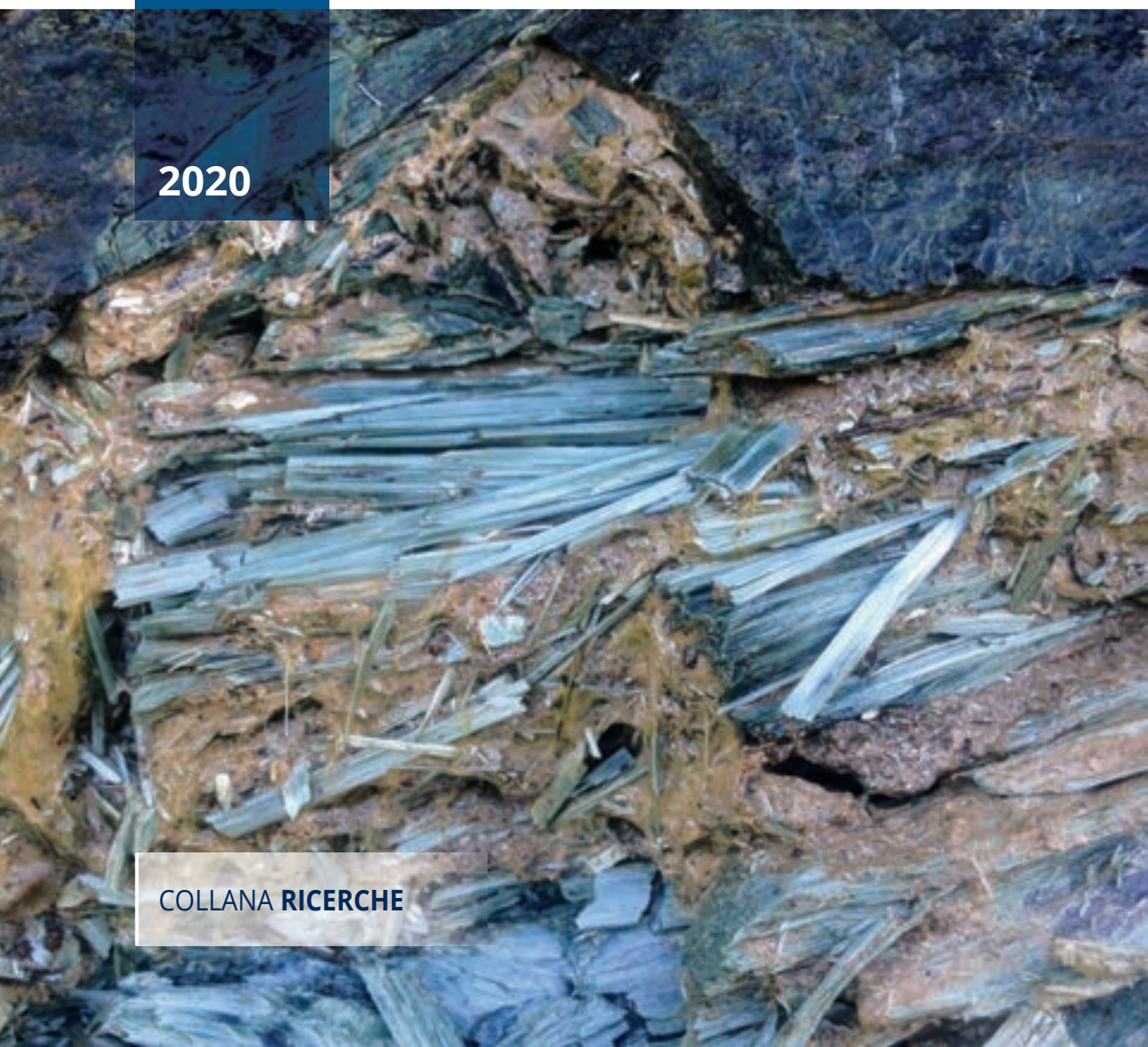


AMIANTO NELLE ROCCE OFIOLITICHE IN CALABRIA

INAIL

2020

COLLANA RICERCHE



AMIANTO NELLE ROCCE OFIOLITICHE IN CALABRIA

INAIL

2020

Pubblicazione realizzata da

Inail

Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

Coordinamento scientifico

Antonella Campopiano¹

Autori

Federica Angelosanto¹, Maria Rosaria Bruno², Antonella Campopiano¹, Annapaola Cannizzaro¹, Pietro Capone³, Stefano Casciardi¹, Emma Anna Rita Ciconte⁴, Renato Giardino⁴, Antonino Iannò¹, Angelo Olori¹, Teresa Oranges⁵, Francesco Sinopoli², Alessandra Spadafora⁵, Egidio Vilella⁴

Curatori

Antonella Campopiano¹, Federica Angelosanto¹

Editing e grafica

Pina Galzerano¹, Emanuela Giuli¹

Immagine di copertina

Antonino Iannò¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale, Monte Porzio Catone (RM)

² Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale, Lamezia Terme (CZ)

³ Arpacal - Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente della Calabria, Dipartimento provinciale di Vibo Valentia

⁴ Asp-Spisal - Dipartimento tutela della salute e politiche sanitarie, Catanzaro

⁵ Arpacal - Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente della Calabria, centro regionale geologia e amianto, Castrolibero (CS)

per informazioni

Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

Via Fontana Candida, 1 - 00078 Monte Porzio Catone (RM)

dmil@inail.it; a.campopiano@inail.it

www.inail.it

©2020 Inail

ISBN 978-88-7484-601-6

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nelle pubblicazioni, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

PREMESSA

Le ofioliti, dette anche pietre verdi per la loro colorazione caratteristica, costituiscono un'associazione di rocce di origine magmatica diffusamente affioranti sul territorio calabrese. Nel passato esse hanno rappresentato un'importante risorsa economica locale, in quanto ampiamente utilizzate come materiali naturali da costruzione e decorativi per la loro straordinaria resistenza, durabilità e varietà di aspetto e colorazione, e come inerti. Tali materiali rocciosi, però, possono contenere amianto e quindi costituire una fonte di rischio per i lavoratori del comparto estrattivo ed anche per la popolazione in generale.

Ad oggi le cave di pietre verdi nella regione Calabria risultano quasi tutte inattive, spesso abbandonate e non messe in sicurezza. Diffusamente presenti in vaste aree del territorio regionale vi sono, infine, affioramenti più o meno estesi di ofioliti, posti anche in prossimità di centri abitati o comunque ai bordi delle vie di accesso agli stessi.

L'Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro (Inail) negli ultimi anni ha portato avanti un progetto di ricerca inerente alla caratterizzazione chimico mineralogica delle ofioliti affioranti sul territorio della Regione Calabria, proposto dal Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale (Dimeila). Le attività di ricerca sono state condotte dal Centro ricerche Inail di Monte Porzio Catone (Roma) e dal Centro ricerche Inail di Lamezia Terme (Catanzaro) in collaborazione con l'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente della Calabria (Arpacal) e il Servizio prevenzione igiene e sicurezza ambienti lavoro dell'azienda sanitaria provinciale (Spisal-Asp) di Catanzaro.

L'obiettivo del progetto è stato l'individuazione e la caratterizzazione dei minerali asbestiformi presenti nelle ofioliti affioranti sul territorio calabrese e la descrizione del comparto estrattivo di questi materiali nell'area di Lamezia Terme.

Il lavoro svolto ha consentito di sviluppare importanti sinergie con le istituzioni del territorio, necessarie per realizzare le attività di tutela ambientale e lavorativa.

Il presente volume costituirà un aiuto per tutti coloro che operano nel settore al fine di fornire una pianificazione territoriale che miri alla salvaguardia della salute pubblica e dei lavoratori.

Sergio Iavicoli
*Direttore del Dipartimento di medicina,
epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale*

INDICE

Introduzione	7
Cenni sull'amianto e aspetti sanitari	7
Geologia delle ofioliti	10
Le sequenze ofiolitiche: genesi e descrizione	10
Le pietre verdi in Calabria	12
Classificazione delle pietre verdi secondo la normativa nazionale	15
Valutazione del contenuto di amianto nel giacimento e controlli durante l'attività estrattiva	15
Valutazione del contenuto di amianto nei materiali estratti	16
Metodo alternativo per la determinazione dell'indice di rilascio	17
Metodologia d'indagine	19
Campionamento del materiale roccioso da affioramenti naturali	19
Le tecniche analitiche	19
Microscopia ottica	20
Microscopia elettronica a scansione	27
Microscopia elettronica a trasmissione	31
Spettroscopia infrarossa	40
Spettroscopia Raman	48
Lavorazioni delle pietre verdi in Calabria	50
Lo sfruttamento delle pietre verdi	50
Differenziazione tra i cicli produttivi più diffusi	51
Valutazione della dispersione di fibre durante le lavorazioni di pietra verde	60
Campionamenti personali	60
Campionamenti ambientali	61
Mappatura degli affioramenti ofiolitici in Calabria	68
Realizzazione di una piattaforma web per la mappatura georeferenziata degli affioramenti ofiolitici	70
Studio sulla biosolubilità della tremolite	74
Fattori coinvolti nella tossicità delle fibre	74

Meccanismi biologici coinvolti nella rimozione delle fibre inalate	74
Test di dissoluzione	76
Biosolubilità della tremolite: studi in letteratura	80
Conclusioni	82
Bibliografia e sitografia	84
Riferimenti normativi	93
Allegati: Schede di campionamento e analisi	95

INTRODUZIONE

CENNI SULL'AMIANTO E ASPETTI SANITARI

Con il termine amianto o asbesto viene indicato un gruppo di minerali presenti in natura allo stato fibroso appartenenti alla classe degli idrossi-silicati idrati.

Il d.lgs. 81/2008, art. 247 definisce amianto i silicati fibrosi della Tabella 1.

Tabella 1		Minerali di amianto
Minerale	Formula chimica	CAS
Crisotilo	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	12001-29-5
Actinolite	$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	77536-66-4
Grunerite	$(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$	12172-73-5
Antofillite	$(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$	77536-67-5
Crocidolite	$NaFe^{2+}_3Fe^{3+}_2Si_8O_{22}(OH)_2$	12001-28-4
Tremolite	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$	77536-68-6

Alla serie dei serpentini appartiene solamente il crisotilo. A quella degli anfiboli rientrano l'actinolite, l'amosite, la crocidolite, la tremolite e l'antofillite.

La struttura fibrosa conferisce al minerale proprietà (alta combustibilità, resistenza alle alte temperature, all'usura e all'aggressione chimica di molte sostanze, alla trazione, estrema flessibilità) che hanno determinato un diffusissimo impiego dei prodotti contenenti amianto.

Fino agli anni '80, l'amianto è stato ampiamente usato nell'edilizia e nelle applicazioni industriali. Il maggiore impiego dell'amianto, a livello mondiale, è stato in combinazione con il cemento, per la realizzazione di una gran varietà di prodotti, come ad esempio condutture, lastre piane e corrugate. Altri impieghi significativi dell'amianto sono stati la realizzazione di prodotti a base di asfalto o vinile per la pavimentazione, prodotti isolanti per le condutture e le caldaie, feltri per la costruzione di tetti, tessuti speciali, materiali di attrito, prodotti antincendio spruzzati ed isolanti elettrici.

Ad oltre 20 anni dall'approvazione da parte del Parlamento italiano della l. 257/1992 che ha previsto la cessazione dell'impiego dell'amianto sull'intero territorio nazionale, il tema degli effetti sulla salute dell'inhalazione di fibre aerodisperse è al centro dell'attenzione della comunità scientifica, delle autorità e dell'opinione pubblica.

La pericolosità dell'amianto risiede nella capacità del minerale di sfaldarsi longitudinalmente in lunghe e sottilissime fibre, dette fibrille. I danni maggiori indotti dall'esposi-

zione all'amianto sono soprattutto a carico dell'apparato respiratorio dove esercita un'azione altamente nociva.

L'esposizione a fibre di amianto può provocare, anche a distanza di decenni, tutta una serie di patologie a carico del tessuto polmonare elencate in Tabella 2.

Tabella 2		Patologie asbesto-relate
Organo	Malattie Neoplastiche	Malattie non-Neoplastiche
Polmone	Carcinoma	Asbestosi Malattie delle piccole vie aeree Malattie delle grandi vie aeree: - Bronchite cronica - Limitazione cronica del flusso di aria
Pleura	Mesotelioma	Effusione Placche pleuriche Fibrosi pleurica viscerale

Le vie aeree del tratto respiratorio, i sacchi alveolari nei quali avviene lo scambio gassoso ed il rivestimento pleurico che avvolge i polmoni, sono i siti colpiti dalle fibre nei quali hanno origine le patologie asbesto-relate. Una volta penetrate all'interno dell'organismo, le fibre di amianto inducono lo sviluppo di tumori a livello del polmone, membrane sierose (pleura, peritoneo, pericardio, tunica vaginale del testicolo) e faringe.

Tra le patologie più importanti ritroviamo l'asbestosi ed il carcinoma a livello polmonare ed il mesotelioma e le placche pleuriche a livello della pleura.

L'asbestosi è una malattia cronica ed evolutiva causata dalla capacità delle fibre di amianto di provocare fibrosi del tessuto polmonare, rendendolo in maniera definitiva non idoneo agli scambi respiratori. È una malattia dose-dipendente che si manifesta ad alte esposizioni di amianto. L'analisi istopatologica dei tessuti polmonari rivela la presenza di fibre e/o corpuscoli di amianto nelle fasi non conclamate della malattia. L'asbestosi è una malattia progressiva con segni clinici e sintomi che si sviluppano dopo dieci o più anni di ripetute esposizioni a fibre di amianto. I pazienti con asbestosi sono ad elevato rischio di sviluppare carcinoma polmonare, specialmente se fumatori. Il carcinoma polmonare, comprendente il tumore della trachea, dei bronchi o del tessuto polmonare (alveoli), ha origine dagli strati epiteliali delle piccole e grandi vie aeree del polmone. Nella maggioranza della popolazione il fumo di sigaretta è la principale causa di cancro al polmone. Esiste comunque un sinergismo tra l'azione dell'amianto e quella del fumo di tabacco nell'induzione del cancro al polmone. In maniera simile all'asbestosi c'è un periodo di latenza di almeno 15 - 20 anni che intercorre tra l'esposizione all'amianto e le manifestazioni cliniche. Il carcinoma frequentemente metastatizza presto e la sopravvivenza al di là dei 2 - 5 anni è molto rara.

Il mesotelioma è una neoplasia maligna letale che origina dalla pleura, dal peritoneo o raramente dal pericardio o dalla tunica vaginale dei testicoli. È associato ad una storia di esposizione occupazionale ad amianto, specialmente se anfibolico. Il mesotelioma maligno ha il più lungo periodo di latenza di tutte le patologie asbesto-relate, arrivando a 20 - 40 anni dalla prima esposizione. Non sono conosciuti altri cofattori che contribuiscono a questa neoplasia maligna ed al contrario del carcinoma polmonare non c'è un aumento dell'incidenza nei fumatori.

La più comune reazione alle fibre di amianto è la placca pleurica parietale, una cicatrice fibrotica che si sviluppa sulla superficie della pleura o sulla superficie superiore del diaframma in seguito ad interazione con fibre di amianto. Queste cicatrici possono calcificare ed essere visibili attraverso un'analisi ai raggi X, normalmente dopo 20 - 30 anni dall'esposizione occupazionale all'amianto. Alcuni studiosi considerano le placche parietali pleurali come biomarcatori di esposizione ad amianto e come un segnale di avvertimento che tali lavoratori sono ad elevato rischio di sviluppare complicazioni maligne.

GEOLOGIA DELLE OFIOLITI

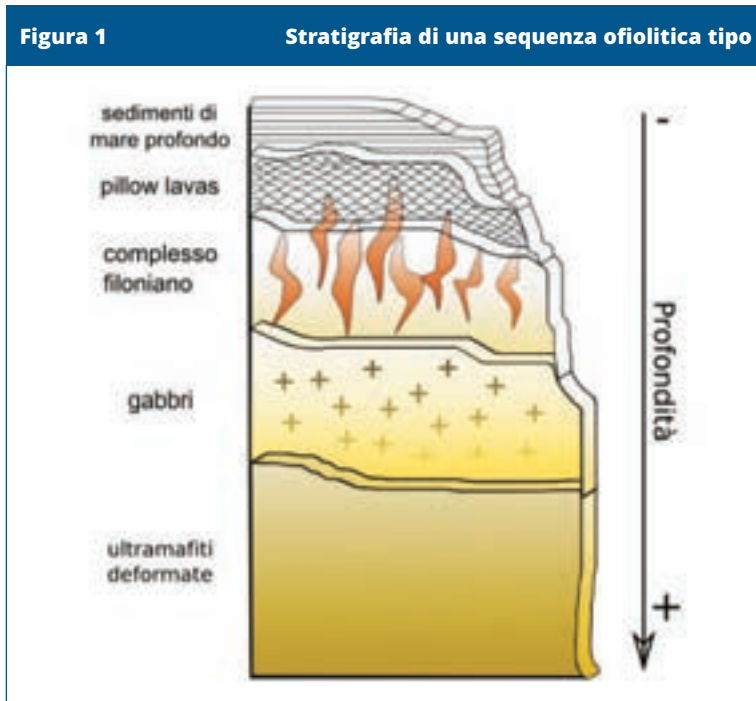
LE SEQUENZE OFIOLITICHE: GENESI E DESCRIZIONE

Il termine ofioliti è usato per descrivere frammenti di litosfera oceanica, composta da crosta e mantello superiore, e dall'insieme delle rocce sedimentarie di mare profondo depositatesi sui fondali oceanici, in seguito coinvolte nei meccanismi tetto-genetici dei margini convergenti e sollevate al di sopra del livello del mare, fino a formare, in alcuni casi, la sommità di importanti rilievi montuosi. Il nome deriva dal greco: *ophis*, serpente e *lithòs*, roccia, per la particolare struttura che ricorda la pelle di serpente. In letteratura sono note anche con il termine *pietre verdi*, per la tipica colorazione scuro-verdastra che le caratterizza.

Le ofioliti sono essenzialmente associazioni di rocce magmatiche basiche e ultrabasiche più o meno alterate, serpentizzate e/o metamorfosate, e fratturate. Una tipica sequenza ofiolitica (Figura 1) è composta, dal basso verso l'alto, da cinque complessi principali:

1. complesso ultrabasico, rappresentato da rocce ultrabasiche del mantello superiore (peridotiti), molto frequentemente alterate in serpentiniti;
2. complesso intrusivo in cui predominano i gabbri, i principali costituenti della crosta oceanica;
3. complesso filoniano con dicchi e filoni basici di composizione basaltica, i condotti alimentatori delle effusioni sottomarine;
4. complesso vulcanico costituito da basalti massicci che spesso si presentano come lave a pillow (cuscini), tipiche delle effusioni sui fondali marini per rapido raffreddamento della lava a contatto con l'acqua;
5. sedimenti di mare profondo, silicei e carbonatici, e i loro derivati metamorfici (calcescisti, micascisti, marmi, quarziti).

Tale sequenza *classica*, la cui età è variabile dal Trias medio fino al Giurassico medio, è stata riconosciuta ad esempio per le sequenze ofiolitiche del Mediterraneo orientale e sono state interpretate come rappresentative di bacini oceanici in posizione di sopra-subduzione.



(URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ofioliti.svg>) [consultato novembre 2019]

Le sequenze ofiolitiche del Mediterraneo occidentale risultano invece completamente differenti dalla sequenza tipo definita dalla Penrose Conference. Le ofioliti delle Alpi, degli Appennini e della Corsica alpina sono considerate frammenti della litosfera oceanica della Tetide, l'antico bacino ligure-piemontese sviluppatosi nel Giurassico medio fra i margini continentali passivi delle placche divergenti Europa e Adria in connessione all'apertura e all'espansione dell'oceano Atlantico centrale. Le caratteristiche di tali ofioliti, caratterizzate da sequenze e associazioni litologiche peculiari, sono:

- gli spessori generalmente ridotti delle sequenze, non superiori a 700 - 1000 m circa;
- la composizione variabile delle peridotiti mantelliche, da lherzoliti fertili, ricche in clinopirosseno, a peridotiti impoverite, povere in clinopirosseno;
- le rocce gabbroidi, che non costituiscono uno strato continuo, ma sono presenti come intrusioni all'interno delle peridotiti mantelliche;
- la mancanza di un complesso filoniano;
- la presenza di contatti primari stratigrafici fra le peridotiti serpentinite e i basalti soprastanti o le prime coperture sedimentarie pelagiche (radiolariti);
- la locale presenza di brecce ofiolitiche situate alla base e/o al tetto delle colate basaltiche.

Queste sequenze ofiolitiche sono state interpretate come originatesi in una dorsale a bassa velocità di espansione, analoghe a quelle che caratterizzano alcuni segmenti del-

l'oceano Atlantico. In questo tipo di dorsale l'attività magmatica è ridotta e il tasso di espansione deve essere compensato da fasi estensionali amagmatiche, caratterizzate dallo sviluppo di faglie dirette ad alto e basso angolo. Il risultato della tettonica estensionale è l'affioramento di sezioni di mantello o di complesso gabbriaco direttamente sul fondo oceanico dove vengono ricoperte da breccie sedimentarie, originatesi da scarpate di faglia, e da colate basaltiche.

La complessa storia tettonica e termica subita dalle ofioliti, dal momento della loro formazione a quello della messa in posto, si riflette in trasformazioni mineralogiche e chimiche più o meno profonde, generalmente riferibili a gradi metamorfici variabili.

Il litotipo fondamentale nelle ofioliti è costituito dalle peridotiti. Prima di subire processi di trasformazione sul fondo oceanico, queste rocce risultavano costituite fondamentalmente da olivina e da altri minerali ferromagnesiaci, quali clinopirosseno ed enstatite. Questo assetto mineralogico è stato modificato dai processi metamorfici che si sono verificati sia nei fondali oceanici sia nelle fasi di costituzione della catena montuosa, generando minerali idrati del gruppo del serpentino a spese dell'olivina e dei pirosseni. I prodotti più comuni dell'alterazione dell'olivina nei processi di metamorfismo più frequenti nelle rocce ricche in olivina, sono i tre minerali del serpentino, lizardite, antigorite e crisotilo, insieme a brucite, talco e carbonati.

Le peridotiti trasformate, parzialmente o totalmente, in serpentino prendono il nome di serpentine o serpentiniti a causa del colore verde che le caratterizza.

Le serpentiniti sono caratterizzate da una grande varietà di microstrutture che riflettono differenti condizioni di pressione e temperatura, diversi tipi di fluidi e differenti gradi di deformazione e spesso risultano di difficile interpretazione dal punto di vista petrologico. Le rocce basiche associate nelle ofioliti alle serpentiniti sono invece rocce basaltiche e gabbriache, rispettivamente rappresentanti magmi effusivi e intrusivi, prodotti e messi in posto lungo le dorsali oceaniche. Basalti e gabbri per loro natura sono esenti da minerali asbestiformi se si esclude la presenza di filoni e vene che possono caratterizzare tutte e tre le tipologie di roccia e contenere al loro interno sia crisotilo che minerali del gruppo dell'anfibolo quali la tremolite.

LE PIETRE VERDI IN CALABRIA

In Calabria affiorano in modo discontinuo diverse sequenze ofiolitiche. Esse consistono di serpentiniti, basalti, rari gabbri ed una copertura sedimentaria caratterizzata da radiolariti, calcari a calpionella e sequenze calcareo-pelitico-arenacee, caratterizzate da un metamorfismo di alta pressione/bassa temperatura, di età Giurassico superiore-Cretacico inferiore. Queste sequenze ofiolitiche, interpretate come frammenti di litosfera oceanica riferibili alla Tetide giurassica, occupano una posizione intermedia nell'edificio a falde dell'arco calabro settentrionale, che può essere descritto come costituito da tre elementi strutturali principali, rappresentanti differenti domini paleogeografici:

1. Le unità appenniniche, poste inferiormente, costituite da sedimenti meso-cenozoici e successioni metasedimentarie, la cui appartenenza al paleo-margine africano o europeo è ancora dibattuta.

2. L'edificio a falde ofiolitico, in posizione intermedia, che rappresenta i resti dell'oceano Tetide che separava la placca africana da quella europea.
3. Infine, l'elemento posto in posizione geometrica più elevata, l'edificio a falde calabride, costituito da rocce di basamento cristallino con impronte di metamorfismo ercinico e intrusioni di magmatismo tardo-ercinico, al di sopra del quale è presente una copertura sedimentaria mesozoica.

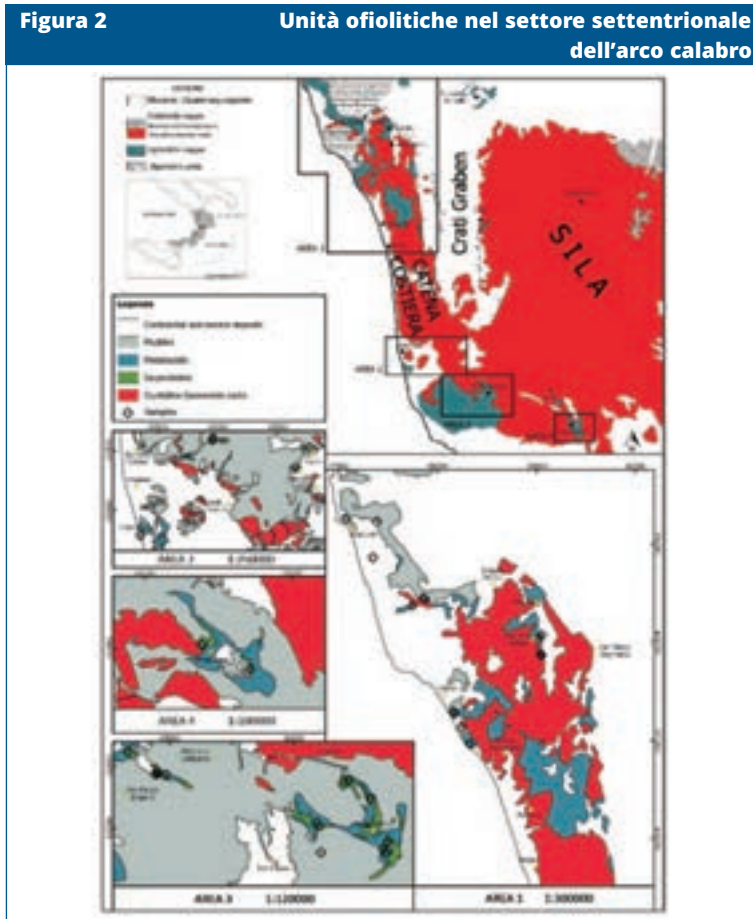
L'edificio a falde ofiolitico, definito da Ogniben (1969) come complesso ligure, è stato suddiviso da altri autori in una serie di unità tettono-metamorfiche, geometricamente sovrapposte, in cui studi petrografici suggeriscono alcune differenze in ciò che riguarda le massime pressioni raggiunte durante il picco metamorfico. Queste unità sono illustrate nello schema tettonico proposto da Dietrich e Scandone (1972) e Spadea (1976, 1994) (Tabella 3); gli autori sono sostanzialmente d'accordo nel suddividere le unità ofiolitiche in un'unità ofiolitica superiore, caratterizzata da facies che vanno da prehnite-pumpellyte a lawsonite-albite, ed in un'unità ofiolitica inferiore caratterizzata da facies in scisti blu spesso retrocessa in facies scisti verdi e l'unità del Frido, posta inferiormente ad esse. Rossetti et al., (2001, 2002, 2004), propongono un'ulteriore revisione della struttura dell'edificio a falde dell'arco calabro settentrionale. Nel loro modello, un complesso superiore non metamorfosato si sovrappone al complesso inferiore in facies scisti blu, costituita da un cuneo di accrezione Africa vergente dell'Eocene-Oligocene. Il complesso inferiore viene esumato attraverso il sistema di faglie estensionali che segnano il contatto tra i due complessi.

Tabella 3 Confronto tra le suddivisioni tettoniche esistenti in letteratura per i tre complessi che costituiscono l'edificio a falde del settore settentrionale dell'arco calabro

Ogniben, 1969	Dietrich e Scandone, 1972	Amodio-Morelli et al., 1976		Spadea, 1994	
Complesso calabride	Formazione dioritica-kinzigitica	Unità di Stilo	Unità della Sila (Messina et al., 1994)		
		Unità di Longobucco			
		Unità di M. Gariglione			
		Unità di Polia - Copanello			
		Unità di Castagna			
Unità di Bagni	Unità di Bagni				
Complesso ligure	Unità ofiolitica superiore	Unità di Malvito		Unità ofiolitica superiore	
	Unità ofiolitica inferiore	Unità di Gimigliano - Monte Reventino		Unità ofiolitica inferiore	Unità di Gimigliano
	Unità di Frido	Unità di Frido			
Complesso panormide	Unità di Verbicaro	Unità di Verbicaro			
	Unità di Campotenese - Pollino	Unità di San Donato			

Lungo il settore settentrionale dell'arco calabro, le sequenze ofiolitiche risultano ampiamente esposte nella parte settentrionale e centrale della catena costiera e in Sila piccola (Figura 2). Come evidenziato nella suddivisione proposta da Amodio-Morelli et al., (1976), le ofioliti appaiono macroscopicamente differenti sia dal punto di vista delle associazioni mineralogiche sia del grado di deformazione; notevoli differenze mostrano anche le strutture dei protoliti ignei e le loro coperture sedimentarie. Le principali caratteristiche stratigrafiche, ricostruite sulla base di osservazioni effettuate sulle differenti unità, possono essere così riassunte (dal basso verso l'alto):

1. Un basamento oceanico, che consiste di rocce ultramafiche di derivazione mantellica, interamente serpentinnizzate ed affioranti solo nell'area di Gimigliano - monte Reventino, in associazione con un complesso vulcanico; quest'ultimo comprende principalmente metabasalti e subordinate metadoleriti.
2. Una copertura metasedimentaria che include sedimenti pelagici e flyschoidi costituita da metapeliti, metacalcari e metareniti.



(Bloise A, Belluso E, Critelli T et al. Amphibole asbestos and other fibrous minerals in the meta-basalt of the Gimigliano-Mount Reventino Unit (Calabria, south-Italy). Rend Online Soc Geol It. 2012; 21(2):847-48.

CLASSIFICAZIONE DELLE PIETRE VERDI SECONDO LA NORMATIVA NAZIONALE

Il d.m. 178/1996 classifica (Tabella 4) le pietre verdi in funzione del loro contenuto in amianto:

Tabella 4		Classificazione delle pietre verdi in funzione del loro contenuto di amianto	
Litotipo	Minerali principali		
Serpentiniti	Antigorite, crisotilo , olivina, pirosseni orto e clino, anfibolo tremolite , talco, dolomite, granato, spinelli cromite e magnetite		
Prasiniti	Feldspato albite, epidoti, anfiboli tremolite-actinolite , glaucofane , pirosseni clino e mica bianca		
Eclogiti	Pirosseno monoclino, granato, rutilo, anfibolo glaucofane		
Anfiboliti	Orneblenda, plagioclasio, zoisite, clorite, antofillite-gedrite		
Scisti actinolitici	Actinolite , talco, clorite, epidoto, olivina		
Scisti cloritici, talcosi e serpentinosi	Talco, clorite, dolomite, tremolite , actinolite , serpentino, crisotilo , rutilo, titanite, granato		
Oficalciti	Talco, antigorite, crisotilo , tremolite , dolomite, calcite, olivina		

La quantità esatta di amianto non può essere definita in modo assoluto, ma deve essere valutata caso per caso.

Il d.m. 178/1996 indica i criteri generali per una corretta definizione dei controlli da eseguire sulle pietre verdi al fine di un loro utilizzo come rocce ornamentali o come inerti.

VALUTAZIONE DEL CONTENUTO DI AMIANTO NEL GIACIMENTO E CONTROLLI DURANTE L'ATTIVITÀ ESTRATTIVA

Il contenuto di amianto nel giacimento viene valutato attraverso una serie di controlli eseguiti sia prima sia durante i lavori di taglio.

Il controllo iniziale del contenuto di amianto stimato medio sul giacimento viene effettuato mediante rilevamento petrografico di dettaglio. L'eventuale presenza di amianto già evidente in superficie dovrà essere valutata in termini quantitativi e riportata in cartografia.

Durante l'avanzamento del fronte di taglio sono previsti dei campionamenti con fre-

quenza dipendente dalla volumetria del materiale estratto e dalla velocità di avanzamento del fronte di cava. Gli organi territoriali di vigilanza effettueranno controlli con prelievo di campioni di particolato aerodisperso che verranno analizzati mediante microscopia ottica o elettronica a scansione.

L'eventuale affioramento di filoni ricchi di amianto dovrà essere prontamente segnalato prima che il proseguire dell'attività estrattiva provochi un inquinamento ambientale da fibre di amianto, al fine di poter intervenire con un'azione preventiva, ad esempio mediante incapsulamento o altri idonei sistemi e quindi modificare opportunamente la procedura di estrazione.

VALUTAZIONE DEL CONTENUTO DI AMIANTO NEI MATERIALI ESTRATTI

La valutazione del contenuto di amianto nei materiali estratti richiede la misura di un parametro che determini la pericolosità del materiale stesso.

Nel caso di materiali in breccia e di materiali in lastre tale parametro è il cosiddetto indice di rilascio, definito come:

$$I. r. = \frac{\% \text{ amianto liberata}}{\% \text{ densità relativa}}$$

La % densità relativa sarà calcolata sul materiale ridotto in polvere, secondo la relazione:

$$\% \text{ densità relativa} = \frac{\text{densità apparente}}{\text{densità assoluta}}$$

Nel caso di materiale in breccia, esso viene ridotto in polvere mediante automacinazione per quattro ore, nel caso di materiale in lastre mediante sfregamento utilizzando una macchina rotazionale/abrasiva. La polvere, una volta raccolta, viene analizzata, per la determinazione quali-quantitativa dell'amianto presente, in microscopia elettronica o in spettroscopia infrarossa.

Se l'indice di rilascio risulterà minore o uguale a 0,1 il materiale sarà considerato non pericoloso.

