kelifite è un aggregato simplectitico di minerali opachi e fibrosi che cresce a spese dell'ex granato. La sua reazione di formazione, secondo Godard e Martin (2000), può spaziare tra due estremi:



Servendosi del solo microscopio ottico non è possibile identificare l'esatta composizione mineralogica della corona. In questo caso la corona è singola e, localmente, si distingue un accenno di divisione tra una corona interna torbida ricca in spinello (kelifite *s.s.*) e una corona esterna costituita da anfibolo, priva di spinello, molto sottile e a grana fine (Fig. 12 A).

- Un aggregato policristallino di anfiboli a grana fine sostituisce completamente il nucleo dell'ex granato (Fig. 12 A).

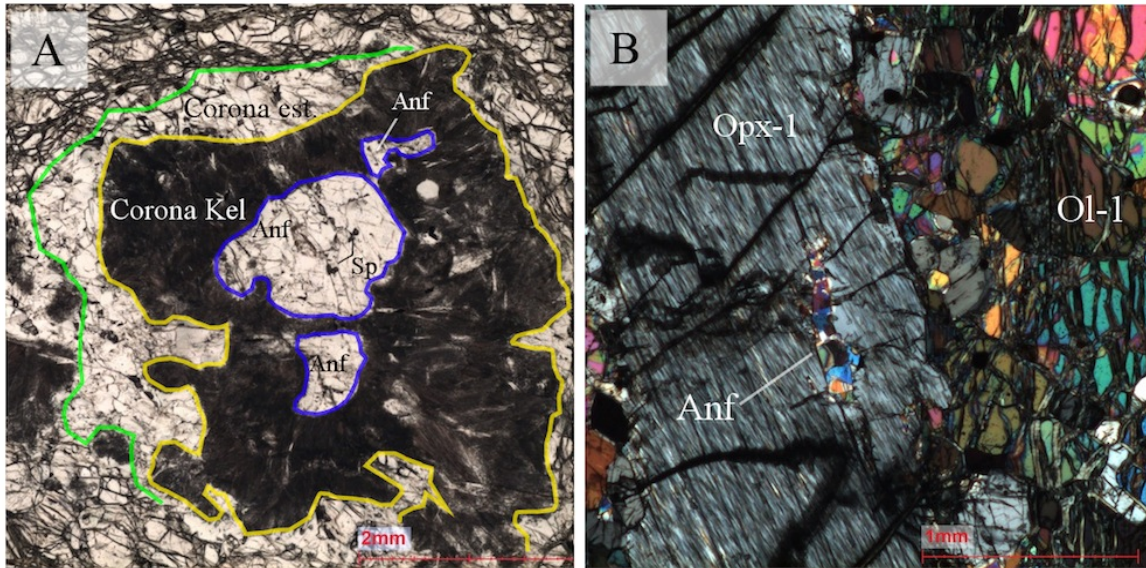


Fig 12: A) Granato completamente sostituito da una doppia corona (Corona est. e Corona Kel in figura) e da anfibolo (Anf). Si notano spinelli neri (Sp) relitti al nucleo (nicol paralleli). B) Cristallizzazione di anfibolo secondario microgranulare all'interno di un ortopirosseno di prima generazione (nicol incrociati).

Minerali accessori Una fase accessoria abbondante è data da minerali opachi. Si trovano sia spinelli bruni (probabilmente spinelli ricchi in Al), microcristallini, di forma allungata, disseminati all'interno della matrice e allineati lungo la foliazione, sia opachi neri, allungati e disseminati (probabilmente spinelli ricchi in Cr oppure solfuri) che opachi neri tondeggianti, come quelli inclusi nel nucleo del granato sostituito (probabilmente spinelli ricchi in Cr).

È stata rilevata la presenza di anfiboli accessori al nucleo di un Opx-1 (Fig. 12 B). Nella matrice compaiono anche alcuni cristalli accessori di Cpx a grana fine.

Le percentuali relative dei minerali ottenute tramite una analisi modale speditiva risultano le seguenti: Olivina 65%, Ortopirosseno 15%, Serpentino 20%. Le altre fasi hanno valori trascurabili. Si può quindi affermare che si tratta di una harzburgite a granato (Fig. 13).

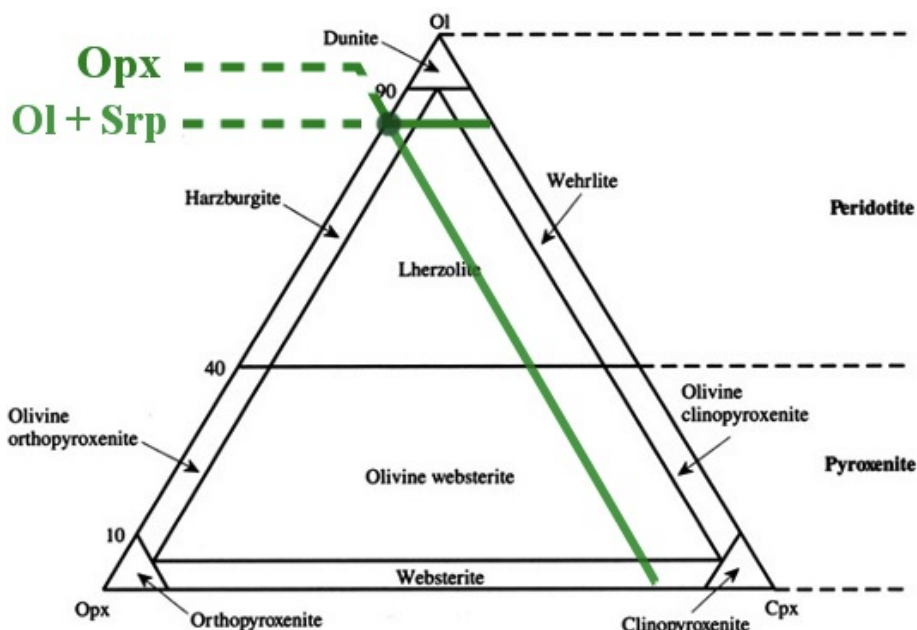


Fig. 13: Diagramma classificativo IUGS per rocce ultramafiche.

