

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA



UNIVERSITA' DELLA CALABRIA

Dipartimento di Biologia, Ecologia e Scienze della Terra

Dottorato di Ricerca in

Scienze e Ingegneria dell'ambiente, delle costruzioni e dell'energia

CICLO

XXX

WEATHERING ED ESUMAZIONE DI ROCCE PLUTONICHE DEL MASSICCIO DELLA
SILA DURANTE IL QUATERNARIO

Settore Scientifico Disciplinare GEO/ 02

Coordinatore:

Ch.mo Prof. Salvatore Critelli

Firma

Supervisore/Tutor:

Ch.mo Prof. Salvatore Critelli

Firma

Ch.mo Prof. Fabio Scarciglia

Firma

Ch.mo Dott. Francesco Petri

Firma

Dottorando: Dott./ssa Sabrina Coniglio

Firma

INDICE

INTRODUZIONE.....	4
--------------------------	----------

CAPITOLO I

INQUADRAMENTO GEOLOGICO-REGIONALE

1.1 L'Arco Calabro Peloritano.....	7
1.1.1 Il settore meridionale.....	8
1.1.2 Il settore settentrionale.....	10
1.2 L'assetto geologico dell'Unità della Sila e posizione.....	15
1.2.1 Il Batolite della Sila.....	17
1.2.2 Il Complesso metamorfico di Gariglione.....	18
1.2.3 Il Complesso di Mandatoriccio.....	18
1.2.4 Il Complesso di Bocchigliero.....	19
1.2.5 Il Gruppo di Longobucco.....	20

CAPITOLO II

METODOLOGIA APPLICATA

PARTE I

2.1 Rilievo geologico – strutturale e geomorfologico dell'area di studio.....	22
2.2 Rilievo del grado di alterazione in campagna	26
2.3 Profili di alterazione.....	30

PARTE II

2.4 Effetti dei processi di weathering valutati attraverso prove di laboratorio.....	34
--	----

2.4.1 Mineralogia e petrografia.....	34
2.4.2 Analisi geochimiche.....	38
2.4.2.1 Determinazione del contenuto di H ₂ O (L.O.I).....	39
2.4.2.2 Analisi diffrattometriche a raggi X (XRD).....	39
2.4.2.3 Analisi a fluorescenza a raggi X (XRF).....	41
2.4.3 Termocronometria (U/Th)/ He su apatiti.....	44
CAPITOLO III	
RISULTATI	
3.1 Analisi geologico- strutturale e geomorfologica dell'area di studio.....	49
3.2 Carta del grado di alterazione.....	66
3.3 Indagini mineralogiche	79
3.4 Indagini geochimiche.....	91
3.4.1 Determinazione del contenuto H ₂ O (L.O.I).....	91
3.4.2 Analisi diffrattometriche a raggi X (XRD).....	92
3.4.3 Analisi a fluorescenza a raggi X (XRF).....	96
3.5 Termocronometria (U/Th)/ He su apatiti.....	105
DISCUSSIONE.....	107
CONCLUSIONI.....	114
BIBLIOGRAFIA.....	116
APPENDICE.....	127

INTRODUZIONE

Le rocce cristalline, quando subiscono l'azione dei processi esogeni, mutano le proprie caratteristiche chimico-fisiche, per riequilibrarsi con le nuove condizioni ambientali cui sono sottoposte. L'instabilità di tali litotipi, ai processi chimico-fisici del weathering, porta alla formazione di spessori più o meno consistenti di roccia alterata.

I processi di alterazione fisico-chimica, spesso conferiscono a tali litotipi una scarsa consistenza riducendoli ad ammassi di rocce tenere e/o suoli, diminuendone così sensibilmente la resistenza meccanica (*Critelli et al. 1991; Cascini et al., 1992, 1993;; Matano e Di Nocera, 1999; Le Pera e Sorriso-Valvo, 2000a; Le Pera et al., 2001a,b*). L'elevata suscettibilità di tali rocce ai processi di alterazione fisica e chimica, è dovuta principalmente al fatto che esse si sono formate in condizioni di pressione e temperatura completamente diverse da quelle cui ora sono sottoposte.

Un importante ruolo è svolto, inoltre, dalla *tettonica* che contribuisce al disfacimento meccanico delle rocce lungo i piani di discontinuità, e consente il trasferimento delle acque meteoriche in profondità secondo direzioni preferenziali, lungo le quali si concentrano i processi di alterazione (*Borrelli et al., 2011 a-b, 2015,2016; Scarciglia et al., 2005, 2015, 2016*).

Il grado di alterazione della roccia si può definire in termini di variazioni delle caratteristiche originarie della roccia madre non alterata. Il weathering si sviluppa nella massa rocciosa con il procedere dei processi fisici e chimici; questi producono una frammentazione della roccia in clasti di dimensioni inferiori e minerali di neoformazione (ad es. minerali argillosi, ossidi ed idrossidi di ferro, ecc.), che possono accumularsi in sito, in assenza di processi erosivi adeguati a rimuoverli (*Borrelli et al., 2007, 2011 b, 2012b, 2015*). Le caratteristiche del materiale roccia e le condizioni di fratturazione dell'ammasso roccioso determinano, in termini generali, i profili di alterazione. Per profilo d'alterazione si intende una sequenza di rapporti con cui si ritrovano in profondità i volumi di roccia alterata.

La maggior parte dei massicci calabresi (la Sila, le Serre, l'Aspromonte) sono caratterizzati dalla presenza di litotipi plutonici e metamorfici che ne costituiscono l'ossatura (*Messina et al., 1994; Messina et al., 2004; Caggianelli et al., 2000; Critelli et al., 2011, 2013; Van Dijk et al., 2000; Graessner et al. 2000; Liotta et al., 2008; Olivetti et al., 2012*). La maggiore concentrazione di fenomeni d'instabilità si rileva proprio in corrispondenza di

queste rocce cristalline alterate e caratterizzate da una sequenza di stadi a diverso grado di alterazione (Guzzetta, 1974; Ietto, 1975, Ietto & Ietto, 2004; Borrelli et al., 2015, 2016; Scarciglia et al., 2016). Tale circostanza è conseguenza di condizioni ambientali tali, da aver causato intensi processi di disgregazione e di degradazione indebolendo l'originaria struttura di queste rocce. Nell'analisi delle caratteristiche di decomposizione e degrado delle rocce cristalline calabresi, bisogna considerare che esse sono il risultato dell'insieme dei processi di *weathering*, che si sono susseguiti sin dalle prime fasi di sollevamento del Massiccio della Sila ad oggi. I terreni calabresi hanno subito numerose fasi tettoniche, a causa delle quali le rocce ignee e metamorfiche, si presentano intensamente fagliate e fratturate, il che ha favorito una profonda alterazione. Lo stato di *weathering* degli ammassi rocciosi calabresi, che presentano decine di metri di spessore di alterazione, è tipico di rocce cristalline in regioni caratterizzate da un rapido sollevamento. Il profondo mantello di alterazione che attualmente si osserva in Calabria rappresenta un mantello fossile, prodottosi in epoche geologiche passate ed attualmente esposto a seguito dell'intensa erosione verificatasi nella regione (Guzzetta, 1974), anche se è da specificare l'estesa rimozione che ne ha asportato spessori ingenti (Scarciglia et al. 2015).

La profondità dei profili di alterazione è molto variabile, in quanto risulta influenzata da una serie di fattori in cui il clima, il tempo, la tettonica ed il rilievo ne controllano l'età o determinano il ringiovanimento dei fronti stessi (Scarciglia, 2015). Stabilire l'origine e l'età del *weathering* in queste aree risulta, quindi, un problema di difficile soluzione, in quanto derivano dalla complessa interazione tra *weathering* e processi pedogenetici, dalla storia tettonica dell'area, dall'evoluzione geomorfologica del territorio e dai cambiamenti climatici avvenuti nel tempo. A questo, si aggiunge il fatto che nell'evoluzione del paesaggio i segni di tali processi sono spesso di difficile interpretazione, in quanto scarsamente preservati o addirittura totalmente cancellati dalla presenza di superfici di erosione, dal seppellimento sotto sedimenti più giovani o dalla sovrapposizione di processi di *weathering* più recenti (Scarciglia, 2015).

Gli studi, sicuramente numerosi, disponibili in tali aree solo da alcuni anni stanno trovando un più organico inquadramento generale. In Italia, già a partire dalla seconda metà degli anni settanta e con un consistente crescendo nell'ultimo decennio, si stanno sviluppando e consolidando studi e ricerche, anche a carattere interdisciplinare, relativamente a contesti dove sono ben evidenti gli effetti dell'alterazione sugli ammassi rocciosi cristallini (Borrelli et al., 2007, 2011 a, 2012 b, 2015; Cascini et al., 1992; Gullà & Matano, 1994; Gullà & Matano, 1997; Le Pera et al., 2001 a-b).

In questo contesto, si inserisce il presente lavoro di tesi che si pone come obiettivo quello di illustrare le caratteristiche e gli effetti dei processi di alterazione che hanno luogo nelle rocce cristalline alterate del bordo centro-orientale della Sila. Ricordando che il lavoro è stato finalizzato alla definizione delle relazioni esistenti tra processi di degradazione fisico-chimica ed evoluzione geomorfologica del territorio, anche l'approccio metodologico è stato multidisciplinare. A tale scopo si è fatto ricorso ad un metodo di indagine che tenesse conto degli aspetti geologici, strutturali, geomorfologici ed idrogeologici nell'area in esame.

Per verificare la validità e l'efficacia di tali metodi investigativi, ad integrazione delle attività sopra elencate sono state svolte delle analisi specifiche di laboratorio, mirate ad acquisire conoscenze di ulteriore dettaglio, circa la caratterizzazione mineralogico-petrografica e geochemica, nonché alla definizione di indici correlati al grado di alterazione delle rocce (indici micropetrografici e indici di alterazione geochemica).

Infine, per ottenere informazioni utili circa i tempi di esumazione delle rocce e sulla presunta età di inizio dei processi di alterazione che interessano gli ammassi cristallini calabresi (*Thomson et al., 1998; Vignaroli et al., 2012; Scarciglia et al., 2005a, 2005b; Scarciglia 2015*), è stato avviato uno studio preliminare basato sul metodo di datazione termocronologica (U/Th) / He su apatiti.

Tale metodo, utilizzato in genere per la determinazione delle fasi di raffreddamento più avanzate, è stato testato in via sperimentale su cinque campioni per verificarne la validità e l'efficacia, considerando alcuni dei siti in cui precedentemente Vignaroli et al. (2012) avevano ottenuto delle età di raffreddamento delle rocce, mediante l'applicazione del metodo AFT.

CAPITOLO I

INQUADRAMENTO GEOLOGICO-REGIONALE

1.1 L'Arco Calabro-Peloritano

L'Arco Calabro-Peloritano rappresenta uno degli elementi arcuati del sistema corrugato perimediterraneo e collega la catena siciliano-maghrebide, caratterizzata da un andamento E-W, con la catena appenninica s.s. ad andamento NW-SE; è delimitato dalla linea di Sangineto (faglia trascorrente sinistra) a nord e dalla linea di Taormina a sud (faglia trascorrente destra) (Fig. 1.1).

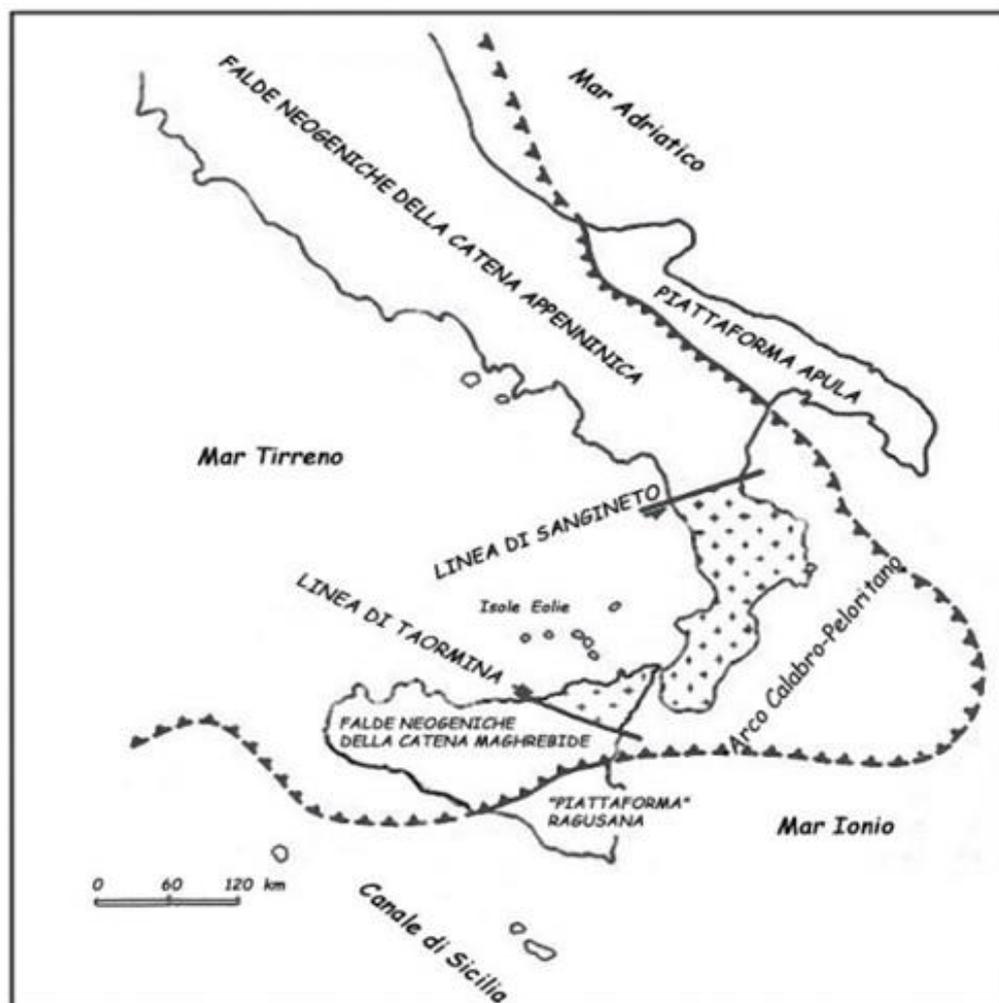


Fig. 1.1 – Il sistema orogenetico appenninico-maghrebide. Da Amodio Morelli et al. 1976, modificata.

Esso è interpretato come un frammento di catena alpina, sovrascorso sulla catena appenninico-maghrebide (Amodio Morelli *et al.*, 1976). L'Arco Calabro-Peloritano è costituito da una serie di coltri cristalline derivanti dalla deformazione di crosta oceanica e continentale e rappresenta l'elemento di catena in un sistema in cui si riconoscono: un'avampaese rappresentato nei domini apulo e ragusano da sedimenti carbonatici; un'avanfossa rappresentata dalla fossa bradanica e dalla sua prosecuzione in mare nel Golfo di Taranto e costituita da sedimenti clastici plio-pleistocenici; la piana batiale tirrenica, un'area oceanizzata di età neogenica (Barberi *et al.*, 1973); una sismicità profonda in corrispondenza della zona di massima curvatura che disegna uno slab litosferico subdotto caratterizzato da forte distorsione; un evidente raddoppio, almeno nella parte settentrionale dell'Arco, della discontinuità di Mohorovicic; un vulcanesimo calco-alcantino pleistocenico nell'arco delle isole Eolie (Barberi *et al.*, 1973). L'Arco Calabro-Peloritano è costituito da due settori che si differenziano nell'assetto tettonico-stratigrafico (Fig. 1.2) delle unità che li compongono; le differenze principali che caratterizzano i due settori, i quali vengono suddivisi da un imprecisato allineamento Capo Vaticano – Valle del Mesima – Soverato (Bonardi *et al.*, 1980, 1982), possono essere riassunte nei seguenti punti, considerando come riferimento il settore meridionale e ponendole in contrapposizione alle caratteristiche del settore settentrionale:

- mancanza di unità ofiolitiche;
- mancanza delle unità carbonatiche appenniniche sottostanti alle unità cristalline;
- età delle principali deformazioni interessanti le unità cristalline comprese tra l'Eocene sup. e l'Aquitano e polarità meridionale delle strutture originate (nel settore settentrionale l'età delle principali deformazioni delle unità cristalline è prevalentemente del Cretaceo sup. e la polarità delle strutture è europea); mancanza di un chiaro raddoppiamento della superficie di Mohorovicic.

1.1.1 Il settore meridionale

Il settore meridionale (Fig. 1.2) si sviluppa a sud di un allineamento che da Capo Vaticano si prolunga fino a Soverato, comprendendo quindi le Serre p.p., l'Aspromonte ed i Peloritani.

Nel settore Peloritano l'elemento geometricamente più profondo è costituito dall'*Unità Longi-Taormina* che affiora in posizione frontale lungo il margine meridionale. È rappresentata da un basamento (Atzori & Vezzani, 1974) di prevalenti semiscisti con intercalazioni di quarziti, metareniti e metacalcari. Il metamorfismo è ercinico. La copertura mesozoico-cenozoica è rappresentata da una successione che da facies continentali (Trias sup.-Lias inf.), passa gradualmente a facies pelagiche (Lias inf.).

Sull'*Unità di Longi-Taormina* si sovrappone tettonicamente l'*Unità di Mandanici* che affiora esattamente nella porzione centrale dei Peloritani; essa è costituita da una successione di prevalenti filladi con intercalazioni di quarziti e calcari cristallini (Atzori & D'Amico, 1972; Atzori et al., 1974).

L'*Unità geometricamente più elevata della Catena dei Monti Peloritani* è l'*Unità dell'Aspromonte*, affiorante esclusivamente nella parte settentrionale dei Peloritani. L'*Unità* è costituita da paragneiss e micascisti con intercalazioni di anfiboliti e marmi e nell'area dello stretto prevalgono gneiss occhiadini. Lungo i massicci delle Serre e dell'Aspromonte, le unità più basse sono lembi di terreni con metamorfismo di basso grado, rappresentate da filladi e scisti (*Unità di Africo-Cardeto*). Sovrapposta geometricamente si ha l'*Unità dell'Aspromonte* precedentemente descritta (grado metamorfico da medio –micascisti- ad alto –gneiss).

In posizione apicale si ritrova l'*Unità di Stilo*, la quale poggia tettonicamente sull'unità dell'Aspromonte e affiora prevalentemente nelle Serre meridionali e lungo il versante meridionale dell'Aspromonte (Bonardi et al., 1980). Il basamento è costituito in generale da paragneiss, micascisti ed anfiboliti e da filladi con intercalazioni di metareniti e metacalcari di basso grado metamorfico. La copertura, affiorante prevalentemente nelle Serre, è costituita da una successione calcareo-dolomitica con età compresa tra il Trias ed il Cretaceo (Bonardi et al., 1980).

Sull'edificio a falde così costituito si deposita tra l'Aquitaniense ed il Langhiano la *Formazione di Stilo-Capo d'Orlando* (Bonardi et al., 1980). Essa è rappresentata da una successione di torbiditi arenaceo-conglomeratiche ed arenaceo-pelitiche, che affiora con continuità dal settore delle Serre fino al bordo meridionale dei Peloritani.

In discordanza troviamo una sequenza arenaceo-calcarenitica (Fm. delle Calcareniti di Floresta) di età langhiana (Bonardi et al., 1980; Carmisciano et al., 1981). Trasgressive su

tutto l'edificio giacciono infine le successioni del Tortoniano-Messiniano, del Pliocene e Pleistocene.

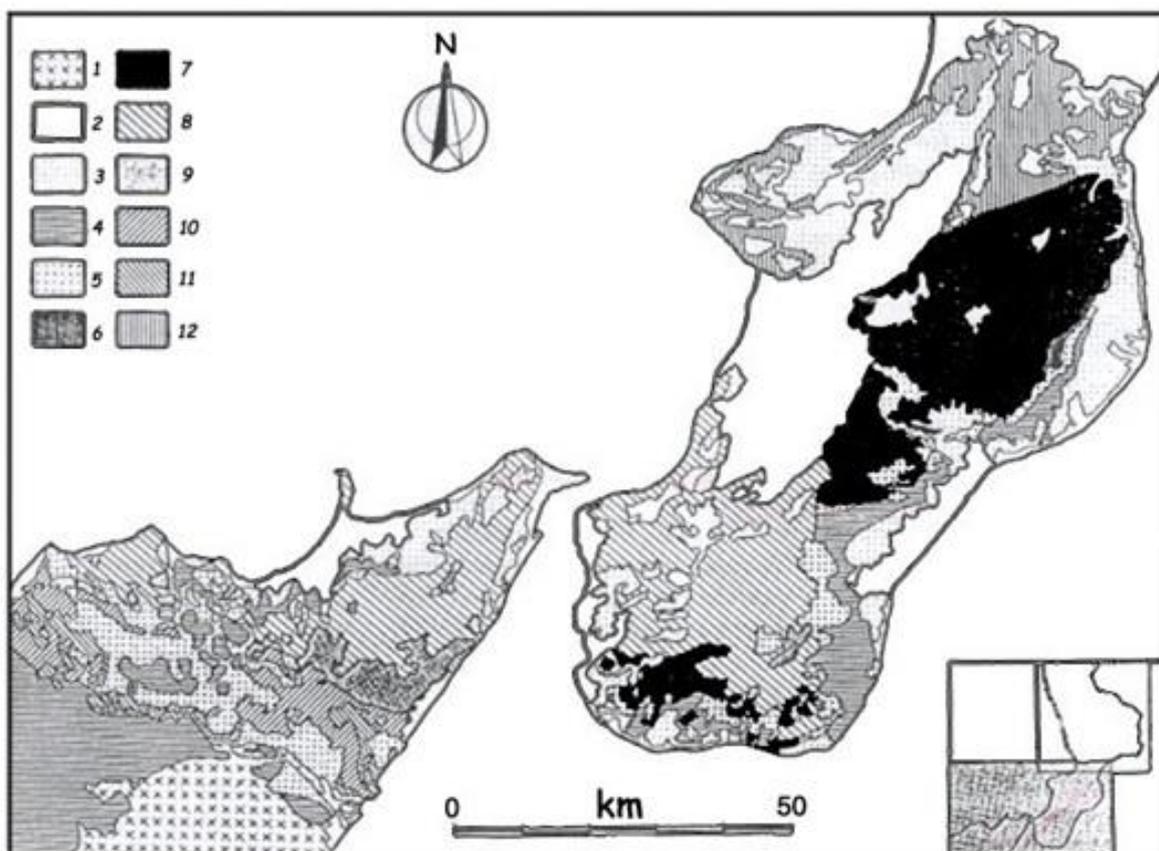


Fig. 1.2 – Schema geologico-strutturale del settore meridionale dell’Arco Calabro-Peloritano. 1 = vulcaniti etnee; 2 = sequenze medio suprapliocenico-pleistoceniche; 3 = sequenze tortoniano-infraplioceniche; 4 = Unità sicilidi; 5 = Formazione di Stilo-Capo d’Orlando; 6 = Unità di Stilo, coperture mesozoiche; 7 = Unità di Stilo, basamento; 8 = Unità dell’Aspromonte; 9 = Unità di Mandanici; 10 = Unità Longi-Taormina, copertura meso-cenozoiche; 11 = Unità Longi-Taormina, basamento; 12 = Unità cristalline del settore settentrionale dell’Arco Calabro-Peloritano. Da Tortorici (1982), modificata.

1.1.2 Il settore settentrionale

La Calabria settentrionale è suddivisa in una serie di blocchi a comportamento tettonico differenziabile (Ghisetti & Vezzani, 1979). Il quadro neotettonico generale mostra, infatti, come questa parte della regione sia interessata da movimenti verticali di notevole entità e da movimenti orizzontali altrettanto importanti (Van Dijk et al., 2000), (Figg. 1.3 – 1.4).

Questi ultimi si collocano in un ben più vasto quadro geodinamico che vedrebbe la Calabria interessata da un generale regime compressivo che, provocando la curvatura dell’intera regione, darebbe luogo a manifestazioni tensive con apertura di *graben* trasversali e longitudinali (Ghisetti & Vezzani, 1979).

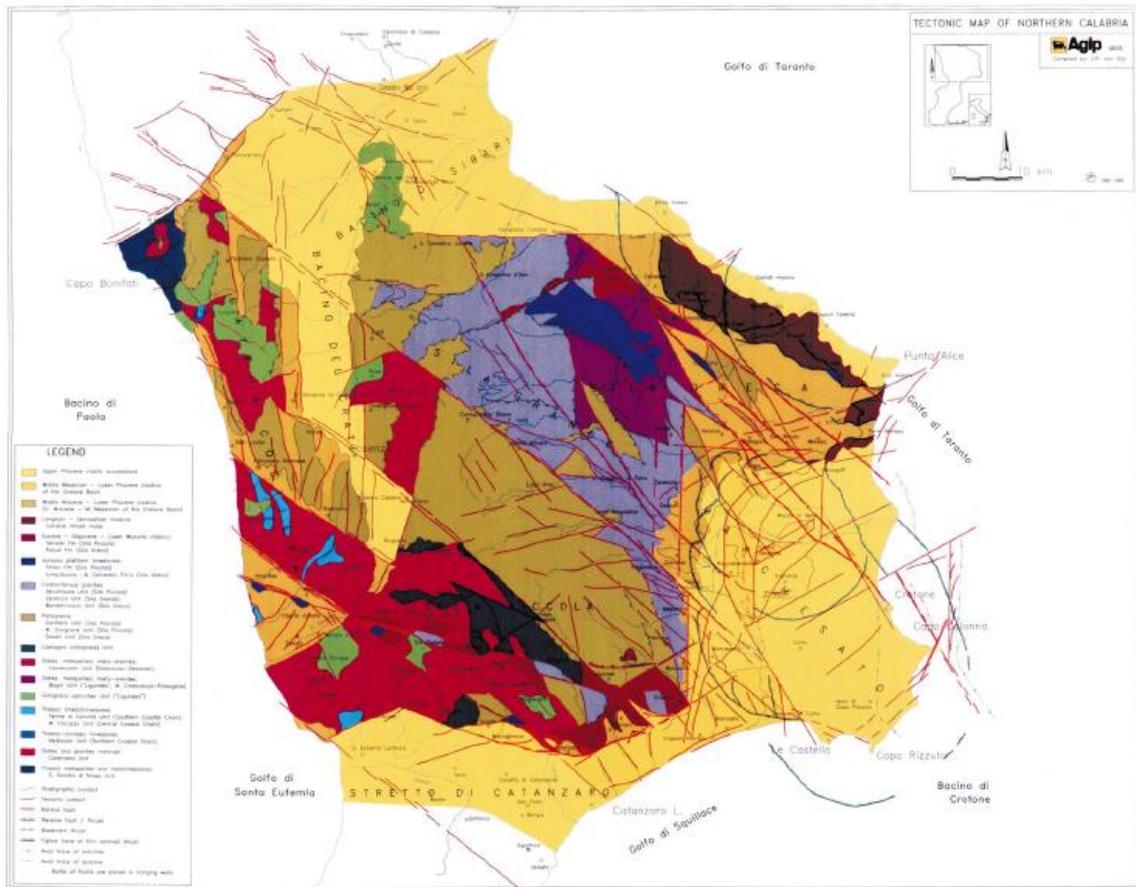


Fig. 1.3 - Mappa schematizzata dei principali lineamenti tettonici della Calabria Settentrionale. La mappa geologico-strutturale è semplificata e originariamente disegnata in scala 1:200 000. (J.P. Van Dijk et al., 2000).

In particolare la Calabria centro-settentrionale costituisce il segmento più avanzato verso E dell'Arco Calabro-Peloritano, termine con il quale si indica un complesso edificio cristallino (*Unità dell'Arco Calabro-Peloritano*, secondo Amodio Morelli *et al.*, 1976) a falde di ricoprimento costituitosi tra l'Eocene ed il Tortoniano a seguito della collisione continentale tra la placca europea e quella africana (Amodio Morelli *et al.*, 1976).

Quindi, nel settore settentrionale dell'Arco Calabro sono individuabili diverse unità: quelle più profonde sono caratterizzate da unità ofiolitifere, mentre le unità superficiali costituiscono delle porzioni di crosta continentale (Tortorici, 1982), (Fig. 1.4).

L'unità più profonda è rappresentata dall'*Unità del Frido* che affiora in tutto il settore settentrionale ed in Lucania ed è costituita da una successione di metapeliti con intercalazioni di metacalcari e quarziti cui sono strettamente associate ofioliti rappresentate da prevalenti metabasalti e serpentiniti. Quest'unità è interessata da un metamorfismo alpino caratterizzato da alte pressioni e bassa temperatura rilevabile prevalentemente nelle rocce ofiolitiche

(*Hoffmann, 1970; De Roever, 1972; Spadea et al., 1976*), ma talora anche nei metasedimenti associati (*Spadea, 1976*). Soprastante poggia tettonicamente l'*Unità ofiolitica*, comprensiva delle unità di Malvito, di Gimigliano-Monte Reventino e di Diamante-Terranova, che è costituita prevalentemente da lave a pillow e brecce di pillow con rari Mg-gabbri associati. Si passa così da sequenze costituite da argilliti silicee, radiolariti e calcari marnosi (*Bousquet, 1963; Vezzani, 1968*) con intercalazioni di quarziti e microbreccie calcaree a detrito cristallino talora con strutture torbiditiche (Calcari a *Calpionella*), a metacalcari, semiscisti quarzosi e metareniti (*Lanzafame & Zuffa, 1976*).

Tettonicamente sovrastante alle unità ofiolitifere giace l'*Unità di Bagni* la quale rappresenta l'unità di derivazione continentale geometricamente più bassa affiorando prevalentemente in Sila Piccola e nell'alta valle del F. Crati. Essa è costituita da un basamento filladico contenente intercalazioni di micascisti, metareniti e porfiroidi. Questo basamento caratterizzato da un metamorfismo in facies scisti verdi sopporta una copertura mesozoica, visibile nei dintorni di Guardia Piemontese (*Scandone, 1971; Dietrich, 1976*), costituita da depositi continentali arenacei e conglomeratici, da dolomie e da un'alternanza di calcari torbiditici e radiolariti.

In posizione ancora più elevata, l'*Unità di Castagna*, affiora prevalentemente in Sila Piccola, lungo il bordo orientale della valle del F. Crati ed ancora lungo la parte settentrionale delle Serre (*Paglione & Piccarreta, 1977*). Essa è costituita da micascisti a granato, paragneiss e gneiss occhiadini con frequenti associazioni di masse pegmatitiche e granitoidi. Essa è caratterizzata da un metamorfismo prealpino in facies da scisti verdi profonda ad anfibolitica (*Colonna & Piccarreta, 1977; Dubois, 1976*).

L'unità cristallina tettonicamente più elevata è rappresentata dall'*Unità di Polia-Copanello* che affiora diffusamente in tutto il settore considerato ed è rappresentativa di porzioni profonde di crosta continentale (*Amodio Morelli et al., 1976*).

Lungo la parte orientale del massiccio silano le unità sopra descritte ricoprono, con una serie di piani vergenti verso lo Ionio, l'*Unità di Longobucco*. È costituita da un basamento di filladi con intercalazioni di quarziti e porfiroidi contenenti intrusioni granitiche, su cui riposano trasgressive due sequenze sedimentarie, di età meso-cenozoica (*Lanzafame & Tortorici, 1976*). Tale unità che è interessata da una serie di scaglie che coinvolgono anche la copertura, rappresenterebbe, secondo Zanettin-Lorenzoni (1982) un frammento di catena ercinica costituita da più unità tettoniche, mentre secondo Dubois (1976) essa costituirebbe

la porzione più superficiale di un complesso che comprenderebbe anche l'unità di Polia Copanello (Amodio Morelli et al., 1976).

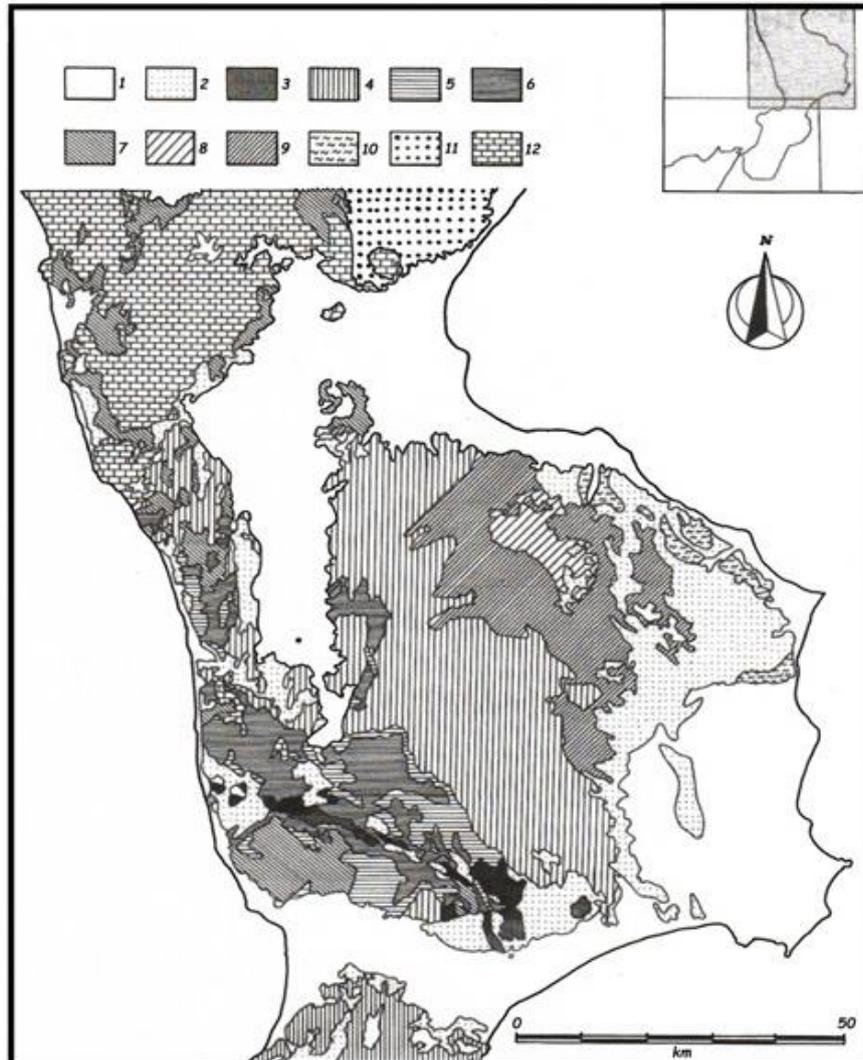


Fig. 1.4 – Schema geologico-strutturale del settore settentrionale dell'Arco Calabro-Peloritano. 1 = sequenze medio-suprapliocenico-pleistoceniche; 2 = sequenze tortoniano-infraplioceniche; 3 = Unità di Stilo; 4 = Unità di Polia-Copanello; 5 = Unità di Castagna; 6 = Unità di Bagni; 7 = Unità ofiolitifere (Unità del Frido + Unità ofiolitica superiore); 8 = Unità di Longobucco, basamento; 10 = Unità sicilidi; 11 = Unità del Cilento; 12 = unità carbonatiche della catena appenninica. Da Tortorici (1982), modificata.

Nel complesso le varie unità cristalline si sovrappongono tettonicamente su unità carbonatiche che costituiscono i domini più interni della catena appenninica (Scandone et al., 1974; Amodio Morelli et al., 1976). In particolare, in Calabria settentrionale, tali domini sono rappresentati da tre unità tettoniche che affiorano in finestre al di sotto delle coltri cristalline e nel massiccio del Pollino. Si distingue un'unità basale, affiorante

prevalentemente nel Pollino, denominata *Unità del Pollino* (Trias-Miocene inferiore), una intermedia, *Unità di S. Donato* (Trias), caratterizzata da un metamorfismo in facies scisti verdi del Miocene inf. (Dietrich et al., 1976) ed affiorante lungo il bordo nord-occidentale del massiccio del Pollino e nelle finestre di Cetraro e delle Terme di Caronte, ed una superiore, *Unità di Verbicaro* (Trias-Miocene inferiore), affiorante nelle finestre di Guardia Piemontese e di M.te Cocuzzo. Queste tre unità nel complesso sono costituite da successioni calcareo dolomitiche e si ritrovano sottoposte alle unità cristalline anche nelle porzioni più esterne dell'Arco (Cello et al., 1982).

1.2 - Assetto geologico dell'Unità della Sila e posizione

L'Unità della Sila, che si estende su un'area di circa 3000 km², è la falda di ricoprimento più alta del Settore Settentrionale dell'Arco Calabro-Peloritano, ed è l'unità più estesa di tutto l'Arco (Fig. 1.5, fig. 1.6).

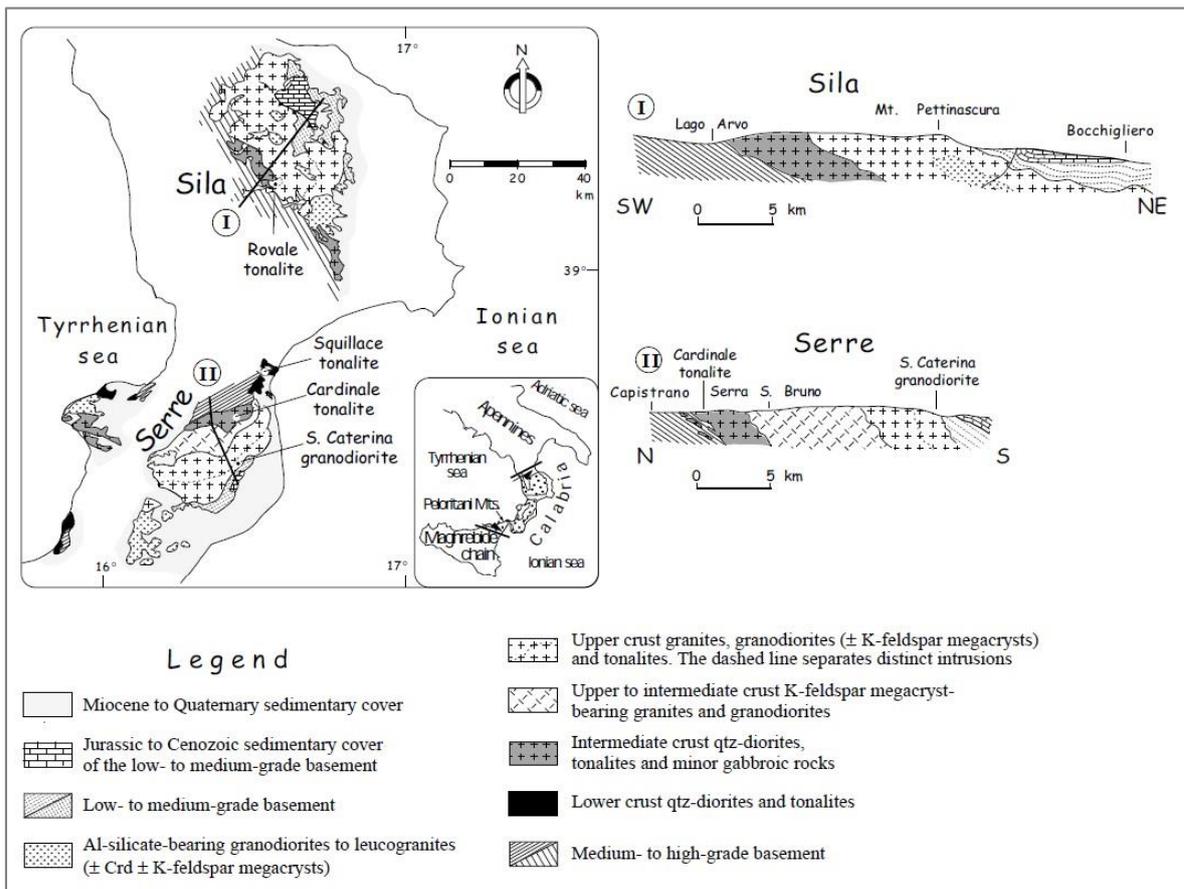


Fig. 1.5- Carta geologica schematica e sezioni dell'area della Sila e delle Serre in Calabria. (Caggianelli et al., 2000)

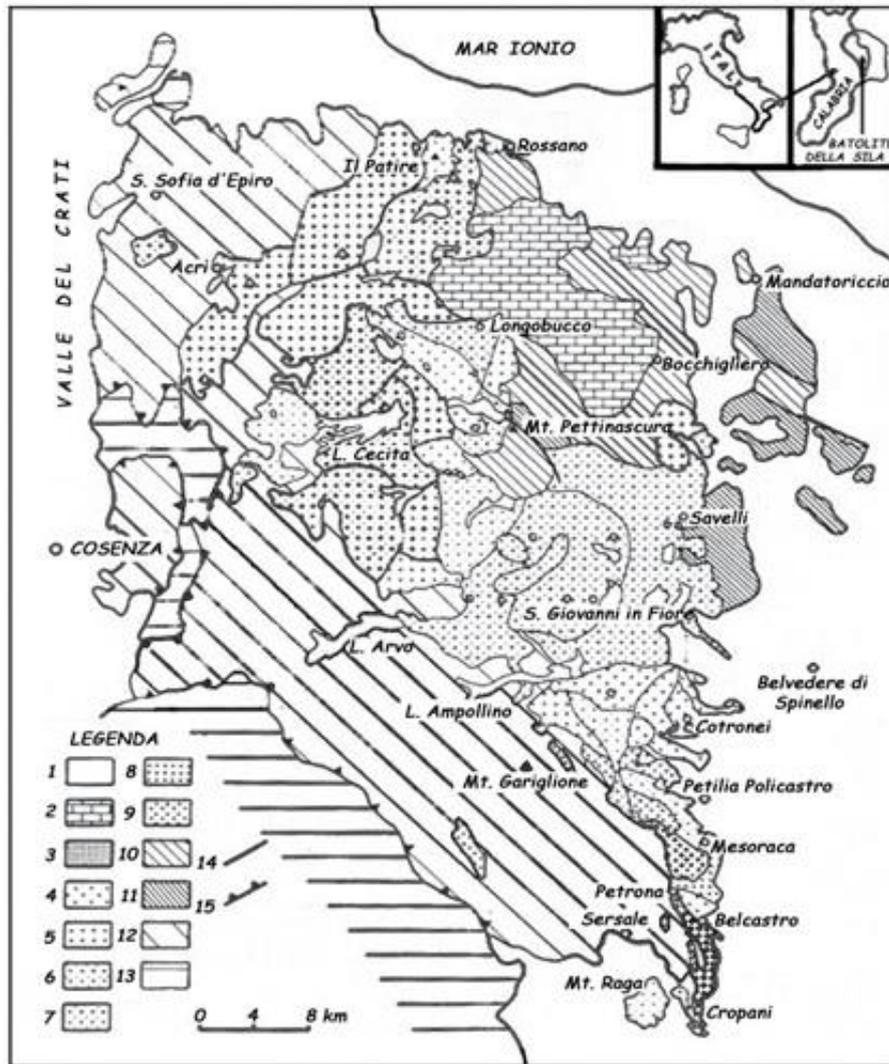


Fig. 1.6 – Carta geologica dell’Unità della Sila affiorante nel Massiccio della Sila (Settore Settentrionale dell’Arco Calabro-Peloritano).
Legenda: 1 = Clasti del Tortoniano sup. fino a depositi recenti. Da 2 a 12 UNITÀ DELLA SILA: 2 = Copertura sedimentaria Mesozoico-
 Terziaria; da 3 a 9 = Batolite della Sila: 3 = Piccole intrusioni da granodioriti a leucomonzograniti a due miche \pm cordierite \pm Al-silicati; 4
 = da granodioriti a monzograniti a due miche \pm cordierite \pm Al-silicati; 5 = da granodioriti a monzograniti a biotite \pm muscovite; 6 = da
 tonaliti a granodioriti a biotite; 7 = da tonaliti a granodioriti a biotite-anfibolite; 8 = da sin-tettonici tonaliti a melagranodioriti a biotite;
 9 = tonaliti sin-tettonici a biotite-anfibolo; da 10 a 12 rocce metamorfiche: 10 = basso grado metamorfico (Complesso di Bocchigliero);
 11 = medio grado metamorfico (Complesso di Mandatoriccio); 12 = alto grado metamorfico (Complesso di Gariglione-Polia-Copanello).
 13 = thrust a nappe Alpine (lower) del Massiccio della Sila comprendenti le Unità di Castagna, di Bagni e Ofolitiche. 14 = Faglie. 15 =
 Contatti a thrust dell’Unità della Sila.

Essa è caratterizzata da un composto ed eterogeneo basamento Varisico intruso da plutoniti tardo-Varisici e da una copertura Mesozoica (Messina et al., 1994; Messina et al., 2004; Caggianelli et al., 2000; Critelli et al., 2011, 2013; Van Dijk et al., 2000; Graessner et al. 2000; Liotta et al., 2008; Olivetti et al., 2012). La porzione più larga dell’unità affiora, nel Massiccio della Sila, nella zona compresa tra S. Sofia d’Epiro-Rossano a nord, fino a Sersale-Cropani a sud.

Questa porzione dell'unità consiste di un basamento Varisico costituito da tre differenti complessi di medio-alto, medio-basso e basso grado metamorfico rispettivamente denominati Complesso di Gariglione-Polia Copanello, Complesso di Mandatoriccio e Complesso di Bocchigliero, ed è inoltre intrusa da plutoni tardo-Varisici costituenti il Batolite della Sila.

In questa area la Sequenza di Longobucco rappresenta la copertura sedimentaria Mesozoica dell'unità. I Complessi di Bocchigliero e Mandatoriccio, situati nella parte più a nord-est del Massiccio della Sila, sono caratterizzati da un contatto tettonico sub-orizzontale preservato esclusivamente sul lato destro del Torrente Laurenzana (circa 4 km a sud di Mandatoriccio). La porzione dell'unità che affiora nel settore nord delle Serre e in Catena Costiera, è costituita dal Complesso metamorfico di alto grado di Gariglione-Polia Copanello intruso da una serie di plutoni eterogenei. Nella parte meridionale del Massiccio della Sila, a nord del Massiccio delle Serre e in Catena Costiera, l'Unità della Sila ricopre l'Unità di Castagna con sovraimpronta Alpina (*Messina et al., 1994*).

Il Batolite della Sila (*Messina et al., 1991*) mostra un'estensione regionale NE-SW da Cropani a Rossano su un'area di circa 900 km². Da Rossano a Belvedere di Spinello, nella parte più ad est del batolite, i plutoni presentano dei bruschi contatti con i sovrastanti Complessi Cambro-Ordoviciani di basso grado metamorfico di Mandatoriccio e Bocchigliero, caratterizzati da aureole di metamorfismo termale su *hornfels* a facies anfibolitica. Nella parte più ad ovest del batolite, rocce granitiche intrudono il sottostante Complesso di Gariglione di medio-alto grado metamorfico, che origina fenomeni di "stratificazione migmatitica" vicino al contatto con le rocce granitiche. La sovraimpronta metamorfica termale è riconosciuta solo nelle microtessiture a causa dell'alto grado metamorfico regionale (*Messina et al., 1994*).

Il batolite consiste di una serie di plutoni e riflette multiple intersezioni di intrusioni tettoniche. Il batolite presenta evidenze di un metamorfismo Alpino penetrativo, sebbene in vicine *shear zone* i plutoni sono caratterizzati da deformazioni da cataclastiche a milonitiche e sono presenti anche effetti di reazioni retrograde. Sono inoltre molto diffusi fenomeni di alterazione superficiale e/o idrotermale (con locali processi di mineralizzazioni) (*Messina et al., 1994; Caggianelli et al., 2000; Graessner et al. 2000; Olivetti et al., 2012*).

Nei plutoni del Batolite della Sila, analisi "termogeocronologiche" di ⁴⁰Ar/³⁹Ar documentano una relativamente semplice collocazione e storia di raffreddamento durante eventi Varisici indicanti che tutti i plutoni si giustapposero in un tempo molto breve (293-270 Ma) (*Messina et al., 1994*).

I dati geochimici evidenziano che il batolite si è originato da complesse interazioni di processi tra i quali (a) il mixing di differenti magmi (magmi mantellici e materiali anatettici crostali), (b) frazionamento e assimilazione con rocce della crosta superiore; i graniti più evoluti furono inoltre disturbati da tardi ed intermedi eventi di alterazione idrotermale (Messina et al., 1994; Thomson, 1998). I diversi campi di osservazione, l'abbondanza di elementi in tracce e le composizioni isotopiche indicano che le inclusioni mafiche e i plutoni gabbroici nel Batolite della Sila probabilmente ben rappresentano magmi di derivazione mantellica (Messina et al., 1994).

L'Unità della Sila costituisce l'elemento strutturale più elevato del settore settentrionale dell'Arco Calabro-Peloritano. Essa consta di un basamento Varisico formato da tre distinti *complessi metamorfici*, di medio-alto grado di Gariglione, di medio-basso di Mandatoriccio e di basso grado di Bocchigliero, e da un complesso plutonico, il Batolite della Sila (Messina et al., 1994).

La copertura sedimentaria dell'unità è rappresentata dalla sequenza Mesozoica di Longobucco. L'Unità di Castagna, geometricamente posta al di sotto dell'Unità della Sila, consta di un basamento di epi-meso-metamorfiti Varisiche intruse da granitoidi tardo-Varisici (Messina et al., 1994).

1.2.1 Il Batolite della Sila

Il **Batolite della Sila** risulta formato da numerosi ed intersecati corpi intrusivi, da sin- a post-tettonici, con estensione areale variabile e composizione da gabbrica a leucomonzogranitica, con prevalenza di termini intermedi (Messina et al., 1991; Liotta et al., 2008). Detti corpi si sono messi in posto con una sequenza cronologica dai dati più basici a quelli più acidi, a livelli crostali medi e superficiali. Il complesso plutonico della Sila delinea modalmente tre trends calcocalini a diverso contenuto in potassio, che corrispondono all'evoluzione temporale del batolite. Il periodo della messa in posto dell'intero batolite è notevolmente limitato (293-270 Ma, metodo $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$), pertanto i diversi corpi risulterebbero associati sia spazialmente che temporalmente (Messina et al., 1994).