Periodici prelievi di polveri dall'ambiente di lavoro consentiranno agli organi territoriali di vigilanza di verificare l'eventuale rilascio di fibre di amianto durante le attività di taglio.

Nel caso di materiali in blocchi destinati alla realizzazione di barriere costiere o massicciate, viene accertata l'assenza di fibre superficiali, eventualmente anche con il prelievo e l'analisi con idonea strumentazione di campioni superficiali. La distribuzione superficiale dell'amianto verrà valutata determinando, in modo orientativo, la quantità di amianto rispetto alla superficie del blocco.

I blocchi che risulteranno contaminati superficialmente da amianto in misura inferiore allo 0,1 % della superficie totale stimata saranno considerati non pericolosi.

METODO ALTERNATIVO PER LA DETERMINAZIONE DELL'INDICE DI RILASCIO

L'utilizzo dell'indice di rilascio è stato oggetto di critiche da parte della comunità scientifica in quanto sembra più idoneo alla classificazione di un residuo o un rifiuto, destinati ad una sistemazione in sicurezza, che non alla caratterizzazione di materiali di cava che vengono estratti, trasportati alla sede dove verranno poi lavorati ed infine utilizzati in luoghi anche distanti dal sito di estrazione. Nello specifico, l'indice di rilascio è ritenuto inadeguato per due motivi:

- il fattore di rischio principale sono le fibre di amianto che si liberano nelle diverse fasi lavorative;
- la descrizione della procedura analitica è poco definita.

Il Laboratorio Arpa di Reggio Emilia ha proposto un differente metodo di analisi per il calcolo dell'indice di rilascio pubblicato nella monografia relativa ai risultati del progetto regionale pietre verdi.

Il criterio metodologico proposto per la valutazione della pericolosità dei materiali è simile a quello per la classificazione dei rifiuti per il conferimento in discarica (metodo Irsa-Cnr marzo 1996: quantificazione in mg/kg di polvere e fibre libere di amianto) e utilizza, come riferimento guida, il valore di 1000 mg/kg riportato nel d.m. 471/1999 del Ministero dell'ambiente.

A tale scopo è stato ipotizzato un procedimento di calcolo che tiene conto del peso iniziale del campione (P_1), del peso della frazione fine dopo automacinazione (P_2) e della percentuale di amianto contenuta in quest'ultima.

La procedura di preparazione proposta è la seguente:

1. determinazione del peso del campione P_1 (kg);
2. automacinazione in cilindro rotante;
3. raccolta della frazione fine: vagliatura (setaccio: 10 maglie per cm) e lavaggio della frazione grossolana, eventuale separazione manuale dei fasci fibrosi rimasti sulle maglie del setaccio, conseguente determinazione del peso totale della frazione fine P_2 (mg);
4. deposizione su membrana di un'aliquota nota di P_2 e determinazione al microscopio elettronico della quantità di amianto mediante la formula:

$$C = \frac{A \cdot (p_c + p_a)}{n \cdot a \cdot P} \cdot 10^6$$

in cui:

A è l'area effettiva del filtro (mm^2)

a è l'area del campo di lettura (mm^2)

n è il numero di campi di lettura

P è il peso totale del campione depositato sul filtro (mg)

$p_c = d \cdot \sum v_i$ è il peso totale delle fibre di crisotilo (mg)

d: è la densità del crisotilo ($\text{g/cm}^3 = \text{mg/mm}^3$) 2,6

v_i è il volume dell'i-esima fibra di crisotilo (mm^3)

$p_a = d_a \cdot \sum v_j$ è il peso totale delle fibre di anfibolo (mg)

d_a è la densità degli anfiboli ($\text{g/cm}^3 = \text{mg/mm}^3$) 3,0

v_j è il volume della j-esima fibra di anfibolo (mm^3);

5. calcolo del rilascio di fibre libere di amianto come per la determinazione delle polveri prevista dal metodo Irsa-Cnr, marzo 1996 per la classificazione dei rifiuti.

METODOLOGIA D'INDAGINE

CAMPIONAMENTO DEL MATERIALE ROCCIOSO DA AFFIORAMENTI NATURALI

L'area presa in esame in questo lavoro comprende gli affioramenti ofiolitici della catena costiera e della Sila piccola (Figura 2). In maggior dettaglio, le aree di interesse comprendono la costa tirrenica centro-settentrionale della Provincia di Cosenza (Area 1 della Figura 2), la zona sulla costa tirrenica al confine tra le province di Cosenza e Catanzaro (Area 2 della Figura 2) ed in particolare il comprensorio del monte Reventino (Provincia di Catanzaro - Aree 3 e 4 della Figura 2), ove risulta ben esposta una sequenza riconducibile all'unità di Gimigliano - monte Reventino.

Le rocce ultramafiche che costituiscono l'unità di Gimigliano - monte Reventino, possono essere riassunte attraverso la sequenza che comprende serpentiniti, metavulcaniti basiche, metagabbri e termini della copertura, di età non sempre ben definita, ma compresa tra il Triassico ed il Cretaceo. In particolare le serpentiniti sono formate da serpentino lamellare e fibroso cui frequentemente si associano oficalci mentre le metabasiti sono rappresentate prevalentemente da scisti di colore variabile da verde a grigio. I termini della copertura sono rappresentati da metapeliti con una componente carbonatica variabile fino a sfumare in veri e propri calcescisti, e da marmi spesso listati.

Al fine di evidenziare la possibile presenza di minerali asbestiformi nelle sequenze ofiolitiche studiate, sono state condotte indagini sui due litotipi di maggiore interesse: metabasiti e serpentiniti. Nel corso dell'indagine sono stati raccolti 220 campioni di pietre verdi sulla base delle loro caratteristiche macroscopiche, ossia differente colorazione e friabilità del materiale roccioso.

Ciascun campione è stato osservato allo stereomicroscopio, al fine di selezionare le fasi fibrose, e al microscopio ottico in contrasto di fase utilizzando liquidi ad indice di rifrazione noto per l'identificazione del materiale fibroso.

Successivamente, ciascun campione è stato analizzato mediante differenti metodologie analitiche al fine di determinarne la composizione chimico - mineralogica e la morfologia.

LE TECNICHE ANALITICHE

Le tecniche analitiche impiegate per la caratterizzazione delle fasi fibrose riscontrate nelle pietre verdi sono:

- la microscopia ottica in contrasto di fase (MOCF);
- la microscopia elettronica a scansione (SEM) e a trasmissione (TEM);
- la diffrattometria a raggi X (DRX);
- la spettrofotometria di assorbimento infrarosso in trasformata di Fourier (FTIR).

In genere per analizzare campioni contenenti amianto si fa riferimento al d.m. 156/1994. La scelta della tecnica più opportuna dipende dal tipo di materiale e dalla quantità di amianto in esso contenuta, dalle informazioni che si desiderano ottenere (numero delle fibre, determinazione del tipo di amianto, contenuto ponderale, ecc.), e soprattutto dal fatto di dover trattare campioni di massa o prelievi di campioni aerodispersi. Lo stesso corpus normativo relativo all'amianto specifica quali tecniche devono essere impiegate dai laboratori del settore. Il d.m. 156/1994 individua nelle MOCF, SEM, DRX e FTIR le tecniche di analisi qualitative e quantitative impiegate per i campioni aerodispersi e massivi contenenti amianto.

La TEM è sicuramente la tecnica più completa, ma necessita di strumentazione particolarmente costosa e di personale altamente specializzato. Per tali motivi il suo uso è limitato a centri di ricerca o strutture particolarmente attrezzate, e non viene presa in considerazione all'interno del d.m. 156/1994.

Le tecniche microscopiche (ottiche o elettroniche) permettono di riconoscere le varietà asbestiformi di un minerale; sono quindi particolarmente indicate per una analisi qualitativa del materiale.

Per una analisi quantitativa dell'amianto presente in campioni in massa le tecniche utilizzate sono invece la DRX e la FTIR. Entrambe permettono di arrivare a sensibilità dell'ordine dell'1 %.

MICROSCOPIA OTTICA

La microscopia ottica è particolarmente efficace per il conteggio delle fibre depositate su filtri di campionamento, quindi per la determinazione della concentrazione delle fibre aerodisperse e per rilevare, in maniera qualitativa, la presenza di fibre in campioni massivi. Non può essere impiegata per la determinazione quantitativa della presenza di amianto in campioni massivi e solo personale particolarmente esperto è in grado di individuare con certezza il tipo di fibra osservata.

Campioni aerodispersi

La MOCF, con il metodo del filtro a membrana (acetone - triacetina), è la tecnica analitica più diffusa per la determinazione delle concentrazioni di fibre aerodisperse negli ambienti di lavoro.

Il microscopio è uno strumento ottico costituito da più lenti (almeno un obiettivo ed un oculare), in grado di fornire una immagine ingrandita dell'oggetto in esame.

I microscopi ottici utilizzano luce visibile, e per l'analisi dell'amianto si usano in genere ingrandimenti compresi tra 100X e 500X.

In Figura 3 è mostrato il microscopio ottico presente nei laboratori Inail del Dimeila, completo di camera fotografica digitale e dispositivi informatici per l'acquisizione, l'elaborazione e l'archiviazione delle immagini.

Il microscopio ottico a contrasto di fase è una versione particolare del microscopio ottico convenzionale, che permette di rendere visibili strutture, quali quelle dei campioni biologici e delle fibre di amianto, altrimenti invisibili.

L'occhio umano è in grado di ricostruire le immagini grazie alle variazioni di luminosità

(ampiezza dell'onda luminosa) e di colore (frequenza dell'onda luminosa) presenti tra punto e punto del campione. Cellule e sottili fibre di amianto producono variazioni di luminosità e di colore troppo modeste per poter essere percepite dall'occhio. Allo stesso tempo tali strutture generano variazioni nella fase delle onde luminose. Poiché l'occhio non è sensibile alla fase di un'onda luminosa, anche tali variazioni di fase non permettono di rendere visibili, in un microscopio convenzionale, le strutture che le hanno generate. Il microscopio ottico a contrasto di fase ha artifici strumentali che permettono di convertire le differenze di fase in differenze di ampiezza cioè differenze di luminosità, perfettamente percepibili dall'occhio.

Figura 3 Microscopio ottico presente nel Laboratorio rischi agenti cancerogeni e mutageni del Dimeila - Inail

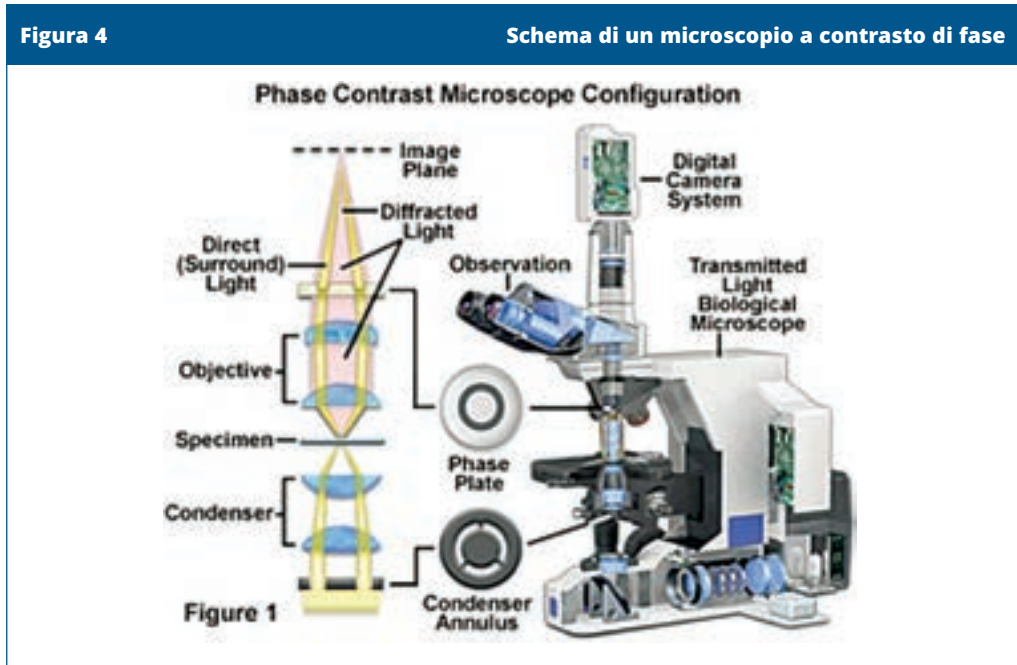


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Per realizzare il contrasto di fase è necessario che al microscopio ottico siano aggiunti:

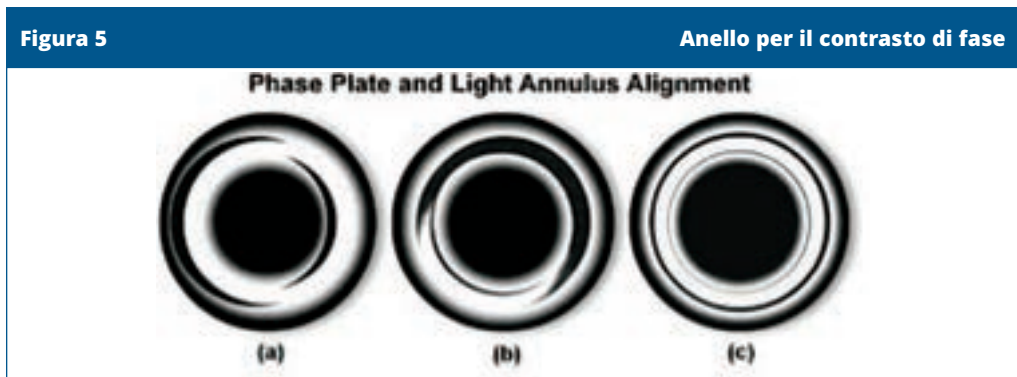
- un diaframma anulare posto nel condensatore, mediante il quale si ottiene una sorgente di luce anulare che lascia passare un sottile cono di luce;
- una lamina di diffrazione costituita da un anello di fase che si pone nel piano focale posteriore dell'obiettivo; nella lamina di diffrazione è depositato un sottile strato anulare di materiale ritardante.

Uno schema del microscopio è rappresentato in Figura 4.



(URL: <http://www.bwoptics.com/newsend2.asp?id=3>) [consultato novembre 2019]

Affinché si realizzi il contrasto, l'anello luminoso che rappresenta l'immagine della sorgente anulare deve combaciare con l'anello di fase, il quale introducendo il ritardo nella luce diretta rende possibile all'occhio umano di percepire l'immagine (Figura 5).



(URL: <https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/techniques/phasecontrast/phase/>) [consultato novembre 2019]

Il d.m. 156/1994 indica le caratteristiche che deve possedere un microscopio:

- illuminazione Koehler;

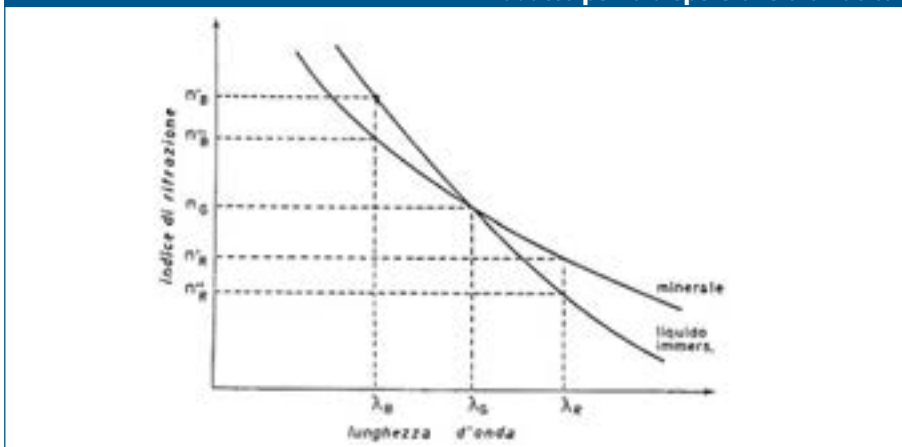
- un condensatore ABBE o acromatico a contrasto di fase incorporato nel complesso posto sotto al piatto portaoggetti e montato con possibilità di centraggio e messa a fuoco;
- un obiettivo acromatico a contrasto di fase positivo parafocale, a 40 ingrandimenti, con un'apertura numerica compresa tra 0,65 e 0,70 e con assorbimento dell'anello di fase compreso tra 65 e 85%;
- oculari a compensazione a 12,5 ingrandimenti. Almeno un oculare deve permettere l'inserimento di un reticolo ed essere del tipo con messa a fuoco;
- un reticolo oculare circolare Walton-Beckett che abbia un diametro apparente sul piano oggetto di $100 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$ quando si usano l'obiettivo e l'oculare indicati, e che sia controllato con un micrometro dell'oggetto.

Il microscopio è montato secondo le istruzioni del fabbricante e il limite di rivelabilità è controllato mediante un *vetrino di prova per contrasto di fase*. Il vetrino di prova riporta un set di 7 blocchi di righe parallele a diverso spessore. Quando siano usati nel modo specificato dal fabbricante si deve poter vedere fino al blocco 5 sul vetrino di prova HSE/NPL Mark 2. Tale procedura deve essere effettuata all'inizio della giornata di lavoro.

Campioni in massa

Una tecnica che viene comunemente impiegata per il riconoscimento delle fibre di amianto è la dispersione cromatica (dispersion staining) e consiste nell'evidenziare le variazioni cromatiche causate dai differenti indici di rifrazione (n) tra le fibre ed un liquido di dispersione. Il principio ottico su cui tale tecnica si basa è la variazione dell'indice di rifrazione dei materiali in funzione della lunghezza d'onda della luce che li attraversa. In generale la dispersione di un liquido è maggiore di quella di un solido e l'indice di rifrazione è maggiore per lunghezze d'onda corte (luce blu) rispetto alle lunghezze d'onda lunghe (luce rossa). Uno schematico comportamento è mostrato in Figura 6.

Figura 6 Esempio di curva di dispersione di un liquido e solido in un sistema adatto per la dispersione cromatica



(Marconi A. L'identificazione delle fibre di asbesto per mezzo della tecnica microscopica della dispersione cromatica. Ann Ist Sup Sanità. 1982; 18:911-14)

Per ogni coppia particella-liquido esiste sempre un valore di λ per il quale i due indici si uguagliano e la particella non sarà visibile. Alle λ adiacenti la differenza di indice crea due bordi di diverso colore.

Osservando con luce bianca l'oggetto solido (particella) immerso in un liquido, per una certa λ (che si indica con λ_e), si può avere uguaglianza di indice fra particella e liquido e quindi l'oggetto *scompare*, non ha contrasto, ma per le altre lunghezze d'onda la particella mostra un alone che è colorato poiché è formato solo da una porzione dello spettro ottico (regione spettrale blu-viola λ_b o regione spettrale giallo-rosso λ_r).

Tra i metodi di dispersione cromatica, il metodo che utilizza il contrasto di fase funziona meglio quando le particelle sono sottili come è il caso delle fibre di amianto. La colorazione a dispersione di contrasto di fase delle fibre di amianto è riportata nella linea guida *HSE Asbestos: The analysts' guide for sampling, analysis and clearance procedures*.

Lo studio dell'identificazione delle fibre di amianto, per mezzo della dispersione cromatica, richiede la selezione di liquidi ad alta dispersione dell'indice di rifrazione. Le fibre sono immerse in questo liquido ed osservate direttamente al microscopio.

Le miscele con le caratteristiche richieste possono essere preparate partendo da diversi liquidi organici come cinamato di etile, alfabromonaftalene, ioduro di metilene, iodomercurato di potassio, oppure essere acquistate (in commercio esistono diversi liquidi con n compreso tra 1,5 e 1,8). Per l'identificazione delle fibre di amianto risultano particolarmente utili i liquidi con n pari a 1,550, 1,580, 1,670 e 1,700.

A differenza delle particelle (monorifrangenti), le fibre di amianto sono minerali birifrangenti e il fenomeno della dispersione cromatica è più complesso. In ogni direzione di propagazione della luce si hanno due raggi luminosi polarizzati ortogonalmente (raggio ordinario e straordinario) caratterizzati da differenti velocità di propagazione, quindi da due diversi indici di rifrazione (n_{\parallel} all'asse della fibra, n_{\perp} all'asse della fibra) e da due diverse curve di dispersione cromatica.

Quando si osserva un minerale birifrangente con il contrasto di fase, gli effetti cromatici relativi al raggio ordinario e straordinario si sommano. Se la birifrangenza non è troppo elevata, come nel caso degli amianti è possibile osservare in maniera distinta gli effetti cromatici relativi ai raggi ordinario e straordinario.

In Tabella 5 sono riportati gli indici di rifrazione degli amianti, mentre in Tabella 6 sono riportati gli indici di rifrazione di alcune fibre che possono interferire con l'amianto.

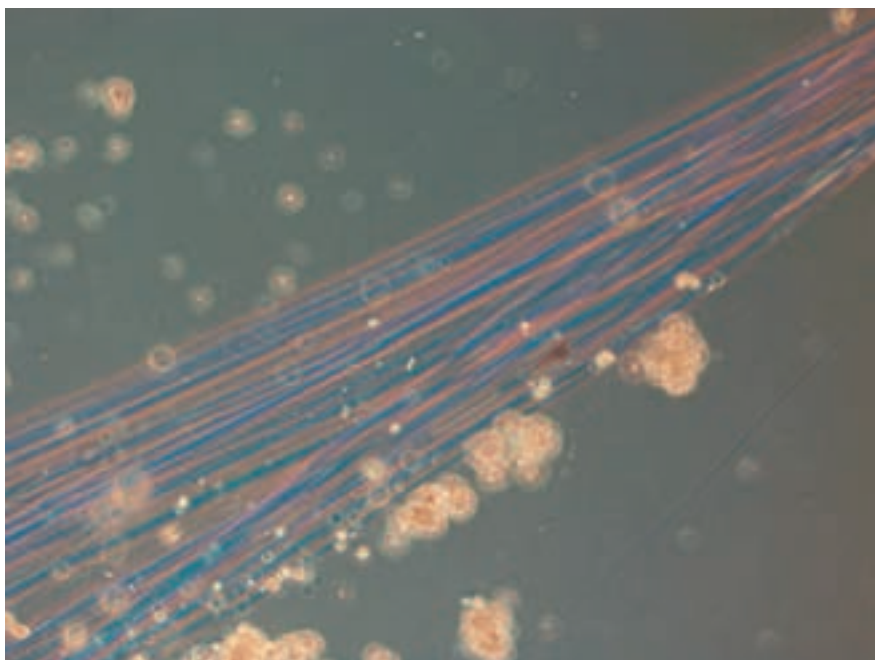
Alcune immagini in dispersione cromatica utilizzando la MOCF sono riportate nelle Figure 7, 8 e 9.

Tabella 5	Indici di rifrazione (n) per alcuni amianti	
Amianto	n_{\parallel}	n_{\perp}
Crisotilo	1,53 - 1,55	1,54 - 1,56
Amosite	1,65 - 1,67	1,67 - 1,71
Crocidolite	1,65 - 1,69	1,67 - 1,71
Antofillite	1,60 - 1,65	1,63 - 1,67
Tremolite	1,60 - 1,62	1,62 - 1,64

Tabella 6	Indice di rifrazione (n) per alcune fibre	
Materiale/sostanza	n //	n ⊥
Poliestere	1,710	1,535
Poliamide	1,582	1,514
Aramide (Kevlar)	2,37	1,641
Polietilene	1,556	1,512
Polipropilene	1,520	1,495
Viscosa Rayon	1,535 - 1,555	1,515 - 1,535
Acetato	1,478 - 1,480	1,473 - 1,476
Acrilico (Orlon)	1,505 - 1,515	1,507 - 1,517
Modacrilico (Dynel)	1,535	1,532
Cellulosa	1,580	1,530
Brucite	1,560 - 1,590	1,580 - 1,600
Fibre di vetro, lane minerali	1,515	1,700
Wallostonite	1,61 - 1,64	1,63 - 1,65
Fibre di talco	1,60	1,54

Figura 7

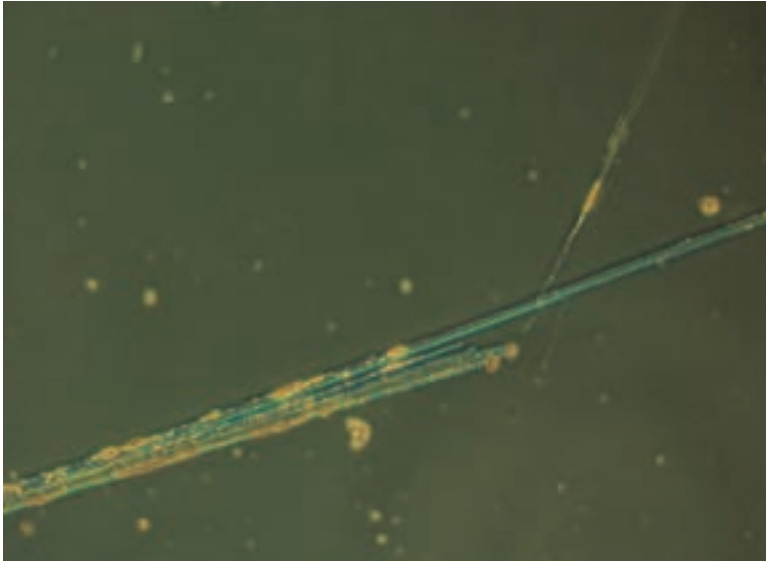
Immagine alla MOCF di un fascio di crisotilo in dispersione cromatica con liquido n = 1,55



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 8

Immagine alla MOCF di un fascio di amosite in dispersione cromatica con liquido $n = 1,68$



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 9

Immagine alla MOCF di fibre di vetro in dispersione cromatica con liquido $n = 1,55$



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

MICROSCOPIA ELETTRONICA A SCANSIONE

I microscopi elettronici utilizzano fasci di elettroni, invece della luce, per ottenere immagini e altre informazioni analitiche dei campioni. Sono stati sviluppati due tipi distinti di microscopi elettronici, che differiscono per le modalità con cui il fascio elettronico è utilizzato per studiare il campione: il microscopio elettronico a scansione (SEM) e il microscopio elettronico a trasmissione (TEM).

In Figura 10 è mostrato il microscopio a scansione, completo di dispositivo per l'analisi degli elementi in dispersione di energia dei raggi X (EDS; Energy Dispersive Spectroscopy), presente nei laboratori Inail del Dimeila.

Figura 10 Microscopio elettronico a scansione presente nel Laboratorio rischi agenti cancerogeni e mutageni del Dimeila - Inail



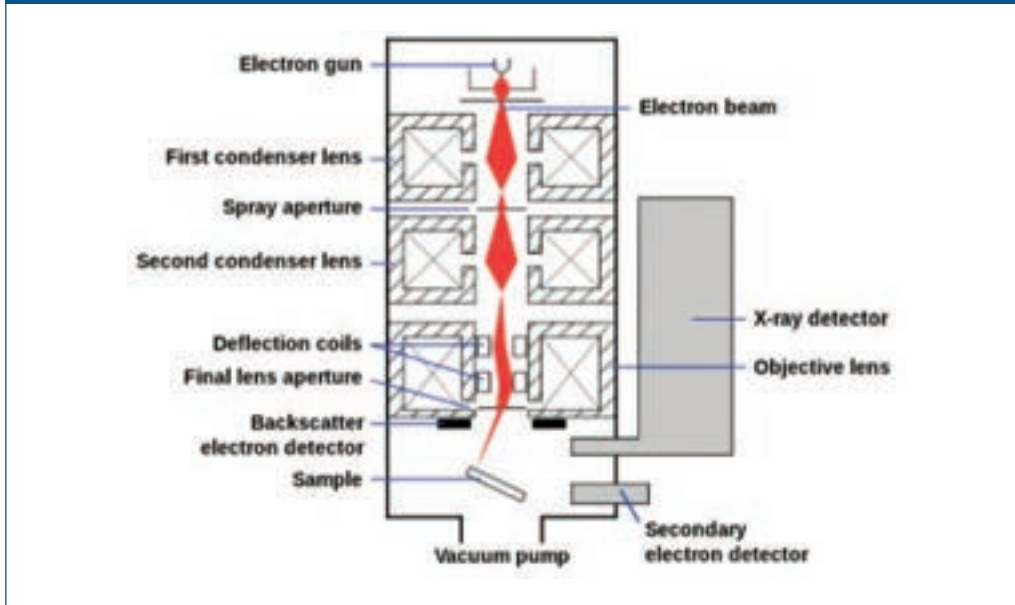
(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

In un SEM l'immagine si forma effettuando una scansione mediante un fascio elettronico molto focalizzato sulla superficie del campione.

In Figura 11 è mostrato uno schema degli elementi costitutivi di un SEM, composto generalmente da: un cannone elettronico, un sistema di illuminazione (lenti), un sistema di scansione del fascio, lenti correttive dell'astigmatismo, lente obiettivo, tavolino portacampioni, rivelatori degli elettroni, rivelatore dei raggi X, dispositivi di visualizzazione, memorizzazione ed elaborazione dei segnali, sistema da vuoto.

Figura 11

Schema di un microscopio elettronico a scansione



(URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope) [consultato novembre 2019]

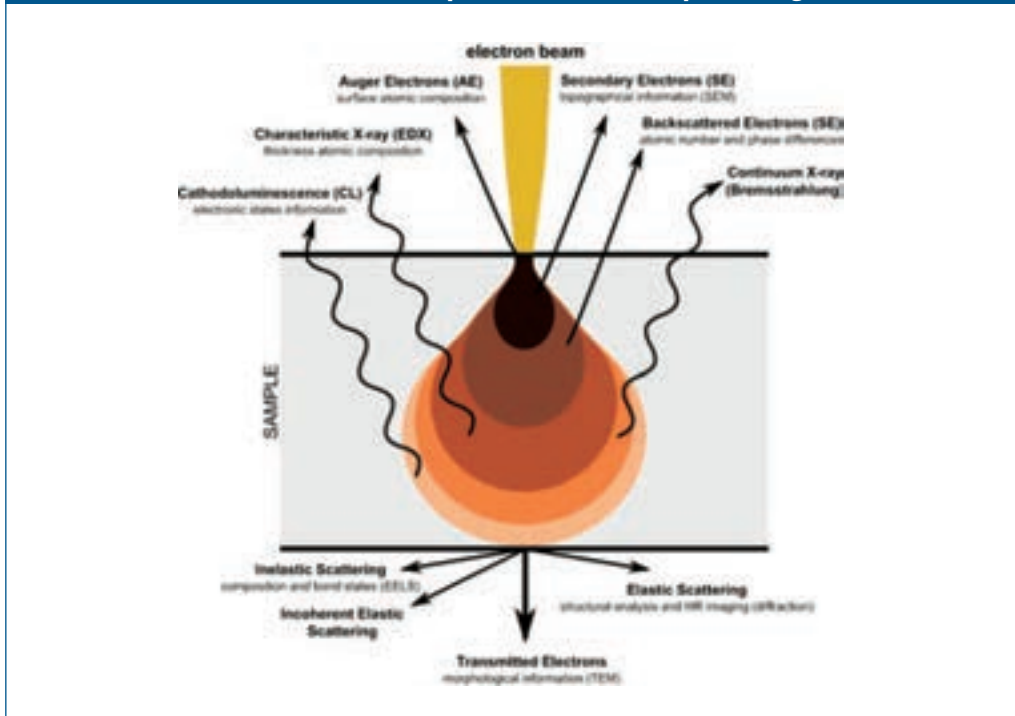
Il fascio di elettroni viene generato nel *cannone elettronico*, che può essere del tipo termoionico o ad emissione di campo. Nel primo tipo, un filamento di metallo (ad esempio tungsteno) o un cristallo (ad esempio esaboruro di lantanio) vengono scaldati, tramite una corrente elettrica, fino a che la temperatura è tale da determinare l'emissione di elettroni. Nei cannoni ad effetto di campo, si utilizza un intenso campo elettrico per favorire l'emissione di elettroni da una sottile punta metallica. I cannoni ad emissione di campo (FEG, Field Emission Gun) sono superiori nelle prestazioni rispetto ai cannoni termoionici (brillanza maggiore, crossover minore, dispersione di energia inferiore, durata maggiore) e sono impiegati nei SEM dalle prestazioni più elevate.

Un campo elettrico convoglia gli elettroni così generati verso l'apertura del cannone. Il pennello elettronico viene quindi accelerato da una differenza di potenziale (compresa in genere tra 10 e 30 kV).

Nel suo tragitto per arrivare al campione, il pennello elettronico attraversa una serie di lenti magnetiche che hanno lo scopo di concentrare e focalizzare il fascio. Ulteriori bobine generano campi magnetici il cui scopo è di muovere il fascio nelle due direzioni del piano ortogonale alla direzione di propagazione degli elettroni. In tal modo viene effettuata la scansione punto per punto del campione, da cui deriva il nome della tecnica.

Nell'interazione del pennello elettronico con il campione, vengono prodotte diverse particelle, tra cui le più importanti, per gli argomenti trattati in questa sede, sono gli elettroni secondari, gli elettroni di backscattering (o retrodiffusi) ed i raggi X. In Figura 12 sono mostrati i principali prodotti dell'interazione del fascio primario con il campione, insieme ai diversi volumi di produzione delle particelle.

Figura 12 Particelle prodotte dall'interazione del fascio elettronico primario con il campione insieme alle rispettive regioni di formazione



(URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_microscope) [consultato novembre 2019]

La raccolta degli elettroni (tramite rivelatori a scintillazione e fotomoltiplicatori), permette la formazione delle immagini, mentre la raccolta e l'analisi in energia dei raggi X (tramite rivelatori a stato solido, quali i cristalli di silicio drogati al litio) permette il riconoscimento degli elementi di cui è costituito il materiale in esame.

Il campione è posto su di un portacampioni generalmente dotato di movimento traslatorio in tre direzioni ortogonali e di movimenti di rotazione intorno a due assi.

Tutto il sistema, ovvero il cannone elettronico, la colonna percorsa dal fascio di elettroni e la camera dove è posizionato il tavolino portacampioni, deve essere mantenuto sotto vuoto (grazie ad un sistema di pompe rotative, turbomolecolari e ioniche).