4.2.2 Sezione 13: Pirossenite a granato

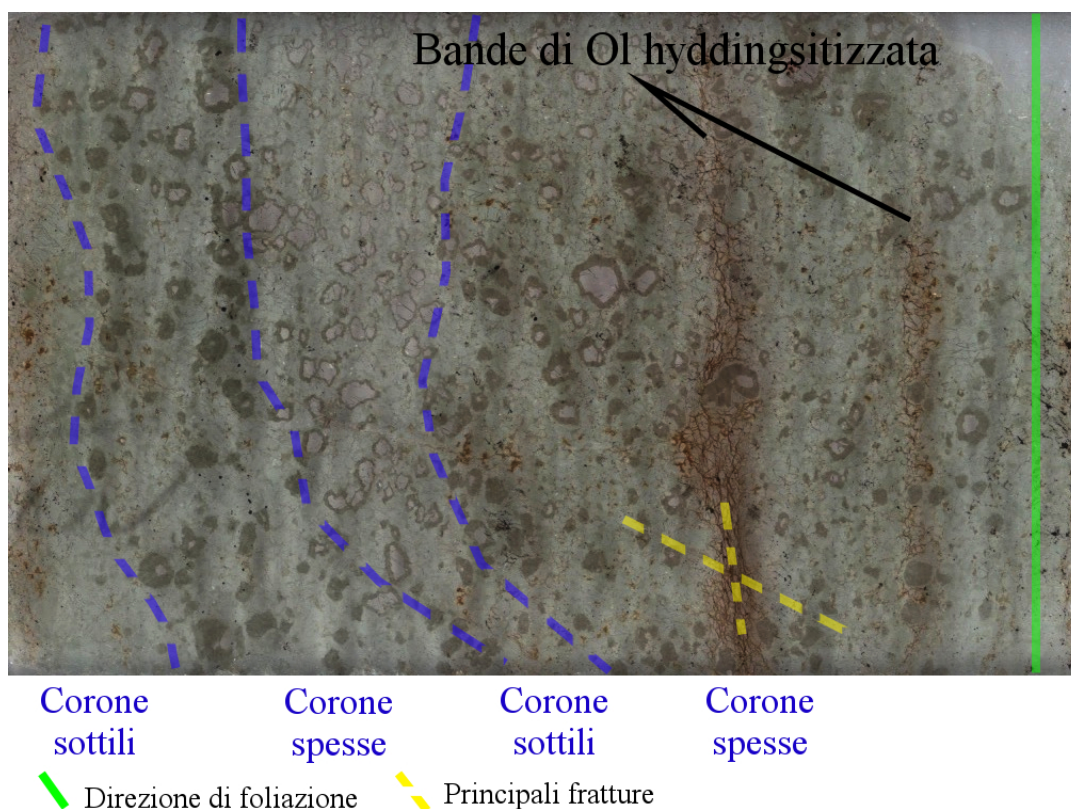


Fig. 14: Scansione della sezione sottile di pirossenite (dimensione del lato lungo: 4,5 cm). In particolare, è stata evidenziata in blu la presenza di bande aventi diverso spessore delle corone kelfitiche che circondano il granato.

La roccia è eterogranulare, con grana variabile fino ad una dimensione massima di 3 mm. Sono evidenti numerosi porfiroblasti di granato rosato a grana variabile, parzialmente o quasi totalmente sostituiti da corone kelfitiche. Lo spessore delle corone non è regolare e all'interno della sezione: sono identificabili zone caratterizzate da corone spesse (0,5 mm) e zone caratterizzate da corone sottili, quasi inesistenti (Fig. 14).

Alla scala della sezione sottile è presente una foliazione poco evidente data dalla presenza di bande oca-rossastre di larghezza massima 4 mm, tra loro parallele, costituite da cristalli a grana variabile di olivina hydridingsitizzata e, talvolta, granato kelfitico (Fig. 14).

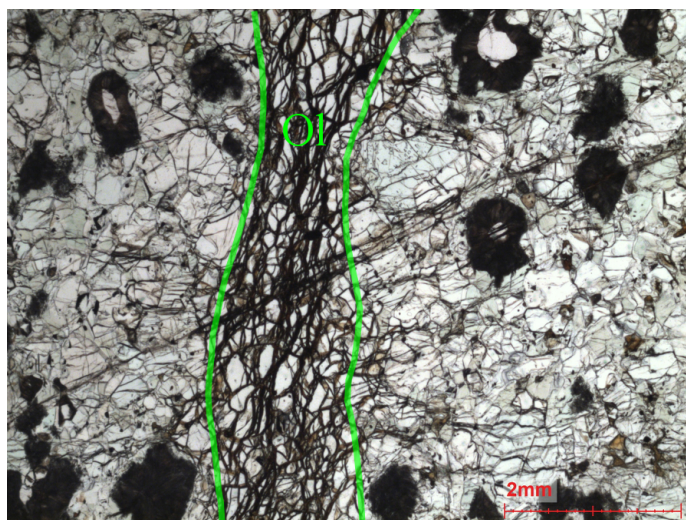


Fig. 15: Banda di olivina hydridingsitizzata microfratturata.

Sono presenti alcuni set di microfratture poco evidenti che tagliano perpendicolarmente le bande di olivina hydridingsitizzata (Fig. 15). Le bande sono a loro volta percorse longitudinalmente da microfratture che interessano i cristalli di olivina ma aggirano quelli di granato (Fig. 16).