Le masse più estese sono state definite Intrusioni Fondamentali ed affiorano per parecchi chilometri; tardive rispetto alle masse suddette sono le Intrusioni Minori e quelle Subordinate che mostrano una grana per lo più eterogenea. Una fitta rete di Filoni Acidi, da metrici a decimetrici, attraversa tutto il batolite e taglia con contatti netti e discordanti le

metamorfiti adiacenti (sia quelle del complesso di alto grado di Gariglione, sia quelle di basso grado dei complessi di Bocchigliero e di Mandatoriccio).

Sono stati distinti filoni microgranitici, simili per grana e composizione alle Intrusioni Subordinate, e filoni aplitici e pegmatitici; inclusi magmatici microgranulari femici sono molto comuni all'interno delle Intrusioni fondamentali e di quelle Minori. Tonaliti, Melatonaliti e Dioriti in masse da meno di un chilometro fino ad alcuni chilometri, localmente presenti costituiscono il 15% del batolite (*Messina et al., 1991; Liotta et al., 2008*). Presenti ancora nel batolite sono filoni metrici di Porfidi e Filoni basici (*Messina et al., 1994*).

1.2.2 Il Complesso metamorfico di Gariglione

Il **Complesso metamorfico di Gariglione** è formato da un basamento di crosta profonda pre-Varisico riequilibrato in facies anfibolitica in età Varisica, costituito prevalentemente da gneiss biotitico-sillimanitico-granatiferi e da minori anfiboliti. Il contatto con le plutoniti è caratterizzato dalla presenza di una *border zone* migmatitica e da un evento termico in facies anfibolitica (*Messina et al., 1994*).

La parte dell'unità che si estende verso sud-ovest e viene a contatto con l'Unità di Castagna è caratterizzata da un'intensa deformazione fragile, legata alla tettonogenesi Alpina, la quale origina fenomeni cataclastico-milonitici accompagnati da effetti di retrometamorfismo fino al punto che non sono riconoscibili i caratteri del basamento stesso.

Gli gneiss sono caratterizzati da una struttura tendenzialmente orientata; troviamo ancora anfiboliti, filoni tonalitico-granodioritici, analoghi per struttura, grana e composizione alle masse sintettoniche adiacenti (*Messina et al., 1994*).

1.2.3 Il Complesso di Mandatoriccio

Il **Complesso di Mandatoriccio** è costituito da metamorfiti da facies scisti verdi fino ad anfibolitica, parzialmente retrocesse, caratterizzate da un'evoluzione metamorfica polifasica (*Messina et al., 1994*).

Una prima fase, sincinemica, a paragenesi di basso grado, si è realizzata in condizione di $P < 5 \text{ kbar}$ e $T < 500^\circ\text{C}$. La seconda fase, decompressionale, è caratterizzata dallo sviluppo

di associazioni metamorfiche che riflettono condizioni di media T e più bassa P. Durante questo evento viene raggiunto il picco termico (550°-600°C per P < 4 kbar). La terza fase metamorfica mostra caratteri retrogradi che si sovraimpongono su quelli pre-esistenti (*Messina et al., 1994*).

Dalle indagini geocronologiche risulta che l'ultimo metamorfismo ha un'età di 326 ± 6 Ma (*Acquafredda et al., 1991*), coincidente con quello delle metamorfite di Bocchigliero e di ambiente analogo. Viene esclusa l'esistenza di un metamorfismo alpino; gli unici effetti alpini sono dinamici e hanno provocato una parziale riapertura dei sistemi (età compresa fra 43 e 250 Ma per le miche) (*Acquafredda et al., 1991*). Il metamorfismo termico è più antico di 330 Ma ed è legato ai fenomeni di distensione che hanno determinato fusione di rocce cristalline e risalita di magmi nei bacini paleozoici. Il basamento pre-cambro-ordoviciano dell'Arco Calabro-Peloritano avrebbe subito una storia metamorfica analoga. In particolare gli ultimi effetti in facies degli scisti verdi sarebbero nella maggior parte dei casi ercinici. Le età variabili, inferiori a 270 Ma, sarebbero effetti della dinamica alpina oppure di circolazione di fluidi (*Acquafredda et al., 1991*).

Dunque il Complesso di Mandatoriccio risulta prevalentemente costituito da metapeliti in facies anfibolitica, parzialmente retrocesse, rappresentate da micascisti e paragneiss. Sono inoltre presenti subordinate intercalazioni di gneiss occhiadini a porfiroclasti di K-feldspato derivati da originari granitoidi, rari livelli di marmi a silicati, lenti di metabasiti, il tutto tagliato da filoni post-metamorfici (*Messina et al., 1994*).

1.2.4 Il Complesso di Bocchigliero

Il **Complesso di Bocchigliero** (Fig. 1.7) è costituito da metamorfite di basso grado su una sequenza terrigeno-carbonatico-vulcanica paleozoica. L'evoluzione metamorfica è caratterizzata da una paragenesi sincinemica di basso grado realizzatasi a T = 350°C (in accordo con la presenza di acritarchi) e a P = 4-4.5 kbar, seguita da una non pervasiva retrocessione di grado molto basso (*Messina et al., 1994*).

La successione stratigrafica risulta essere suddivisa schematicamente in tre parti: la parte inferiore è formata da metasedimenti terrigeni e carbonatici e viene attribuita in prevalenza al Cambriano; fra i metasedimenti terrigeni prevalgono le metareniti filladiche e quelle conglomeratiche, scarse sono le filladi; la parte intermedia è formata da metasedimenti terrigeni, prevalentemente arenitici, e metavulcaniti e viene attribuita all'Ordoviciano; tra i

termini di natura vulcanica p.p. troviamo le metatufiti e, a volte associate a queste, compaiono metandesiti e scisti porfirici andesitici; la parte superiore è formata da metasedimenti terrigeni e carbonatici (filladi, metareniti, filladi carboniose, e metacalcari) con vulcaniti in prevalenza sialiche (metarioliti, scisti porfirici riolitici e metatufiti) e viene attribuita al Siluriano-Devoniano, senza escludere che i livelli più alti possano essere carboniferi (*Acquafredda et al., 1988*). Tutti i livelli della sequenza vengono a contatto, nelle diverse zone, con i “graniti”. Tutti i litotipi possono essere quindi interessati da metamorfismo di contatto a volte tanto intenso da trasformare notevolmente l’aspetto della roccia originaria (*Acquafredda et al., 1988*).

I due complessi mostrano un’evoluzione tettono-metamorfica caratterizzata da differenti P-T paths e pattern strutturali indicativi di due diverse storie tettoniche. Il Complesso metamorfico di Bocchigliero risulta geometricamente sovrastante a quello di Mandatoriccio ed entrambi vengono coperti, in discordanza, dal Gruppo di Longobucco (*Messina et al., 1994*).

1.2.5 Il Gruppo di Longobucco

I terreni sedimentari mesozoici affiorano nella zona di Longobucco e di Bocchigliero; la successione rappresenta una serie continua di bacino costituita essenzialmente da conglomerati e arenarie spesso rosse e violacee tipo “Verrucano” (facies fluviali e costiere), passanti gradualmente a calcari e calcari marnosi (facies di piattaforma), marne e areniti (facies di scarpata) fino ad una potente successione torbidity marnoso-arenacea (facies marino-profonde) (*Amodio Morelli et al., 1976*).

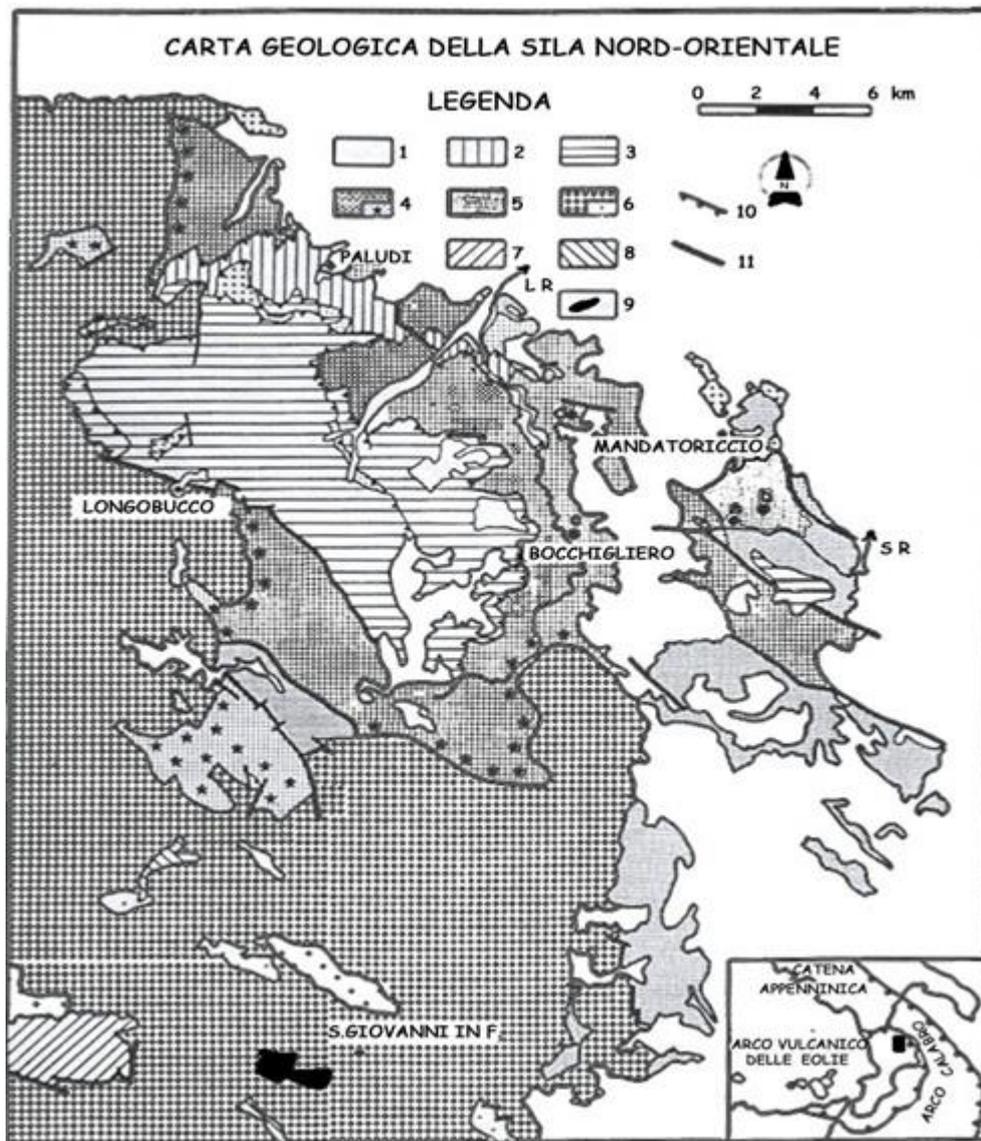


Fig. 1.7 – Carta geologica del settore nord-orientale del Massiccio della Sila 1) Quaternario; 2) Formazione di Paludi (Cenozoico); 3) Sequenza di Longobucco (Mesozoico); 4) Complesso di Bocchigliero (a = sovrainpronta metamorfica di contatto); 5) Complesso di Mandatoriccio; 6) granitoidi permo-carboniferi (Plutone della Sila); 7) gabbri e dioriti; 8) Complesso di M. Gariglione; 9) metabasiti; 10) sovrascorrimenti appenninici; 11) faglie. Da Messina et al. (1994), modificata.

CAPITOLO II

METODOLOGIA APPLICATA

PARTE I

2.1 Rilievo geologico - strutturale e geomorfologico dell'area di studio

L'area di studio ricade nella Calabria centrale, più precisamente nella porzione centro-orientale del Massiccio della Sila e comprende il comune di San Giovanni in Fiore (Figg. 2.1, 2.2).

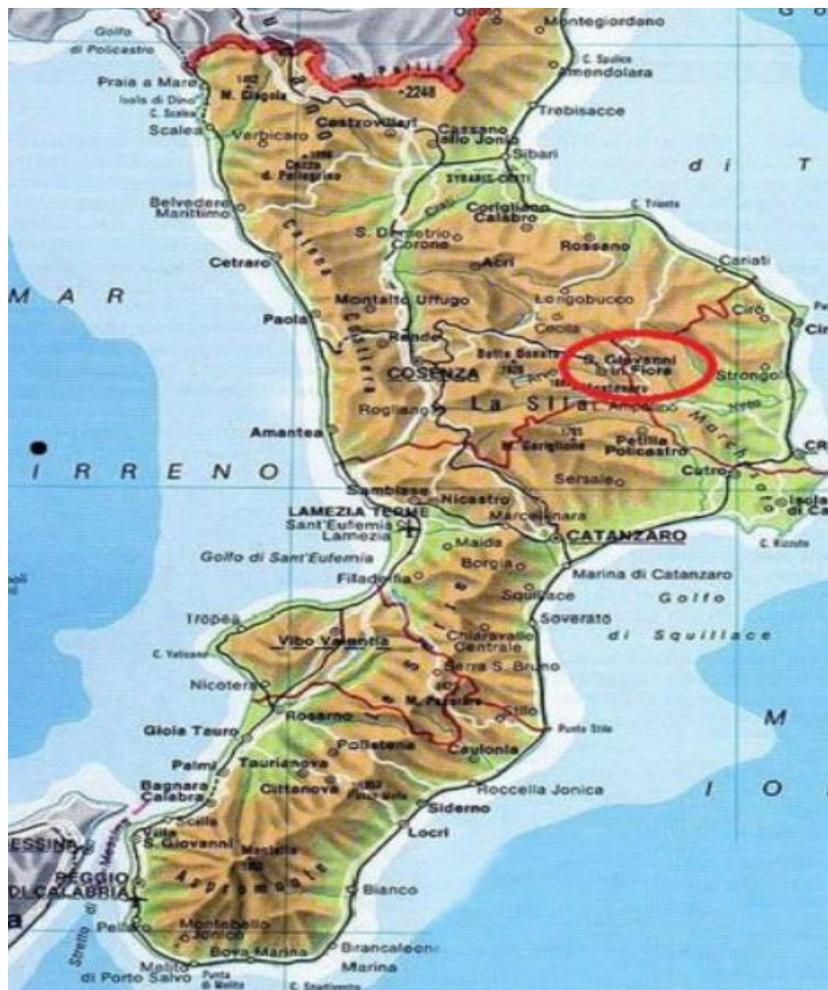


Fig. 2.1- Localizzazione geografica dell'area di studio (cerchio rosso).

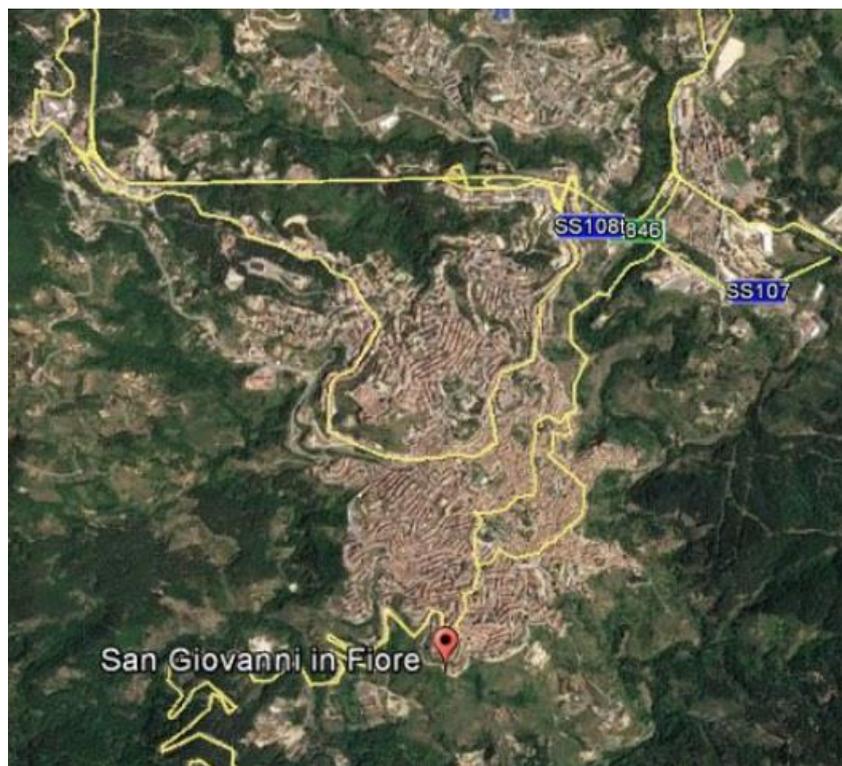


Fig. 2.2- Localizzazione dell'area di studio vista da Google Earth.

Un primo livello di approfondimento dell'area di studio, è stato ottenuto attraverso il rilevamento geologico-strutturale. La base topografica utilizzata per i rilevamenti è stata la nuova CTR (Carta Tecnica Regionale) in scala 1:5000. Nello specifico, l'area di studio corrisponde agli elementi CTR 561093 – San Giovanni in Fiore e CTR 561134 – Monte Ferolia, copre una superficie di 20 km² (Fig. 2.3).

Lo scopo del rilevamento geologico è stato, oltre quello di determinare e differenziare in modo dettagliato i litotipi affioranti nell'area di studio, anche quello di determinare l'assetto tettonico principale dell'area, attraverso una caratterizzazione condotta dalla macro alla mesoscala.

L'analisi macrostrutturale si è sviluppata, a scala progressivamente crescente, attraverso una fase di interpretazione di foto aeree che ha portato all'individuazione di indicatori morfotettonici legati a direttrici tettoniche di rilevanza regionale (faglie del primo ordine), lungo cui sono stati programmati gli itinerari di campagna.

Il riconoscimento delle morfostrutture è stato basato, oltre che su evidenze strettamente geologiche, sulla caratterizzazione di particolari indicatori morfotettonici quali: scarpate di faglia cumulative, rilievi o picchi isolati, faccette triangolari e trapezoidali, coni di detrito di falda presenti alla base di scarpate strutturali, corsi d'acqua rettificati con strutture di tipo

“gomito” e “doppio gomito”, “gradini” e “selle” morfologiche allineati lungo sistemi di crinali adiacenti.

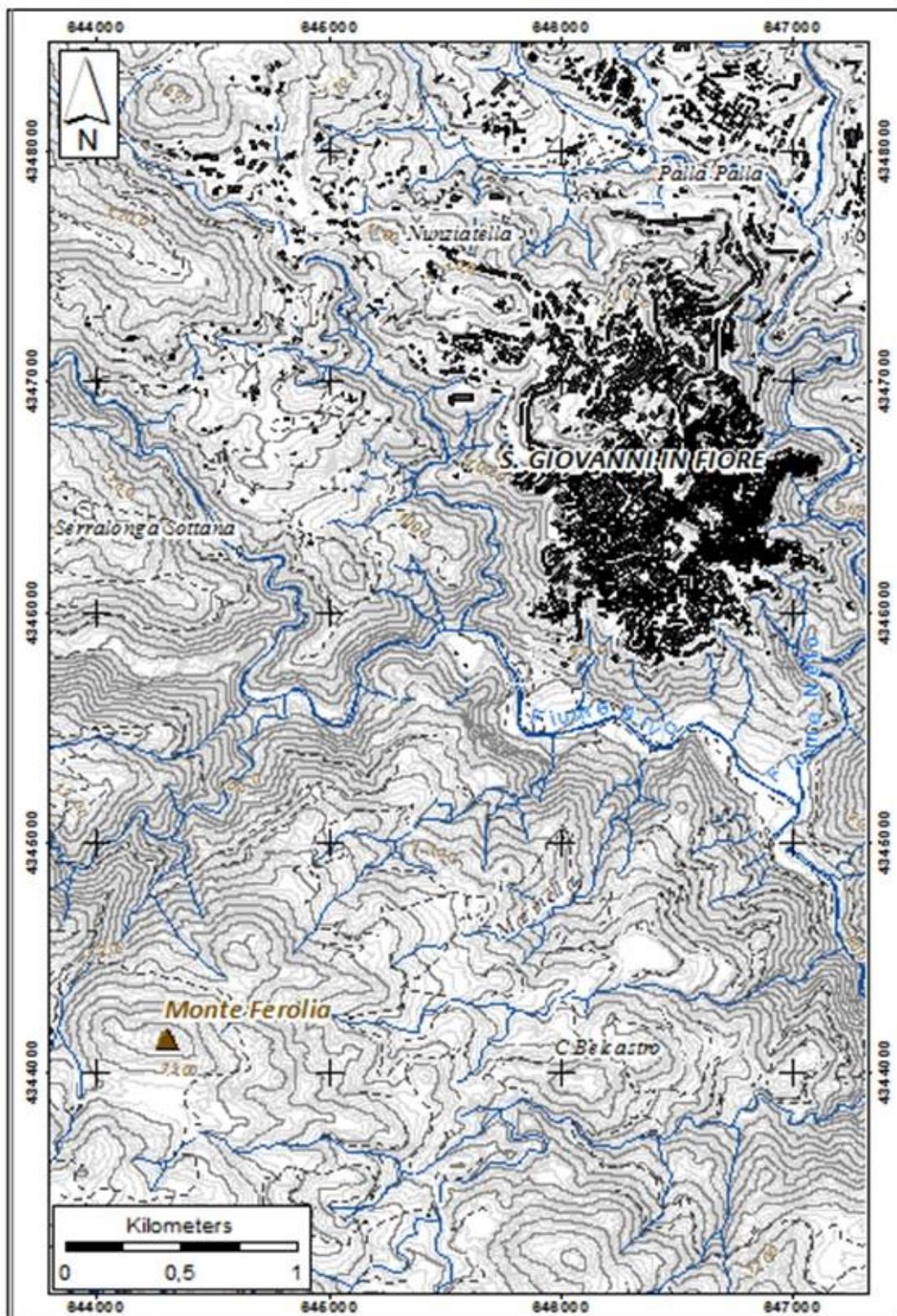


Fig. 2.3- CARTA TECNICA REGIONALE (scala 1:5000); elemento n° 561093 (San Giovanni in Fiore) ed elemento n° 561134 (Monte Ferolia).

Nello studio meso-strutturale si è cercato di focalizzare l'attenzione laddove le precedenti fasi di studio hanno messo in luce settori interessanti dal punto di vista deformativo, poiché il quadro conoscitivo relativo alle faglie ed allo stato di fratturazione delle rocce ad esse associate, risulta di notevole importanza al fine di avere una chiave di lettura sul ruolo che essa svolge sull'alterazione e sulla franosità dell'area indagata. I dati meso-strutturali sono stati raccolti in stazioni di misura localizzate dove le condizioni di esposizione dei piani di faglia erano maggiormente evidenti. Per ogni piano di faglia, sono stati misurati direzione e inclinazione. Ai fini dello studio, sono state prese in considerazione soltanto le meso-strutture i cui indicatori cinematici erano definibili con certezza in quanto, spesso, obliterati dalle intense condizioni di alterazione. In questi casi, per la definizione delle caratteristiche delle faglie, è stato considerato il rigetto di punti omologhi.

Nelle aree in cui affiorano rocce cristalline, la stabilità dei versanti, e più in generale, la dinamica evolutiva degli stessi, è fortemente condizionata dagli spessori di roccia attaccati dai processi di alterazione e dall'intensità raggiunta dagli stessi. In presenza di tali litotipi, infatti, si rileva con chiarezza l'elevata concentrazione di frane, sia nelle coltri alteritiche sia più in profondità negli ammassi alterati e degradati. Per quanto riguarda la classificazione dei fenomeni franosi rilevati nell'area di studio, è stata adottata la classifica proposta da Varnes (1978), (Fig. 2.4).

Per l'individuazione dei fenomeni di movimento in massa ed il riconoscimento delle tracce pregresse si è proceduto, in primo luogo, ad un'analisi foto interpretativa effettuata utilizzando le foto aeree in bianco e nero, dei voli IGM a scala 1:33.000 del 1991. I fenomeni rilevati dall'analisi delle foto aeree, sono stati cartografati su base topografica in scala 1:5000, e successivamente sono stati oggetto di rilievi di controllo e verifiche sul terreno.

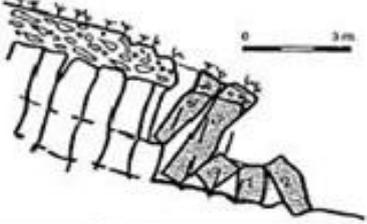
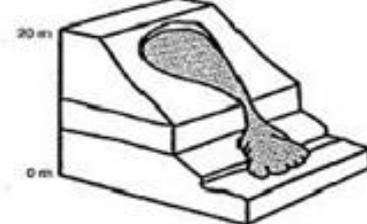
	<p>CROLLO: fenomeno che inizia con il distacco di terra o roccia da un pendio acclive lungo una superficie lungo la quale lo spostamento di taglio è nullo o limitato. Il materiale si muove quindi nell'aria per caduta libera, rimbalzo e rotolamento.</p>
	<p>RIBALTAMENTO: rotazione in avanti, verso l'esterno del versante, di una massa di terra o roccia, intorno ad un punto o un asse situato al di sotto del centro di gravità della massa spostata.</p>
	<p>SCIVOLAMENTO: movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.</p>
	<p>ESPANSIONE LATERALE: movimento di un terreno coesivo o di un ammasso roccioso, in seguito all'estrusione e allo spostamento di un livello di materiale meno competente sottostante, associato alla subsidenza della massa fratturata. La superficie di rottura non è una superficie di intensa deformazione di taglio. L'espansione può essere causata dalla liquefazione o dal flusso del materiale a bassa competenza.</p>
	<p>COLAMENTO: movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. La distribuzione delle velocità nella massa spostata è analoga a quella all'interno di un fluido viscoso.</p>

Fig. 2.4 – Tipologie di frane (Varnes, 1978).

2.2 Rilievo del grado di alterazione in campagna

Nelle aree in cui sono presenti rocce cristalline la stabilità dei versanti risulta fortemente condizionata dagli spessori di roccia attaccati dai processi di alterazione e dall'intensità raggiunta da questi ultimi. Risulta dunque di fondamentale importanza elaborare una classificazione del grado di alterazione sia a livello di ammasso, sia a livello di materiale al fine di definire in maniera oggettiva le relazioni tra fattori predisponenti e scatenanti nella

stabilità dei pendii (*Deere & Patton 1971; Ietto, 1975; Hencher et al. 1984; Nishida & Aoyama 1985, Brand 1985, Critelli et al. 1991, Cascini et al., 1992; Cascini et al. 1994; Calcaterra et al. 1993,2004; Lacerda & Santos 2000; Gullà et al. 2004-b; Borrelli et al. 2007*).

La definizione delle classi di alterazione è stata, però, da sempre motivo di dibattito sia per i diversi obiettivi a cui può essere finalizzato lo studio dell'alterazione, sia per alcune problematiche che si presentano al momento del rilevamento.

Nella letteratura tecnico-scientifica non esiste ancora una classifica universalmente accettata, tuttavia, è possibile suddividere i numerosi schemi a disposizione in tre categorie fondamentali:

- schemi basati su una analisi visiva delle caratteristiche geologiche;
- schemi basati sulla stima delle proprietà meccaniche per mezzo di semplici test;
- schemi basati su schemi che considerano fattori sia geologici che meccanici (*Lee e De Freitas, 1989*).

In Calabria il problema del rilievo del grado di alterazione rappresenta un aspetto di estrema importanza (*Guzzetta, 1974; Ietto, 1975; Ietto & Ietto, 2004*), soprattutto in riferimento alle instabilità di pendio, ed è stato trattato da vari Autori (*Deere & Patton 1971; Ietto, 1975; Hencher et al., 1984; Nishida & Aoyama 1985; Brand 1985; Critelli et al. 1991; Cascini et al., 1992; Cascini et al., 1994; Calcaterra et al., 1993; Lacerda & Santos, 2000; Gullà et al., 2004; Calcaterra, 2004; Borrelli et al., 2007*).

Nel presente lavoro si è assunto come riferimento generale la procedura di rilevamento e classificazione del grado di alterazione, utilizzata in un'area della Sila Occidentale (*Cascini et al., 1992; Gullà & Matano, 1994*). La procedura adottata prevede, mediante l'osservazione di vari caratteri geologici e per mezzo della valutazione di test legati alla resistenza meccanica della roccia, la distinzione di sei classi di alterazione (Tab. 2.1): classe VI (terreni residuali e/o colluviali), classe V (roccia completamente alterata), classe IV (roccia altamente alterata), classe III (roccia moderatamente alterata), classe II (roccia debolmente alterata) e classe I (roccia fresca) (*Cascini et al., 1992, 1994; GSE-GWPR, 1995; Gulla' & Matano, 1997*).

CLASSE	DESCRIZIONE	CARATTERI DISTINTIVI TIPICI
VI	TERRENO RESIDUALE E COLLUVIALE	Terreno prodotto dall'alterazione in posto, in cui è completamente distrutta l'originaria tessitura della roccia, e <u>terreno</u> interessato da processi colluviali; colore marrone da bruno a giallastro, granulometria da sabbia con ghiaia limosa a limo con sabbia argilloso; martello di Schmidt: 0.
V	ROCCIA COMPLETAMENTE ALTERATA O "SAPROLITE"	Roccia completamente disgregata, avente la consistenza di un terreno, ma che presenta discontinuità allo stato relitto ed ancora preservata la tessitura originaria; colore marrone da rossastro a grigiastro; si disgrega rapidamente se immersa in acqua, la punta del martello da geologo si indenta in profondità ed il coltello ne incide facilmente la superficie; pezzi di roccia si sgretolano con le mani; granulometria da ghiaia debolmente sabbiosa a sabbia con ghiaia; martello di Schmidt: 0-17.
IV	ROCCIA ALTAMENTE ALTERATA	Roccia completamente decolorata ed intensamente alterata; colore marrone da grigiastro a rossastro; frammenti di grosse dimensioni possono essere rotti con le mani ma non <u>gritolati</u> ; si disgrega solo in piccola parte se immersa in acqua; la punta del martello da geologo si indenta in superficie; martello di Schmidt: 10-30.
III	ROCCIA MODERATAMENTE ALTERATA	Roccia completamente decolorata, tranne che in alcuni punti lontani dalle fratture, ed alterata, ma ancora dotata di discreta resistenza; colore grigio-verdastro, tendente a marrone-rossastro presso le discontinuità; frammenti di grosse dimensioni non si rompono con le mani e non si disgregano in acqua; la punta del coltello riga la superficie; martello di Schmidt: 21-43.
II	ROCCIA DEBOLMENTE ALTERATA	Roccia decolorata solo lungo le discontinuità; la resistenza è prossima a quella delle rocce non alterate; colore grigio-verdastro <u>g_a</u> lungo le fratture, marrone; martello di Schmidt: 39-52.
I	ROCCIA FRESCA	Roccia nella quale non sono visibili segni di alterazione o decolorazione; martello di Schmidt > 50.

Tab. 2.1 - Schema adottato per la classifica del grado di alterazione degli gneiss ed esteso anche ai granitoidi (Cascini., 1992; Gullà & Matano 1994).

La metodologia proposta di seguito per il rilievo del grado di alterazione degli ammassi rocciosi, prevede le fasi di studio, rilevamento ed elaborazione di seguito indicate:

Fase 1:

- analisi fotointerpretativa, in cui vengono considerati: l'acclività, la morfologia dei versanti e le caratteristiche della copertura vegetale;
- rilievo speditivo del grado di alterazione, al fine di delimitare in via preliminare le zone a diverso grado di alterazione sulla base di criteri visivi e qualitativi (tessitura e mesostruttura della roccia, decolorazione rispetto alla roccia d'origine, consistenza e granulometria).
- elaborazione dei dati e redazione della carta del grado di alterazione preliminare.

Fase 2:

- scelta dei fronti rappresentativi nell'area di rilevamento;
- rilievo di dettaglio del grado di alterazione sui fronti rappresentativi.
- Scelta di campioni finalizzati all'analisi di prove di laboratorio

Nello studio dei singoli fronti (fase 2), per la raccolta delle osservazioni e delle misure condotte nei punti di controllo, è stata utilizzata la scheda mostrata in Tabella 2.2. In tale scheda, per ogni punto di verifica, contrassegnato con un numero di identificazione progressivo, è stato indicato il colore del materiale (rispettivamente colonne 1, 2, Tab. 2.2). In relazione al colore è stata, inoltre, assegnata la decolorazione (colonna 3, Tab. 2.2), cioè la variazione di colore rispetto alla roccia fresca d'origine. Per le osservazioni e le misure successive sono stati utilizzati il martello da geologo ed il martello di Schmidt. Colpendo con il martello da geologo l'intorno del punto di misura, si è valutato l'effetto della punta del martello sulla superficie della roccia (colonna 4, Tab. 2.2). Utilizzando la testa del martello è stata valutata la facilità di distacco dalla parete di frammenti di roccia di dimensioni tali da poter essere tenuti in mano (colonna 5, Tab.2.2); nell'ambito di tale operazione è stato indicato anche il tipo di suono emesso dalla roccia (colonna 6, Tab. 2.2) quando viene colpita con il martello. Utilizzando un campione di roccia prelevato dall'intorno del punto di misura, è stata valutata la difficoltà di rottura colpendolo con la testa del martello (colonna 7, Tab. 2.2). Infine, si è passati a valutare la difficoltà di rottura con le mani di un campione roccioso della lunghezza di circa 15 cm, prelevato nell'intorno del punto di misura (colonna 8, Tab. 2.2). Sulla base delle suddette osservazioni, è stata effettuata, per ogni punto di controllo, una stima dell'alterazione preliminare (colonna 9, Tab. 2.2), mentre la verifica e la classificazione definitiva del grado di alterazione negli stessi (colonna 11, Tab. 2.2), è stata effettuata sulla base dei valori di rimbalzo dati dal martello di Schmidt (colonna 10, Tab. 2.2). Tale strumento fornisce un valore "locale" della resistenza della roccia ed in particolare delle pareti delle discontinuità, assegnato in base alla misurazione del rimbalzo di un pistoncino metallico che percuote la roccia stessa. Il *test* consiste nell'esecuzione di 10 misure nel punto in esame, mantenendo il martello in posizione ortogonale rispetto alla superficie della roccia. Il valore medio del rimbalzo in ogni punto viene ottenuto dalla media di otto valori, scartando il valore più alto e quello più basso.

Per la classificazione del grado di alterazione delle rocce granitoidi attraverso le osservazioni e i test effettuati nei punti di verifica, si è fatto riferimento alla scheda utilizzata nella procedura di Gullà & Matano, 1994 (Tab. 2.3).

1		2		3			4			5				6			7					8			9										10										11
PUNTO DI VERIFICA	COORDINATE	DECOLORAZIONE			EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI			GRADO DI ALTERAZIONE PRELIMINARE	TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										GRADO DI ALTERAZIONE DEFINITIVO											
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI																					
		Completata	Perdita	Lungo le discontinuità	Assente	In profondità	Superficiale	Scalfatura	Facile	Difficile	Grande difficoltà	Assente	Sordo	Intonato	Spetinato	Capo leggerissimo	Capo leggero	Capo medio	Capo pesante	Assente	Si rompe	Si lacerizza		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10												
(CRITERI VISIVI E QUALITATIVI)															TEST SEMI-QUANTITATIVI																														

Tab. 2.2: Scheda per la raccolta delle osservazioni e dei test effettuati nei punti di verifica (Gullà & Matano, 1994, mod.).

CLASSE DI ALTERAZIONE	OSSERVAZIONI						
	Perdita di colore	Punta martello	Testa del martello	Suono	Rottura con il martello	Rottura con le mani	Martello di Schmidt
I	C-D	C	C	C	D-E	C	>50
II	B-C	C	C	C	D	C	39-52
III	A-B	B-C	B-C	B-C	C-D	B-C	21-43
IV	A	B	B	A-B	B-C	B	10-30
V	A	A-B	A-B	A	A-B	A	0-17
VI	A	A	A	A	A	A	0

Tab. 2.3: Scheda per identificare e classificare il grado di alterazione dei granitoidi attraverso le osservazioni e i test effettuati nei punti di verifica (Gullà & Matano, 1994, mod.).

2.3 Profili di alterazione

Sulla base del rilevamento areale del grado di alterazione, in affioramento sono stati individuati i fronti che meglio si prestavano per la successiva fase di analisi (fase 2). In particolare, le stazioni di controllo sono rappresentate da fronti, naturali o artificiali, aventi una lunghezza minima di almeno 10 m ed un'altezza minima di alcuni metri (Fig. 2.4, a-b).



Fig. 2.4: Larghezza (a) e altezza (b) di un fronte tipico studiato.

Su ciascun fronte sono state eseguite le seguenti operazioni:

1. caratterizzazione preliminare, basata sull'inquadramento geologico del fronte e sul rilevamento delle discontinuità presenti sullo stesso. Il fronte è stato riportato su carta topografica e fotografato. In questa fase, è stato specificato il tipo litologico di riferimento e sono state rilevate le discontinuità presenti (Fig. 2.5-a; Fig. 2.7-a);
2. delimitazione preliminare delle zone a diverso grado di alterazione, sulla base di criteri visivi e di saggi con il martello da geologo in un numero adeguato di punti (Fig. 2.5-b; Fig. 2.7-b).



Fig. 2.5- (a) Rilievo delle discontinuità strutturali presenti sul fronte ; (b) Delimitazione preliminare delle zone a diverso grado di alterazione.

3. Controlli puntuali con il martello di Schmidt (Fig. 2.6-a; Fig. 2.7-c);
4. delimitazione definitiva e caratterizzazione delle zone a diverso grado di alterazione (Fig. 2.6-b).

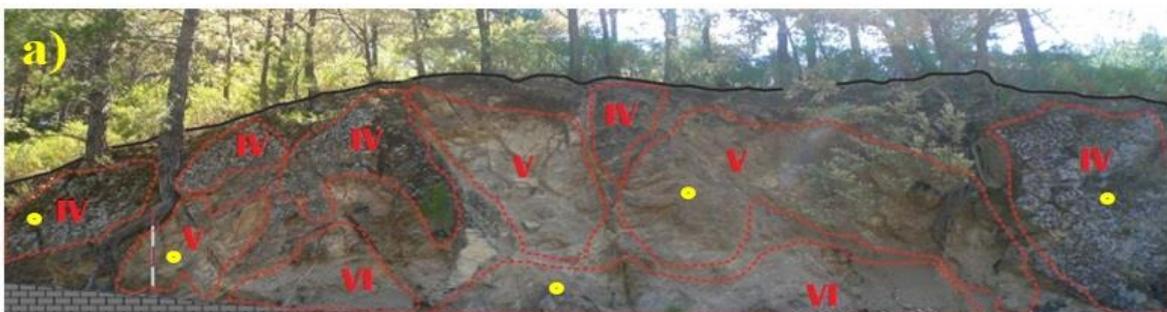


Fig. 2.6- (a) Punti in cui sono stati effettuati i saggi con il martello di Schmidt; (b) Delimitazione definitiva delle zone a diverso grado di alterazione.



Fig. 2.7- (a) verifiche puntuali sul fronte con la bussola; (b) con il martello da geologo; (c) con il martello di Schmidt.

PARTE II

2.4 Effetti dei processi di *weathering* valutati attraverso prove di laboratorio

Gli studi sull'alterazione delle rocce cristalline possono presentare diverse finalità: alcuni di essi tendono ad esaminare i processi geochimici che influiscono sull'alterazione, altri studiano i fattori che la innescano. Se si studia l'alterazione delle rocce cristalline da un punto di vista applicativo, invece, è da sottolineare che esistono strettissime relazioni tra le condizioni di *weathering*, le proprietà petrografiche ed ingegneristiche degli ammassi rocciosi e la suscettibilità che questi ultimi mostrano ai fenomeni di movimento in massa (*Critelli et al., 1991; Cascini et al., 1992; Matano and Di Nocera, 1999; Le Pera and Sorriso-Valvo, 2000a; Le Pera et al., 2001a,b; Scarciglia et al., 2005b; Borrelli et al. 2011 a -b; 2012; 2015; 2016*).

Nello studio dei movimenti che interessano i versanti costituiti da rocce cristalline esposte ad intensa alterazione, la scelta di un approccio multidisciplinare risulta essere fondamentale non solo per una stima più approfondita dei processi di alterazione, ma anche per una corretta valutazione degli effetti che il *weathering* può avere sul comportamento geomeccanico e reologico dei materiali.

A tale scopo si è deciso di integrare i dati del rilevamento speditivo di campagna del grado di alterazione, con le seguenti analisi specifiche di laboratorio:

- analisi petrografiche al microscopio ottico ed elettronico (SEM-EDS);
- analisi geochimiche (XRF ed XRD)

al fine di verificare sia alla scala dell'elemento di volume, sia alla microscala, gli effetti dei processi di alterazione per le rocce alterate ed i terreni.

2.4.1 Mineralogia e petrografia

Le proprietà petrografiche che influiscono maggiormente sulle caratteristiche fisiche delle rocce sono:

1. composizione mineralogica dei costituenti primari e dei prodotti secondari dell'alterazione (*Le Pera et al., 2001; Barrese et al., 2006; Scarciglia et al. 2016*);

2. tessitura, cioè granulometria, tipo di contatti tra granuli, microfratture e vuoti (*Le Pera et al., 2001; Barrese et al., 2006; Scarciglia et al. 2016*);
3. struttura (*Critelli et al., 1991*).

Le analisi petrografiche hanno permesso di:

- classificare correttamente i litotipi mediante l'utilizzo del diagramma QAPF;
- stabilire da un punto di vista quantitativo il grado di alterazione dei granitoidi affioranti nell'area di studio, attraverso la determinazione dell'indice micropetrografico (Ip), secondo il metodo proposto da Irfan e Dearman (1978);
- osservare la morfologia dei minerali originari e la micromorfologia delle fasi di neoformazione legate ai processi di alterazione;
- verificare se esiste una effettiva corrispondenza tra le osservazioni fatte in campagna nella fase di rilevamento e le analisi petrografiche di laboratorio.

Tra le rocce plutoniche campionate nella fase di rilevamento di campagna sono stati scelti 57 campioni di roccia per la preparazione di sezioni sottili. La scelta dei campioni da utilizzare per l'indagine petrografica è ricaduta su quei litotipi di roccia che, ad una prima analisi, sono stati ritenuti rappresentativi dei diversi gradi di alterazione riscontrati in affioramento.

Sulle sezioni sottili dei 57 campioni in esame, è stata effettuata l'analisi modale per il riconoscimento della paragenesi mineralogica e del grado di alterazione, mediante l'utilizzo del microscopio ottico di polarizzazione. Per ogni sezione sottile sono stati conteggiati da 300 a 500 punti.

La valutazione micropetrografica dei campioni granitoidi dell'area di studio è stata effettuata secondo le metodologie proposte da, Irfan & Derman (1978), i quali propongono metodi petrografici quantitativi per finalità geologico-applicative su rocce granitoidi a vario grado di alterazione.

Essi comprendono:

1. descrizione semiquantitativa di ogni campione;
2. descrizione petrografica sia macroscopica (colore, decomposizione, disintegrazione), che microscopica in sezioni sottili (composizione mineralogica, stato di alterazione, tessitura, tipo di contatti tra granuli, microfratture e vuoti);
3. analisi modale petrografica mediante la tecnica di conteggio per punti al microscopio ottico;

4. analisi delle microfratture per mezzo di una tecnica di colorazione che le rende evidenti al microscopio.

Dall'analisi modale in sezione sottile, essi calcolano un indice micropetrografico (I_p) come:

$$I_p = \% \text{ costituenti inalterati} / \% \text{ costituenti alterati}$$

dove i costituenti inalterati sono **minerali primari** quali *quarzo*, *plagioclasio*, *k-feldspato*, *biotite*, *muscovite*, *sillimanite* e minerali *accessori*, mentre i **costituenti alterati** sono rappresentati da minerali secondari quali *sericite*, *gibbsite*, *caolinite*, *clorite*, *ossidi di ferro* insieme a *microfratture* e *vuoti* risultati principalmente dall'azione dell'alterazione. Questo indice micropetrografico serve a fornire una stima quantitativa volumetrica dei costituenti alterati della roccia.

L'indice micropetrografico (I_p) caratterizza la roccia in relazione al grado di alterazione in ogni suo stadio. Irfan & Dearman (1978) riconoscono 5 stadi e 3 sottostadi di alterazione, per le rocce granitoidi, dall'analisi petrografica quantitativa in sezione sottile (Tab. 2.4). Essi presentano le seguenti caratteristiche :

- *Stadio 1*: non si ha penetrazione di ossidi di ferro lungo le fratture le quali sono molto piccole, intragranulari e tipiche della struttura della roccia. I plagioclasii sono debolmente sericizzati e l' I_p è maggiore di 12;
- *Stadio 2*: vi si riconoscono tre diversi sottostadi a seconda della decolorazione, del tipo e della quantità di microfratture. Essi sono: 2a) la roccia è pervasa da ossidi di ferro solo lungo i piani di frattura; 2b) si ha la penetrazione degli ossidi di ferro lungo i piani di frattura e lungo le microfratture. Debole alterazione dei plagioclasii e colorazione occasionale lungo i contatti tra granuli; 2c) gli ossidi di ferro pervadono le microfratture e parzialmente i plagioclasii. Si verifica la microfratturazione intragranulare di feldspati quarzo. L' I_p varia da 6 a 12;
- *Stadio 3*: completa decolorazione della roccia a causa di una marcata ossidazione. Parziale alterazione dei plagioclasii in sericite e gibbsite mentre il k-feldspato è inalterato. La struttura della roccia è molto fratturata e i limiti tra i granuli riempiti da ossidi di ferro. L' I_p varia da 4 a 6;

- *Stadio 4*: completa alterazione dei plagioclasti in sericite e gibbsite, mentre inizia una debole alterazione del k-feldspato. Anche la biotite risulta variamente alterata e la struttura della roccia molto fratturata e completamente pervasa da ossidi di ferro. L'Ip varia da 2 a 4;
- *Stadio 5*: si ha la completa alterazione del plagioclasio mentre il k-feldspato è parzialmente alterato. Le miche risultano alterate ed il quarzo dimensionalmente ridotto. La struttura è intensamente fratturata da micro e macrofratture. L'Ip è inferiore a 2.

STADIO DI ALTERAZIONE	CARATTERISTICHE DELLE ROCCE AI VARI STADI DI ALTERAZIONE
STADIO 1	non si ha penetrazione di ossidi di ferro lungo le fratture le quali sono molto piccole, intragranulari e tipiche della struttura della roccia. I plagioclasti sono debolmente sericizzati e l'Ip è maggiore di 12
STADIO 2	vi si riconoscono tre diversi sottostadi a seconda della decolorazione, del tipo e della quantità di microfratture. Essi sono: 2a) la roccia è pervasa da ossidi di ferro solo lungo i piani di frattura; 2b) si ha la penetrazione degli ossidi di ferro lungo i piani di frattura e lungo le microfratture. Debole alterazione dei plagioclasti e colorazione occasionale lungo i contatti tra granuli; 2c) gli ossidi di ferro pervadono le microfratture e parzialmente i plagioclasti. Si verifica la microfratturazione intragranulare di feldspati quarzo. L'Ip varia da 6 a 12
STADIO 3	completa decolorazione della roccia a causa di una marcata ossidazione. Parziale alterazione dei plagioclasti in sericite e gibbsite mentre il k-feldspato è inalterato. La struttura della roccia è molto fratturata e i limiti tra i granuli riempiti da ossidi di ferro. L'Ip varia da 4 a 6
STADIO 4	completa alterazione dei plagioclasti in sericite e gibbsite mentre inizia una debole alterazione del k-feldspato. Anche la biotite risulta variamente alterata e la struttura della roccia molto fratturata e completamente pervasa da ossidi di ferro. L'Ip varia da 2 a 4
STADIO 5	si ha la completa alterazione del plagioclasio mentre il k-feldspato è parzialmente alterato. Le miche risultano alterate ed il quarzo dimensionalmente ridotto. La struttura è intensamente fratturata da micro e macrofratture. L'Ip è inferiore a 2

Tab. 2.4- Stadi di alterazione riconosciuti da Irfan e Dearman (1978).

Al fine di ottenere informazioni utili circa la morfologia dei minerali originari ed osservare le micromorfologie delle fasi di neof ormazione legate ai processi di alterazione, lo studio

mineralogico al microscopio ottico è stato accompagnato da analisi al microscopio elettronico a scansione (SEM) modello FEI Quanta 200, dotato di un sistema di microanalisi EDS con *detector* a cristallo Si/Li modello EDAX GENESIS 4000, presso i laboratori di Scienze della Terra dell'Università della Calabria.

Nello specifico, sono stati analizzati 4 campioni, ritenuti rappresentativi delle classi di alterazione più avanzata.

2.4.2 Analisi geochimiche

Lo studio della composizione delle rocce plutoniche in esame, è stato ulteriormente approfondito tramite analisi diffrattometriche (XRD) e spettrometria per fluorescenza a raggi X (XRF) presso i laboratori del dipartimento *Sedimentologie und Umweltgeologie - Georg-August Universität Göttingen (Germania)*.

Tali indagini hanno permesso il riconoscimento della composizione chimica e delle fasi mineralogiche, sia degli elementi maggiori (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 tot, MnO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) sia degli elementi in tracce (Rb, Sr, Ba, Co, Ni, Cr, V, Nb, Zr, Y, La, Ce, Cu, Ga, Hf, Mo, Nd, Pb, S, Sc, Sm, Th, U, Yb, Zn).

Le analisi effettuate sui campioni, sono state precedute da una serie di operazioni quali essiccazione, quartatura e polverizzazione. La prima fase di asciugatura è stata effettuata in forno a circa 45-50 °C per una notte. Successivamente, i campioni sono stati ridotti in frammenti di piccole dimensioni mediante l'utilizzo di una pressa. Il granulato così ottenuto è stato versato su un foglio di carta e diviso in quattro parti uguali, di cui sono state prese le due porzioni diametralmente opposte. Infine, il granulato selezionato (circa 100 gr), è stato ulteriormente ridotto in polvere, mediante l'utilizzo di un mulino meccanico, costituito da una cavità cilindrica con pestelli concentrici di agata, che ruotando a velocità diverse riducono il granulato alla consistenza del talco. Dal materiale così ottenuto sono stati ricavati i campioni per le successive indagini geochimiche nel modo in cui segue:

- 30 campioni per determinazione del contenuto di H_2O (L.O.I);
- 30 campioni per la spettrometria a fluorescenza di raggi X (XRF);
- 10 campioni per l'analisi semiquantitativa al diffrattometro (XRD);
- 2 campioni per analisi diffrattometrica (XRD) sulla frazione inferiore a 2 μm .