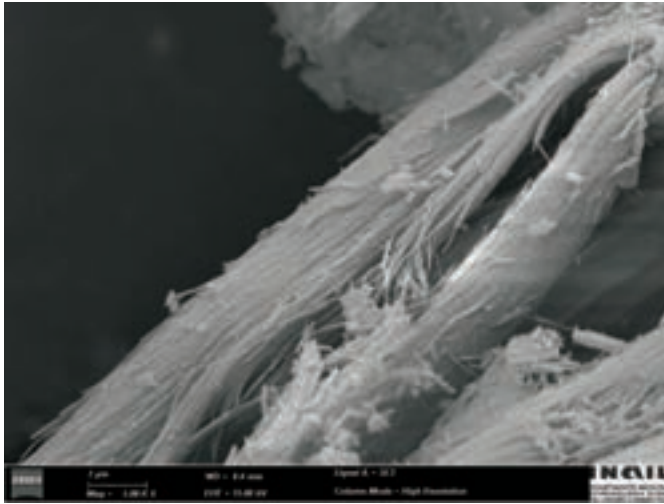
I rivelatori a stato solido che permettono l'analisi spettrale dei raggi X devono essere mantenuti a bassa temperatura per aumentare il rapporto segnale/rumore. A tal fine è necessario l'impiego di liquidi criogenici (azoto liquido) o di accessori refrigeranti (tipo Peltier).

Il campione, se isolante, per poter essere analizzato al SEM deve essere ricoperto da uno strato di materiale conduttore, ad esempio oro, al fine di evitare l'accumulo locale delle cariche elettriche del fascio, che provocherebbero distorsioni nelle configurazioni dei campi elettrici e danni al campione stesso.

Il SEM è particolarmente efficace per il conteggio delle fibre depositate su membrane filtranti e quindi per la determinazione della concentrazione delle fibre aerodisperse e per

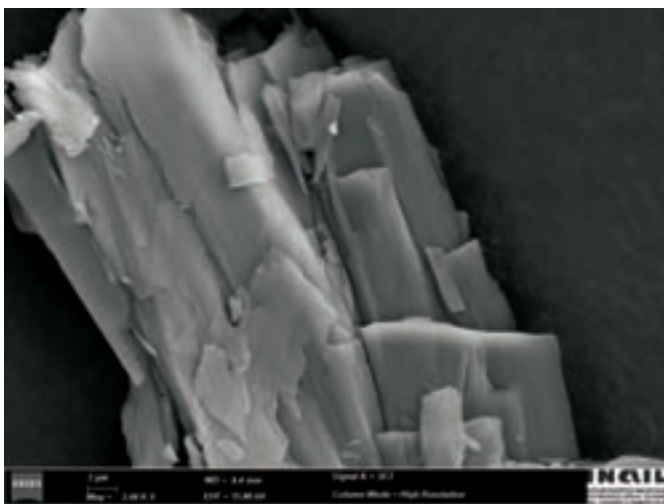
rilevare, in maniera qualitativa, la presenza ed il tipo di fibre presenti in campioni massivi. Nelle Figure 13 e 14 sono riportati due esempi di fibre di crisotilo e di antigorite osservate al SEM. Nelle Figure 15 e 16 sono riportati i corrispondenti spettri EDS.

Figura 13 Immagine al SEM di fibre di crisotilo presenti in un campione proveniente dall'area del monte Reventino



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

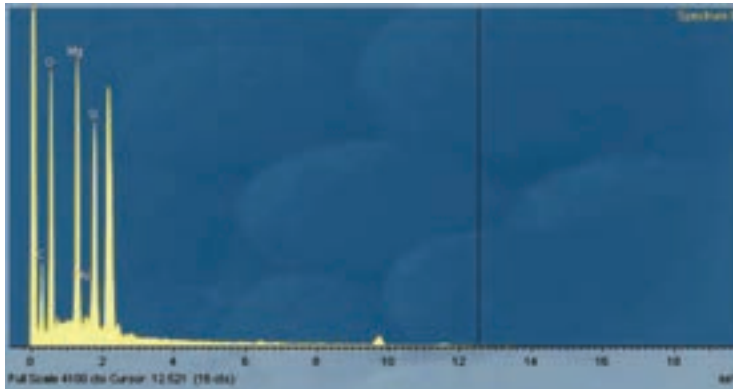
Figura 14 Immagine al SEM di fibre di antigorite presenti in un campione proveniente dall'area del monte Reventino



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 15

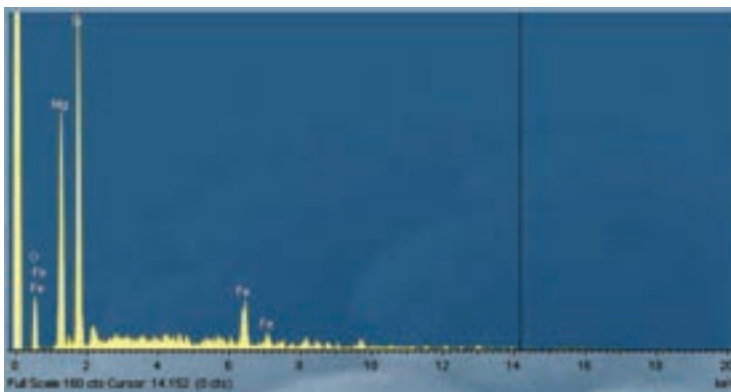
Spettro EDS di una fibra di crisotilo



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 16

Spettro EDS di una fibra di antigorite



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

MICROSCOPIA ELETTRONICA A TRASMISSIONE

Mentre nel microscopio elettronico a scansione si rilevano gli elettroni (secondari o retrodiffusi) emessi dalla superficie del campione colpita dal fascio elettronico, nel microscopio a trasmissione si rilevano gli elettroni che attraversano il campione, ovvero che sono trasmessi, da cui il nome della tecnica. L'immagine non viene acquisita punto per punto con una scansione del fascio, ma gli elettroni trasmessi vengono rac-

colti contemporaneamente in tutto il campo di vista illuminato dal fascio primario. Per poter avere elettroni trasmessi attraverso il campione, questo deve essere estremamente sottile (spessori molto inferiori al micron, meglio se poche decine di nanometri). Gli elettroni trasmessi sono rilevati tramite uno schermo fluorescente, o mediante una lastra fotografica, sostituita nei moderni microscopi da dispositivi digitali costituiti da una matrice di sensori.

In Figura 17 è mostrato il TEM presente nei laboratori Inail del Dimeila, mentre in Figura 18 è mostrato lo schema dei componenti di tale microscopio.

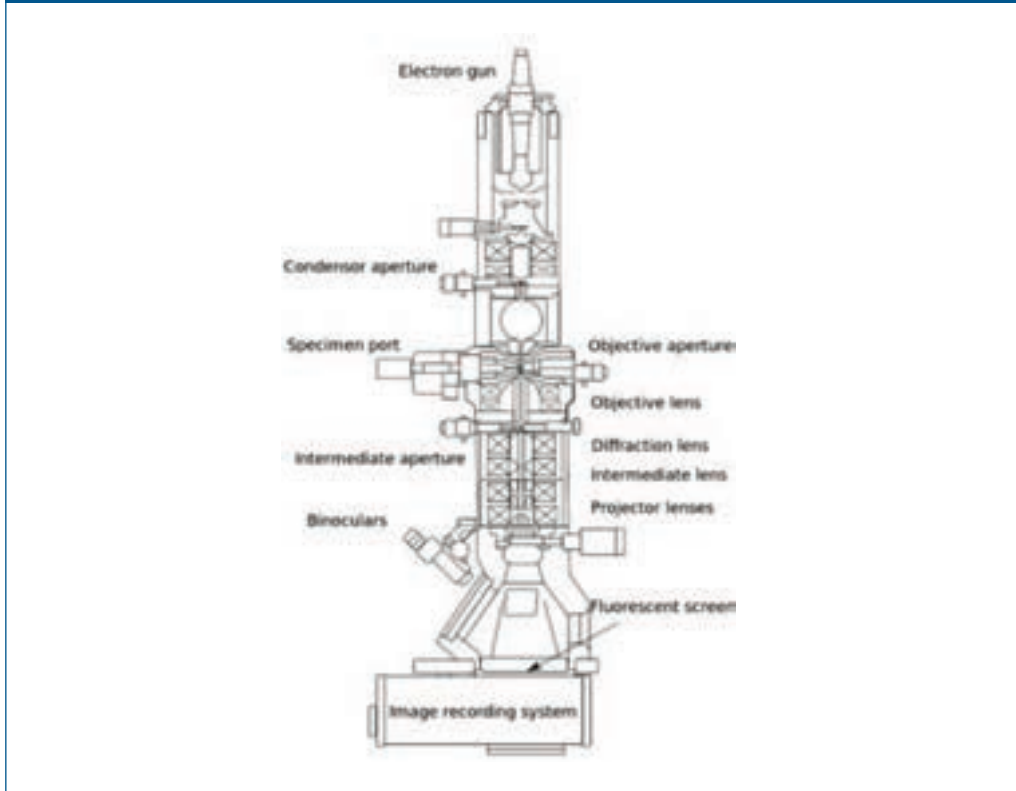
Figura 17 Microscopio elettronico a trasmissione presente nel Laboratorio interazioni sinergiche tra rischi del Dimeila - Inail



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 18

Schema di un microscopio elettronico a trasmissione



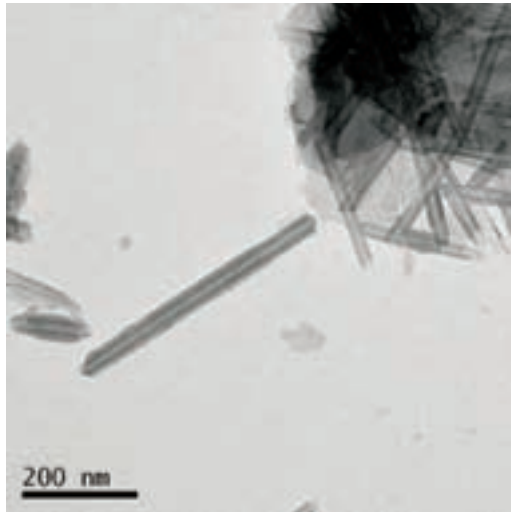
(URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_electron_microscopy) [consultato novembre 2019]

Il TEM fornisce informazioni sulla struttura interna del campione. Oltre all'analisi di immagine, questo microscopio permette di effettuare studi di spettroscopia. La dispersione di energia dei raggi X, del tutto analoga a quella effettuata su di un SEM, permette di ottenere informazioni sulla composizione chimica del campione. Se il microscopio a trasmissione è dotato di un filtro di energia degli elettroni è possibile effettuare anche la spettroscopia a perdita di energia degli elettroni (EELS; Electron Energy Loss Spectroscopy). Tale tecnica permette di ottenere informazioni non solo sul tipo di elemento chimico di cui è composto il campione, ma anche informazioni sul legame chimico mediante il quale l'elemento è legato agli altri atomi. Infine si possono ottenere dati sullo stato cristallino del campione, integrando così le informazioni tipiche delle immagini microscopiche con quelle fornite dalle tecniche diffrattometriche. Caratteristica peculiare di tale microscopio è che le informazioni spettroscopiche e diffrattometriche si possono ottenere con una elevatissima risoluzione spaziale.

Gli ingrandimenti di tali microscopi sono dell'ordine di 10^6 , ed i poteri risolutivi inferiori al decimo di nanometro.

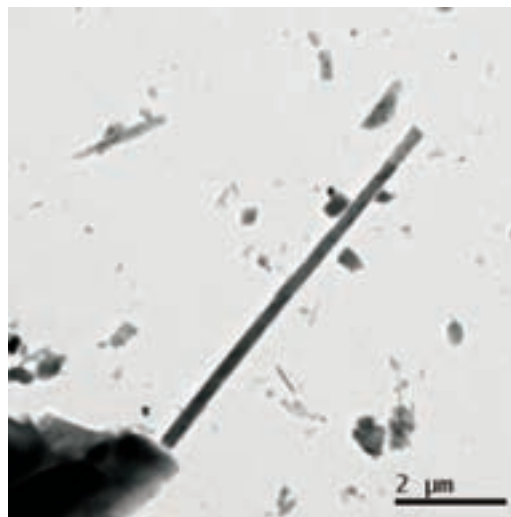
Come esempio di analisi di immagine, nelle Figure 19, 20 e 21 sono mostrate rispettivamente fibre di crisotilo, antigorite e tremolite. Nelle Figure 22, 23 e 24 sono mostrati i diffrattogrammi di elettroni ottenuti con la nanodiffrazione (NED, Nano Electron Diffraction) per le fibre di crisotilo, antigorite e tremolite.

Figura 19 Immagine al TEM di fibre di crisotilo presenti in un campione proveniente dall'area del monte Reventino



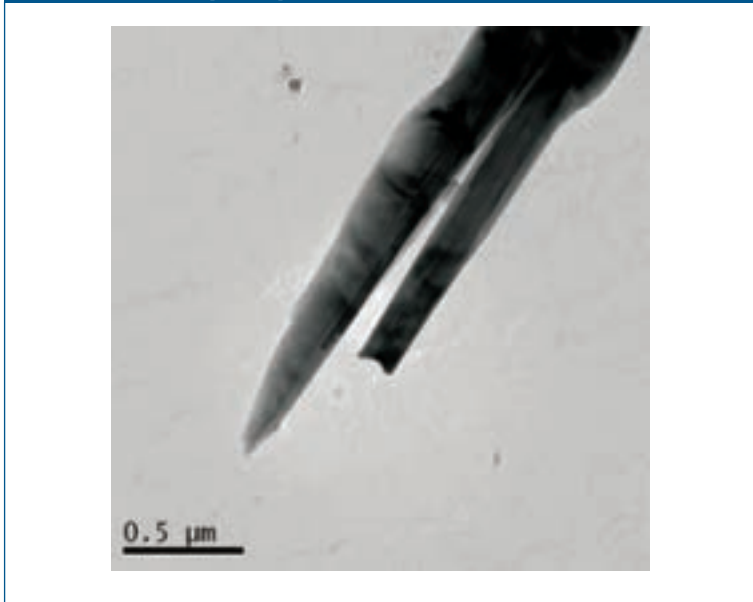
(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 20 Immagine al TEM di fibre di antigorite presenti in un campione proveniente dall'area del monte Reventino



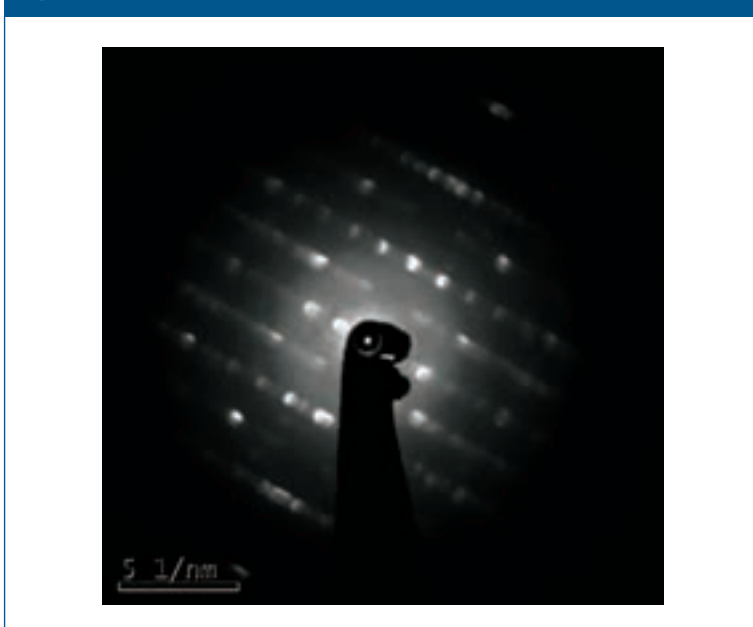
(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 21 Immagine al TEM di fibre di tremolite presenti in un campione proveniente dall'area del monte Reventino



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 22 Nanodiffrazione di una fibra di crisotilo



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 23

Nanodiffrazione di una fibra di antigorite



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 24

Nanodiffrazione di una fibra di tremolite

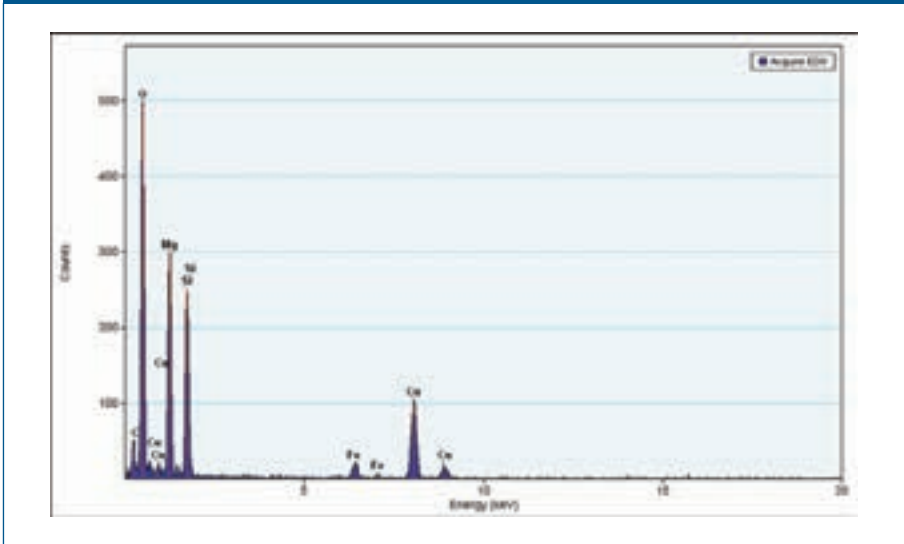


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

In Figura 25 è mostrato un esempio di spettro a dispersione di energia dei raggi X, nel caso specifico di una fibra di antigorite. In Figura 26 è invece mostrato il picco del calcio di una fibra di tremolite in uno spettro a perdita di energia degli elettroni.

Figura 25

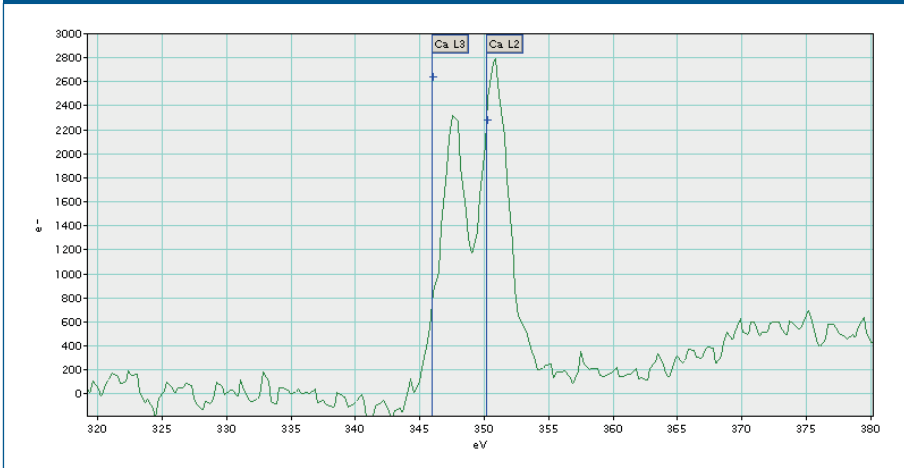
Spettro EDS di una fibra di antigorite



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

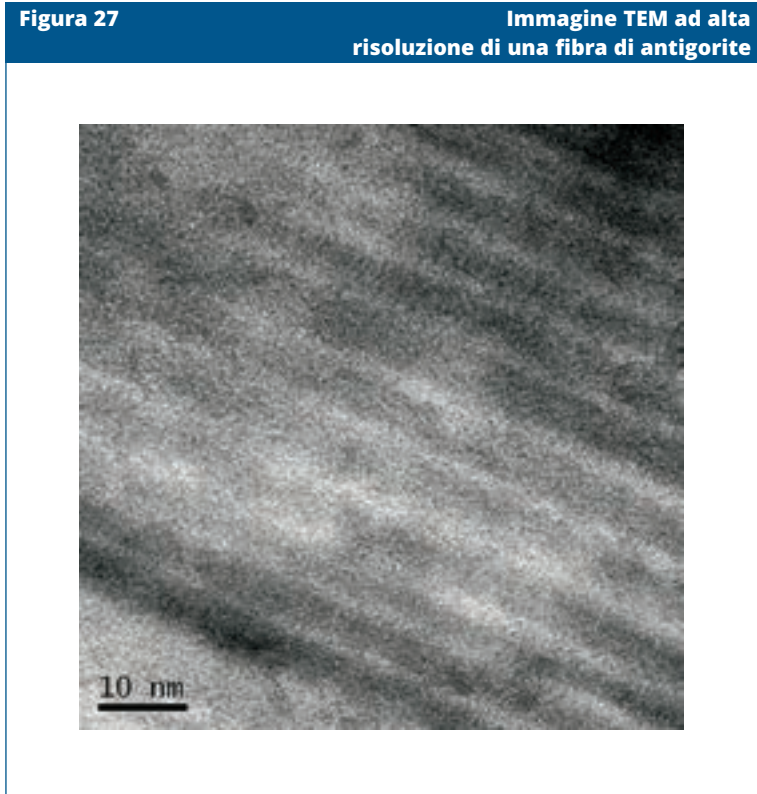
Figura 26

Soglia L del calcio nello spettro EELS di una fibra di tremolite



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

L'analisi di immagine effettuata ad alti ingrandimenti permette di ottenere, in opportune condizioni, informazioni dei siti atomici nel reticolo cristallino. In Figura 27 è riportata un'immagine ad alta risoluzione (HRTEM, High Resolution TEM) di una fibra di antigorite, con evidenziate le onde tipiche di tale tipo di fibra.

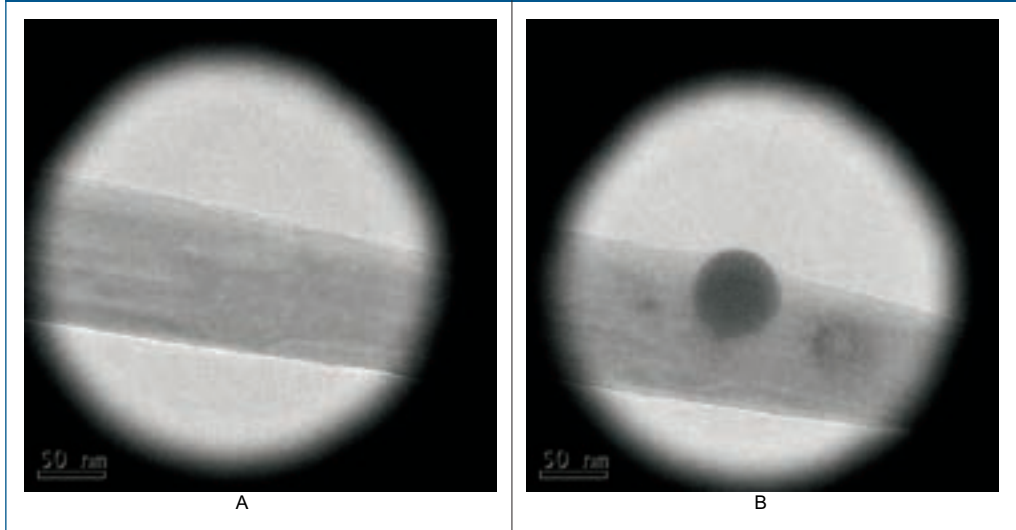


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

L'impiego della microscopia elettronica impone cautela per evitare che il fascio elettronico danneggi il campione alterandone le caratteristiche morfologiche e strutturali. Due esempi di come il fascio elettronico possa danneggiare il campione sono mostrati nelle Figure 28 e 29. Nelle Figure 28 A e 29 A sono mostrate fibre di antigorite non danneggiate. Nelle Figure 28 B e 29 B sono mostrate le fibre dopo l'esposizione al fascio elettronico per ottenere nella Figura 28 B la nanodiffrazione e nella Figura 29 B l'immagine ad alta risoluzione.

Figura 28

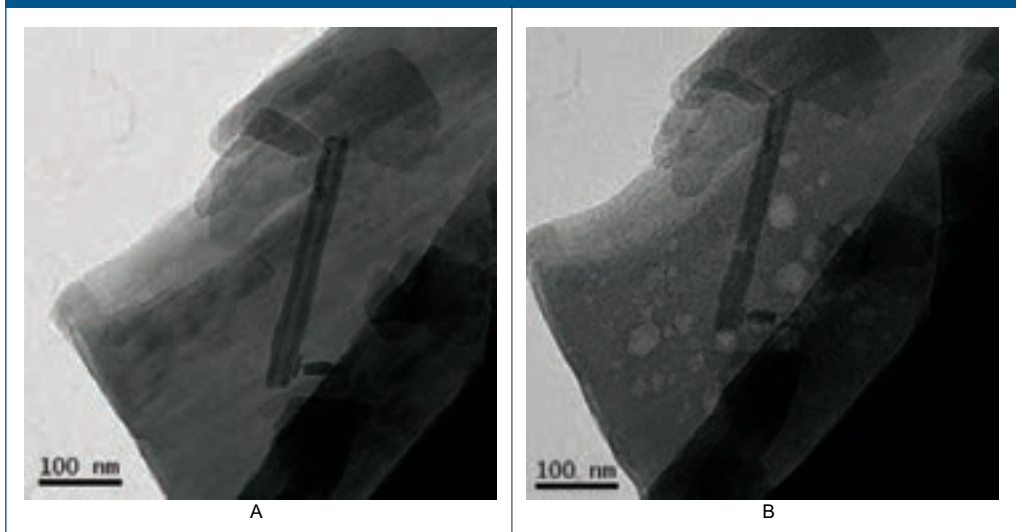
Immagine TEM di una fibra di antigorite (A) e immagine della stessa fibra dopo l'esposizione al fascio elettronico per l'acquisizione del nanodiffrattogramma (B)



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 29

Immagine TEM di una fibra di antigorite (A) e immagine della stessa fibra dopo l'esposizione al fascio elettronico per l'acquisizione dell'alta risoluzione (B)



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

SPETTROSCOPIA INFRAROSSA

Teoria della spettroscopia infrarossa

La spettroscopia infrarossa o spettroscopia IR è una tecnica analitica basata sull'assorbimento di energia: gli spettri mostrano l'assorbimento dei fotoni da parte del campione in funzione della frequenza. Questa tecnica è impiegata nel campo della caratterizzazione dei materiali e per lo studio dei legami chimici. In Figura 30 è mostrato lo spettrofotometro infrarosso, presente nei laboratori Inail del Dimeila.

Figura 30

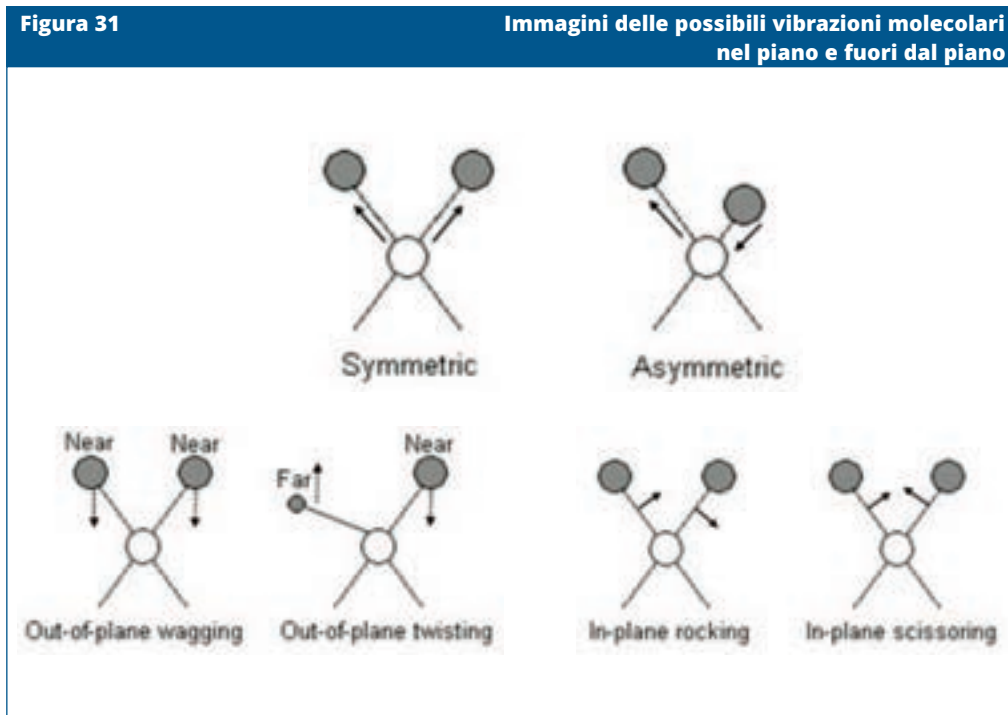
Spettrofotometro infrarosso presente nel Laboratorio rischi agenti cancerogeni e mutageni del Dimeila - Inail



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Quando un fotone infrarosso viene assorbito da una molecola, questa passa dal suo stato vibrazionale fondamentale ad uno stato vibrazionale eccitato. Le vibrazioni possono essere di due tipi: stiramento del legame chimico (stretching) e piegamento (bending). Nelle vibrazioni di stiramento, che possono essere simmetriche o asimmetriche, varia la distanza interatomica lungo l'asse del legame; vi è quindi un movimento ritmico lungo l'asse di legame con conseguente aumento e diminuzione della distanza interatomica.

Nelle vibrazioni di piegamento varia l'angolo tra due legami: le vibrazioni possono avvenire nel piano (scissoring e rocking) o fuori dal piano (wagging e twisting), come mostrato in Figura 31.

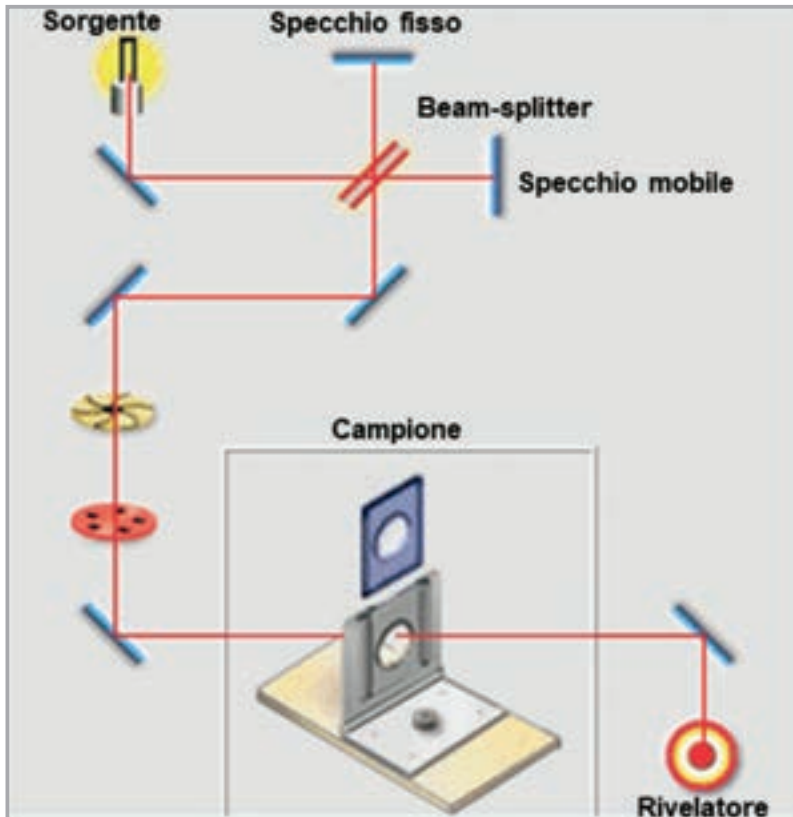


(URL: <https://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/irspec1.htm>) [consultato novembre 2019]

Quando queste vibrazioni determinano una variazione del momento dipolare della molecola, la vibrazione viene detta IR attiva e produce un segnale visibile nello spettro. Infatti l'intensità di una banda dipende dal valore del momento dipolare del legame a cui si riferisce.

La spettroscopia IR in trasformata di Fourier (FTIR) permette rispetto ad uno spettrofotometro a reticolo dispersivo di acquisire contemporaneamente tutte le frequenze dello spettro IR, senza dover effettuare la scansione sequenziale della lunghezza d'onda. In tale tecnica un interferometro permette la scansione di tutte le frequenze presenti nella radiazione IR generata dalla sorgente, grazie ad uno specchio mobile che spostandosi introduce una differenza di cammino ottico che origina un'interferenza costruttiva o distruttiva con il raggio riflesso da uno specchio fisso. In Figura 32 viene riportato uno schema del nostro strumento FTIR.

Figura 32 Schema semplificato dello strumento IR presente nei nostri laboratori



(Immagine modificata del software dello strumento Spectrum one della Perkin Elmer)

In questo modo si ottiene un *interferogramma* che mostra la rappresentazione dell'intensità nel dominio del tempo. Applicando la trasformata di Fourier si ottiene lo spettro infrarosso ovvero la rappresentazione dell'intensità nel dominio della frequenza. Lo spettro IR, (assorbimento in funzione della lunghezza d'onda), è caratterizzato da dei picchi riferibili a gruppi funzionali specifici che permettono di risalire alla composizione del campione in esame.

Solitamente nello spettro IR, la regione utilizzata è quella del medio infrarosso che va da 4000 a 200 cm^{-1} di numero d'onda, tuttavia la regione dell'infrarosso si estende anche oltre (tra $13000 - 10\text{ cm}^{-1}$).

I parametri che caratterizzano una banda di assorbimento IR sono:

- **Posizione** che viene indicata con la sua λ_{\max} (μm) o più spesso in numero d'onda ν (cm^{-1}); la ν_{\max} (e quindi la λ_{\max}) dipende dalla costante di forza del legame interessato: più rigido è il legame, maggiore deve essere l'energia necessaria per provocare le vibrazioni.
- **Intensità** (cioè l'altezza del picco) che esprime la probabilità che avvenga la transizione energetica dallo stato fondamentale a quello eccitato (da parte del gruppo funzionale) che provoca l'assorbimento.