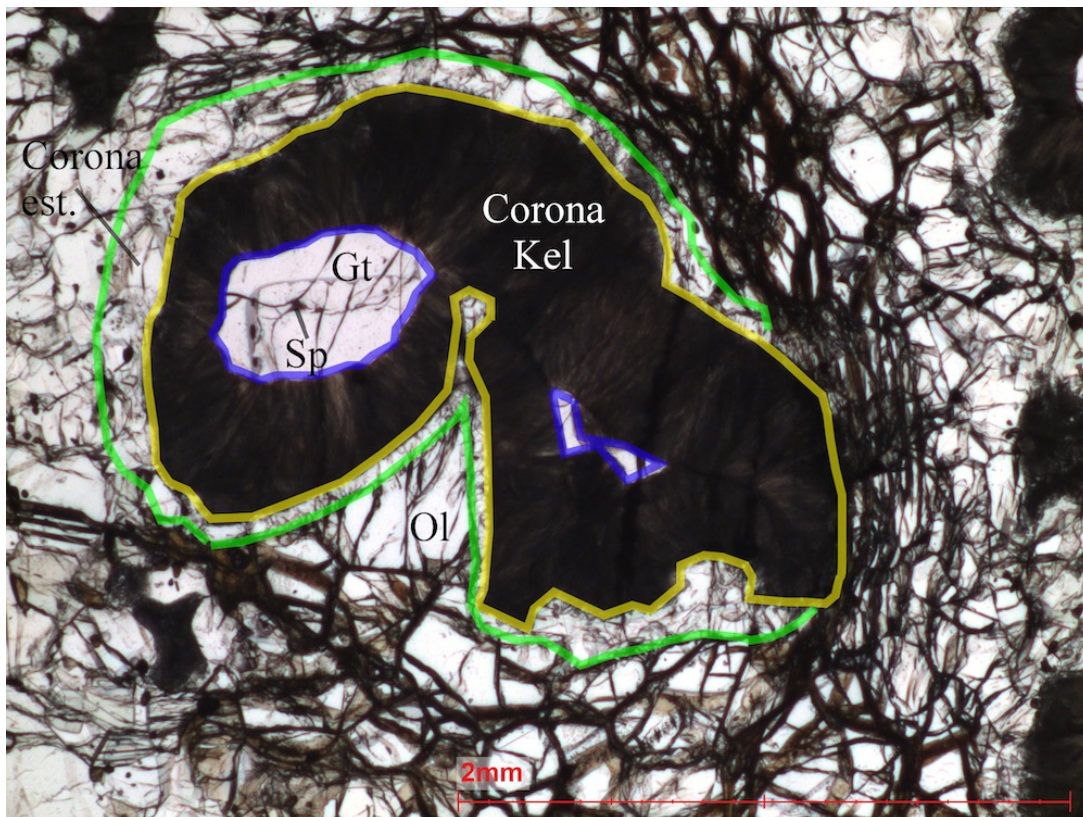


Fig. 16: Granati quasi totalmente sostituiti da kelifite. È visibile una suddivisione tra corona esterna (Corona est. in figura), ricca di anfibolo microgranulare, e corona interna (Corona Kel in figura), caratterizzata dalla presenza di opachi. Al nucleo del granato sono presenti spinelli relitti. I granati sono inclusi in una banda olivinica.

Minerali primari La matrice è composta quasi totalmente da pirosseni e anfiboli.

- Opx e Cpx figurano tra i minerali primari con la stessa abbondanza relativa e, raggruppati, costituiscono il 40% della roccia. Hanno forma irregolare e dimensioni variabili (da un minimo di 0,07 mm a un massimo di 2,11 mm); al solo polarizzatore sono incolore e la sfaldatura, laddove si manifesta, è sempre poco evidente (Fig. 17 A, B).
- All'interno della matrice si ha una abbondanza del 25% di anfibolo primario: si tratta di cristalli anedrali, a grana medio-fine, di colore verde chiaro al solo polarizzatore e con sfaldatura poco evidente (Fig. 17 A, B). A nicol incrociati appaiono zonati.
- Un altro minerale primario è il granato: costituisce il 25% della sezione ed è presente in tutta l'area, sia nelle bande oliviniche che disseminato nella matrice. Ha grana variabile: il diametro massimo riscontrato è 2,46 mm, il minimo è 0,27 mm (entrambi i valori comprendono la corona kelifitica). Tutti i granati appaiono limpidi e leggermente rosati, talvolta sono fratturati e al nucleo possono presentare relitti di minerali opachi (spinello nero) (Fig. 17 A, B).

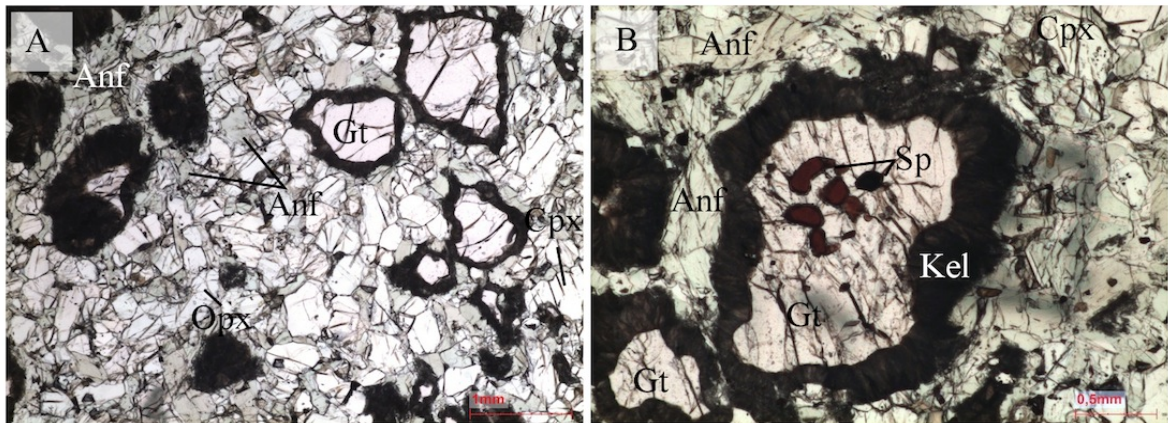


Fig. 17: A) Matrice composta da Opx, Cpx (incolori), Anf (verde chiaro) e porfiroblasti di granato (Gt) sostituito parzialmente o quasi totalmente da corone kelifitiche. B) Porfiroclasto di granato al cui nucleo sono evidenti minerali opachi, probabilmente spinelli (Sp), neri e bruni.

Minerali secondari Le fasi secondarie risultano essere, in prevalenza, quelle che compongono le corone che circondano i granati; inoltre è stata riscontrata la presenza di clorite e hyddingsite.