2.4.2.1 Determinazione del contenuto di H₂O (L.O.I.)

La perdita alla calcinazione o L.O.I (*Loss On Ignition*) è un'analisi di tipo gravimetrico per misurare il contenuto di sostanza organica, acqua e carbonato nel campione (*Heiri et al., 2001*). Il contenuto di acqua è stato determinato come quantità di peso persa dopo aver sottoposto il campione ad altissime temperature. A tale scopo sono stati utilizzati dei crogioli in platino, numerati e pesati con accuratezza fino al decimo di grammo. La determinazione del contenuto di acqua è stata effettuata seguendo i seguenti step:

1. per ogni crogiolo è stato annotato il numero del recipiente stesso e la sigla del campione analizzato;
2. è stata presa nota del peso del crogiolo (PC), mediante l'utilizzo di una bilancia elettronica di precisione;
3. dopo aver tarato la bilancia, sono stati aggiunti 400 mg di campione;
4. dopo aver rimosso il crogiolo si è tarata nuovamente la bilancia;
5. il crogiolo contenente il campione è stato nuovamente pesato, per ottenere un peso relativo (PW)

I crogioli contenenti i campioni sono stati inseriti in una muffola a 900 °C per circa 1h, in modo da eliminare la componente volatile (H₂O, CO₂ e sostanza organica). Dopo averli lasciati raffreddare all'interno di un essiccatore, è stata effettuata nuovamente la pesata per determinare la variazione di peso dato dalla diminuzione dell'acqua di ritenzione.

Per ogni crogiolo si avranno, quindi, tre pesi:

- PC: peso crogiolo
- PW: peso del crogiolo + peso del campione prima dell'asciugatura
- PD: peso del crogiolo + peso del campione dopo l'asciugatura.

Si è proceduto, quindi, al calcolo del contenuto di acqua utilizzando la seguente relazione:

$$L.O.I = \frac{PW-PD}{PW-PC} \cdot 100$$

2.4.2.2 Analisi diffrattometriche a raggi X (XRD)

Uno dei principali effetti del *weathering* sulle rocce plutoniche, è rappresentato da una serie trasformazioni chimiche e mineralogiche che la roccia subisce all'aumentare del grado di

alterazione. Tra queste, la più importante è rappresentata dalla formazione di minerali secondari come minerali argillosi e ossidi ed idrossidi di ferro.

Tra le tecniche analitiche per lo studio mineralogico dei sedimenti argillosi, le analisi per diffrazione di raggi X su polveri sono quelle più largamente utilizzate. Esse consentono non solo di determinare la composizione mineralogica qualitativa, ma anche di eseguire determinazioni quantitative. Ciò richiede, tuttavia, opportuni trattamenti e diverse modalità di preparazione del campione. L'analisi di preparati di polvere non orientate (*random powder*) risulta utile, per esempio, per l'identificazione e la quantificazione dei minerali non argillosi, per la valutazione della cristallinità del quarzo, per la definizione del tipo di politipo di alcuni minerali argillosi, quali per esempio le illiti e i minerali del gruppo del caolino. L'analisi di campioni orientati (*oriented powder*), naturali o opportunamente trattati (solitamente preparati utilizzando la frazione $<2 \mu\text{m}$) permette, attraverso l'esaltazione dei riflessi basali, l'identificazione dei vari minerali argillosi o di gruppi di essi e dei loro rapporti di abbondanza.

In linea generale è sempre preferibile effettuare la minore manipolazione possibile del campione naturale per evitare di alterarne le caratteristiche composizionali e tessiturali originarie in quanto i minerali argillosi sono estremamente reattivi ai trattamenti chimici e fisici (Thorez, 1976; Brindley & Brown, 1980; Moore & Reynolds, 1997). Informazioni preliminari sul campione di partenza, utili per definire l'*iter* dei trattamenti a cui esso deve essere sottoposto, possono essere ricavate mediante l'analisi diffrattometrica a raggi-X sulla polvere del campione *tal quale*.

Per il presente lavoro di tesi sono stati scelti 10 campioni, appartenenti a due profili (F ed I). Per ogni profilo, la scelta è ricaduta su quei campioni ritenuti rappresentativi delle classi di alterazione più fresca (classe II e classe III), delle classi mediamente alterate (classe IV) e delle classi fortemente alterate (classe V e classe VI).

Per le analisi sono stati necessari 1.8 gr di polvere, a cui sono stati aggiunti 0.2 gr di ZnO, utilizzato come standard interno. Per portare la polvere ad un diametro $< 20 \mu\text{m}$ è stata utilizzata una Mc Crown Mill, all'interno della quale il campione è stato macinato per via umida (15 ml di acqua distillata) da piccoli cilindri di agata. Successivamente il contenuto è stato fatto essiccare in stufa ad una temperatura di $105 \text{ }^\circ\text{C}$ per circa 24h. Una volta asciutto è stato ulteriormente macinato ed omogenizzato in un mulino (PULVERISETTE 23) ed infine è stato versato in un porta-campione di 27 mm. Nello specifico, la polvere è stata caricata dall'alto, una volta distribuita e disgregata nel porta-campione con l'aiuto di una spatola, è stata leggermente pressata con un supporto avente una superficie planare.

Le maggiori differenze strutturali tra i diversi gruppi di minerali argillosi si osservano lungo le direzioni ortogonali ai riflessi $00l$. La prima fase nell'identificazione di questi minerali è quindi rappresentata dall'esame delle riflessioni basali, che consentono di distinguere le diverse specie, gruppi o sottogruppi di minerali. L'esame dei riflessi basali è facilitato dall'uso di preparati orientati che esaltano notevolmente l'intensità di questi riflessi mentre riducono e talora sopprimono quella dei riflessi di tipo hkl .

A tale scopo sono stati scelti i due campioni di classe VI appartenenti ai profili I ed F sopra citati. La frazione più comunemente usata per l'analisi su polvere orientata è quella $< 2 \mu\text{m}$, che è stata ottenuta aggiungendo 25 ml di acqua distillata a 10 gr di campione all'interno di appositi flaconi da 50 ml. Questi ultimi sono stati posti prima in un agitatore rotante per 24 h e successivamente sono stati inseriti in una centrifuga a 8000 giri/minuto per 5 minuti. Con l'aiuto di una pipetta graduata, la soluzione ottenuta è stata trasferita su supporti ceramici appoggiati su un apposito apparecchio che per un meccanismo di suzione, aspira l'acqua dal campione lasciandolo perfettamente asciutto e pronto per essere analizzato.

Al fine di identificare e caratterizzare alcuni minerali argillosi quali smectiti e gli interstratificati contenenti una componente smectitica, i campioni sono stati sottoposti al trattamento di solvatazione con glicole etilenico (Bradley, 1945) che consiste nella introduzione di queste sostanze polari tra i pacchetti TOT delle smectiti. Questo trattamento modifica le dimensioni della distanza basale (d_{001}) e per le specie espandibili, determina lo spostamento verso i valori bassi di 2θ del riflesso basale.

Le analisi diffrattometriche sono state effettuate mediante un diffrattometro PHILIPS X'PERT MPD, munito di un goniometro PW3050 con radiazione $\text{CuK}\alpha$, utilizzando il programma "PulverQuant". I principali parametri di misura utilizzati sono: 40kV, 30ma, 10 sec, Mask 20 mm, antiscatter slit 0.5° , Receiving slit 0.2 mm, step scan, 0.02° 2θ /step, $4^\circ - 69.5^\circ$. L'elaborazione dei dati è stata effettuata mediante l'utilizzo del programma AutoQuan (Versione 2.80) che sfrutta il modello di Rietveld come metodo di affinamento per i profili di diffrazione (GE Inspection Technologies, 2014).

2.4.2.3 Analisi a fluorescenza a raggi X (XRF)

La spettrometria a fluorescenza a raggi X è uno dei metodi ampiamente utilizzati nelle scienze della terra per la determinazione di elementi maggiori ed in traccia in una grande varietà di campioni solidi. Questo metodo consente l'analisi di rocce, minerali, terreni e

materiali solidi sintetici. La spettrometria a raggi X ha la capacità di determinare tutti gli elementi della tavola periodica da B a U.

Nei laboratori di geochimica presso la *Georg August Universität di Göttingen (Germania)* vengono analizzati generalmente tutti gli elementi riportati in Tabella 2.5.

Channel	Line	X-tal	Collimator	Detector	Tube filter	kV	mA	Angle (2 Theta)	Offset Bg1+2	PHD1 LL	PHD1 UL	LLD, ppm (100sec.)
Sn	KA	PX10	150 mm	Scint.	yes	60	60	13,9904	Offset Bg1+2	27	64	0,2
Mo	KA	PX10	150 mm	Scint.	yes	60	60	20,2736	Offset Bg1+2	24	74	0,2
Nb	KA	PX10	150 mm	Scint.	yes	60	60	21,3376	Offset Bg1+2	26	70	0,2
Zr	KA	PX10	150 mm	Scint.	yes	60	60	22,4776	Offset Bg1+2	23	74	0,3
Y	KA	PX10	150 mm	Scint.	yes	60	60	23,7296	Offset Bg1+2	23	75	0,3
Sr	KA	PX10	150 mm	Scint.	yes	60	60	25,0964	Offset Bg1+2	22	77	0,3
U	LA	PX10	150 mm	Scint.	yes	60	60	26,1000	Offset Bg1+2	25	73	0,1
Rb	KA	PX10	150 mm	Scint.	yes	60	60	26,5540	Offset Bg1+2	22	75	0,3
Th	LA	PX10	150 mm	Scint.	yes	60	60	27,3770	Offset Bg1+2	24	73	0,7
Pb	LB1	PX10	150 mm	Scint.	yes	60	60	28,1960	Offset Bg1+2	23	72	1
As	KB	PX10	150 mm	Scint.	none	60	60	30,4182	Offset Bg1+2	18	71	2
Ga	KA	PX10	150 mm	Scint.	none	60	60	38,8734	Offset Bg1+2	18	80	0,4
Hf	LB1	PX10	150 mm	Scint.	none	60	60	39,8732	Offset Bg1+2	20	73	1
Zn	KA	PX10	150 mm	Scint.	none	50	70	41,7502	Offset Bg1+2	15	78	0,5
Cu	KA	PX10	150 mm	Duplex	none	50	70	44,9920	Offset Bg1+2	20	67	0,9
Ni	KA	PX10	150 mm	Duplex	none	50	70	48,6342	Offset Bg1+2	19	68	0,7
Co	KA	PX10	150 mm	Duplex	none	50	70	52,7706	Offset Bg1+2	18	66	0,7
Fe	KA	PX10	150 mm	Duplex	none	50	70	57,4974	Offset Bg1+2	34	68	1
Mn	KA	PX10	150 mm	Duplex	none	50	70	62,9594	Offset Bg1+2	32	68	1
Sm	LA	PX10	150 mm	Duplex	none	50	70	66,2640	Offset Bg1+2	26	65	0,3
Cr	KA	PX10	150 mm	Duplex	none	50	70	69,3348	Offset Bg1+2	25	66	1
Ce	LB1	PX10	150 mm	Duplex	none	50	70	71,5994	Offset Bg1+2	27	61	0,1
Nd	LA	PX10	150 mm	Duplex	none	50	70	72,1000	Offset Bg1+2	28	67	2
V	KA	PX10	150 mm	Duplex	none	50	70	76,9406	Offset Bg1+2	25	67	1,5
La	LA	PX10	150 mm	Flow	none	50	70	82,9202	Offset Bg1+2	23	66	3
Ti	KA	PE 002-C	150 mm	Flow	none	50	70	36,5936	Offset Bg1+2	26	71	3
Ba	LA	PX10	150 mm	Flow	none	50	70	87,1776	Offset Bg1+2	30	70	3
Cs	LA	PX10	150 mm	Flow	none	40	90	91,8370	Offset Bg1+2	24	67	3
Sc	KA	PX10	150 mm	Flow	none	40	90	97,7188	Offset Bg1+2	24	65	1,5
Ca	KA	PX10	150 mm	Flow	none	40	90	113,1152	Offset Bg1+2	21	73	1
K	KA	PE 002-C	150 mm	Flow	none	40	90	50,5978	Offset Bg1+2	27	77	3
Cl	KA	Ge 111-C	550 mm	Flow	none	30	120	92,7652	Offset Bg1+2	30	75	3
S	KA	Ge 111-C	550 mm	Flow	none	30	120	110,6314	Offset Bg1+2	28	78	1
P	KA	Ge 111-C	550 mm	Flow	none	30	120	140,9338	Offset Bg1+2	13	81	2
Si	KA	PE 002-C	150 mm	Flow	none	30	120	109,0262	Offset Bg1+2	20	80	5
Al	KA	PE 002-C	150 mm	Flow	none	30	120	144,8624	Offset Bg1+2	22	77	2
Mg	KA	PX1	550 mm	Flow	none	30	120	23,2078	Offset Bg1+2	20	80	5
Na	KA	PX1	550 mm	Flow	none	30	120	28,0486	Offset Bg1+2	18	83	5

Tab. 2.5: Elenco degli elementi maggiori ed elementi in traccia rilevati dal diffrattometro AXIOS-Advanced, PANalytical (Georg August Universität, Göttingen)

Nello specifico, l'analisi XRF sfrutta l'utilizzo di perle che vengono prodotte mediante una tecnica di fusione completamente automatizzata (SGE 21, Schoeps), poiché la superficie e l'omogeneità del campione sono essenziali per la precisione della determinazione. Ciò riduce notevolmente i potenziali errori che spesso sono associati ai metodi di preparazione manuali. I dischi di vetro utilizzati sia per la determinazione di degli elementi maggiori sia per l'analisi di quelli in traccia, sono stati preparati utilizzando una miscela di tetraborato di litio, metaborato di litio e LiF. In particolare, 3900 mg di questa miscela sono stati uniti a 1750 mg di all'interno di crogioli di platino e fusi per 15 minuti a 1100 °C. il liquido di fusione è stato versato in stampi preriscaldati e lucidati di 32 mm di diametro. Tutti gli elementi sono stati analizzati usando un tubo a raggi X (SSTmAX-4-Kw) per l'eccitazione del campione. Gli spettri a raggi X sono generalmente meno complessi di altri spettri ottici e le interferenze spesso possono essere evitate attraverso di vari cristalli. Lo spettrometro XRF (AXIOS-Advanced, PANalytical) utilizzato nel presente lavoro di tesi è dotato di sette monocromatori PX-10, LiF 220, InSb111, Ge111, PE002, PX-8 e PX-1. Per la calibrazione nella determinazione degli elementi maggiori ed in traccia, vengono utilizzati circa 70 materiali di riferimento, dalla US Geological Survey, dall' International Working Group " Analytical standards of minerals, ores and rocks", dal National Research Council of Canada, dal Geological Survey of Japan, dal South African Bureau of Standards, dal National Institute of Standards & Technology, etc.

Per l'analisi degli elementi maggiori la precisione analitica è del 0,5 - 2%. Per gli elementi in traccia, le deviazioni standard sono comprese tra il 2 ed il 5%.

Infine, per uno studio più dettagliato circa le variazioni dei rapporti tra elementi mobili ed elementi immobili all'aumentare del grado di alterazione, sono stati misurati i seguenti indici di alterazione presenti in letteratura, comunemente utilizzati negli studi sul weathering di rocce cristalline (fig. 2.8):

- $R = \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ (Ruxton, 1968)
- $V = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O}) / (\text{MgO} + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ (Vogt, 1927; Roaldset, 1972)
- $\text{CIA} = (100) [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$ (Nesbitt e Young, 1982)
- $\text{CIW} = (100) [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})]$ (Harnois, 1988)
- $\text{PIA} = (100) [(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})]$ (Fedo et al. 1995)
- $\text{STI} = (100) [(\text{SiO}_2 / \text{TiO}_2) / (\text{SiO}_2 / \text{TiO}_2) + (\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3) + (\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{TiO}_2)]$ (Jajawardena e Izawa, 1994)

Index	Formula	Optimum fresh value	Optimum weathered value	Ideal trend of index up-profile (increase in weathering)	Allows Al mobility	Reference
R	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	> 10	0	Negative	No	Ruxton (1968)
V	$(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O})/(\text{MgO} + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$	< 1	Infinite	Positive	No	Vogt (1927) (see also Roaldset, 1972)
CIA	$(100)[(\text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$	≤ 50	100	Positive	No	Nesbitt and Young (1982)
CIW	$(100)[(\text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})]$	≤ 50	100	Positive	No	Hamois (1988)
PIA	$(100)[(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})]$	≤ 50	100	Positive	No	Fedo et al. (1995)
STI	$(100)[(\text{SiO}_2/\text{TiO}_2)/((\text{SiO}_2/\text{TiO}_2) + (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) + (\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2))]$	> 90	0	Negative	No	de Jayawardena and Izawa (1994)

Fig. 2.8: indici di alterazione utilizzati per lo studio delle variazioni dei rapporti tra elementi mobili ed elementi immobili all'aumentare del grado di alterazione

2.4.3 Termocronometria (U-Th) / He su Apatiti

Il decadimento radioattivo è uno strumento importante nelle Scienze della Terra dal momento che fornisce informazioni sulla velocità e sui tempi dei processi geologici.

I nuclei degli atomi possono trovarsi in una serie di stati quantizzati eccitati ed il passaggio di uno di tali nuclei dal suo stato instabile (genitore) ad uno stabile (figlio) rilascia un certo quantitativo di energia e di particelle, che possono essere emesse sotto forma di Raggi γ (carica 0 e massa 0), Neutroni (carica 0 e massa 1), Raggi β (carica -1 e massa 0) e Raggi α (carica 2 e massa 4, cioè un atomo di He). Il decadimento avviene a velocità note e caratteristiche per ogni isotopo. Non è possibile prevedere quando il nucleo decadrà, ma è possibile prevedere la probabilità che tale evento accada grazie all'Equazione Base del Decadimento Radioattivo:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

con λ = costante di decadimento e λN = velocità di disintegrazione di un dato isotopo radioattivo in un tempo dt.

Ogni sistema termocronometrico ha una propria *temperatura di chiusura* ossia la temperatura alla quale la diffusione degli isotopi con l'esterno è pari a zero. Infatti per ricavare l'età da analisi di fasi cristalline o campioni di roccia, è necessario che non ci siano stati scambi di isotopi con l'ambiente.

La Termocronometria si basa dunque su temperature di chiusura ($30^{\circ}\text{C} < CT < 550^{\circ}\text{C}$) di sistemi radiogenici e permette di comprendere la storia termica delle rocce e dei minerali all'interno di quel range di temperature. In questo lavoro è stato utilizzato il metodo **(U-Th) / He** su apatiti che si basa sulla produzione di nuclei di elio da decadimento α di isotopi genitori U e Th ed, in parte minore, da samario (^{147}Sm) (fig. 2.9).

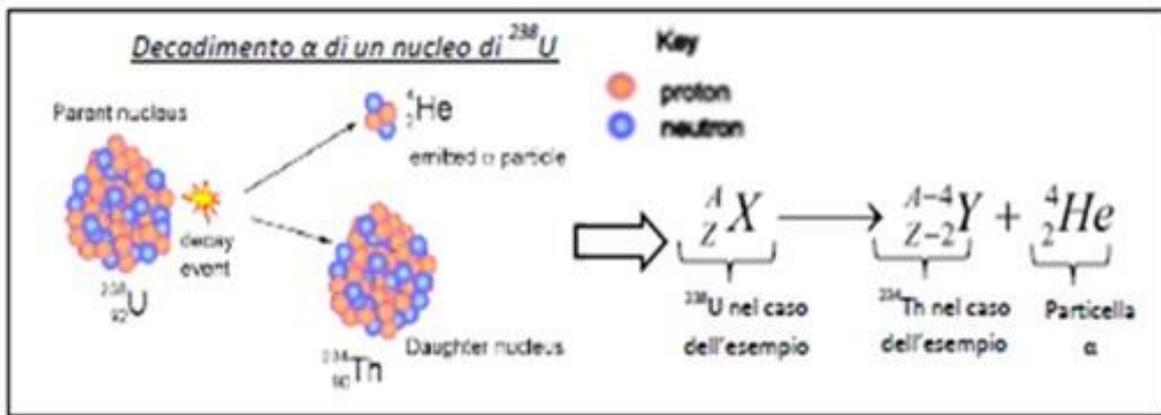


Fig. 2.9: il nucle di ^{238}U è instabile e decade in un isotopo foglio come il ^{234}Th emettendo al contempo una particella α (nucleo di He)

L'equazione di base che permette di definire la produzione ^4He in un determinato tempo è:

$$^4\text{He} = 8 \text{ }^{238}\text{U} (e^{\lambda_{238t}} - 1) + 7 \text{ }^{235}\text{U} (e^{\lambda_{235t}} - 1) + \text{ }^{232}\text{Th} (e^{\lambda_{232t}} - 1) + \text{ }^{147}\text{Sm} (e^{\lambda_{238t}} - 1)$$

nella quale U, Th, Sm ed He si riferiscono ai quantitativi presenti all'interno dei cristalli e λ è la costante di decadimento.

La produzione di radioisotopi decresce esponenzialmente nel tempo, ma essendo un processo stabile e prevedibile, è capace di fornire informazioni sulla storia del raffreddamento di una roccia e sull'età di cristallizzazione dei minerali che la compongono. Le datazioni con il metodo **(U-Th) / He**, risultano efficaci per ricostruire la storia termica dello strato superficiale della crosta terrestre, al di sotto dei 200°C , che equivale ad una profondità di circa 10-8 km, assumendo un gradiente geotermico compreso tra 20° e $26^{\circ}\text{C} / \text{km}$ (Farley e Wolf, 1996). Tuttavia, la temperatura di chiusura può essere caratterizzata da range differenti in relazione al minerale analizzato. Ad esempio, il nuclide ^4He viene trattenuto dall'apatite solo nel caso in cui tale minerale raffreddi al di sotto dei $60-70^{\circ}\text{C}$ e dallo zirconio per temperature di raffreddamento al di sotto di circa 185°C . Ciò accade perché, sebbene il nuclide ^4He sia costantemente prodotto durante il processo di decadimento, esso non viene trattenuto dal cristallo se la roccia non è sufficientemente

fredda e si diffonde, quindi, al di fuori del sistema e nell'atmosfera dove è contenuto in quantità di circa 1 ppm.

Per il presente lavoro si è deciso di applicare il metodo **(U-Th) / He**, a 5 campioni di rocce plutoniche già precedentemente analizzati con il metodo AFT (Apatite Fission- Track Thermochronology) da Vignaroli et al. (2012). Per il campionamento sono stati rispettati nel modo più preciso possibile, i valori di latitudine e longitudine indicati nel lavoro citato (fig. 2.10) grazie all'aiuto di un GPS.

Sample	Lat (° N)	Long (° E)	El. (m)	$\rho_a \times 10^5$ (cm ⁻²) n_a	$\rho_b \times 10^5$ (cm ⁻²) n_b	$\rho_c \times 10^5$ (cm ⁻²) n_c	n_k	P(χ^2) (%)	Central Age $\pm 1\sigma$ (Ma)	U (ppm)	Lm (μ m)	s.d. (μ m)	n
SECTION 1 S1	39°32'36"	16°35'38"	975	6.58	8.24	55.02	25	77	17.5 \pm 1.1	100.61	13.6 \pm 0.2	1.4	86
				5153	411	2743							
				6.58	2.74	22.70	25	7.54	15.4 \pm 1.6	41.48	13.6 \pm 0.3	1.5	22
S2	39°33'23"	16°36'13"	750	5153	200	1654							
				6.58	3.51	27.45	32	6.9	15.4 \pm 1.5	47.98	13.4 \pm 0.3	1.1	17
SECTION 2 S3	39°34'58"	16°38'03"	200	5153	192	1502							
				6.58	3.01	21.69	30	64.6	16.4 \pm 1.4	40.87	13.6 \pm 0.3	1.4	24
S4	39°26'43"	16°36'27"	800	5153	190	1370							
				6.58	3.17	28.44	30	33.9	13.3 \pm 1.1	50.42	13.8 \pm 0.3	1.7	41
S5	39°26'24"	16°36'52"	900	5153	215	1931							
				6.58	1.24	8.46	30	99.9	17.3 \pm 2.1	14.61	13.7 \pm 0.5	1.6	11
S6	39°26'25"	16°36'06"	1000	5153	89	607							
				6.58	3.18	24.59	20	7.1	15.4 \pm 1.6	45.41	14.2 \pm 0.2	0.7	12
S7	39°26'17"	16°36'25"	1100	5153	169	1307							
				6.58	2.61	19.84	30	55.4	15.5 \pm 1.5	35.74	14.2 \pm 0.4	1.1	7
S8	39°26'11"	16°36'17"	1230	5153	144	1095							
				6.58	2.46	15.69	38	79.8	16.5 \pm 1.5	37.50	14.0 \pm 0.1	0.1	4
S9	39°25'39"	16°36'06"	1300	5153	173	1237							
				6.58	4.04	33.05	25	71.9	14.4 \pm 1.4	56.31	14.3 \pm 1.0	1.5	2
SECTION 3 S10	39°25'25"	16°35'43"	1470	5153	141	1154							
				6.58	2.26	8.89	30	<1	27.6 \pm 4.0	19.38	12.3 \pm 0.9	2.5	8
S11	39°22'34"	16°47'37"	850	5153	170	668							
				6.58	3.34	7.80	30	7.01	50.3 \pm 4.6	13.72	10.6 \pm 0.6	3.2	30
S12	39°21'51"	16°46'41"	950	5153	308	344							
				6.58	3.56	23.16	20	7.46	18.5 \pm 1.5	44.27	13.4 \pm 0.3	1.3	25
S13	39°26'20"	16°50'52"	600	5153	214	1393							
				6.58	2.06	13.72	20	<1	18.7 \pm 2.4	23.23	13.5 \pm 0.9	2.2	6
S14	39°27'04"	16°50'21"	675	5153	126	811							
				6.58									

Fig. 2.10: valori di latitudine e longitudine, e rispettive età misurate da Vignaroli et al. con il metodo AFT (Vignaroli et al. 2012)

La quantità minima di campione necessaria all'applicazione della metodologia è di 3-5 kg. Le successive procedure analitiche sono state svolte nei laboratori della *Georg August Universität di Göttingen (Germania)*.

I campioni sono stati inizialmente ridotti in frammenti di piccole dimensioni con l'aiuto di un martello e posti in stufa ad asciugare (50 °C) per circa 24 ore. Successivamente sono stati ridotti ulteriormente di dimensioni con un mulino a disco, quindi, sono stati sottoposti a setacciatura mediante l'utilizzo di 3 setacci di maglia 500 μ m, 250 μ m, < 250 μ m (fondo). Ai fini delle analisi, viene utilizzato il materiale < 250 μ m trattenuto sul fondo, su cui viene effettuata una preliminare separazione della frazione contenente minerali pesanti, grazie all'utilizzo di una tavola vibrante (fig. 2.11a).

Il materiale ottenuto viene coperto di acido acetico e viene lasciato riposare sotto cappa per almeno 24 ore, per consentire la dissoluzione dei carbonati eventualmente presenti nella roccia.

Successivamente, la frazione contenente i minerali pesanti è stata definitivamente separata con un trattamento che prevede l'utilizzo di wolframato di sodio (Na_2WO_4), un liquido ad alta densità diluito con acqua distillata e portato ad un valore di $\rho = 2.82 - 2.85 \text{ g/ml}$ (fig. 2.11 b).

Infine, i campioni sono stati sottoposti a separazione magnetica per dividere i componenti magnetici da quelli diamagnetici (fig. 2.11 c). Si è proceduto quindi, al *picking* delle apatiti mediante l'utilizzo di un microscopio ottico binoculare a polarizzatori incrociati a luce trasmessa. Per ottenere risultati accettabili, è necessario che i granuli di apatite siano (i) completamente intatti, (ii) privi di inclusioni, (iii) di dimensioni maggiori di $60 \mu\text{m}$ lungo l'asse più corto. Per verificare tali caratteristiche, i granuli selezionati al microscopio in luce trasmessa vengono successivamente analizzati ad un microscopio ottico ad elevata risoluzione ed infine chiusi all'interno di capsule di Nb o Pt (fig. 2.11 d) per l'estrazione di He al **He-extraction line** (Fig. 2.11 e).

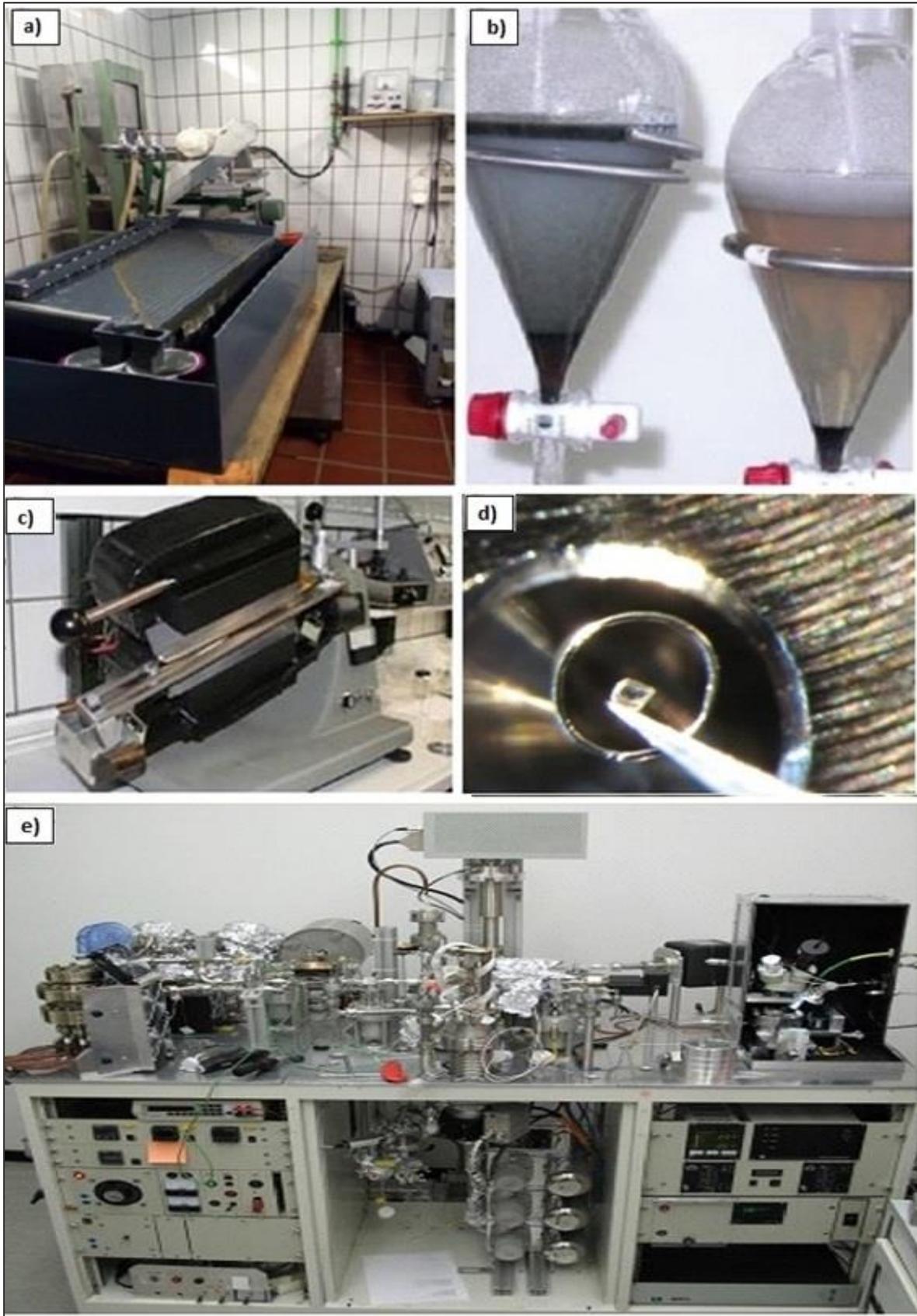


Fig. 2.11: a) tavola vibrante; b) separazione dei minerali pesanti con wolframato di sodio; c) separatore magnetico; d) chiusura di un granulo di apatite all'interno di una capsula; e) He-extraction line.

CAPITOLO III

RISULTATI

3.1 ANALISI GEOLOGICO-STRUTTURALE E GEOMORFOLOGICA DELL'AREA DI STUDIO

Come anticipato sopra, nell'area affiorano estesamente rocce appartenenti all'Unità della Sila, nello specifico è stata riscontrata la presenza di litotipi appartenenti al complesso plutonico, denominato da Messina et al. (1994) e Colonna (1998) Batolite della Sila. Il litotipo più diffuso nell'area di studio è rappresentato da rocce acide di età permiana, a composizione variabile tra i graniti (frequentemente con cristalli di K-feldspato ben sviluppati) e granodioriti (Fig. 3.1 e Fig. 3.2 a-b). Tali rocce coprono circa il 85% dell'area di studio. La consistenza delle rocce affioranti nell'area di studio è molto varia, si va infatti, da roccia fresca e resistente all'erosione (Fig. 3.2- a), a roccia alterata e degradata, facilmente disaggregabile che spesso è ridotta a sabbione incoerente a grana grossa (Fig. 3.2- b). La permeabilità di tali rocce è normalmente bassa, ma aumenta notevolmente nelle zone di degradazione e fratturazione. Localmente si osservano nelle plutoniti acide, filoni aplitici o pegmatitici, non distinguibili cartograficamente (Fig. 3.2, c).

Nel settore settentrionale dell'area di studio è stata riscontrata localmente la presenza di depositi clastici del Pliocene sup.- Pleistocene Medio (*CARG - Foglio 561; Moretti, 2008*) provenienti prevalentemente dal disfacimento in ambiente subaereo del cristallino silano, caratterizzati da un colore rossastro dovuto all'abbondanza di ossidi. Si tratta di una litofacies prevalentemente arenacea di ambiente di piana alluvionale, che copre circa il 2% dell'area di studio, la cui potenza è di pochi metri (Fig. 3.1; Fig. 3.2- d).

La seconda litologia più diffusa nell'area di studio, è rappresentata da depositi colluviali olocenici, ricchi in matrice siltoso-sabbiosa, generalmente privi di struttura (Fig. 3.1; Fig. 3.2- e). Si tratta di materiali trasportati dalla gravità, in particolare dai fenomeni di reptazione (soil creep), soliflusso e dall'azione dei cicli di gelo-disgelo e principalmente dall'acqua, che coprono circa il 10% dell'area di studio. La loro origine è locale, essi rappresentano il prodotto di alterazione in situ delle rocce con il conseguente trasporto come detriti di falda. Infine, lungo gli alvei dei principali corsi d'acqua, si rileva la presenza di depositi alluvionali

di età olocenica, per lo più fissati da vegetazione (Fig. 3.1; Fig. 3.2- f), che coprono circa il 3% dell'area di studio.

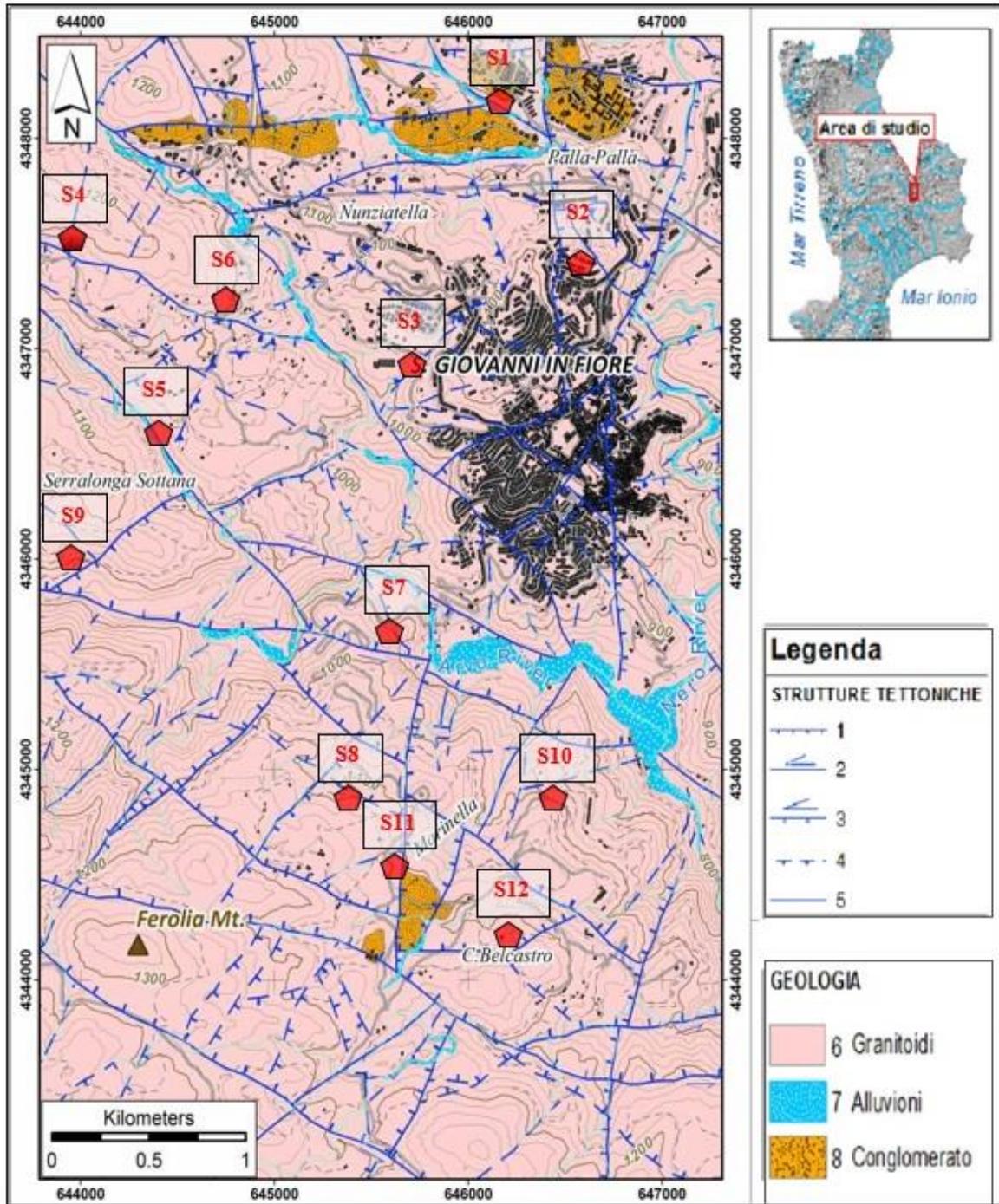


Fig. 3.1 - Carta geologico-strutturale e dei movimenti in massa. Legenda: 1) faglia normale; 2) faglia trascorrente sinistra; 3) faglia trascorrente sinistra riattivata in normale; 4) thrust; 5) faglia con cinematica indeterminata; 6) rocce plutoniche (Paleozoico); 7) depositi alluvionali (Olocene); 8) depositi sedimentari (Pliocene sup. – Pleistocene medio); 9) frane. (Borrelli et al., 2015). I pentagoni rossi indicano le stazioni di misura mesostrutturali.



Fig. 3.2- Litotipi presenti nell'area di studio: Foto a) roccia plutonica fresca; Foto b) roccia plutonica ridotta a sabbione; Foto c) Filone aplitico; Foto d) Conglomerati; Foto e) Depositi colluviali; Foto f) Depositi alluvionali.

I principali lineamenti tettonici che interessano l'area di studio e più in generale tutto il settore settentrionale della Calabria, sono quelle individuate da Van Dijk et al. (2000), riconducibili a tre principali sistemi di faglie orientati in direzione NW-SE, NE-SW e N-S (Fig. 3.1).

Il sistema NW-SE è quello maggiormente rappresentato. Esso corrisponde a faglie trascorrenti sinistre (sub-verticali) correlabili alla Petilia – San Sosti: Fault Zone di Van Dijk et al. (2000).

Associato a tale sistema, può essere considerato sia il sistema di faglie NE-SW costituito da faglie normali ribassanti complessivamente verso SE, sia il sistema di thrust transpressivi ad andamento NE-SW.

Infine, il sistema N-S, meno rappresentato alla macroscala, risulta essere costituito da faglie normali con componente di trascorrenza destra, con piani ad alto angolo, ribassanti complessivamente verso Est.

I piani di faglia appartenenti a tale sistema, risultano essere quelli più recenti, in quanto dislocano gli altri sistemi.

Gli studi hanno consentito di confermare l'effettiva natura tettonica dei lineamenti individuati alla macroscala e di cartografare con maggiore precisione i lineamenti stessi.

Nel complesso, sono state effettuate, in funzione delle condizioni dell'affioramento, 12 stazioni di misura meso-strutturali, distribuite lungo le principali macrostrutture (Fig. 3.1). I dati rilevati su ciascuna stazione, sono stati elaborati e raggruppati, su diagrammi stereografici di Schmidt (per emisfero inferiore), (Fig. 3.3 – 3.8). Alla luce dei risultati mesostrutturali, è stato possibile individuare 3 eventi deformativi descritti di seguito in ordine cronologico a partire dal sistema più recente (Fig. 3.9):

- *Evento 1*: è rappresentato da faglie subverticali con direzione media compresa tra N-S e NNE-SSW che hanno mostrato cinematismi variabili da puramente normali a normali con una componente trascorrente destra. Questo sistema distinto alla mesoscala corrisponde al sistema di faglie N-S riconosciuto alla macroscala.
- *Evento 2*: è rappresentato da faglie mostranti direzione NW-SE, caratterizzate da cinematismi trascorrenti sinistri, con riattivazioni in normale. In associazione a tale evento deformativo, si rilevano zone di taglio con locali settori in transpressione. Le faglie legate a questo evento presentano generalmente piani da sub-verticali a poco inclinati con immersioni per lo più verso SE.
- *Evento 3*: è rappresentato da faglie mostranti direzioni medie NE-SW, caratterizzate da cinematismi normal-trascorrenti destri, riattivate in normali. Le faglie presentano piani immergenti prevalentemente verso NE di 70-80°.

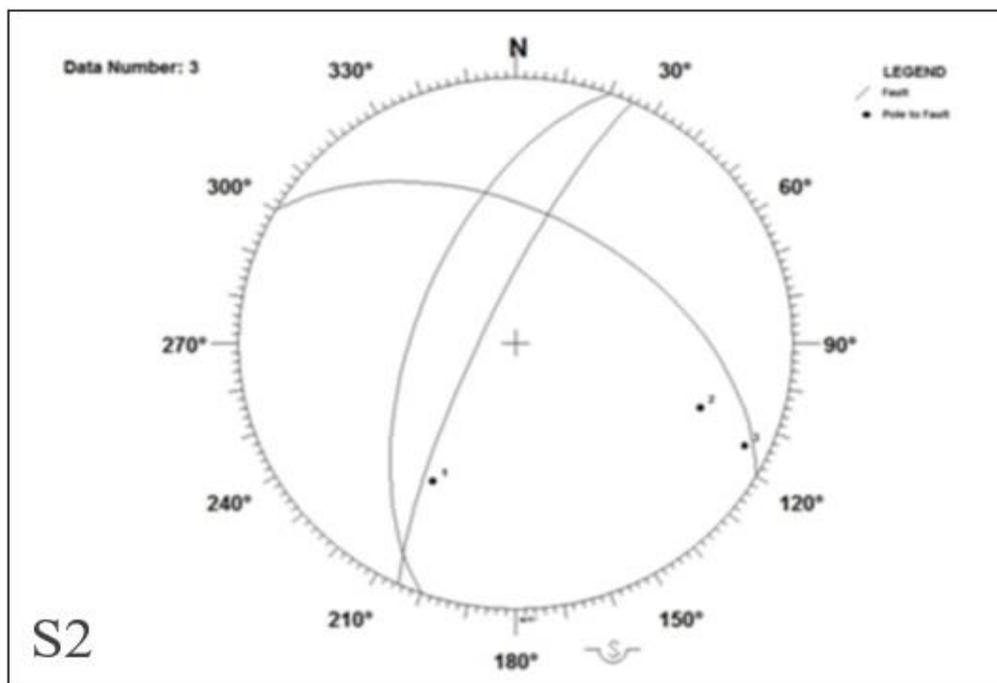
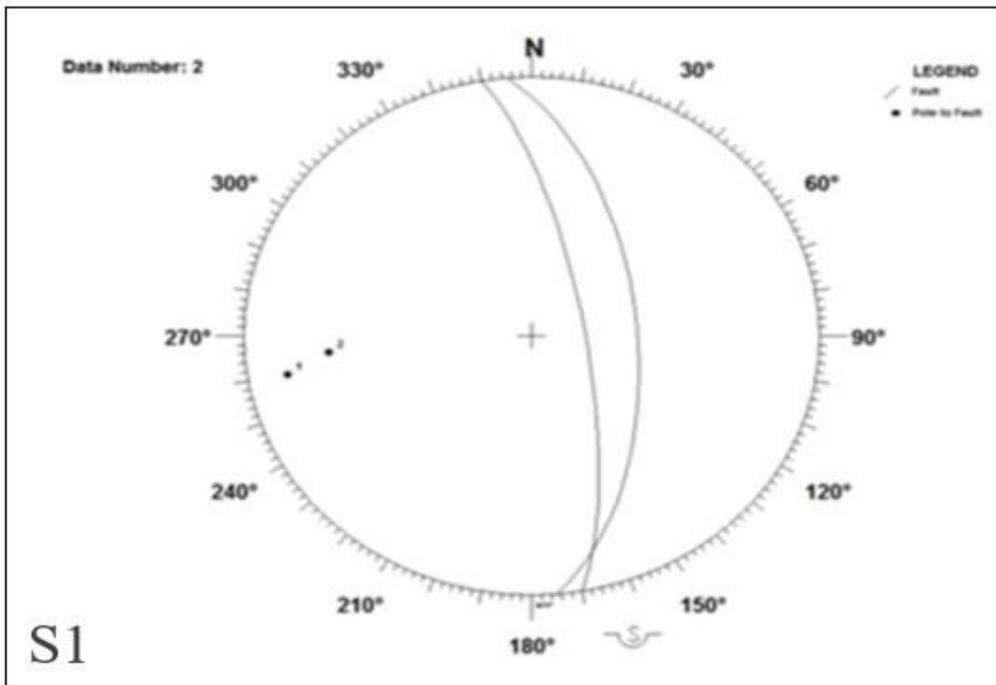


Fig. 3.3 - Proiezione stereografica (diagrammi di Schmidt, emisfero inferiore) delle discontinuità di origine tettonica rilevate nelle stazioni mesostrutturali S1 ed S2.

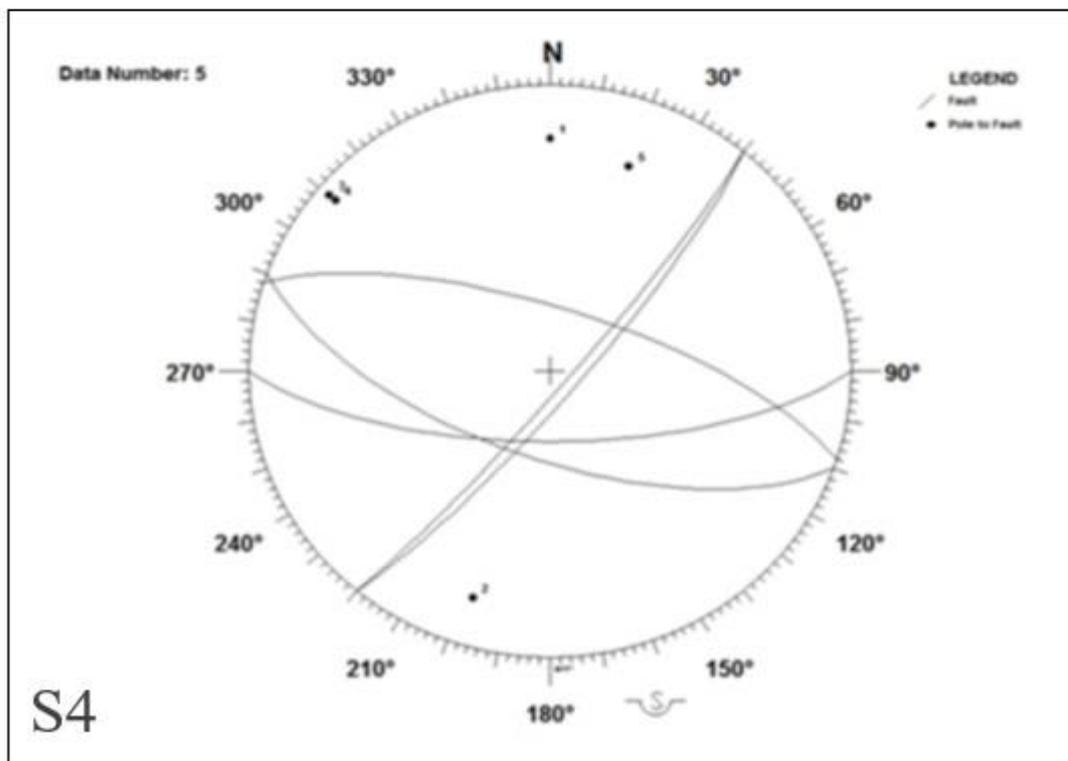
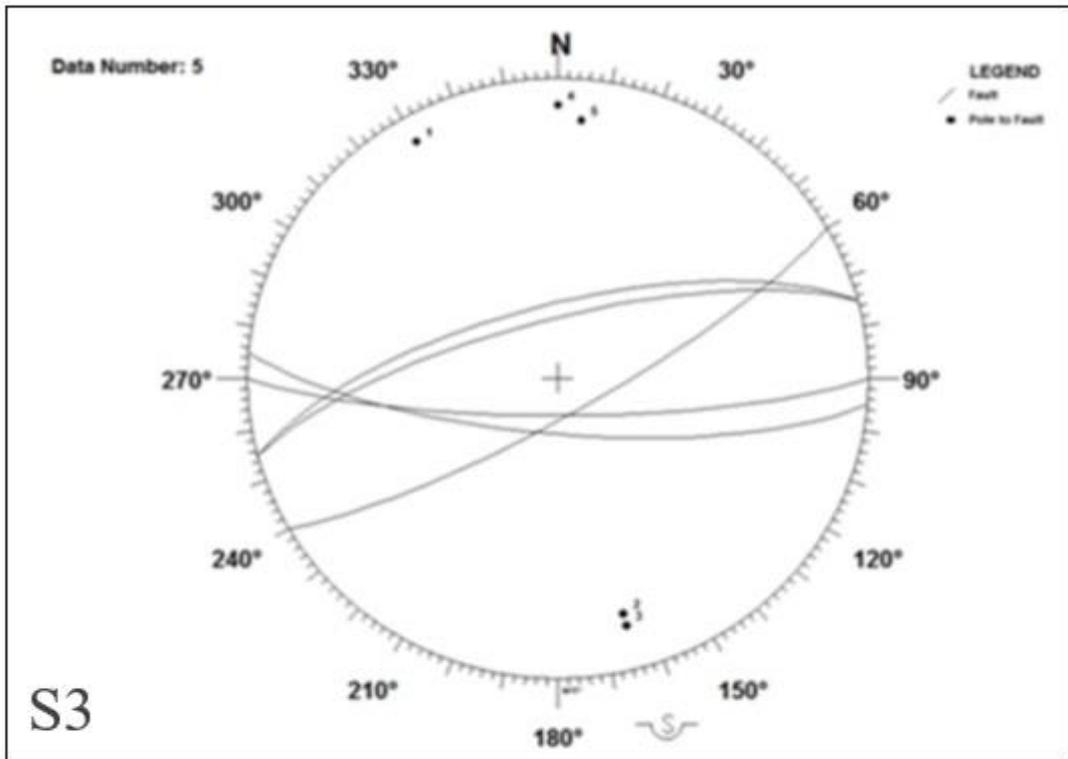


Fig. 3.4- Proiezione stereografica (diagrammi di Schmidt, emisfero inferiore) delle discontinuità di origine tettonica rilevate nelle stazioni mesostrutturali S3 ed S4.