L'intensità dell'assorbimento dipende dalla variazione del momento dipolare: così il carbonile che possiede un forte momento dipolare, in grado di variare in modo sensibile, fornisce di solito bande molto intense. Per capire il concetto di vibrazione IR attiva o inattiva, si fa riferimento ad un sistema più complesso. Nel caso della CO_2 , infatti, che possiede un momento dipolare nullo, lo stiramento simmetrico dei legami carbonilici non porta ad assorbimento nell'IR perché ogni momento dipolare associato ad un legame C=O è annullato dall'altro (la vibrazione simmetrica non distrugge il centro di simmetria del sistema e quindi risulta IR inattiva). Invece lo stiramento asimmetrico comporta la comparsa di un momento dipolare variabile nel tempo e quindi assorbimento (vibrazione IR attiva).

È consuetudine classificare le bande prodotte da vibrazioni attive a seconda dell'altezza (intensità) del picco. Si possono denominare le bande come: forti (*strong*, s); medie (*medium*, m); deboli (*weak*, w). A seconda della forma, la banda IR può essere: stretta (*sharp*) o larga (*broad*).

L'esame della linea di base di un spettro, che è la porzione che non ha bande di assorbimento, può fornire informazioni sulla qualità spettrale. Un controllo di qualità per uno spettro può consistere nel notare se la linea di base è piatta e se il suo livello è posizionato circa al 100% di trasmittanza (0% di assorbanza). Uno spostamento della linea di base sopra o sotto la posizione corretta può avvenire quando l'intensità dello spettro di fondo non corrisponde allo spettro del campione.

Una linea di base con una certa pendenza generalmente indica che la radiazione è stata diffratta e/o diffusa mentre è passata attraverso il campione. Questo problema può avvenire se le particelle presenti nella pasticca di bromuro di potassio (KBr) non sono state macinate abbastanza finemente. In Figura 33 viene riportato un esempio di pasticca di KBr con tremolite preparata correttamente per quanto riguarda trasparenza e dispersione dell'analita.

Figura 33

Esempio di ottima trasparenza di una pasticca di KBr con tremolite



(URL: <http://www.eurasia2018.org/rome/pdf/Book.pdf>) [consultato novembre 2019]

È preferibile, soprattutto nelle analisi quantitative di campioni con percentuali inferiori o uguali all'1% in amianto, flussare con gas idonei, quali l'azoto, l'interno dello strumento ed il vano portacampione. L'acqua in fase vapore produce un picco stretto con banda di assorbimento nelle regioni tra 4000 e 3000 cm^{-1} e tra 1800 e 1600 cm^{-1} , mentre la banda di assorbimento predominante per l'anidride carbonica è presente come doppietto a 2340 cm^{-1} : questi sono i maggiori interferenti di natura ambientale delle analisi IR.

Gli strumenti flussati, elimineranno o almeno diminuiranno la presenza di queste bande. Gli spettri di uno strumento non flussato mostreranno piccole bande di anidride carbonica ed acqua, se l'atmosfera dello spettro del bianco e dello spettro del campione sono simili. In ogni caso se l'aria dell'ambiente cambia durante l'analisi dello spettro del bianco e quello del campione a causa di oscillazioni o per la presenza umana, lo spettro può mostrare bande atmosferiche più forti.

L'esame dello spettro comporta il confronto dello spettro del campione con gli spettri di riferimento dei materiali conosciuti.

L'identificazione dei nostri campioni minerali è avvenuta confrontando gli spettri ottenuti all'FTIR con quelli di una banca dati di riferimento e studiando le bande caratteristiche delle ofioliti e degli interferenti presenti. I campioni sono stati analizzati in riflettanza diffusa e/o in trasmittanza preparando pasticche in KBr. La correlazione ottenuta

sui campioni, tal quali, con gli spettri memorizzati nella banca dati dello strumento è stata mediamente superiore al 90% per i campioni privi di matrici complesse. Comunque, è bene non affidarsi ciecamente alla banca dati strumentale ma studiare le singole regioni spettrali ed i singoli picchi di assorbimento, soffermandosi soprattutto ad analizzare le regioni spettrali identificative per gli amianti. Un accorgimento utile per evitare errori del software è quello di selezionare, per il confronto, solo le aree dello spettro che sono decisive per l'identificazione analitica escludendo quelle maggiormente soggette ad interferenti.

Studio della regione spettrale

L'interpretazione degli spettri deve iniziare dividendo lo spettro in diverse regioni di frequenza. La presenza o l'assenza di bande di assorbimento in ciascuna regione viene utilizzata, quindi, per caratterizzare il campione incognito. Nell'analizzare le singole regioni è consuetudine partire da quelle a più alta frequenza lasciando per ultima la regione di *fingerprint* del minerale incognito.

La maggior parte dei gruppi funzionali, infatti, hanno anche bande nella regione dell'impronta digitale che è la più importante per la caratterizzazione certa del minerale. Le bande dell'impronta digitale, quando vengono prese in considerazione in accoppiamento con le bande di frequenza del gruppo, possono confermare l'assegnazione. Il modello di assorbimento nella regione dell'impronta digitale è spesso complesso con vibrazioni interagenti tra di loro e con bande che si sovrappongono. È univoco per ogni materiale e quindi un mezzo estremamente valido per particolari identificazioni eseguite per diretto confronto con spettri di riferimento.

Come la presenza delle bande di un gruppo funzionale può essere usata per selezionare potenziali scelte identificative, l'assenza della banda di un gruppo funzionale viene usata anche per eliminare potenziali gruppi di materiali o discriminare composti minerali con formula chimica identica ma diversa struttura come i serpentini. L'identificazione positiva di un minerale non può mai essere basata solamente sulla presenza di una singola banda, in quanto diversi materiali possono produrre bande simili. L'assenza di una banda di assorbimento invece non ha ambiguità poiché indica che un minerale non è presente. Per esempio il crisotilo a differenza dell'antigorite, ha un picco caratteristico intorno a 606 cm^{-1} che è assente negli altri serpentini.

La spettroscopia delle ofioliti

La spettroscopia infrarossa fornisce spettri caratteristici generati dalle strutture silicatiche e dai legami cationici presenti che permettono analisi quali-quantitative di matrici asbestiformi. Lo spettro FTIR di un serpentino, per esempio, può essere diviso in due regioni distinte: una prima, a più bassa frequenza, che prende in considerazione le bande di assorbimento dovute agli stiramenti dei legami delle strutture silicatiche ed una seconda, a più alta frequenza, che comprende gli assorbimenti causati dalle vibrazioni di stiramento del legame idrossilico (O-H). La regione di assorbimento a più bassa frequenza viene denominata *impronta digitale* perché caratterizza univocamente un composto e ne permette, in alcuni casi favorevoli, una precisa identificazione. Quando si analizzano fil-

losilicati come i minerali del gruppo del serpentino o simili, l'esatta frequenza di un legame O-H è funzione della forza di legame tra l'ossigeno ed il protone, che a sua volta è funzione del grado di legame idrogeno tra il protone e gli ossigeni ad esso circostanti.

La forza del legame O-H viene modificata in modo significativo attraverso variazioni dell'ambiente atomico sia nella prima che nella seconda sfera di coordinazione dell'idrogeno e questo fatto rende il protone una sonda ideale per la caratterizzazione chimica del campione. Pertanto ogni minima perturbazione dell'equilibrio elettrostatico nelle immediate vicinanze del protone viene tradotta in uno spostamento misurabile della banda di stiramento dell'O-H.

In questo senso l'analisi degli spettri FTIR fornisce dati di estremo interesse negli studi cristallografici e diviene una tecnica rapida per l'analisi qualitativa. Nel caso di minerali contenenti crisotilo, per fare un esempio, il riconoscimento di questo tipo di amianto può essere effettuato analizzando le bande di assorbimento dovute all'impalcatura silicatica e soprattutto, con maggiore riproducibilità, valutando i picchi presenti nella regione di stiramento del legame idrossilico. Nella regione ad alta frequenza troviamo il doppietto a 3680 cm^{-1} e 3640 cm^{-1} , mentre nella regione a più bassa frequenza si hanno i picchi a 1075 cm^{-1} , 1020 cm^{-1} e 950 cm^{-1} ; infine c'è un ulteriore picco di assorbimento a 606 cm^{-1} , che permette non solo il completo riconoscimento del crisotilo ma una precisa distinzione di questo rispetto agli altri serpentini quali antigorite (vedi spettro IR del campione CZ 6 nelle schede di campionamento e analisi).

I minerali maggiormente diffusi nelle aree geologiche delle nostre indagini sono stati quelli della serie tremolite-actinolite ed alcuni serpentini (antigorite e crisotilo). Le analisi spettroscopiche hanno permesso di escludere la presenza della lizardite e di confermare la presenza, perlopiù, di antigorite fibrosa e compatta ed in minor quantità del crisotilo. La tipica banda di assorbimento della tremolite è a $3675 - 3673\text{ cm}^{-1}$, corrispondente alla vibrazione del dipolo O-H legato a tre cationi magnesio. Una banda ben sviluppata è osservata a 3660 cm^{-1} . La presenza di questo segnale è stato attribuito alla presenza del Fe^{2+} (vedi spettro IR del campione CS 11 nelle schede di campionamento e analisi). Nella regione delle impronte digitali, anche il picco intorno a 756 cm^{-1} è uno dei numeri d'onda attribuibili alla serie tremolite-actinolite. Le vibrazioni osservate in questo dominio spettrale sono assegnate all'allungamento simmetrico del legame Si-O-Si. Il picco intorno a 756 cm^{-1} è stato utilizzato come banda di assorbimento IR per quantificare la tremolite nei materiali di cava per inerti.

Spettri FTIR hanno confermato la presenza di antigorite nei campioni provenienti dalle aree 3 e 4 di Figura 2. Nella regione di stretching dell'OH, il picco a 3678 cm^{-1} è apparso evidente insieme ad una spalla a 3697 cm^{-1} . Nella regione di vibrazione di stretching delle strutture tetraedriche del foglio, si presentano due picchi: il primo intorno a 980 cm^{-1} ed il secondo vicino a 1080 cm^{-1} (vedi spettro IR del campione CZ 6 nelle schede di campionamento e analisi).

Nell'antigorite, il contenuto di Fe è generalmente più alto del crisotilo, quindi questo picco si sposta su frequenze più basse rispetto al picco del crisotilo. La sostituzione progressiva di Mg con Fe^{2+} sposta la frequenza di stiramento OH su un numero d'onda inferiore. La banda intorno a $568 - 564\text{ cm}^{-1}$, corrispondente al bending del Si-O è ben

evidente negli spettri di antigorite (nei nostri campioni si trova a 567 cm^{-1}) mentre è sistematicamente assente nella lizardite. La differenza è dovuta alla diversa simmetria dei due minerali. Un altro picco che permette il riconoscimento dell'antigorite è il picco assegnato alle vibrazioni di bending del legame Mg-OH intorno a $619 - 617\text{ cm}^{-1}$.

Interferenti

I campioni ofiolitici sono spesso caratterizzati dalla presenza di percentuali differenti di minerali di varia natura. Per discriminare ed individuare gli amianti all'interno di un campione minerale così complesso oltre alla necessità di accoppiare alle tecniche spettroscopiche quelle microscopiche c'è la necessità di conoscere e studiare le frequenze di vibrazione delle sostanze interferenti naturali.

Tra gli interferenti principali dei nostri campioni minerali vanno citati anche se non è un elenco esaustivo: il talco, la calcite, la dolomite, la clorite ed il quarzo. In Tabella 7 si riporta un quadro sinottico riassuntivo di questi interferenti con le frequenze di vibrazioni peculiari.

Tabella 7 Interferenti minerali principali nell'analisi dell'amianto				
Materiale	Bande caratteristiche (cm^{-1})			
Talco	3676 3665	669	535 465 451	424
Calcite		879 727		
Dolomite		879 727		
Clorite	3571 3548	987 822	658 445	

(Main interfering in spectroscopic analysis for the determination of asbestos containing materials - ACM)

Cenni sull'analisi quantitativa in FTIR

Oltre che all'identificazione di un analita, può essere importante risalire alla sua concentrazione. In spettroscopia c'è una relazione quantitativa lineare tra l'assorbanza e la concentrazione delle molecole assorbenti secondo la seguente formula:

$$A = \epsilon b c$$

dove:

A= assorbanza;

ϵ = assorbività molare (una costante per la molecola);

b = spessore del campione;

c = concentrazione.

Questa equazione, chiamata legge di Lambert-Beer o semplicemente legge di Beer, è usata per determinare la relazione tra l'assorbività misurata dall'intensità della banda e la concentrazione del gruppo funzionale del campione attivo nell'infrarosso. L'andamento lineare della relazione si mantiene per brevi tratti della curva, pertanto è logico costruire rette di taratura per intervalli differenti di concentrazione (per esempio basse, medie ed alte concentrazioni). L'equazione mostra che esiste una relazione tra l'altezza, o intensità (unità in assorbanza), di una banda di assorbimento e la concentrazione di quella molecola. Notare che la relazione lineare si mantiene per l'assorbanza e non per la trasmittanza che ha una relazione logaritmica. Quindi, per un lavoro quantitativo, il calcolo della concentrazione con questa formula va effettuato su spettri che devono essere rappresentati in unità di assorbanza.

Tutte le analisi quantitative infrarosse sono fatte mediante comparazione dell'intensità di una specifica banda di assorbimento del materiale sconosciuto con l'assorbanza dello stesso materiale in uno standard di concentrazione nota. In una miscela di materiali, le assorbanze sono additive; quindi l'assorbanza totale, ad ogni data lunghezza d'onda, è la somma degli assorbimenti di componenti individuali. Quindi, per una analisi quantitativa dei materiali, è vantaggioso selezionare la banda di assorbimento che non solo è caratteristica del materiale ma che è anche isolata dalle bande di assorbimento dovute agli altri materiali presenti nel campione.

SPETTROSCOPIA RAMAN

La spettroscopia Raman studia i moti vibrazionali molecolari attraverso la diffusione della luce. Si tratta di una tecnica complementare alla spettroscopia IR che consente di rilevare moti vibrazionali non attivi all'IR. Affinchè un moto vibrazionale sia osservabile in uno spettro Raman è necessario che si verifichi una variazione nella polarizzabilità della molecola, ossia una distorsione della nube elettronica intorno agli atomi che vibrano. Le molecole diatomiche omonucleari, come Cl_2 , non assorbono la radiazione IR in quanto non subiscono alcuna variazione del momento dipolare. Al contrario, lo stretching Cl - Cl risulta Raman attivo in quanto la polarizzabilità cambia quando il legame si allunga o si accorcia.

Principi dello scattering Raman

Quando la radiazione proveniente da una sorgente attraversa un campione, parte della radiazione è diffusa dalle molecole presenti. Per semplicità, si utilizza una radiazione di una sola frequenza (sorgente laser) che non sia assorbita dal campione. La radiazione interagisce con il campione mediante urti elastici, che non comportano variazioni di energia, ed urti anelastici, che al contrario comportano tali variazioni.

La maggior parte della radiazione diffusa ha la stessa frequenza, ossia la stessa energia della radiazione della sorgente e si parla, in questo caso, di scattering Rayleigh; da questa radiazione diffusa non si ottengono informazioni sul campione.

Una piccolissima quantità di fotoni, uno su un milione, viene diffusa con energia leg-

germente differente da quella della sorgente. Queste piccole variazioni sono le uniche significative dal punto di vista analitico perché, derivando dall'interazione tra i fotoni incidenti e gli atomi del campione, contengono informazioni utili per il riconoscimento di un campione incognito e sono quelle sfruttate nella spettroscopia Raman. Le righe a frequenza (ossia energia) leggermente più bassa rispetto alla sorgente sono dette linee Stokes, quelle a frequenza leggermente più alta sono dette linee anti-Stokes.

Strumentazione Raman

Uno spettrometro Raman richiede una sorgente di luce monocromatica (laser), un portacampione o cella, un selettore di lunghezza d'onda o interferometro e un rivelatore. Poiché la spettroscopia Raman misura la radiazione diffusa, la sorgente di luce e il portacampione sono generalmente posti a 90° rispetto al selettore della lunghezza d'onda. La radiazione che viene misurata ricade o nella regione del visibile o nel vicino infrarosso, per cui l'ottica dello spettrometro, le finestre e la cella portacampione possono essere realizzate in vetro o quarzo.

La spettroscopia Raman non è influenzata dall'umidità del campione, come invece accade nel caso della spettroscopia infrarossa, e consente anche l'analisi di materiali in soluzione acquosa.

È necessario escludere completamente la luce di fluorescenza dall'ottica dello spettrometro, in quanto essa dà origine a numerosi segnali spuri.

La spettrometria Raman, accoppiata ad un opportuno microscopio, data l'esiguità e l'economicità dei processi preparativi, viene spesso utilizzata per il riconoscimento della presenza di amianto in campioni naturali, in particolare per distinguere le diverse forme dei minerali del serpentino.

Nel corso del nostro progetto non sono state condotte analisi in spettroscopia Raman.

LAVORAZIONI DELLE PIETRE VERDI IN CALABRIA

LO SFRUTTAMENTO DELLE PIETRE VERDI

La particolare natura litologica delle ofioliti (sempre caratterizzate da fratturazioni più o meno marcate) e la loro composizione mineralogica (rocce ricche di minerali ferrosi) le rendono eccezionalmente resistenti agli agenti erosivi.

Queste particolari caratteristiche le rendono molto ricercate ed utilizzate in edilizia e nel campo delle infrastrutture in genere. Spesso infatti questi materiali sono preferiti, per particolari tipologie di costruzioni, agli inerti pregiati (ghiaie e sabbie di origine alluvionale) in quanto le proprie caratteristiche fisico-meccaniche risultano essere estremamente soddisfacenti con costi di acquisto molto contenuti.

L'estensione degli affioramenti ofiolitici in Calabria risulta assai variabile, si passa infatti da pochi metri quadrati a diversi ettari. La loro collocazione spesso si manifesta in modo estremamente selettivo rispetto al resto del territorio, in quanto risultano essere ben definiti se confrontati con il terreno circostante, a volte di natura argillosa.

Nelle zone montane c'è una prevalenza di tali giacimenti che si prestano in modo abbastanza agevole ad un loro sfruttamento. A seconda della natura dei litotipi, i giacimenti sono caratterizzati dalla presenza di pietre verdi di tipo *friabile* o di tipo *compatto* (Figure 34 e 35).

Figura 34 Cava di pietra verde di tipo friabile



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 35 Cava di pietra verde di tipo compatto



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

La differenza è individuabile nella presenza degli scisti che, aumentando in quantità tendono a rendere la roccia meno compatta e più frastagliata quindi più friabile, mentre in bassa concentrazione tendono a rendere le rocce più compatte, presentandosi sotto forma di grossi blocchi.

Da piccoli giacimenti si passa a vere e proprie cave a cielo aperto in cui vengono estratte diverse tonnellate di materiale al giorno.

I materiali friabili, trovandosi sotto forma di ciottoli o massi dalle dimensioni non particolarmente grandi, dopo un processo di frantumazione e vagliatura, vengono usati principalmente come rilevati e sottofondi stradali, riempimenti, leganti in edilizia, sottofondi ferroviari, inerte per calcestruzzo.

I compatti invece, presentandosi come enormi blocchi estremamente tenaci, vengono avviati a processi di lavorazione più complessi basati su successivi tagli della roccia in dimensioni via via decrescenti. Il risultato ultimo di questo processo lavorativo è la realizzazione dei così detti prodotti lapidei che trovano una vastissima applicazione nel campo dell'edilizia come ad esempio per mattonelle o battiscopa, rivestimenti di caminetti, scalini, portali, cornici e nelle decorazioni ornamentali come statue, fontane, panchine, arredo urbano in genere.

Negli anni 2005/2007 sono state studiate due cave nell'area del monte Reventino in provincia di Catanzaro, di cui date le particolarità riportiamo, in questo volume, la descrizione delle lavorazioni.

Le cave, attualmente chiuse, erano site, una nel comune di Platania, dalla quale si estraevano pietre verdi di tipo friabile, ed una nel comune di Conflenti, da cui erano estratti blocchi compatti. Ad ogni cava monitorata è associato uno specifico impianto di trasformazione con caratteristiche tecniche/lavorative estremamente differenti, a seconda del materiale da trattare.

L'impianto per la lavorazione degli inerti è sito nel comune di Decollatura, mentre quello per la lavorazione dei materiali lapidei sorge a Conflenti, lo stesso comune in cui si coltiva la cava.

Sia in un caso che nell'altro la movimentazione del materiale è eseguita solo ed esclusivamente tramite camion che eseguono il tragitto cava/impianto più volte al giorno.

DIFFERENZIAZIONE TRA I CICLI PRODUTTIVI PIÙ DIFFUSI

Di seguito vengono analizzati due particolari processi produttivi, legati alle lavorazioni principali, nei quali si utilizzano le pietre verdi provenienti dagli affioramenti che sorgono lungo le pendici del monte Reventino: la produzione di inerti e di materiali lapidei.

La produzione di inerti

L'impianto di frantumazione sorgeva nell'area industriale del comune di Decollatura. Il ciclo di lavorazione per la produzione di inerti da pietre verdi (Figura 36), si basa sul processo di trasformazione tipico per gli impianti di questo genere.

Le pietre verdi sotto forma di ciottoli o massi di media dimensione giungono all'impianto attraverso grossi camion che più volte al giorno trasportano il materiale da lavorare direttamente dalla cava (Figura 37).

Figura 36 **Panoramica dell'impianto per le lavorazioni di inerti**



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 37 **Carico del materiale friabile in cava**



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Il materiale trasportato subisce una prima grossolana cernita e viene ammucciato in grossi cumuli per essere successivamente frantumato e vagliato. Dai cumuli si preleva con una grossa ruspa del materiale che viene trasportato ai vibrovagli. Qui comincia il processo di frantumazione vero e proprio dove con l'ausilio di numerosi nastri trasportatori il materiale subisce continui sminuzzamenti. Grazie ad azioni gravimetriche, i vibrovagli trasferiscono il materiale su altri nastri trasportatori che separano il materiale in diverse classi granulometriche formando cumuli omogenei passando da ciottoli a pietrisco di dimensione decrescente fino ad arrivare alle sabbie fini.

Le operazioni di frantumazione e le successive vagliature avvengono sempre ad umido ed il recupero dell'acqua e dei fanghi è eseguito con un impianto di chiarificazione a sedimentazione semplice a circuito chiuso per il riutilizzo delle acque reflue.

Nell'impianto preso in esame, insiste anche un sistema per la miscelazione del calcestruzzo. Questo è caratterizzato da un silos che funge da deposito del cemento in polvere al quale, con l'ausilio di una apposita tramoggia, si aggiunge in un omogeneizzatore la sabbia di pietra verde con granulometria variabile a seconda delle esigenze delle diverse committenze. Il calcestruzzo così miscelato viene caricato direttamente nelle betoniere ed inviato per gli utilizzi finali.

Data la particolare natura del materiale accatastato ed essendo questo molto polveroso, l'impianto di lavorazione è dotato di un sistema di distribuzione dell'acqua, per limitare la diffusione di polvere nell'ambiente circostante, soprattutto nei mesi estivi.

Per gli automezzi impiegati nelle operazioni di movimentazione è previsto, prima di ogni uscita fuori dell'impianto, il lavaggio delle ruote e della sottoscocca, per non sporcare le strade che perimetrano l'impianto stesso.

La produzione di materiali lapidei

Il ciclo lavorativo per la produzione dei materiali lapidei è costituito da due stadi ben distinti, uno in cava e l'altro in impianto, entrambi caratterizzati a loro volta da specifiche fasi lavorative.

L'ubicazione della cava ad elevate altitudini e le particolari condizioni meteorologiche del periodo invernale fanno sì che l'attività sia limitata al periodo primavera-estate, mentre il taglio blocchi, con le successive riduzioni in lastre negli impianti di lavorazione, viene eseguito durante tutto l'anno.

Nella prima fase del ciclo lavorativo, sono impiegate due particolari tipologie di operatori: i ruspisti e gli autisti cioè gli addetti all'estrazione dei blocchi attraverso l'ausilio di pale meccaniche e gli addetti al trasporto di tali blocchi dalla cava all'impianto di taglio in lastre (Figura 38).

Figura 38

Trasporto di blocchi di grandi dimensioni con ausilio di mezzi cingolati



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Di fatto il lavoro in cava avviene soltanto con l'ausilio di mezzi meccanici senza utilizzare mine o altro materiale esplodente ma, a differenza della cava di materiale friabile, spesso per la movimentazione dei materiali compatti non è sufficiente l'utilizzo di una sola ruspa. Una prima lavorazione comune per tutte le successive trasformazioni è quella del taglio dei blocchi, dove i grossi massi di pietra verde, estratti dalle cave, vengono taglia-

ti in lastre informi ma di spessore noto, per mezzo di tagliablocchi a filo e/o lame diamantate, per essere successivamente squadrate ed avviate alla lavorazione. Quest'ultima avviene con un sistema semiautomatico, dove, impostando lo spessore desiderato, le lame o il nastro eseguono il taglio, avanzando successivamente sul blocco per effettuare un altro taglio. In questa fase, la presenza dei lavoratori è limitata al carico dei blocchi e alla successiva movimentazione delle lastre.

Questa operazione, come quasi tutte le lavorazioni osservate, avviene con un trattamento ad umido, in quanto l'attrito provocato dalle abrasioni o dai tagli sui blocchi o sulle lastre di pietra genera un aumento di temperatura che, oltre a causare un surriscaldamento delle lame o dei nastri diamantati, pregiudicando il loro rendimento, potrebbero causare rotture accidentali dei materiali semilavorati.

Il ciclo di lavorazione vero e proprio per la produzione di materiale lapideo commerciabile si articola in numerose fasi corrispondenti ai diversi prodotti da realizzare. Infatti a seconda delle caratteristiche delle lastre, quali spessore, durezza, colore, venature ecc., seguono una serie di trattamenti superficiali diversi. Di seguito vengono riportate le caratteristiche tecniche delle lavorazioni più importanti.

Nel *taglio delle lastre* i blocchi squadrate in modo informe, vengono tagliati con l'ausilio di grosse lame diamantate in lastre di spessore noto. Lo spessore è stabilito dall'operatore che programmando opportunamente una slitta a controllo numerico, è in grado di far avanzare la lama sul blocco secondo le proprie specifiche esigenze (Figure 39 e 40). L'attività dell'operatore in questa fase è limitata alla sola movimentazione delle lastre che vengono movimentate grazie all'ausilio di appositi verricelli. In genere le lastre appena tagliate vengono selezionate in base alle caratteristiche fisico-cromatiche per poi essere avviate ad altre lavorazioni. Infatti le lastre che presentano medesime venature o tonalità di verde vengono accatastate omogeneamente ed avviate alle trasformazioni successive, mentre le lastre che presentano imperfezioni o colorazioni non uniformi, vengono accumulate per essere lavorate in un secondo momento.

Figura 39 Squadrata dei blocchi grezzi con nastro diamantato



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 40 Taglio delle lastre con lame diamantate



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

La *lucidatura* è effettuata allo scopo di ottenere superfici lucide e speculari. Tale processo lavorativo, avviene sia con lucidatrici semiautomatiche che con piccole lucidatrici manuali. La lucidatura avviene utilizzando delle teste lucidanti con utensili al carburo di silicio che per poter funzionare necessitano di lubrificazione ad acqua (Figura 41). Tale sistema riesce ad effettuare la lucidatura di ampie superfici che successivamente verranno tagliate in mattonelle di diverse dimensioni. In questa fase l'operatività del personale è limitata alla sola movimentazione delle lastre. Per le smussature degli angoli o per lucidare particolari molto piccoli, necessariamente si devono usare le lucidatrici manuali che mosse dagli operatori addetti consentono di operare fin nei minimi dettagli. Le lastre così lavorate trovano largo impiego soprattutto all'interno degli edifici, come lastricati tipo marmo o per rivestimento o come decorazione.

Figura 41

Lucidatrice manuale



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

La *bocciardatura* è un processo lavorativo necessario per conferire alle lastre e successivamente alle mattonelle un aspetto ruvido (Figura 42). Tali prodotti trovano impiego soprattutto nelle pavimentazioni e nei decori da esterno. L'intera operazione, compreso il taglio finale, avviene grazie a sistemi semiautomatici, dove la presenza del personale è

limitata alla semplice movimentazione delle lastre e al controllo del processo lavorativo. La bocciardatura vera e propria avviene attraverso l'ausilio di dischi rotanti dotati di punte Widia. Il movimento rotatorio dei dischi e battente delle punte, con l'ausilio di un sistema ad acqua di tipo goccia a goccia, conferisce alle lastre l'aspetto ruvido e irregolare della superficie. Tale processo è applicabile a lastre di grandi dimensioni. Per ritocchi finali o per piccoli particolari, si usano martelli pneumatici con testa a punta.

Figura 42

Particolare della bocciardatura



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Il *taglio delle lastre in mattonelle* più piccole avviene attraverso lame diamantate. Tale operazione riguarda sia i prodotti ottenuti dal processo di lucidatura che dalla bocciardatura, al fine di realizzare mattonelle di dimensioni note in modo semiautomatico che rappresentano il prodotto finito. Le lastre precedentemente lavorate vengono caricate su un nastro trasportatore e su questo, in una specifica feritoia, agisce una lama manovrata dall'operatore tramite un sistema pneumatico, che in pochi secondi è in grado di realizzare un taglio netto (Figura 43).

Figura 43

Taglio delle lastre



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

L'*incollaggio* è un'operazione particolare che si rende necessaria per particolari esigenze di produzione o quando è indispensabile incollare alcune lastre insieme o per assemblare pezzi piccoli (Figura 44). Questa operazione è effettuata grazie all'utilizzo di colle bicomponenti e con l'ausilio di morse manuali su lastre o pezzi perfettamente asciutti. Per utilizzi più gravosi dei prodotti finiti oltre alla colla vengono applicati appositi rinforzi tramite viti autofilettanti. L'operazione di incollaggio non è eseguita ad umido.

Figura 44

Incollaggio delle lastre



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Al fine di ridurre al minimo il consumo di acqua, e per limitare la quantità da scaricare all'esterno, l'impianto di lavorazione prevede un sistema di ricircolo dell'acqua utilizzata e per il recupero dei fanghi di produzione. Tale sistema avviene a circuito chiuso in quanto l'acqua, per il corretto funzionamento delle apparecchiature, proviene direttamente dall'impianto di trattamento delle acque di scarico e di decantazione dei fanghi.

L'impianto di chiarificazione prevede inoltre un sistema per il recupero dei fanghi di sedimentazione, che accumulati tramite specifiche canalizzazioni in una vasca di raccolta, da cui, tramite l'ausilio di alcune pompe, vengono raccolti in grossi silos. All'estremità di questi trovano posto i pressofiltri nei quali il fango subisce l'ultimo trattamento di sedimentazione.

A completamento del ciclo di depurazione delle acque di lavorazione è previsto un sistema per il trattamento dell'acqua presente all'estremità superiore dei silos; da qui infatti viene prelevata tramite specifiche pompe ed inviata ad un dispositivo finale di filtrazione in cui subisce un trattamento di centrifugazione, e da questo reimmessa in grossi serbatoi per il riutilizzo come acqua chiara.

I pressofiltri, grossi sacchi in materiale sintetico formati da maglie estremamente fini e dalla capacità di circa 2 m³, ultimata la fase di scolatura ed essiccazione, vengono trasportati direttamente in cava, dove i fanghi asciutti restano momentaneamente stoccati in attesa di un loro riutilizzo o come semilavorato (colorante cementizio) o come basamento per il riempimento del fronte di cava per favorire il successivo rimboschimento tramite l'utilizzo di piante autoctone.

Gli sfridi, le mattonelle informi ed altri scarti di produzione, momentaneamente stoccati all'esterno del piazzale, vengono riutilizzati in un secondo momento anch'essi come materiale di risulta per il riempimento della cava.

VALUTAZIONE DELLA DISPERSIONE DI FIBRE DURANTE LE LAVORAZIONI DI PIETRA VERDE

CAMPIONAMENTI PERSONALI

La normativa relativa alla valutazione dell'esposizione dei lavoratori, al momento delle indagini effettuate prima del 2008, era il d.lgs. 277/1991 che richiede la tecnica della MOCF per il conteggio di fibre aerodisperse. Negli ambienti di cava da noi investigati, vista la particolarità delle fibre di amianto rilevate, si è preferito utilizzare la SEM per poter identificare con certezza la tipologia delle fibre depositate su filtro.

I campionamenti di tipo personale sono stati condotti utilizzando pompe portatili a batteria (Acquaria mod. Personal e SKC mod. Airchek 2000) fissate alla cintura dei lavoratori, operanti ad un flusso di aspirazione pari a 1L/min \pm 5%, tarati con flussometri a sfera.

Sono stati utilizzati filtri in policarbonato avente porosità 0,8 μ m e diametro 25 mm. I volumi di aria campionati sono stati opportunamente stabiliti in funzione della polverosità ambientale al fine di evitare un eccessivo deposito di materiale sui filtri, possibile causa di fluttuazioni del flusso di campionamento e di non corretti conteggi delle fibre al SEM.

In entrambe le tipologie di cave monitorate per l'estrazione di materiale di tipo *friabile* o *compatto* (vedi Figure 34 e 35), gli operatori addetti alle operazioni di scavo, movimentazione e carico del materiale, operano esclusivamente con l'ausilio di mezzi meccanici. Questi mezzi appaiono dotati di cabina chiusa e forniti di impianto di climatizzazione con specifico sistema di filtrazione dell'aria esterna. Tutte le operazioni avvengono in genere a finestrini chiusi. Per queste particolari tipologie di lavoratori l'esposizione a fibre appare del tutto secondaria. I lavoratori in questione, comunque, sono soggetti a specifiche norme di tipo igienico come ad esempio una pulizia meticolosa della cabina, il lavaggio delle suole delle scarpe, l'uso di appositi indumenti, che di fatto riducono al minimo il rischio di contaminazione da fibre.

