

Allegato

- Incidenza del tracciato con siti caratterizzati dalla presenza di “Rocce Verdi”

Relativamente a quanto cartografato, nella sua estensione totale, il tracciato attraversa ed eventualmente intercetta:

- un numero molto elevato (non definibile) di aree “A1 - substrato riconducibile alle pietre verdi, segnalate per la probabile presenza di minerali amiantiferi” già nella fascia dei 250 metri (3 aree molto estese).
- 5 aree “A2 - principali depositi e coperture detritiche, corpi di frana interne alle A1” già nella fascia dei 250 metri + 11 ulteriori nella fascia tra i 250 e i 1.000 metri.
- un numero molto elevato (non definibile) di aree “A3 - aree caratterizzate da substrato riconducibile a basalti, metabasalti, brecce basaltiche ed affini, segnalate per eventuale presenza di minerali amiantiferi” già nella fascia dei 250 metri (2 aree molto estese).

Nell' Appennino settentrionale e nelle Alpi liguri i minerali fibrosi sono legati alle sequenze ofiolitiche appartenenti al Dominio Ligure-Piemontese, in particolare alle serpentiniti appenniniche e serpentinoscisti alpini. Le mineralizzazioni fibrose (in particolare il crisotilo e la tremolite) si trovano principalmente in vene nelle serpentiniti a diverso grado di fratturazione. Le fibre si presentano come slip fibers cresciute parallelamente alla salbanda della vena, in shear fractures, o come cross-fibers se formatesi con meccanismo di crack & seal in condizioni sincinematiche.

In relazione al metamorfismo oceanico di basso grado la fase fibrosa dominante è il crisotilo, associato a lizardite in serpentiniti massive e fratturate, in aggregati di fibre di lunghezza da millimetrica a centimetrica. La tremolite, scarsa nelle serpentiniti appenniniche, è presente nella Liguria di ponente prevalentemente in serpentiniti, metagabbri e metabasalti. Nelle serpentiniti e serpentinoscisti alpini in facies di alta pressione e bassa temperatura la lizardite ricristallizza nel polimorfo stabile a più alta temperatura: l'antigorite. A queste condizioni il crisotilo solitamente si trova associato ad antigorite e più raramente a lizardite, si presenta in fibre debolmente legate o libere, con lunghezza da 0.1 mm fino ad 1 cm, in serpentinoscisti interessati da intensa attività tettonica con sviluppo di sistemi di fratture e dislocazioni. Gli anfiboli fibrosi, prevalentemente tremolite – actinolite, sono associati ad ambienti di metamorfismo orogentico alpino in facies scisti verdi o anfibolitico.

Dalla metà degli anni settanta fino ai primi anni novanta, riconosciuta la nocività del minerale, sono state emesse normative che hanno messo al bando l'amianto e i materiali che lo contengono, vietandone l'estrazione, la produzione e il commercio, l'importazione e l'esportazione (Legge N° 257 del 27/03/1992 e successive modifiche). Considerato fino ad allora un problema sanitario prevalentemente legato all'esposizione professionale, sono stati successivamente messi in evidenza complessi risvolti ambientali, legati allo smaltimento dei rifiuti contenenti amianto, alla dismissione dei siti produttivi e alla valutazione del pericolo di esposizione in aree naturali interessate da affioramenti di rocce potenzialmente contenenti amianto o da siti minerari dismessi.

La correlazione tra inalazione di fibre di asbesto e alcune malattie legate all'apparato respiratorio è conosciuta da tempo (Fubini, 1996 e referenze incluse). La maggior parte degli studi epidemiologici è stata condotta riguardo all'esposizione di tipo professionale, ma l'associazione di patologie legate all'amianto con la presenza di fibre nell'ambiente naturale è stata evidenziata dalla fine degli anni '70. In Italia i casi più noti, già studiati in letteratura medica, sono quelli del comune di Biancavilla (Catania) e della Basilicata nelle vicinanze del Massiccio del Pollino. Il rischio di esposizione ambientale esiste anche nella Regione Liguria, dove estesi affioramenti sono legati alle sequenze ofiolitiche del Dominio Ligure – Piemontese.

La classificazione dei litotipi in base al loro contenuto di amianto, proposta dal D. M. 14/05/1996 è stata fatta in base alle informazioni presenti in letteratura, senza tener conto delle realtà geografiche, geologiche, geomorfologiche e minero-petrografiche dei singoli affioramenti, come invece auspicato nel testo del Decreto: “[...] un corretto inquadramento minero-petrografico degli affioramenti andrebbe effettuato caso per caso”. Dal quadro descritto emerge l'esigenza di una caratterizzazione dei parametri di criticità per i siti

compresi nella “categoria 3” individuata dal D.M. 101, e la necessità di una metodologia per la caratterizzazione dei siti naturali interessati dalla presenza di amianto del territorio regionale, non ancora censiti nell’ambito della normativa ministeriale. Il punto di partenza dovrebbe essere l’analisi dei litotipi attraverso il rilevamento geologico, analisi strutturali e micro-strutturali a diversa scala, associate ad analisi minero-petrografiche.

Secondo il D.C.R. N° 105 del 20/12/1996 della Regione Liguria i litotipi potenzialmente a rischio sono: anfiboliti, metabasiti e serpentinoscisti nelle Unità alpine; serpentiniti, breccie ofiolitiche e metabasiti nelle Unità appenniniche.

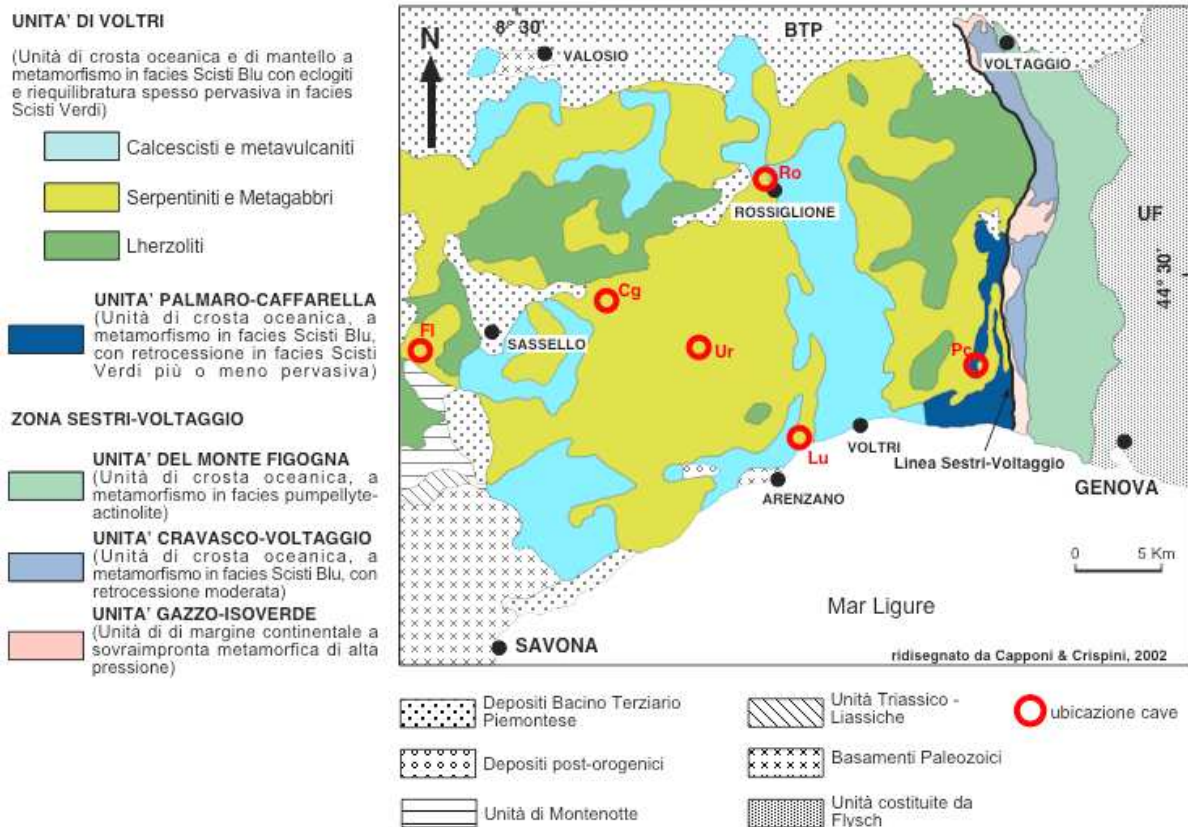
Siti con presenza di minerali asbestiformi