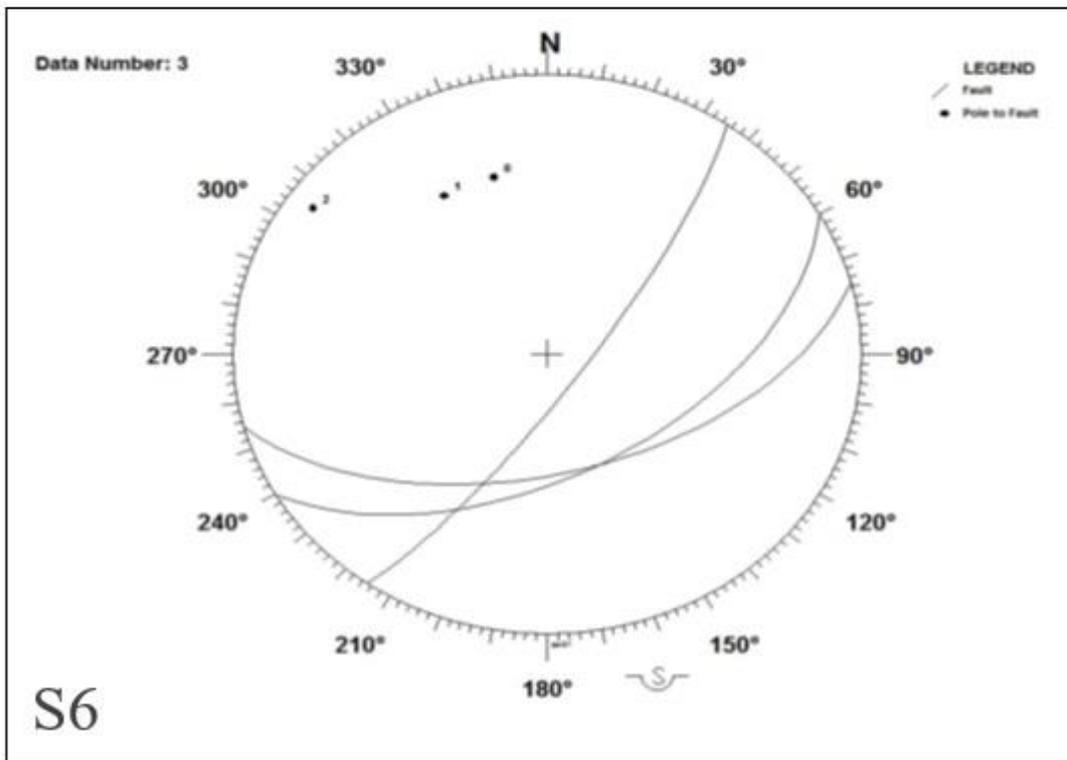
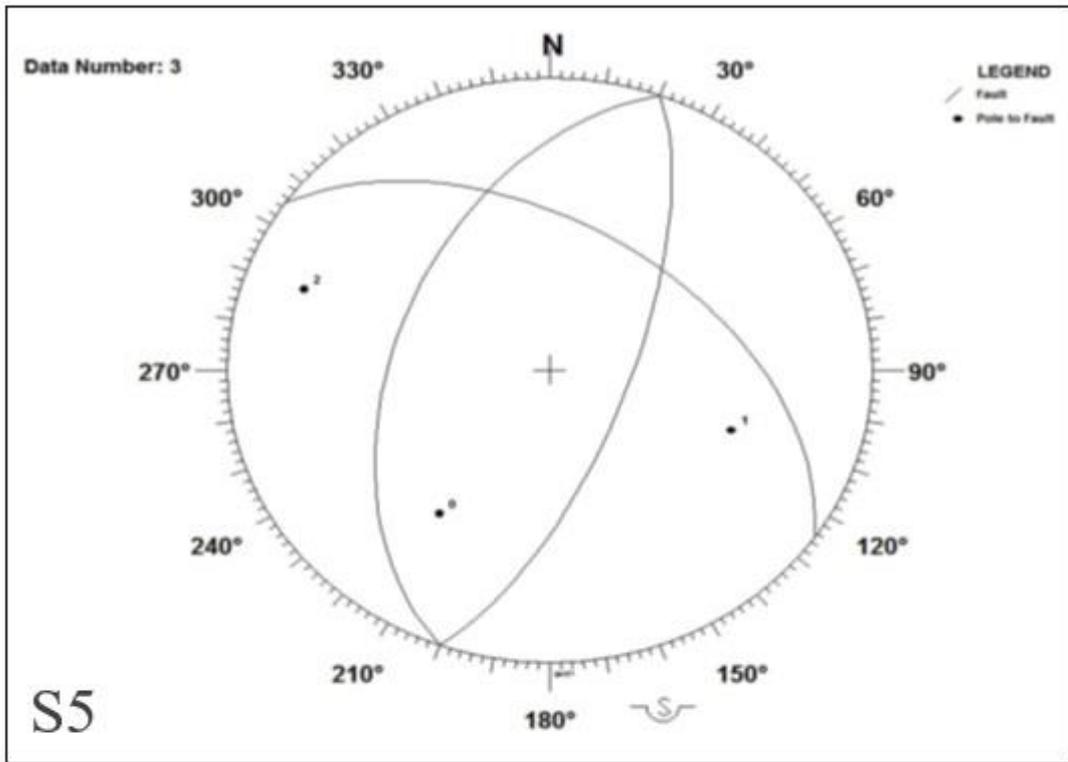


Fig. 3.5 - Proiezione stereografica (diagrammi di Schmidt, emisfero inferiore) delle discontinuità di origine tettonica rilevate nelle stazioni mesostrutturali S5 ed S6.

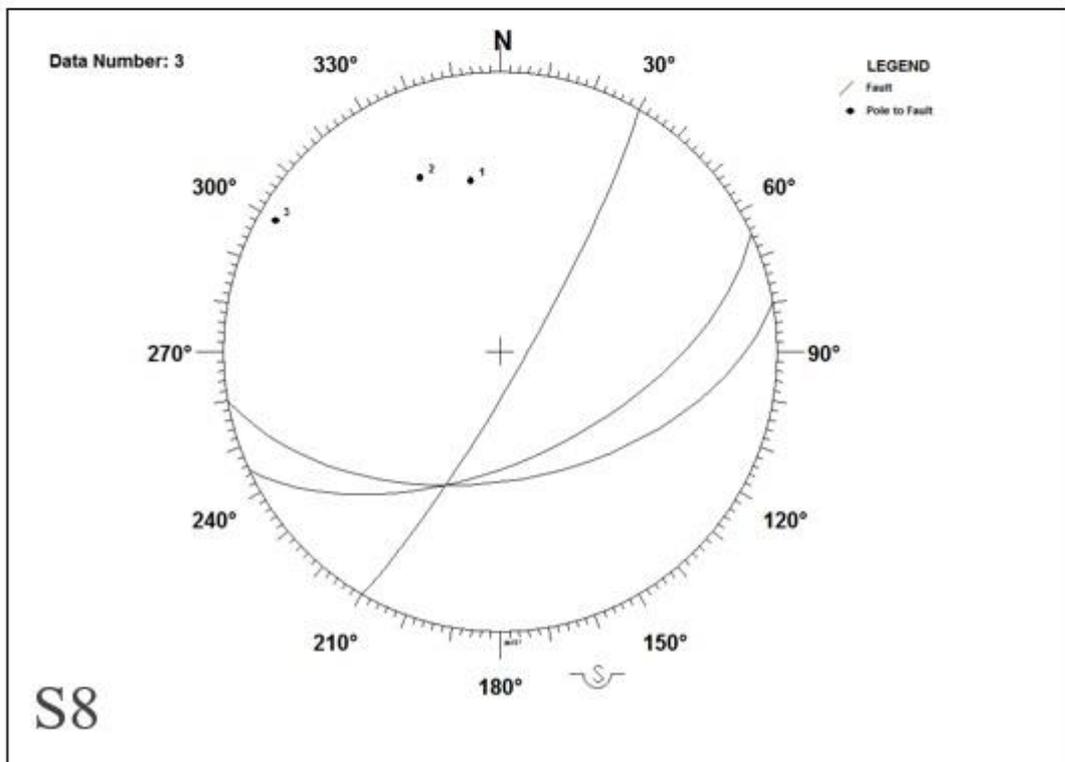
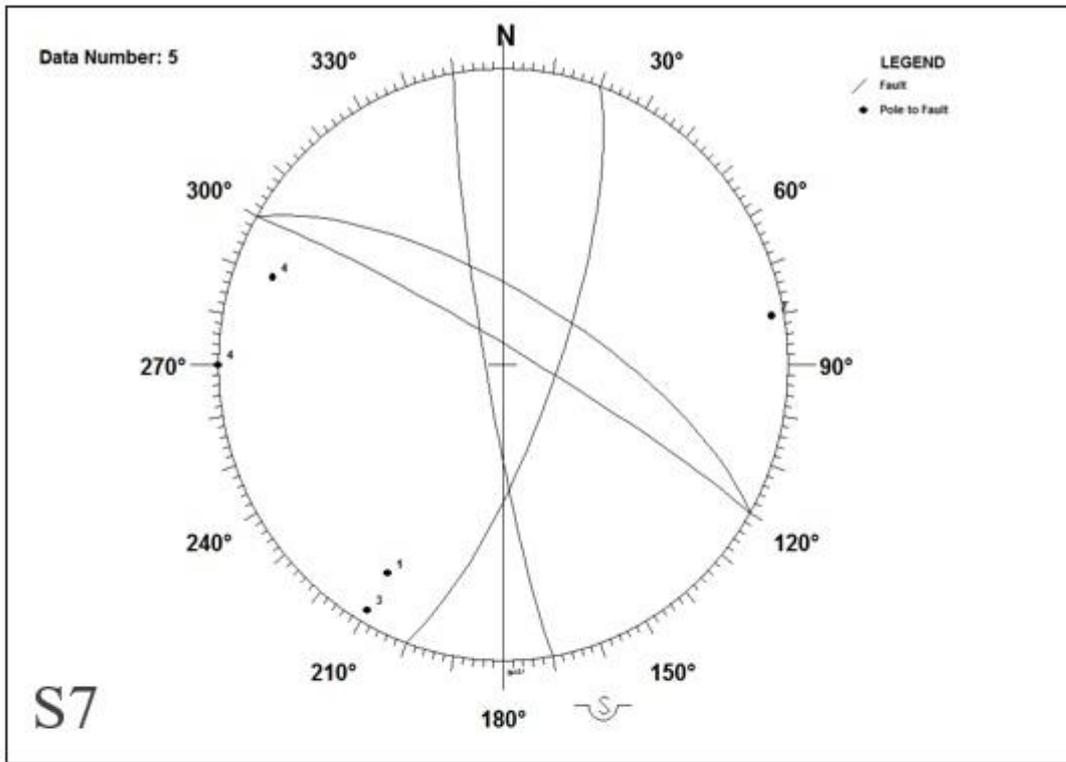


Fig. 3.6- Proiezione stereografica (diagrammi di Schmidt, emisfero inferiore) delle discontinuità di origine tettonica rilevate nelle stazioni mesostrutturali S7 ed S8.

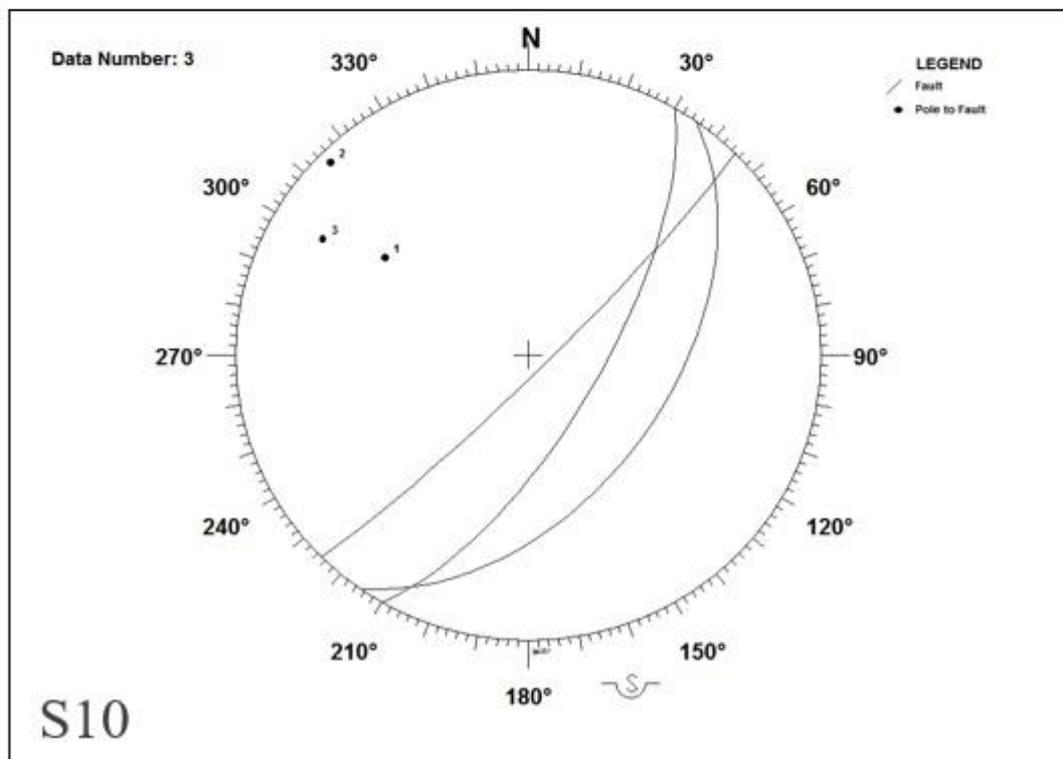
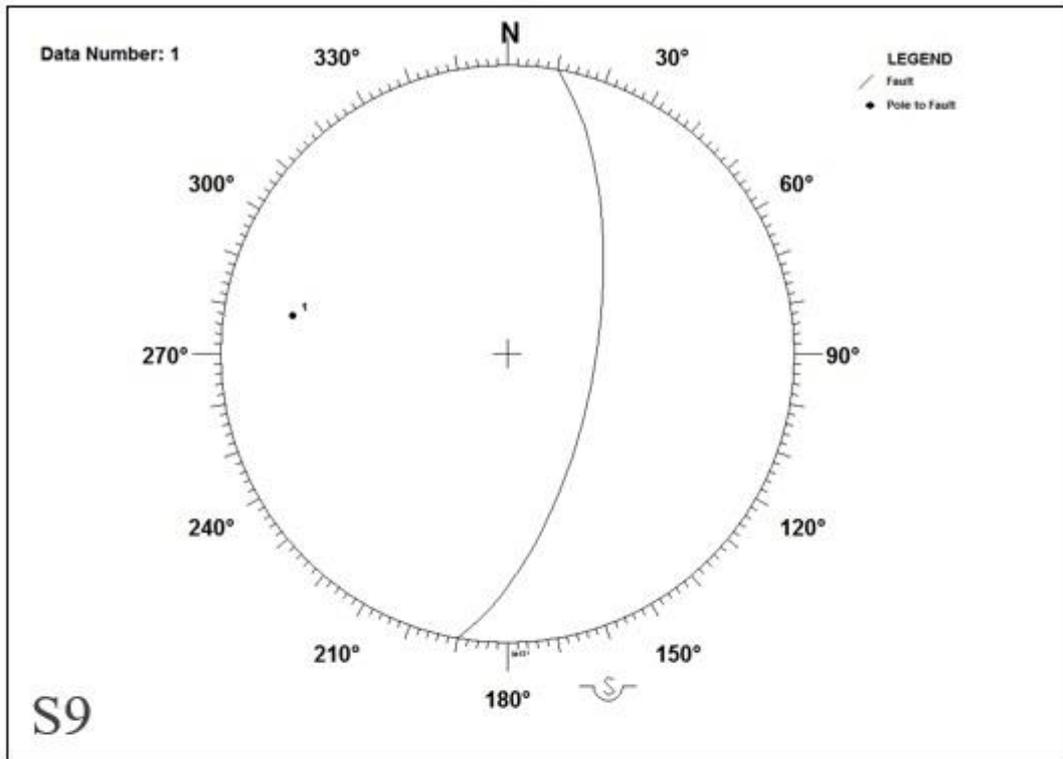


Fig. 3.7- Proiezione stereografica (diagrammi di Schmidt, emisfero inferiore) delle discontinuità di origine tettonica rilevate nelle stazioni mesostrutturali S9 ed S10.

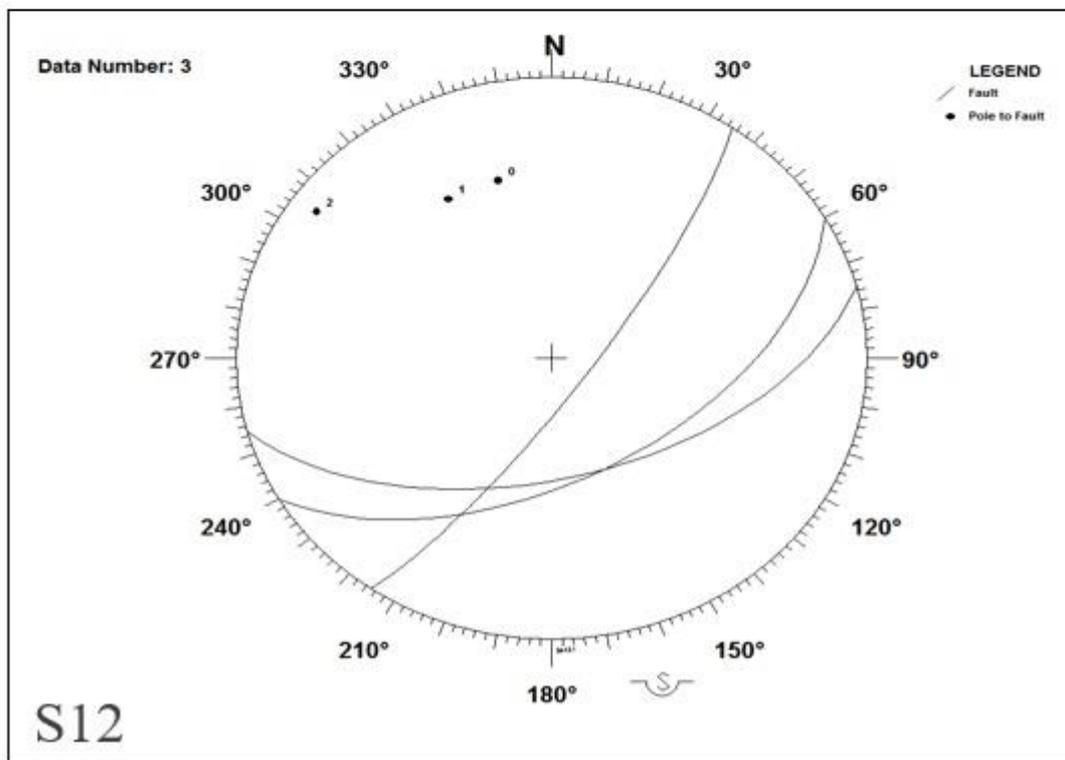
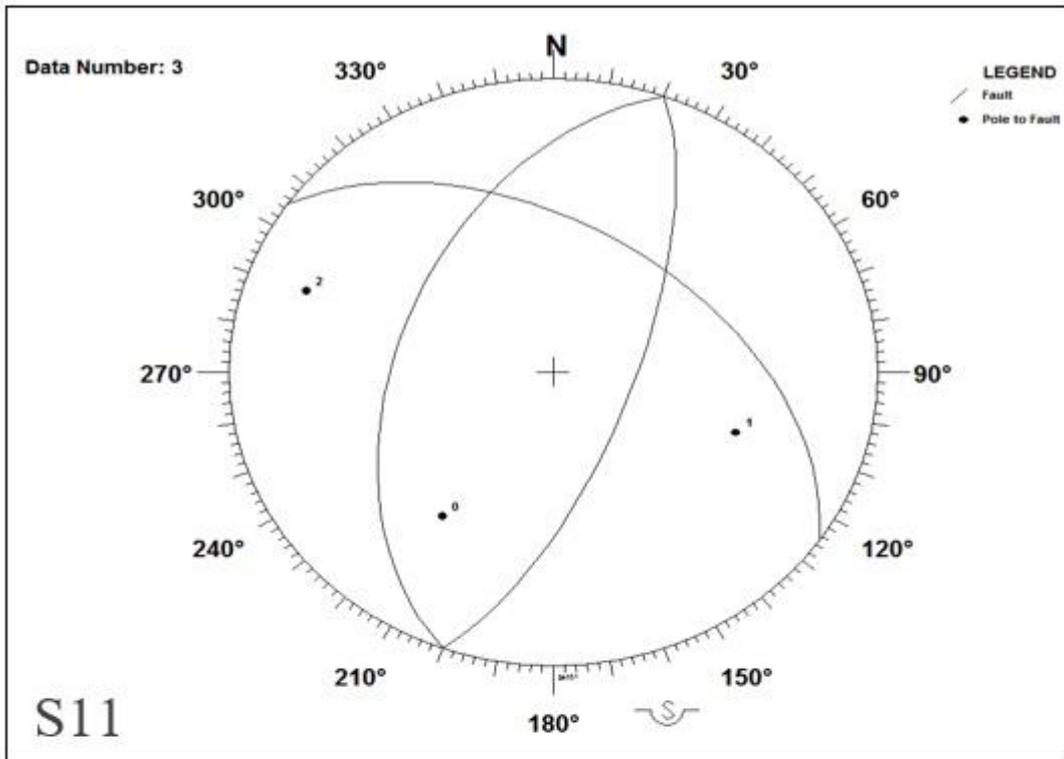


Fig. 3.8 - Proiezione stereografica (diagrammi di Schmidt, emisfero inferiore) delle discontinuità di origine tettonica rilevate nelle stazioni mesostrutturali S11 ed S12.



Fig. 3.9- Esempi di faglie rilevate nell'area di studio alla macro- e alla meso-scala: (a) panoramica del versante destro del Fiume Arvo, in cui sono visibili alcune faglie legate ai principali sistemi di faglia; (b) faglie transpressive a direzione N-S; (c) faglie transpressive destre a direzione N-S; (d) indicatori cinematici su piano di faglia a direzione N-S, su conglomerati pleistocenici; (e) strie laterali sinistre su un piano di faglia a direzione NW-SE; (f) thrust; (g) fault zone a direzione NW-SE associata a fault gouge (Borrelli et al. 2015).

La morfologia dell'area di studio si presenta articolata e fortemente condizionata dalle caratteristiche litologiche delle rocce affioranti e dall'assetto geo-strutturale (Fig. 3.10).

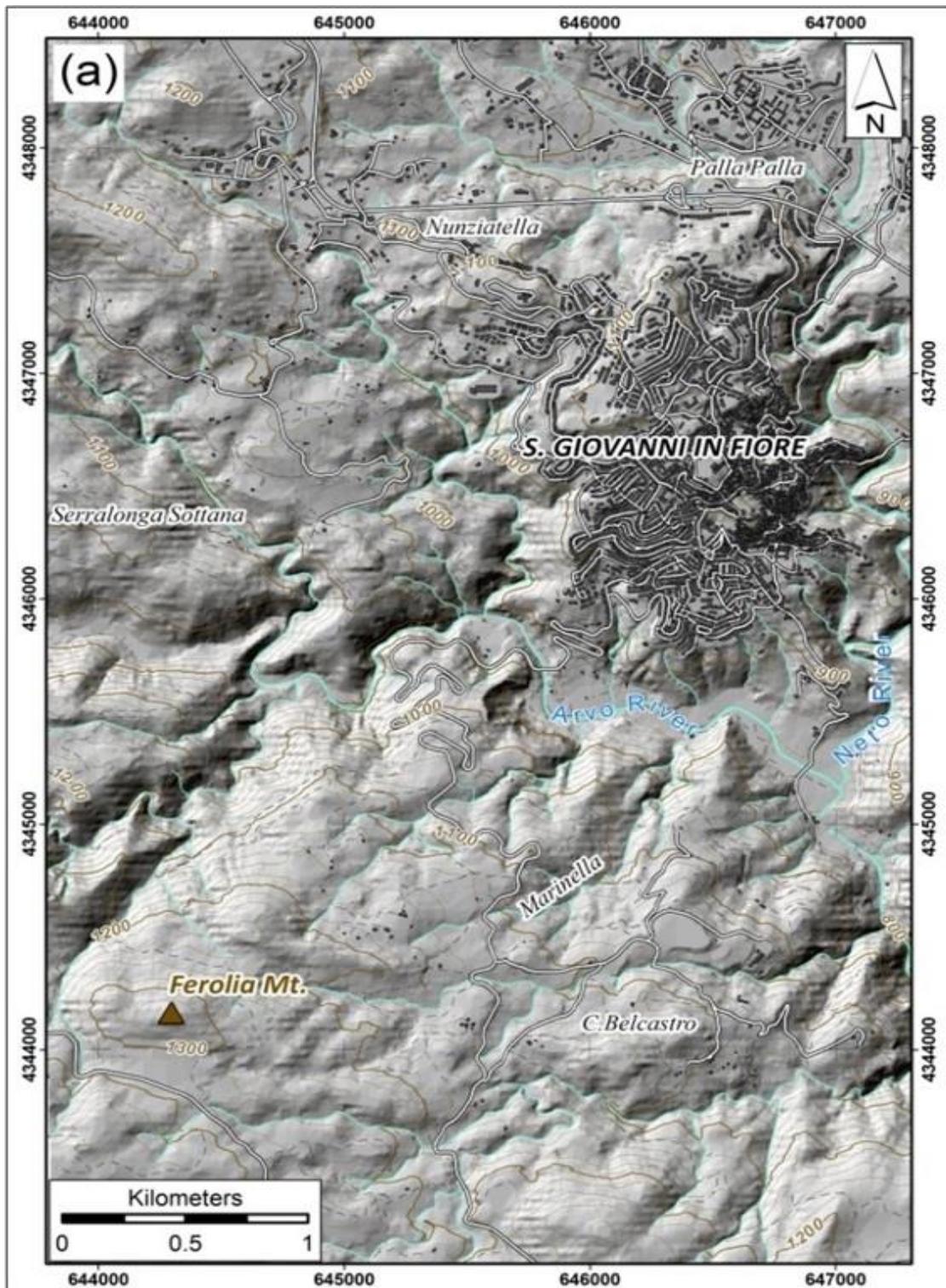


Fig. 3.10 - DTM dell'area di studio.

Il complesso sistema di faglie che interessa il territorio, ha generato discontinuità altimetriche e plano-altimetriche di crinale, faccette triangolari e trapezoidali sui versanti. Questi ultimi risultano essere molto acclivi ed incisi da valli strette ed in approfondimento, caratterizzate da un'elevata energia di rilievo (Fig. 3.11).

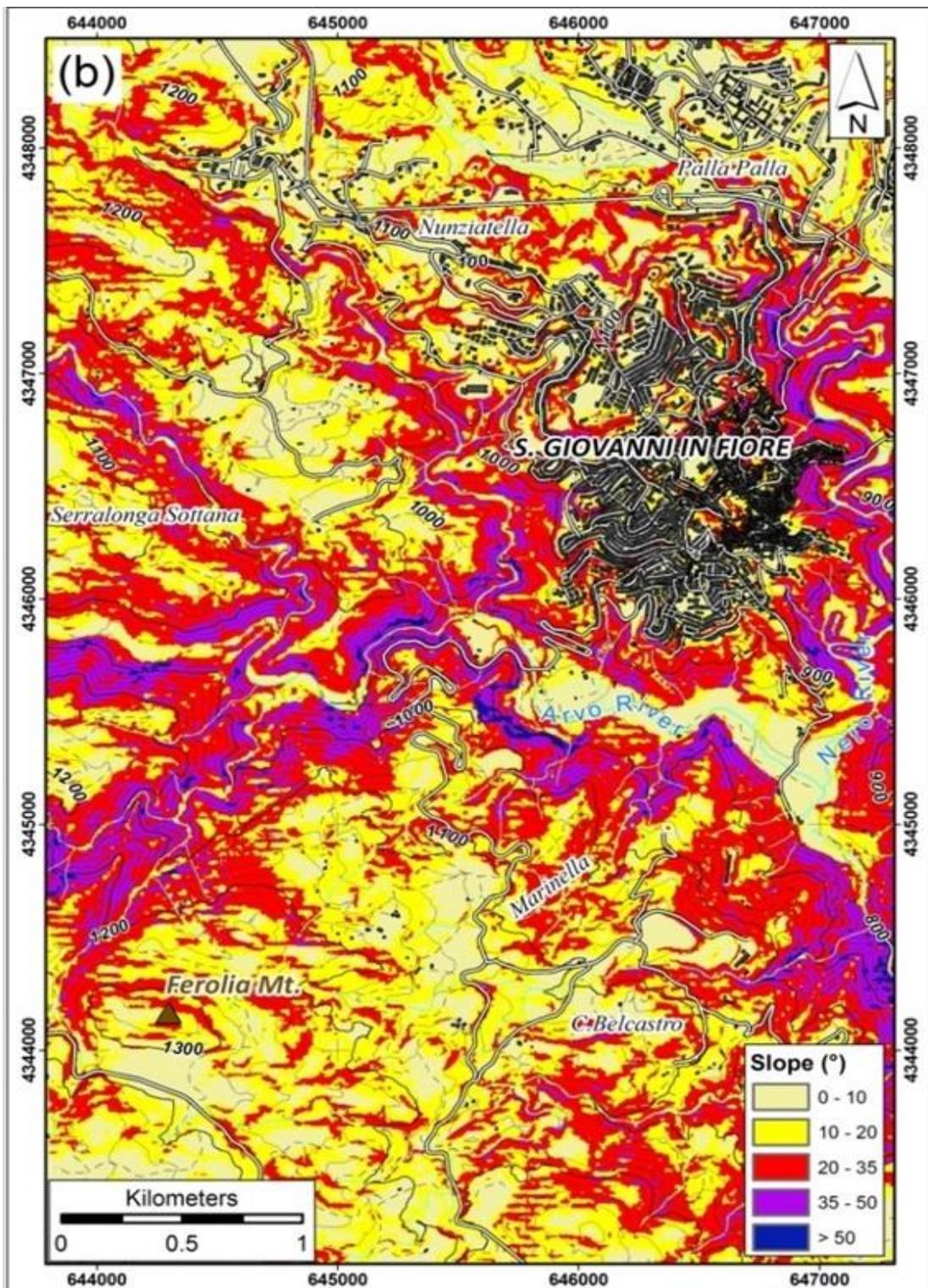


Fig. 3.11- Carta delle pendenze (espressa in gradi) dell'area di studio (Borrelli et al. 2015).

L'azione di erosione e di approfondimento del reticolo idrografico, che determina un generale aumento dell'energia di rilievo ed una morfologia molto accidentata in tutta l'area di studio (Fig. 3.10), è legata principalmente alle fasi di sollevamento tettonico che hanno interessato il massiccio della Sila durante il Pleistocene (*Scarciglia et al., 2008; Scarciglia, 2015; Scarciglia et al., 2016; Molin et al., 2012; Olivetti et al., 2012*). L'area di studio, si dispone su di un'altimetria varia caratterizzata da un notevole dislivello: si va da una quota minima di 782 m lungo il F. Arvo, ad una massima di 1.360 m. (Monte Ferolia).

Il territorio oggetto di studio, essendo posto al centro della Sila Grande, presenta le caratteristiche forme degli altipiani montani, con cocuzzoli che spiccano da ambiti territoriali sub-pianeggianti (*Scarciglia et al., 2008; Dramis et al., 1990; Sorriso-Valvo, 1993; Matano et al., 1999; Molin et al., 2004, 2012*) e che in alcuni casi superano abbondantemente i 1000 m. L'irregolarità del profilo è da mettere in relazione oltre che ai fenomeni di erosione differenziale, anche a dislocazioni tettoniche ed a fenomeni franosi localizzati.

I versanti sono variamente incisi da una serie di impluvi e fossi collettori, il cui andamento perpendicolare alle incisioni principali è tendenzialmente parallelo, determinando nell'insieme un reticolo idrografico di tipo sub-dendritico ad angolare, in quanto spesso adattato strutturalmente. In particolare, l'area di studio è solcata da numerosissimi corsi d'acqua, la maggioranza dei quali a carattere tipicamente torrentizio, con possibili periodi di semisiccità in estate. I corsi più rilevanti sono (in ordine di lunghezza):

- fiume Neto
- fiume Arvo

Il fiume Neto è il principale fiume dell'altopiano silano e il secondo fiume più importante della Calabria, dopo il Crati. Ha una lunghezza di 80 km, una portata media di circa 15 m³/s alla foce e una superficie di bacino di 1.073 km². Nasce alle falde nord-orientali del Timpone Sorbella, nelle immediate vicinanze di Botte Donato (Cosenza), ad una quota di circa 1850 m s.l.m (Fig. 3.12).

Esso scorre lungo tutto il fianco orientale del centro abitato, è profondamente incassato e riceve svariati affluenti, che ne incrementano progressivamente la portata: da destra i fiumi Arvo e Ampollino, da sinistra il fiume Lese e nei pressi della foce, la fiumara Vitravo.

Il fiume Arvo ha una lunghezza di 15 km, nasce dal *Monte Timpa Orichella* nei pressi di Botte Donato, alimenta l'omonimo lago, attraversa la frazione di Loriga e confluisce, infine, nel fiume Neto presso località delle *Iunture*, divenendone uno dei principali affluenti.

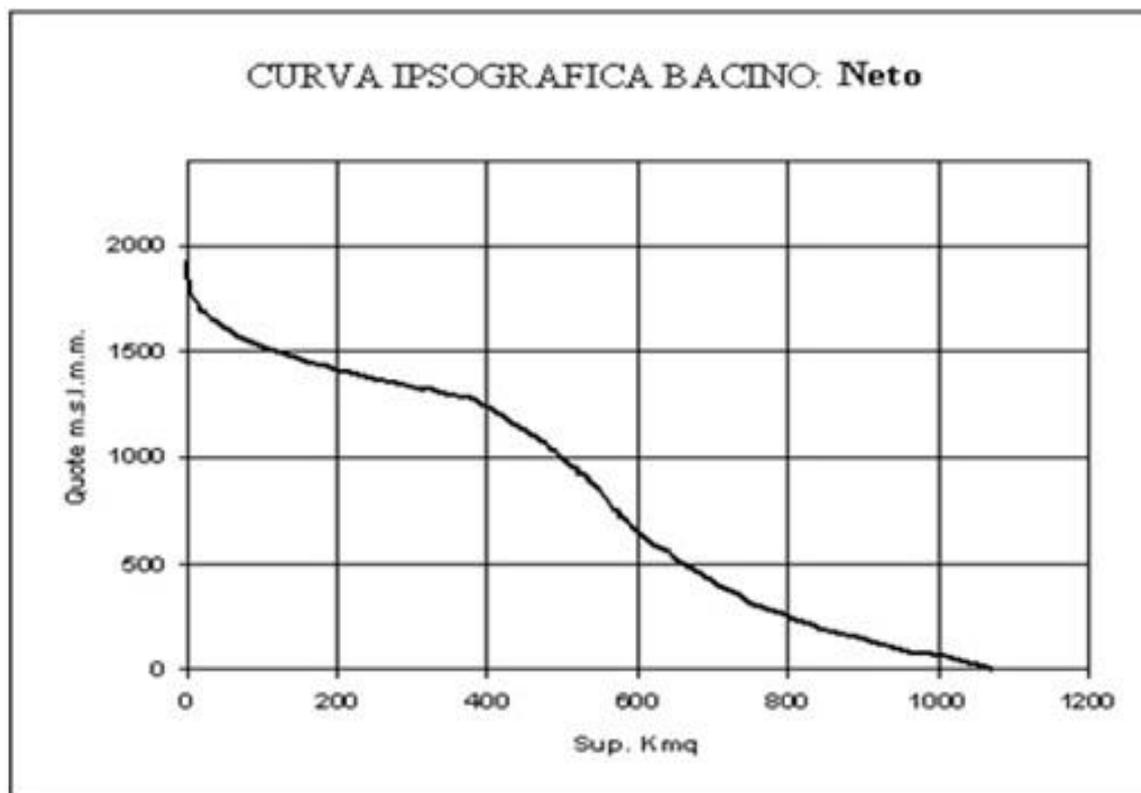


Fig. 3.12- Curva ipsografica del Fiume Neto (Centro Funzionale Meteo-Idrologico della Regione Calabria).

I movimenti in massa, nella maggior parte dei casi sono localizzati e di piccola entità. Inoltre, la franosità risulta spesso poco evidente o mascherata, a causa di lunghi periodi di inattività durante i quali, i processi di modellamento dei versanti hanno cancellato, in parte o completamente l'originaria conformazione da frana.

Nel complesso i movimenti in massa interessano il 4% dell'area di studio (Fig. 3.13).

Dal punto di vista tipologico, sono stati rilevati due tipi di movimento in massa: *scorrimento di detrito* e *scorrimento in roccia*. Le frane da scorrimento di detrito (Fig. 3.14), rappresentano circa il 45% del volume totale delle aree in frana (Fig. 3.16) e sono localizzate lungo i versanti che delimitano il corso dei fiumi Arvo e Neto. In genere si tratta di fenomeni con un meccanismo di sviluppo molto rapido che interessano le coperture colluviali ed in misura minore i terreni residuali e saprolitici. Tali fenomeni in alcuni casi evolvono in colate di detrito che convogliano il materiale verso la base dei versanti. Nella maggior parte dei casi si tratta di scorrimenti rotazionali con una superficie di rottura semicircolare e concavità rivolta verso l'alto.

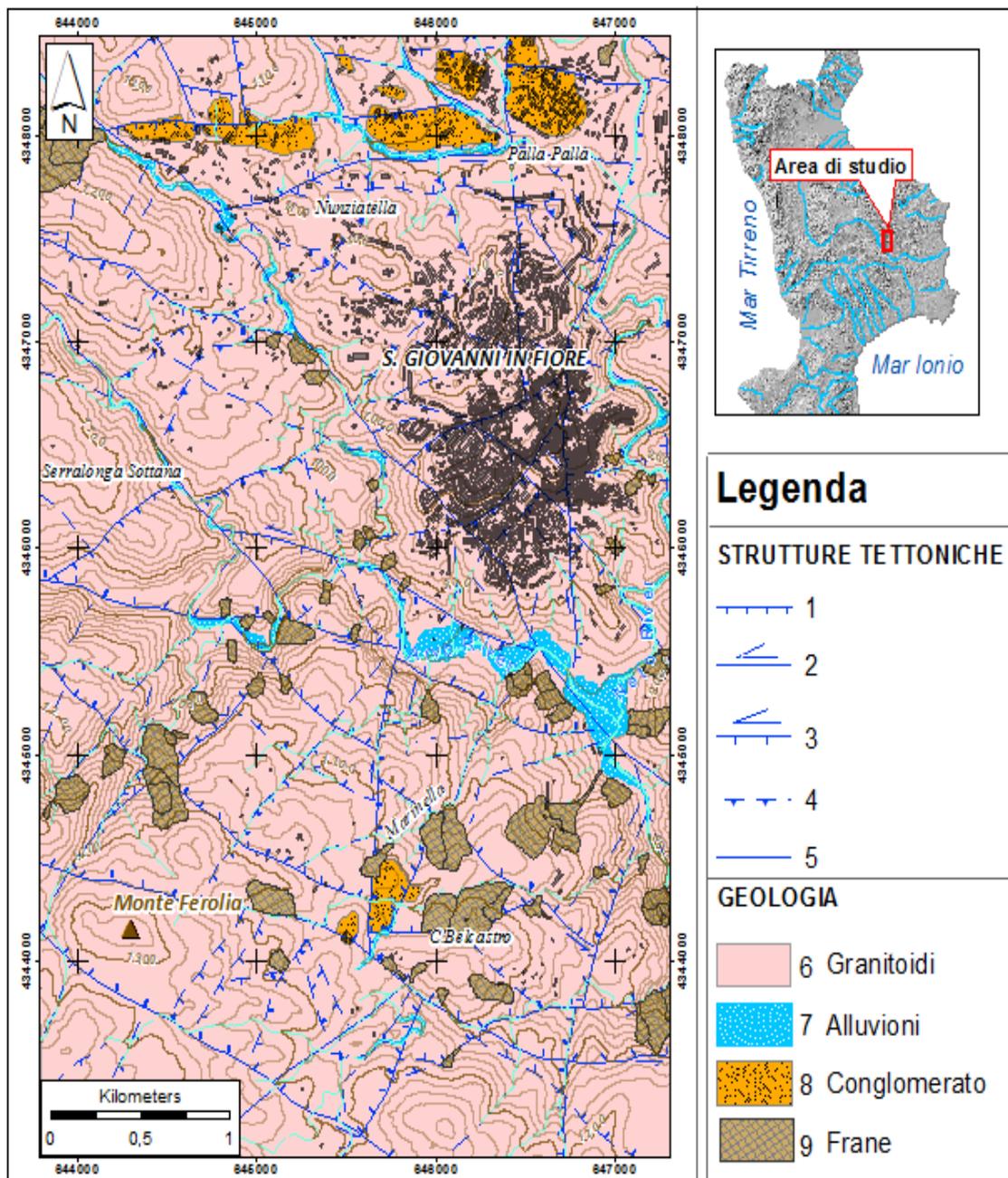


Fig. 3.13– Carta delle frane dell’area di studio.

La seconda tipologia di frane rilevata nell’area di studio, è quella degli scorrimenti in roccia (Fig. 3.15), che sono confinati alla porzione nord-occidentale dell’area in esame, essi interessano circa il 45% del volume totale delle aree in frana (Fig. 3.16) e risultano quindi più frequenti rispetto agli scorrimenti di detrito.

Per quanto riguarda i fenomeni cartografati appartenenti alle 2 tipologie di instabilità, non sono stati osservati nel corso dei rilevamenti di campagna, indizi di attività.

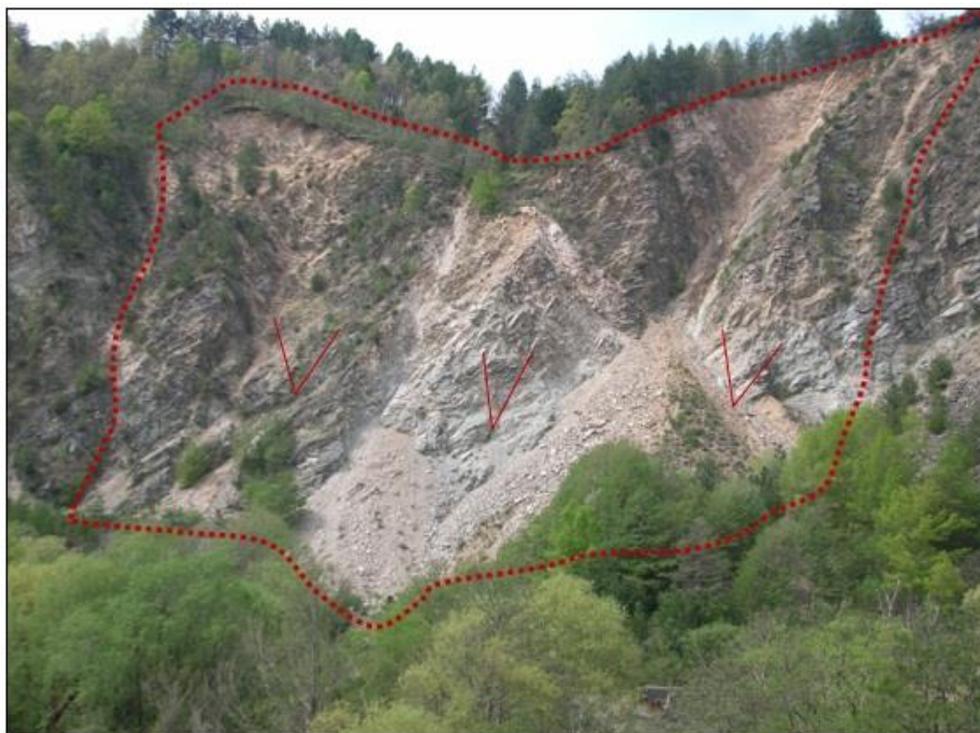


Fig. 3.14- Frana da scorrimento di detrito all'interno delle cave di granito



Fig. 3.15- Frana da scorrimento in roccia

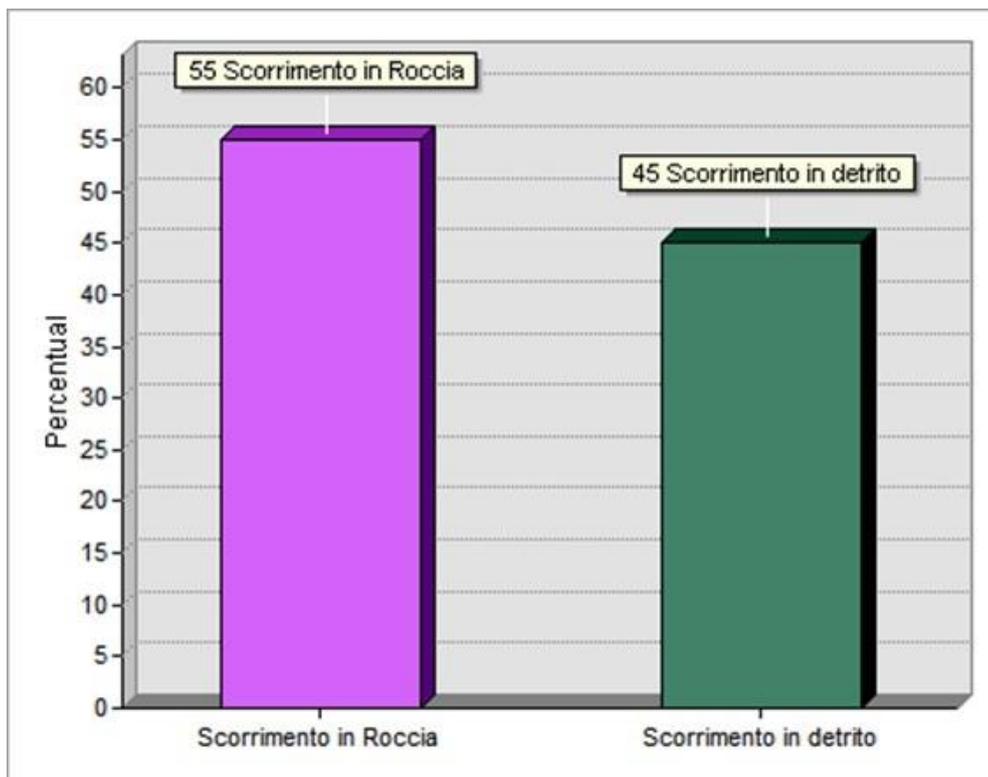


Fig. 3.16- Percentuale delle tipologie di frana presenti nell'area di studio.

3.2 CARTA DEL GRADO DI ALTERAZIONE

Attraverso l'**analisi foto-interpretativa**, in cui sono state osservate le caratteristiche di acclività, la morfologia dei versanti e le caratteristiche delle coperture vegetali, è stato possibile delimitare due macroclassi di alterazione: zone con comportamento meccanico da roccia sciolta e zone con comportamento meccanico da roccia tenera o lapidea. Successivamente si è proceduto con **un rilievo speditivo di campagna**, al fine di delimitare in via preliminare, le zone a diverso grado di alterazione, sulla base di criteri visivi e qualitativi. A tale scopo, è stato effettuato un accurato rilevamento di campagna, su base topografica in scala 1:5.000, utilizzando osservazioni e test speditivi, secondo la procedura ed i criteri metodologici proposti da Gullà & Matano, (1994).

Gli affioramenti analizzati, hanno permesso di individuare cinque delle sei classi di alterazione previste dallo schema mostrato precedentemente in Tabella 2.1 (Fig. 3.17).

Nello specifico risulta che nell'area di studio non sono presenti in affioramento rocce plutoniche fresche (classe I), mentre le rocce debolmente alterate (classe II) che sono state riscontrate localmente in alcuni affioramenti, presentano spessori tali da non poter essere

cartografati. Sono stati osservati comunemente litotipi altamente alterati (classe IV) e completamente alterati (classe V), con rilevante presenza in affioramento di terreni di classe VI (in prevalenza colluvioni).