I campionamenti personali sono stati condotti solo negli impianti in cui si svolgono le attività di lavorazione del materiale compatto.

In Tabella 8 sono riportati i valori di concentrazioni di fibre respirabili aerodisperse mediati su cinque campionamenti effettuati per ogni singola mansione con i corrispondenti valori dei limiti fiduciar superiori ed inferiori per una distribuzione Poissoniana al 95 % di probabilità (LFI, LFS).

Tutte le fibre contate sono state identificate come tremolite. Le concentrazioni di fibre respirabili rilevate durante le operazioni di taglio delle lastre con il filo diamantato e durante l'utilizzo della bocciardatrice risultano essere le più elevate.

Tabella 8 Esposizione professionale a fibre di tremolite durante la lavorazione del materiale compatto			
Lavorazione	Concentrazione di fibre di tremolite aerodisperse(f/cm³)	LFI(f/cm³)	LFS(f/cm³)
Taglio con il filo diamantato	0,06	0,03	0,07
Taglio con le lame diamantate	0,03	0,02	0,04
Spacco	0,02	0,01	0,05
Bocciardatura	0,04	0,03	0,07
Lucidatura	0,03	0,01	0,06
Incollaggio	0,02	0,02	0,03

CAMPIONAMENTI AMBIENTALI

I monitoraggi di tipo ambientale sono stati effettuati negli impianti di lavorazione dei materiali e in cava, sia durante l'estrazione del materiale sia in assenza di tale attività. Sono stati utilizzati campionatori ambientali (Zambelli mod Digit e mod. 6000 Isoplus) ad un flusso di aspirazione di circa 12 L/min prelevando un volume di aria compreso tra i 4000 litri e 15.000 litri, con i portafiltri posizionati ad un'altezza di circa 1,50 metri da terra e a circa 2 metri dal fronte di cava, compatibilmente con le operazioni di movimentazione del materiale. Sono stati utilizzati, anche in questo caso, filtri in policarbonato di porosità 0,8 µm e di diametro di 25 mm, muniti di supporti in nitrato di cellulosa aventi diametro di 25 mm.

Durante l'attività di monitoraggio sono stati anche rilevati, attraverso un termoigrometro, i parametri ambientali di temperatura, umidità relativa e velocità del vento.

I campioni sono stati osservati, in laboratorio, al SEM (LEO 1430), corredato dalla microanalisi (IXRF Systems mod. 500).

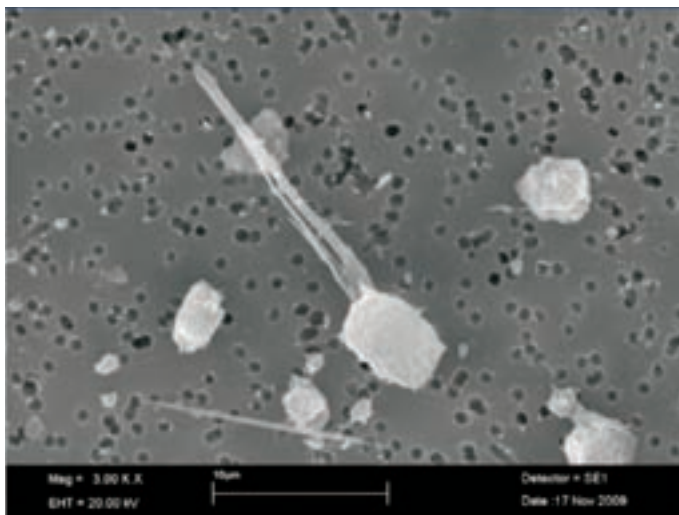
La Tabella 9 mostra i valori delle concentrazioni di fibre di tremolite aerodisperse mediati su tre campionamenti negli ambienti di cava.

Dall'osservazione dei dati relativi ai monitoraggi eseguiti appare evidente che, in entrambe le cave, la concentrazione di fibre misurata durante l'estrazione risulta essere superiore rispetto a quella riscontrata in assenza di tale attività.

Tabella 9 Concentrazione ambientale media di fibre di tremolite misurata negli ambienti di cava					
Materiale	Attività estrattiva	Concentrazione di fibre di tremolite aerodisperse (f/L)	LFI (f/L)	LFS (f/L)	Parametri ambientali
Friabile	presente	21,4	15,8	28,2	Temp. 18 °C, U.R. 31,0%, V.V. 0,9 m/s
	assente	0,6	0,2	1,6	Temp. 24,5 °C, U.R. 32,5%, V.V. 1,5 m/s
Compatto	presente	3,8	2,8	5,2	Temp. 25,2 °C, U.R. 49,0%, V.V. 0,6 m/s
	assente	0,5	0,2	1,1	Temp. 23,4 °C, U.R. 50,0%, V.V. 0,9 m/s

Dall'osservazione dei filtri al microscopio elettronico si è notato che le dimensioni delle fibre depositate sono molto variabili. Infatti si passa da *fibre respirabili*, aventi lunghezza superiore a 5 µm, larghezza inferiore a 3 µm (Figura 45 e 47), e rapporto lunghezza/diametro maggiore di 3, morfologicamente rigide, aghiformi e sottili, a fibre più tozze e corte (Figura 46).

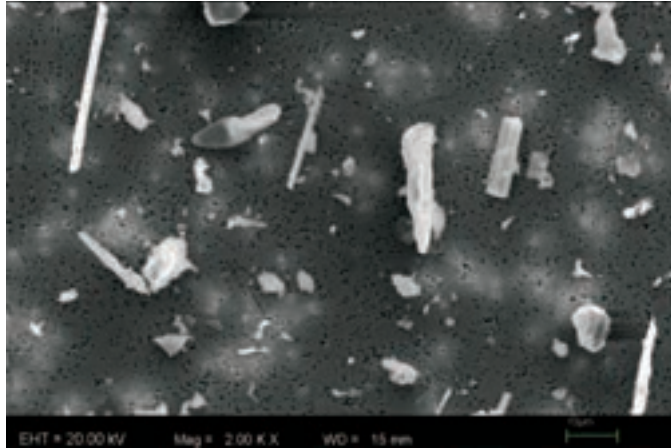
Figura 45 Esempio di fibre sottili di tremolite depositate su filtro



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 46

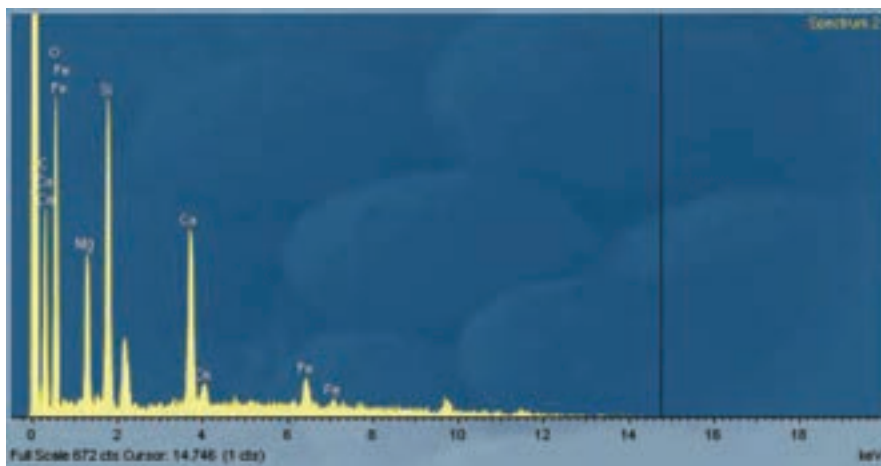
Esempio di fibre di tremolite di diverse dimensioni depositate su filtro



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 47

Spettro EDS di Figura 45



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

In Tabella 10 sono riportate invece le concentrazioni di fibre di tremolite aerodispersa nell'impianto di lavorazione del materiale inerte. I campionamenti sono stati effettuati in periodi stagionali differenti. Ogni valore riportato in tabella è mediato su tre campionamenti.

Tabella 10			
Concentrazione ambientale media di fibre di tremolite aerodisperse nell'impianto di lavorazione degli inerti in diversi periodi stagionali			
Periodo di monitoraggio	Concentrazione di fibre di tremolite aerodisperse(f/L)	LFI(f/L)	LFS(f/L)
Autunno	0,34	0,04	0,67
Inverno	0,27	0,07	0,93
Estate	1,74	0,78	3,38

I monitoraggi hanno caratterizzato le zone più significative dell'impianto, evidenziando soprattutto le zone di passaggio, le zone di carico del materiale nelle tramogge e nei silos (Figura 48) e i cumuli di deposito (Figura 49).

Figura 48 **Campionatore ambientale in zona silos**



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 49

Campionatore ambientale in zona cumuli



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

La dispersione di fibre, nonostante la continua irrorazione, risulta maggiore soprattutto nel periodo estivo. Ciò sicuramente dipende dal caldo che, oltre ad asciugare molto velocemente i cumuli ed il piazzale, tende a far diventare particolarmente secca l'aria della zona in cui è posizionato l'impianto, favorendo di conseguenza la diffusione di fibre nell'ambiente circostante.

Per quanto riguarda, invece, l'impianto di lavorazione del materiale lapideo, la concentrazione media delle fibre aerodisperse è risultata intorno alle 8 f/L. In Figura 50 è rappresentata la sistemazione del campionatore nel centro dell'impianto mentre nella Figura 51 è rappresentata la postazione di lavoro relativa alla macchina tagliapiastrelle. Anche in questo caso i monitoraggi sono stati eseguiti in più periodi dell'anno per verificare eventuali correlazioni con la stagionalità. Questa condizione, come prevedibile, non ha influito sulla dispersione di fibre nell'ambiente in quanto, a parte la movimentazione dei semilavorati, tutte le operazioni avvengono al chiuso, a differenza dell'impianto di frantumazione degli inerti.

Figura 50

Monitoraggio ambientale al centro dell'impianto



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 51

Monitoraggio ambientale nell'area tagliapiastrelle



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Alcuni campionamenti ambientali sono stati eseguiti presso i comuni di Decollatura, Platania e Conflenti, sia nelle piazze che nelle strade più adiacenti alle cave e agli insediamenti produttivi di pietra verde. Tali campionamenti sono stati eseguiti anche in prossimità di edifici scolastici ed uffici pubblici.

In Tabella 11 sono riportate le concentrazioni misurate.

Tabella 11 Concentrazioni ambientali medie di fibre di tremolite aerodisperse				
Comune	Concentrazione media di fibre di tremolite aerodisperse (f/L)	LFI (f/L)	LFS (f/L)	Parametri ambientali
Decollatura	0,18	0,06	0,92	Temp. 21,1 °C; U.R.56,1%; V.V.0,9m/s
Conflenti	0,03	0,00	0,40	Temp. 21,5 °C; U.R.51,0 %; V.V.1,9 m/s
Platania	0,00	0,00	0,40	Temp. 17,5 °C; U.R.63,5%; V.V.1,0 m/s

Nel comune di Decollatura, dove è presente l'impianto di lavorazione degli inerti, in alcuni filtri è stata riscontrata qualche fibra di tremolite.

A seguito della chiusura della cava di inerti, sono stati ripetuti, recentemente, i campionamenti ambientali a Decollatura vicino all'impianto di lavorazione presso un edificio scolastico (Figura 52). Le analisi dei filtri, come ci si aspettava, non hanno evidenziato alcuna fibra di tremolite aerodispersa.

Figura 52 Punti di campionamento ambientale vicino l'impianto di lavorazione degli inerti



(URL:<https://www.google.it/maps/place/88041+Decollatura+CZ/@39.0410378,16.3590585,679m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x133ff1e6b9c26147:0x5f639f81b489149b!8m2!3d39.0473446!4d16.3561491>)
[consultato novembre 2019]

MAPPATURA DEGLI AFFIORAMENTI OFIOLITICI IN CALABRIA

La Tabella 12 e la Tabella 13 mostrano le fasi fibrose rilevate nei 220 campioni totali, raccolti lungo le aree 1 e 2 della catena costiera del nord della Calabria e nell'area 3 e 4 del massiccio della Sila nei dintorni del monte Reventino (Figura 2).

L'osservazione dei campioni alla MOCF in dispersione cromatica ha consentito di identificare la presenza di materiale fibroso in quasi ogni campione prelevato. Il principale costituente fibroso presente nelle aree 3 e 4 aveva proprietà ottiche coerenti con la tremolite seguita da antigorite fibrosa e crisotilo. La distinzione tra antigorite e crisotilo in MOCF risulta complicata avendo entrambi le stesse proprietà ottiche, colore e composizione chimica. Le differenze tra i due minerali serpentini sono state meglio evidenziate con le tecniche SEM e TEM.

Sia l'analisi morfologica SEM che gli spettri EDS hanno confermato la presenza di fibre appartenenti alla serie tremolite-actinolite. Nelle aree di Gimigliano e Platania, la morfologia della tremolite consisteva in fibre lunghe e sottili. Il secondo minerale fibroso riscontrato è l'antigorite, generalmente contaminata da crisotilo.

Tabella 12 Fasi fibrose osservate nei campioni prelevati lungo la catena costiera del nord della Calabria (provincia di Cosenza)				
Area di studio (vedi Figura 2)	Codice	Località	Numero campioni	Minerali fibrosi
Area 1	CS 1	Diamante	5	-
	CS 2	Belvedere M.mo - Serra Pagano	7	Antigorite in tracce
	CS 3	Belvedere M.mo - Monte Milioso	2	
	CS 4	Sanginetto	9	-
	CS 5	Malvito	4	-
	CS 6	Fagnano Castello	9	-
	CS 7	Acquappesa (confine con Cetraro)	10	-
	CS 8	Acquappesa - Intavolata	3	Tremolite in tracce
	CS 9	Guardia Piemontese	4	-
Area 2	CS 10	Belmonte Calabro	9	Tremolite
	CS 11	Amantea	9	Tremolite

Tabella 13 Fasi fibrose osservate nei campioni prelevati nelle aree intorno al monte Reventino (provincia di Catanzaro)

Area di studio (vedi Figura 2)	Codice	Località	Numero campioni	Minerali fibrosi
Area 3	CZ 1	Nocera Terinese	3	-
	CZ 2	San Mango D'Aquino - Contrada Vitriolo	20	Tremolite Antigorite in tracce
	CZ 3	San Mango D'Aquino - Cantiere autostrada	3	Tremolite Antigorite in tracce
	CZ 4	Martirano Lombardo - SP96	18	Tremolite
	CZ 5	Martirano Lombardo - SP93	4	Antigorite Crisotilo in tracce Tremolite in tracce
	CZ 6	Conflenti - Contrada San Mazzeo	18	Antigorite Crisotilo in tracce
	CZ 7	Conflenti - Contrada Lisca	9	Antigorite Crisotilo in tracce
	CZ 8	Conflenti - Contrada Serra d'Acino	10	Antigorite Crisotilo in tracce
	CZ 9	Platania	22	Tremolite Antigorite Crisotilo in tracce
Area 4	CZ 10	Gimigliano - Contrada Patia	30	Tremolite Antigorite
	CZ 11	Gimigliano - Fiume Melito	12	Tremolite Antigorite in tracce

I campioni in cui è stata rilevata antigorite fibrosa sono stati esaminati al TEM e con l'aiuto della diffrazione elettronica la fibra minerale è stata chiaramente identificata. Oltre all'antigorite fibrosa, l'analisi TEM ha confermato la presenza di fibre di crisotilo. A completamento delle indagini microscopiche, sono state effettuate le analisi in FTIR confermando la presenza di tremolite, antigorite e crisotilo.

Il dettaglio delle analisi e delle località investigate è riportato nelle schede di campionamento e analisi in allegato, in cui le foto riportate sono state realizzate dal gruppo di lavoro del Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale.

REALIZZAZIONE DI UNA PIATTAFORMA WEB PER LA MAPPATURA GEOREFERENZIATA DEGLI AFFIORAMENTI OFIOLITICI

Gli studi condotti nelle province di Cosenza e di Catanzaro hanno permesso di individuare gli affioramenti ofiolitici dell'unità di Gimigliano - monte Reventino (provincia di Catanzaro) come quelli più significativi dal punto di vista sanitario, essendo presenti, nella maggior parte di essi, minerali fibrosi. È in corso di realizzazione un portale web per la mappatura georeferenziata degli affioramenti naturali di ofioliti sul territorio calabrese, che riporti per ciascun sito le principali informazioni sui minerali fibrosi presenti e che fornisca dati utili a ridurre il rischio di contaminazioni accidentali dell'ambiente circostante, oltre che a limitare il più possibile il rischio di esposizione a fibre per i lavoratori.

Per la realizzazione del portale viene utilizzato un Content Management System (CMS) Open-Source con DB (Data Base) Mysql dove vengono caricati i dati relativi agli affioramenti ofiolitici oggetto dello studio. Sono rispettate le norme di accessibilità al sito come previsto dal CNIPA *La Normativa italiana sull'accessibilità*, nonché la normativa W3C (World Wide Web Consortium) sul codice HTML del CMS. Il portale viene realizzato usando il sistema di gestione contenuti (CMS), utilizzando un database relazionale che gestisce i dati a basso livello, permettendo in maniera facile e veloce di inserire, modificare e cancellare i contenuti (news, immagini, documenti, ecc.) che compongono il sito web in base alle proprie esigenze. Il portale sarà visibile da tutti gli utenti tramite una connessione internet ed un browser, da dove potranno consultare i dati inseriti, in modo facile ed intuitivo.

La piattaforma è stata realizzata introducendo i risultati delle indagini ambientali effettuate predisponendo delle schede analitiche per ogni sito di campionamento.

La scheda contiene diverse informazioni: descrizione del sito di campionamento, risultati delle analisi effettuate in microscopia ottica, elettronica e spettroscopia infrarossa. L'utente, accedendo tramite il suo browser verrà indirizzato nella home page della piattaforma in cui è visualizzata la mappa della Calabria con evidenziati i punti di campionamento tramite appositi marcatori (Figura 53).

Cliccando su ciascun marcatore si aprirà un pop-up (Figura 54) con i dettagli del sito di campionamento e del materiale fibroso presente, le coordinate georeferenziate ed il link all'area della piattaforma dove saranno riportate dettagliate informazioni di carattere tecnico-scientifico (Figura 55).

Figura 53 Mappa della Calabria con affioramenti di interesse



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 54 Pop-up con dettagli del singolo sito di campionamento



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

La pagina che si apre cliccando su 'Dettagli' riporta la foto del campione tal quale oltre ai risultati delle analisi strumentali, come le immagini ottenute con il SEM, che evidenziano la natura fibrosa del materiale, gli spettri EDS e gli spettri FTIR. Sono infine presenti informazioni sulla tipologia del campione analizzato ed eventuali link a lavori scientifici.

Figura 55 **Esempio di informazioni di carattere tecnico-scientifico relative ad un sito di campionamento**
Sito di campionamento: San Mango


L'area investigata è quella di Vitriolo (S. Mango D'Aquino). L'affioramento più esteso si dirama lungo la variante stradale che collega l'abitato di S. Mango con l'autostrada Salerno-Reggio Calabria. I campionamenti sono stati eseguiti sull'affioramento prelevando delle aliquote di materiale sufficientemente rappresentative delle condizioni ambientali esistenti. Sono state scelte, in particolare, le zone con colorazione che vanno dal bianco al grigio chiaro - verde caratteristiche della tremolite. Tali vene caratterizzano le fratturazioni degli scisti determinandone la divisione in blocchi ben separati. Spesso queste venature sono formate da calcite che al loro interno possono contenere tremolite. I materiali prelevati, prima di essere sottoposti ad analisi, sono stati osservati allo stereomicroscopio per distinguerli in termini di consistenza, varietà e colorazione. I frammenti rocciosi prelevati dal distretto di Vitriolo hanno evidenziato la presenza di uno strato polveroso simile al talco, nella parte bianca del campione, che ricopriva una seconda fase sottostante. La parte minerale, rivestita dalla polvere bianca, presentava, invece, una colorazione verde screziata ed aveva caratteristiche compatte. La migliore metodica per la preparazione del campione finalizzata alla separazione delle due fasi è stata individuata accoppiando il trattamento meccanico con quello termico. Questo ha permesso di studiare le due fasi minerali, individualmente, tramite microscopia elettronica a scansione (SEM) e spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier (FTIR).

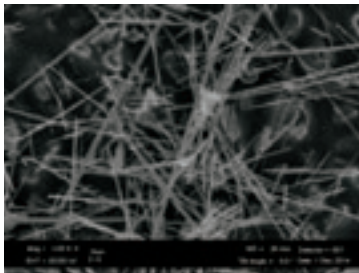
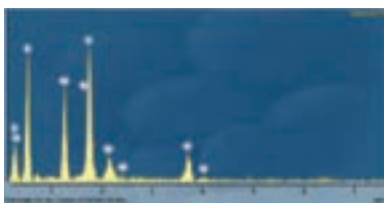
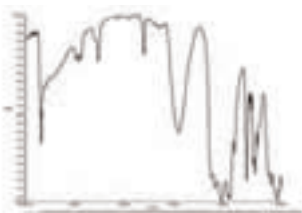


Immagine SEM della fase bianca, riconducibile ad amianto anfibolico: tremolite



Spettro EDS della fase bianca fibrosa



Spettro FTIR della fase bianca fibrosa

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

La piattaforma, con la creazione di un data base degli affioramenti ofiolitici in Calabria, consente di visualizzare l'esatta posizione georeferenziata degli affioramenti indagati, corredata da informazioni di natura analitica sui minerali riscontrati. La facile navigabilità ed interattività permette di individuare diversi siti, dando la possibilità agli operatori del settore di avere una visuale più ampia del rischio amianto e di conoscere il territorio già in fase di progettazione delle opere o delle lavorazioni. La realizzazione della *Piattaforma* mira a fornire un mezzo utile non solo a limitare il più possibile il rischio di esposizione a fibre per i lavoratori ma anche a ridurre il rischio di contaminazioni accidentali dell'ambiente circostante.

STUDIO SULLA BIOSOLUBILITÀ DELLA TREMOLITE

FATTORI COINVOLTI NELLA TOSSICITÀ DELLE FIBRE

Gli amianti sono ancora oggi oggetto di intensi studi multidisciplinari al fine di comprendere i meccanismi biologici attraverso i quali tali minerali inducono danni citotossici e genotossici, per la loro biopersistenza e per la capacità di indurre la generazione nell'organismo di specie reattive dell'ossigeno (ROS). La potenziale tossicità di un materiale fibroso in seguito ad inalazione è basata sullo studio di tre fattori, conosciuti in letteratura come le tre 'D': dose, dimensione e durabilità. Per dose si intende la concentrazione di fibre inalate che si deposita nelle regioni alveolari polmonari in uno specifico periodo di tempo e che generalmente è correlata con lo sviluppo di effetti tossici polmonari. Il fattore dimensione rimanda alla definizione di fibra respirabile secondo la World Health Organization in base alla quale una fibra per essere respirabile deve possedere lunghezza $> 5\mu\text{m}$ e diametro $< 3\mu\text{m}$ e rapporto lunghezza-diametro $\geq 3:1$. Tali caratteristiche conferiscono alla fibra la capacità di poter raggiungere la regione alveolare dei polmoni esplicando un'azione nociva. La durabilità rappresenta la capacità delle fibre di persistere per un dato periodo di tempo in ambiente biologico, sfuggendo e resistendo ai meccanismi di rimozione fisiologici propri dell'apparato respiratorio. Più una fibra è durabile più sarà biopersistente. Inoltre viene presa in considerazione anche una quarta 'D', la distribuzione delle fibre all'interno dell'apparato respiratorio. Le fibre inalate per poter esplicare un'azione tossica devono raggiungere il tessuto bersaglio distribuendosi in maniera differenziale all'interno dei diversi distretti del sistema respiratorio in base alle dimensioni.

MECCANISMI BIOLOGICI COINVOLTI NELLA RIMOZIONE DELLE FIBRE INALATE

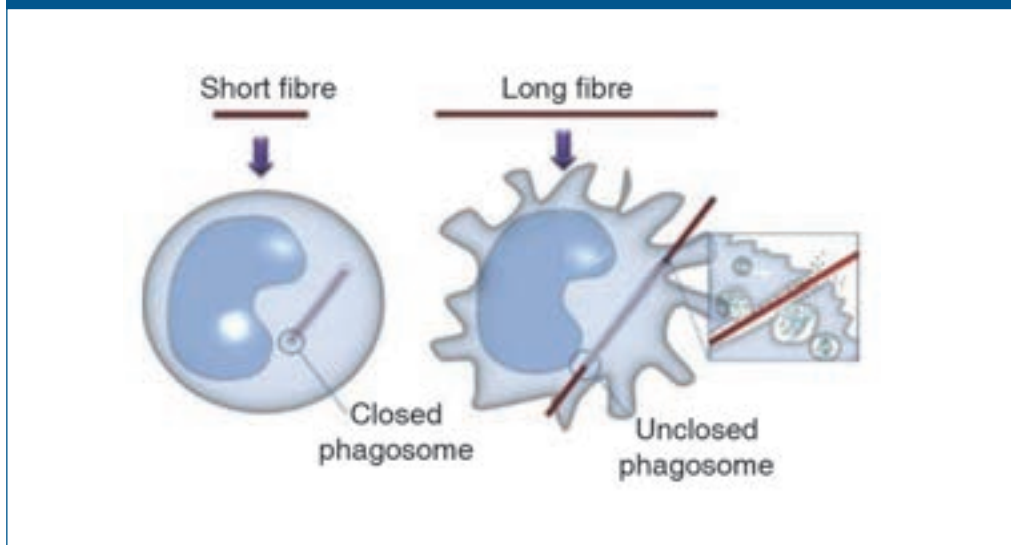
In seguito all'inalazione si attivano, all'interno dell'apparato respiratorio, una serie di meccanismi di difesa finalizzati ad eliminare o rimuovere le fibre che dipendono dal sito di deposizione e dalle dimensioni della fibra stessa. Quelle che rimangono intrappolate nelle alte vie respiratorie normalmente vengono eliminate attraverso la pulizia del naso, starnuti o ingestione. A livello della regione extratoracica e tracheobronchiale, la rimozione meccanica delle fibre avviene per mezzo del movimento vibratile delle ciglia che rivestono gli epitelii respiratori. Infatti una volta inalate, le fibre rimangono intrappolate nel muco che riveste gli epitelii respiratori e, per azione dei movimenti vibratili delle ciglia sottostanti, vengono trasportate verso la faringe per essere espettorate esternamente o deglutite. Per quelle fibre che sfuggono ai meccanismi appena citati rimane l'attivazione dei macrofagi alveolari (AMs), cellule spazzino, che esplicano la rimozione della fibra attraverso i meccanismi di fagocitosi. I macrofagi sono cellule

ematiche in grado di migrare dal sangue ai tessuti. Essi svolgono un ruolo molto importante nelle risposte immunitarie di tipo specifico. La loro funzione principale è la fagocitosi cioè la capacità di inglobare nel loro citoplasma particelle estranee, in questo caso le fibre e di distruggerle. Nel momento in cui il macrofago entra in contatto con la fibra, la sua membrana cellulare va incontro ad una serie di rimodellamenti. La membrana cellulare per prima cosa emette una estroflessione, dopodiché una rientranza sempre più profonda fino a quando le due estremità che avvolgono la fibra non si toccano e si fondono fra loro. In questo modo il materiale estraneo si trova immerso nel citoplasma del macrofago formando una vescicola rivestita della membrana, detta fagosoma. Il materiale fagocitato viene poi esposto all'attività degli enzimi litici presenti nel citoplasma del macrofago al fine di essere digerito ed eliminato.

L'efficienza di clearance delle fibre da parte dei AMs nel tessuto polmonare è strettamente dipendente dalla lunghezza delle fibre stesse: nel caso di fibre corte (lunghezza $< 5 \mu\text{m}$), queste verranno digerite efficacemente dall'attacco enzimatico in ambiente acido da parte dei AMs. Nel caso di fibre più lunghe (lunghezza $> 20 \mu\text{m}$), queste verranno ugualmente attaccate dai AMs, ma la digestione avverrà solo parzialmente, in quanto a causa della loro lunghezza, non potranno essere inglobate totalmente al loro interno, dando luogo al fenomeno della fagocitosi frustrata del macrofago, con conseguente liberazione degli enzimi lisosomiali dei macrofagi stessi nello spazio extracellulare (Figura 56). Il meccanismo può portare ad una reazione infiammatoria molto energica con danno ai tessuti dell'ospite e morte cellulare per necrosi del macrofago. L'infiammazione che ne deriva è alla base dei processi di cancerogenesi dovuti all'amianto.

Figura 56

Fagocitosi frustrata del macrofago alveolare



(URL: http://www.comune.bologna.it/media/files/colacci_documento_amianto.pdf) [consultato novembre 2019]

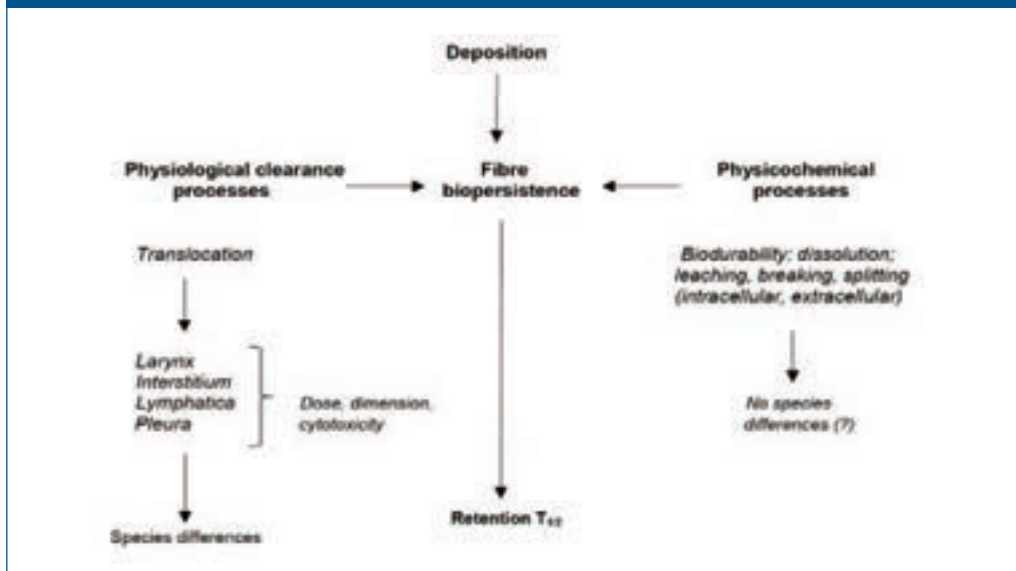
Le fibre lunghe fino a 20 μm sono fagocitate completamente dai AMs. Tale lunghezza negli studi di tossicità viene indicata come lunghezza critica. Pertanto le fibre potenzialmente più pericolose sono quelle che presentano una lunghezza maggiore di 20 μm . Per tali fibre solo una rottura trasversale può determinare una riduzione del contenuto polmonare di fibre tossiche. Infatti, una bassa biopersistenza delle fibre sembra essere associata non solo a tempi ridotti di persistenza in ambiente polmonare, ma anche alla possibilità che fibre lunghe, in seguito a rottura trasversale, possano dar luogo a fibre più corte facilmente rimovibili dai AMs.

TEST DI DISSOLUZIONE

Uno dei parametri chiave nel definire la tossicità e la patogenicità delle fibre è la biopersistenza, la capacità delle fibre di essere durabili, cioè di persistere in ambiente polmonare sfuggendo ai meccanismi di eliminazione di tipo chimico-fisico (dissoluzione, lisciviazione e rotture trasversali) ed a quelli propri della clearance fisiologica polmonare. I test *in vitro* sviluppati finora ed ampiamente riportati in letteratura, sono rivolti alla determinazione della biodurabilità delle fibre mentre i metodi *in vivo* misurano il comportamento di ritenzione delle fibre in ambiente polmonare in maniera complessiva riferendosi alla biopersistenza delle fibre. Va precisato che la biopersistenza di una fibra non è altro che la somma degli effetti dovuti ai processi fisico-chimici che avvengono a carico delle fibre ed ai processi di clearance fisiologica propri dell'organismo umano (Figura 57).

Figura 57

Fattori coinvolti nella biopersistenza delle fibre



(IARC; 2002 URL: <https://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol81/mono81.pdf>) [consultato novembre 2019]

I test in vivo includono l'inalazione e l'instillazione intratracheale delle fibre nei ratti, in cui la clearance delle fibre viene valutata attraverso cambiamenti del diametro delle fibre. I test cellulari in vitro prevedono il trattamento di colture cellulari epiteliali polmonari o di macrofagi alveolari incubate con fibre a tempi stabiliti e la successiva analisi in microscopia elettronica a scansione delle fibre al fine di evidenziarne cambiamenti sia nella morfologia che nelle dimensioni. È inoltre possibile valutare il danno cellulare, genotossico e citotossico indotto dalle fibre alle cellule. Tali test comportano delle limitazioni dovute al fatto che i terreni di coltura utilizzati per quanto possano il più possibile simulare quelli umani non rappresenteranno mai il reale ambiente fisiologico quale quello polmonare e che i volumi utilizzati sono molto ridotti se comparati ai sistemi in vivo. I test acellulari in vitro (statico e dinamico) invece prevedono il trattamento delle fibre in soluzioni simulanti i fluidi polmonari umani. Lo scopo di tali test è quello di determinare la velocità di dissoluzione sulla base dell'interazione che le fibre hanno con l'ambiente biologico con il quale entrano in contatto.

Per gli studi di dissoluzione possono essere utilizzate diverse tipologie di soluzioni tampone con le quali incubare le fibre: soluzioni organiche o inorganiche, acide e/o basiche. Per preparare soluzioni particolarmente acide ($\text{pH} < 5$) si ricorre all'utilizzo di acido cloridrico o acido nitrico, si utilizza, invece, l'acido acetico per quelle debolmente acide. Al contrario, per soluzioni particolarmente basiche ($\text{pH} > 9$) viene utilizzato idrossido di sodio o di potassio, per quelle debolmente basiche, il bicarbonato.