In particolare, nel tracciato delle “Gronda” si possono individuare le seguenti criticità, i cui litotipi affioranti sono rappresentativi delle zona a “pietre verdi” individuate in cartografia:

Viadotto Vesima: Arenzano, Genova (C.T.R: n°213130)

Cava “Pian di Carlo”: Pegli, Genova (C.T.R. n°2131 00)

Oltre ai precedenti siti sono riportate le analisi relative a campionamenti effettuati nella zona della Val Polcevera.



Nella figura sono cartografati i siti estrattivi di “Pietre Verdi” presenti nel ponente ligure contenuti l’All. II del D.C.R. N° 105 del 20/12/1996 della Regione Liguria. Il sito estrattivo denominato “Pian di Carlo” e la zona di Vesima (appartenente alla stessa unità tettonometamorfica della cava “Lupara” in figura) sono i siti intercettati dall’Opera e descritti di seguito. Sono inoltre riportati i risultati analitici relativi ad analisi petrografiche di campioni provenienti da sondaggi condotti in Val Polcevera (

Essendo la presenza di minerali fibrosi connessa alla presenza di vene e fratture nell'ammasso roccioso, il loro esame costituisce una base fondamentale nell'analisi degli affioramenti, contribuendo a fornire una corretta valutazione del contenuto di amianto nelle serpentiniti.

I dati riguardanti l'analisi delle fratture sono: tipo di discontinuità, giacitura, spaziatura (in mm), continuità, apertura (in mm), tipo di strutture osservate. L'analisi delle fratture in ciascuna stazione comprende il calcolo dell'indice geomeccanico **Jv** ovvero il *Volumetric Joint Count* (indice volumetrico dei giunti).

Spaziatura

È definita come la distanza tra discontinuità adiacenti, misurata lungo la linea di campionamento (ISRM, 1993). È stata misurata la spaziatura normale del sistema (X_n), cioè la spaziatura tra due discontinuità adiacenti dello stesso sistema di fratture, misurata lungo la normale.

Descrizione	Spaziatura
Estremamente ravvicinata	< 20 mm
Molto ravvicinata	20 – 60 mm
Ravvicinata	60 – 200 mm
Moderatamente ravvicinata	200 – 600 mm
Larga	600 – 2000 mm
Molto larga	2000 – 6000 mm
Estremamente larga	> 6000 mm

Apertura

Si definisce apertura la distanza tra i lembi affacciati di una discontinuità in cui lo spazio interposto è riempito d'aria o acqua (ISRM, 1993).

Descrizione	Apertura
Molto chiusa	< 0.1 mm
Chiusa	0.1 – 0.25 mm
Parzialmente aperta	0.25 – 0.5 mm
Aperta	0.5 – 2.5 mm
Moderatamente aperta	2.5 – 10 mm
Ampia	> 10 mm
Molto ampia	1 – 10 cm
Estremamente ampia	10 – 100 cm
Cavernosa	> 1 m

Riempimento

Con il termine "riempimento" si intende il materiale, solitamente meno resistente della roccia primitiva, che separa le pareti adiacenti di una discontinuità (ISRM, 1993).

I minerali asbestiformi possono essere presenti all'interno delle fratture come: patine sulle superfici di frattura (di colore variabile da bianco, bianco-verde chiaro fino a verde brillante), *slickenfibers* o *slip-fibers* sulle superfici di frattura e, perpendicolari alle pareti della roccia incassante, come riempimento di vene (*cross-fibers*).

Le *slickenfibers*, o *slip-fibers*, possono presentarsi come patine di fibre sovrapposte, più o meno compatte, e sono denominate *overlapping slickenfibers*, o come patine di fibre disposte a formare dei "gradini", in questo caso prendono il nome di *stepped slickenfibers*. Le *cross-fibers* all'interno delle fratture possono essere orientate perpendicolarmente alle pareti se l'apertura è avvenuta per pura dilatazione, od oblique se all'apertura ha contribuito una deformazione orientata (*shear vein*). Le fibre possono essere inoltre curve se si sono verificate variazioni nella direzione di apertura della frattura. Il tipo di

riempimento e la modalità di crescita delle fibre in frattura costituiscono un importante parametro descrittivo del rischio di liberazione delle fibre.

Indice Jv

Il numero volumetrico delle discontinuità (Jv) è definito come la somma del numero delle discontinuità al metro cubo per ogni sistema presente (ISRM, 1993; Palmström, 2001). Il numero di discontinuità di ogni sistema viene conteggiato lungo la perpendicolare del relativo sistema associato. La lunghezza di campionatura deve essere compresa tra 5 e 10 metri con un errore approssimativo calcolato intorno al 10% (ISRM, 1993). L'indice Jv rappresenta il numero totale di giunti che intersecano l'unità di volume della massa rocciosa ed è così calcolato:

$$i = 103/\text{spaziatura media sistema [mm]}$$

Nella valutazione effettuata sul terreno, sono state considerate solo le discontinuità funzionali a descrivere il grado di fratturazione e non le discontinuità occasionali e con bassa persistenza, che non influenzano significativamente il valore del Jv, a meno che la spaziatura media delle discontinuità sistematiche non sia ampia o molto ampia (1 – 10 metri).