Le rocce debolmente alterate (classe II), sono di colore grigio biancastro, la decolorazione (marrone-rossastra) si osserva solo lungo le discontinuità; la tessitura e la microstruttura della roccia d'origine sono integralmente preservate; emette un suono squillante quando è colpita con la testa del martello da geologo (Fig. 3.18, foto a & b).

Le rocce moderatamente alterate (classe III), sono di colore rosa pallido, passante al marrone-rossastro lungo le discontinuità, la decolorazione è quasi completa, ma è possibile osservare tracce della colorazione originaria nei nuclei degli ammassi rocciosi individuati dai vari sistemi di discontinuità; la tessitura e la microstruttura della roccia d'origine sono ancora ben preservate; la roccia emette un suono squillante quando viene colpita con la testa del martello da geologo (Fig. 3.18 - foto c & d).

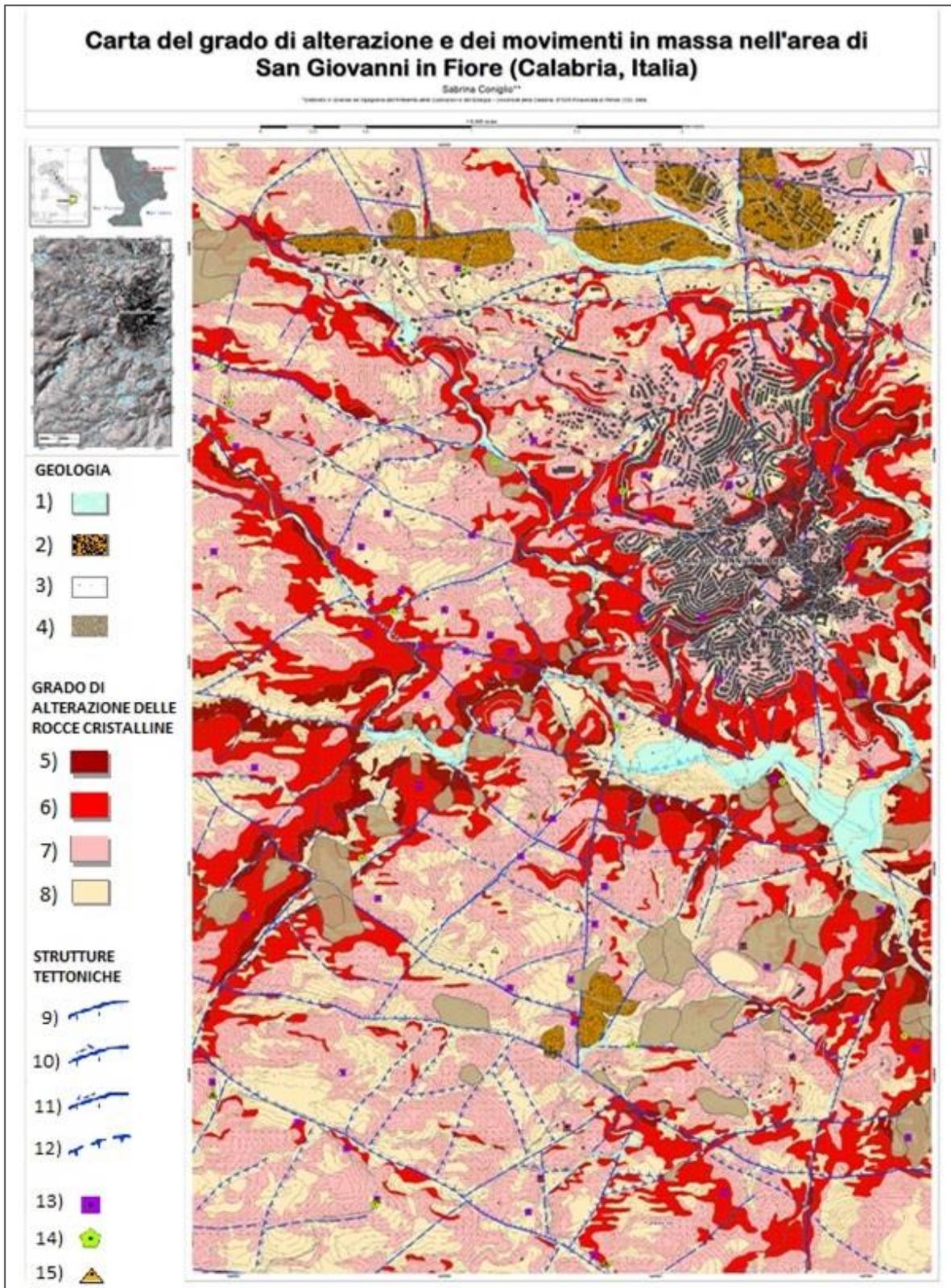


Fig. 3.17 – Carta del grado di alterazione: 1) depositi alluvionali (Olocene); 2) depositi clastici (Pliocene sup. – Pleistocene medio); 3) rocce granitoidi appartenenti all'Unità della Sila (Paleozoico); 4) movimenti in massa; 5) rocce moderatamente alterate (classe III); 6) rocce altamente alterate (classe IV); 7) rocce completamente alterate (classe V); 8) terreni residui, colluviali e detritici (classe VI); 9) faglia normale; 10) faglia trascorrente destra riattivata in normale; 11) faglia trascorrente sinistra riattivata in normale; 12) Thrust a basso angolo incerti; 13) profili di alterazione studiati; 14) campioni utilizzati per l'analisi petrografica; 15) campioni utilizzati per l'analisi geotecnica. (Borrelli et al., 2015 modificata).

I rocce altamente alterate (classe IV) sono completamente decolorati, fortemente alterate chimicamente e con una elevata degradazione fisico-meccanica; i litotipi appartenenti a questa classe si presentano con un colore variabile dal grigio al marrone chiaro. Malgrado l'alterazione molto spinta di queste rocce, gli originari caratteri tessiturali e le superfici di discontinuità sono ancora ben preservati; emette un suono da intermedio a sordo quando è colpita con la testa del martello da geologo (Fig. 3.18 - foto e & f).

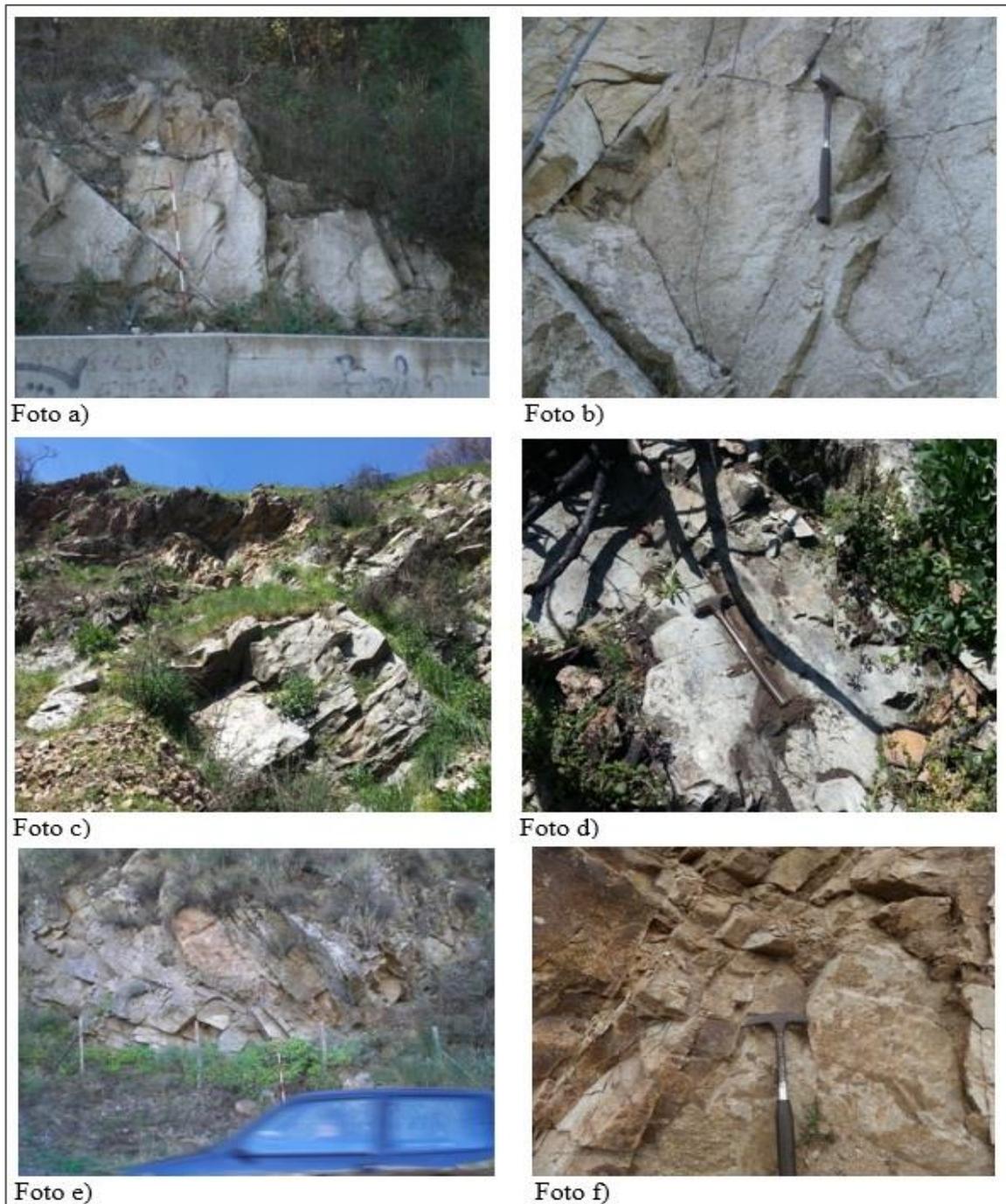


Figura 3.18 - Aspetto delle rocce plutoniche rilevate, in relazione al grado di alterazione: Foto a) e Foto b) rocce debolmente alterate (classe II); Foto c) e Foto d) rocce moderatamente alterate (classe III); Foto e) e Foto f) rocce altamente alterate (classe IV).

Le rocce completamente alterate o “saprolite” (classe V) si presentano come una roccia intimamente decolorata e completamente disgregata, che ha assunto la consistenza di un terreno, ma nella quale sono ancora riconoscibili le discontinuità allo stato relitto ed è parzialmente preservata la tessitura originaria. Il colore dei granitoidi di questa classe varia dal bianco-rosato al marrone-rossastro; la punta del martello da geologo vi si indenta profondamente; emette un suono sordo quando è colpita con la testa del martello da geologo (Fig. 3.19 - foto a & b).

Nell’ambito dei terreni residuali e delle colluvioni (classe VI) sono state raggruppate le rocce sciolte a granulometria variabile da sabbia con ghiaia limosa a sabbia con limo, di colore da marrone a marrone-rossastro, nelle quali è completamente distrutta la tessitura originaria della roccia. I terreni residuali, sono il prodotto finale dei processi di alterazione in posto; essi non hanno subito trasporto e non presentano alcuna traccia dell’originaria tessitura (Fig. 3.19- foto c). Le colluvioni presentano una struttura generalmente disorganizzata, raramente si riconoscono allineamenti sub-orizzontali di piccoli ciottoli a spigoli vivi e strutture laminari legate a fenomeni conseguenti al dilavamento superficiale (Fig. 3.19- foto d).



Fig. 3.19- Aspetto delle rocce plutoniche rilevate in relazione al grado di alterazione: Foto a) e Foto b) rocce completamente alterate (classe V); Foto c) terreno residuale (classe VI); Foto d) colluvioni (classe VI).

Dall'osservazione della carta del grado di alterazione, si evince che le rocce presenti nell'area di studio sono interessate da un intenso grado di alterazione, come dimostra il fatto che i litotipi spazialmente più diffusi rientrano nelle classi IV, V e VI. L'esame della carta (Fig. 3.17), evidenzia una notevole articolazione delle varie classi di alterazione, con roccia da moderatamente (classe III) ad altamente alterata (classe IV), affiorante nelle incisioni torrentizie, passante gradualmente verso l'alto a roccia completamente alterata (classe V). I terreni di classe VI, rappresentati in prevalenza da colluvioni, si rinvencono generalmente nelle zone di concavità o di accoglienza morfologica (ad esempio sui ripiani dei versanti). Nella porzione centrale dell'area di studio, è stata rilevata la presenza di nuclei sferici e subsferici (corestones) di roccia più o meno fresca (classe III e IV) all'interno di materiale incoerente di classe V-VI (Fig. 3.20)



Fig. 3.20- Alterazione sferoidale su rocce plutoniche, rilevata nell'area di studio.

Le percentuali di affioramento delle varie classi di alterazione, riferite alla superficie totale di affioramento delle rocce granitoidi, risultano essere le seguenti (Fig. 3.21): la classe VI è presente nel 34,91 % della superficie rilevata, la classe V nel 36,96 %, la classe IV nel 22,07 %, la classe III è presente su una percentuale di superficie pari al 6,06 %.

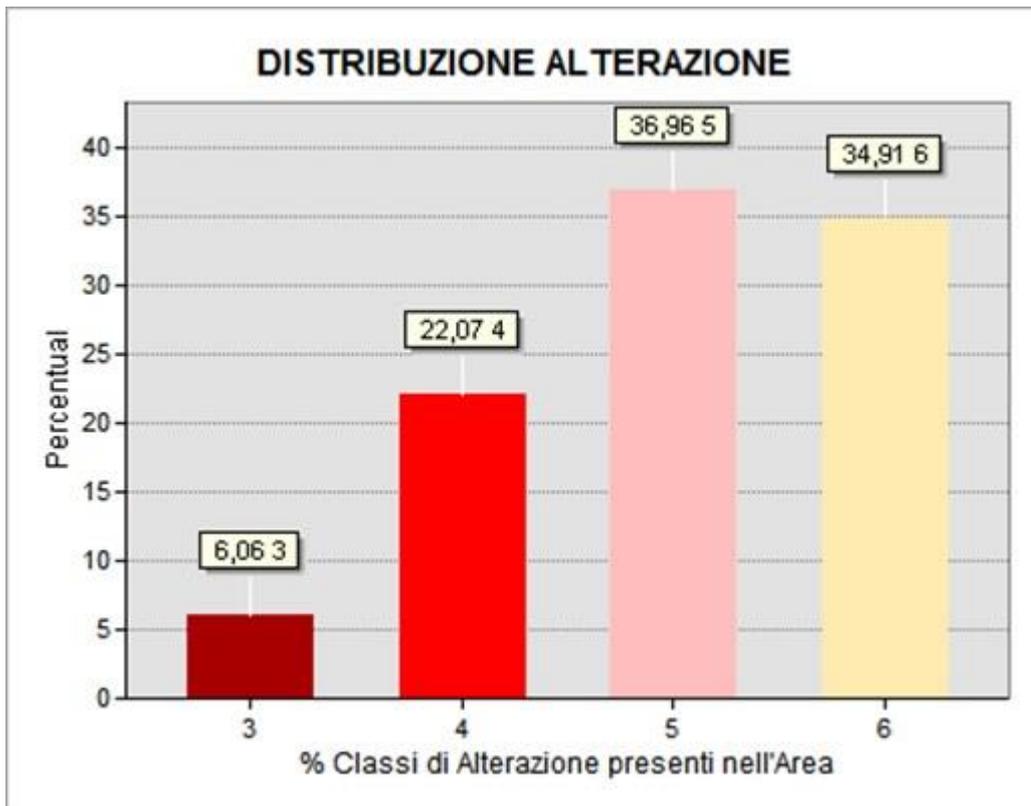


Fig. 3.21 - Istogramma delle distribuzioni percentuali, in affioramento, delle classi di alterazione nelle rocce plutoniche rilevate.

I dati raccolti nei 55 punti di controllo (corrispondenti ad altrettanti fronti) e riassunti nelle figure in appendice da 1 a 28, hanno permesso di caratterizzare le varie zone a diverso grado di alterazione (dal punto di vista qualitativo e semi-quantitativo) e di ottenere informazioni utili riguardo la sequenza con cui si ritrovano i vari gradi di alterazione nell'area di studio. Il *weathering*, infatti, si sviluppa nella massa rocciosa con il procedere dei processi fisici e chimici. Tra la roccia madre fresca e la superficie topografica è compresa una sequenza di stadi a diverso grado di alterazione, che costituiscono il cosiddetto *profilo di alterazione* (Baynes et al., 1978). Nelle rocce granitoidi in genere, tale profilo di alterazione, è di tipo *semplice*, in quanto si osserva un progressivo incremento del grado di alterazione verso la superficie.

Nell'area di studio è stato rilevato che, nella fascia altimetrica compresa tra 780 m e 930 m, la presenza di corsi d'acqua con alveo molto inciso ed in progressivo approfondimento, porta a giorno volumi di roccia meno alterata. In particolare i fronti di roccia granitoidi analizzati in tali contesti, presentano generalmente un profilo semplice costituito da un singolo orizzonte di classe III, che a seconda delle condizioni di esposizione locali, presenta uno spessore affiorante che va da un minimo di 5 m ad un massimo di 20-30 m. I valori di rimbalzo misurati con il martello di Schmidt, rientrano in un intervallo compreso tra 25 e 45.

Le masse rocciose di classe III, sono generalmente molto fratturate e caratterizzate dalla presenza di discontinuità di natura tettonica, che in prossimità delle strutture principali producono fasce di roccia ridotte alla consistenza di un terreno. Nella fascia altimetrica compresa tra i 930 m e i 1030 m s.l.m., prevalgono litotipi rocciosi appartenenti alla classe IV, che presentano spessori variabili da 5 a 10 m s.l.m. I valori di rimbalzo del martello di Schmidt rientrano in un intervallo compreso tra 10 e 30. I fronti collocati nella fascia altimetrica, tra i 1030 e i 1360 m s.l.m., presentano uno stato di alterazione avanzato, in cui la roccia si presenta completamente alterata (classe V). I valori di rimbalzo misurati con il martello di Schmidt sono risultati variabili da 0 a 17. Nelle porzioni alte dei versanti la classe V diviene prevalente sui fronti, i quali sono costituiti da un unico orizzonte continuo di terreni saprolitici, al di sopra dei quali si ritrovano localmente depositi colluviali e residuali di classe VI. I valori di rimbalzo misurati con il martello di Schmidt in queste zone, variano da 0 a 16 per la classe V e hanno valori chiaramente nulli VI. Lo spessore dei fronti è variabile da 2 a 5 m. È importante evidenziare che nell'ambito area di studio, i terreni di classe VI sono rappresentati quasi esclusivamente da depositi colluviali, piuttosto che da terreni residuali. Ciò è dovuto essenzialmente ai fenomeni di modellamento dei versanti, che provvedono alla rimozione e all'allontanamento della copertura residuale, attraverso i processi di denudazione.

In conclusione, lo studio sui fronti ha permesso di identificare alcune situazioni che, relativamente agli spessori esposti, sono state ritenute rappresentative dei profili di alterazione osservati nell'area di studio (Fig. 3.22 – 3.26).

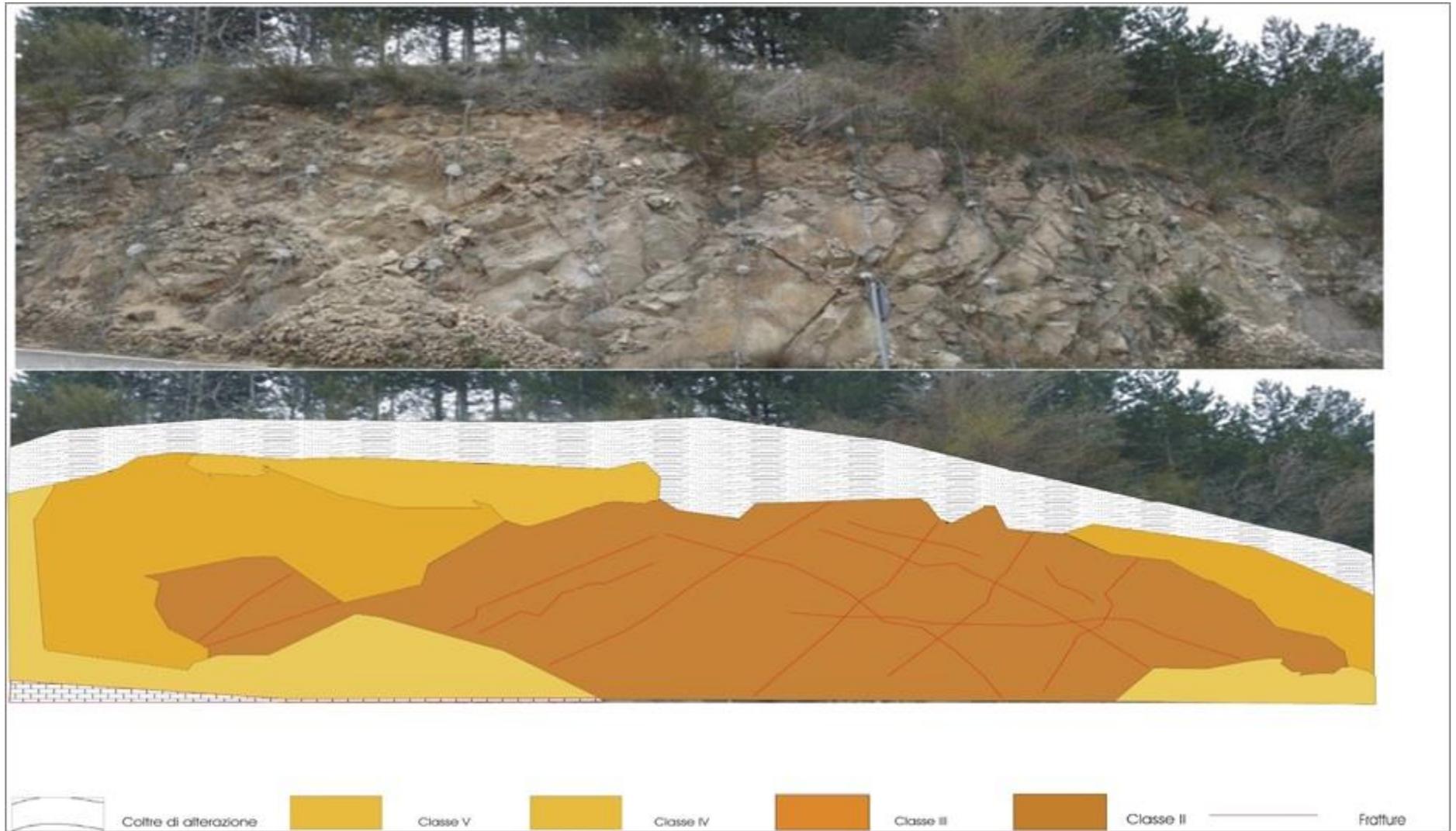


Fig. 3.22 - Profilo di alterazione tipico di rocce di classe II: in alto la foto del fronte esaminato; in basso la ricostruzione del profilo di alterazione.

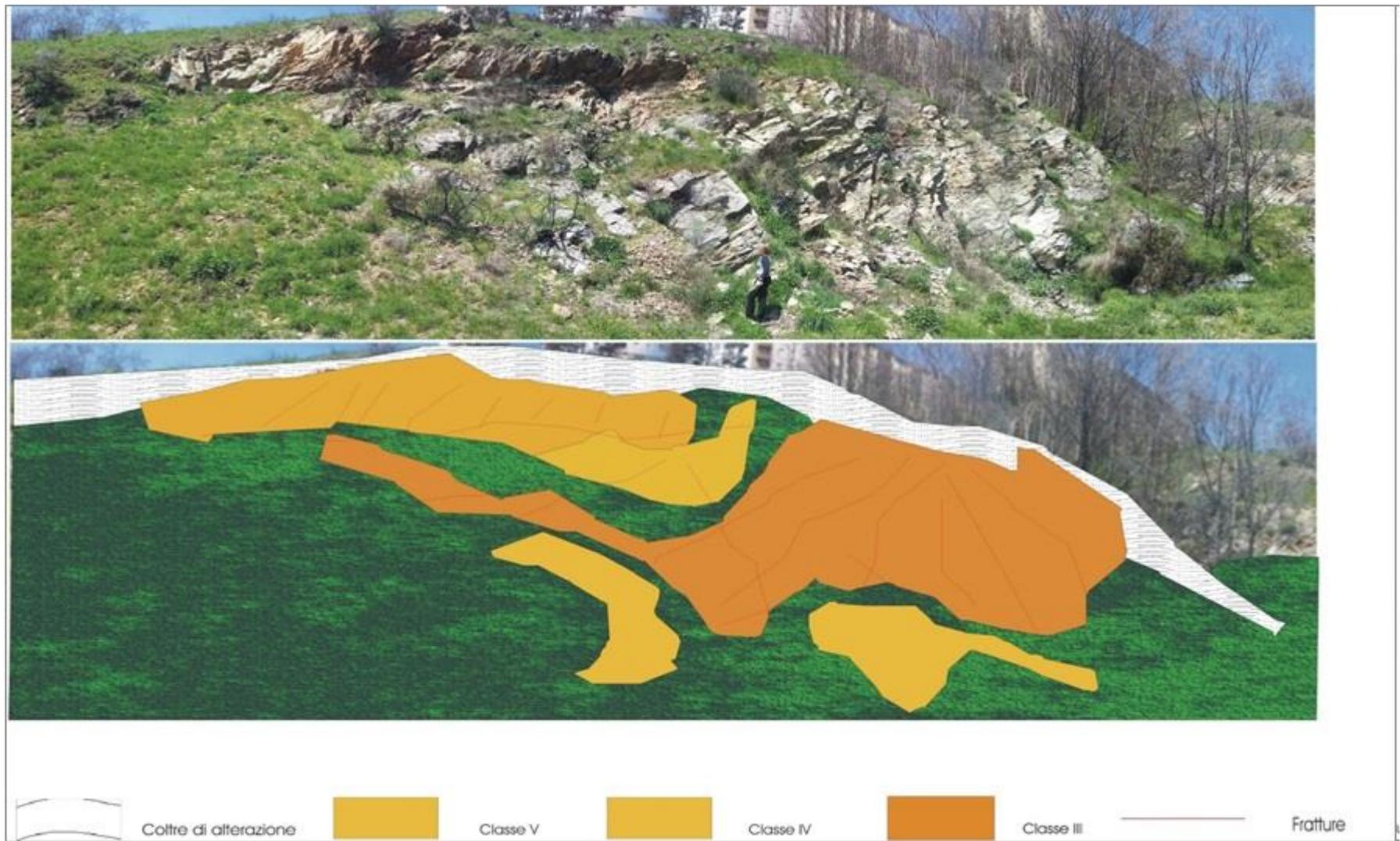


Fig. 3.23 - Profilo di alterazione tipico di rocce di classe III: in alto la foto del fronte esaminato; in basso la ricostruzione del profilo di alterazione.

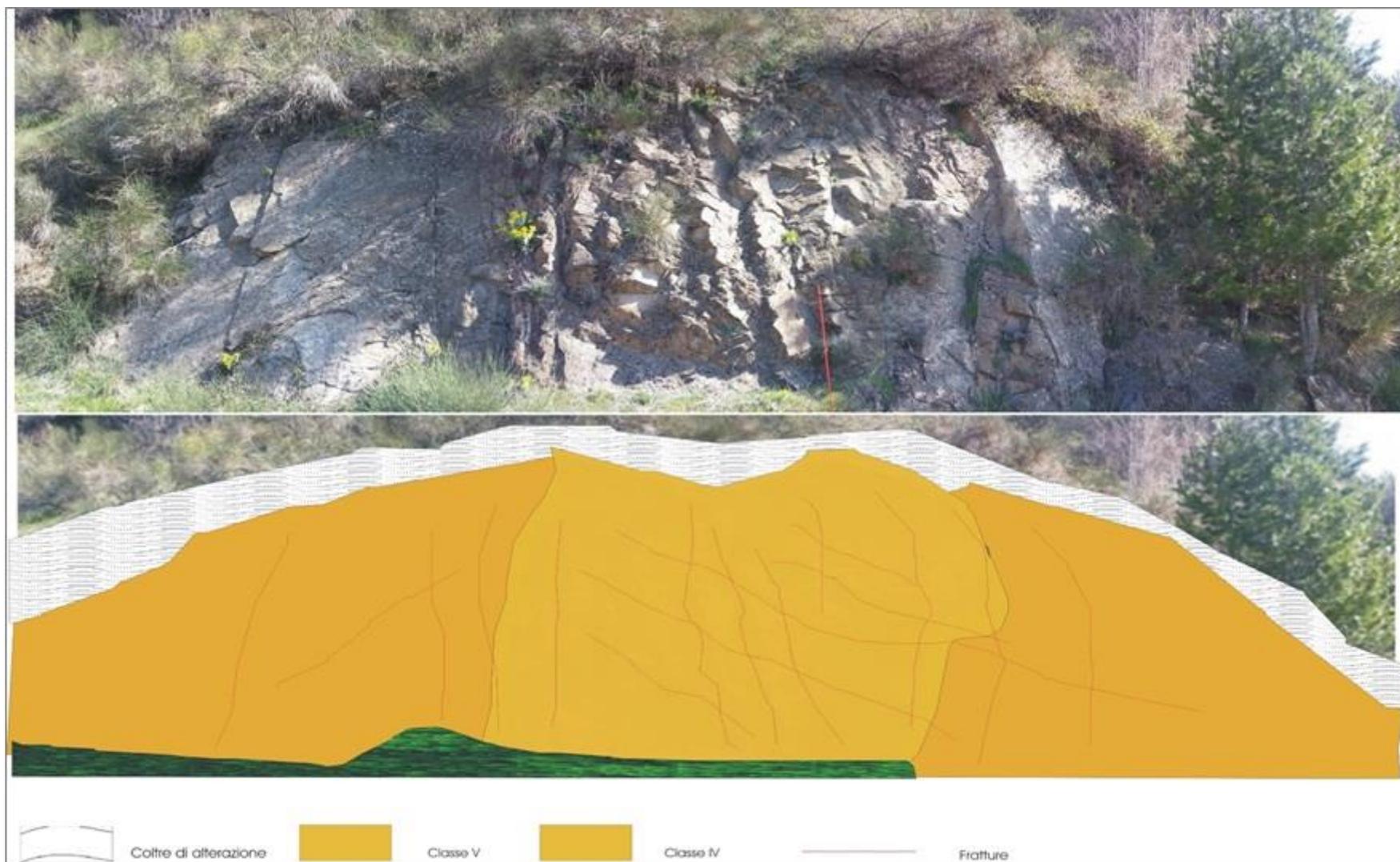


Fig. 3.24 - Profilo di alterazione tipico di rocce di classe IV: in alto la foto del fronte esaminato; in basso la ricostruzione del profilo di alterazione.

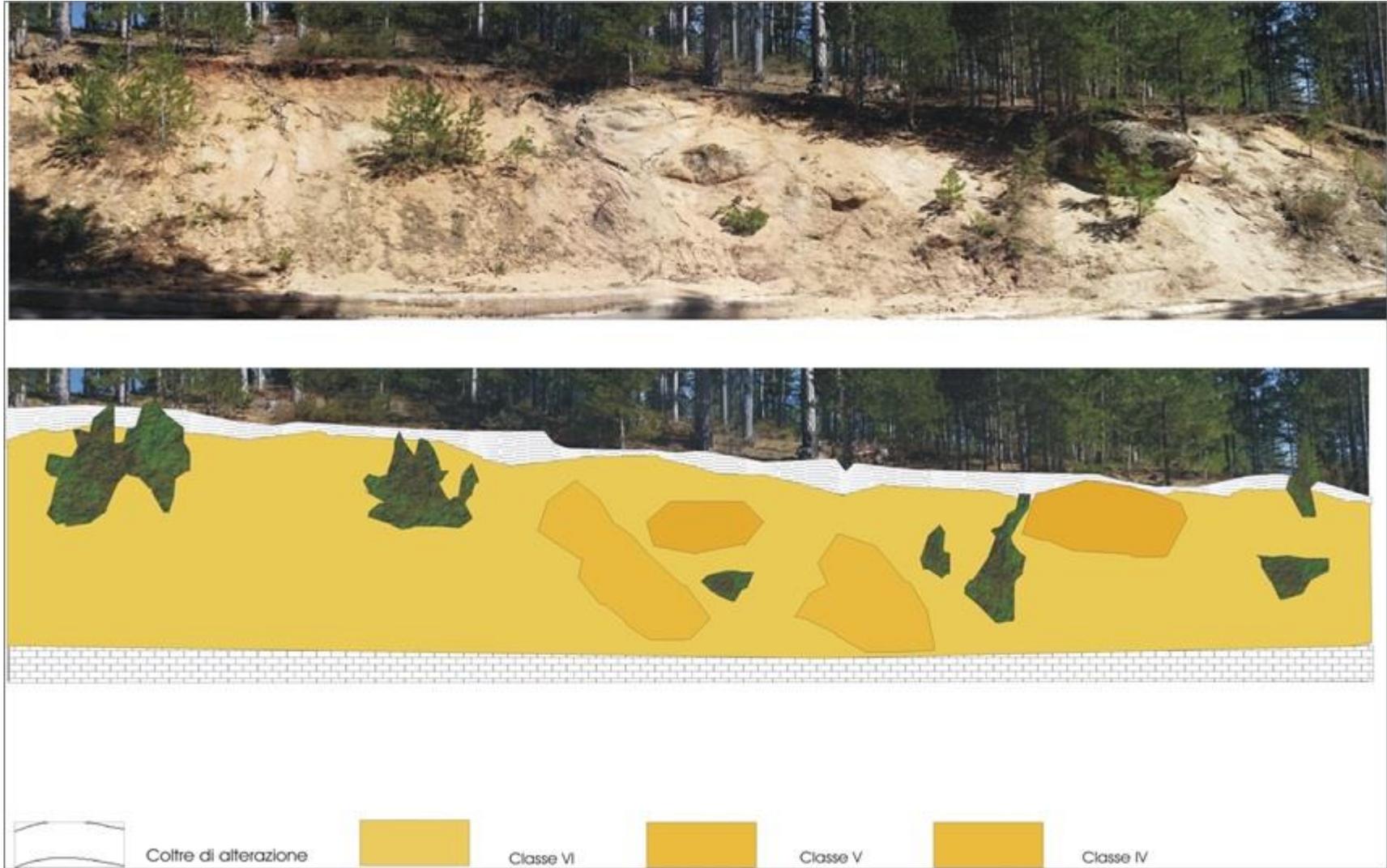


Fig. 3.25 - Profilo di alterazione tipico di rocce di classe V: in alto la foto del fronte esaminato; in basso la ricostruzione del profilo di alterazione.



Fig. 3.26 - Profilo di alterazione tipico di rocce di classe VI: in alto la foto del fronte esaminato; in basso la ricostruzione del profilo di alterazione.

3.3 INDAGINI MINERALOGICHE

Dai risultati delle analisi è possibile distinguere i seguenti gruppi di rocce:

- graniti
- quarzo-monzoniti
- tonaliti
- granodioriti

La paragenesi mineralogica principale è data da plagioclasio, k-feldspato, quarzo e biotite; tra i minerali accessori compare la muscovite, mentre sericite, clorite, ossidi di ferro, minerali argillosi, fratture e vuoti rappresentano i principali prodotti di alterazione (Tab. 3.1-3.2; Foto 1 e 2).

Campione	Qz (%)	Pl (%)	K-fs (%)	Bt (%)	Cl (%)	Ms (%)	Src (%)	Pl alterato (%)	FeOX+Argillosi (%)	Fratture (%)	Vuoti (%)
P1	14,78	31,18	30,48	0,23	7,85	7,39	1,39	0,92	2,31	0,00	3,46
P2	12,25	23,08	31,05	9,40	0,00	5,41	4,27	3,70	4,27	1,71	4,84
P3	15,67	23,93	23,93	6,84	0,28	3,70	7,98	6,55	3,70	1,14	6,27
P4	3,39	6,50	5,93	0,56	0,28	0,85	9,60	14,41	14,69	15,25	28,53
P5	4,25	21,25	40,51	7,08	0,00	2,55	18,70	2,27	2,27	0,85	0,28
P6	7,78	20,96	32,93	8,08	0,00	2,10	5,39	7,78	3,29	3,59	8,08
P7	5,26	22,06	30,83	10,28	0,00	1,50	12,03	2,76	3,26	3,76	8,27
P8	8,05	4,60	16,86	2,68	0,00	3,45	8,05	9,96	6,51	1,53	38,31
P9	17,00	14,29	31,53	5,17	0,25	7,14	8,13	6,65	1,48	1,48	6,90
P10	15,64	17,69	23,59	1,28	0,26	15,38	5,90	8,46	5,38	2,82	3,59
P11	19,66	11,03	29,66	5,52	0,00	6,21	6,55	10,34	2,41	5,17	3,45
P12	15,12	6,63	47,75	3,98	6,90	0,80	5,84	3,71	1,86	4,24	3,18
P13	12,89	13,68	40,53	1,32	6,58	1,32	11,84	4,47	2,63	2,11	2,63
P14	8,48	28,28	27,25	3,34	0,00	3,34	6,68	9,77	3,60	7,71	1,54
P15	8,82	32,72	25,74	1,47	15,44	0,74	4,04	2,21	6,25	0,74	1,84
P16	10,68	25,48	20,55	0,00	9,32	0,55	4,66	9,04	12,60	3,01	4,11
P17	10,22	27,62	24,59	0,00	8,56	0,00	11,05	10,22	6,63	0,55	0,55
P18	19,11	44,60	6,65	17,73	0,55	1,39	0,83	5,82	1,39	1,11	0,83
P19	8,71	22,82	14,11	12,61	3,60	0,30	12,61	7,21	7,21	5,41	5,41
P20	9,94	19,09	22,66	0,60	9,54	0,99	11,93	11,73	4,17	2,58	6,76
P21	3,57	14,68	28,57	5,56	0,79	0,40	10,32	17,06	3,97	7,54	7,54
P22	2,02	6,94	9,83	4,62	0,29	0,29	8,96	11,85	10,69	13,58	30,92
P23	7,30	7,02	18,54	0,00	9,27	0,00	22,47	25,00	4,49	1,40	4,49
P24	9,68	5,11	4,84	0,00	8,60	5,91	27,69	26,88	9,68	0,00	1,61
P25	3,60	11,51	29,14	0,00	6,47	3,24	16,19	20,50	1,80	2,52	5,04
P26	20,00	27,73	24,09	1,36	0,00	1,82	6,82	5,00	9,55	0,00	3,64
P27	8,84	2,27	4,54	2,95	0,00	0,00	14,06	12,24	6,35	14,06	34,69
P28	7,48	2,04	4,31	1,13	0,91	0,91	9,75	12,24	7,48	16,10	37,64
P29	7,41	10,00	17,78	5,56	0,00	0,37	16,30	25,56	3,70	10,00	3,33
P30	10,57	15,63	28,05	6,67	0,23	3,91	9,66	9,20	2,53	2,76	10,80

Tabella 3.1: Analisi modale dei campioni di roccia plutonica studiati (inserisci classi di alterazione)

Campione	Qz (%)	Pl (%)	K-fis (%)	Bt (%)	Cl (%)	Ms (%)	Src (%)	Pl alterato (%)	FeOX+Argillosi (%)	Fratture (%)	Vuoti (%)
P31	5,28	9,57	27,06	6,60	0,00	2,97	15,84	16,50	5,94	3,30	6,93
P32	8,31	14,40	19,67	8,03	0,00	3,60	16,90	22,16	3,32	0,00	3,60
P33	7,97	4,98	10,96	4,98	0,33	4,65	8,64	14,62	7,31	3,32	32,23
P34	7,34	2,78	3,04	9,37	1,01	0,00	12,41	15,19	14,43	8,35	26,08
P35	4,14	3,55	3,55	3,55	0,00	0,00	17,75	8,28	10,65	2,96	45,56
P36	8,92	15,29	14,01	10,83	0,00	0,00	5,10	29,30	10,19	4,46	1,91
P37	16,12	16,12	21,05	7,24	0,33	1,32	10,86	14,14	4,61	5,92	2,30
P38	9,55	6,82	9,32	2,05	0,45	0,00	11,14	10,00	14,09	12,05	24,55
P39	22,20	18,70	25,50	19,00	2,10	4,40	5,20	0,00	0,50	1,70	0,60
P40	19,90	11,00	33,10	14,80	0,50	1,30	8,40	1,20	3,80	4,00	2,00
P41	20,10	7,90	31,00	13,80	1,50	0,20	7,50	3,20	6,80	5,20	1,80
P42	14,20	4,40	9,70	7,80	1,50	0,30	18,40	10,20	5,60	1,20	26,70
P43	22,90	11,80	32,90	15,00	0,60	0,80	7,50	0,00	1,80	3,50	3,00
P44	21,00	8,78	30,40	14,90	1,30	0,10	7,50	2,20	4,62	5,70	4,30
P45	13,70	1,90	29,00	11,70	0,60	0,30	26,80	2,00	3,50	3,50	7,00
P46	21,10	6,20	16,00	3,70	0,20	0,30	15,10	4,30	18,60	12,50	2,00
P47	16,70	5,50	19,80	10,60	0,00	0,30	2,80	27,60	3,50	6,10	6,90
P48	13,00	4,50	13,00	10,10	0,20	0,50	10,00	31,90	4,90	8,30	3,70
P49	13,50	1,20	29,00	12,60	0,60	0,30	17,20	11,60	3,50	3,50	7,00
P50	21,10	6,20	16,00	3,90	0,00	0,30	2,00	17,40	18,60	12,50	2,00
P51	14,20	8,60	9,10	13,40	0,00	0,30	2,80	29,00	4,90	9,70	7,70
P52	18,50	2,70	16,00	1,90	0,00	0,00	8,40	22,80	13,00	14,00	2,80
P53	17,30	0,60	11,00	8,40	0,00	0,30	6,40	22,00	5,20	1,20	26,70
P54	13,10	4,30	31,30	0,60	0,00	0,00	10,00	2,90	0,60	2,00	0,90
P55	4,30	10,80	26,80	4,30	0,00	0,30	5,20	22,60	14,40	9,20	0,70
P56	12,30	0,30	4,60	8,60	0,00	0,30	6,00	18,00	0,30	2,70	46,30
P57	6,30	0,30	13,70	16,50	0,30	0,30	0,30	36,60	23,30	7,00	2,50

Tab 3.2: Analisi modale dei campioni di rocce granitoidi studiati.

Le analisi mediante microscopio ottico hanno messo in luce, in maniera ancora più evidente, come i processi di alterazione agiscano sulle caratteristiche di composizione, tessitura e struttura delle rocce.

I litotipi in esame presentano tutti una struttura olocristallina, eterogranulare e ipidiomorfa, che nei campioni più alterati appare intimamente pervasa da fratture e vuoti sia intergranulari che intragranulari.

Il **K-feldspato** risulta essere il minerale più abbondante, infatti, è mediamente contenuto in quantità del 20%. Esso è rappresentato da ortoclasio e microclino. Nei campioni più freschi l'ortoclasio si presenta generalmente in cristalli subedrali di medie dimensioni, mentre nei campioni alterati risulta variamente fratturato e mostra un aspetto torbido nell'osservazione a nichol paralleli, a causa di un intenso processo di *sericitizzazione*. In alcuni minerali di ortoclasio è possibile osservare smescolamenti perititici di colore grigio chiaro- bianco (foto 2). Il microclino è contenuto in quantità molto inferiori rispetto

all'ortoclasio. Nell'osservazione a nichol incrociati presenta la tipica geminazione polisintetica albite-periclino, che conferisce a questo minerale una struttura a graticcio (Foto 1; Fig. 3.27, foto a; Fig 3.28, foto e ed f).

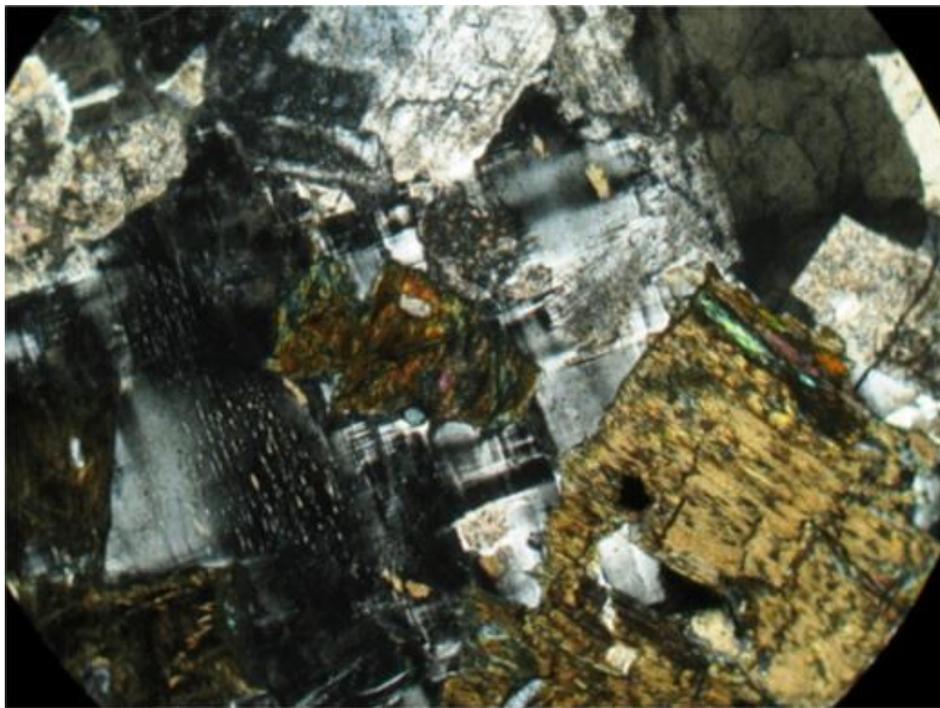


Foto 1: Paragenesi di una roccia granitoide di classe III (n.i 10x).

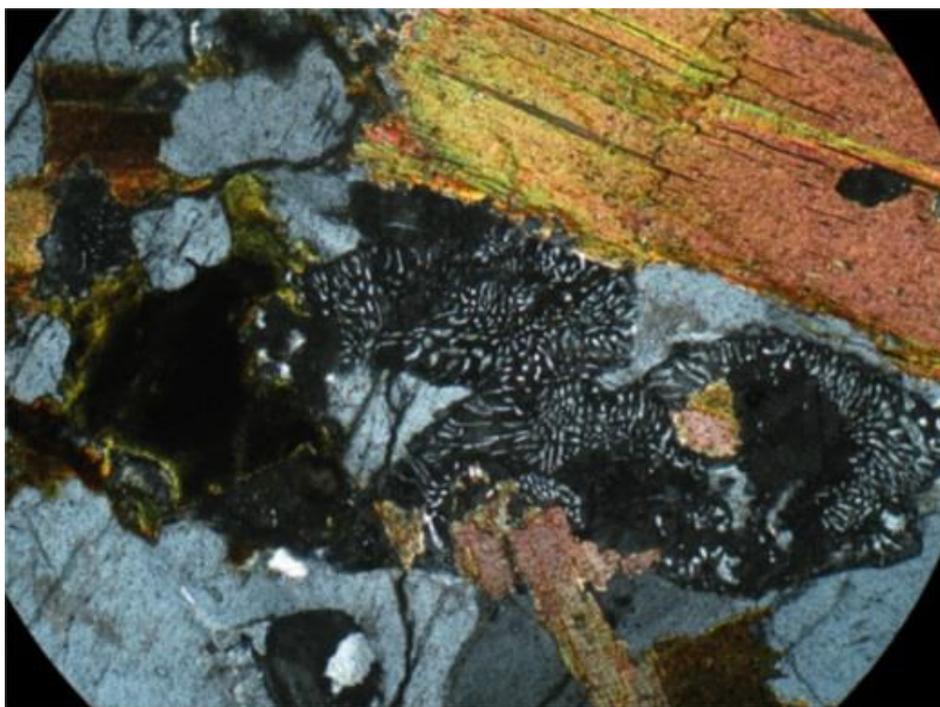


Foto 2: Paragenesi di una roccia granitoide di classe IV (n.i., 10x).

Il **plagioclasio** rappresenta una delle fasi principali, ma è contenuto in quantità inferiori rispetto al K-feldspato. Solamente dieci campioni presentano una percentuale di plagioclasio superiore al 20 %, mentre il contenuto medio è di circa 13%. Nella maggior parte dei casi si rileva la presenza di geminati polisintetici di tipo albite, meno comuni sono i geminati di tipo Albite-Carlsbad (Foto 4) e i plagioclasio zonati (Foto 3).



Foto 3: Plagioclasio zonato e sericitizzato (n.i., 5x)

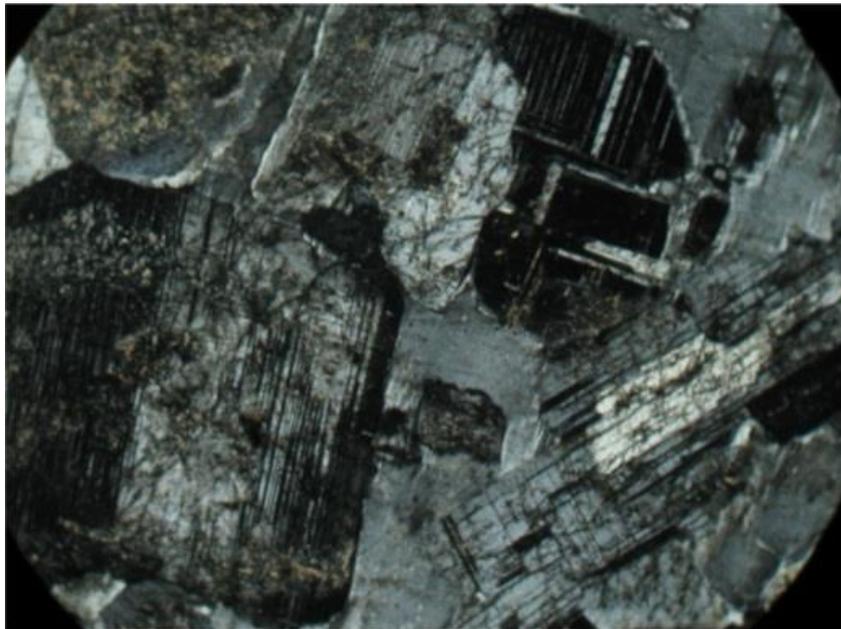


Foto 4: geminazione dei Plagioclasio (n.i., 10x)

In tutti i campioni il plagioclasio risulta alterato in sericite o addirittura completamente sericitizzato, tanto da renderne difficoltosa l'identificazione (Fig. 3.27, foto g; Fig. 3.28, foto c-d).