- Tutti i granati presenti nella sezione sono circondati da corone kelifitiche post-cinematiche. Come riscontrato da Godard e Martin (2000) all'interno di alcune peridotiti dell'unità di Ultimo, anche in questo caso è possibile osservare un esempio di doppia corona ben delineata (Fig. 16).

La doppia corona è costituita da: una corona esterna, più sottile, con spessore variabile da 0,05 a 0,1 mm, composta da anfibolo (secondo Godard e Martin, 2000, si tratta di tremolite) microgranulare e priva di spinello; una corona interna kelifitica, spessa fino a 0,5 mm, ricca di spinello e di minerali torbidi fibrosi di colore marrone-rossastro. È dimostrato che il confine tra le due corone coincide con la precedente interfaccia tra granato ed olivina (Godard & Martin, 2000).

- La clorite (anedrale, verde ocraceo al solo polarizzatore) è cresciuta a spese di anfibolo e pirosseni (Fig. 18 A).
- La hyddingsite, di colore variabile tra marrone scuro (all'esterno delle bande oliviniche) e marrone chiaro (nella parte interna delle bande), è cresciuta a spese dell'olivina e la sua presenza è circoscritta alle sole bande oliviniche (Fig. 18 B).

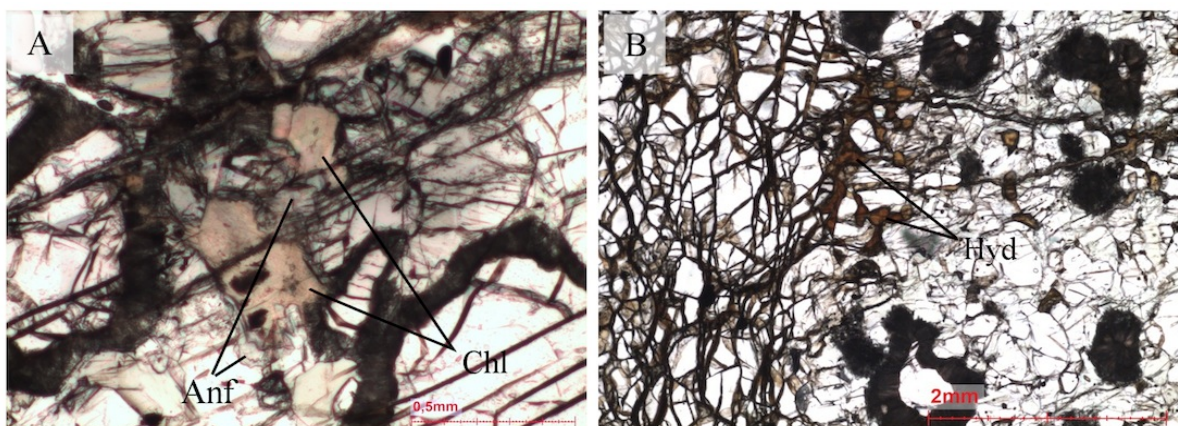


Fig. 18: A) Clorite (Chl) cresciuta a spese di anfibolo (Anf). B) Hyddingsite (Hyd), cresciuta in sostituzione dell'olivina.

Minerali accessori Il principale accessorio della pirossenite è l'olivina. I cristalli che costituiscono la parte interna delle bande sono a grana media (dimensione massima 1,47 mm), molto fratturati e intensamente iddittizzati; quelli che costituiscono la parte marginale delle bande e attorniano i granati sono a grana fine (dimensione minima 0,13 mm), deformati, fratturati e, a loro volta, iddittizzati.

Un'altra fase accessoria è rappresentata dai minerali opachi (si suppone che si tratti di spinelli ricchi in Cr, neri, e di spinelli ricchi in Al, bruni): compaiono sia nelle bande oliviniche, sia nella matrice, che come relitto all'interno dei nuclei di granato.

Le percentuali relative dei minerali sono: Pirosseni 40% (Opx 20%, Cpx 20%), Anfibolo primario 25 %, Granato 25%, Olivina 5%, Opachi 5%. Basandosi sul diagramma classificativo IUGS delle rocce ultramafiche (Fig. 19) si può concludere che si tratta di una olivin-websterite a granato e anfibolo.

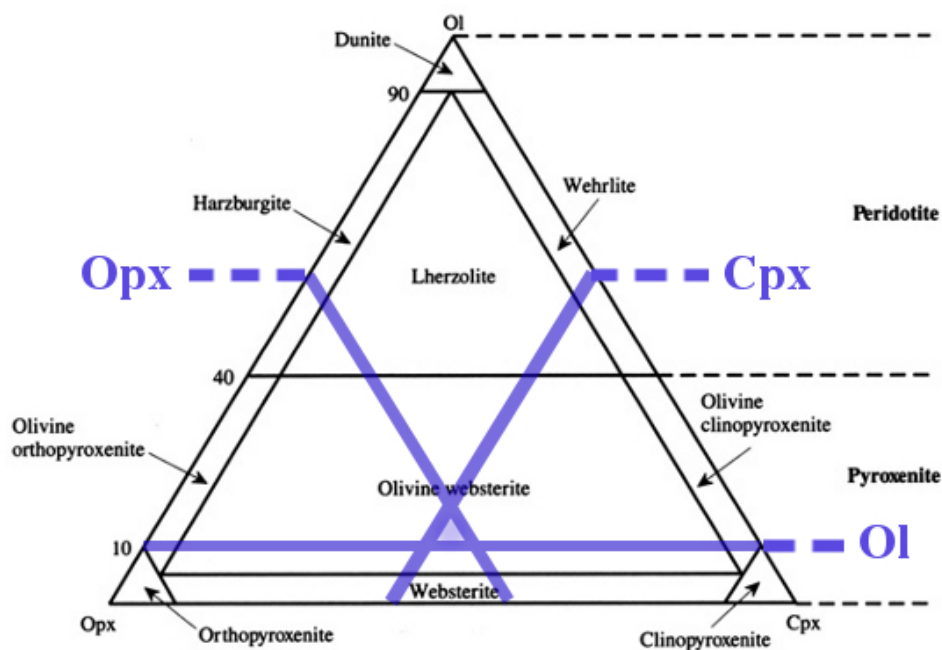


Fig. 19: Diagramma classificativo IUGS per rocce ultramafiche.