I seguenti termini descrittivi forniscono un'idea del grado di fratturazione e della corrispondente dimensione dei blocchi affetti dai sistemi di fratture:

Grado di Fratturazione	Descrizione	Jv (giunti/m ³)
Roccia massiva	Blocchi molto grandi	< 1
Poco fratturata	Blocchi grandi	1 – 3
Mediamente fratturata	Blocchi medi	3 – 10
Molto fratturata	Blocchi piccoli	10 – 30
Intensamente fratturata	Blocchi molto piccoli	> 30

Tabella: descrizione del grado di fratturazione e delle dimensioni dei blocchi dell'ammasso roccioso in funzione dell'indice Jv.

Vengono resi disponibili al fine delle presenti osservazioni i dati relativi alle analisi minero-petrografiche delle rocce serpentinitiche contenenti amianto e quelli di caratterizzazione delle fibre, dalla tesi di dottorato della Dr. Evelina Isola (e riferimenti inclusi) (Isola E., (2010), *Approccio multiscala con metodologie integrate alle problematiche ambientali amianto-correlate. Dall'analisi di terreno al contributo sperimentale per l'inertizzazione delle fasi fibrose*, Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Genova).

I rilevamenti geologici e i campionamenti sono stati eseguiti nell'ambito di questa tesi da Aprile 2007 a Maggio 2008.

La cartografia geologica di riferimento per questi dati è il foglio CARG n°213 – GENOVA scala 1:50.000:
http://www.isprambiente.it/MEDIA/carg/213_GENOVA/Foglio.html

Per la caratterizzazione minero-petrografica dei minerali dell'amianto e delle rocce che lo contengono è necessario adottare un approccio multiscala, utilizzando diverse tecniche. La loro caratterizzazione può essere complicata a causa della cristallografia, delle proprietà ottiche, e del possibile concrescimento tra fasi a scala sub-microscopica.

In particolare, si può considerare la diffrattometria RX su polveri un efficace strumento nel riconoscimento di aggregati minerali: nel caso dei minerali del serpentino si rivela particolarmente utile nella caratterizzazione delle fasi fibrose costituenti il riempimento di vene. La microscopia elettronica a scansione (SEM) accoppiata a spettrometria in dispersione di onda (WDS) o di energia (EDS) consente di associare indagini microstrutturali e composizionali quantitative, indispensabili per completare la caratterizzazione delle fasi minerali o degli aggregati di fasi. La spettroscopia μ -Raman, usata nell'identificazione delle fasi del serpentino permette di analizzare i campioni direttamente su sezione sottile o in 3D, poiché gli spettri Raman dei tre polimorfi presentano picchi caratteristici ben distinti. Lo strumento, accoppiato a un microscopio, unisce informazioni morfologiche e microtessiturali alle analisi in situ.

Microscopia stereoscopica

Attraverso questa tecnica si è analizzato sui campioni macroscopici l'assetto tessiturale e, nei riempimenti delle vene, l'eventuale presenza di fibre e le loro dimensioni. Inoltre, sono stati selezionati siti per le analisi successive.

Microscopia ottica in luce polarizzata e trasmessa

Sono state osservate al microscopio ottico in luce polarizzata sezioni sottili da campioni delle Unità ofiolitiche afferenti alle Unità tettonometamorfiche di Voltri e Palmaro -Caffarella (Liguria occidentale).

Diffrazione RX per polveri

Sono stati sottoposti ad analisi diffrattometrica su polveri le fasi fibrose di vene provenienti dalle serpentiniti. Le analisi per l'identificazione delle fasi sono state eseguite con un diffrattometro Philips PW 1140 X-CHANGE, ubicato presso il Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università degli Studi di Genova, alle seguenti condizioni operative: radiazione Cu Ka; input 40 Kvolt; intensità di corrente elettrica 20 mA). I diffrattogrammi sono stati acquisiti in scansione continua, utilizzando tempi di 2.5 sec e step angolari di 0.020. La scansione è stata effettuata da 3° a 60° di 2θ .

Il diffrattogramma è stato interpretato indicizzando i riflessi principali e confrontandoli con il PDFTM (The Powder Diffraction FileTM – International Centre for Diffraction Data). Con il software Origin6.0, su ciascun file è stata effettuata un'operazione di smoothing per eliminare il rumore e un'operazione di baseline per ottenere una buona linea di fondo. Successivamente si è proceduto all'individuazione dei picchi e all'identificazione delle fasi.

Microscopia elettronica SEM e microanalisi SEM-EDS

Sono state analizzate mediante SEM-EDS sezioni sottili lucide metallizzate a grafite dei campioni di roccia. Le analisi sono state effettuate con un microscopio elettronico Philips SEM 515 equipaggiato con analizzatore a dispersione di RX (EDS), alle seguenti condizioni operative: accelerazione del fascio 15 kV; corrente 20 nA. Le immagini sono state acquisite con accelerazione del fascio elettronico di 20 kV (presso il Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università degli Studi di Genova).

Le analisi minero-chimiche dei serpentini sono state ricalcolate sulla base di cinque cationi e le analisi delle olivine sulla base di tre cationi. L'Al è stato collocato nei siti tetraedrico e ottaedrico in modo da ottenere la completa occupanza del sito tetraedrico. Le composizioni in ossidi ottenute dalle analisi dei serpentini sono state elaborate in diagrammi binari e/o ternari.

Spettroscopia μ -Raman

La spettroscopia Raman è una tecnica non distruttiva, basata sull'interazione di una radiazione incidente (fascio laser) e l'oggetto da indagare.

Gli spettri Raman sono stati ottenuti sugli stessi siti tessiturali dei medesimi campioni analizzati al SEM-EDS. Le analisi sono state effettuate all'interno di vene e microfrazioni, all'interno di tessiture massive a mesh, ribbon, hourglasses e all'interno delle tracce di saldatura delle bastiti. Le analisi sono state acquisite con un microspettrometro Horiba Jobin Yvon HR 800, equipaggiato con un microscopio Olympus BX41 e un detector CCD raffreddato ad aria, sorgente laser Nd 80 mW operante a una frequenza di 532.11 nm, installato presso il Dipartimento di Scienze Mineralogiche e Petrologiche dell'Università di Torino.

1) Affioramento sito lungo SS1 tra Vesima e Arenzano

Il sito è ubicato alle porte di Arenzano, lungo la strada statale 1 "Aurelia", in località Terrarossa. L'affioramento presenta un fronte subverticale al di sotto del viadotto autostradale "Lupara". Questa parte di coltivazione è resa inaccessibile dalla folta vegetazione e da conoidi detritiche di dimensioni decametriche al piede del versante. Il fronte si estende per circa 150 m e ha una potenza massima di circa 30 m. Le rocce affioranti appartengono all' "unità tettono-metamorfica di Voltri", in particolare ai "serpentinocisti antigoritici di Bric del Dente". I contatti principali sono tettonici e/o stratigrafici e riguardano i metabasalti di Rossiglione verso sud, e i calcescisti del Turchino a ovest, con intercalazioni delle quarziti di Case Taverino. Le faglie principali hanno direzione NW-SE, nella zona più a ovest della cava, e NE-SW nella zona ad est. Per il rilevamento geologico e il campionamento, effettuati su due stazioni di rilevamento nel settore a SW dell'affioramento, è stato utilizzato un ingrandimento a scala 1:5000 del foglio n° 213130 della Carta Tecnica Regionale. Il fronte si presenta da "mediamente" (stazione di rilevamento n° 1, $3 < Jv < 10$) a "intensamente fratturato" (stazione n° 2, $Jv > 30$). La roccia si presenta di colore grigio chiaro-verde sull'affioramento e nell'insieme poco alterata.