Il **quarzo** è contenuto mediamente in quantità superiori al 12% in tutti i campioni analizzati. Nell'analisi a nicol incrociati è possibile osservare la tipica estinzione ondulata, che distingue questo minerale. Esso si presenta ben sviluppato e grana grossa solo nei campioni meno alterati (Fig. 3.28, foto a), mentre nelle rocce più alterate è quasi sempre ridotto a piccole dimensioni a causa dell'intensa fratturazione (Fig. 3.28, foto b).

La **biotite** è contenuta mediamente in quantità superiori al 7%. Essa si presenta sotto forma di lamine di dimensioni variabili, da idiomorfe ad allotriomorfe e con bordi sfrangiati (Fig. 3.27, foto a-f; Fig. 3.28 foto g). Nei campioni di roccia fresca, assume abito euedrale, in cui si possono notare le tracce di sfaldatura a volte poco evidenti, ma molto fitte. In particolare a nicol incrociati, mettendo le sfaldature N-S o E-W, il minerale presenta estinzione retta, ossia estingue a 90° durante una rotazione completa. Al solo polarizzatore risalta il forte pleocroismo di questo minerale, che passa da un colore bruno al giallino. Nei campioni più alterati la biotite si presenta frequentemente alterata in clorite, o addirittura in ossidi di ferro di colore rosso bruno (Fig. 3.27, foto g-h; Fig. 3.28, foto g-h), completamente immersa in una matrice di minerali argillosi. In alcuni campioni la biotite si presenta deformata e/o isorientata, testimonianza di una genesi in condizioni di stress (Foto 5).

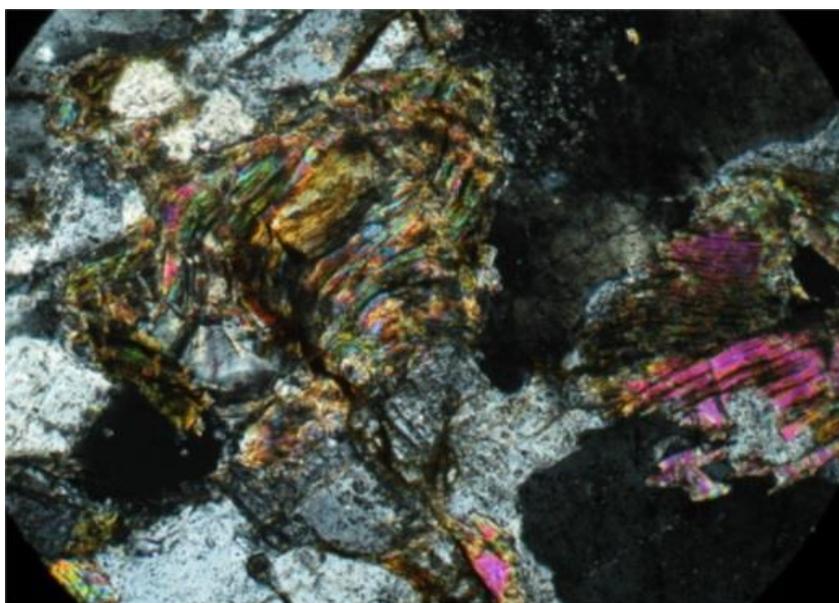


Foto 5: Biotite deformata (n.i, 5x)

La **muscovite** è contenuta come minerale accessorio in quantità molto ridotta, sotto forma di lamelle isolate di dimensioni variabili dai bordi sfrangiati, o più comunemente è inglobata nei cristalli di quarzo e plagioclasio in cui ha dimensioni molto piccole e assume spesso una forma sferica (Foto 6).



Foto 6: Muscovite inglobata in un Plagioclasio sericitizzato (n.p, 5x)

Le **microfratture** e i **vuoti** interessano tutti i campioni analizzati. Nei litotipi di classe II e III, i contatti tra i minerali risultano chiusi e le fratture sono per lo più piccole e intragranulari, ma non contengono minerali di alterazione (Foto 1 e 2; Fig. 3.27, foto a-d; Fig. 3.28, foto a c-e-g). Nei campioni di classe IV e V, al contrario, si assiste ad una intensa fratturazione con macro e microfratture sia intergranulari che intragranulari. In questo caso le fratture contengono minerali argillosi e ossidi di ferro (principali prodotti dell'alterazione), oppure si osservano dei vuoti, a causa del dilavamento dell'acqua che penetra lungo le fratture stesse (Fig. 3.27, foto h; Fig.3.28, foto b-d-f-h).

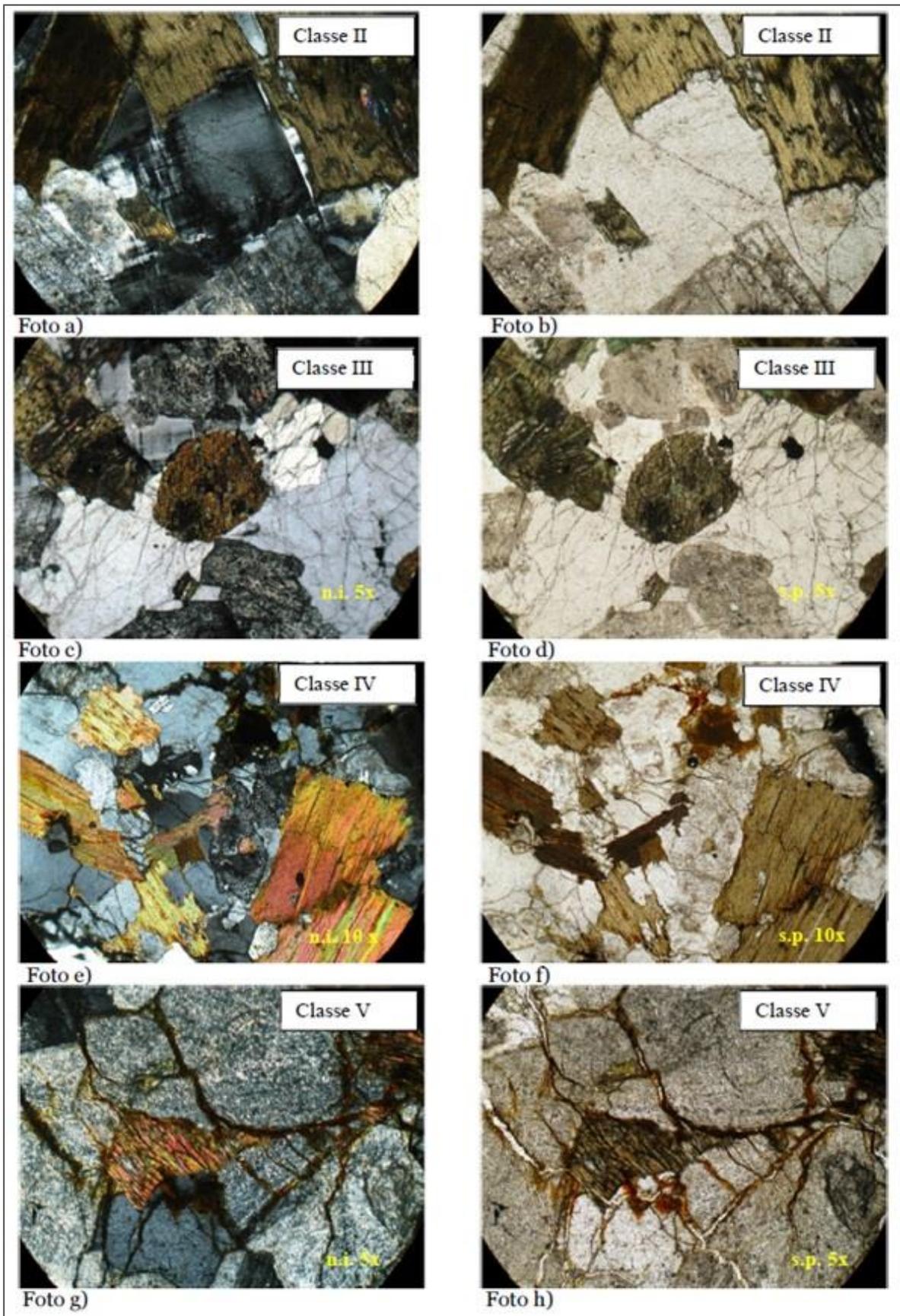


Fig. 3.27: Aspetto delle rocce plutoniche in relazione al grado di alterazione

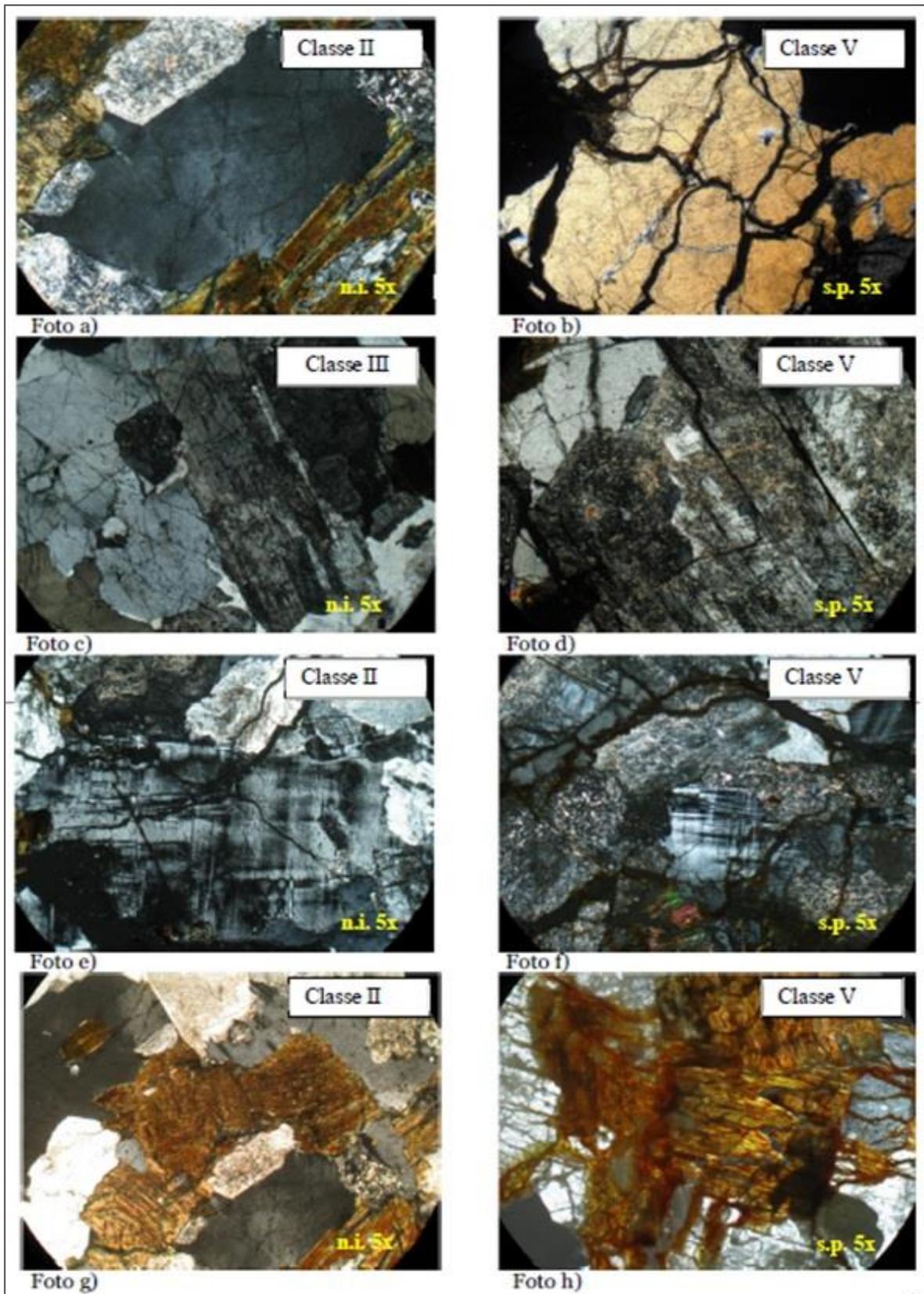


Fig. 3.28 – Confronto tra i minerali principali costituenti i campioni, nella roccia fresca (classe II e III) e nella roccia alterata (classe V): Quarzo (foto a- b), Plagioclasio (foto c-d), Kfeldspato (foto e-f), Biotite (foto g-h).

I risultati della determinazione dell'Ip per i campioni studiati ed osservati in sezione sottile, sono riportati in (Tab. 3.3), essi hanno permesso di riconoscere 4 stadi di alterazione, in quanto presentano valori che vanno da un minimo di 0,2 ad un massimo di 8,9. Il fenomeno alterativo progredisce dallo stadio 4 allo stadio 5, ciò comporta una diminuzione dell'Ip.

Classe	Campione	Minerali freschi (%)	Minerali alterati (%)	Ip	Classe	Campione	Minerali freschi (%)	Minerali alterati (%)	Ip
I-II	P1	84,06	15,94	5,28	VI	P30	64,83	35,17	1,84
III	P2	81,20	18,80	4,32	VI	P31	51,49	48,51	1,06
VI	P3	74,07	25,93	2,86	IV	P32	54,02	45,98	1,17
II-III	P4	17,23	82,77	0,21	V	P33	33,55	66,45	0,51
III	P5	75,64	24,36	3,10	IV	P34	22,53	77,47	0,29
III	P6	71,86	28,14	2,55	III-IV	P35	14,79	85,21	0,17
III	P7	69,92	30,08	2,33	V	P36	49,04	50,96	0,96
III-IV	P8	35,63	64,37	0,55	VI	P37	61,84	38,16	1,62
VI	P9	75,12	24,88	3,02	V-VI	P38	27,73	72,27	0,38
II-III	P10	73,59	26,41	2,79	I-II	P39	89,80	10,10	8,89
III-IV	P11	72,07	27,93	2,58	III	P40	80,10	19,90	4,03
IV	P12	74,27	25,73	2,89	III	P41	73,00	26,00	2,81
VI	P13	69,74	30,26	2,30	V	P42	36,40	63,60	0,57
II-III	P14	70,69	29,31	2,41	II-III	P43	83,40	16,40	5,09
III	P15	69,49	30,51	2,28	III-IV	P44	75,18	25,62	2,93
III	P16	57,26	42,74	1,34	IV	P45	56,60	43,40	1,30
III	P17	62,43	37,57	1,66	VI	P46	47,30	52,70	0,90
IV	P18	89,47	10,53	8,50	VI	P47	52,90	46,90	1,13
VI	P19	58,56	41,44	1,41	V	P48	41,10	59,00	0,70
I-II	P20	53,28	46,72	1,14	V-VI	P49	56,60	43,40	1,30
III	P21	52,78	47,22	1,12	V	P50	47,50	52,50	0,90
III-IV	P22	23,70	76,30	0,31	IV-V	P51	45,60	54,10	0,84
VI	P23	32,87	67,13	0,49	V	P52	39,10	61,00	0,64
VI	P24	25,54	74,46	0,34	V	P53	37,60	61,50	0,61
III-IV	P25	47,48	52,52	0,90	II-III	P54	49,30	16,40	3,01
IV-V	P26	75,00	25,00	3,00	VI	P55	46,50	52,10	0,89
IV-V	P27	18,59	81,41	0,23	VI	P56	26,10	73,30	0,36
VI	P28	15,87	84,13	0,19	V-VI	P57	37,10	70,00	0,53
II	P29	41,11	58,89	0,70					

Tab 3.3: Calcolo dell'indice petrografico (Ip) dei campioni dell'area di studio secondo Irfan & Dearman (1978).

Lo studio petrografico dei granitoidi alterati dell'area di studio, effettuato per mezzo dell'analisi modale in sezione sottile, ha evidenziato la presenza di minerali d'alterazione, quali: sericite, clorite, minerali argillosi e ossidi di ferro, assieme a microfratture e vuoti risultanti principalmente dall'azione dell'alterazione. Quantitativamente essi variano (Tab. 3.3) da un valore minimo pari a 10.1 % fino ad un massimo di 85.2 % dei minerali totali che costituiscono la roccia. Tali percentuali rappresentano rispettivamente la classe dei granitoidi debolmente alterati (classe II) e quella dei terreni residuali e colluviali (classe VI).

La classe dei campioni di roccia plutonica debolmente alterata (classe II) è costituita da minerali di alterazione, il cui valore è pari al 10,5 % dei minerali totali; l'indice petrografico (Ip) ha un valore pari a 8,5. La roccia si presenta debolmente micro fratturata, le fratture

sono per lo più intragranulari, mentre i contatti tra i vari minerali sono ancora chiusi. I plagioclasti sono debolmente sericizzati. Le biotiti sono debolmente o affatto decomposte (Fig 3.27- foto a & b).

La classe dei campioni di roccia plutonica moderatamente alterata (classe III) è costituita da minerali di alterazione, il cui valore medio presenta valori pari a circa il 34% dei minerali totali; *l'indice petrografico (Ip)* presenta valori che vanno da un minimo di 2,4 ad un massimo di 4,3. La roccia si presenta moderatamente microfratturata; alcune microfratture sono aperte e molti dei plagioclasti e alcuni k-feldspati sono moderatamente decomposti; anche le biotiti sono moderatamente decomposte (Fig 3.27 - foto c & d).

La classe dei campioni di roccia plutonica altamente alterata (classe IV) è caratterizzata da minerali alterati il cui valore medio presenta valori pari a circa il 44% dei minerali totali; *l'indice petrografico (Ip)* presenta valori che vanno da un minimo di 2,3 ad un massimo di 2,8. Tali litotipi mostrano ancora segni dell'originaria struttura della roccia, altamente microfratturata; le microfratture risultano per lo più riempite da ossidi di ferro. Tutti i plagioclasti sono intensamente sericitizzati, i K-feldspati e le Biotiti sono altamente decomposti (Fig 3.27 - foto e & f). In particolare i plagioclasti sono prevalentemente trasformati in sericite e minerali argillosi, mentre la biotite si altera in Clorite e Ossidi di ferro.

I terreni residuali e colluviali (classe VI) presentano un microfabric granulare, in cui i prodotti di alterazione prevalgono su quelli della paragenesi mineralogica principale; la classe VI è caratterizzata da minerali alterati il cui valore medio presenta valori pari a circa il 70% dei minerali totali; *l'indice petrografico (Ip)* presenta valori compresi tra 0,2 e 1.

Essi sono altamente fratturati e talora preservano relitti della roccia originaria. Si assiste ad una intensa fratturazione da macro e microfratture sia intergranulari che intragranulari. In questo caso le fratture contengono minerali argillosi e ossidi di ferro (principali prodotti dell'alterazione), oppure si osservano dei vuoti, a causa del dilavamento dell'acqua che penetra lungo le fratture stesse (Fig. 3.27, foto h; Fig. 3.28, foto b-d-f-h). La roccia presenta una struttura granulare, con frammenti di roccia alterata separati da fratture intergranulari riempite da minerali argillosi e ossidi di ferro. I Plagioclasti, le Biotiti e molti K-feldspati, risultano completamente decomposti; tutte le microfratture ed i limiti fra granuli sono aperti (Fig 3.27 - foto g & h).

Le analisi effettuate al microscopio elettronico a scansione (SEM-EDS), hanno permesso di confermare ed evidenziare la trasformazione, a seguito dell'alterazione dei minerali primari,

già osservati al microscopio ottico ed hanno messo in evidenza l'avanzato stato di fratturazione cui sono soggetti soprattutto i campioni di classe V e VI.

In particolare, i campioni presentano una struttura granulare, in cui i minerali primari quali biotite, plagioclasio e quarzo, risultano immersi in una matrice costituita da minerali argillosi e ossidi di ferro.

Ad una scala di maggiore dettaglio, è stato possibile riconoscere l'intenso processo di argillificazione che interessa in particolar modo le miche (Fig. 3.29 b-d) ed i plagioclasti e che spesso si accompagna a fenomeni di dissoluzione superficiale e segregazione di ossidi di ferro (Fig. 3.29 e). Nella fig. 3.29-f, si può notare come persino il quarzo, dotato in genere di una notevole stabilità chimica e resistenza meccanica, presenti delle tipiche caratteristiche di dissoluzione e corrosione in un campione completamente alterato di classe V.

La microanalisi (EDS), effettuata in maniera puntuale sulle porzioni più alterate dei minerali primari e sui rivestimenti di argilla, ha permesso di identificare alcuni gruppi di fillosilicati, localmente associati ad ossidi di Fe e/o Mn. Nello specifico, i principali prodotti di neoformazione sono rappresentati da argille di tipo T-O (kaolinite e halloysite) e argille di tipo T-O-T (vermiculite, illite e/o smectite).

L'halloysite presenta tipicamente una morfologia a fibre tubolari e testimonia un ambiente chimico di formazione molto ricco di acqua. L'illite presenta, invece, la tipica morfologia a foglietti e talvolta è associata alla smectite, a formare strati misti illite-smectite.

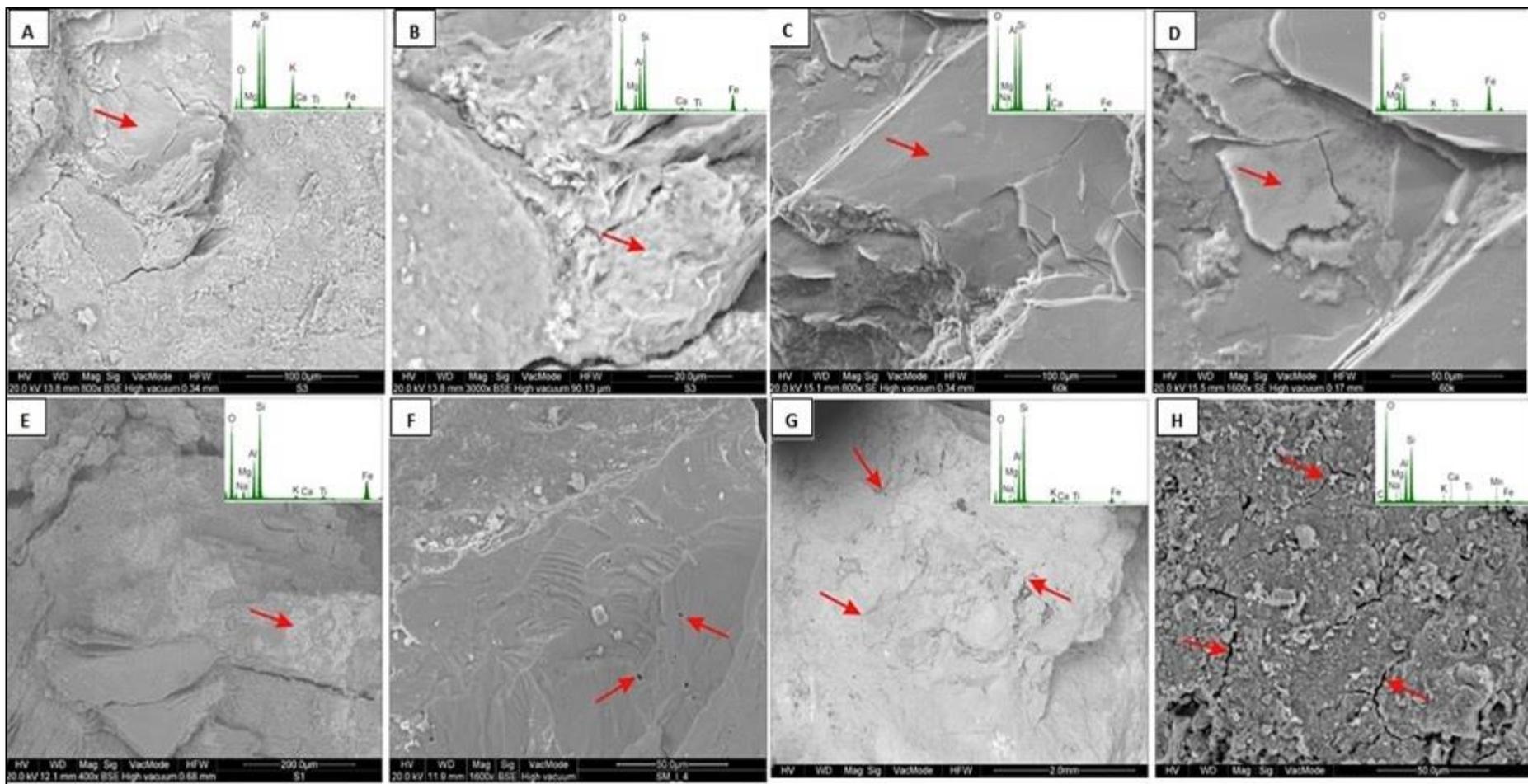


Fig. 3.29: Immagini SEM e spettri EDS di una mica fresca (A,C) e di una mica alterata (B,D) con argillificazione in campioni di roccia di classe III-IV e IV-V (San Giovanni in Fiore). Le frecce rosse indicano approssimativamente il punto in cui è stata effettuata l'analisi EDX. (A,B) si riferiscono alla classe III-IV, (C,D) si riferiscono alla classe IV-V; (E) plagioclasio alterato con argillificazione e dissoluzione della superficie, associata a segregazione di ossidi di ferro (freccia rossa), e rispettivo spettro EDS (classe V-VI); (F) granulo di quarzo che presenta tipiche caratteristiche di dissoluzione e corrosione (classe V); (G, H) rivestimento di argilla con microfratture superficiali su campioni di roccia di classe III-IV e V (Scarciglia et al., 2016).

3.4 INDAGINI GEOCHIMICHE

3.4.1 Determinazione del contenuto di H₂O (L.O.I.)

La perdita alla calcinazione o L.O.I (*Loss On Ignition*) ci ha consentito di stabilire il contenuto di acqua nei 30 campioni che sono stati oggetto delle successive indagini geochimiche. I risultati ottenuti da tale analisi sono riportati in Tabella 3.4.

SIGLA CAMPIONE	PESO CROGIOLO (Pc)	PESO CAMPIONE (Pw)	PESO SECCO (Pd)	% H ₂ O
A1	25,0248	25,4262	25,4208	1,3453
A3	25,0255	25,422	25,4166	1,3619
A5	19,0936	19,4929	19,4818	2,7799
B1	19,032	19,4532	19,447	1,4720
B2	18,9967	19,3979	19,3936	1,0718
B3	18,9978	19,4055	19,3997	1,4226
B4	19,0944	19,4979	19,4915	1,5861
B5	18,9975	19,396	19,3866	2,3588
C1	24,4032	24,8062	24,8006	1,3896
C2	18,679	19,0991	19,0894	2,3090
C3	19,0309	19,4307	19,4243	1,6008
C4	19,6013	20,0353	20,0228	2,8802
F1	24,2901	24,6982	24,6898	2,0583
F2	18,8932	19,2976	19,2884	2,2750
F3	24,6701	25,0709	25,0629	1,9960
F4	24,7424	25,1446	25,1342	2,5858
F5	19,0316	19,4331	19,4216	2,8643
G1	24,6705	25,0793	25,0721	1,7613
G2	24,6709	25,0814	25,0719	2,3143
G3	25,0254	25,435	25,4253	2,3682
G4	18,6775	19,0761	19,0628	3,3367
I1	18,6773	19,0774	19,0676	2,4494
I2	18,8599	19,2553	19,2427	3,1866
I3	24,4036	24,8079	24,7967	2,7702
I4	18,8595	19,259	19,2462	3,2040
I5	19,6006	20,0069	19,9986	2,0428
M1	18,8597	19,2731	19,2663	1,6449
M2	19,6002	20,0007	19,9913	2,3471
M3	18,8935	19,2929	19,2828	2,5288
M4	24,2896	24,6845	24,6791	1,3674

Tab. 3.4: Risultati della determinazione della perdita alla calcinazione (L.O.I)

3.4.2 Analisi diffrattometriche a raggi X (XRD)

L'analisi diffrattometrica è stata effettuata su dieci campioni appartenenti rispettivamente ai profili F ed I. Dall'elaborazione dei dati effettuata mediante l'utilizzo del programma AutoQuan (Versione 2.80) che sfrutta il modello di Rietveld (Tab. 3.5), è stata assunta per il profilo F una mineralogia costituita da amorfi, biotite, clorite, illite, microclino, muscovite, ortoclasio, plagioclasio albitico, oligoclasio e quarzo. Per il profilo I è stata assunta una mineralogia data da amorfi, clorite, illite, microclino, ortoclasio, oligoclasio e quarzo.

Campione		Biotite (%)	Chlorite (%)	Illite (%)	Muscovite (%)	Microcline (%)	Orthoclase (%)	Plagioclase Ab (%)	Plagioclase ol. (%)	Quartz (%)
F1	II-III	1,58	6,90	2,74	1,92	13,65	2,26	39,02	4,22	23,74
F2	III	1,29	6,50	5,20	4,36	12,86	1,85	17,35	24,40	23,98
F3	III	1,12	5,78	2,55	4,82	13,07	2,10	16,04	26,98	22,84
F4	IV	0,00	5,61	13,38	0,00	11,97	10,50	0,00	23,49	34,16
F5	VI	0,00	6,32	15,01	0,00	11,61	10,76	0,00	22,09	38,15
I5	III	0,00	7,95	10,05	8,56	9,26	5,76	0,00	25,59	33,56
I1	III-IV	0,00	3,23	11,23	5,52	12,77	3,86	0,00	27,15	34,01
I2	IV-VI	0,00	2,96	16,05	4,35	9,80	7,08	0,00	25,12	29,81
I3	IV-V	0,00	7,75	11,47	8,26	11,16	2,48	0,00	28,41	31,06
I4	VI	0,00	1,36	13,72	4,63	12,03	5,90	0,00	21,84	34,51

Tab. 3.5: risultati dell'analisi diffrattometrica con AutoQuan (Versione 2.80)

Le percentuali misurate per entrambe i profili hanno permesso la ricostruzione dei diagrammi mostrati in figura 3.30.

Come ci si aspetterebbe, si può notare che in entrambe i profili, la quantità di quarzo, k-feldspato ed illite, subisce un incremento positivo dai campioni più freschi a quelli più alterati, mentre il plagioclasio ed il gruppo delle miche (rappresentate da clorite, muscovite e biotite nel profilo F) subiscono un decremento.

La mineralogia assunta col modello di Rietveld, viene confermata anche dai diffrattogrammi dei campioni analizzati (figg. 3.31- 3.32) che mostrano una prevalenza di quarzo, k-feldspato e miche, mentre le analisi XRD effettuate sulla frazione < 2 µm dei due campioni di classe VI appartenenti ai profili F ed I (figg. 3.33- 3.34) ci ha permesso il riconoscimento delle principali fasi argillose presenti, rappresentate da una predominanza di Illite in entrambi i campioni e dalla possibile presenza di strati misti illite/smectite. La presenza di Clorite nel campione F è confermata dal fatto che il picco è visibile anche dopo il trattamento al glykol etilenico a temperatura ambiente (fig. 3.33), mentre nel campione I è presente probabilmente

solo in piccole quantità (fig. 3.34) come dimostra il fatto che anche il modello di Rietveld rileva una percentuale molto bassa di questo minerale (0,42%).

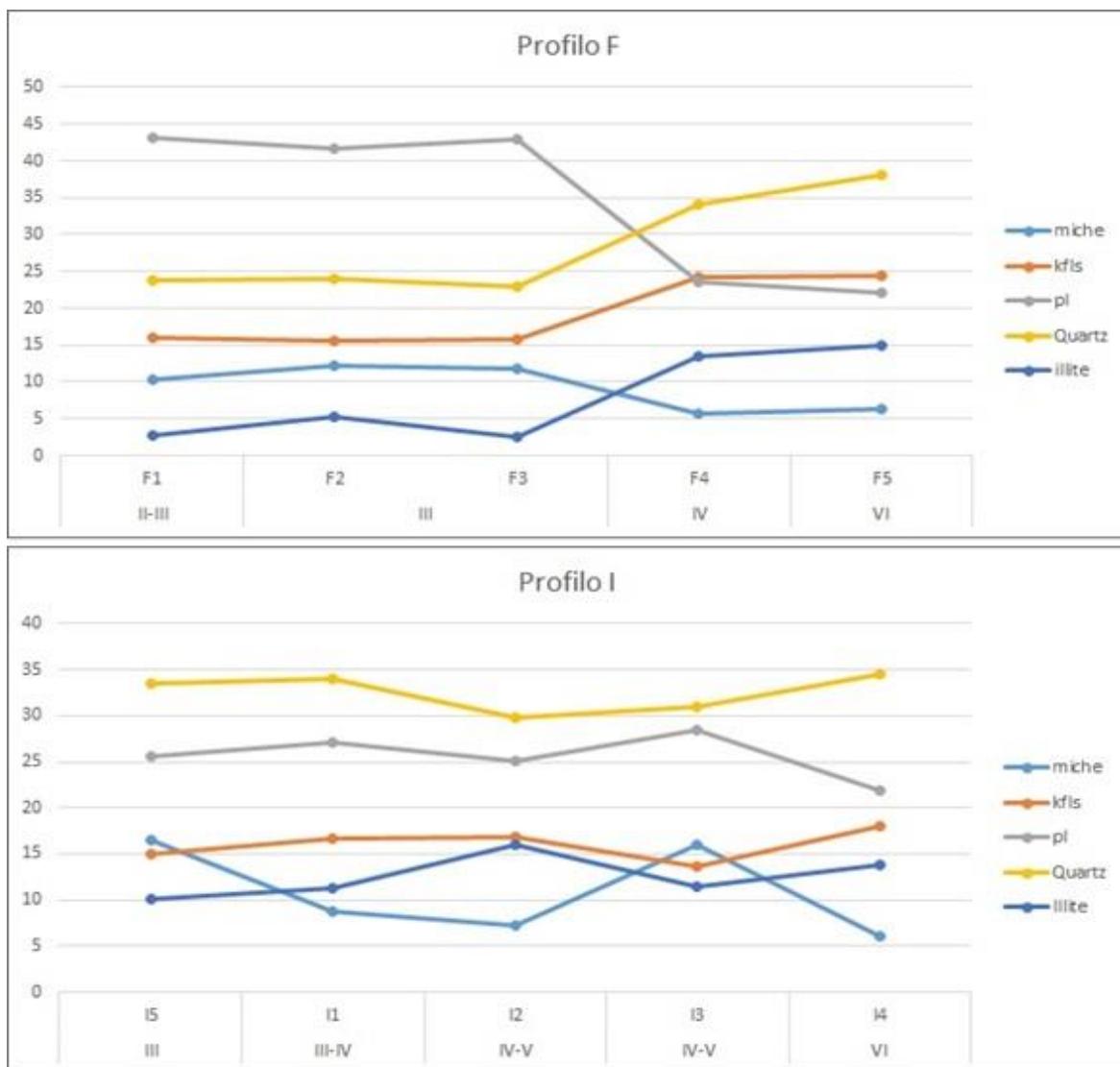


Fig. 3.30: andamento delle fasi mineralogiche nei campioni Fed I, all'aumentare del grado di alterazione.

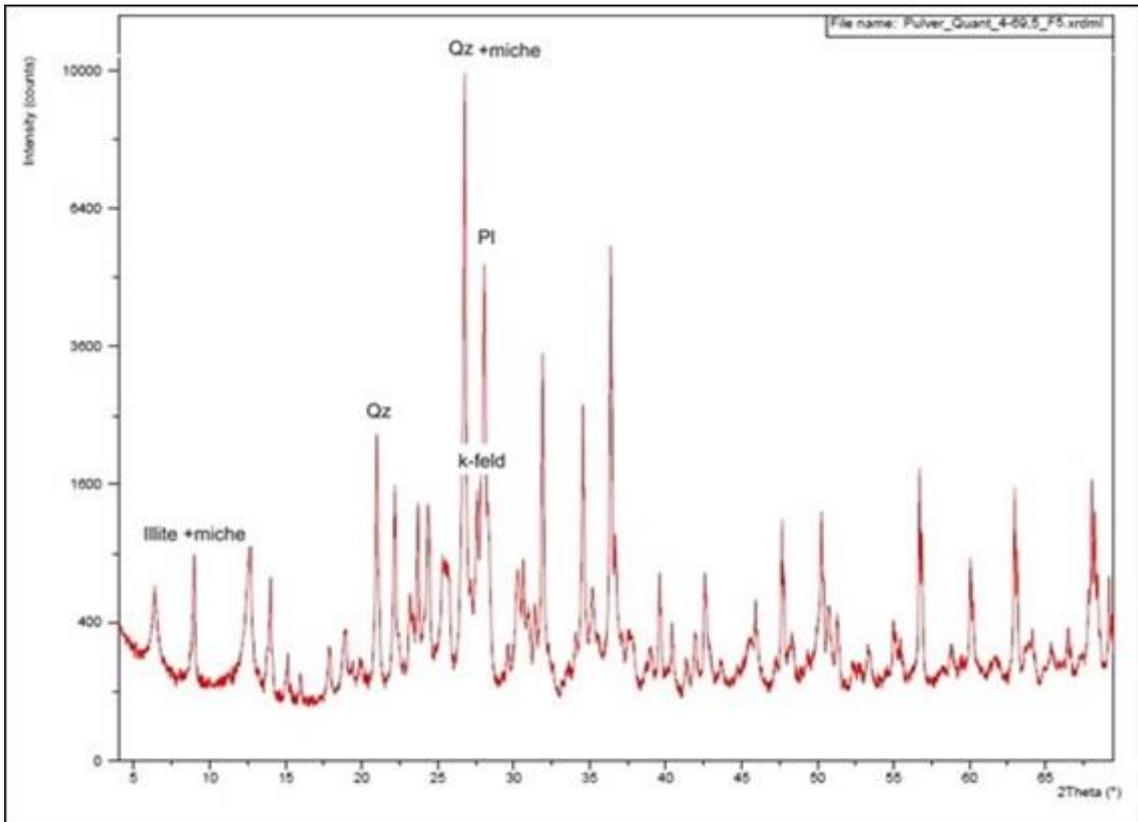


Fig. 3.31: diffrattogramma sul talquale del campione di F5.

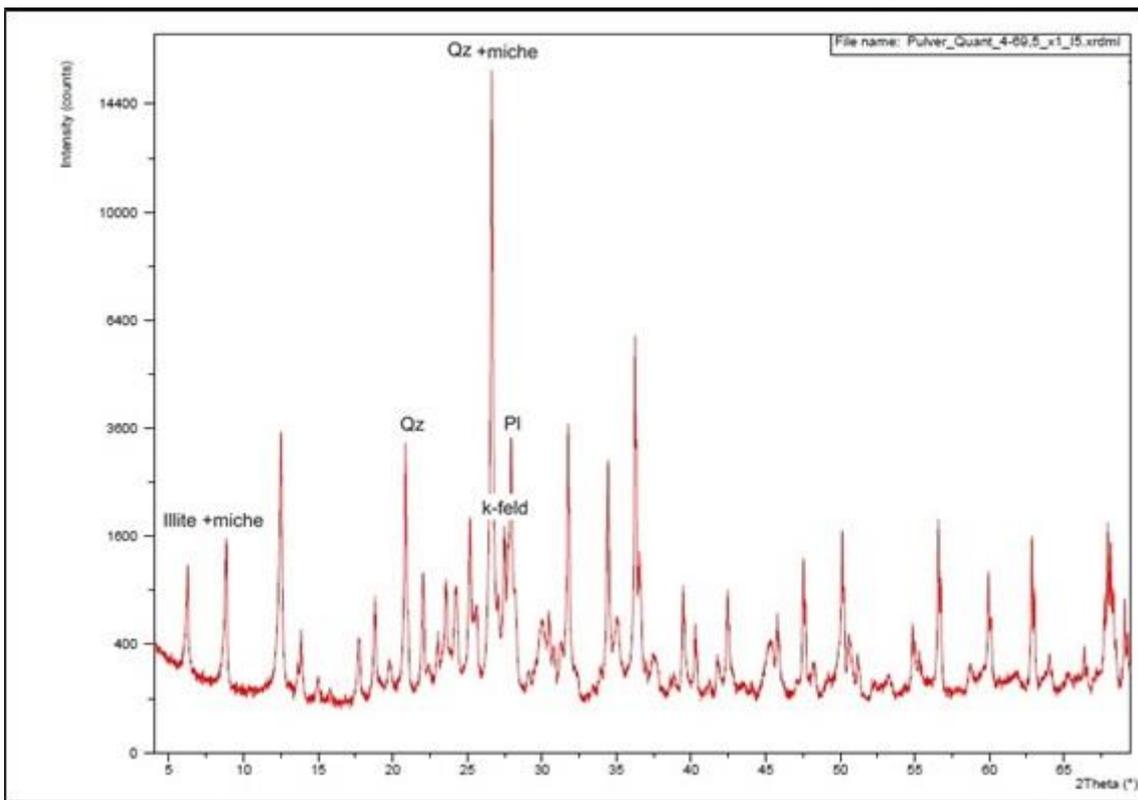


Fig. 3.32: diffrattogramma sul talquale del campione di I5.

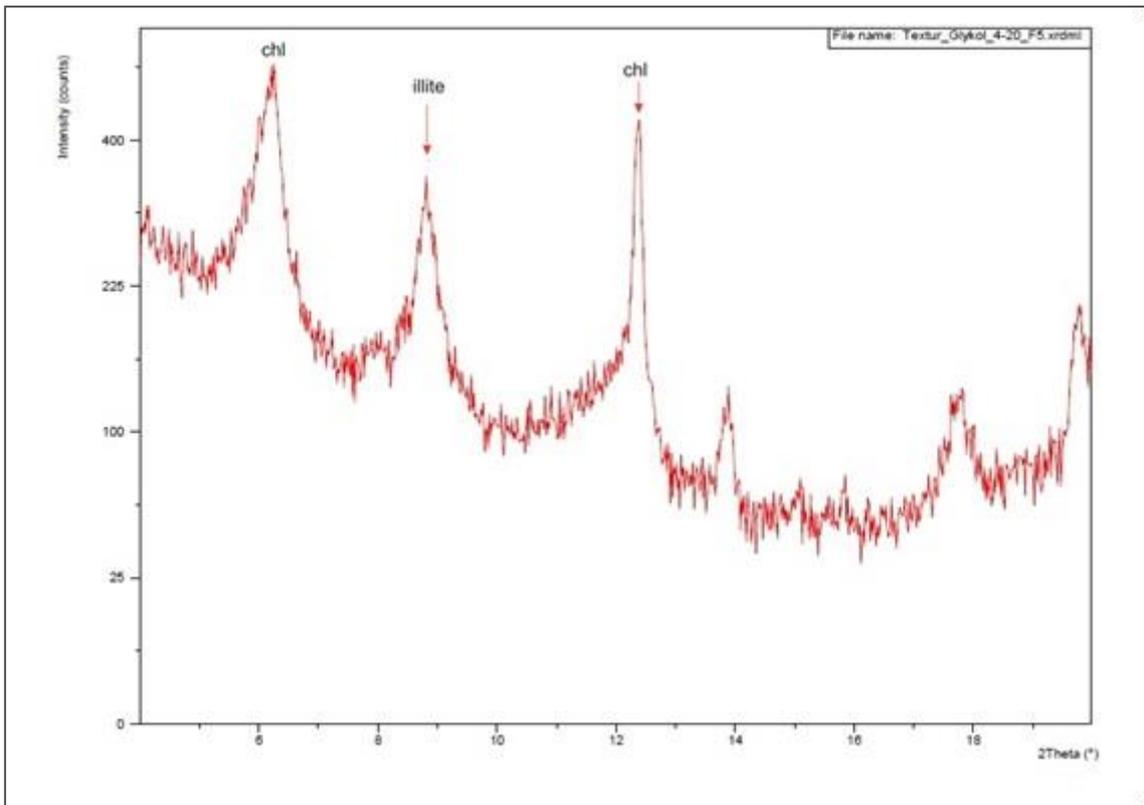


Fig. 3.33: diffrattogramma sulla polvere < 2 µm del campione di F5, dopo il trattamento con glykol.

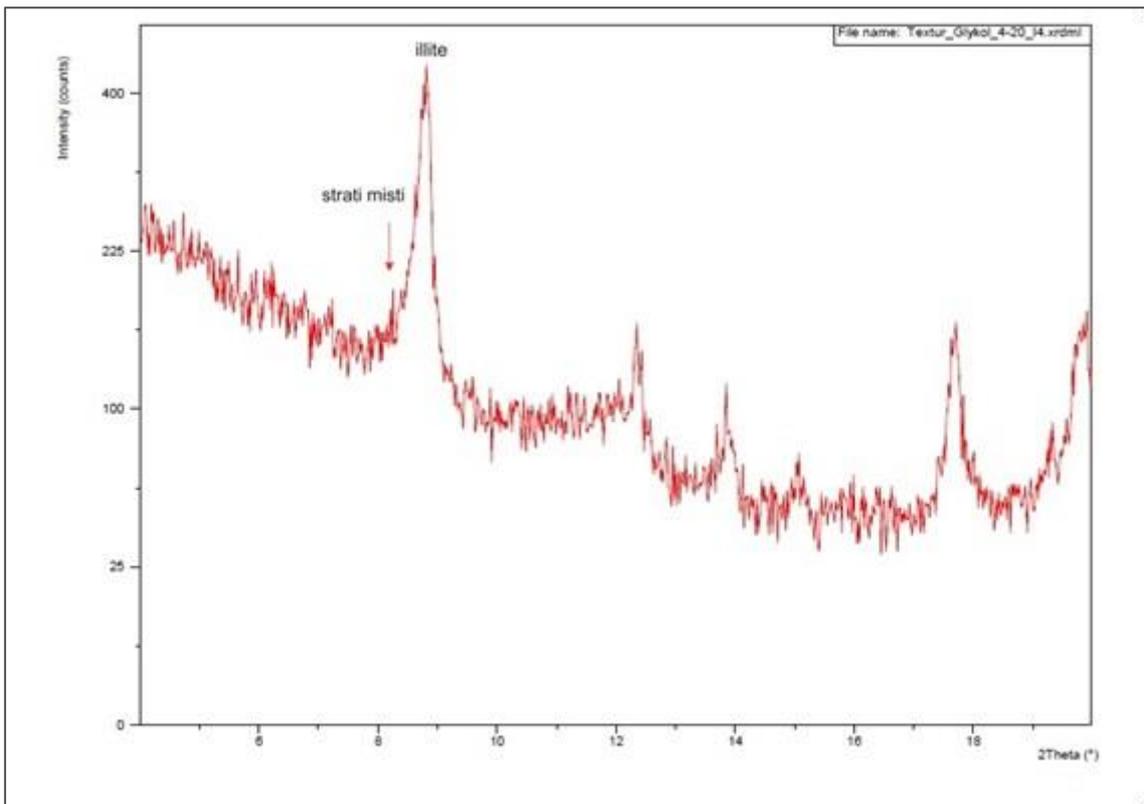


Fig. 3.34: diffrattogramma sulla polvere < 2 µm del campione di I4, dopo il trattamento con glykol.

3.4.3 Analisi a fluorescenza a raggi X (XRF)

L'analisi a fluorescenza a raggi X (XRF) ha permesso essenzialmente di stabilire la concentrazione degli elementi maggiori (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 tot, MnO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5), (Tab. 3.6) e degli elementi in traccia (Rb, Sr, Ba, Co, Ni, Cr, V, Nb, Zr, Y, La, Ce, Cu, Ga, Hf, Mo, Nd, Pb, S, Sc, Sm, Th, U, Yb, Zn), (Tab. 3.7 – 3.8) contenuti nei 30 campioni di rocce plutoniche analizzate.

Campione	Classe di alterazione	SiO_2 %	TiO_2 %	Al_2O_3 %	MgO %	CaO %	Na_2O %	$\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{tot}}$ %	K_2O %
A1	I-II	72,93	0,203	14,8	0,45	0,44	4,26	1,84	3,51
A3	III	72,65	0,228	14,92	0,48	0,59	4,23	1,9	3,5
A5	VI	72,00	0,231	15,03	0,76	0,32	3,49	2,05	3,37
B2	II-III	73,71	0,215	14,41	0,36	0,66	2,82	1,46	5,1
B1	III	73,15	0,211	14,22	0,43	0,71	2,91	1,64	4,96
B3	III	73,44	0,204	14,07	0,39	0,54	2,94	1,65	5,05
B4	III-IV	73,27	0,218	14,41	0,3	0,67	2,85	1,72	5,06
B5	VI	72,81	0,217	14,35	0,4	0,58	2,63	1,73	4,88
C1	II-III	73,39	0,263	14,17	0,49	1,02	2,82	2,11	4,06
C3	III-IV	73,02	0,242	14,71	0,41	0,81	2,85	1,72	4,38
C2	IV	71,96	0,28	15,46	0,56	1,06	2,36	2,13	4,09
C4	VI	71,76	0,288	15,02	0,51	0,65	2,02	2,24	4,14
F1	II-III	66,73	0,519	16,31	1,47	1,31	4,72	3,75	3,08
F2	III	66,58	0,533	16,25	1,81	0,98	4,65	3,76	3,06
F3	III	66,70	0,526	16,17	1,44	1,02	4,77	3,73	3,11
F4	IV	68,94	0,436	15,13	1,4	0,87	2,75	3,05	4,39
F5	VI	70,01	0,378	14,74	1,51	0,55	2,53	2,9	4,1
G1	I-II	69,04	0,399	14,92	1,17	1,99	3,41	2,88	3,93
G2	III	68,43	0,495	15,11	1,33	1,39	3,04	3,58	4,09
G3	III-IV	67,18	0,539	15,73	1,47	0,73	3,41	4,04	3,63
G4	VI	68,39	0,533	14,68	1,36	1,24	2,57	4,09	3,49
I1	III-IV	67,06	0,571	15,91	1,3	1,72	2,88	4,03	3,78
I2	IV-V	66,21	0,599	15,94	1,16	1,27	2,89	4,78	3,97
I3	IV-V	66,49	0,56	15,73	1,91	0,64	3,32	4,49	3,41
I4	VI	67,83	0,581	14,98	1,13	1,29	2,61	4,24	3,81
M1	II	66,55	0,521	16,27	0,84	1,98	4,77	3,74	3,24
M4	III-IV	72,47	0,273	14,27	0,54	1,07	3,02	2,26	4,35
M2	IV-V	71,30	0,29	14,74	0,81	0,71	3,2	2,41	4,23
M3	VI	70,13	0,332	14,64	0,99	0,79	3,08	2,93	4,04

Tabella 3.6: concentrazione degli elementi maggiori nei campioni analizzati ottenute con analisi XRF.