In letteratura le soluzioni maggiormente utilizzate nei test di dissoluzione sono le soluzioni organiche che simulano i fluidi biologici (fluidi interstiziali polmonari, macrofagi alveolari, fluidi gastrici, plasma del sangue). Tali soluzioni presentano un'elevata variabilità per quanto riguarda la composizione chimica, il pH e la presenza di alcune specie organiche rispetto ad altre (proteine, aminoacidi, acidi organici). Gli studi di dissoluzione delle fibre minerali possono essere condotti utilizzando differenti condizioni che rispecchiano quelle dei diversi ambienti polmonari. Per esempio i fluidi artificiali lisosomiali (ALF) sono stati sviluppati per simulare l'ambiente interno dei macrofagi alveolari con cui le fibre vengono in contatto una volta inalate e fagocitate.

Una delle tante soluzioni citate in letteratura è una soluzione salina elettrobalanciata detta soluzione di Gamble (Tabella 14) preparata a due diversi valori di pH: 7,4 per simulare gli spazi interstiziali polmonari e 4,5 per simulare l'ambiente acido dei macrofagi alveolari.

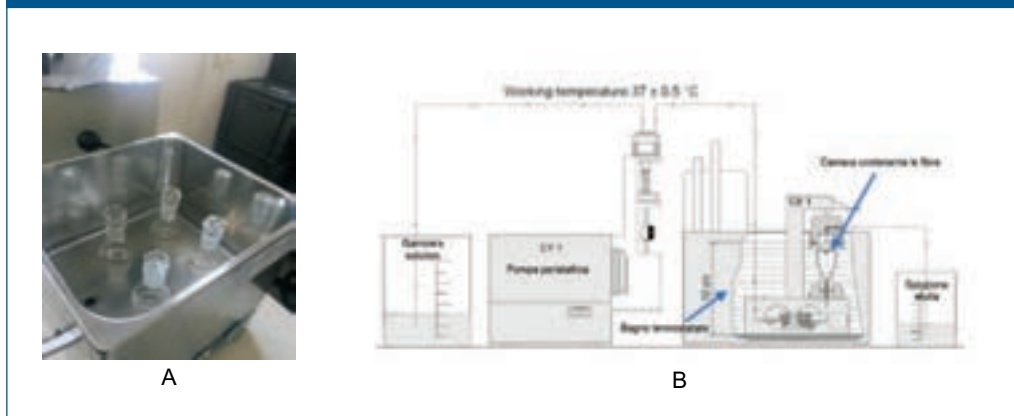
Tabella 14		Soluzione di Gamble
Reagente Chimico		Peso (g/L)
NaCl		6,6
NaHCO ₃		2,7
CaCl ₂		0,002
Na ₂ HPO ₄		0,358
Na ₂ SO ₄		0,08
MgCl ₂		0,211
Gly		0,118
Na ₃ -citrate		0,153
Na ₂ -tartrate		0,180
Formaldeide al 37%		2 ml/L
Na-pyruvate		0,171
Na-lactate		0,175

(HSE;2006 URL: <http://www.hse.gov.uk/pUbns/priced/hsg248.pdf> [consultato novembre 2019])

Il test statico rappresenta un test di semplice esecuzione nel quale un quantitativo noto di fibre viene posto in contatto con un volume fisso di fluido in un contenitore inerte e mantenuto a 37 °C attraverso l'utilizzo di un bagnetto termostato, al fine di garantire una temperatura costante che è quella dell'organismo umano (Figura 58 A).

Figura 58

Schema rappresentativo del metodo statico (A) e dinamico (B)



(A: Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale; B: Manuale SOTAX, Version 04; 2014)

Ad intervalli stabiliti le soluzioni sono sottoposte a filtrazione con sistema da vuoto, al fine di determinare la concentrazione degli elementi propri delle fibre stesse rilasciati in soluzione per mezzo di analisi in spettrometria di emissione atomica al plasma accoppiato induttivamente (ICP-AES).

Le fibre depositate su filtro invece vengono sottoposte ad analisi in microscopia elettronica a scansione (SEM) al fine di determinare eventuali cambiamenti chimici, morfologici e dimensionali dovuti al trattamento se comparate con un campione standard non trattato. Tale test comporta alcuni svantaggi quali tempi lunghi di esecuzione, alterazione del pH ed utilizzo di volumi ridotti di soluzione che potrebbero portare ad una saturazione della soluzione con valori della velocità di dissoluzione sottostimati. Per tali motivi rappresenta un test di screening iniziale che permette di distinguere e classificare fibre che dissolvono rapidamente da quelle note essere insolubili.

Come riportato nel lavoro di Rozalén et al., del 2017, la velocità di dissoluzione nel test statico è calcolata come la variazione della concentrazione del componente minerale j nel tempo:

$$\text{Rate}_j \text{ (mol g}^{-1} \text{ s}^{-1}) = - \frac{1}{v_j} \frac{V}{SM} \frac{dC_j}{dt}$$

dove v_j rappresenta il coefficiente stechiometrico del componente j , S è l'area superficiale specifica BET ($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$), M è la massa del minerale (g), V il volume di soluzione (L), C_j è la concentrazione del componente j ed infine t rappresenta il tempo (s).

Il test dinamico (Figura 58 B) invece rappresenta un test più laborioso che prevede l'utilizzo di una pompa peristaltica che fluisca ad intervalli regolari e costanti piccoli volumi di soluzione in una piccola camera contenente le fibre da testare posta all'interno di un bagnetto termostato a 37 °C. La soluzione una volta entrata in contatto con le fibre viene poi eluita e raccolta in una bottiglia per essere sottoposta a successiva analisi in ICP. Le fibre sono sottoposte ad analisi SEM-EDS. Rappresenta un test più rapido con dei costi più elevati, inoltre permette il mantenimento costante delle condizioni operative simulando in maniera dinamica ciò che avviene all'interno dell'organismo umano. Nel test dinamico la velocità di dissoluzione è calcolata tenendo conto anche del flusso volumetrico di fluido (Rozalén et al., 2008):

$$\text{Rate}_j \text{ (mol g}^{-1} \text{ s}^{-1}) = - \frac{1}{v_j} \frac{q}{M} (C_{j,\text{out}} - C_{j,\text{in}})$$

dove v_j rappresenta il coefficiente stechiometrico del componente j , M è la massa del minerale (g), q è il flusso volumetrico di fluido (mL min^{-1}), $C_{j,\text{out}}$ e $C_{j,\text{in}}$ sono le concentrazioni del componente j rispettivamente nella soluzione in uscita ed in entrata.

La velocità di dissoluzione per i silicati è calcolata generalmente in base alle concentrazioni di silicio rilasciate dalle fibre nella soluzione in uscita. Valori negativi della velocità ($\text{Rate} < 0$) sono associati al processo dissolutivo mentre valori positivi a fenomeni di precipitazione ($\text{Rate} > 0$).

Secondo Wood et al., 2006, il sistema statico (batch reactors) essendo un sistema chiuso è rappresentativo di ciò che avviene nei AMS, mentre il dinamico (flow-through reactors) essendo un sistema aperto, simula i fluidi biologici.

BIOSOLUBILITÀ DELLA TREMOLITE: STUDI IN LETTERATURA

Il processo di dissoluzione dipende dalla composizione chimica, dalla struttura cristallina delle fibre e dall'interazione che queste hanno con le soluzioni con cui entrano in contatto. Albin et al. (1994) analizzarono lavoratori esposti a crisotilo contaminato da anfiboli, le fibre minerali trovate nei polmoni erano tutte anfiboliche nonostante l'esposizione maggiore fosse a crisotilo. La maggiore solubilità del crisotilo rispetto agli anfiboli, lungo l'intera scala di pH, sembra sia dovuta alla sua particolare struttura cristallina. Le fibre di crisotilo sono costituite da singoli strati arrotolati attorno all'asse delle fibre, legati tra loro da deboli legami di van der Waals. Rozalen et al., (2017) mostrarono che gli amianti seguono la seguente scala di solubilità, nella quale R rappresenta la velocità di dissoluzione (chr: crisotilo; ant: antofillite; tlc: talco; trm: tremolite): $R_{chr} > R_{ant} > R_{tlc} \approx R_{trm}$.

Attualmente gli studi in letteratura riguardanti la dissoluzione della tremolite sono molto scarsi. Uno studio interessante che confronta la solubilità del crisotilo con quella della tremolite è quello descritto da Oze and Solt (2010), nel quale viene misurata la velocità di dissoluzione dei due amianti attraverso test statici, in fluidi simulanti l'ambiente polmonare a pH 7,4 (SLF) e gastrico a pH 1,2 (SGF) a 37 °C per 30 giorni. La tremolite è risultata sempre essere meno solubile del crisotilo secondo la seguente scala di biodurabilità (resistenza alla dissoluzione): tremolite (SLF) > crisotilo (SLF) > tremolite (SGF) > crisotilo (SGF).

In genere i silicati di magnesio si dissolvono incongruamente con formazione di fasi superficiali impoverite di Mg che inibiscono l'ulteriore dissoluzione. Schoot et al. (1981), in seguito a trattamento della tremolite in soluzione acquosa ad una temperatura compresa tra 20 - 60 °C e pH 1 - 6, hanno osservato che vi era una leggera diminuzione del Mg ed una iniziale e marcata diminuzione del Ca seguita da dissoluzione congruente.

Successivamente Rozalen et al., (2014), studiarono gli effetti del pH sulla cinetica di dissoluzione della tremolite in soluzioni inorganiche, utilizzando test statici a 25 °C e a valori di pH compresi tra 1 - 13,5. La velocità di dissoluzione fu calcolata sulla base del rilascio di Si e Mg in soluzione. Notarono che a valori di pH compresi tra 1 - 8, vi era una forte dipendenza della velocità di dissoluzione della tremolite con il pH, che diminuiva all'aumentare del pH.

Sono state studiate inoltre le variazioni di velocità di dissoluzione degli amianti con il variare della composizione delle soluzioni simulanti i fluidi polmonari. Da studi in letteratura risulta che le soluzioni contenenti acidi organici (ossalico, citrico, malico, salicilico) hanno la capacità di promuovere la dissoluzione dei silicati incrementandone la velocità di dissoluzione soprattutto a pH acido. In particolare sono stati valutati gli effetti del citrato e dell'ossalato sulla velocità di dissoluzione della tremolite (in base al

rilascio di Si) in test dinamici a 37 °C in una soluzione di Gamble modificata a tre diversi valori di pH: 4 per simulare i macrofagi alveolari, 7,4 per riprodurre l'ambiente interstiziale polmonare e 5,5 come punto intermedio. La scelta di questi due acidi organici è legata al fatto che oltre ad essere dei costituenti dei fluidi interstiziali, è stato dimostrato che hanno un forte potere catalizzatore sulla velocità di dissoluzione del crisotilo. È stato osservato che entrambi i ligandi sono in grado di promuovere la velocità di dissoluzione e che tale effetto dipende sia dal pH che dalla concentrazione dei ligandi stessi. A pH acido si ha la formazione del complesso magnesio citrato che è più efficace del complesso magnesio ossalato nel promuovere la velocità di dissoluzione della tremolite rispetto alla soluzione di Gamble priva di ligandi. A pH neutro invece ha maggior effetto il complesso magnesio ossalato. Lo studio ha comunque dimostrato che la tremolite è sempre più solubile a pH acido, tipico dei macrofagi rispetto al pH neutro proprio dei fluidi interstiziali polmonari.

Attualmente nel nostro laboratorio uno dei progetti di ricerca condotti riguarda lo studio della biosolubilità della tremolite talcosa proveniente dagli affioramenti ofioliti dell'area del monte Reventino, della regione Calabria. Il primo step è stato quello di isolare e caratterizzare la componente talcosa per poi studiarne la dissoluzione in vitro. Dopo trattamento in muffola a 450 °C per 12 ore, i campioni sono stati sottoposti ad analisi in MOCF, FTIR, SEM e TEM per verificare la purezza della tremolite. Tali campioni sono stati utilizzati per condurre test acellulari in vitro di tipo statico in soluzione salina (Gamble) simulante i fluidi polmonari a due diversi valori di pH: 7,4 e 4,5 a 37 °C per 4 settimane consecutive. Le fibre sono state analizzate settimanalmente attraverso analisi SEM comparandole con campioni di tremolite talcosa non sottoposte a trattamento. L'analisi SEM non ha mostrato cambiamenti morfologici e dimensionali delle fibre, così come la percentuale di fibre respirabili durante le 4 settimane di trattamento è rimasta invariata. Sono in corso le determinazioni delle velocità di dissoluzione attraverso l'analisi in ICP delle soluzioni filtrate durante il periodo di trattamento. Il nostro obiettivo futuro inoltre sarà quello di testare tale materiale in test acellulari in vitro ma in modalità dinamiche al fine di simulare maggiormente ciò che accade nell'organismo umano.

CONCLUSIONI

In letteratura esistono numerosi studi dedicati alle ofioliti, sia dal punto di vista geologico sia focalizzati sugli aspetti ambientali relativi all'amianto naturale ed al suo impatto sulla salute. Monitorare le situazioni regionali è importante al fine di fornire informazioni relativamente ai siti estrattivi, in attività o dismessi (cave di pietre ornamentali e cave di pietrisco) e ad affioramenti non sfruttati economicamente o messi in evidenza da scavi per edilizia e infrastrutture, per programmare interventi di prevenzione e messa in sicurezza.

L'area presa in esame in questo lavoro comprende gli affioramenti ofiolitici della Catena Costiera e della Sila Piccola, ed in particolare il comprensorio del monte Reventino, ove risulta ben esposta una sequenza riconducibile all'unità di Gimigliano - monte Reventino.

L'insieme dei dati emersi dalle fasi di rilevamento e dalle indagini di laboratorio ha evidenziato che i minerali classificabili come amianto secondo la normativa vigente sono presenti e diffusi nella massa soprattutto nei litotipi ultrafemici (serpentiniti, serpentinoscisti e peridotiti serpentizzate), sia diffusi nella massa che concentrati in filoni, e in misura nettamente subordinata negli scisti actinolitico-cloritici, nei metagabbri, e nelle metabasiti.

Le ofioliti del monte Reventino hanno un'importanza considerevole in quanto hanno rappresentato, e in parte rappresentano ancora, un'importante risorsa mineralogica ed economica. Questo studio ha mostrato che i minerali di amianto del gruppo anfibolico, la tremolite, sono il tipo più comune di amianto presente nelle ofioliti del Monte Reventino. Gli affioramenti di colore verde chiaro sono ricchi di anfiboli, fragili e facilmente frantumabili, utilizzati per la produzione di calcestruzzo. Le rocce con un colore verde scuro contengono meno anfiboli e sono più resistenti, utilizzate nella pavimentazione stradale, per pavimenti interni e nella produzione lapidaria.

La presenza di amianto, come noto, provoca significative implicazioni ambientali. Quando un deposito è classificato come sito minerario ofiolitico, il contenuto di amianto all'interno del deposito deve essere valutato preliminarmente, come definito nel d.m. 178/1996. La valutazione dell'esposizione dei lavoratori durante l'estrazione e la lavorazione delle rocce ofiolitiche diventa necessaria per valutare le condizioni di lavoro e ridurre i rischi per la salute umana.

Attualmente nell'area del monte Reventino ci sono cave inattive che potrebbero portare però allo sfruttamento incontrollato della pietra friabile, determinando il rilascio di fibre nell'ambiente circostante.

Oltre la tremolite, i nostri risultati indicano un'importante presenza di antigorite, polimorfo del serpentino, con abito asbestiforme contaminata da crisotilo in tutti i campioni delle rocce ofiolitiche prelevate nelle aree di Conflenti, Platania, San Mango D'Aquino, Martirano Lombardo e Gimigliano, località dell'area del monte Reventino.

L'antigorite fibrosa, non classificata dalla normativa come amianto, è stata già individuata in altre aree, dentro e fuori l'Italia destando interesse per il suo potenziale pericolo per la salute umana.

In letteratura sono riportati pochi studi che affrontano il problema di una possibile azione cancerogena dell'antigorite fibrosa. Sono, pertanto, necessarie ricerche mirate ad indagare il grado di rischio connesso alla presenza dell'antigorite asbestiforme; nel frattempo, in assenza di informazioni specifiche e di studi epidemiologici, è opportuno agire in via cautelativa intraprendendo azioni per evitare o ridurre un possibile rischio, utilizzando le stesse misure di prevenzione delle fibre di amianto.

La complessità dello studio degli affioramenti ofiolitici ha reso necessario, nello svolgimento del progetto, il coinvolgimento di più istituzioni, ciascuna per le specifiche conoscenze tecniche e competenze territoriali, al fine di individuare le misure di controllo, prevenzione e mitigazione del rischio connesso all'esposizione ad amianto per gli addetti ai lavori, garantendo la tutela dell'ambiente circostante e la salute della popolazione.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

GEOLOGIA DELLE OFIOLITI

Abbate E, Bortolotti V, Principi G. Apennine ophiolites: a peculiar oceanic crust. In: Rocci G (ed) Tethyan ophiolites. Western area. *Ophioliti Spec Issue*. 1980; 1:59-96.

Alvarez W. A former continuation of the Alps *Bull Geol Soc Am*. 1976; 87:891-96.

Amodio-Morelli L, Bonardi G, Colonna V et al. L'arco calabro-peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide. *Mem Soc Geol It*. 1976; 17:1-60.

Beccaluva L, Maciotta G, Spadea P. Petrology and geodynamic significance of the Calabria-Lucania ophiolites. *Rend Soc It Miner Petrol*. 1982; 38:973-87.

Bloise A, Belluso E, Critelli T et al. Amphibole asbestos and other fibrous minerals in the meta-basalt of the Gimigliano-Mount Reventino Unit (Calabria, south-Italy). *Rend Online Soc Geol It*. 2012; 21(2):847-48.

Bloise A, Belluso E, Critelli T et al. Asbestos and other fibrous minerals contained in the serpentinites of the Gimigliano-Mount Reventino Unit (Calabria, south-Italy). *Environ Earth Sci*. 2014; 71(8): 3773-86.

Bortolotti V, Principi G. Tethian ophiolites and Pangea break-up. *Island Arc*. 2005; 14:442-70.

Cello G, Morten L, De Francesco AM. The tectonic significance of the Diamante-Terranova unit (Calabria, southern Italy) in the Alpine evolution of the northern sector of the Calabrian Arc. *Boll Soc Geol It*. 1991; 110:685-94.

Cello G, Invernizzi C, Mazzoli S. Structural signature of tectonic processes in the Calabrian Arc, southern Italy: Evidence from oceanic-derived Diamante-Terranova unit. *Tectonics*. 1996; 15(1):187-200.

Channell JET, Mareschal JC. Delamination and asymmetric lithospheric thickening in the development of the Tyrrhenian Rift. *Geol Soc Spec Publ*. 1989; 45(1):285-302.

De Roeber EWF. Lawsonite-albite facies metamorphism near Fuscaldo, Calabria (Southern Italy): its geological significance and petrological aspects. Amsterdam: GUA; 1972.

Dewey JF, Helman ML, Turco E et al. Kinematics of the western Mediterranean. *Geol Soc Spec Publ*. 1989; 45: 265-83.

Dietrich D, Scandone P. The position of the basic and ultrabasic rocks in the tectonic units of the southern Apennines. *Atti Acc Pont Napoli*; 1972; 21: 61-75.

Feininger T (2010). Rock-Forming Minerals. 3B. Layered Silicates Excluding Micas and Clay Minerals (2nd ed). By Deer WA, Howie RA, Zussman J. London: The Geological Society; 2009.

Geological Society of America. Penrose filed conference on ophiolite. Review of conference (Palo Alto, California). Ore Bin. 1972; 34: 215-18.

Lagabrielle Y, Cannat M. Alpine Jurassic ophiolites resemble the modern central Atlantic basement. *Geology*. 1990; 18:319-22.

Lanzafame G, Spadea P, Tortorici L. Mesozoic ophiolites of northern Calabria and Lucanian Apennines (Southern Italy). *Ofioliti*. 1979; 4:173-82.

Letto A, Barilaro AM. L'unità di San Donato quale margine deformato cretaceo paleogenico del bacino di Lagonegro (Appennino meridionale-Arco Calabro). *Boll Soc Geol Ital*. 1993; 112:1-20.

Liberi F, Piluso E. Tectonometamorphic evolution of the ophiolitic sequences from Northern Calabrian Arc. *Boll Soc Geol It*. 2009; 128(2):483-93.

Messina A, Russo S, Borghi A et al. Il Massiccio della Sila, settore settentrionale dell'Arco Calabro Peloritano. *Boll Soc Geo. It*. 1994; 113:359-586.

Ogniben L. Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano. *Mem Soc Geol It*. 1969; 8:453-763.

Ogniben L. Schema geologico della Calabria in base ai dati odierni. *Geol Romana*. 1973; 12:243-585.

Rossetti F, Faccenna C, Goffè B et al. Alpine structural and metamorphic signature of the Sila Piccola Massif nappe stack (Calabria, Italy): insights for the tectonic evolution of the Calabrian Arc. *Tectonics*. 2001; 20(1): 112-33.

Rossetti F, Faccenna C, Goffè B et al. Tectono-metamorphic evolution of the ophiolite-bearing HP/LT Gimigliano-Monte Reventino unit (Gimigliano, Sila Piccola): insights for the tectonic evolution of the Calabrian Arc *Boll Soc Geol It*. 2002; 121:51-67.

Rossetti F, Goffè B, Moniè P et al. Alpine orogenic P-T-t-deformation history of the Catena Costiera area and surroundings regions (Calabrian Arc, Southern Italy): The nappe edifice of north Calabria revised with insights on the Tyrrhenian-Apennine system formation. *Tectonics*. 2004; 23 (6):1-26.

Spadea P. I carbonati delle rocce metacalcaree della Formazione del Frido della Lucania. *Ofioliti*. 1976; 1: 431-65.

Spadea P. Calabria-Lucania ophiolites. *B Geofis Teor Appl*. 1994; 36:141-144.

Wicks FJ, Whittaker FJW. A re-appraisal of the structures of the serpentine minerals. *Can Mineral*. 1975; 13: 227-43.

Wicks FJ, Whittaker EJW. Serpentine textures and serpentinization. *Can Mineral.* 1977; 15:459-88.

Wicks F., Plant AG. Electron probe and X-ray microbeam studies of serpentine textures. *Can Mineral.* 1979; 17: 785-830.

METODOLOGIA D'INDAGINE

Amodio-Morelli L, Bonardi G, Colonna V et al. L'arco calabro-peloritano nell'orogene appenninico-maghebide. *Mem Soc Geol It.* 1976; 17:1-60.

Bloise A, Punturo R, Catalano M et al. Naturally occurring asbestos (NOA) in rock and soil and relation with human activities: the monitoring example of selected sites in Calabria (southern Italy). *Ital J Geosci.* 2016; 135(2): 268-79.

Campopiano A, Olori A, Cannizzaro A et al. Quantification of tremolite in friable material coming from Calabrian ophiolitic deposits by infrared spectroscopy. *J. Spectrosc.* 2015; vol. 2015: 9 pages.

URL: <https://doi.org/10.1155/2015/974902> [consultato novembre 2019].

Campopiano A, Olori A, Bruno MR et al. Asbestos in ophiolitic rocks of Calabria (South Italy). *Int J Environ Heal R.* 2018; 28(2):134-146.

CNR IRSA. Metodi analitici per i fanghi. Quaderno 64 (3). Roma: CNR IRSA; 1996.

Crossmon GC. Dispersion Staining with phase contrast microscopy accessories: the microscopic identification of quartz. *Science.* 1949; 110(2853): 237-8.

Della Ventura G, Ruggero Vigliaturo R et al. FTIR Spectroscopy of the Regulated Asbestos Amphiboles. *Minerals.* 2018; 8(9): 413.

URL: <https://www.mdpi.com/2075-163X/8/9/413/xml> [consultato novembre 2019].

Egerton RF. *Electron Energy-loss Spectroscopy in the Electron Microscope* (3rd ed). Springer; 2011.

Goldstein J, Newbury DE, Joy DE et al. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis* (2nd ed). Springer; 1992.

Gropo C, Compagnoni R. Ubiquitous fibrous antigorite veins from the Lanzo Ultramafic Massif, Internal Western Alps (Italy): characterisation and genetic conditions. *Periodico di Mineralogia* 2007; 76(2):169-81.

Health and Safety Executive. Asbestos: The analysts' guide for sampling, analysis and clearance procedures. Free-to-download, web-friendly version of HSG248 (First edition, published 2006). Version for online use from HSE. URL: <http://www.hse.gov.uk/pUbns/priced/hsg248.pdf> [consultato novembre 2019].

Kemmner G. Spettroscopia Infrarossa. Milano: Etas Kompass; 1971.

Liberi F, Piluso E. Tectonometamorphic evolution of the ophiolitic sequences from Northern Calabrian Arc. *Boll Soc Geol It.* 2009; 128 (2):483-93.

Olori A, Campopiano A, Cannizzaro A et al. Determinazione qualitativa del crisotilo in matrici viniliche mediante spettroscopia infrarossa in riflettanza diffusa. *Giornale Igienisti Industriali.* 2007; 32(3):216-25.

Olori A, Di Pietro P, Campopiano A et al. Main interfering in spectroscopic analysis for the determination of asbestos containing materials (ACM) - Interferenti principali nelle analisi spettroscopiche per la rilevazione dell'amianto nei materiali commerciali. *Italian Journal of Occupational and Environmental Hygiene.* 2017; 8(3): 71-119.

Olori A, Palumbo L, Bruno MR et al. Repeatability of FTIR in Quantitative Asbestos Analysis: Inter-instruments Test for Low Concentrations. In: *Abstract Book of 15th Eurasia Conference on Chemical Sciences; session I.A-2, Analytical Chemistry*, p 17. Rome, 5-8 September 2018.

URL: <http://www.eurasia2018.org/rome/pdf/Book.pdf> [consultato novembre 2019].

Olori A, Campopiano A, Allegrucci L et al. Further Developments in the Methodology of Quantitative Analysis by FT-IR: Quantitative Detection of Low Chrysotile Concentrations. In: *Abstract Book of 15th Eurasia Conference on Chemical Sciences; session I.A-3, Analytical Chemistry*, p 18. Rome, 5-8 September 2018.

URL: <http://www.eurasia2018.org/rome/pdf/Book.pdf> [consultato novembre 2019].

Rinaudo C, Gastaldi D. Characterization of chrysotile, antigorite and lizardite by FT-Raman spectroscopy. *The Can Mineral.* 2003; 41: 883-90.

Schmidt KO. Phase Contrast Microscopy and Dispersion Staining. *STAUB*, vol 18, 1958.

Thompson JM. *Infrared Spectroscopy* (1st ed). Singapore: Pan Stanford Publishing Pte. Ltd; 2018.

Williams DB, Carter CB. *Transmission Electron Microscopy: A Textbook For Materials Science.* 2nd ed. Springer; 2009.

World Health Organization. Determination of airborne fibre number concentrations: a recommended method, by phase-contrast optical microscopy (membrane filter method). Geneva: WHO; 1997.

URL: http://www.who.int/occupational_health/publications/en/oehairbornefibre.pdf?ua=1 [consultato novembre 2019].

LAVORAZIONI DELLE PIETRE VERDI IN CALABRIA

Amato G. Studio e monitoraggio ambientale sulle serpentiniti del Monte Reventino (Tesi di Laurea). Università degli studi della Calabria Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali. AA 2001-2002.

Regione Emilia Romagna. Il progetto regionale pietre verdi. Le ofioliti, la loro estrazione e il problema amianto. Regione Emilia Romagna; 2004.

VALUTAZIONE DELLA DISPERSIONE DI FIBRE DURANTE LE LAVORAZIONI DI PIETRA VERDE

Minoia C, Scansetti G, Piolatto G et al (a cura di). L'amianto: dall'ambiente di lavoro all'ambiente di vita. Nuovi indicatori per futuri effetti. Pavia: Fondazione S. Maugeri IRCCS; 1997.

Minoia C, Perbellini L (a cura di). Monitoraggio ambientale e biologico dell'esposizione professionale a xenobiotici. Vol.9, Fibre minerali. Milano: Morgan Edizioni Tecniche; 2003.

Pezzagno G. Strategie di campionamento ambientale. Alcune applicazioni statistiche per lo studio degli inquinamenti ambientali. Milano. Pime; 1993.

Pozzoli L, Maugeri U. Igiene Industriale. Campionamento gas-vapori-polveri. Pavia: La Goliardica Pavese; 1986.

Silvestri S, Veraldi A, Falcone M et al. Amianto di serpentino e di anfibolo in Calabria: risultati preliminari di monitoraggi in ambito occupazionale e ambientale. *Epidemiologia e Prevenzione*; 2005; 29(5-6 Suppl):63-5.

UNI EN 482:1998. Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Requisiti generali per le prestazioni dei procedimenti di misurazione degli agenti chimici.

UNI EN 689:1997. Guida alla valutazione dell'esposizione per inalazione a composti chimici ai fini del confronto con i valori limite e strategia di misurazione.

Zakrzewska AM, Capone PP, Iannò A et al. Calabrian ophiolites: dispersion of airborne asbestos fibers during mining and milling operations. *Periodico di Mineralogia*. 2008; 77(2): 27-34.

MAPPATURA DEGLI AFFIORAMENTI OFIOLITICI IN CALABRIA

Campopiano A, Olori A, Zakrzewska AM et al. Chemical-mineralogical characterisation of greenstone from San Mango d'Aquino. *Prev Today*. 2009; 5(3/4):25-38.

Campopiano A, Olori A, Bruno MR et al. Asbestos in ophiolitic rocks of Calabria (South Italy). *Int J Environ Heal R*. 2018; 28(2):134-46.

Campopiano A, Bruno MR, Olori A et al. Fibrous antigorite in Mount Reventino area of central Calabria. *J Mediterr Earth Sci.* 2018; 10:17-25.

Spadafora A, Bruno MR, Olori A et al. Naturally Occuring Asbestos in Calabria. In: Abstract Book of Congresso congiunto SIMP-SGI-SOGEI-AIV. Geosciences: a tool in a changing world. Società Geologica Italiana. Poster session S8, p 144. Pisa 3-6 September 2017.

URL: <https://www.socgeol.it/318n804/geosciences-a-tool-in-a-changing-world.html> [consultato novembre 2019].

REALIZZAZIONE DI UNA PIATTAFORMA WEB PER LA MAPPATURA GEOREFERENZIATA DEGLI AFFIORAMENTI OFIOLITICI

Campopiano A, Olori A, Angelosanto F et al. Amianto presente in alcuni affioramenti ofiolitici della regione Calabria. In: Atti del 32° Congresso Nazionale di Igiene Industriale ed Ambientale. Varese, 24-26 giugno 2015.

Iannace A, Vitale S, D'Errico M et al. The carbonate tectonic units of northern Calabria (Italy): a record of Apulian palaeomargin evolution and Miocene convergence, continental crust subduction, and exhumation of HP-LT rocks. *J Geol Soc Lond* 2007; 164:1165-86.

Letto A, Barillaro AM. L'unità di San Donato quale margine deformato cretaceo-paleogenico del bacino di Lagonegro (Appennino meridionale-Arco-Calabro). *Boll Soc Geol It* 1993; 111:193-215.

Liberi F, Piluso E. Tectonometamorphic evolution of the ophiolitic sequences from Northern Calabrian Arc. *Boll Soc Geol It.* 2009; 128(2):483-93.

Piluso E, Cirrincione R, Morten L. Ophiolites of the Calabrian Peloritan arc and their relationships with the crystalline basement (Catena Costiera and Sila Piccola, Calabria, Southern Italy) - GLOM 2000 Excursion Guide-Book. *Ofioliti.* 2000; 25(2):117-40.

STUDIO SULLA BIOSOLUBILITÀ DELLA TREMOLITE

Albin M, Pooley FD, Stromberg U et al. Retention patterns of asbestos fibers in lung tissue among asbestos cement workers. *Occup Environ Med.* 1994; 51: 205-11.

Ballirano P, Bloise A, Gualtieri AF et al. The crystal structure of mineral fibres. *EMU Note in Mineralogy.* 2017; 18:17-64.

Bernstein DM, Chevalier J, Smith P. Comparison of Calidria Chrysotile asbestos to pure tremolite: final results of the inhalation biopersistence and histopathology examination following short-term exposure. *Inhal Toxicol* 2005; 17:427-49.

Bernstein DM. Synthetic vitreous fibers a review of toxicology, epidemiology and regulations. *Crit Rev Toxicol* 2007; 37:839-86.

Campopiano A, Cannizzaro A, Angelosanto F et al. Dissolution of glass wool, rock wool and alkaline earth silicate wool: Morphological and chemical changes in fibers. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2014; 70:393-406.

Colacci A. Valutazione, caratterizzazione e percezione del rischio da amianto nell'era della tossicologia basata sull'evidenza (evidence-based toxicology). Arpa Emilia Romagna (CTR Tossicologia Ambientale); 2014.

URL: http://www.comune.bologna.it/media/files/colacci_documento_amianto.pdf [consultato novembre 2019]

Davis JMG. Mineral fiber carcinogenesis: experimental data relating to the importance of fiber type, size, deposition, dissolution and migration. In: Bignon J, Peto J, Saracci R (eds). *Non-occupational Exposure to International Agency for Research on Cancer. Mineral Fibers*. IARC Scientific Publications No. 90. Lion: IARC; 1989. pp 33-46.

Donaldson K, Murphy FA, Duffin R et al. Asbestos, carbon nanotubes and pleural mesothelium: a review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma. *Part Fibre Toxicol* 2010; 7(5).

Eastes W, Hadley JG. Role of fiber dissolution in biological activity in rats. *Reg Toxicol Pharmacol* 1994; 20:S104-S112.

Gualtieri AF, Bursi Gandolfi N, Pollastri S et al. In vitro acellular dissolution of mineral fibres: a comparative study. *Sci Rep*. 2018; 8(7071).