Nella stazione 1 sono presenti tre sistemi di fratture, caratterizzati da spaziatura moderatamente ravvicinata e da aperture da “aperte” a “molto ampie” con un massimo di 3 cm, che determinano un grado di fratturazione medio. La superficie di Fr_1/1 è ricoperta da patine di fibre del tipo slickenfibers di colore biancastro. Le superfici esposte delle Fr_1/2 e Fr_1/3 presentano slickenfibers di colore verde con fasci aperti e chiusi di fibre rigide, ma flessibili. I sistemi 2 e 3 non presentano fratture riempite da minerali fibrosi.

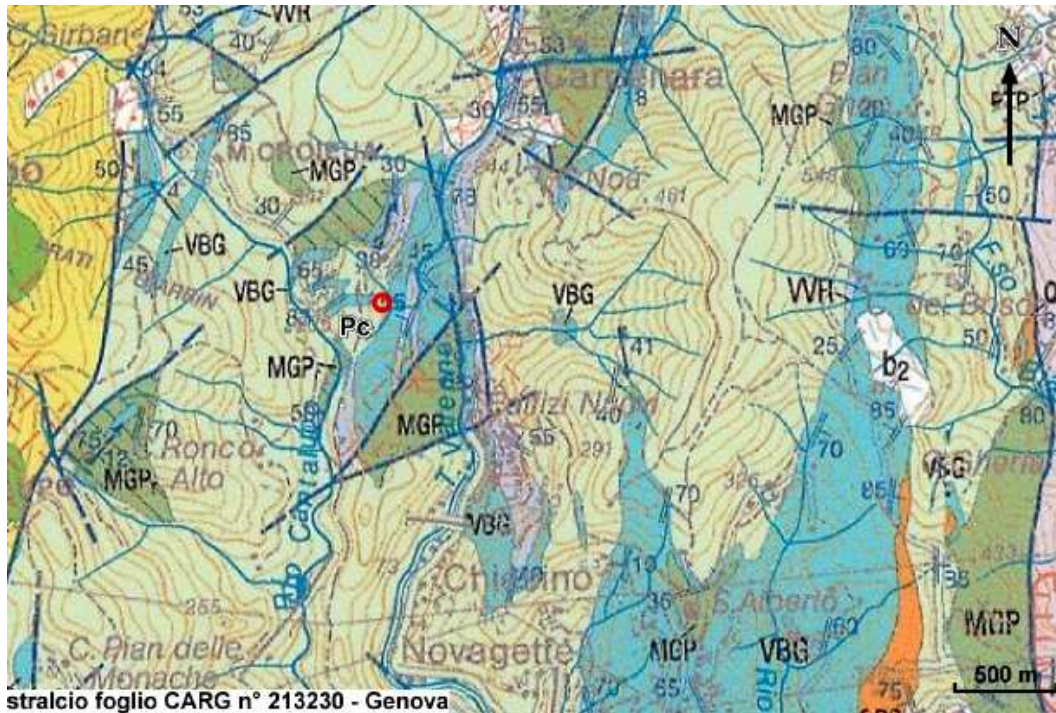
Nella seconda stazione, l'ammasso roccioso si presenta “intensamente fratturato”. Sono presenti cinque sistemi di fratture a spaziatura moderatamente ravvicinata e aperture da parzialmente aperte ad aperte. Non si osservano riempimenti fibrosi se non una superficie di slickensides.

2) Cava “Pian di Carlo”

La cava è ubicata in località Chiesino, lungo Via Carpenara, che congiunge il centro di Pegli a Carpenara. Attualmente la cava, non più interessata da attività estrattiva, è in fase di ripristino ambientale. È situata in sponda idrografica destra del Torrente Varenna lungo il versante NE di “Bric Bardengo”. Il fronte, sviluppato a gradoni, si estende per circa 300 m con una altezza massima di circa 75 m. La cava è impostata su litotipi appartenenti all'unità tettono-metamorfica Palmaro-Caffarella, in questo contesto rappresentata dalle serpentiniti di san Carlo di Cese e dai calcescisti della Val Branega e metabasiti (settore N). In prossimità del settore nord del fronte sono presenti due faglie con direzione NE – SW e NNE – SW che mettono a contatto le serpentiniti di San Carlo di Cese con i metagabbri di Carpenara e questi con i metabasalti della Val Varenna e i Calcescisti della Val Branega rispettivamente.

Sul terreno antistante il gradone della stazione rilevata si trovano blocchi, da medi a piccoli (25 cm – 12 cm) distaccati dalla parete, interessati dalla presenza di fibre (in patine) libere o liberabili (v. foto).

Il rilevamento geologico e il campionamento sono stati effettuati utilizzando come base cartografica un ingrandimento a scala 1:5000 del foglio n° 213100 della Carta Tecnica Regionale. Il settore di cava campionato è posto a N del fronte ad un' altezza di circa 10 m dal piazzale sottostante.



Carta geologica dell'area di studio, MGP: metagabbri di Carpenara;; QPC: quarzoscisti di Sant'Alberto; VBG: calcescisti della Val Branega; WR: metabasalti della Val Varenna; in verde chiaro (non compare la sigla RLO): serpentiniti di San Carlo di Cese. Depositi quaternari: PTP (breccie di San Pietro ai Prati).

La roccia si presenta intensamente fratturata ($J_v > 30$) e comprende quattro sistemi di fratture con spaziatura da "ravvicinata" a "moderatamente ravvicinata", in media da chiuse (sistema 1) ad aperte (sistema 2 - apertura media di 15-20 mm). Nel calcolo dell'indice J_v non è stato conteggiato un quinto sistema di vene (135/20/NE) caratterizzate da bassa continuità (< 1 m) e sviluppati solo localmente.

La roccia si presenta moderatamente alterata, di colore da grigio verde a verde scuro. La superficie di Fr_1/1 è ricoperta da patine di fibre del tipo *overlapping slickenfibers*. Le fibre su questa superficie sono da biancastre a marroncine e di lunghezza fino 3-4 cm associate a patine di dolomite. È possibile inoltre riconoscere un sistema di fibre di colore bianco poste parallelamente alla scistosità (v. foto sottostante).



Figura: sistema di fratture contenenti fibre e patine di carbonati.