Campione	Classe di alterazione	Ba (ppm)	Ce (ppm)	Co (ppm)	Cr (Ppm)	Cu (ppm)	Ga (ppm)	Hf (ppm)	La (ppm)	Mo (ppm)	Nb (ppm)	Nd (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)
A1	I-II	338	43	2	7	< 3	19	3,4	17	0	8,9	16,5	19	9,3
A3	III	386	51	2	7	< 3	19	3,9	21	0,2	8,9	25,4	18	14,4
A5	VI	413	97	3	8	< 3	19	4,6	48	0,4	10,2	50,5	12	16
B2	II-III	749	59	2	6	< 3	22	2,9	33	0,3	11,7	25,4	9	25,8
B1	III	724	65	2	7	< 3	21	2,8	32	0,4	11,5	26,6	9	29,2
B3	III	738	59	2	6	< 3	21	2,7	25	0,5	11,4	23,2	9	25,7
B4	III-IV	764	69	1	8	< 3	22	2,8	30	0,4	12,1	28,1	10	33,4
B5	VI	733	71	2	10	< 3	22	3	35	0,7	11,7	27	9	28,2
C1	II-III	924	73	2	6	10	20	3	37	2,5	10,4	31	9	24,9
C3	III-IV	1022	64	1	8	< 3	21	2,9	32	0,3	10,1	23,4	10	24,4
C2	IV	1039	93	3	5	< 3	23	3,7	49	0,5	10	39,1	7	26,8
C4	VI	997	82	3	7	< 3	22	3,3	48	0,5	11,4	35,1	9	32
F1	II-III	419	65	6	6	< 3	20	6,9	32	0,3	12	34	8	8,9
F2	III	384	66	6	7	< 3	20	6,7	34	0,5	12,2	35,3	10	8,9
F3	III	376	73	5	4	< 3	20	6,9	35	0,6	12,1	40,2	7	7,3
F4	IV	937	50	4	11	< 3	18	4,8	26	0,4	12,9	19,4	10	18
F5	VI	853	61	4	9	< 3	17	4	33	0,2	12	25,8	8	17,2
G1	I-II	976	53	4	9	< 3	18	4,2	30	0,3	11,9	18,3	10	20,4
G2	III	1043	84	6	13	< 3	18	5	39	0,2	12,5	35,8	10	20,6
G3	III-IV	972	72	6	11	< 3	19	5,8	37	0,4	13,3	28,5	7	11,4
G4	VI	920	119	6	13	< 3	19	5,2	50	0,4	13,5	51,9	6	32,6
I1	III-IV	1044	79	6	14	< 3	20	5,5	37	0,1	14,1	30,3	8	21,2
I2	IV-V	1240	75	7	14	< 3	20	5,7	37	0,4	14,2	27,2	10	35,5
I3	IV-V	911	69	4	10	< 3	20	5,2	49	0,3	14	30,5	6	8,2
I4	VI	1134	101	7	16	< 3	19	5,4	52	0,8	14,1	43,2	9	23
M1	II	477	82	5	7	< 3	20	7	42	0,5	12	41,9	8	10,7
M4	III-IV	791	75	2	9	< 3	18	3,8	40	0,3	13,4	36,4	11	28,1
M2	IV-V	985	70	3	9	< 3	19	4,3	37	0,4	14,6	27,8	10	18,7
M3	VI	818	82	4	7	< 3	20	4,7	41	0	16,5	37,6	11	19,7

Tabella 3.7: concentrazione degli elementi in traccia nei campioni analizzati ottenute con analisi XRF.

Campione	Classe di alterazione	Rb (ppm)	S (ppm)	Sc (ppm)	Sm (ppm)	Sr (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Yb (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)
A1	I-II	147	7	7	4,4	81	9,7	2,3	10	19	2,5	38	149
A3	III	137	10	5	5,5	129	10,3	2,7	11	20,3	2,9	43	157
A5	VI	133	5	6	10,5	87	11,1	2,8	14	27,9	2,3	72	157
B2	II-III	186	7	3	5,3	115	10,3	2,9	12	11	2,2	48	109
B1	III	179	10	2	5,6	112	10,8	2,4	12	11,4	2,1	70	106
B3	III	180	1	1	4,7	112	10,5	2,7	13	10,2	2,3	59	103
B4	III-IV	176	9	3	5,9	119	11,9	3,3	12	9,5	2,1	82	110
B5	VI	178	3	3	5,2	110	10,4	2,4	12	12,1	2,2	85	106
C1	II-III	143	10	6	6,2	183	14,2	3,8	20	18,7	2	53	125
C3	III-IV	145	6	4	4,7	183	11,1	2,7	21	13,3	2,6	76	118
C2	IV	140	10	4	7,2	174	12,3	3,6	20	11,1	1,8	79	138
C4	VI	142	7	3	6,9	143	12,2	2,8	23	18,7	2,5	125	127
F1	II-III	114	10	9	6,9	122	12,1	2,7	27	26,1	2,3	68	307
F2	III	115	8	8	7,9	112	13,8	3,5	27	28,2	2,3	73	313
F3	III	114	10	5	8,2	112	14	3,2	28	28,3	2	64	303
F4	IV	129	10	8	4,7	136	12,7	3,1	49	25,5	2,7	60	174
F5	VI	122	11	6	5,8	105	12,1	2,7	46	27,9	2,2	58	156
G1	I-II	103	5	9	4,1	166	10,4	3	44	25,6	2,4	66	161
G2	III	104	11	8	6,9	184	13,8	3,9	56	27,2	2,8	64	190
G3	III-IV	104	10	12	5,8	139	12,7	3,6	60	22,6	2,2	48	200
G4	VI	104	15	9	9,5	171	13,1	2,7	63	26	2,2	99	210
I1	III-IV	118	7	10	5	212	13,4	3,4	63	19,4	2,2	70	213
I2	IV-V	119	8	11	5,1	184	11,6	2,9	69	22,3	2,8	83	211
I3	IV-V	107	9	10	5,9	120	12,7	3,5	66	23,2	2,2	40	205
I4	VI	113	10	12	8	178	14,7	3,4	68	24,4	2,3	84	219
M1	II	120	10	9	9	155	12,9	2,9	30	28,3	2,4	79	311
M4	III-IV	125	5	5	7,4	145	12,8	3,3	22	36,8	2,7	55	151
M2	IV-V	115	11	6	5,9	105	12,4	2,7	26	26,3	2,6	58	156
M3	VI	113	1	6	7,9	100	14,4	3,4	32	40,8	2,8	72	172

Tabella 3.8: concentrazione degli elementi in traccia nei campioni analizzati ottenute con analisi XRF.

Inoltre, l'uso degli indici di alterazione (R, V, CIA, CIW, PIA, STI), ci ha permesso di mettere in relazione alcuni di questi elementi tra di loro e di osservare come variano i loro rapporti di abbondanza sia all'interno dello stesso profilo all'aumentare del grado di alterazione, sia tra un profilo e l'altro.

Per le indagini sono stati selezionati sette profili di alterazione. Per ogni profilo sono stati scelti almeno tre campioni ritenuti rappresentativi delle classi di alterazione *poco alterate* (classe I-II, classe II, classe II-III), delle classi *mediamente alterate* (classe III, classe III-IV) e delle classi da *molto a completamente alterate* (classe IV, classe IV-V, classe V, classe VI).

Le concentrazioni di alcuni degli elementi maggiori (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , K_2O , Na_2O , MgO , Fe_2O_3) sono stati analizzati in rapporto al TiO_2 , che rappresenta un elemento relativamente immobile al variare del grado di alterazione.

Come si può notare dai diagrammi in figura 3.35 sia il rapporto $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ che il rapporto $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, diminuisce all'aumentare del grado di alterazione solo nei profili A e G, mentre si mantiene pressoché costante nei profili B, C ed I o addirittura aumenta nei profili F ed M. Si può notare inoltre che in alcuni profili (B, C, M) avviene un'inversione del regolare trend nelle classi III e III-IV.

Il CaO ed il Na_2O mostrano entrambi una generale diminuzione all'aumentare del grado di alterazione, ma con notevoli irregolarità soprattutto nelle classi III e III-IV (fig. 3.35).

Il K_2O mostra un impoverimento dalla roccia più fresca a quella più alterata, nei profili A, B, C e G, mentre nei profili F, M mostra un trend opposto. Nel profilo I, il rapporto $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ rimane pressoché costante (fig. 3.35-3.36).

Infine, anche il MgO mostra dei trend molto irregolari, non solo tra un profilo e l'altro ma anche all'interno dello stesso profilo. Infatti, ad esclusione del profilo M in cui si osserva un incremento progressivo e costante di tale elemento all'avanzare del grado di alterazione, gli altri profili mostrano tutti un'inversione di trend nelle classi III e III-IV rispetto a quello mostrato nelle rocce più fresche (fig.3.36).

In generale, si può notare come i profili F, G, ed I siano caratterizzati da un contenuto minore di SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O e Na_2O , rispetto ai profili A, B, C ed M.

Anche dai diagrammi con gli elementi in traccia (fig. 3.37) si possono osservare caratteristiche simili a quelle viste per gli elementi maggiori. Infatti, il Ba e il V mostrano un generale aumento all'avanzare del grado di alterazione, al contrario di Sr e Zr che hanno un trend opposto.

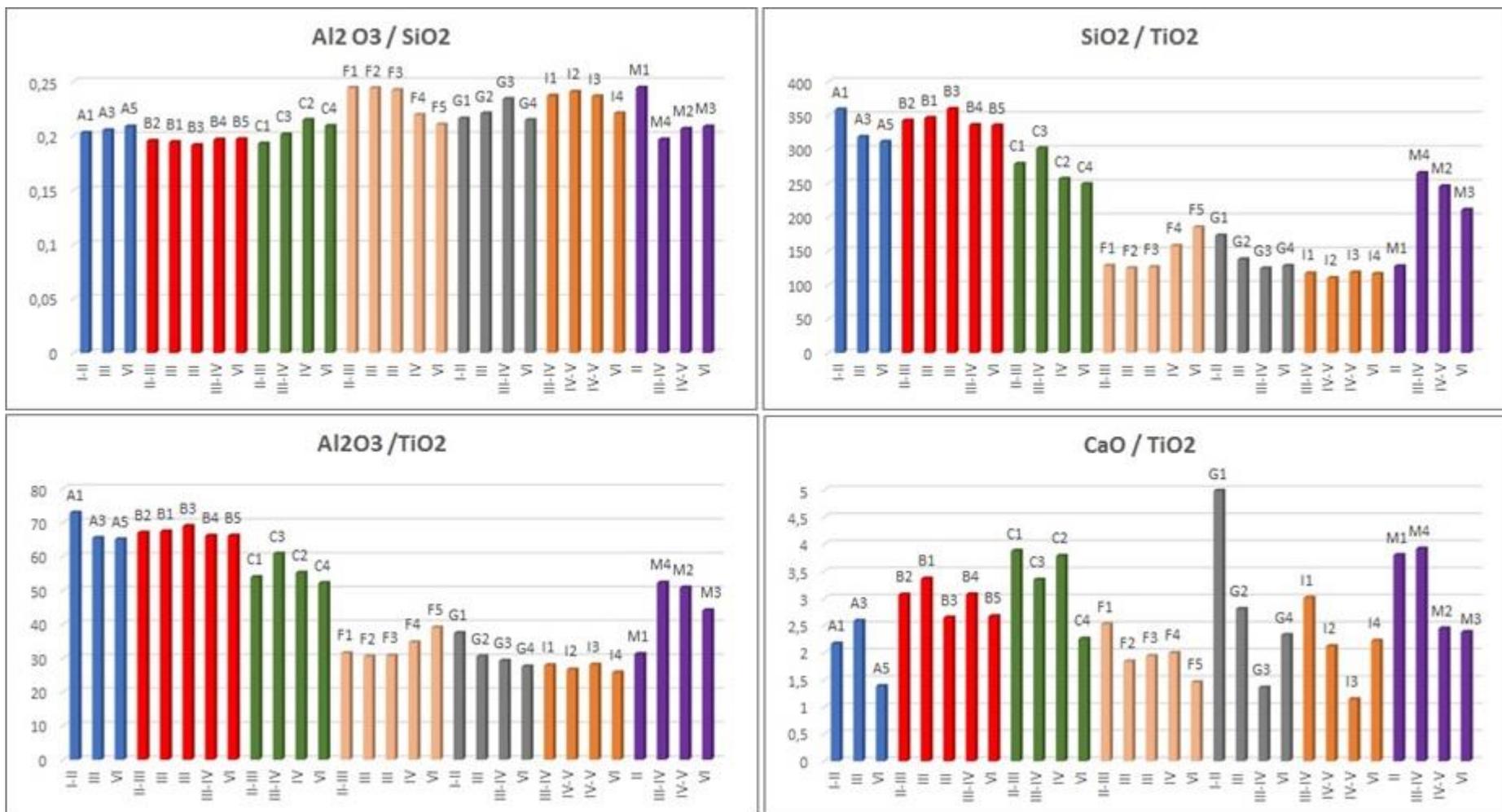


Fig. 3.35: rapporto fra le concentrazioni di alcuni elementi maggiori rispetto al SiO₂ e al TiO₂.

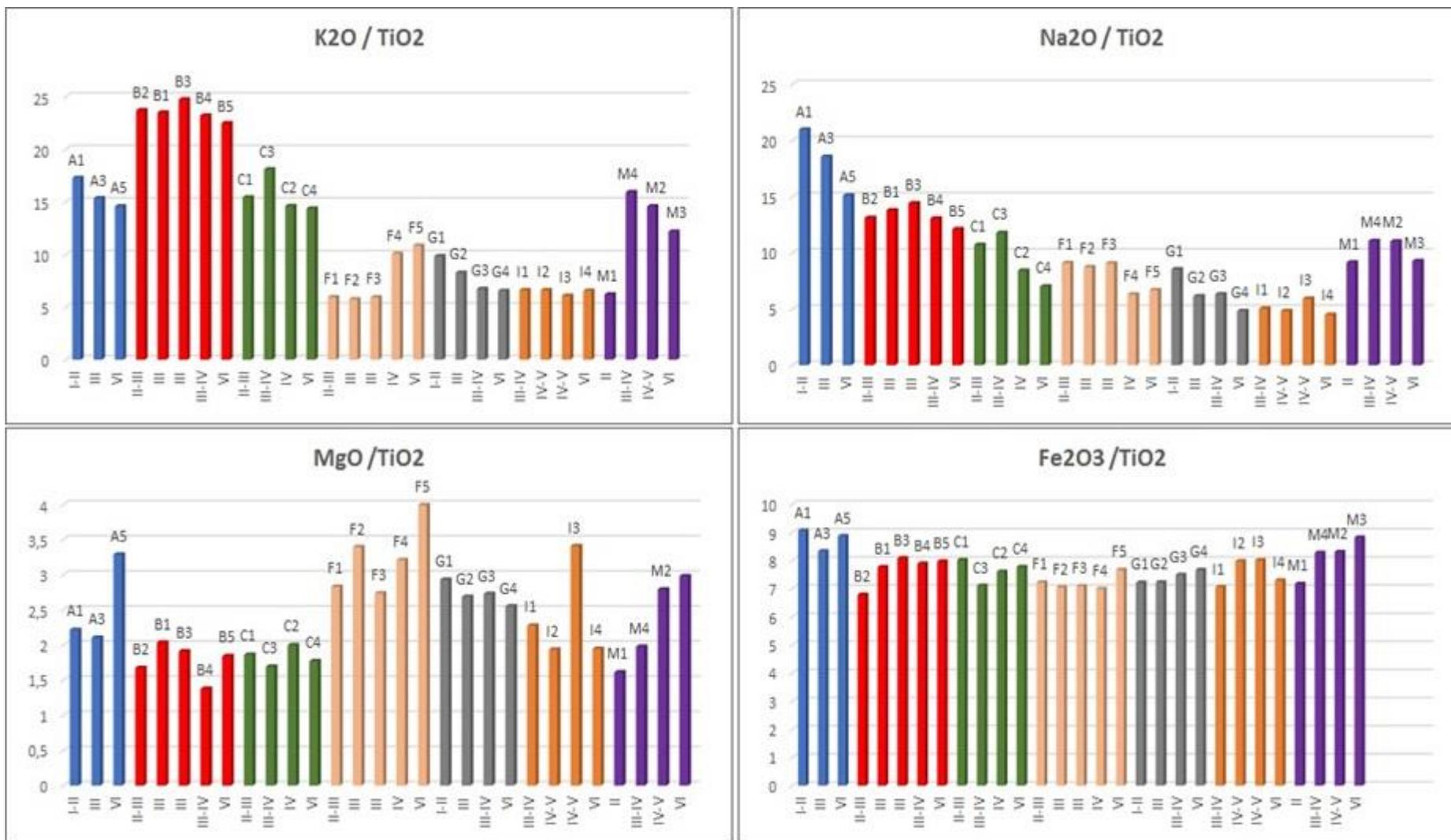


Fig. 3.36: rapporto fra le concentrazioni di alcuni elementi maggiori rispetto al SiO₂ e al TiO₂.

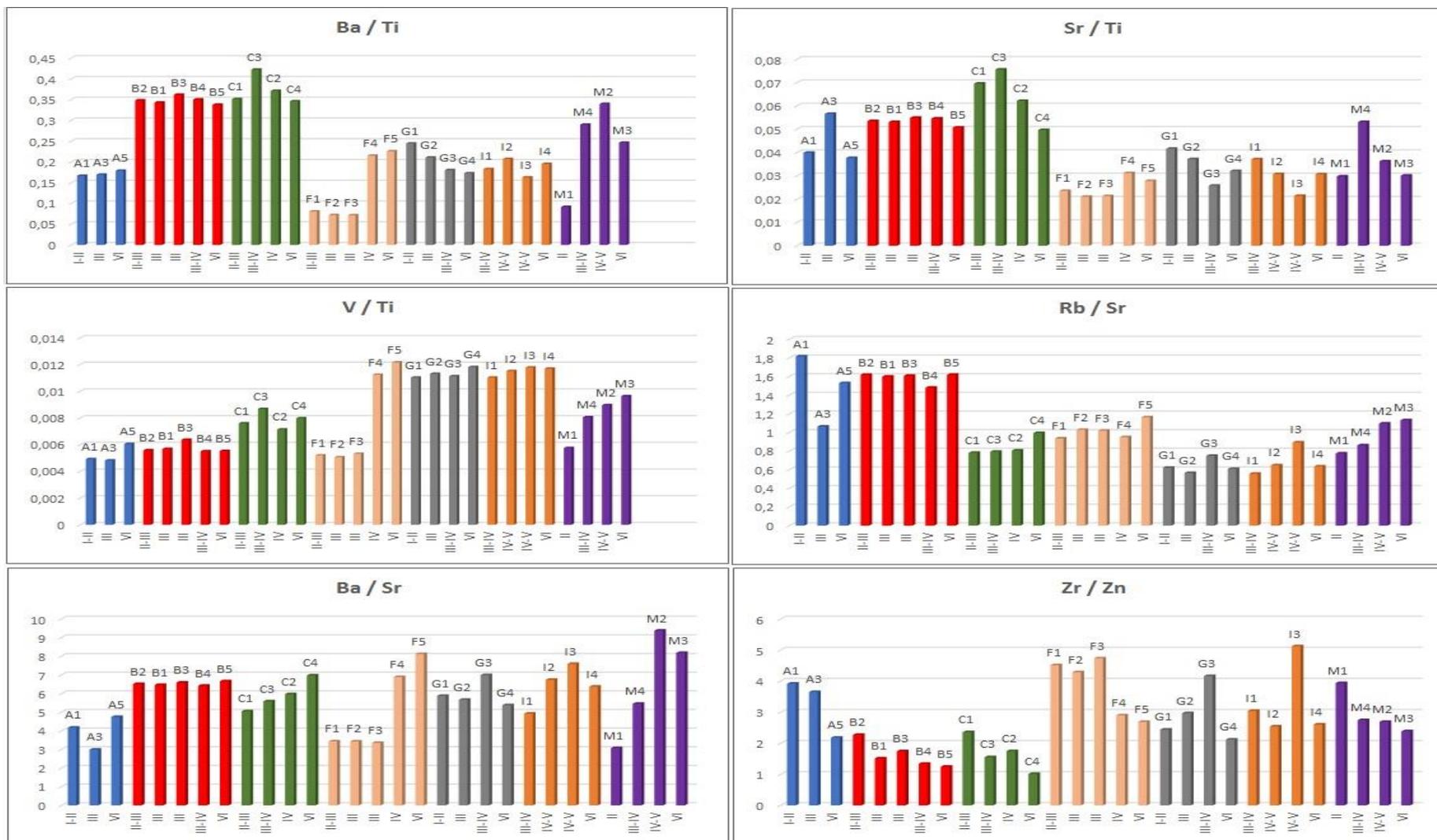


Fig. 3.37: rapporto fra le concentrazioni di alcuni elementi in traccia rispetto al SiO₂ e al TiO₂.

Come premesso nel capitolo precedente, i risultati ottenuti dalle analisi XRF ci hanno consentito di elaborare alcuni dei più comuni indici di alterazione usati in letteratura, grazie ai quali è possibile osservare in maniera intuitiva le variazioni nei rapporti tra elementi mobili ed elementi immobili, all'aumentare del grado di alterazione.

Dai diagrammi rappresentati in figura 3.38 si può notare come gli indici R, CIA, PIA, CIW e V, mostrino un leggero aumento al passaggio dalle classi più fresche a quelle più alterate, mentre l'indice STI aumenta nei profili F, I ed M, mentre diminuisce nei profili A, B, C e G con leggere inversioni di trend nelle classi III e III-IV in quasi tutti i profili.

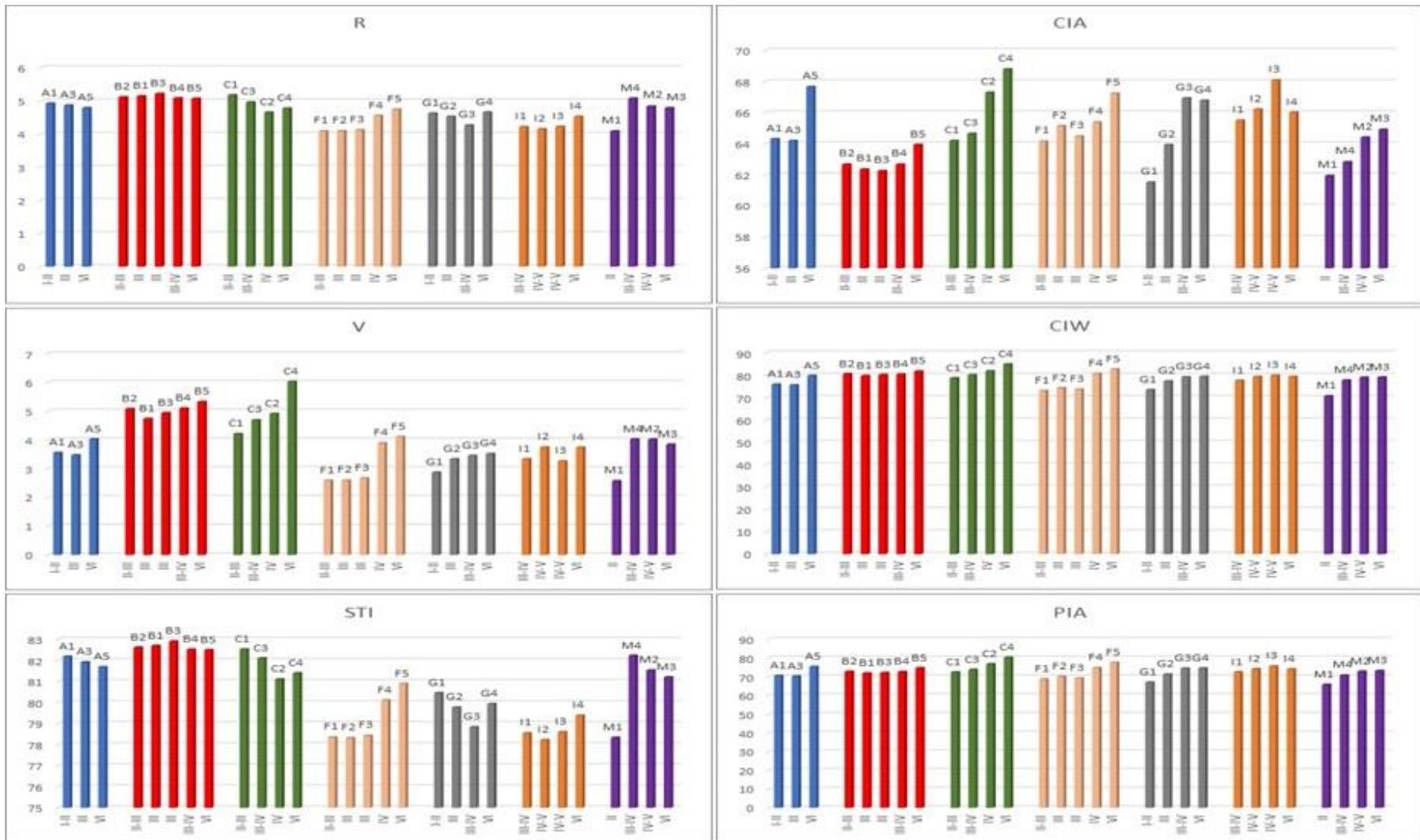


Fig. 3.38: indici di alterazione CIA (Nesbitt e Young, 1982), PIA (Fedò et al., 1995), CIW (Harnois, 1998), R (Ruxton, 1968), V (Roaldset, 1972), STI (Jajawardena e Izawa, 1994).

3.5 - Termocronometria (U-Th) / He su Apatiti

Sono stati campionati preliminarmente 5 campioni di rocce plutoniche per iniziare a testare la validità e l'efficacia del metodo di datazione (U/Th) / He su minerali di apatite, in alcuni dei siti in cui già Vignaroli et al. (2012) avevano ottenuto delle età di raffreddamento mediante il metodo AFT (Apatite Fission- Track Thermochronology).

Considerando i valori di latitudine e longitudine indicati nel lavoro citato, sono stati considerati 5 campioni che corrispondono ai campioni S1, S3 (section 1) ed S4, S7, S10 (section 2). I risultati delle analisi e le rispettive età delle rocce misurate col metodo (U/Th) / He, sono rappresentati in tabella 3.9.

Nello specifico, i valori riportati mostrano un'età di 17.6 Ma (Burdigaliano) per il campione S1, di 14.4 Ma (Langhiano) per il campione S3 e di 10.2 Ma (Tortoniano) per il campione S4. Come si può notare dai risultati, solo tre campioni su cinque hanno dato valori attendibili, infatti i campioni S7 ed S10 hanno mostrato un grado di alterazione troppo elevato e non è stato possibile separare apatiti sufficienti ed utili per l'analisi.

code	min	Topic	Sample	Sample	aliqu.	He		U238			Th232			Sm			Ejection correct.	Uncorr. He-age	Ft-Corr. He-age	2σ	2σ	Sample unweighted aver.							
						vol.	1σ	mass	1σ	conc.	mass	1σ	conc.	Th/U	mass	1σ						conc.	correct.	He-age	He-age	2σ	2σ	[Ma]	[Ma]
						[ncc]	[%]	[ng]	[%]	[ppm]	[ng]	[%]	[ppm]	ratio	[ng]	[%]						[ppm]	(Ft)	[Ma]	[Ma]	[Ma]	[%]	[Ma]	[Ma]
10411	_ap	SIM	S1 a1	S1 a1		0,238	1,6	0,101	1,9	23,9	0,057	2,6	13,49	0,57	1,538	4,1	364	0,737	15,5	21,0	1,9	9,1							
10412	_ap	SIM	S1 a2	S1 a2		0,118	1,9	0,072	2,0	29,2	0,043	2,5	17,35	0,59	0,913	4,1	372	0,620	11,0	17,7	2,2	12,4							
10413	_ap	SIM	S1 a3	S1 a3		0,123	2,0	0,070	2,0	16,8	0,030	2,5	7,16	0,43	1,320	4,1	316	0,815	11,6	14,2	1,1	7,6	17,6	2,0					
10414	_ap	SIM	S3 a1	S3 a1		0,075	2,2	0,040	2,3	5,0	0,089	2,4	10,97	2,21	2,802	4,1	344	0,782	7,4	9,4	0,8	8,6							
10415	_ap	SIM	S3 a2	S3 a2		0,045	2,9	0,039	2,3	30,7	0,014	2,7	10,50	0,34	0,414	4,1	322	0,619	8,0	13,0	1,7	13,4							
10416	_ap	SIM	S3 a3	S3 a3		0,565	1,3	0,288	1,8	43,7	0,042	2,5	6,37	0,15	2,170	4,1	329	0,713	14,8	20,7	2,0	9,5	14,4	3,3					
10417	_ap	SIM	S3 a4	S3 a4		0,311	1,5	0,038	2,3	29,6	0,014	2,7	11,28	0,38	0,404	4,1	316	0,663	57,4	86,6	9,7	11,2							
10363	_ap	SIM	S4 a1	S4 a1		0,013	4,8	0,010	7,0	11,1	0,023	2,6	25,78	2,33	0,182	4,1	204	0,729	6,5	8,9	1,3	15,0							
10364	_ap	SIM	S4 a2	S4 a2		0,025	3,7	0,017	4,1	13,8	0,029	2,6	24,06	1,74	0,216	4,1	180	0,744	8,2	11,0	1,3	11,9							
10365	_ap	SIM	S4 a3	S4 a3		0,009	5,2	0,011	6,0	21,4	0,016	3,1	31,20	1,46	0,128	4,1	243	0,641	4,8	7,5	1,3	17,1							
10366	_ap	SIM	S4 a4	S4 a4		0,069	2,3	0,044	2,2	9,5	0,031	2,5	6,75	0,71	0,592	4,1	127	0,758	10,0	13,3	1,2	9,2	10,2	1,3					
10407	_ap	SIM	S7 a1	S7 a1		0,128	1,8	0,096	1,9	33,7	0,020	2,6	7,02	0,21	0,667	4,1	233	0,709	10,0	14,1	1,4	10,0							
10408	_ap	SIM	S7 a2	S7 a2		0,232	1,6	0,063	2,0	28,1	0,018	2,6	7,85	0,28	0,483	4,1	217	0,852	27,1	31,8	2,1	6,5							
10409	_ap	SIM	S7 a3	S7 a3		0,063	2,5	0,019	3,7	18,5	0,027	2,6	26,78	1,45	0,346	4,1	338	0,590	18,3	31,0	4,4	14,2							
10410	_ap	SIM	S7 a4	S7 a4		0,071	2,3	0,041	2,3	17,7	0,014	2,7	5,84	0,33	0,433	4,1	187	0,582	12,3	21,2	2,9	13,9							

Tabella 3.9: risultati delle misure effettuate con il metodo (U/Th)/ He.

DISCUSSIONE

Dai risultati dei rilievi di superficie, congiuntamente a quelli derivanti dallo studio dei fronti, è emersa l'elevata complessità geologico-strutturale dell'area di San Giovanni in Fiore, legata in particolar modo alla presenza di strutture tettoniche connesse alla strutturazione del Massiccio della Sila. Nel complesso, il generale sollevamento tettonico quaternario dell'area, legato all'ultima fase tettonica prevalentemente distensiva, ha favorito un generale aumento dell'energia di rilievo e un approfondimento del reticolo idrografico (*Van Dijk et al., 2000; Borrelli et al., 2012b, 2015, 2016, Calcaterra et al., 2010; Scarciglia et al. 2008, 2016; Scarciglia, 2015; Molin et al., 2012; Olivetti et al., 2012*), con conseguente predisposizione dei rilievi allo sviluppo di fenomeni gravitativi (*Critelli et al., 1991; Cascini et al., 1992, 1993; Matano e Di Nocera, 1999; Le Pera e Sorriso-Valvo, 2000a; Le Pera et al., 2001a,b*).

L'estrema variabilità litologica delle rocce cristalline in affioramento, mostrata dallo studio geologico e geomorfologico di base, ha evidenziato l'utilità del rilievo del grado di alterazione delle rocce plutoniche affioranti nell'area di studio, per una migliore comprensione degli effetti dell'alterazione come causa predisponente allo sviluppo dei fenomeni di dissesto rilevati (*Borrelli et al., 2007, 2012, 2015, 2016, Gullà et al., 1994*). A tal fine è stata opportunamente applicata e approfondita una metodologia basata sulla classifica del grado di alterazione (*Gullà et al., 2004; Borrelli et al., 2007; Borrelli, 2008, Borrelli et al., 2016*). L'analisi del grado di alterazione su area vasta, congiuntamente alle osservazioni effettuate mediante il rilievo di dettaglio sui fronti individuati, hanno evidenziato che nell'area di studio affiorano solo cinque delle sei classi di alterazione previste dalla classificazione di riferimento adottata, testimoniando che il bedrock inalterato (classe I) non è presente in affioramento, sebbene occasionalmente sia stata rilevata la presenza della classe di transizione I-II che è comune anche in aree limitrofe (*Borrelli et al., 2012; 2015; Scarciglia et al. 2015, 2016*). Dal rilievo di dettaglio condotto sui fronti è emerso che le rocce granitoidi affioranti nell'area in esame, sono caratterizzate da un profilo di alterazione semplice, cioè con una sequenza ordinata e decrescente dei vari gradi di alterazione procedendo dal piano campagna in profondità (*Borrelli et al., 2015, 2016*).

Dalla ricostruzione dei profili di alterazione tipici dell'area, si evince che le rocce granitoidi affioranti, presentano nel complesso un profilo canonico, anche se non di rado sono state riscontrate classi di alterazione fuori sequenza, a causa dell'intensa attività tettonica che ha interessato l'area di studio e nello specifico le rocce granitoidi (tettonica ereditata e neotettonica) (*Borrelli et al., 2011, 2016; Scarciglia et al., 2005, 2015, 2016*). Il profilo di alterazione risulta particolarmente articolato in prossimità di zone in cui sono presenti macrostrutture appartenenti a sistemi di faglia diversi. In tali zone localmente si riscontra un aumento dello spessore della copertura detritico colluviale. Con la sovrapposizione delle strutture si può spiegare, inoltre, la presenza di roccia moderatamente alterata (classe III) a quote insolitamente elevate per il contesto geologico in cui ci troviamo; tali zone di affioramento di roccia meno alterata rappresentano porzioni sollevate dalle faglie dirette e precedentemente dislocate dalle faglie trascorrenti (*Borrelli et al., 2007, 2011, 2012, 2016*). L'approfondimento del reticolo idrografico risulta essersi impostato proprio lungo le linee di faglia appartenenti al sistema NW-SE e limitatamente lungo quelle a direzione N-S. Le faglie, dunque, dislocano l'originario profilo di alterazione (profilo ereditato e legato a differenti condizioni climatiche) e mettono in contatto differenti classi di alterazione.

Inoltre, l'avanzato stato di fratturazione prodotto nell'area dall'attività tettonica ha predisposto le rocce plutoniche all'attacco degli agenti atmosferici. Le fasce di fratturazione associate ai piani di faglia, hanno consentito in misura diversa l'infiltrazione delle acque meteoriche chimicamente attive nel sottosuolo, favorendo lo sviluppo di processi alterativi anche in profondità (*Borrelli et al., 2012b, 2015, 2016; Scarciglia et al., 2016*). L'assetto geologico-strutturale, le condizioni di alterazione degli ammassi rocciosi in affioramento e le caratteristiche dei profili di alterazione, rappresentano nel complesso gli elementi di predisposizione allo sviluppo dei fenomeni di movimento in massa (scorrimenti di detrito e scorrimenti in roccia) rilevati nell'area di studio, sebbene gli stessi risultino poco diffusi (area con bassa franosità).

Le analisi di laboratorio sono risultate utili per confermare in parte i risultati del rilievo di campagna, ma hanno anche messo in evidenza alcune anomalie legate a dei processi che non sono specificati o considerati nella classifica adottata.

Analogamente alle osservazioni fatte in campagna, infatti, anche le indagini petrografiche hanno confermato il fatto che le discontinuità chimiche e cristallografiche (zonazioni, piani di clivaggio e geminazioni) osservate all'interno dei campioni in esame, rappresentino delle vie preferenziali per i processi di alterazione chimica e fisica che portano alla completa disgregazione della roccia (*Le Pera et al., 2001; Scarciglia et al., 2005a, 2007; von Eynatten*

et al., 2016).

Le analisi al microscopio hanno, inoltre, messo in evidenza alcuni fenomeni non necessariamente legati all'alterazione in posto. La cloritizzazione della biotite, ad esempio, osservata in alcuni campioni di classe III-IV, IV e V, molto probabilmente è legata all'alterazione idrotermale delle rocce plutoniche che ha interessato il batolite della Sila durante le fasi di raffreddamento (*Messina et al., 1991; Peters e Hofmann, 1984*). Le interazioni fluido-roccia, sono avvenute probabilmente durante il Miocene, ovvero durante le fasi tardive di messa in posto del batolite della Sila, in cui si è verificato il raffreddamento delle rocce cristalline esposte (*Thomson, 1998; Graessner et al., 2000*). Allo stesso modo, anche la sericitizzazione del plagioclasio e quella meno incipiente del k-feldspato suggeriscono un'interazione fluido/roccia, avvenuta presumibilmente durante le fasi di raffreddamento precedentemente descritte (*Que e Allen, 1996, Scarciglia et al., 2016*). Inoltre, la presenza (in alcuni campioni debolmente o moderatamente alterati) di ossidi di ferro e manganese, che dalla biotite si propagano all'interno delle microfratture della roccia, sembrano provare che le acque di circolazione hanno favorito, sin dalle prime fasi del *weathering*, la mobilizzazione degli elementi chimici con la conseguente precipitazione degli ossidi ed idrossidi sopra descritti (*Scarciglia et al., 2016*).

L'avanzato stato di fratturazione ed alterazione, che caratterizza soprattutto i campioni delle classi V e VI è stato confermato anche dalle osservazioni fatte con il microscopio a scansione elettronica. Coerentemente con l'aumento del *weathering*, infatti, è stato notato che alcuni cristalli di quarzo mostrano tipiche caratteristiche di dissoluzione e corrosione nelle rocce di classe V. Ciò potrebbe essere legato al fatto che, nonostante i suoli dell'area di studio siano caratterizzati da un pH acido (*ARSSA, 2003; Scarciglia et al., 2005a, 2005b; Pelle et al., 2013b*), localmente si sia instaurato un ambiente alcalino transitorio, favorito dai cationi basici rilasciati dall'alterazione dei feldspati e delle miche primarie, possibilmente associato a lunghi tempi di esposizione al processo di *weathering* (*Scarciglia et al., 2007, 2015*).

I minerali argillosi di neoformazione a struttura 1:1 e 2:1, riconosciuti sulle porzioni più alterate dei minerali primari, sono risultati coerenti con quelli riportati in letteratura nella descrizione dei profili di alterazione e dei suoli, che caratterizzano il Massiccio della Sila (*Scarciglia et al., 2008, 2016; Pelle et al., 2013b; Perri et al., 2015; Scarciglia, 2015*).

Lo studio petrografico, quindi, è risultato utile per verificare che l'abbondanza delle diverse fasi minerali identificata è perlopiù coerente con le rocce affioranti nell'area, sebbene in alcuni casi siano state osservate notevoli variazioni, non solo da una classe all'altra, ma

anche tra un profilo e l'altro. Tali differenze possono essere legate in parte ad una differente composizione di partenza della roccia madre tra i vari profili, come dimostrato anche dalle diverse litologie riconosciute in affioramento nella fase di rilevamento di campagna, coerentemente con i dati già presenti in bibliografia (*Messina et al., 1994; Messina et al., 2004; Caggianelli et al., 2000; Critelli et al., 2011, 2013; Van Dijk et al., 2000; Graessner et al. 2000; Liotta et al., 2008; Olivetti et al., 2012; Borrelli et al., 2015; Scarciglia et al., 2016*).

Alcune delle anomalie emerse dalle indagini petrografiche, sono risultate ancora più evidenti nelle analisi geochimiche effettuate. La generale diminuzione di SiO_2 all'aumentare dell'alterazione (tranne nei profili F ed M) è coerente con la progressiva desilicizzazione di alcuni minerali più labili, come il plagioclasio, il K-feldspato e le miche. Tale fenomeno, si associa in genere ad un aumento della percentuale di Al_2O_3 , che probabilmente viene fissato dai fillosilicati di neoformazione. Le anomalie di trend riscontrate nelle classi III e III-IV, probabilmente sono legate ad una mobilizzazione e riprecipitazione di alluminio e silicati dagli orizzonti superficiali (*White, 2005*). Il trend del CaO, si trova perlopiù in linea con l'aumentare del grado di alterazione. Esso è contenuto principalmente nel plagioclasio anortitico e rappresenta, quindi, un elemento molto lisciviabile che tende a diminuire con l'alterazione. Le anomalie riscontrate nei trend dei vari profili per questo elemento chimico, potrebbero dipendere sia da una diversa composizione del plagioclasio anortitico rispetto agli altri plagioclasii o feldspati, sia al fatto che tale elemento viene fissato in alcuni minerali argillosi, oppure potrebbe trattarsi di Ca^{2+} adsorbito, cioè di un catione trattenuto in modo labile dalla sostanza organica o da minerali argillosi all'esterno per il fenomeno di CSC (*Scarciglia et al., 2016*).

Un comportamento simile si nota anche per il Ba e per lo Sr, che comunemente sostituiscono il calcio nei minerali (*Reiman et al., 2003*). Il K_2O , invece, presenta un comportamento opposto. Esso infatti, è contenuto sia nelle miche primarie (muscovite e biotite), sia nell'illite. Ne consegue che, anche se una parte viene lisciviata in seguito all'alterazione delle miche, un'altra parte viene fissata in seguito dai minerali argillosi, determinando un arricchimento di tale elemento all'aumentare dell'alterazione. Questo vale anche per il Rb^+ , che generalmente sostituisce il K^+ e risulta pertanto arricchito nei minerali argillosi durante l'alterazione (*Wennrich et al., 2014; Scarciglia et al., 2016*). Infine, anche Na_2O e MgO presentano caratteristiche simili, in quanto sono elementi che tendono a diminuire all'aumentare dell'alterazione, ma possono mostrare trend anomali in quelle classi di alterazione in cui vengono fissati dai minerali argillosi, piuttosto che venire allontanati

per lisciviazione (*Scarciglia et al., 2016*). Le analisi XRF sono risultate utili in quanto hanno messo in evidenza come, quasi sempre, si verifichi una variazione di trend sia per gli elementi maggiori che per gli elementi in traccia, soprattutto nelle classi III e III-IV. Questo fenomeno testimonia la complessa interazione esistente tra il *weathering* dei minerali primari ed i processi di lisciviazione ed assorbimento da parte dei fillosilicati (*Scarciglia et al., 2011; Perri et al., 2015*) e rappresenta, quindi, un importante indizio in quanto suggerisce che, almeno in parte, l'alterazione non avviene in posto ma è legata a processi pedogenetici.

L'origine illuviale dei minerali argillosi e degli ossidi di ferro e manganese, è coerente anche con i valori di Ip osservati in alcuni campioni, che spesso risultano maggiori nelle classi III e III-IV, che nelle classi ad alterazione maggiore. Infatti, l'indice micropetrografico non discrimina i minerali argillosi e gli ossidi di ferro/manganese prodotti in situ, da quelli trasportati e ridepositati nelle fratture per fenomeni di illuviazione (*Scarciglia et al., 2016*). Le osservazioni fatte per i singoli elementi maggiori, sono perlopiù confermate dai trend mostrati dagli indici di alterazione elaborati. Il frequente aumento degli indici CIA (*Nesbitt e Young, 1982*), PIA (*Fedo et al., 1995*), CIW (*Harnois, 1988*), R (*Ruxton, 1968*), V (*Roaldset, 1972*), dalla classe più fresca a quella più alterata, è coerente con il maggiore grado di alterazione. L'indice R (*Ruxton, 1968*) che esprime il rapporto Al_2O_3 / SiO_2 , ha mostrato un trend positivo dell'alluminio all'aumentare dell'alterazione, confermando la tendenza da parte di questo elemento ad essere fissato dai minerali argillosi. Le frequenti anomalie riscontrate nelle classi III e III – IV, tenderebbero a confermare l'ipotesi avanzata da *Scarciglia et al. (2016)*, che attribuisce tali cambiamenti di trend alla mobilizzazione e riprecipitazione di alluminio e silicati dagli orizzonti superficiali e questo risulta coerente con l'aumento dei minerali argillosi in tali classi di alterazione. Tuttavia, dal CIA si è notato che nonostante ci sia un aumento nelle classi più alterate, i valori non si discostano molto tra di loro in termini assoluti e rivelano nel complesso uno stato di alterazione intermedio (*Fedo et al., 1995*). Ciò significa che, nonostante la classe VI si sia completamente disgregata, probabilmente non è particolarmente arricchita in quei minerali argillosi che fissano l'alluminio. Ciò è stato confermato anche dalle analisi XRD effettuate sui profili F ed I, che hanno mostrato una maggiore abbondanza di minerali argillosi 2:1 (illite) e 2:2 (clorite).

Come già evidenziato dalle indagini petrografiche, anche l'analisi XRD ha mostrato come i trend delle fasi minerali riconosciute, siano coerenti con l'aumento del grado di alterazione. Ciò è dimostrato, ad esempio, dal quarzo che essendo caratterizzato da una maggiore resistenza, sia meccanica sia chimica, subisce un aumento dalle classi più fresche a quelle più alterate. Al contrario, il plagioclasio mantiene valori costanti fino alla classe III, III-IV

per poi diminuire nelle classi di alterazione più elevata, a dimostrazione del fatto che rappresenta un minerale più labile (Perri *et al.*, 2012, 2014, 2015). Un importante indizio è dato inoltre, dal trend delle miche, a cui contemporaneamente corrisponde un trend diametralmente opposto dell'illite. Quest'ultima rappresenta un tipico prodotto di alterazione pedogenetica delle miche primarie, che si forma in seguito anche a piccole trasformazioni, come la rimozione parziale di K^+ interstrato e l'ingresso di gruppi OH^+ . L'aumento del trend dell'illite, quindi, può essere spiegato proprio col fatto che le miche vengono progressivamente sostituite da questo processo (Scarciglia *et al.*, 2016). La grande abbondanza di illite nei profili I ed F risulta anche dai diffrattogrammi dei due campioni di classe VI appartenenti agli stessi profili, in cui il picco di tale minerale risulta molto accentuato in entrambe i campioni. La presenza di clorite invece, contenuta in quantità inferiori rispetto all'illite nei minerali argillosi, va collegata a processi di alterazione idrotermale piuttosto che di alterazione in situ (Scarciglia *et al.* 2016; Que e Allen, 1996), coerentemente con quanto accennato precedentemente per le osservazioni petrografiche, in cui già è stata ipotizzata un'origine deutERICA sia per il plagioclasio sericitizzato, sia per la biotite cloritizzata. Tale fenomeno, testimonia quindi il fatto che tale minerale, se presente, non andrebbe considerato nel calcolo dell'indice micropetrografico per evitare di avere una sovrastima del rapporto tra minerali inalterati/minerali alterati nelle classi di alterazione più moderata (Stoops *et al.*, 2010; Scarciglia *et al.*, 2016).

L'insieme delle osservazioni di campagna e dei risultati ottenuti con le analisi di laboratorio, hanno testimoniato un prolungato processo di *weathering* seguito da una fase di intensa erosione del materiale. Allo scopo di approfondire alcuni dei dati presenti in letteratura, in cui si è cercato di attribuire un'età al processo di *weathering* e di stabilire i tempi di erosione, sia sulla base di misure termocronologiche (Thomson *et al.*, 1998; Vignaroli *et al.*, 2012), sia sulla base di evidenze geomorfologiche e/o pedologiche osservate nell'area in esame, (Scarciglia *et al.*, 2005a, 2005b; Scarciglia 2015) si è deciso di avviare un preliminare studio su cinque campioni di rocce plutoniche facendo riferimento ad alcuni dei siti investigati da Vignaroli *et al.* (2012). I risultati di tale lavoro testimoniano un'esumazione miocenica delle rocce plutoniche analizzate, con età comprese tra il Langhiano ed il Burdigaliano.

Nello specifico, i risultati ottenuti con il metodo di datazione (U/Th)/He su apatiti sono stati confrontati con quelli ottenuti da Vignaroli *et al.* (2012) negli stessi siti, per i quali è stato invece utilizzato il metodo AFT (apatite fission track).

I dati presenti in letteratura misurati con il metodo AFT, hanno mostrato intervalli di esumazione di 17.5 Ma, 15.4 Ma e 14.4 Ma rispettivamente per i campioni S1, S3, ed S4. I

risultati ottenuti con il metodo (U/Th)/He su campioni prelevati negli stessi siti, hanno dato invece età di 17.6 Ma, 14.4 Ma e 10.2 Ma rispettivamente per i campioni S1, S3, ed S4. Nonostante sia stato testato su un numero molto ridotto di campioni e necessiti di verifiche più approfondite, il metodo (U/Th)/He si è rivelato molto utile ai fini dell'indagine. Infatti, sebbene le età fornite dal metodo AFT si discostino leggermente da quelli ottenuti nel presente lavoro, i dati preliminari sono comunque coerenti con quelli di Vignaroli et al. (2012), in quanto mostrano età uguali o leggermente più giovani. Questo risultato pone quindi, un vincolo massimo all'età del *weathering* e conferma in parte quanto assunto nel lavoro di Scarciglia (2014) in cui, dallo studio di particolari forme del paesaggio (*corestones*), si presume che queste si siano formate proprio durante le fasi di stabilità tettonica e geomorfologica (dal Miocene al tardo Pliocene- Pleistocene sup.) per fenomeni di *weathering* profondo e che solo in un secondo momento sono stati esumati in superficie.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha rappresentato uno studio approfondito sul *weathering* e sugli effetti che i processi di alterazione hanno sulle rocce cristalline alterate in un'area situata sul bordo centro-orientale della Sila. Per una maggiore comprensione delle relazioni esistenti tra processi di degradazione fisico-chimica ed evoluzione geomorfologica del territorio, anche l'approccio metodologico è stato multidisciplinare.