5. INTERPRETAZIONI E CONCLUSIONI

I cristalli a grana medio-grossolana appartenenti alla prima generazione di Ol e Opx all'interno dell'harzburgite sono relitti di una paragenesi a grana grossa. Si può ipotizzare una composizione modale iniziale data da Ol e Opx di prima generazione a grana medio-grossolana insieme a spinello (facies iniziale a spinello). Durante l'evoluzione nel cuneo di mantello, che vede un aumento di P a T costanti e, successivamente, decrescenti, si ha lo sviluppo, a partire dai porfiroclasti, di una seconda generazione di Ol e Opx a grana fine. Contemporaneamente, il granato cresce a spese dello spinello (la transizione tra facies a spinello e facies a granato è posta ad una soglia di circa 2 GPa) e si formano le lamelle di essoluzione negli Opx relitti. Nella sezione di harzburgite è stata riscontrata una completa pseudomorfosi del granato originario, ora completamente sostituito da minerali di retrocessione: la parte marginale è sostituita da una sottile e irregolare corona esterna

povera in spinello e da una corona kelifitica interna torbida e ricca di spinello; al nucleo si trova un aggregato policristallino a grana fine di anfibolo con incluso spinello che rappresenta l'ultima fase di sostituzione del granato. Serpentino di origine secondaria e anfibolo accessorio si sono formati durante una fase tardiva metasomatica.

L'olivin-websterite a granato deriva da un magma basaltico che ha cristallizzato come filone all'interno delle peridotiti. Porfiroclasti relitti di pirosseni pertitici, risalenti all'iniziale fase magmatica, come quelli descritti da Morten e Obata (1983), non sono stati riscontrati all'interno della sezione esaminata; tuttavia, osservando i campioni prelevati dall'affioramento, è possibile riconoscere alcuni porfiroclasti di pirosseno di dimensioni centimetriche con sfaldatura molto evidente (Allegato 3).

L'olivin-websterite mostra gli stessi minerali indice riscontrati nella peridotite, segno che ha seguito la stessa evoluzione P - T della lente ospitante. In una prima fase, la pirossenite si trovava, come la peridotite, in facies a spinello: ciò è confermato dalla presenza di spinelli relitti al nucleo dei granati. Questi ultimi si sono formati a spese dello spinello durante l'aumento di P , una volta superata la soglia di transizione tra le due facies. Come in parte visto nella sezione di harzburgite, i granati sono circondati da corone kelifitiche, che rappresentano la prova più importante di metamorfismo retrogrado all'interno delle ultramafiti. L'origine di tali aggregati è comunemente fatta risalire alla reazione metamorfica che avviene tra granato e olivina durante la retrocessione. Si tratta di corone post-cinematiche che crescono al di sopra di strutture deformate precedenti (Godard & Martin, 2000). Clorite e hyddingsite indicano, infine, la presenza di un'ulteriore impronta metasomatica tardiva.

BIBLIOGRAFIA

- Braga R., Bargossi G.M., 2014. Crust-Mantle relationships close at hands – Walking through the Ulten-Nonsberg orogenic lower crust. *Geological Field Trips* 6 (2.1): pp. 1-46.
- Gebauer D., Grunenfelder M., 1980. U-Pb zircon dating of mafic and ultramafic rocks. *Proceedings of the International Ophiolite Symposium, Cipro*: pp. 215-218.
- Godard G., Martin S., 2000. Petrogenesis of kelyphites in garnet peridotites: A case study from the Ulten Zone, Italian Alps. *Journal of Geodynamics* 30: pp. 117-145.
- Honda S., 1985. Thermal structure beneath Tohoku, northeast Japan – A case study for understanding the detailed thermal structure of the subduction zone. *Tectonophysics* 112: pp. 69-102.
- Martin S., Montresor L., 2009. Note illustrative della Tavola 25 II - Bresimo. Scala 1:25000. Provincia Autonoma di Trento, 117 p.
- Morten L., Obata M., 1983. Possible high-temperature origin of pyroxenites lenses within garnet peridotite, northern Italy. *Bulletin de Minéralogie* 106: pp. 775-780.
- Nimis P., Morten L., 2000. P-T evolution of “crustal” garnet peridotites and included pyroxenites from Nonsberg area (upper Austroalpine), NE Italy: from the wedge to the slab. *Journal of Geodynamics* 30: pp. 93-115.
- Nogarotto A., 2015. Rilevamento di dettaglio della zona del passo Val Clapa (Austroalpino Superiore, Alta Val di Non). Tesi di laurea inedita, Scuola di Scienze, Università di Bologna, 27 p.
- Scambelluri M., Rampone E., Braga R., Malaspina N., 2010. The Variscan garnet peridotites from the Eastern Alps (Ulten Zone): records of subduction metasomatism in the mantle wedge. *Journal of the Virtual Explorer* 36: pp. 1-26.