Le rocce presenti negli affioramenti di “Pietre Verdi” affioranti nelle zone intercettate dall’Opera sono generalmente serpentiniti e serpentinoscisti antigoritici, caratterizzati da tessitura massiva, in alcuni casi da scistosità ed evidente foliazione. La granulometria varia da fine (0.002 – 0.063 mm) a media (0.063 – 2.000 mm) con rari porfiroclasti di dimensioni medie \approx 3 mm. Il colore superficiale è molto variabile e dipende dalla presenza di patine di minerali argillosi, o di minerali fibrosi (da diverse gradazioni del grigio verde-blu al marrone; ref. Munsell © soil colour chart: Gley1 N3/, Gley1 5GY 4.5/1, Gley1 10Y 7/1, 5Y 5/2.5, 10YR 6/3). Il colore del volume della roccia varia da nero/grigio scuro-blu a nero/grigio scuro-verde (ref. Munsell © soil colour chart: Gley2 5B 2.5/1, 10B 2.5/1, 5PB 3/1). In particolare negli affioramenti precedentemente descritti, e nei campioni provenienti dai sondaggi effettuati in Val Polcevera, non sono visibili segni di alterazione meteorica marcati, se non alterazioni superficiali. Solo occasionalmente la roccia si presenta alterata, e sebbene non cataclastica, in questi casi spesso si ha liberazione di abbondanti fibre di crisotilo e/o tremolite (ad es. nel campione S31 proveniente da sondaggi nell’Unità Cravasco Voltaggio).

Le fratture spesso si sviluppano parallele alla scistosità da moderatamente aperte (fino a 1 cm) a molto strette (< 1 mm) con riempimento monomineralico di *cross-fibers* o non fibroso, o polimineralico (Srp + minerali argillosi; Srp + Cal; Srp + Trm \pm Chl). Sono molto diffuse patine di *slickenfibers* (*stepped-* o *overlapping-slickenfibers*) e patine di carbonati ad abito raggiato o fibroso (Cava “Pian di Carlo”). Si sviluppano network di vene a diversa orientazione che possono presentare riempimento compatto o fibroso, biancastro o verde chiaro. Le fibre sono spesso presenti nel detrito spontaneamente rilasciato dal campione, (ad es. “Pian di Carlo”, “zona di Vesima - Arenzano” o dalla Zona Sestri-Voltaggio nei campioni più alterati (ad es. S6, S31).

Le fibre possono essere libere o liberabili all’interno di vene o su patine e hanno lunghezza variabile da < 0.5 mm fino a 5 mm, con diametro medio dei fasci di circa 1 mm.



Campione Pc_3 - (Val Varenna, Genova)



Campione Pc_2 – (Val Varenna, Genova)

Figura: fibre di tremolite compatte e soffici provenienti dalla cava “Pian di Carlo (Val Varenna, Genova).

Analisi MOLP

Le serpentiniti dalle Unità tettonometamorfiche di ponente sono serpentiniti antigoritiche più o meno scistose o foliate con ortopirosseni prevalentemente sostituiti da antigorite (bastiti).

I serpentinoscisti presentano aggregati microcristallini di antigorite \pm magnetite in tessiture prevalentemente di tipo *interlocking*, e in minor misura *interpenetrating*.

Il riempimento delle vene varia da crisotilo, antigorite fibrosa, tremolite, calcite e, in vene polifasiche, antigorite fibrosa + dolomite fibrosa + tremolite. Non sempre sono ben riconoscibili le relazioni strutturali tra le fratture. Una popolazione di fratture si imposta parallelamente alla foliazione, mentre una generazione di fratture successiva, a riempimento di fillosilicato fibroso, taglia le precedenti. Nella cava "Pian di Carlo" le vene più tardive sono rappresentate da antigorite fibrosa, carbonato (dolomite fibrosa) e tremolite. Le vene di antigorite si sviluppano parallelamente alla scistosità (ad es. loc. Rossiglione o località Urbe), in serpentinoscisti in cui l'antigorite assume abito fibroso.

Composizione minero-chimica

Nonostante la difficoltà ad ottenere una caratterizzazione composizionale per i possibili concrescimenti a scala sub-microscopica di più fasi del serpentino, la minerochimica dei vari polimorfi è risultata in genere consistente con i dati di letteratura (Whittacker & Wicks, 1970; Wicks & Plant, 1979; Viti & Mellini, 1996; Viti & Mellini, 1997; Groppo, 2004), ma con alcune eccezioni.

In generale, è possibile affermare che il contenuto di Al_2O_3 è inferiore nel crisotilo delle vene piuttosto che negli altri polimorfi, mentre Groppo (2004) evidenzia contenuti inferiori per l'antigorite. Al_2O_3 nelle vene di antigorite varia da 2.10 a 2.79 a.p.f.u., 2.20 – 4.89 a.p.f.u., nelle bastiti, e da 0.69 a 2.82 a.p.f.u., nelle tessiture pseudomorfiche. Nelle antigoriti dei serpentinoscisti alpini la sostituzione AlIV \rightarrow Si nel sito tetraedrico è maggiore che nel sito ottaedrico soprattutto nelle tessiture pseudomorfiche, al contrario di quanto si verifica in bastiti e vene, mentre si ha una maggiore variabilità nelle tessiture *interlocking*. L'Al totale è inferiore nel crisotilo e maggiore nella lizardite. In conformità con Wicks & O'Hanley (1988) Viti & Mellini (1996) il Fe totale nelle antigoriti è il più alto rispetto a lizardite e crisotilo, ad eccezione di alcuni crisotili in vena (Arbisci) e lizardite (Rocchetta Vara). FeO varia tra 3.81 - 6.54 a.p.f.u., e 5.58 - 6.00 nelle vene. Mn e il Cr sono poco abbondanti (Mn = 0.004 – 0.013 a.p.f.u.; Cr = 0.000 – 0.009 a.p.f.u.), con i valori più alti corrispondenti alle vene e alle bastiti rispettivamente.

I dati sono illustrati nei diagrammi binari riportati a fine capitolo, dove il rapporto Si/ Σ cationi ottaedrici risulta distintivo tra crisotilo, lizardite e antigorite, così come il contenuto in FeO è discriminante per le caratteristiche composizionali dell'antigorite.

Spettroscopia μ -Raman

Sulla base della spettroscopia μ -Raman, le strutture *interpenetrating*, *interlocking* e a maglie sono costituite da antigorite (\pm magnetite \pm titanite). Lo spettro Raman dell'antigorite si differenzia maggiormente dagli spettri degli altri due polimorfi.

Le vene fibrose

L'analisi delle paragenesi delle vene fibrose si basa su analisi diffrattometriche e spettroscopiche μ -Raman per l'identificazione delle specie mineralogiche. Le analisi hanno consentito di distinguere vene monomineraliche a crisotilo, ad antigorite fibrosa, a lizardite, a calcite (con abito anche raggato o pseudo-fibroso, foto), tremolite. Le vene polimineraliche presentano paragenesi ad antigorite fibrosa + tremolite + dolomite fibrosa + crisotilo; tremolite \pm smectite; tremolite + crisotilo \pm smectite.