Nello specifico si è fatto ricorso ad un metodo di indagine, utilizzato in vari contesti della Calabria, che tiene conto degli aspetti geologici, strutturali, geomorfologici ed idrogeologici.

Per verificare l'effettiva validità di tale metodo, ad integrazione delle attività sopra elencate sono state svolte delle analisi specifiche di laboratorio, mirate ad acquisire conoscenze di ulteriore dettaglio, circa la caratterizzazione mineralogico-petrografica e geochimica delle rocce analizzate.

I risultati delle indagini hanno chiaramente mostrato l'utilità e la praticità della metodologia speditiva applicata, che ha consentito di attribuire ai vari profili analizzati, un grado di alterazione preliminare e di osservare come le varie classi di alterazione si distribuiscono nell'area di studio anche in relazione all'assetto tettonico.

Tuttavia, le successive indagini di laboratorio (mineralogiche, petrografiche e geochimiche), hanno messo in evidenza alcuni aspetti che non sempre sono coerenti con il metodo speditivo proposto per il rilievo di dettaglio su fronte.

In particolare, i risultati forniti dall'indice micropetrografico (Ip), i trend degli elementi maggiori ed in traccia osservati con le analisi XRF, nonché delle fasi mineralogiche identificate mediante le analisi diffrattometriche, hanno accentuato l'ipotesi già formulata da Scarciglia et al. (2016), che a volte si verifica una predominanza degli effetti dei processi illuviali o eluviali, quindi di perdita o arricchimento di alcuni elementi che non sono sempre coerenti con il progressivo aumento del *weathering* stimato con gli altri metodi in campagna.

Il metodo applicato è risultato di per sé utile, ma necessita di alcuni approfondimenti per essere perfezionato, in quanto spesso non evidenzia i processi, o ne evidenzia solo alcuni ad un grado elementare di descrizione e caratterizzazione, che possono portare ad una stima non corretta del grado di alterazione in posto.

Dallo studio effettuato nel presente lavoro di tesi, emerge chiaramente la necessità di approcciarsi a questa tematica utilizzando vari metodi di indagine e ricorrendo

contemporaneamente a diverse scale di osservazione, dalla macroscale alla micro- e sub-microscale.

L'analisi integrata diventa uno strumento utile che consente di corredare gli aspetti descrittivi a livello del fronte di *weathering*, con gli aspetti mineralogici e geochimici permettendo di confermare alcuni aspetti e di dettagliare, evidenziare ed eventualmente verificare alcuni caratteri, fornendo un aiuto all'interpretazione delle apparenti anomalie che spesso si osservano all'interno di un profilo di alterazione.

Ovviamente, tali anomalie non sono state riscontrate in tutti i profili, ma il fatto che, anche dal confronto con i dati presenti in letteratura, il fenomeno si verifichi in un numero 'non trascurabile' di casi, dovrebbe suggerire che è importante tenerne conto per tutti gli studi futuri e che sarebbe utile applicare questa metodologia di indagine anche in contesti differenti e, con le dovute variazioni, anche su rocce non cristalline.

BIBLIOGRAFIA

- ACQUAFREDDA P., LORENZONI S., ZANETTIN-LORENZONI E. (1988) -La sequenza paleozoica dell'Unità di Bocchigliero (Sila, Calabria). Rend. Soc. Geol. It., 11, 5-22.
- AMODIO-MORELLI L., BONARDI G., COLONNA V., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI V., LORENZONI S., PAGLIONICO A., PERRONE V., PICCARRETA G., RUSSO M., SCANDONE P., ZANETTIN-LORENZONI E. & ZUPPETTA A. (1976) - *L'Arco Calabro Peloritano nell'Orogene Appenninico - Magrebide*. Mem. Soc. Geol. It. 17, 1-60.
- ARSSA (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e per i Servizi in Agricoltura), 2003. I suoli della Calabria. Carta dei suoli in scala 1:250000 della Regione Calabria. Monografia divulgativa. Programma Interregionale Agricoltura-Qualità –Misura 5, ARSSA, Servizio Agropedologia. Rubbettino, Italy, 387 pp.
- ATZORI P., D'AMICO C., (1972) – rapporti tra gneiss occhiadini e filladi a Savoca (Peloritani, Sicilia). Miner. Petr. Acta, 18, 83-96.
- ATZORI P., VEZZANI L., (1974) – Lieamenti petrografico-strutturali della catena peloritana. Geol. Rom., 13, 21-27.
- BARBERI F., GASPARINI P., INNOCENTI F. AND VILLARI L. (1973): Volcanism of the southern Tyrrhenian Sea and its geodynamic implications. Journal of Geophysical Research, 78: 5221-5232.
- BARRESE E., PELLERINO A., PRESTININZI A., (2006) – analisi dei processi di alterazione delle cristallino-metamorfice del bacino delle Fiumare Allaro e Amusa (Massiccio delle Serre, Calabria, Italia): aspetti generali ed effetti legati alle fasce di aureola metamorfica. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 1-51-74
- BAYNES, F.J., DEARMAN, W.R., (1978). The relationship between the microfabric and the engineering properties of weathered granite. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 18, 191–197.
- BONARDI G., GIUNTA G., PERRONE V., RUSSO M., ZUPPETTA A. & CIAMPO G. (1980) - Osservazioni sull'evoluzione dell'Arco Calabro-Peloritano nel Miocene inferiore: la Formazione di Stilo-Capo d'Orlando. Boll. Soc. Geol. It., 99, 365-393.

- BONARDI G., GIUNTA G., PERRONE V., RUSSO M., ZUPPETTA A., CIAMPO G. (1982) - Osservazioni sull'evoluzione dell'arco calabro-peloritano nel Miocene inferiore: la Formazione di Stilo-Capo D'Orlando. *Boll. Soc. Geol. It.*, vol. 90, 365-393.
- BORRELLI L., GRECO R., GULLÀ G. (2007) - Weathering grade of rock masses as a predisposing factor to slope instabilities. Reconnaissance and control procedures *Geomorphology* 87 (2007) 158–175.
- BORRELLI, L., CRITELLI, S., GULLÀ, G., MUTO, F., (2011a) - Weathering grade and mass movements map of the Mucone river basin west-central side (Calabria, Italia). *Litografia Artistica Cartografica*. Firenze, Italy.
- BORRELLI, L., CRITELLI, S., GULLÀ, G., MUTO, F., (2011b) - Rilievo del grado di alterazione di rocce cristalline. Presentazione della “Carta del grado di alterazione e dei movimenti in massa della porzione centro-occidentale del bacino del F. Mucone (Calabria, Italia)”. Anno 11, Numero Speciale *Geologi Calabria* 3–46.
- BORRELLI, L., COFONE, G., GULLÀ, G., (2012a) - Procedura speditiva per la redazione di una carta del grado di alterazione a scala regionale. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana* 21, 528–530.
- BORRELLI, L., PERRI, F., CRITELLI, S., GULLÀ, G., (2012b) - Mineralogical features of weathering profiles in Calabria, Southern Italy. *Catena* 92, 196–207.
- BORRELLI, L., CRITELLI, S., GULLÀ, G., MUTO, F. (2015) - Weathering grade and geotectonics of the western-central Mucone River basin (Calabria, Italy). *Journal of Maps* 11 (4), 606–624.
- BORRELLI, L., CONIGLIO, S., CRITELLI, S., LA BARBERA, A., GULLÀ, G. (2016) .Weathering grade in granitoid rocks: the San Giovanni in Fiore area (Calabria, Italy). *Journal of Maps* 12 (2), 260–275.
- BOUSQUET J. C. (1963) - Age de la sèrie des diabases-porphyrites (roches vertes du flysch calabro-lucanien ; Italie mèridionale). *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 4, 712-718.
- BRAND E.W. (1985) - Predicting the performance of residual soil slopes (Theme Lecture). *Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco 5, 2541-2578.
- BRINDLEY, G.W. AND BROWN, G. (1980) - X-Ray Diffraction Procedures for Clay Mineral Identification. In: Brindley, G.W. and Brown, G., Eds., *Crystal*

Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification, Mineralogical Society, 305-356.

- CAGGIANELLI, A., PROSSER, G., ROTTURA, A. (2000) - Thermal history vs. fabric anisotropy, in granitoids emplaced at different crustal levels: an example from Calabria, Southern Italy. *Terra Nova* 12 (3), 10–116.
- CALCATERRA D., IETTO A. & DATTOLA L. (1993) - Aspetti geomeccanici ed idrogeologici di ammassi granitoidi (Serre calabresi). *Boll. Soc. Geol. Italia*, 112, 395-422.
- CALCATERRA D., BRUNO D.E., PARISE M., SILVESTRI F., CRITELLI S., CAPPARELLI G. (2004) - Effects of weathering on slope instability in gneissic rocks at Luzzi (Calabria, Italy). *Proceedings of the IX International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro* 2, 1233-1239.
- CARMISCIANO R., GALLO L., LANZAFAME G. PUGLISI D. (1981) • Le calcareniti di Floresta nella costruzione dell'Appennino calabro-peloritano (Calabria e Sicilia). *Geol.Rom*, 20.
- CASCINI L., CRITELLI S., DI NOCERA S., GULLÀ G. & MATANO F. (1992) - Grado di alterazione e franosità negli gneiss del Massiccio silano: L'area di S.Pietro in Guarano (CS). *Geologia Applicata e Idrogeologia* Vol. XXVII, 49-76.
- CASCINI, L., GULLÀ, G., 1993- Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni prodotti dall'alterazione di rocce gneissiche. *Rivista Italiana di Geotecnica* 2, 125–147.
- CASCINI L., CRITELLI S., DI NOCERA S., GULLÀ G. & MATANO, F. (1994) - Weathering and landsliding in Sila Massif gneiss (Northern Calabria, Italy). *Proceedings 7th International IAEG Congress, 5-9 September 1994, Lisboa, Portugal*, 1613-1622.
- CELLO G., SPADEA P., TORTORICI L. & TURCO E. (1982) - Plio-Pleistocene vulcanoclastic deposits of Southern Calabria. *Boll. Soc. Geol. It.*, 102, 87-93.
- COLONNA V. & PICCARRETA G. (1977) - Contributo alla conoscenza dell'Unità di Castagna in sila Piccola: rapporti tra micascisti, paragneiss e gneiss occhiadini. *Boll. Soc. Geol. It.*, 95, 1976, 39-48.
- COLONNA V. (1998) - Ruolo ed estensione regionale dei thrust a vergenza settentrionale in Sila Grande (Calabria, Italia). *Boll. Soc. Geol.*, 117, 49-260, 9 ff.

- CRITELLI S., DI NOCERA S., GULLÀ G., MATANO, F. (1991) - La frana di Altavilla (Cs): esempio di una tipologia di frana diffusa nelle rocce cristalline alterate della Sila Grande (Calabria Settentrionale). *Geologia Applicata e Idrogeologia* XXVI, 85-110.
- CRITELLI, S., DI NOCERA, S., LE PERA, E. (1991) - Approccio metodologico per la valutazione petrografica del grado di alterazione degli gneiss del Massiccio Silano (Calabria settentrionale). *Geología Aplicada e Idrogeología* 26, 41–70.
- CRITELLI, S., MUTO, F., TRIPODI, V., PERRI, F. (2011) - Relationships between lithospheric flexure, thrust tectonics and stratigraphic sequences in foreland setting: the southern Apennines foreland basin system, Italy. In: Schattner, U. (Ed.), *New Frontiers in Tectonic Research — at the Midst of Plate Convergence*. InTech, Rijeka, pp. 121–170.
- CRITELLI, S., MUTO, F., TRIPODI, V., PERRI, F. (2013) - Link between thrust tectonics and sedimentation processes of stratigraphic sequences from the southern Apennines foreland basin system, Italy. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana* 25, 21–42.
- DEERE, D.U., PATTON, F.D., (1971) - Slope stability in residual soils. *Proceedings of the 4th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Juan, Puerto Rico, pp. 87–170.
- DE ROEVER E.W.F. (1972): Lawsonite-albite-facies metamorphism near Fuscaldo, Calabria (Southern Italy), its significance and petrological aspects. *GUA, Pap. Geol.*, S. 1, 3-171.
- DIETRICH D. (1976) - La geologia della Catena Costiera Calabria tra Cetraro e Guardia Piemontese. *Mem. Soc. Geol. It.*, vol. 17, 61-121.
- DRAMIS, F., GENTILI, B., PAMBIANCHI, G. (1990) - Geomorphological scheme of the River Trionto basin. In: Sorriso-Valvo, M. (Ed.), *Excursion guide-book IGU-CoMTAG symposium on geomorphology of active tectonic areas*, CNR-IRPI, Rende (CS), Italy, 31 May–8 June 1990. *Geodata*, vol. 39, pp. 71– 75.
- DUBOIS R. (1976) - La suture calabro-apenninique Cretacée-Eocene et l'ouverture Tyrrhenienne neogene : étude petrographique et structurale de la Calabre centrale. *Thèse, Univ. P. M. Curie, Paris*, 567.

- FARLEY, K.A., BLYTHE, A.E., WOLF, R.A., (1996). Apatite helium ages: comparison with fission track ages and track length derived thermal models. *Am. Geophys. Union Fall Meeting 77*, F644–F645, Abstract Volume.
- FEDO, C.M., NESBITT, H.V., YOUNG, G.M., (1995) - Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23, 921–924.
- GHISSETTI F. & VEZZANI L. (1979) - Strutture crostali della Calabria e della Sicilia: loro evoluzione geodinamica, Sorveglianza dei vulcani attivi e rischio vulcanico. CNR, P.F., Geodinamica, Catania, 235: 2-28.
- GRAESSNER, T., SCHENK, V., BRÖCKER, M., MEZGER, K., (2000) - Geochronological constraints on the timing of granitoid magmatism, metamorphism and post-metamorphic cooling in the Hercynian crustal cross-section of Calabria. *Journal of Metamorphic Geology* 18, 409–421.
- GULLÀ G. & MATANO F. (1994) - Proposta di una procedura per il rilievo del grado di alterazione di gneiss su fronti rocciosi. *Geologica Romana*, 30: 227-238.
- GULLÀ G. & MATANO F. (1997) - Surveys of weathering profile on gneiss outcrops in Northern Calabria, Italy. *Proceedings of the International Symposium on engineering Geology and the Environment, IAEG, Athens, Greek 23-27 June 1997*, 133-138.
- GULLÀ G., ACETO L., ANTRONICO L., CILENTO M., NICEFORO D., PERNA E. & TERRANOVA O. (2004 a) - Failure and post failure conditions of a landslide involving weathered and degraded rocks, In: Lacerda A., Ehrlich M., Fontoura S. A. B. & Sayao A. S. F. (Eds). *Landslides: evaluation e stabilization*, 2: 1241-1252.
- GULLÀ G., BORRELLI L., GRECO R. (2004 b) - Weathering of rock-mass as possible characterizing factor of predisposition to slope instabilities. *Proceedings of the IX International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro 1*, 103-108.
- GUZZETTA G. (1974) - Ancient tropical weathering in Calabria. *Nature* 251, 302-303.
- HARNOIS, (1988) - The CIW Index: a new chemical index for weathering. *Sedimentary Geology* 55, 319–322.
- HEIRI, O., A.F. LOTTER, AND G. LEMCKE (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* 25: 101-110.

- HENCHER S.R., MASSEY J.B & BRAND E.W. (1984) - Application of back analysis to some Hong Kong landslides. Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides, Toronto 1, 631-638.
- HOFMANN C. (1970) - Die Glaukophangesteine, ihre stafflichen Aequivalente und Unwandlungs-produkte in Nord-Calabrien (Süd Italien). Contr. Min. Petr., 27, 283-320.
- IETTO A. (1975) - Geologia e pianificazione territoriale e urbana in Calabria. Mem. Soc. It. 14, 421-490.
- IETTO A. & IETTO F. (2004) - Age and history of the weathering of granitoids in southern Calabria (Italia). Geogr. Fis. Dinam. Quat. 27 (2004), 37-45, 7 figg.
- IRFAN T.Y. & DEARMAN W.R. (1978) - The engineering petrography of a weathered granite in Cornwall, England. Quarterly Journal of Engineering Geology 11, 233-244.
- JAYAWARDENA U. DE S, IZAWA E. (1994) – a new chemical index of weathering for metamorphic rocks in tropical region- a case study from Sri Lanka . Engeneering Geology, 36, 303-310
- LANZAFAME G., ZUFFA G.G. (1976) – Geologia e petrografia del foglio di Bisignano (bacino del Crati). Geol. Rom. 15, 223-270.
- LACERDA, W.A. & SANTOS, JR. (2000) - Water Table Fluctuation – a Cause of Slide Initiation in Residual and Colluvial Soils in Tropical Regions. Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides, Cardiff 26-30 JUNE 2000, 877-880.
- LE PERA, E., SORRISO-VALVO, M. (2000a) - Weathering and morphogenesis in a Mediterranean climate, Calabria, Italy. Geomorphology 34, 251–270.
- LE PERA, E., SORRISO-VALVO, M., (2000b) - Weathering, erosion and sediment composition in a high-gradient river, Calabria, Italy. Earth Surface Processes and Landforms 25, 277–292.
- LE PERA, E., ARRIBAS, J., CRITELLI, S., TORTOSA, A., (2001a) - The effects of source rocks and chemical weathering on the petrogenesis of siliciclastic sand from the Neto River (Calabria, Italy): implications for provenance studies. Sedimentology 48, 357–378.
- LE PERA, E., CRITELLI, S., SORRISO-VALVO, M., (2001b) - Weathering of gneiss in Calabria, Southern Italy. Catena 42, 1–15.

- LEE S.G. & DE FREITAS D.H. (1989) - A revision of the description and classification of weathered granite and its application to granite in Korea. *Quart. Journ. Eng. Geol.* 22, 31-48.
- LIOTTA, D., CAGGIANELLI, A., KRUHL, J.H., FESTA, V., PROSSER, G., LANGONE, A. (2008) - Multiple injections of magmas along a Hercynian mid-crustal shear zone (Sila Massif, Calabria, Italy). *Journal of Structural Geology* 30, 1202–1217.
- MATANO, F., DI NOCERA, S., (1999) - Weathering patterns in the Sila Massif (northern Calabria, Italy). *Il Quaternario* 12, 141–148.
- MESSINA A., BARBIERI M., COMPAGNONI R., DE VIVO B., PERRONE V., RUSSO S. & SCOTT B. A. (1991) - Geological and petrochemical study of the Sila Massif plutonic rocks (Northern Calabria, Italy). *Boll .Soc. Geol. It.*, 110, 165-206.
- MESSINA A., RUSSO S., BORGHI A., COLONNA V., COMPAGNONI R., CAGGIANELLI A., FORNELLI A. & PICCARRETA G. (1994) - Il Massiccio della Sila Settore settentrionale dell'Arco Calabro-Peloritano. *Boll .Soc. Geol. It.*, 113, 539-586.
- MESSINA, A., SOMMA, R., MACAIONE, E., CARBONE, G., CARERI, G., (2004) - Peloritani continental crust composition (southern Italy): geological and petrochemical evidence. *Bollettino della Societa Geologica Italiana* 123, 405–441.
- MOLIN, P., PAZZAGLIA, F.J., DRAMIS, F., (2004) - Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly-deforming forearc, Sila Massif, Calabria, southern Italy. *American Journal of Science* 304, 559–589.
- MOLIN, P., FUBELLI, G., DRAMIS, F., (2012) - Evidence of tectonic influence on drainage evolution in an uplifting area: the case of northern Sila (Calabria, Italy). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 35, 49–60.
- MOORE, D. M. & REYNOLDS, R. C., Jr. 1997. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. *Geol. Magazine* 135, 819-842.
- YOUNG, G.M. & NESBITT, H.W. (1999) - Paleoclimatology and provenance of the glaciogenic Gowganda Formation (Paleoproterozoic), Ontario, Canada: a chemostratigraphic approach. *Geological Society of America Bulletin*, 111, 264–274.
- NESBITT, H.V., YOUNG, G.M., (1982) - Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715–717.

- NISHIDA, K. & AOYAMA, C. (1985) - Weathered Residual Soil Properties and Failure Mechanism of Slope. Proceedings of the IVth International Conference and Field Workshop on Landslides, 1985, Tokyo 289-294.
- OLIVETTI, V., CYR, A.J., MOLIN, P., FACCENNA, C., GRANGER, D.E., (2012) - Uplift history of the Sila Massif, southern Italy, deciphered from cosmogenic ¹⁰Be erosion rates and river longitudinal profile analysis. *Tectonics* 31, 1–19, TC3007
- PAGLIONICO A. & PICCARRETA G. (1977) - History and petrology of a fragment of the deep crust in the Serra (Calabria, Southern Italy). *N. Jb. Miner. Mh.*, 9, 385-396.
- PETERS, T.J., HOFMANN, B., (1984) - Hydrothermal clay mineral formation in a biotite–granite in northern Switzerland. *Clay Minerals* 19, 579–590.
- PELLE, T., SCARCIGLIA, F., DI PASQUALE, G., ALLEVATO, E., MARINO, D., ROBUSTELLI, G., LA RUSSA, M.F., PULICE, I., (2013b) -Multidisciplinary study of Holocene archaeological soils in an upland Mediterranean site: natural versus anthropogenic environmental changes at Cecita Lake, Calabria, Italy. *Quaternary International* 303, 163–179.
- PERRI, F., BORRELLI, L., CRITELLI, S., GULLÀ, G., (2012a) - Investigation of weathering rates and processes affecting plutonic and metamorphic rocks in Sila Massif (Calabria, southern Italy). *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana* 21, 557–559.
- PERRI, F., CRITELLI, S., DOMINICI, R., MUTO, F., TRIPODI, V., CERAMICOLA, S., (2012b) - Provenance and accommodation pathways of late Quaternary sediments in the deep-water northern Ionian Basin, southern Italy. *Sedimentary Geology* 280, 244–259.
- PERRI, F., BORRELLI, L., CRITELLI, S., GULLÀ, G., (2014) - Chemical and mineralogical features of Plio–Pleistocene fine-grained sediments in Calabria (southern Italy). *Italian Journal of Geosciences* 133 (1), 101–115.
- PERRI, F., SCARCIGLIA, F., APOLLARO, C., MARINI, L., (2015) - Characterization of granitoid profiles in the Sila Massif (Calabria, southern Italy) and reconstruction of weathering processes by mineralogy, chemistry, and reaction path modeling. *Journal of Soils and Sediments* 15 (6), 1351–1372.
- PERRI, F., SCARCIGLIA, F., APOLLARO, C., MARINI, L., (2015) - Characterization of granitoid profiles in the Sila Massif (Calabria, southern Italy) and

reconstruction of weathering processes by mineralogy, chemistry, and reaction pathmodeling. *Journal of Soils and Sediments* 15 (6), 1351–1372.

- PETERS, TJ, HOFMANN, B., (1984) - Hydrothermal clay mineral formation in a biotite–granite in northern Switzerland. *Clay Minerals* 19, 579–590.
- QUE, M., ALLEN, A.R., (1996) - Sericitization of plagioclase in the Rosses Granite Complex, Co. Donegal, Ireland. *Mineralogical Magazine* 60, 927–936.
- REIMANN, C., SIEWERS, U., TARVAINEN, T., BITYUKOVA, L., ERIKSSON, J., GILUCIS, A., GREGORAUSKIENE, V., LUKASHEV, V.K., MATINIAN, N.N., PASIECZNA, A., (2003) - Agricultural soils in northern Europe: a geochemical atlas. *Geologisches Jahrbuch Sonderhefte Reihe D, Heft SD 5* (Hannover, 279 pp.).
- ROALDSET, E., (1972) - Mineralogy and geochemistry of Quaternary clays in the Nuinedal Area, southern Norway. *Norsk Geolisk Tidsskrift* 52, 335-369.
- RUXTON, B. P. (1968). Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *Journal of Geology* 76, 518–527.
- SCANDONE P. (1971) - Mesozoico trasgressivo nella Catena Costiera della Calabria. *Atti Acc. Pontaniana, Napoli*, 20, 387-396.
- SCANDONE P., GIUNTA G., & LIGUORI V. (1974) - The connection between the Apulia and Sahara continental margins in the Southern Appennines and in Sicily. 24° Congrès-Assemblée Plenaire C.I.E.S.M. Com. Géol. Géoph Marines, Montecarlo 4-6 dic. 1974.
- SCARCIGLIA, F., LE PERA, E., CRITELLI, S. (2005a) - Weathering and pedogenesis in the Sila Grande Massif (Calabria, South Italy): from field scale to micromorphology. *Catena* 61 (1), 1–29.
- SCARCIGLIA, F., LE PERA, E., VECCHIO, G., CRITELLI, S. (2005b) - The interplay of geomorphic processes and soil development in an upland environment, Calabria, South Italy. *Geomorphology* 69 (1–4), 169–190.
- SCARCIGLIA, F., LE PERA, E., CRITELLI, S., (2007) - The onset of the sedimentary cycle in a midlatitude upland environment: weathering, pedogenesis, and geomorphic processes on plutonic rocks (Sila Massif, Calabria). In: Arribas, J., Critelli, S., Johnsson, M.J. (Eds.), *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry*. Geological Society Of America Special Paper 420, pp. 149–166.

- SCARCIGLIA, F., DE ROSA, R., VECCHIO, G., APOLLARO, C., ROBUSTELLI, G., TERRASI, F. (2008) - Volcanic soil formation in Calabria (southern Italy): the Cecita Lake geosol in the late Quaternary geomorphological evolution of the Sila uplands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177 (1), 101–117.
- SCARCIGLIA, F., PELLE, T., PULICE, I., ROBUSTELLI, G. (2015) - A comparison of Quaternary soil chronosequences from the Ionian and Tyrrhenian coasts of Calabria, southern Italy: rates of soil development and geomorphic dynamics. *Quaternary International* 376, 146–162.
- SCARCIGLIA F., CRITELLI S., BORRELLI L., CONIGLIO S., MUTO F., PERRI F., (2016) - Weathering profiles in granitoid rocks of the Sila Massif uplands, Calabria, southern Italy: New insights into their formation processes and rates. *Sedimentary geology* 336, 46-67.
- SORRISO-VALVO, M., (1993) - The geomorphology of Calabria. A sketch. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 16, 75– 80.
- SPADEA P. (1976) - I carbonati delle rocce metacalcaree della Formazione del Frido della Lucania. *Ofioliti*, 1, 431-465.
- STOOPS, G., MARCELINO, V., MEES, F., (2010) - Micromorphological features and their relation to processes and classification: general guidelines and keys. In: Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F. (Eds.), *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, Amsterdam, pp. 15–35.
- THOMSON, S.N., (1998) - Assessing the nature of tectonic contacts using fission-track thermochronology: an example from the Calabrian Arc, Southern Italy. *Terra Nova* 10 (1), 32–36.
- THOREZ J., (1976) – Practical identification of clay minerals . G.Lelotte, ed. Dison, Belgium: 108 p.
- TORTORICI L. (1982) - Lineamenti geologico-strutturali dell'Arco Calabro. *Soc. It. Min. Petr.* 38, 927-940.
- VAN DIJK, J.P., BELLO, M., BRANCALEONI, G.P., CANTARELLA, G., COSTA, V., FRIXA, A., GOLFETTO, F., MERLINI, S., RIVA, M., TORRICELLI, S., TOSCANO, C., ZERILLI, A., (2000) - A regional structural model for the northern sector of the Calabrian Arc (southern Italy). *Tectonophysics* 324, 267–320.

- VARNES D. J. (1978) - Slope movements types and processes. Schuster R. L. & Krizeck R. J. (Eds.), Landslides: analysis and control, Washington Transp Res. Board, Spec. Rep., Nat. Sci. Acad., 176: 11-33.
- VEZZANI L. (1968) - Rapporti tra ofioliti e formazioni sedimentarie nell'area compresa tra Viggianello, Francavilla sul Sinni, Terranova del Pollino e S. Lorenzo Bellizzi. Atti Acc. Gioenia Sc. Natur. Calabria, S. 6, 19 (Suppl. Sc. Geol.), 104-144.
- VIGNAROLI G., L. MINELLI, F. ROSSETTI, M.L. BALESTRIERI, C. FACCENNA (2012) - Miocene thrusting in the eastern Sila Massif: Implication for the evolution of the Calabria-Peloritani orogenic wedge (southern Italy). *Tectonophysics*, 538-540, 105-119.
- VON EYNATTEN, H., TOLOSANA-DELGADO, R., KARIUS, V., BACHMANN, K., CARACCILO, L., (2016) - Sediment generation in humid Mediterranean setting: Grain-size and source-rock control on sediment geochemistry and mineralogy (Sila Massif, Calabria). *Sedimentary Geology* 336, 67–79.
- WENNRICH, V., MINYUK, P.S., BORKHODOEV, V., FRANCKE, A., RITTER, B., NOWACZYK, N.R., SAUERBREY, M.A., BRIGHAM-GRETTE, J., MELLES, M., (2014) - Pliocene to Pleistocene climate and environmental history of Lake El'gygytgyn, Far East Russian Arctic, based on high-resolution inorganic geochemistry data. *Climate of the Past* 10, 1381–1399.
- WHITE, A.F., (2005) - Natural weathering rates of silicate minerals. In: Drever, J.I., Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), *Surface And GroundWater, Weathering, And Soils Treatise On Geochemistry* vol. 5. Elsevier–Pergamon, Oxford, pp. 133–168 (chapter 6).
- ZANETTIN –LORENZONI E. (1982) – Relationship of main structural elements of Calabria (Southern Italy). *N. Jb. Geol. Palaent. Mh*, 7, 403-418.

APPENDICE

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10												11		
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLLO DI SCHMIDT)														
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI														
5	a			X				X				X				X				X				X		II/III	36	40	30	42	27	36	34	41	46	36	26	22	III
	b	X				X				X				X							X		X			III/IV	28	26	32	20	18	24	25	24	20	20	34	26	III/IV
	c	X				X			X				X	X				X				X				IV/V	20	22	21	22	20	18	20	22	20	20	16	17	IV

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10												11		
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLLO DI SCHMIDT)														
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI														
6	a			X				X				X				X				X				X		II/III	56	44	20	38	30	36	46	38	40	48	48	48	II/III
	b	X				X				X				X							X		X			II/III	42	32	52	44	32	32	34	36	40	30	30	50	III
	c			X				X		X				X							X		X			II/III	36	44	30	32	42	18	28	48	24	52	42	34	III
	d	X				X			X				X	X				X				X				IV/V	24	18	16	18	16	16	20	22	20	20	18	22	IV/V

Fig 3 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 5 e 6; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10												11	
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)													
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI													
9	a	X				X			X				X						X			X			III/IV	26	24	16	25	20	18	18	27	19	27	22	23	III/IV
	b		X			X			X				X					X				X			III/IV	34	16	20	36	14	16	14	31	24	18	16	14	IV
	c	X				X			X				X					X				X			IV/V	16	14	18	16	16	18	18	20	18	20	20	18	V
	d			X			X			X				X				X					X		II/III	54	28	37	26	19	36	28	29	42	36	27	40	III
10	a		X			X			X				X					X			X			IV/V	22	28	20	18	18	19	18	18	16	18	18	19	IV/V	
	b		X			X			X				X					X			X			III/IV	22	26	26	24	24	22	20	26	24	18	26	28	III/IV	
	c			X			X			X				X				X				X		II/III	22	20	36	33	20	42	48	48	48	25	26	26	III	

Fig 5 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 9 e 10; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10												11		
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)														
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI														
15	a			X				X		X				X						X			X			III/IV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	III
	b			X				X		X				X						X			X			III/IV	30	23	16	24	26	20	24	28	14	22	20	15	III
16	a			X				X		X				X						X			X			II/III	45	36	40	25	30	46	30	42	36	58	39	28	III
	b	X				X				X				X				X					X			IV/V	17	16	14	19	16	18	16	17	18	24	16	18	IV/V

Fig 8 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 15 e 16; **Osservazioni:** 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
LUNGHE DISCONTINUITA'				IN PROFONDITA'			FACILITA'				GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'			SORDO			COLPO LEGGERISSIMO					ASSENTE													
17	a	x					x	x					x								x			IV	20	16	16	12	12	8	12	20	26	14	IV/V
	b	x					x			x			x								x			IV	20	20	17	20	20	15	25	16	16	20	IV
	c	x					x	x					x								x			IV	15	15	20	12	14	20	20	10	15	10	IV/V

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
LUNGHE DISCONTINUITA'				IN PROFONDITA'			FACILITA'				GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'			SORDO			COLPO LEGGERISSIMO					ASSENTE													
18	a	x						x		x			x								x			V	14	2	4	12	12	14	12	10	10	12	V
	b	x					x			x			x								x			V	12	5	10	12	12	8	15	10	10	15	IV/V
	c	x					x	x					x								x			V	15	10	13	8	5	10	10	10	14	14	IV/V

Fig 9 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 17 e 18; **Osservazioni:** 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfittura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si minuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
COMPILTA	PARZIALE	LUNGO LE DISCONTINUITA'	ASSENTE	IN PROFONDA	SUPERFICIALE	SCALFITURA	FACILTA'	DIFFICOLTA'	GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'	ASSENTE	SORDO	DA SORDO A SQUILLANTE	SQUILLANTE	COLPO LEGGERISSIMO	COLPO LEGGERO	COLPO FERMO	PIU' COLPI FERMI	ASSENTE	SI SMINUZZA	CON DIFFICOLTA'	ASSENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
19	a				X			X				X							X			X	II	38	45	50	40	40	48	48	38	50	50	II	
	b				X			X			X							X			X	II/III	35	40	40	40	30	35	45	40	50	35	II/III		
	c				X			X			X							X			X	II	38	50	40	48	50	45	40	48	38	50	IV/V		

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
COMPILTA	PARZIALE	LUNGO LE DISCONTINUITA'	ASSENTE	IN PROFONDA	SUPERFICIALE	SCALFITURA	FACILTA'	DIFFICOLTA'	GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'	ASSENTE	SORDO	DA SORDO A SQUILLANTE	SQUILLANTE	COLPO LEGGERISSIMO	COLPO LEGGERO	COLPO FERMO	PIU' COLPI FERMI	ASSENTE	SI SMINUZZA	CON DIFFICOLTA'	ASSENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
20	a		X				X											X			X	III	25	30	15	50	25	35	30	20	15	30	III/IV		
	b		X				X											X			X	III	30	20	35	45	30	25	10	15	20	15	III/IV		
	c		X				X											X			X	III	25	20	30	30	25	40	20	30	35	35	III/IV		

Fig 10 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 19 e 20 ; **Osservazioni:** 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11	
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)											
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI											
21	a		x			x			x							x						x			III	15	30	25	15	30	30	20	50	25	15	III/IV
	b		x			x			x							x						x			III	32	24	20	20	30	40	25	20	15	15	III/IV
	c		x			x			x							x						x			III	15	32	25	20	15	30	20	35	15	15	III/IV

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11	
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)											
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI											
22	a	x						x	x				x						x						IV/V	14	17	12	12	15	10	17	0	14	14	IV/V
	b	x				x				x			x									x			V	10	0	5	10	10	17	15	0	15	10	V
	c	x				x			x				x									x			V	4	10	10	5	14	14	12	12	2	0	V

Fig 11 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 21 e 22; **Osservazioni:** 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
COMPLETA	PARZIALE	LUNGO LE DISCONTINUITA'	ASSENTE	IN PROFONDIITA'	SUPERFICIALE	SCALFITURA	FACILITA'	DIFFICOLTA'	GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'	ASSENTE	SORDO	DA SORDO A SQUILLANTE	SQUILLANTE	COLPO LEGGERISSIMO	COLPO LEGGERO	COLPO FERMO	PIU' COLPI FERMI	ASSENTE	SI SMINUZZA	CON DIFFICOLTA'	ASSENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
27	a		X				X		X						X				X			X	IV	28	12	26	29	21	24	30	16	26	34	III/IV	
	b	X				X							X							X			VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	VI	
	c	X				X			X				X		X					X			VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	VI	
28	a	X					X		X				X					X			X	IV	10	28	2	16	10	28	10	2	12	16	IV/V		
	b	X					X		X				X					X			X	IV	6	10	20	20	20	15	20	25	15	24	IV		
	c	X					X		X				X					X			X	IV	8	10	10	20	25	15	10	10	20	15	IV/V		

Fig 14 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 27 e 28; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
COMPLETA	PARZIALE	LUNGO LE DISCONTINUITA'	ASSENTE	IN PROFONDITA'	SUPERFICIALE	SCALFITURA	FACILITA'	DIFFICOLTA'	GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'	ASSENTE	SORDO	DA SORDO A SQUILLANTE	SQUILLANTE	COLPO LEGGERISSIMO	COLPO LEGGERO	COLPO FERMO	PIU' COLPI FERMI	ASSENTE	SI SMINUZZA	CON DIFFICOLTA'	ASSENTE														
29	a	x				x	x					x				x				x			V	10	36	10	12	2	25	24	38	22	25	III/IV	
	b	x				x	x				x					x				x			V	13	0	14	10	11	5	3	10	0	10	V	
	c	x				x	x				x					x				x			V	8	5	10	10	10	2	0	0	15	13	V	

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
COMPLETA	PARZIALE	LUNGO LE DISCONTINUITA'	ASSENTE	IN PROFONDITA'	SUPERFICIALE	SCALFITURA	FACILITA'	DIFFICOLTA'	GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'	ASSENTE	SORDO	DA SORDO A SQUILLANTE	SQUILLANTE	COLPO LEGGERISSIMO	COLPO LEGGERO	COLPO FERMO	PIU' COLPI FERMI	ASSENTE	SI SMINUZZA	CON DIFFICOLTA'	ASSENTE														
30	a			x		x				x			x					x				x	III	34	25	35	23	25	20	24	24	10	24	III/IV	
	b		x			x				x			x					x				x	III/III	34	40	30	30	30	38	25	40	38	25	III	
	c		x			x				x			x					x				x	II/III	38	45	40	30	30	28	35	40	35	25	III	

Fig 15 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 29 e 30; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11																														
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)																																								
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI																																								
LINGUO LE DISCONTINUITA'				IN PROPORZIONI A'			SCALFITURA				FACILITA'				GRANDE MOLTA DIFFICOLTA'				SORDO			DA SORDO A SQUILLANTE			SQUILLANTE			COLPO LEGGERISSIMO					COLPO LEGGERO			COLPO FERMO			PIU' COLPI FERMI					ASSENTE			SI SMINUZZA			CON DIFFICOLTA'			ASSENTE			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	a	X				X				X				X					X							X	V	16	14	10	4	2	10	2	8	0	1	V																											
	b	X				X				X				X					X						X	VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	VI																									
	c	X				X				X				X					X					X	VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	VI																									

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11																														
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)																																								
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI																																								
LINGUO LE DISCONTINUITA'				IN PROPORZIONI A'			SCALFITURA				FACILITA'				GRANDE MOLTA DIFFICOLTA'				SORDO			DA SORDO A SQUILLANTE			SQUILLANTE			COLPO LEGGERISSIMO					COLPO LEGGERO			COLPO FERMO			PIU' COLPI FERMI					ASSENTE			SI SMINUZZA			CON DIFFICOLTA'			ASSENTE			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
32	a	X						X	X				X					X							X	V	16	18	18	0	0	24	0	0	0	16	V																												
	b	X						X	X				X					X						X	V	15	20	0	0	5	0	10	0	0	18	V																													
	c	X				X			X				X					X					X	V/VI	0	0	0	2	0	0	5	3	0	0	0	0	V																												

Fig 16 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 31 e 32; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
33	a	x				x			x				x			x					x			V/VI	0	16	0	0	0	16	2	12	0	0	V
	b	x				x			x				x			x					x			V/VI	0	0	0	0	10	5	0	3	2	5	V
	c	x				x			x				x			x					x			V/VI	0	0	0	2	2	3	0	4	0	5	V

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
34	a	x				x			x				x			x					x			III/IV	48	36	32	24	54	44	26	24	16	2	III
	b		x				x			x				x			x					x		III	50	35	32	45	56	25	28	45	5	35	III
	c	x				x			x				x			x					x			III	40	55	23	33	10	42	38	30	25	40	III

Fig 17 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 33 e 34; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfittura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
COMPLETA	PARZIALE	LUNGO LE DISCONTINUITA'	ASSENTE	IN PROFONDA	SUPERFICIALE	SCALFITURA	FACILITA'	DIFFICOLTA'	GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'	ASSENTE	SORDO	DA SORDO A SQUILLANTE	SQUILLANTE	COLPO LEGGERISSIMO	COLPO LEGGERO	COLPO FERMO	PIU' COLPI FERMI	ASSENTE	SI SMINUZZA	CON DIFFICOLTA'	ASSENTE														
35	a	x				x			x			x				x				x			V/VI	0	10	1	12	18	12	2	14	12	8	V	
	b	x				x			x			x				x				x			V/VI	10	2	15	10	12	0	0	7	2	V		
	c	x				x			x			x				x				x			VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	VI	
36	a	x				x			x			x			x					x			V	10	2	0	0	0	12	24	2	0	8	V	
	b	x				x			x			x			x					x			V	5	0	0	8	10	15	10	10	4	12	V	
	c	x				x			x			x			x					x			V	15	15	8	10	2	0	0	5	10	12	V	

Fig 18 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 35 e 36; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
CAMPIONE	PUNTO DI PROVA O ZONA DI MISURAZIONE	DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI			GRADO DI ALTERAZIONE PRELIMINARE	TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										GRADO DI ALTERAZIONE DEFINITIVO
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
37	a	x					x	x				x								x			V	15	16	8	10	2	0	0	5	10	12	V	
	b	x					x		x			x				x					x			V	10	4	15	10	8	12	0	0	7	2	V
	c	x					x	x				x								x			V	16	17	18	0	0	22	0	0	0	16	V	

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
CAMPIONE	PUNTO DI PROVA O ZONA DI MISURAZIONE	DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI			GRADO DI ALTERAZIONE PRELIMINARE	TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										GRADO DI ALTERAZIONE DEFINITIVO
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
38	a		x							x				x									III	50	35	32	45	56	25	28	45	5	35	III	
	b			x							x										x			III	34	25	35	23	25	20	24	24	10	24	III/IV
	c		x						x												x			III	15	30	25	15	30	30	20	50	25	15	III/IV

Fig 19 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 37 e 38; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11																																			
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)																																													
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI																																													
LUNGHE DISCONTINUITA'				IN PROFONDIITA'			SCALFITURA				FACILITA'			GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'				SORDO			DA SORDO A SQUILLANTE			SQUILLANTE					COLPO LEGGERISSIMO					COLPO LEGGERO					COLPO FERMO					PIU' COLPI FERMI					ASSENTE			SI SMINUZZA			CON DIFFICOLTA'			ASSENTE			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
39	a	x				x				x				x				x				x				x				x				V/VI	15	12	10	1	2	10	8	12	10	2	V																									
	b	x				x				x				x				x				x				x				x				VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	VI																									
	c	x				x				x				x				x				x				x				V/VI	0	0	8	5	2	10	10	0	15	0	V																													

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11																																			
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)																																													
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI																																													
LUNGHE DISCONTINUITA'				IN PROFONDIITA'			SCALFITURA				FACILITA'			GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'				SORDO			DA SORDO A SQUILLANTE			SQUILLANTE					COLPO LEGGERISSIMO					COLPO LEGGERO					COLPO FERMO					PIU' COLPI FERMI					ASSENTE			SI SMINUZZA			CON DIFFICOLTA'			ASSENTE			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40	a	x				x				x				x				x				x				x				x				IV	20	20	17	20	20	15	25	16	16	20	IV																									
	b	x				x				x				x				x				x				x				x				IV	20	16	12	12	25	14	20	8	12	15	IV																									
	c	x				x				x				x				x				x				x				IV	20	16	16	12	12	8	12	20	26	14	IV/V																													
	d	x				x				x				x				x				x				x				V	0	5	0	10	10	15	12	17	10	10	V																													

Fig 20 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 39 e 40; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11																															
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)																																									
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI																																									
LUNGO LE DISCONTINUITA'				IN PROFONDIITA'			SCALFITURA				FACILTA'			GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'				SORDO			DA SORDO A SQUILLANTE			SQUILLANTE					COLPO LEGGERISSIMO					COLPO LEGGERO					COLPO FERMO					PIU' COLPI FERMI					ASSENTE					ASSENTE												
41	a	x				x			x			x			x			x			x			x			x			V/VI	15	12	10	1	2	10	8	12	10	2	V																									
	b	x				x			x			x			x															V/VI	0	0	8	5	2	10	10	0	15	0	V																									
	c	x				x			x			x			x			x			x			x			x			VI	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	VI																									

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11																															
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)																																									
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI																																									
LUNGO LE DISCONTINUITA'				IN PROFONDIITA'			SCALFITURA				FACILTA'			GRANDE O MOLTA DIFFICOLTA'				SORDO			DA SORDO A SQUILLANTE			SQUILLANTE					COLPO LEGGERISSIMO					COLPO LEGGERO					COLPO FERMO					PIU' COLPI FERMI					ASSENTE					ASSENTE												
42	a	x				x			x			x			x			x			x			x			x			V/VI	15	12	10	1	2	10	8	12	10	2	V																									
	b	x				x			x			x			x															VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	VI																									
	c	x				x			x			x			x			x			x			x			x			V/VI	0	0	8	5	2	10	10	0	15	0	V																									

Fig 21 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 41 e 42; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfittura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11		
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)												
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI												
45	a	x				x							x							x						V	0	0	11	1	10	5	15	1	5	2	V
	b	x				x							x							x						V	10	0	17	10	0	10	5	10	15	15	V
	c	x				x							x			x				x						VI	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	VI

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11		
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)												
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI												
46	a	x				x			x				x			x				x						IV	15	20	32	12	26	30	0	22	20	26	IV
	b	x				x			x				x			x				x						IV	20	17	20	25	16	20	20	15	18	20	IV
	c	x				x			x				x			x				x						IV	18	15	10	10	20	25	15	22	20	20	IV

Fig 23 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 45 e 46; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11		
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)												
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI												
47	a	x				x			x				x			x			x				x			V	1	11	2	2	2	10	10	10	10	8	V
	b	x				x			x				x			x			x				x			V	2	10	10	4	2	2	12	10	10	10	V
	c	x				x			x				x			x			x				x			VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	VI

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11	
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)											
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI											
48	a		x			x						x				x			x			x			IV	19	29	22	19	15	28	22	24	22	20	IV
	b	x				x			x				x			x			x			x			IV	15	25	20	15	13	25	20	22	20	18	IV
	c	x				x			x				x			x			x			x			IV	8	10	20	15	10	15	20	10	25	10	IV/V

Fig 24 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 47 e 48; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
53	a	x				x			x				x				x			x			IV	21	12	33	12	8	2	28	22	0	2	IV	
	b	x				x			x				x				x			x			IV	33	32	34	36	25	28	26	24	30	22	IV	
	c	x				x			x				x				x			x			VI	0	0	0	2	1	2	0	0	0	0	0	VI

1	2	3				4			5				6			7					8			9	10										11
		DECOLORAZIONE				EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)										
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B	C		VALORI MISURATI										
54	a	x				x			x				x				x			x			IV/V	11	0	18	10	12	12	8	0	2	24	IV/V	
	b	x				x			x				x				x			x			IV	20	16	12	12	25	14	20	8	12	15	IV	
	c	x				x			x				x				x			x			IV/V	12	0	15	15	10	8	0	12	10	10	IV/V	

Fig 27- Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sui fronti 53 e 54; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).

1	2	3			4			5				6			7					8			9	10										11																																																																			
		DECOLORAZIONE			EFFETTO PUNTA DEL MARTELLO			EFFETTO TESTA DEL MARTELLO				SUONO			ROTTURA CON IL MARTELLO DA GEOLOGO					ROTTURA CON LE MANI				TEST SCLEROMETRICO (MARTELLO DI SCHMIDT)																																																																													
		A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	A	B	C	D	E	A	B		C	VALORI MISURATI																																																																												
LUNGO LE DISCONTINUITA'			ASSENTE	IN PROFONDIITA'			SUPERFICIALE			SCALFITURA	GRANDE MOLTA DIFFICOLTA'				ASSENTE	DA SORDO A SQUILLANTE			SQUILLANTE	COUPO LEGGERISSIMO					COUPO LEGGERO	COUPO FERMO	PIU' COLPI FERMI					ASSENTE	CON DIFFICOLTA'			ASSENTE																																																																	
CAMPIONE		PUNTO DI PROVA O ZONA DI MISURAZIONE																				GRADO DI ALTERAZIONE PRELIMINARE																				GRADO DI ALTERAZIONE DEFINITIVO																																																											
55																																																																																																					
a																																																																																																					
b																																																																																																					
c																																																																																																					

Fig 28 - Tabella di riepilogo delle caratteristiche di alterazione sul fronte 55; Osservazioni: 1= Nome campione; 2= Punto di prova o zona di misurazione; 3= Decolorazione (A=completa, B=parziale, C=lungo le discontinuità, D=assente); 4= Effetto punta martello (A=profondo, B=superficiale, C=scalfitura); 5=Effetto testa del martello (A=facilità, B=difficoltà, C=molta difficoltà, D=assente); 6=Suono (A=sordo, B=da sordo a squillante, C=squillante); 7=Rottura con il martello da geologo (A=con colpo leggerissimo, B=con colpo leggero, C=con colpo fermo, D=con più colpi fermi, E=assente); 8=Rottura con le mani (A=facilmente si sminuzza, B=con difficoltà, C=assente); 9= grado di alterazione preliminare (classe di alterazione assegnata ad impatto); 10=Test sclerometrico (dati dal martello di Schmidt); 11= Grado di alterazione definitiva (assegnata al sito dopo le misure).