CARTOGRAFIA

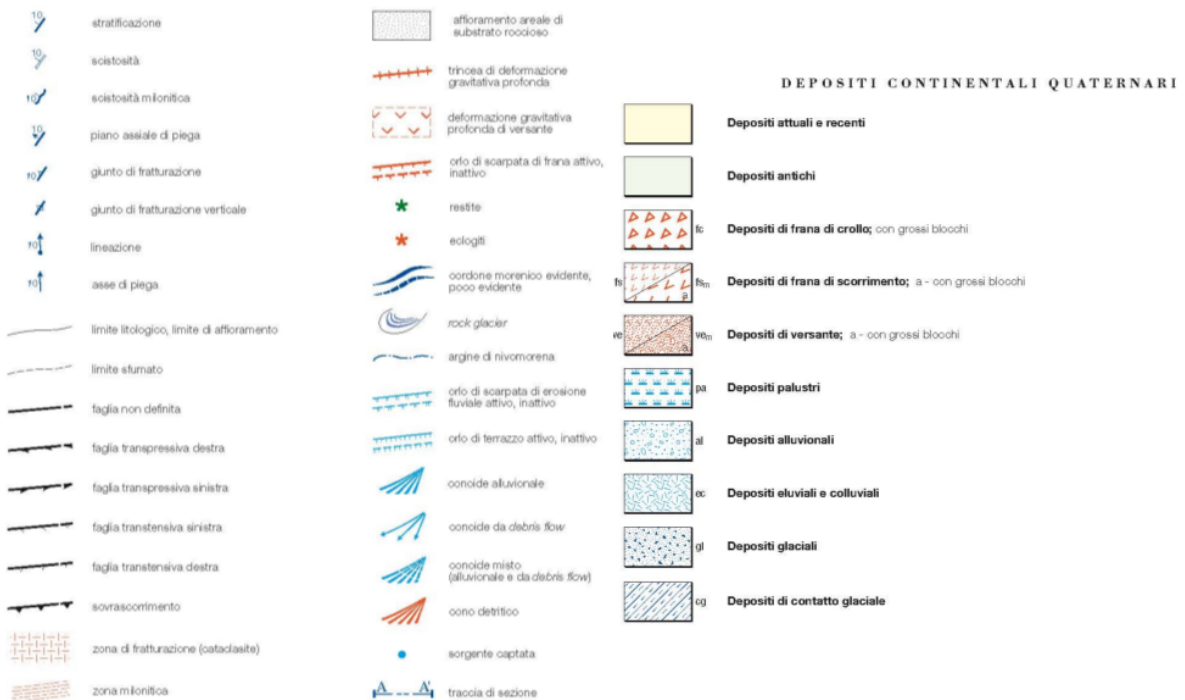
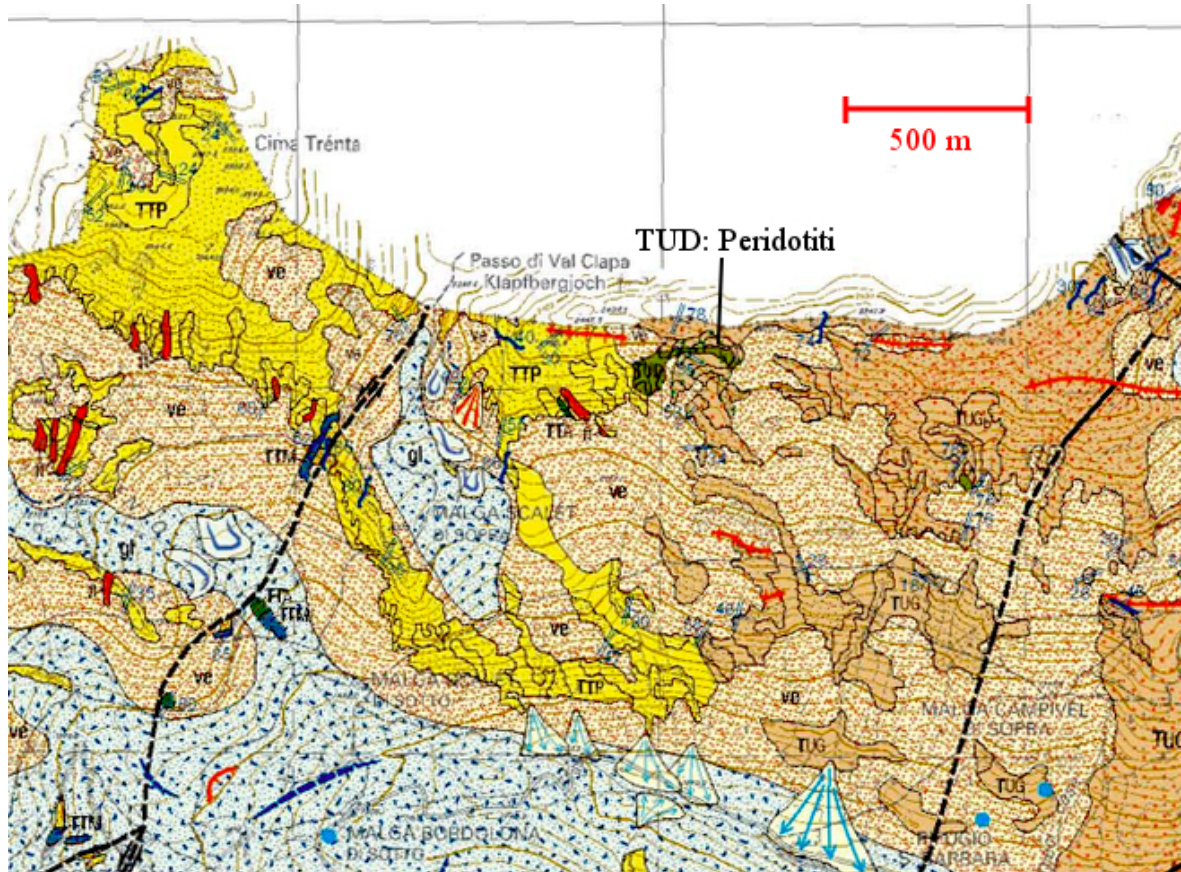
Alta Val di Non – Le Maddalene – Passo Mendola/Mendelpass, Kompass, scala 1:25000.
Tavola 25 II – Bresimo, scala 1:25000, Provincia Autonoma di Trento.

SITOGRAFIA

Diagramma classificativo IUGS per rocce ultramafiche. URL:
http://www.treccani.it/export/sites/default/Portale/resources/multimedia/Lezioni_Geologia2/Rocce/fig.8.jpg
Portale della Provincia Autonoma di Trento, Servizio urbanistica e tutela del paesaggio, Cartografia di base. URL: www.urbanistica.provincia.tn.it/sez_siat/BancheDati/-RepertorioCartografico/

ALLEGATO 1: CARTA GEOLOGICA

Stralcio di carta geologica tratta dalla Tavola 25 II - Bresimo della Provincia Autonoma di Trento in scala 1:25000 (Martin & Montresor, 2009).



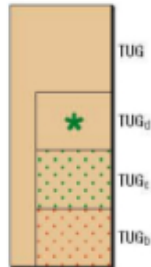
FALDA DEL TONALE

Unità d'Ultimo

Comprende rocce metamorfiche di medio ed alto grado di età varisca.