Guldberg M, Jensen SL, Knudsen T et al. High-alumina low-silica HT stone wool fibers: a chemical compositional range with high biosolubility. *Regul. Toxicol Pharmacol* 2002; 35(2): 217-26.

Health and Safety Executive. An inventory of fibres to classify their potential hazard and risk. Research Report 503. Harpur Hill, Buxton, Derbyshire: HSE; 2006.

URL: <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr503.pdf> [consultato novembre 2019].

Institute on Medicine of the Medicine Academies. *Asbestos: Selected Health Effects*. Washington (DC): The National Academies Press; 2008.

International Agency for Research on Cancer. *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Man-made vitreous fibers*. Vol. 81. Lyon: IARC; 2002.

URL: <https://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol81/mono81.pdf> [consultato novembre 2019].

Lippmann M. Effects of fiber characteristics on lung deposition, retention, and disease. *Environ Health Perspect*. 1990; 88:311-17.

Marques MRC, Loebenberg R, Almukainzi M. Simulated biological fluids with possible application in dissolution testing. *Dissolution Technologies*. 2001; 18: 15-28.

Maxim LD, Hadley JG, Potter RM et al. The role of fiber durability/biopersistence of silica-based synthetic vitreous fibers and their influence on toxicology. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2006; 46(1): 42-62.

Miller BG, Searl A, Davis JMG et al. Influence of fibre length, dissolution and biopersistence on the production of mesothelioma in the rat peritoneal cavity. *Ann. Occup. Hyg.* 1999; 43: 455-166.

Nyberg K, Johansson U, Johansson A et al. Phagolysosomal pH in alveolar macrophages. *Environ. Health Persp.* 1992; 97: 149-152.

Ohsawa M. The effect of heating on the dissolution of alkaline earth silicate fibers in a simple amino acid solution and water. *Ind. Health.* 2005; 43: 213-220.

Osmond-McLeod MJ, Poland CA, Murphy F et al. Durability and inflammogenic impact of carbon nanotubes compared with asbestos fibres. *Part. Fibre Toxicol.* 2011; 8: 15.

Oze C, Solt K. Biodurability of chrysotile and tremolite asbestos in simulated lung and gastric fluid. *Am. Mineral.* 2010; 95: 825-831.

Plumlee GS, Ziegler TL. The medical geochemistry of dust, soils, and other earth materials. In: *Treatise on Geochemistry*. Volume 9. Lollar BS (ed) Elsevier. Executive Editors: Holland HD, Turekian KK; 2003. 263-310.

Rozalen ML, Huertas FJ, Brady PV et al. Experimental study of the effect of pH on the kinetics of montmorillonite dissolution at 25° C. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2008; 72: 4224-4253.

Rozalen ML, Ramos ME, Hernandez-Corbalan MD et al. Oxalate-promoted dissolution of chrysotile. *Macla.* 2012; 16: 156-157.

Rozalen ML, Ramos ME, Huertas FJ et al. Dissolution kinetics and biodurability of tremolite particles in mimicked lung fluids. Effect of citrate and oxalate. *J Asian Earth Sci.* 2013; 77: 318-26.

Rozalen ML, Ramos ME, Gervilla F et al. Dissolution study of tremolite and anthophyllite: pH effect on the reaction kinetics. *Appl Geochem.* 2014; 49: 46-56.

Rozalen M, Huertas FJ, Pacella A et al. Dissolution and biodurability of mineral fibres. *EMU Note in Mineralogy.* 2017; 18(10):347-66.

Schott A, Berner RA, Sjöberg EL. Mechanism of pyroxene and amphibole weathering-I. Experimental studies of iron-free minerals. *Geochim Cosmochim Acta.* 1981; 45:2123-35.

SOTAX. Solution for Pharmaceutical Testing. Operating Instruction. Dissolution Testing Unit. DISSOTEST CE1. Translation of the German Original Operating Instruction. Version 04, 2014/09/03.

Thélohan S, de Mering A. In vitro dynamic solubility test: influence of various parameters. *Environ Health Perspect.* 1994; 102(5): 91-96.

Wood SA, Taunton AE, Normand C et al. Mineral-fluid interaction in the lung: Insights from reaction-path modeling. *Inhal Toxicol.* 2006; 18: 975-84.

Zeidler-Erdely PC, William JC, Ameredes BT et al. In vitro cytotoxicity of Manville Code 100 glass fibers: effect of fiber length on human alveolar macrophages. Part I. *Fibre Toxicol.* 2006; 3:5.

CONCLUSIONI

Amodio-Morelli L, Bonardi G, Colonna V et al. L'arco calabro-peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide. *Mem Soc Geol It.* 1976; 17:1-60.

Bernstein DM, Chevalier J, Smith P. Comparison of Calidria Chrysotile asbestos to pure tremolite: final results of the inhalation biopersistence and histopathology examination following short-term exposure. *Inhal Toxicol.* 2005; 17: 427-49.

Bloise A, Belluso E, Critelli T et al. Asbestos and other fibrous minerals contained in the serpentinites of the Gimigliano-Mount Reventino Unit (Calabria, S. Italy). *Environ Earth Sci.* 2014; 71: 3773-86.

Campopiano A, Olori A, Zakrzewska AM et al. Chemical-mineralogical characterisation of greenstone from San Mango d'Aquino. *Prevention Today.* 2009; 5: 25-38.

Cardile V, Lombardo L, Belluso E et al. Toxicity and carcinogenicity mechanisms of fibrous antigorite. *Int J Environ Res Public Health.* 2007; 4(1):1-9.

Fitz Gerald JD, Eggleton RA, Keeling JL. Antigorite from Rowland Flat, South Australia: asbestiform character. *Eur J Mineral.* 2010; 22:525-33.

Grosso C, Compagnoni R. Ubiquitous fibrous antigorite veins from the Lanzo Ultramafic Massif, Internal Western Alps (Italy): characterisation and genetic conditions. *Per Mineral.* 2007; 76:169-81.

Keeling JL, Raven MD, Self PG et al. Asbestiform antigorite occurrence in south Australia. Proceedings of the 9th International Congress for applied mineralogy. Brisbane, 5-8 September 2008.

Stanton MF, Layard M, Tegeris A et al. Relation of particle dimension to carcinogenicity in amphibole asbestos and other fibrous mineral. *J Natl Cancer Inst.* 1981; 67:965-75.

Wozniak H, Wiecek E, Stetkiewicz J. Fibrogenic and carcinogenic effects of antigorite. *Pol J Occup Med.* 1988; 1:192-201.

RIFERIMENTI NORMATIVI

Decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81

Testo unico della salute e sicurezza sul lavoro. Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. (Gazzetta ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008, Supplemento ordinario n. 108).

Decreto ministeriale 25 ottobre 1999, n. 471

Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni. (Gazzetta ufficiale n. 293 del 15 dicembre 1999, Supplemento ordinario n. 218).

Decreto del Ministero della sanità 14 maggio 1996, n. 178

Normative e metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto, previsti dall'art. 5, comma 1, lettera f), della legge 27 marzo 1992, n. 257, recante: Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto. (Gazzetta ufficiale n. 251 del 25 ottobre 1996, Supplemento ordinario n. 178).

Decreto del Ministero della sanità 6 settembre 1994, n. 156

Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'articolo 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto. (Gazzetta ufficiale, n. 220, del 20 settembre 1994, Supplemento ordinario).

Legge 27 marzo 1992, n. 257



Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto. (Gazzetta ufficiale, n. 87 del 13 aprile 1992, Supplemento ordinario n. 64).

Decreto legislativo 15 agosto 1991, n. 277

Attuazione delle direttive 80/1107/CEE, 82/605/CEE, 83/477/CEE, 86/188/CEE e 88/642/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell'articolo 7 della legge 30 luglio 1990, n. 212. (Gazzetta ufficiale, n. 200 del 27 agosto 1991, Supplemento ordinario).

ALLEGATI



**SCHEDE DI CAMPIONAMENTO
E ANALISI**

Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 1, CS 1			
Provincia:	Cosenza		
Comune:	Diamante		
Località:			
Coordinate geografiche:	Latitudine N	39° 40' 44.502"	
	Longitudine E	15° 49' 27.058"	
Centri abitati:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 5
			
Tipologia materiale roccioso campionato:	Friabile	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Compatto
Strumentazione analitica:	<input checked="" type="checkbox"/> MOCF	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> SEM
	<input checked="" type="checkbox"/> FTIR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> TEM
Presenza amianto:	<input type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO	

Immagini del sito di campionamento



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

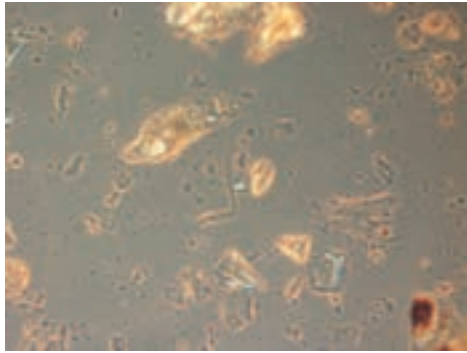
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 1, CS 2		
Provincia:	Cosenza	
Comune:	Belvedere Marittimo	
Località:	Serra Pagano	
Coordinate geografiche:	Latitudine N	39° 40' 21.6"
	Longitudine E	15° 51' 19.2"
Centri abitati: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 7	
		
Tipologia materiale roccioso campionato:	Friabile	<input checked="" type="checkbox"/> Compatto
Strumentazione analitica:	<input checked="" type="checkbox"/> MOCF	<input checked="" type="checkbox"/> SEM
	<input checked="" type="checkbox"/> FTIR	<input type="checkbox"/> TEM
Presenza amianto:	<input type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO
Altri minerali fibrosi	Antigorite in tracce	

Immagini del sito di campionamento

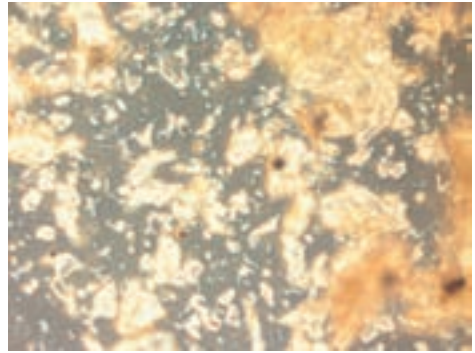


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagine MOCF in dispersione cromatica



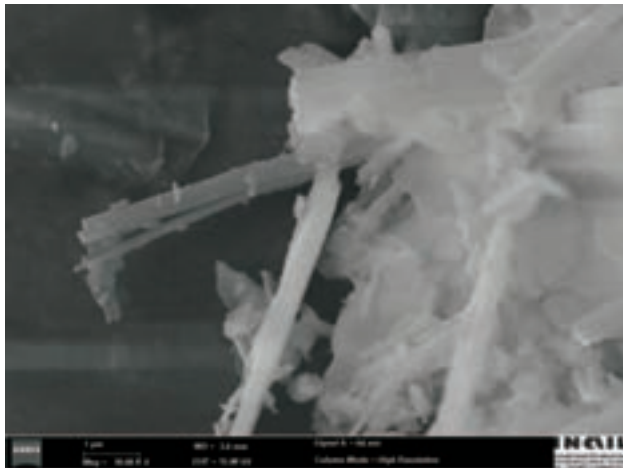
Antigorite n = 1,55



Antigorite n = 1,605



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagine SEM



Antigorite



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 1, CS 3			
Provincia:	Cosenza		
Comune:	Belvedere Marittimo		
Località:	Monte Milioso		
Coordinate geografiche:	Latitudine N	39° 38' 37.6"	
	Longitudine E	15° 51' 21.2"	
Centri abitati:	<input type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 2
			
Tipologia materiale roccioso campionato:	<input type="checkbox"/> Friabile	<input checked="" type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> Compatto
Strumentazione analitica:	<input checked="" type="checkbox"/> X	MOCF	<input type="checkbox"/> SEM
	<input checked="" type="checkbox"/> X	FTIR	<input type="checkbox"/> TEM
Presenza amianto:	<input type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO	

Immagini del sito di campionamento





(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 1, CS 4			
Provincia:	Cosenza		
Comune:	Sanginetto		
Località:			
Coordinate geografiche:	Latitudine N	39° 60' 08.81"	
	Longitudine E	15° 91' 03.65"	
Centri abitati:	<input type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 9
			
Tipologia materiale roccioso campionato:	Friabile	<input type="checkbox"/>	Compatto
		<input checked="" type="checkbox"/>	
Strumentazione analitica:	<input checked="" type="checkbox"/> MOCF	<input type="checkbox"/>	SEM
	<input checked="" type="checkbox"/> FTIR	<input type="checkbox"/>	TEM
Presenza amianto:	<input type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO	

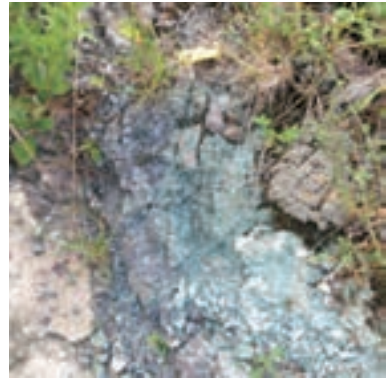
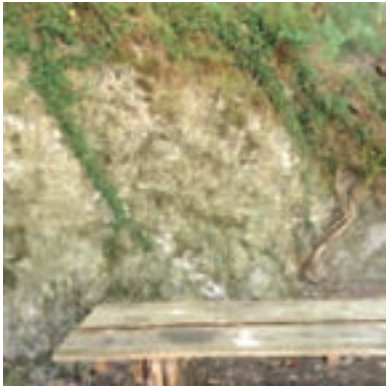
Immagini del sito di campionamento





(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 1, CS 5	
Provincia:	Cosenza
Comune:	Malvito
Località:	
Coordinate geografiche:	Latitudine N 39° 37' 12.917"
	Longitudine E 15° 1' 50.793"
Centri abitati: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 4
 	
Tipologia materiale roccioso campionato:	Friabile <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Compatto
Strumentazione analitica:	<input checked="" type="checkbox"/> MOCF <input type="checkbox"/> SEM
	<input checked="" type="checkbox"/> FTIR <input type="checkbox"/> TEM
Presenza amianto:	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO

Immagini del sito di campionamento





(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 1, CS 6		
Provincia:	Cosenza	
Comune:	Fagnano Castello	
Località:	Ex cava-Impianto inerti	
Coordinate geografiche:	Latitudine N	39° 34' 45.488"
	Longitudine E	16° 2' 44.061"
Centri abitati: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 9	
 		
Tipologia materiale roccioso campionato:	X Friabile	Compatto
Strumentazione analitica:	X MOCF	SEM
	X FTIR	TEM
Presenza amianto:	SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO

Immagini del sito di campionamento





(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 1, CS 7			
Provincia:	Cosenza		
Comune:	Acquappesa		
Località:	confine con Cetraro		
Coordinate geografiche:	Latitudine N	39° 30' 0.461"	
	Longitudine E	15° 56' 59.151"	
Centri abitati:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 10
			
Tipologia materiale roccioso campionato:	<input type="checkbox"/> Friabile	<input checked="" type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> Compatto
Strumentazione analitica:	<input checked="" type="checkbox"/> X	MOCF	<input type="checkbox"/> SEM
	<input checked="" type="checkbox"/> X	FTIR	<input type="checkbox"/> TEM
Presenza amianto:	<input type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO	

Immagini del sito di campionamento



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

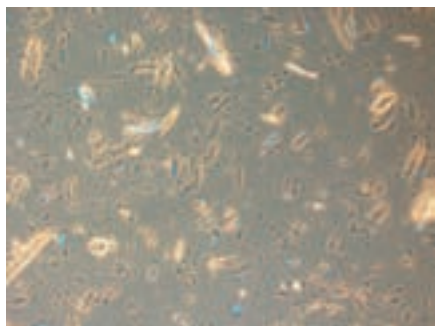
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 1, CS 8			
Provincia:	Cosenza		
Comune:	Acquappesa		
Località:	Intavolata		
Coordinate geografiche:	Latitudine N	39° 29' 12.588"	
	Longitudine E	15° 57' 31.921"	
Centri abitati:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 3
			
Tipologia materiale roccioso campionato:	Friabile	<input type="checkbox"/>	Compatto
		<input checked="" type="checkbox"/>	
Strumentazione analitica:	<input checked="" type="checkbox"/> MOCF	<input type="checkbox"/>	SEM
	<input checked="" type="checkbox"/> FTIR	<input type="checkbox"/>	TEM
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
Amianto anfibolico	Tremolite in tracce		
Amianto serpentino	Non rilevato		
Altri minerali fibrosi	Non rilevati		

Immagini del sito di campionamento

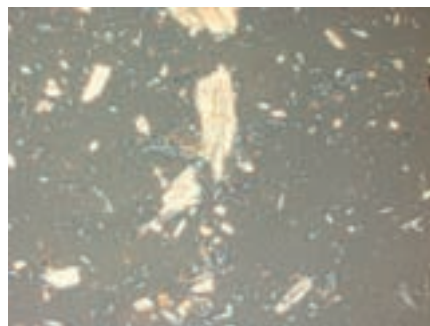


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica



Tremolite n = 1,55



Tremolite n = 1,605



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagine SEM



Tremolite

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 1, CS 9			
Provincia:	Cosenza		
Comune:	Guardia Piemontese		
Località:	C.da Rosalia		
Coordinate geografiche:	Latitudine N	39° 28' 19.712"	
	Longitudine E	15° 58' 4.59"	
Centri abitati:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 4
			
Tipologia materiale roccioso campionato:	<input type="checkbox"/> Friabile	<input checked="" type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> Compatto
Strumentazione analitica:	<input checked="" type="checkbox"/> X	MOCF	<input type="checkbox"/> SEM
	<input checked="" type="checkbox"/> X	FTIR	<input type="checkbox"/> TEM
Presenza amianto:	<input type="checkbox"/> SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO	

Immagini del sito di campionamento



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)


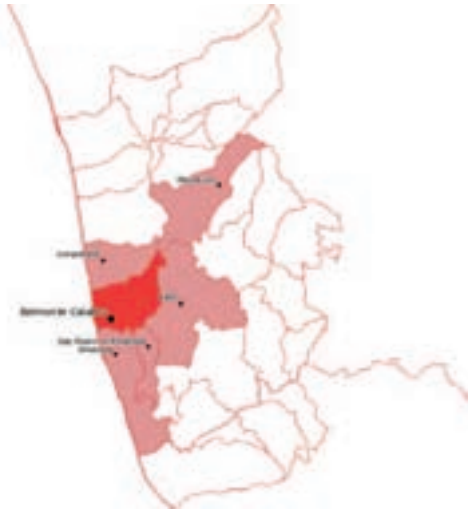
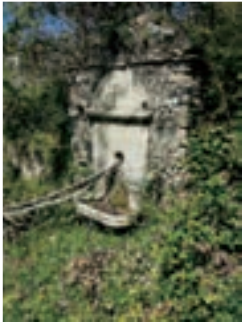
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 2, CS 10	
Provincia:	Cosenza
Comune:	Belmonte Calabro
Località:	
Coordinate geografiche:	Latitudine N 39° 9' 49.435"
	Longitudine E 16° 5' 1.715"
Centri abitati: <input checked="" type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 9
	
Tipologia materiale roccioso campionato:	Friabile <input type="checkbox"/> Compatto <input checked="" type="checkbox"/>
Strumentazione analitica:	<input checked="" type="checkbox"/> MOCF <input type="checkbox"/> SEM
	<input checked="" type="checkbox"/> FTIR <input type="checkbox"/> TEM
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> NO
Amianto anfibolico	Tremolite
Amianto serpentino	Non rilevato
Altri minerali fibrosi	Non rilevati

Immagine del sito di campionamento



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagine MOCF in dispersione cromatica



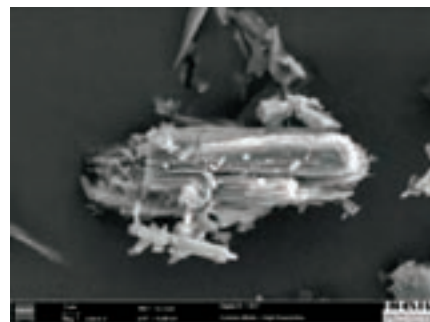
Tremolite n = 1,605

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagine SEM e EDS

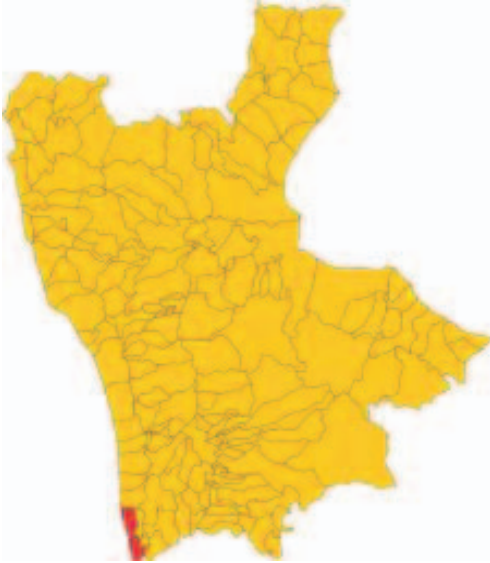



EDS Tremolite



Tremolite

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

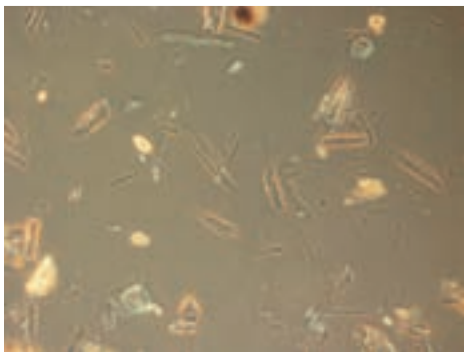
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 2, CS 11	
Provincia:	Cosenza
Comune:	Amantea
Località:	Coreca
Coordinate geografiche:	Latitudine N 39° 5' 42.744"
	Longitudine E 16° 4' 52.822"
Centri abitati: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 9
	
Tipologia materiale roccioso campionato:	X Friabile X Compatto
Strumentazione analitica:	X MOCF X SEM
	X FTIR TEM
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
Amianto anfibolico	Tremolite
Amianto serpentino	Non rilevato
Altri minerali fibrosi	Non rilevati

Immagini del sito di campionamento

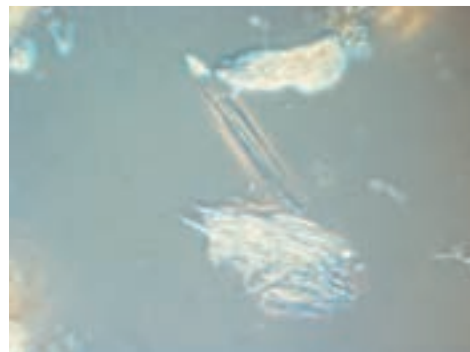


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica



Tremolite n = 1,605



Tremolite n = 1,605

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini SEM e EDS



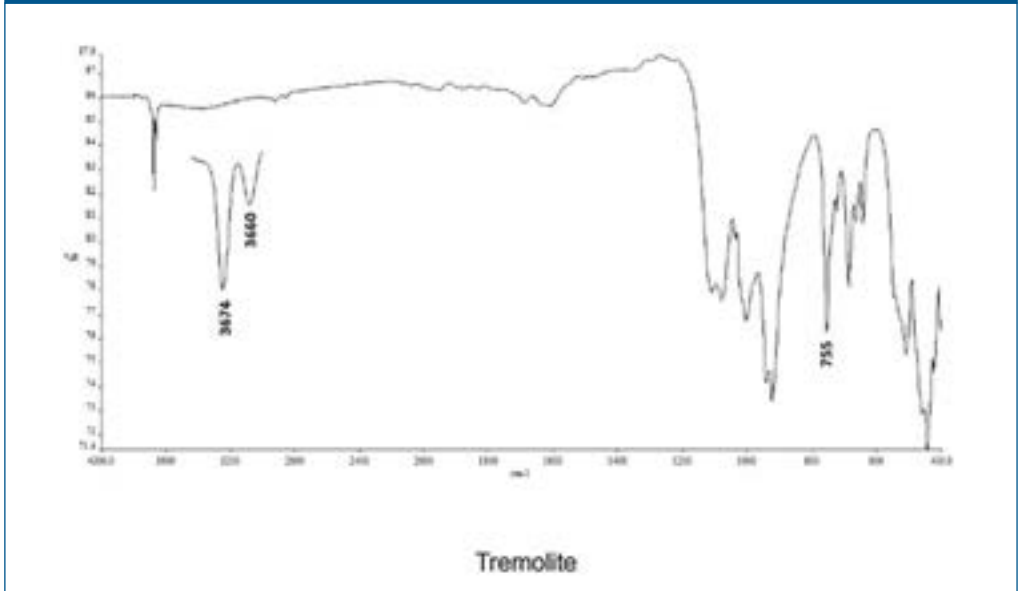
EDS Tremolite





Tremolite

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Spettro FTIR in riflettanza diffusa

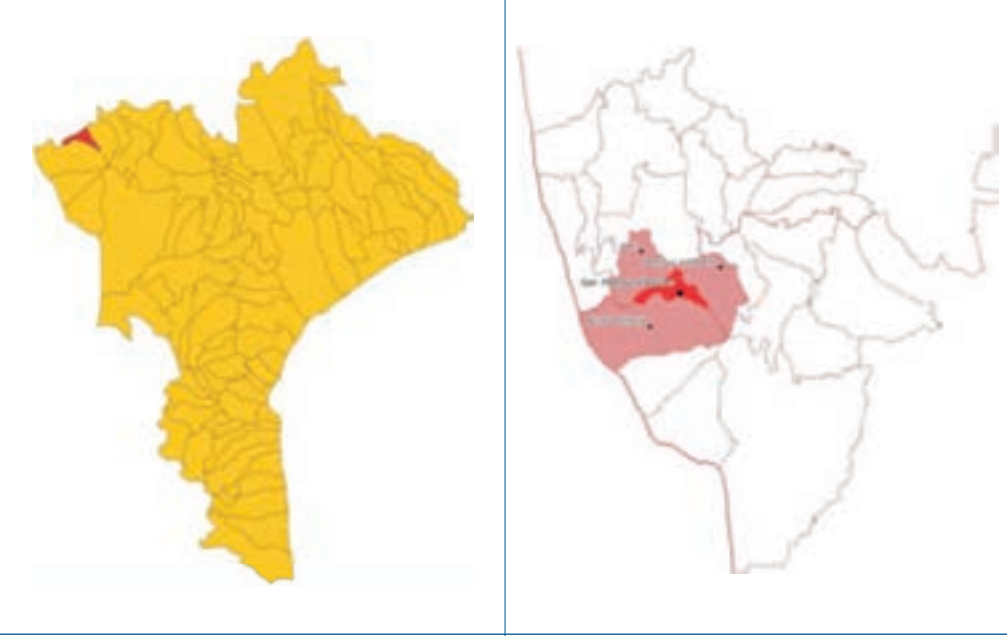


Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 3, CZ 1			
Provincia:		Catanzaro	
Comune:		Nocera Terinese	
Località:			
Coordinate geografiche:		Latitudine N	39° 2' 11.958"
		Longitudine E	16° 9' 41.513"
Centri abitati: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO		Numero di campioni: 3	
			
Tipologia materiale roccioso campionato:		Friabile	<input checked="" type="checkbox"/> Compatto
Strumentazione analitica:		<input checked="" type="checkbox"/> MOCF	SEM
		<input checked="" type="checkbox"/> FTIR	TEM
Presenza amianto:		SI	<input checked="" type="checkbox"/> NO

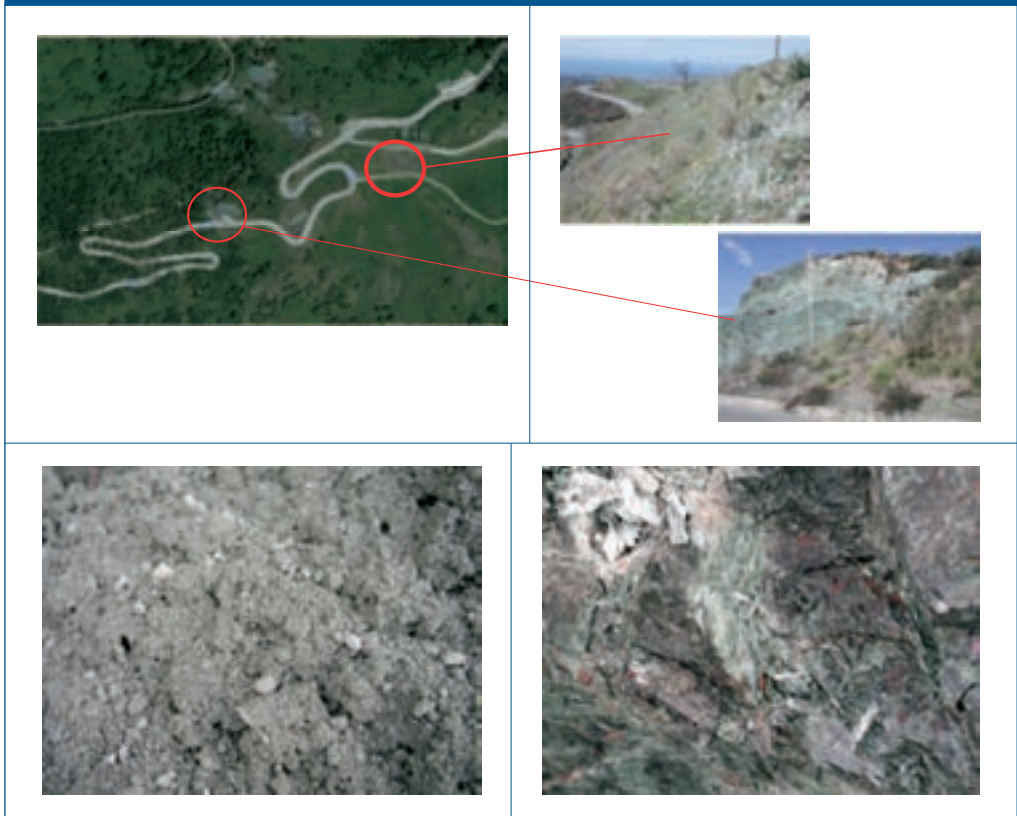
Immagini del sito di campionamento



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

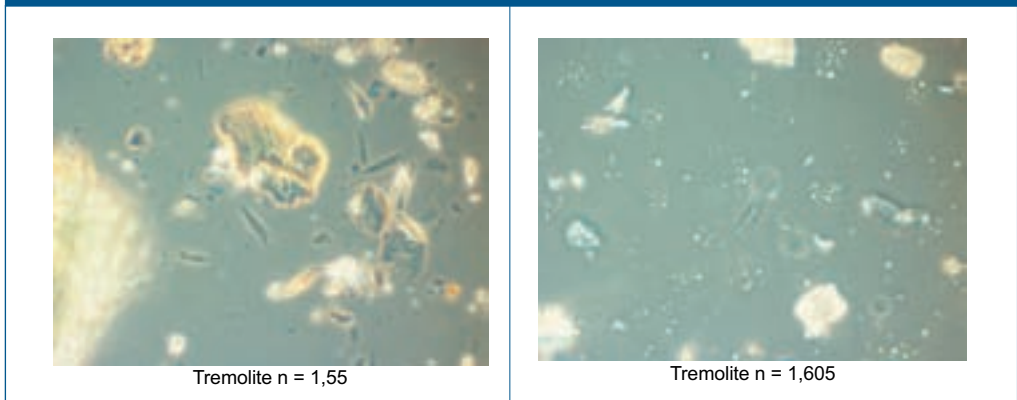
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 3, CZ 2					
Provincia:	Catanzaro				
Comune:	San Mango d'Aquino				
Località:	Contrada Vitriolo - Strada Provinciale 93 (ex cava)				
Coordinate geografiche:	Latitudine N 39° 3' 51.199"				
	Longitudine E 16° 12' 24.271"				
Centri abitati: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 20				
					
Tipologia materiale roccioso campionato:	<table border="1"> <tr> <td>X</td> <td>Friabile</td> <td>X</td> <td>Compatto</td> </tr> </table>	X	Friabile	X	Compatto
X	Friabile	X	Compatto		
Strumentazione analitica:	<table border="1"> <tr> <td>X</td> <td>MOCF</td> <td>X</td> <td>SEM</td> </tr> </table>	X	MOCF	X	SEM
	X	MOCF	X	SEM	
<table border="1"> <tr> <td>X</td> <td>FTIR</td> <td></td> <td>TEM</td> </tr> </table>	X	FTIR		TEM	
X	FTIR		TEM		
Presenza amianto:	<table border="1"> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> SI</td> <td><input type="checkbox"/> NO</td> </tr> </table>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO		
<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO				
Amianto anfibolico	Tremolite				
Amianto serpentino	Non rilevato				
Altri minerali fibrosi	Antigorite in tracce				

Immagini del sito di campionamento



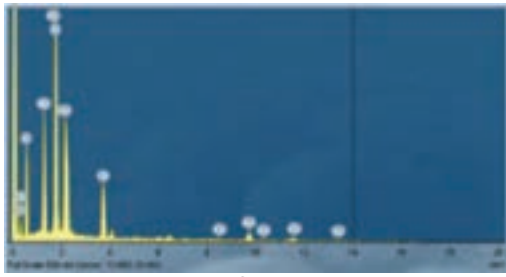
(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica