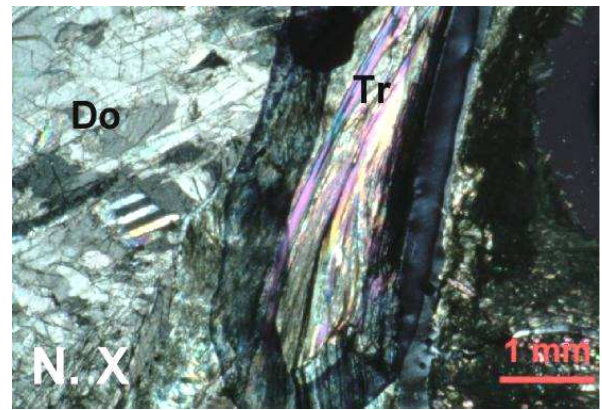
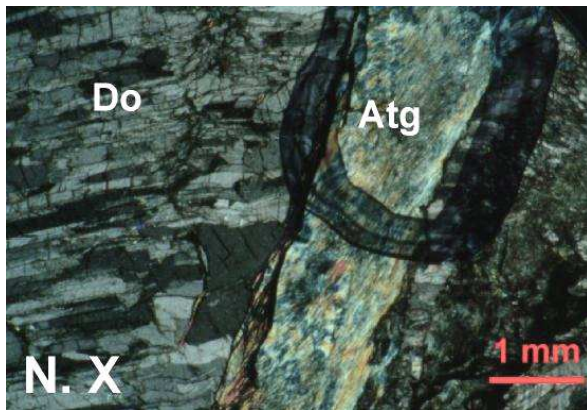


Figura: vena polifasica ad antigorite + dolomite + tremolite (cava "Pian di Carlo, Val Varenna – Genova).

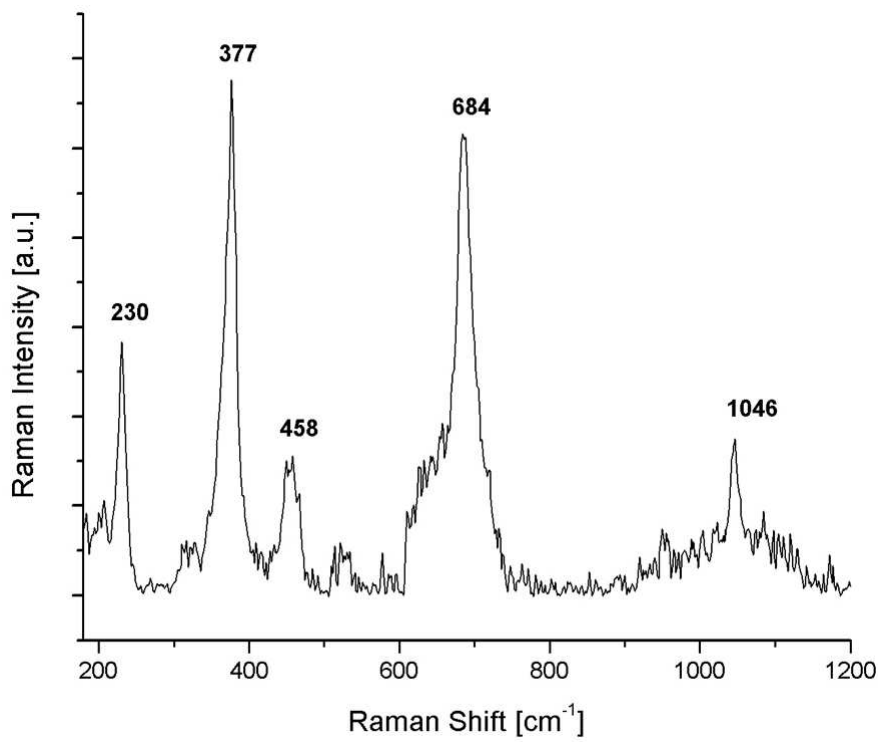


Figura: spettro Raman di antigorite fibrosa proveniente dalla vena atg + do+ tr (Pian di Carlo, v. fig. precedente).

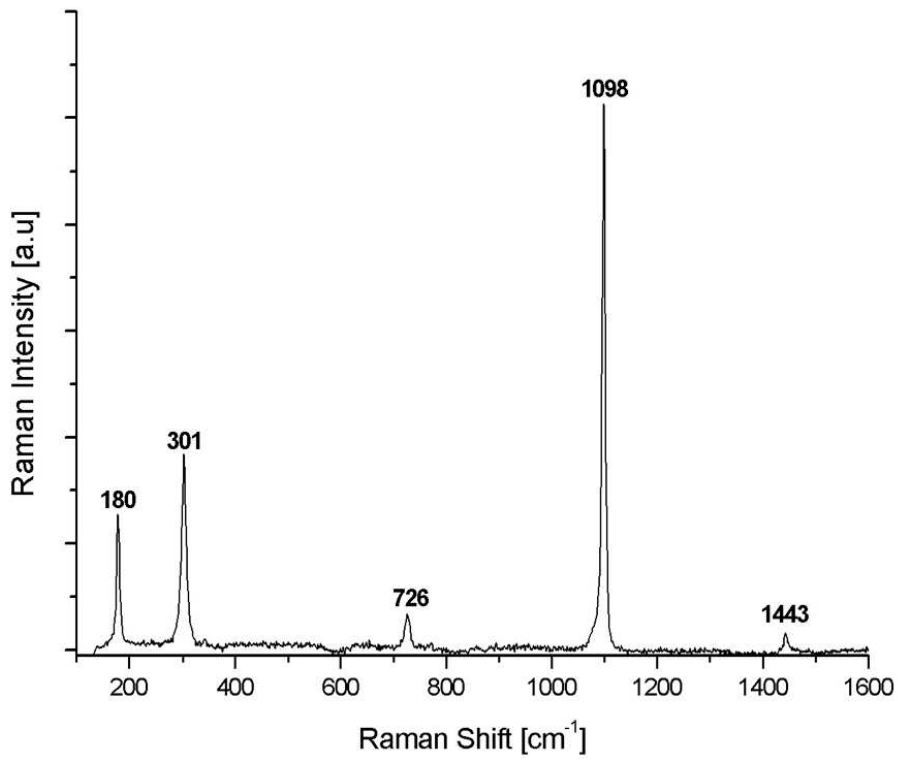


Figura: spettro Raman di dolomite fibrosa proveniente dalla vena atg + do+ tr (Pian di Carlo).