PARAGNEISS A GRANATO E CIANITE

Gneiss a due miche, granato e cianite (**TUG**). Grana medio-fine, tessitura localmente milonitica. Passano gradualmente a migmatiti stromatiche (**TUG_s**). Includono lenti di anfiboliti ed eclogiti (**TUA**). L'associazione mineralogica è costituita da mica bianca, biotite, plagioclasio, quarzo, cianite, granato \pm K-feldspato \pm staurolite \pm margarite e rutile. Caratterizzano un evento metamorfico di alta pressione seguito da un evento di alta temperatura.



RESTITI

Piccoli corpi e lenti di restiti a granato, cianite, biotite \pm staurolite, rutile e solfuri (**TUG_d**) associati alle migmatiti nebulitiche a plagioclasio e granato (**TUG_s**).

Gli affioramenti non hanno estensione cartografabile e sono indicati con il simbolo *.

MIGMATITI NEBULITICHE

Si tratta di leucosomi di composizione da trondhjemitica a granitica (**TUG_s**) che formano pods da decimetrici a metrici e filoni che tagliano la scistosità (**S₁**). Sono caratterizzati da grana grossa e struttura da granulata a pegmatitica. Affiorano lungo la cresta da Cima Stubele a Cima della Siromba. La paragenesi è costituita da dominante plagioclasio sodico in cristalli idiomorfi, biotite, mica bianca, granato \pm cianite. Talora si trovano deformati fino a trasposti entro una nuova foliazione (**S₂**).

MIGMATITI STROMATICHE

Gneiss migmatitici di colore grigio, grana medio-fine, caratterizzati da bande leucocratiche a quarzo, K-feldspato (sostituito da microclino) e plagioclasio, di spessore centimetrico e bande melanocratiche composte da granato, cianite, biotite \pm staurolite, rutile e solfuri (**TUG_s**).

ORTOGNEISS



Ortogneiss granitici da protolite pre-varisco, leucocratici, generalmente a grana variabile, trasposti all'interno di **TUG**. Gli ortogneiss che affiorano in Val di Bresimo lungo la Linea di Rumo sono intensamente foliati fino a milonitici, con porfiroclasti di K-feldspato e mica bianca entro una matrice abitico-doritica.

ANFIBOLITI



Metabasiti a grana fine e color verde marcio (eclogitiche) fino a grana medio-grossa di colore verde scuro. Affiorano in lenti decimetrico-metriche entro gli gneiss **TUG** e **TUG_s**. Sono costituite da anfibolo, granato, clinopirosseno calcico, epidoto, titanite, apatite, rutile e relitti di clinopirosseno sodico. Ove le lenti eclogitiche sono più frequenti, il sito è indicato con una stella rossa *.

PERIDOTITI



Sono rocce massive, giallastre sulle superfici alterate, verde scuro al taglio fresco. Affiorano in *boudins* di spessore metrico-attometrico. Sono costituite da olivina, anfibolo e spinello \pm clinopirosseno \pm ortopirosseno \pm granato \pm carbonati in proporzioni variabili. In base alla composizione mineralogica, sono state riconosciute duriti (Malga Masa Murada), harzburgiti (Cima Zoccolo), lherzolitici (Cresta Slavaziale, Passo Val Clapa), filoni pirossenitici (Passo Val Clapa).

Unità del Tonale

Comprende rocce metamorfiche di medio-alto grado in facies anfibolitica di età varisca, con sovrainfronta di retrocessione in facies scisti verdi circoscritta alle zone di taglio alpine.

PARAGNEISS A SILLIMANITE



Paragneiss e micascisti a grana medio-grossa a quarzo, biotite, muscovite, sillimanite \pm granato \pm K-feldspato. Alla testata della Val di Bresimo sono intensamente deformati e retrocessi in corrispondenza della faglia di Peio.

QUARZITI



Quarziti grigio-nocciola di spessore metrico, a grana medio-fine, massicce. Mostrano passaggi graduali verso i paragneiss **TTP**. L'associazione mineralogica è costituita da quarzo con mica bianca \pm biotite in letti sottili. Alcune quarziti sono caratterizzate dalla presenza di ossidi di ferro, solfuri, anfiboli e clorite.

ORTOGNEISS



Lenti metrico-decamicriche affiorano nell'area di Cima Quaira e Cima Tuatti. La roccia ha struttura intensamente foliata con porfiroclasti di feldspato immersi in una matrice cloritico-sericitica. Nelle facies più deformate il quarzo ha struttura nastriforme.

ANFIBOLITI



Lenti di anfiboliti caratterizzate da un *layering* metamorfico millimetrico con livelli anfibolici scuri alternati a livelli chiari a plagioclasio, clinozoisite e titanite; localmente a granato e rutile.

MARMI



Rari orizzonti di marmi a bande giallastre e grigie, con pieghe isoclinali (Malga Bordolona). Mostrano mica bianca, tremolite, clorite e talora solfuri e magnetite. Lo spessore delle bancate non supera 2-3 metri.

Lenti metasomatiche a clinopirosseno, anfibolo, olivina \pm scapolite sono state osservate sulle pendici occidentali di Cima Zoccolo, associate a **TT0**.