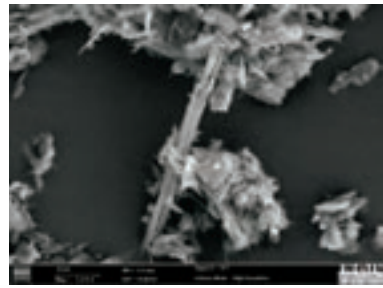


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

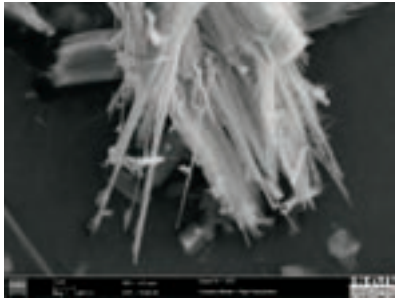
Immagini SEM e EDS



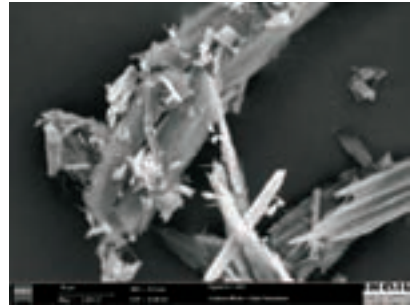
EDS Tremolite



Tremolite





Tremolite



Tremolite

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

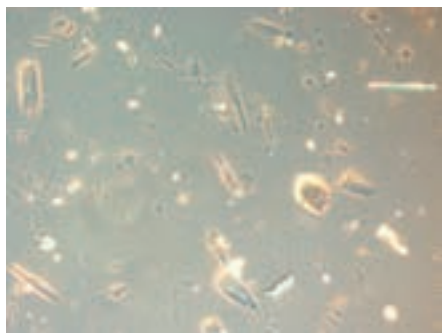
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 3, CZ 3		
Provincia:	Catanzaro	
Comune:	San Mango d'Aquino	
Località:	Cantiere autostrada A2 (galleria Giurio)	
Coordinate geografiche:	Latitudine N 39° 4' 11.294"	
	Longitudine E 16° 11' 12.588"	
Centri abitati: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 3	
		
Tipologia materiale roccioso campionato:	X Friabile	Compatto
Strumentazione analitica:	X MOCF	X SEM
	X FTIR	X TEM
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	NO
Amianto anfibolico	Tremolite	
Amianto serpentino	Non rilevato	
Altri minerali fibrosi	Antigorite in tracce	

Immagini del sito di campionamento

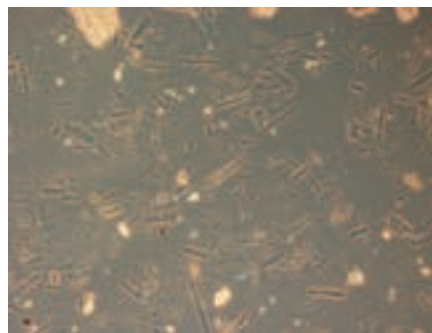


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica



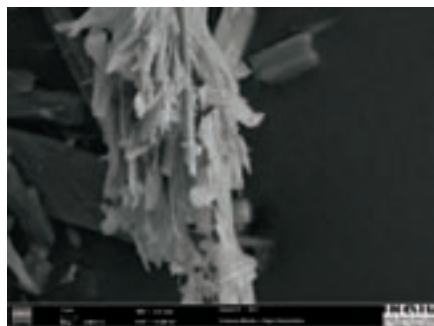
Antigorite n = 1,55



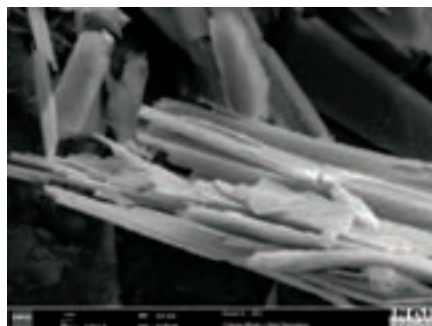
Tremolite n = 1,605

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini SEM





Tremolite

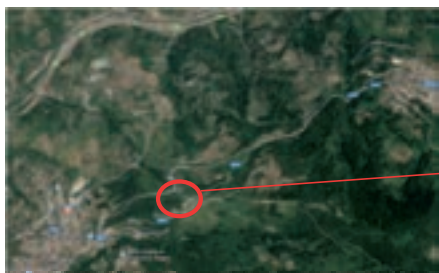


Tremolite

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

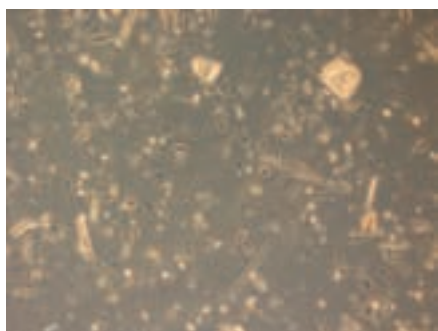
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 3, CZ 4	
Provincia:	Catanzaro
Comune:	Martirano Lombardo
Località:	SP96
Coordinate geografiche:	Latitudine N 39° 3' 57.19"
	Longitudine E 16° 12' 23.84"
Centri abitati: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 18
	
Tipologia materiale roccioso campionato:	<input checked="" type="checkbox"/> Friabile <input checked="" type="checkbox"/> Compatto
Strumentazione analitica:	<input checked="" type="checkbox"/> MOCF <input checked="" type="checkbox"/> SEM
	<input checked="" type="checkbox"/> FTIR <input type="checkbox"/> TEM
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
Amianto anfibolico	Tremolite
Amianto serpentino	Non rilevato
Altri minerali fibrosi	Non rilevati

Immagini del sito di campionamento



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica





Tremolite n = 1,55



Tremolite n = 1,605

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

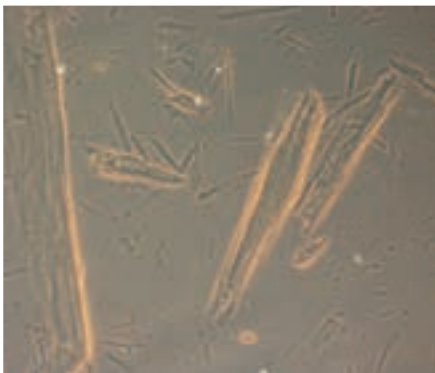
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 3, CZ 5	
Provincia:	Catanzaro
Comune:	Martirano Lombardo
Località:	SP93
Coordinate geografiche:	Latitudine N 39° 3' 55.31"
	Longitudine E 16° 12' 36.61"
Centri abitati: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 4
	
Tipologia materiale roccioso campionato:	<input checked="" type="checkbox"/> Friabile <input checked="" type="checkbox"/> Compatto
Strumentazione analitica:	<input checked="" type="checkbox"/> MOCF <input checked="" type="checkbox"/> SEM
	<input checked="" type="checkbox"/> FTIR <input checked="" type="checkbox"/> TEM
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
Amianto anfibolico	Tremolite in tracce
Amianto serpentino	Crisolito in tracce
Altri minerali fibrosi	Antigorite

Immagini del sito di campionamento

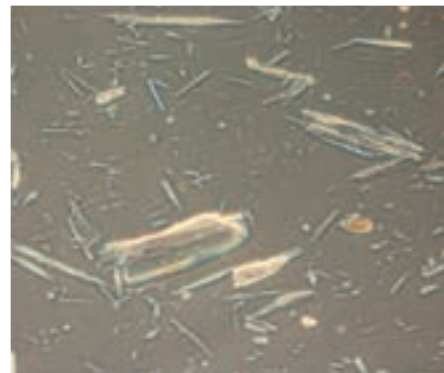


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica



Antigorite n = 1,55



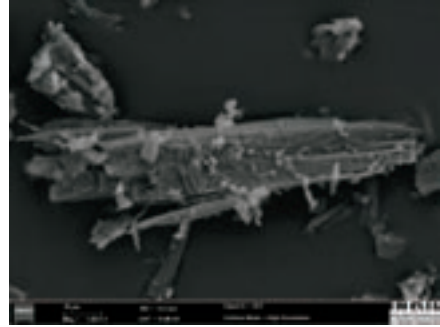
Antigorite n = 1,605

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini SEM



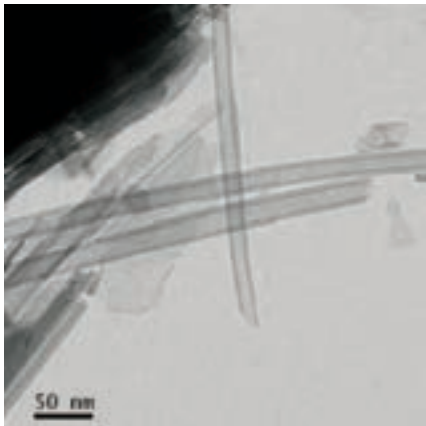
Antigorite



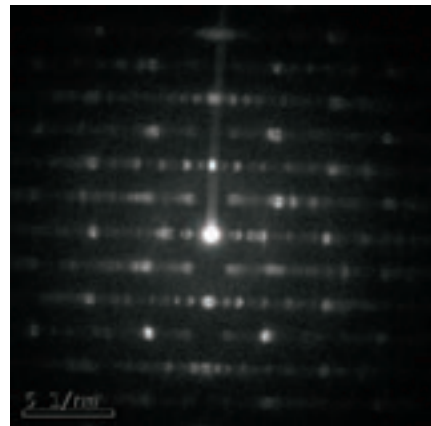
Antigorite

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini TEM e Nanodiffrazione





Crisotilo



Nanodiffrazione Crisotilo

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 3, CZ 6		
Provincia:	Catanzaro	
Comune:	Conflenti	
Località:	Contrada San Mazzeo	
Coordinate geografiche:	Latitudine N	39° 2' 39.21"
	Longitudine E	16° 16' 59.95"
Centri abitati: <input checked="" type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 18	
		
Tipologia materiale roccioso campionato:	X Friabile	Compatto
Strumentazione analitica:	X MOCF	X SEM
	X FTIR	TEM
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> NO
Amianto anfibolico	Non rilevato	
Amianto serpentino	Crisolito in tracce	
Altri minerali fibrosi	Antigorite	

Immagini del sito di campionamento

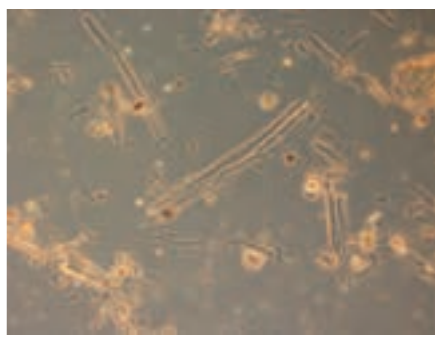


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica



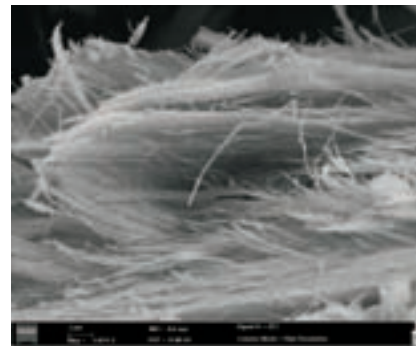
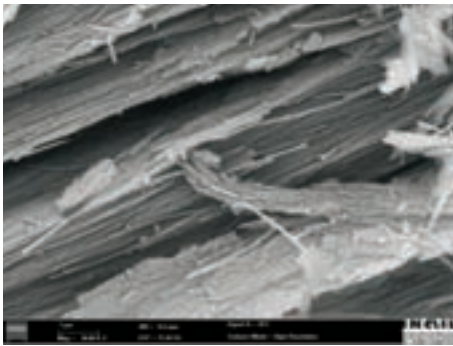
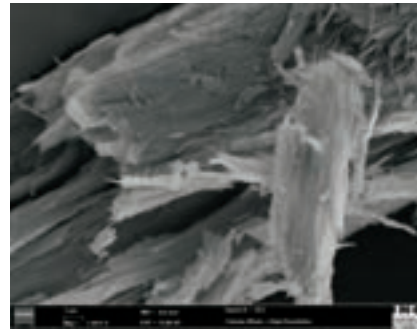
Antigorite n = 1,55



Antigorite n = 1,55

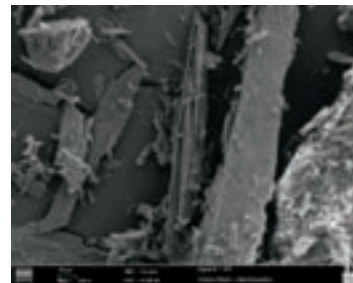
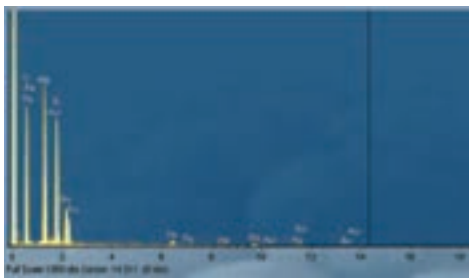
(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini SEM e EDS



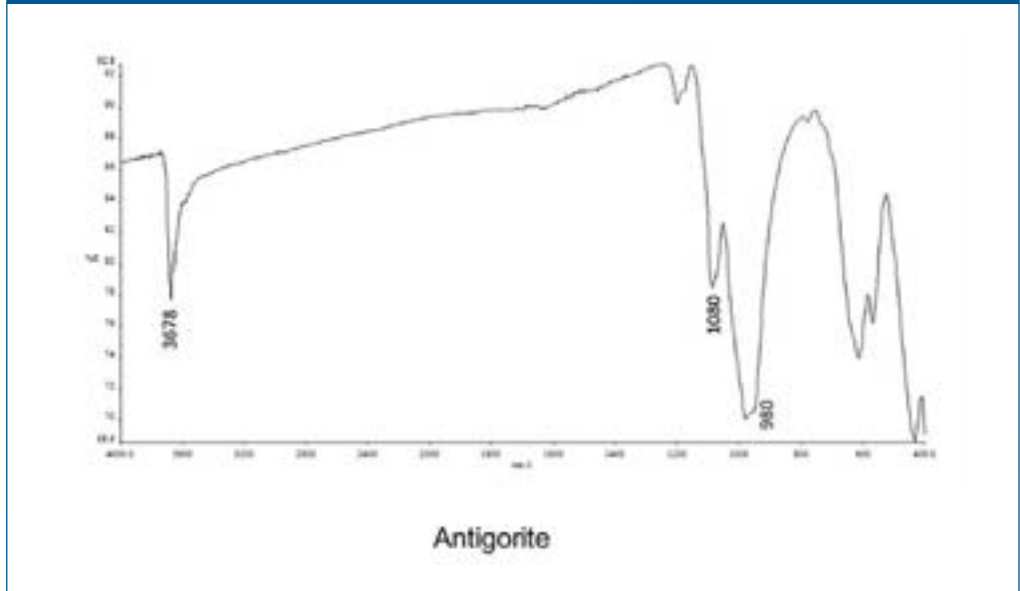
(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini SEM e EDS



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Spettro FTIR in riflettanza diffusa





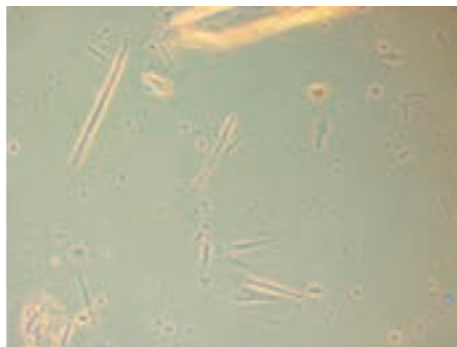
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 3, CZ 7		
Provincia:	Catanzaro	
Comune:	Conflenti	
Località:	Contrada Lisca (cava)	
Coordinate geografiche:	Latitudine N	39° 3' 44.76"
	Longitudine E	16° 17' 59.73"
Centri abitati: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 9	
		
Tipologia materiale roccioso campionato:	X Friabile <input type="checkbox"/> Compatto <input type="checkbox"/>	
Strumentazione analitica:	X MOCF <input type="checkbox"/> SEM <input type="checkbox"/>	
	X FTIR <input type="checkbox"/> TEM <input type="checkbox"/>	
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
Amianto anfibolico	Non rilevato	
Amianto serpentino	Crisolito in tracce	
Altri minerali fibrosi	Antigorite	

Immagine del sito di campionamento

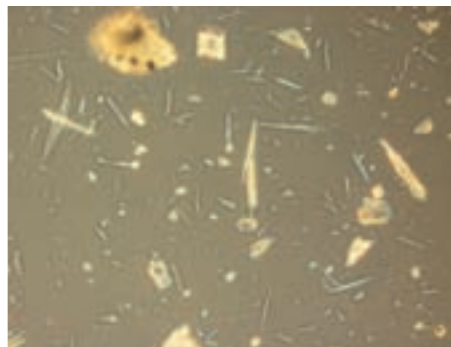


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagine MOCF in dispersione cromatica



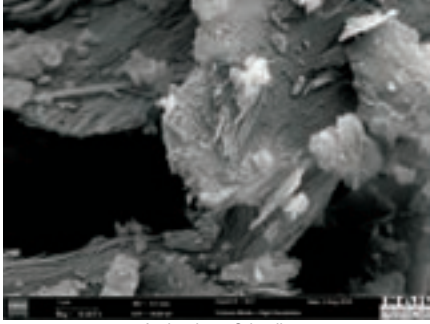
Antigorite n = 1,55



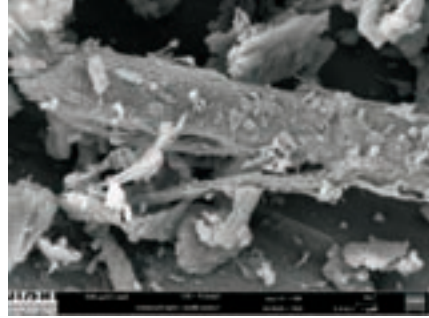
Antigorite n = 1,605

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini SEM



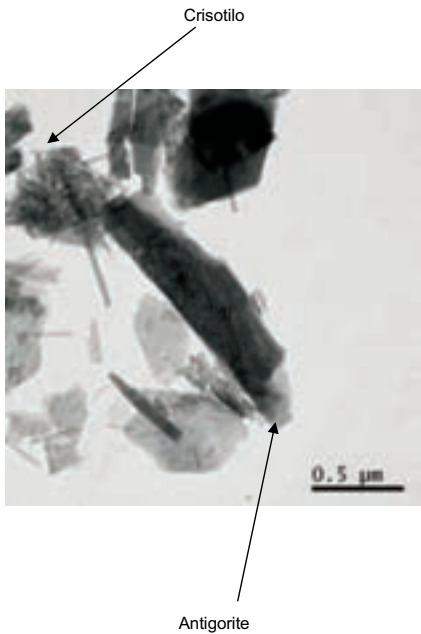
Antigorite e Crisotilo



Antigorite e Crisotilo

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

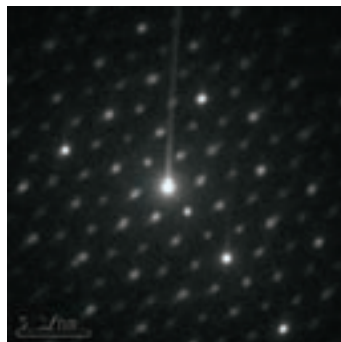
Immagini TEM e Nanodiffrazione



Antigorite





Nanodiffrazione Crisotilo



Nanodiffrazione Antigorite

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

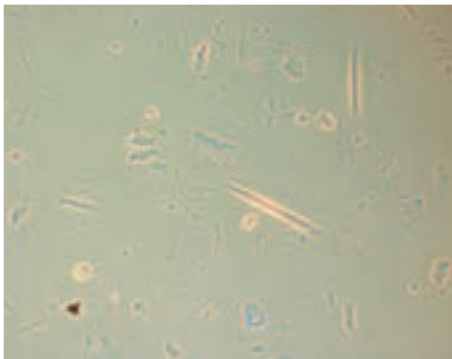
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 3, CZ 8	
Provincia:	Catanzaro
Comune:	Conflenti
Località:	Contrada Serra d'Acino
Coordinate geografiche:	Latitudine N 39° 3' 16.73"
	Longitudine E 16° 18' 25.70"
Centri abitati: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 10
	
Tipologia materiale roccioso campionato:	X Friabile <input type="checkbox"/> Compatto <input type="checkbox"/>
Strumentazione analitica:	X MOCF <input type="checkbox"/> SEM <input type="checkbox"/>
	X FTIR <input type="checkbox"/> TEM <input type="checkbox"/>
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
Amianto anfibolico	Non rilevato
Amianto serpentino	Crisolito in tracce
Altri minerali fibrosi	Antigorite

Immagini del sito di campionamento

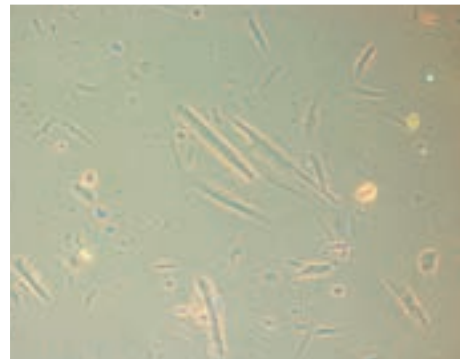


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica



Antigorite n = 1,55



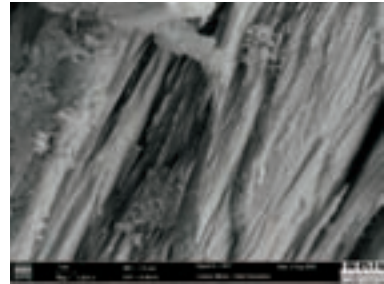
Antigorite n = 1,55

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini SEM e EDS



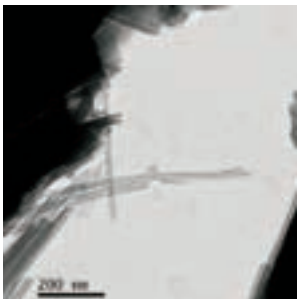
EDS Antigorite/Crisotilo



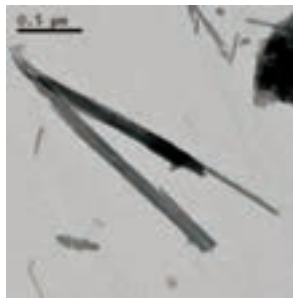
Antigorite e Crisotilo

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

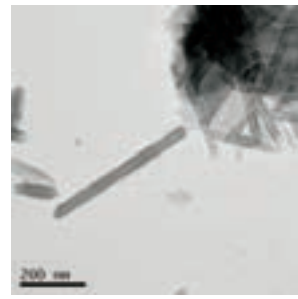
Immagini TEM



Crisotilo

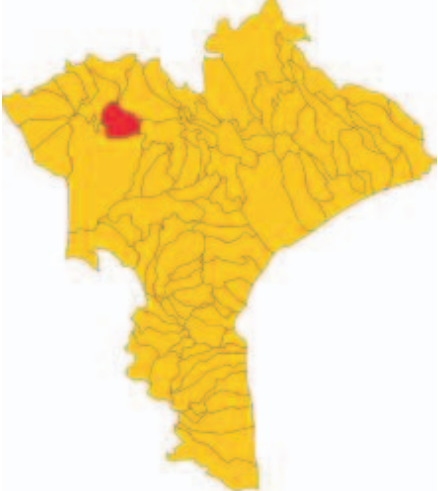



Crisotilo



Crisotilo

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 3, CZ 9	
Provincia:	Catanzaro
Comune:	Platania
Località:	Loc. Campo Chiesa (ex cava)
Coordinate geografiche:	Latitudine N 39° 2' 8.629"
	Longitudine E 16° 18' 45.308"
Centri abitati: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 22
	
Tipologia materiale roccioso campionato:	X Friabile <input type="checkbox"/> Compatto <input type="checkbox"/>
Strumentazione analitica:	X MOCF <input type="checkbox"/> SEM <input type="checkbox"/>
	X FTIR <input type="checkbox"/> TEM <input type="checkbox"/>
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
Amianto anfibolico	Tremolite
Amianto serpentino	Crisolito in tracce
Altri minerali fibrosi	Antigorite

Immagini del sito di campionamento



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica



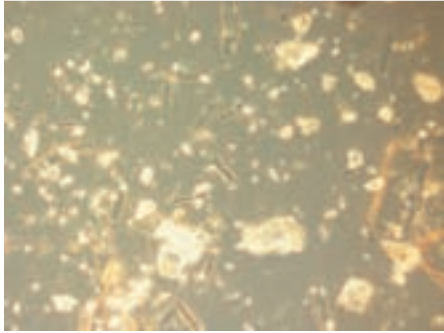
Tremolite n = 1,55



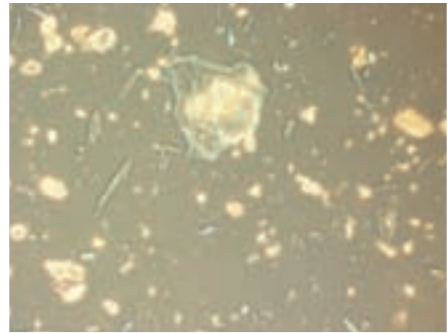
Tremolite n = 1,605

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica



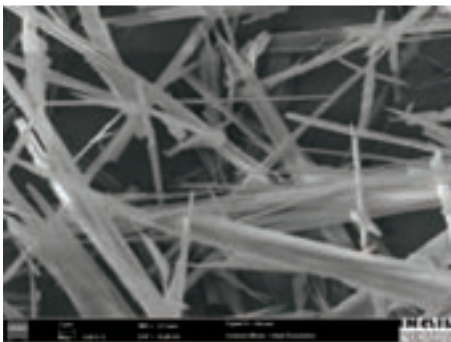
Antigorite n = 1,55



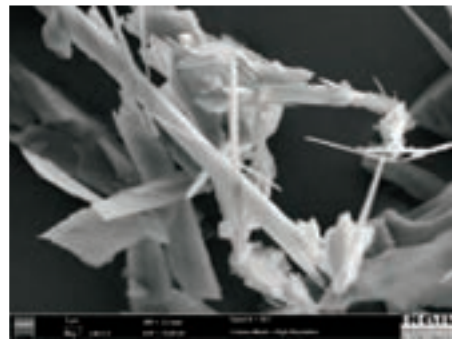
Antigorite n = 1,605

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini SEM



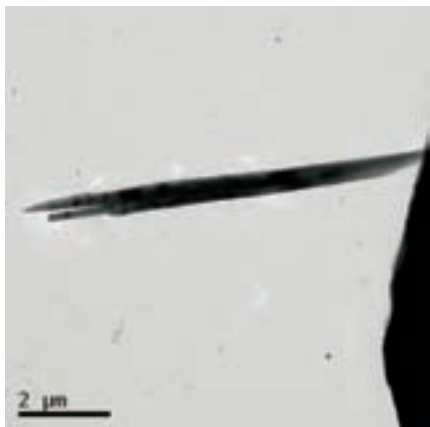
Tremolite



Tremolite

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

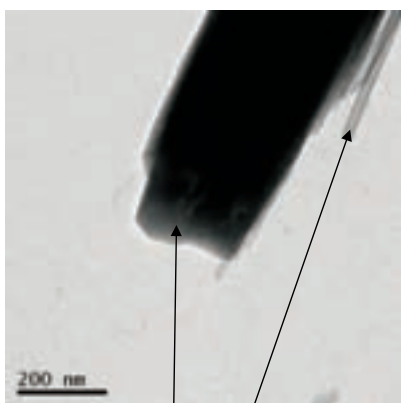
Immagini TEM e Nanodiffrazione



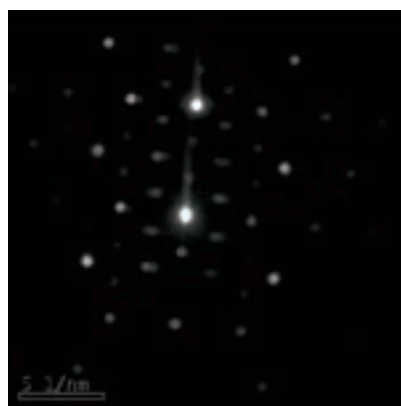
Tremolite



Nanodiffrazione Tremolite





Antigorite e Crisotilo



Nanodiffrazione Antigorite

(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

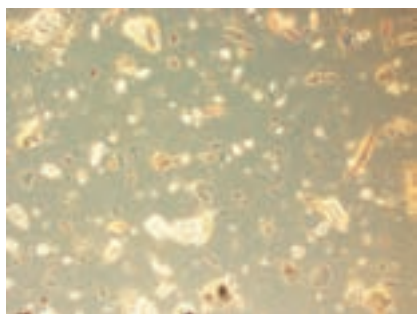
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 4, CZ 10	
Provincia:	Catanzaro
Comune:	Gimigliano
Località:	Contrada Patia - Ponte fiume Corace (Via Tiriolo)
Coordinate geografiche:	Latitudine N 38° 58' 28.509"
	Longitudine E 16° 31' 22.808"
Centri abitati: <input checked="" type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 30
	
Tipologia materiale roccioso campionato:	X Friabile X Compatto
Strumentazione analitica:	X MOCF X SEM
	X FTIR X TEM
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> NO
Amianto anfibolico	Tremolite
Amianto serpentino	Non rilevato
Altri minerali fibrosi	Antigorite

Immagini del sito di campionamento

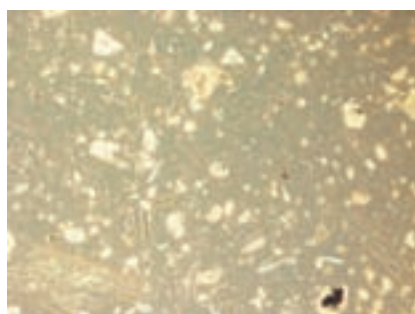


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica



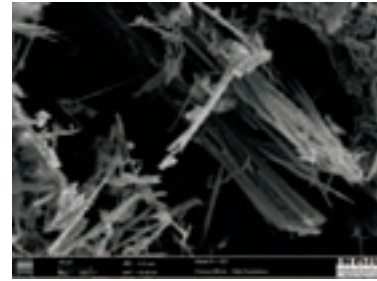
Antigorite n = 1,55



Tremolite n = 1,605

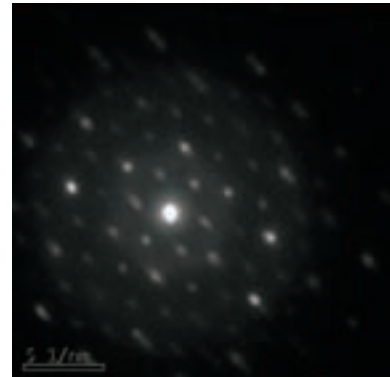
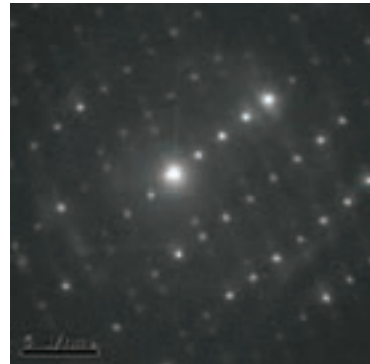
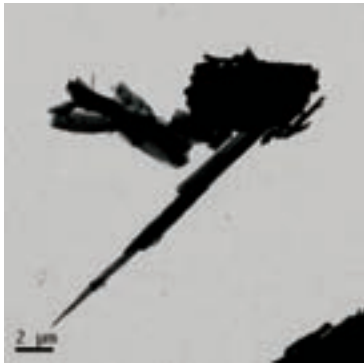
(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini SEM e EDS





(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini TEM e Nanodiffrazione



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

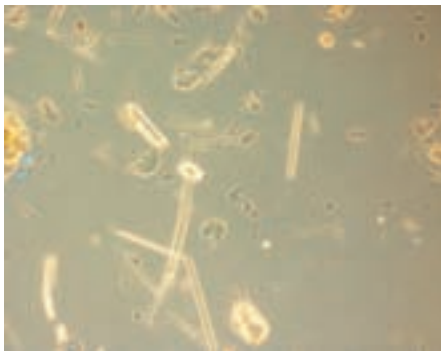
Scheda descrizione sito e risultati analitici - Area 4, CZ 11	
Provincia:	Catanzaro
Comune:	Gimigliano
Località:	Fiume Melito - Località Cimitero
Coordinate geografiche:	Latitudine N 38° 58' 9.48"
	Longitudine E 16° 32' 30.24"
Centri abitati: <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Numero di campioni: 12
	
Tipologia materiale roccioso campionato:	X Friabile X Compatto
Strumentazione analitica:	X MOCF X SEM
	X FTIR X TEM
Presenza amianto:	<input checked="" type="checkbox"/> SI NO
Amianto anfibolico	Tremolite
Amianto serpentino	Non rilevato
Altri minerali fibrosi	Antigorite in tracce

Immagini del sito di campionamento

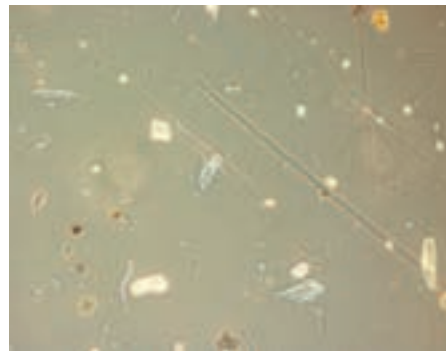


(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini MOCF in dispersione cromatica



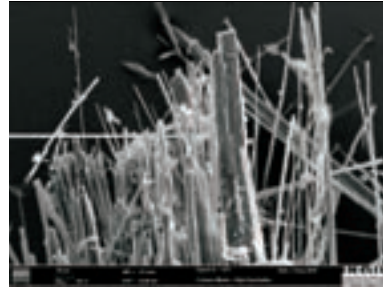
Tremolite n = 1,55



Tremolite n = 1,605

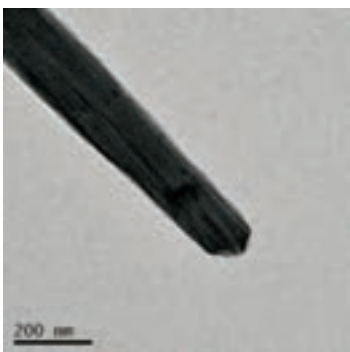
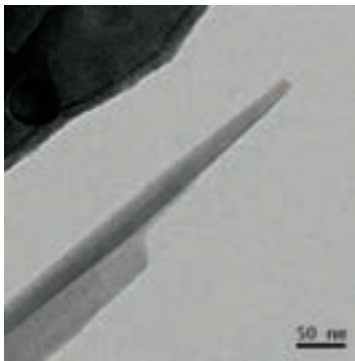
(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini SEM e EDS



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Immagini TEM e Nanodiffrazione



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