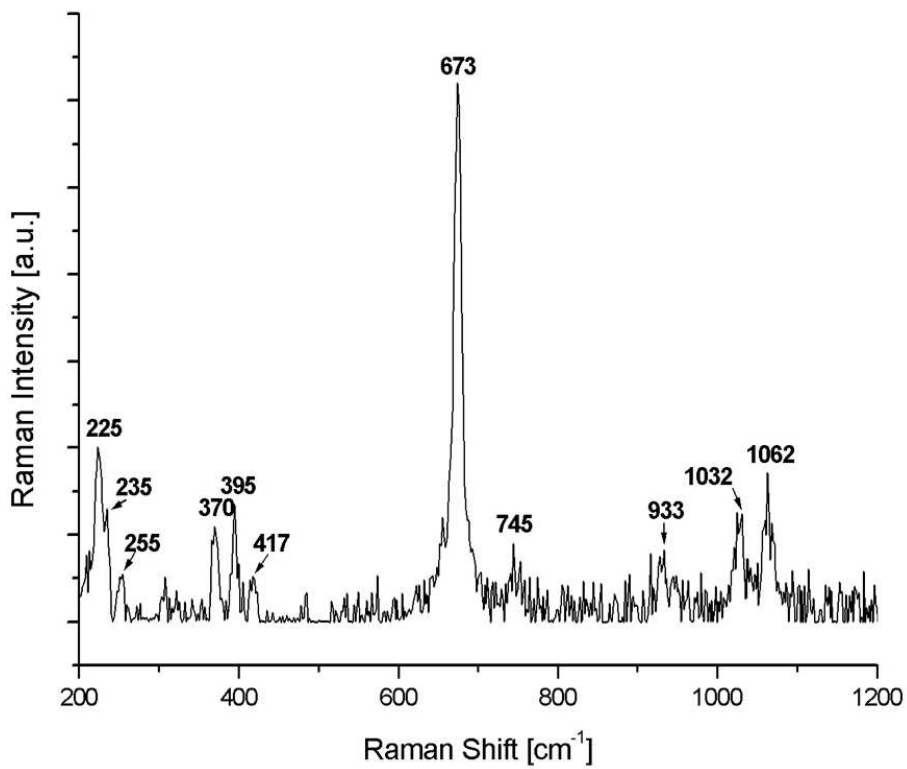
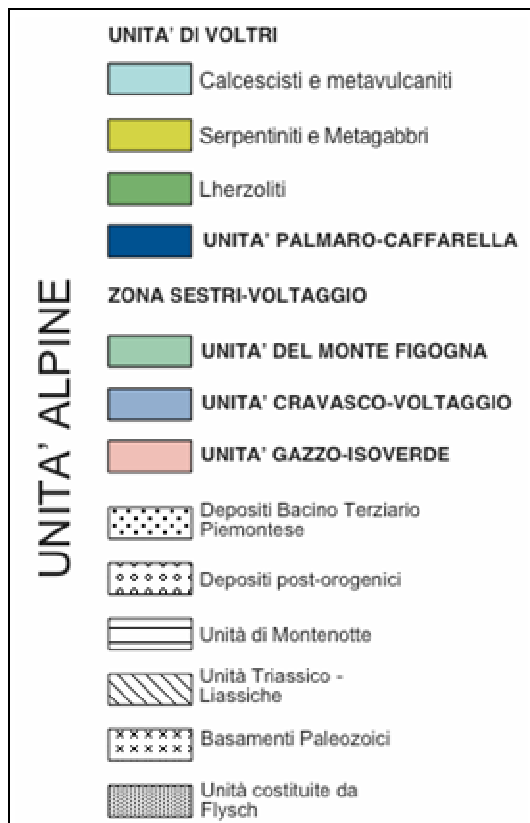
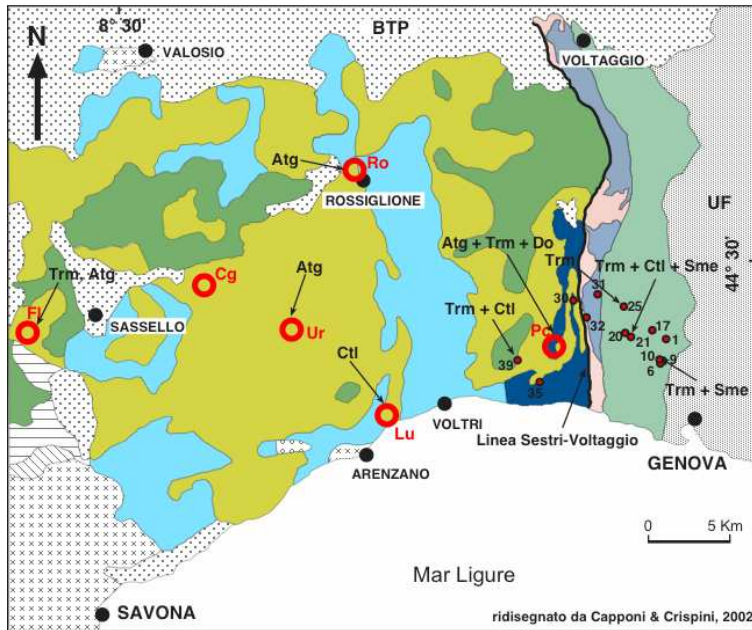


Figura: spettro Raman di tremolite proveniente dalla vena atg + do+ tr (Pian di Carlo).

Le vene ad antigorite + dolomite + tremolite sono presenti esclusivamente nelle serpentiniti della cava “Pian di Carlo” (Val Varenna, Genova). Il cuore del *vein filling* è dolomite fibrosa, mentre antigorite fibrosa (lunghezza fino a 1 cm) e tremolite si sviluppano alla salbanda della vena lungo fasce ristrette. Un network di vene monomineraliche di tremolite breccia il volume della roccia.