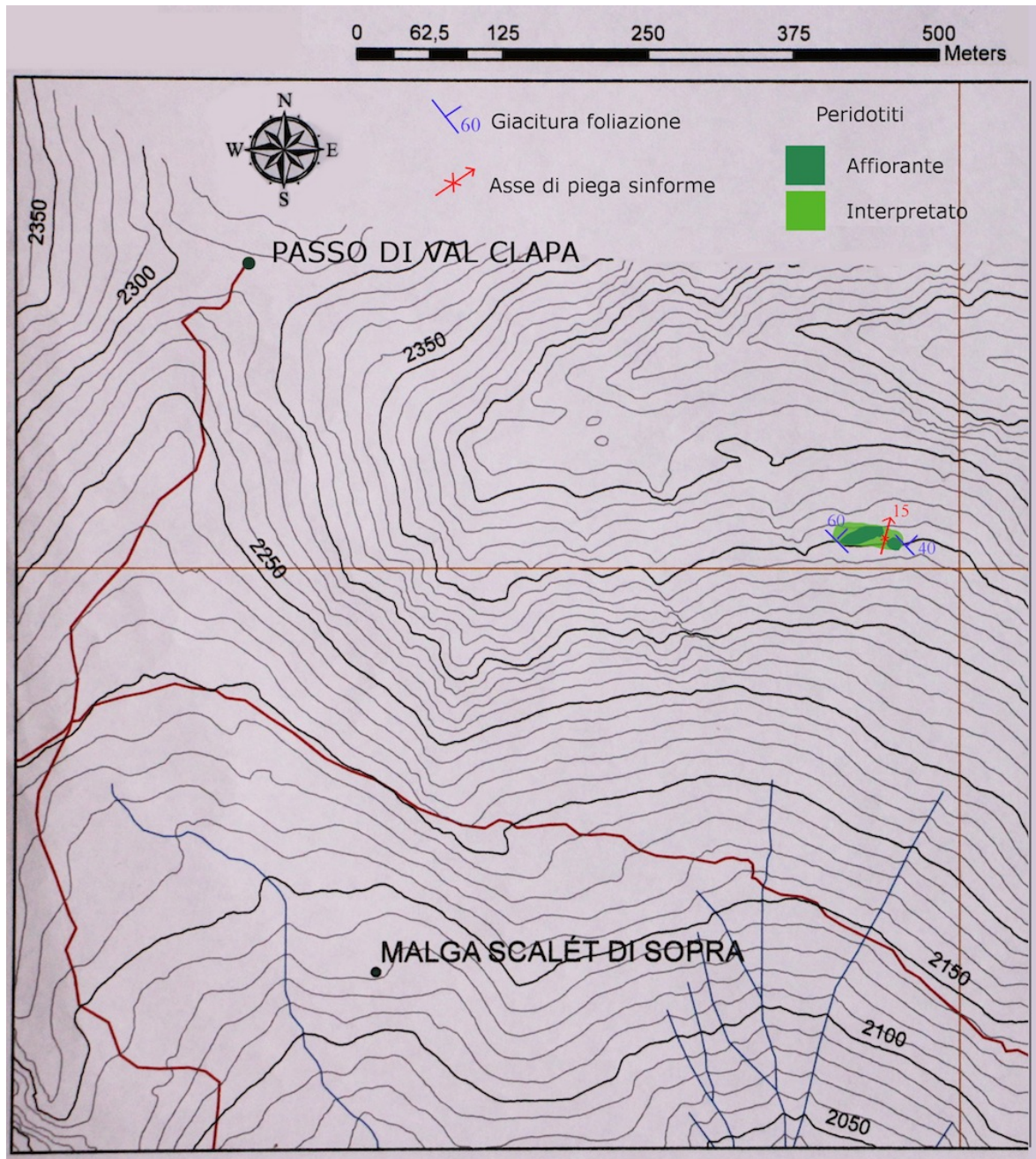
Filoni aplitico-pegmatitici



Alcuni filoncelli di spessore metrico di meta pegmatiti e ortogneiss pegmatitici sono trasposti entro **TTP** in alta Val di Bresimo. L'associazione mineralogica è data da quarzo, feldspato, muscovite, rara biotite \pm granato \pm tormalina.

ALLEGATO 2: CARTA DEGLI AFFIORAMENTI

Rielaborazione digitale della carta geologica speditiva realizzata in campagna.



Peridotite: Affioramento composto da due gruppi di blocchi affioranti (estensione gruppo 1, a W: 300 m² circa; estensione gruppo 2, ad E: 100 m² circa) caratterizzati da una crosta centimetrica di alterazione ocrea e da foliazione evidenziata dall'andamento delle fratture. L'intero ammasso è fratturato e piegato (piega sinforme con asse 10/15): la foliazione riscontrata nel lembo destro ha giacitura 40/40, quella riscontrata nel sinistro 40/60. Si riscontra la presenza di porfiroclasti di pirosseno e porfiroblasti di granato in rilievo rispetto alla superficie di alterazione. Sulla frattura fresca si distingue una matrice a grana fine composta da pirosseno verde scuro e olivina verde chiaro. Il gruppo affiorante 2 è caratterizzato dalla presenza di livelli pirossenitici di spessore variabile (da pochi mm a 30 cm) non cartografabili, concordanti con la foliazione.

ALLEGATO 3: CATALOGO DEI CAMPIONI

Campione 11: Harzburgite a granato



Peridotite a grana medio-fine. Presenta una crosta di alterazione color ocre di spessore centimetrico dalla quale spiccano in rilievo alcuni porfiroclasti di pirosseno verde bottiglia e di granato violaceo; la frattura fresca assume un colore verde scuro tendente al nero. La roccia è massiva ma si intravede una leggera foliazione data dall'allungamento dei porfiroclasti. Sono visibili porfiroclasti di pirosseno verde scuro/nero di dimensione massima 1 cm disseminati in una matrice costituita da pirosseni a grana fine di colore verde scuro e olivina verde chiara a granulometria variabile (dimensioni fino a qualche mm). Localmente è interessata dalla presenza di lenti e occhi centimetrici di pirossenite (per la descrizione si rimanda al campione 13).

Alla scala del campione a mano è visibile il medesimo granato completamente sostituito che è stato osservato al microscopio ottico polarizzatore (Fig. 12 A).

Campione 13: Olivin-websterite a granato e anfibolo



Pirossenite di colore verde bottiglia caratterizzata da una matrice a grana medio-fine dalla quale spiccano pochi porfiroclasti centimetrici di pirosseno verde scuro brillante che presentano evidenti tracce di sfaldatura (tali porfiroclasti non sono presenti all'interno delle sezioni sottili esaminate). La foliazione è data sia dalla direzione di allungamento dei porfiroclasti, sia dalla presenza di livelli ocracei costituiti da olivina alterata. Non è presente una crosta di alterazione: la superficie esposta differisce dalla frattura fresca solo a causa di una lieve decolorazione.

Esaminando la matrice a grana fine si possono riconoscere pirosseni di colore verde bottiglia e pirosseni di colore verde chiaro. Sono presenti, disseminati nella matrice, porfiroblasti di dimensioni millimetriche di granato violaceo. Con l'ausilio di una lente 10x è possibile riconoscere le corone di alterazione che li circondano.