Diffratogrammi rappresentativi dei riempimenti delle vene fibrose

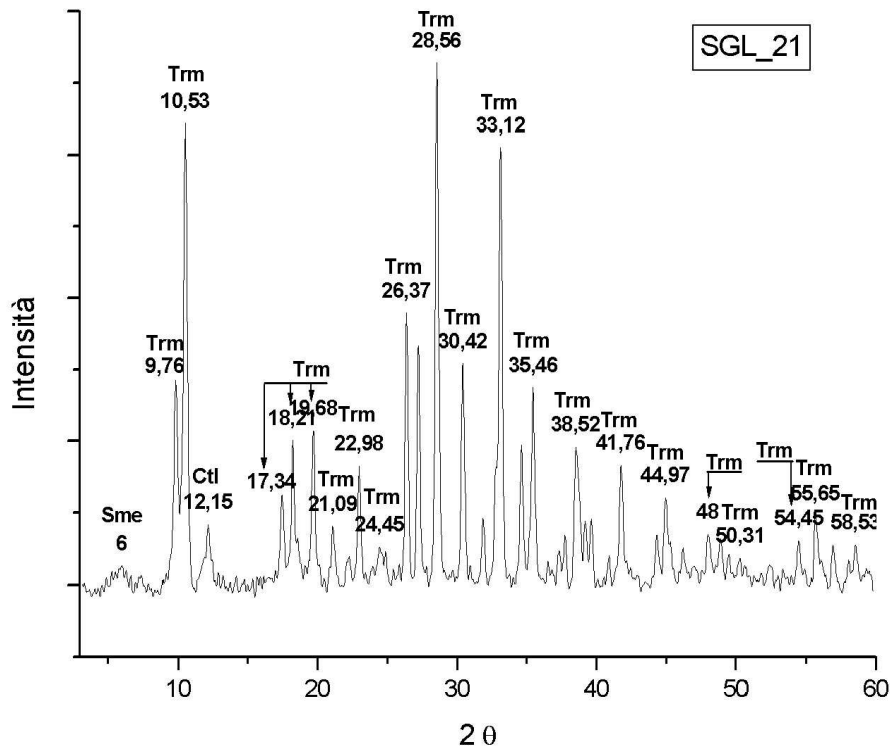
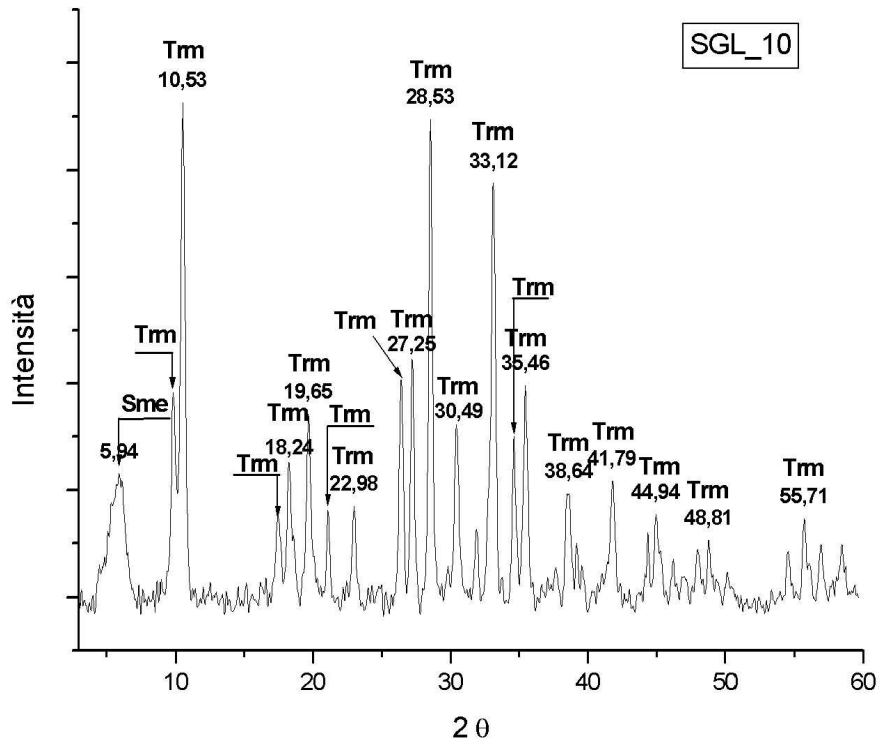


Figura: in alto: vena tremolite + smentite (campione proveniente dai sondaggi condotti all'interno dell'Unità del M.te Figogna); in basso: vena tremolite + crisotile + smectite (campione proveniente dai sondaggi condotti all'interno dell'Unità del M.te Figogna).

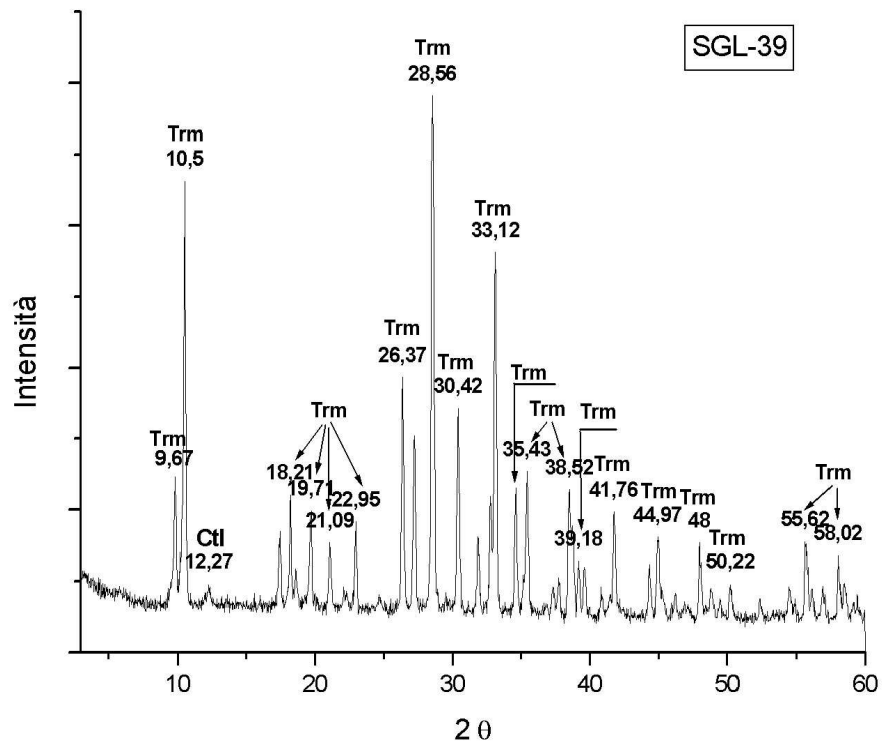
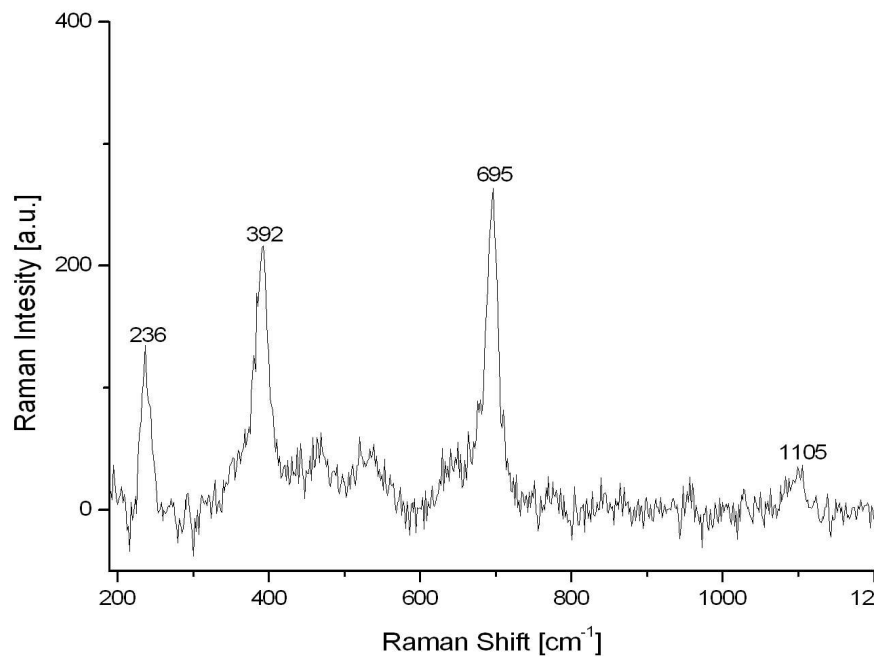


Figura: vena tremolite + crisotile (campione proveniente dai sondaggi condotti all'interno dell'Unità di Voltri)

Spettri Raman rappresentativi dei riempimenti delle vene:



Spettro Raman di crisotile proveniente dal campione Lu_7 (cava "Lupara", Arenzano – Genova).