

## Valutazione della pericolosità da rilascio di amianto da materiali naturali: un esempio dal Parco Nazionale del Pollino (Italia meridionale)

### *Assessment of hazard by asbestos release from natural materials: the case of Mt. Pollino National Park (southern Italy)*

BENEDUCE P. (\*), DI LEO P. (\*\*), FILIZZOLA C. (\*\*),  
GIANO S.I. (\*), SCHIATTARELLA M. (\*)

**RIASSUNTO** - Nell'ambito del piano regionale di protezione dell'ambiente dai pericoli derivanti dalla presenza sul territorio lucano di materiali contenenti *amianto*, sono stati recentemente conclusi i lavori relativi ad un accurato studio basato su rilievi di terreno e redazione di cartografia geologica e geomorfologica, campionature ed analisi di rocce, polveri e aerodispersi, analisi geomorfica quantitativa e telerilevamento. Vengono qui presentati i risultati salienti dell'indagine geo-ambientale.

Le successioni ofiolitiche al confine calabro-lucano appartenenti alle Unità Liguridi sono in parte caratterizzate da sezioni di basamento oceanico (gabbri e basalti, metabasiti, etc.) e masse serpentinite in cui sono contenuti minerali del cosiddetto *gruppo dell'amianto*. L'area di affioramento si estende a nord della morfologia carbonatica della Catena del Pollino, a formare una fascia ampia in media 10 km e lunga circa 40 km parallela alla dorsale montuosa.

All'interno di questa fascia dominano le unità di copertura, in buona parte affette da metamorfismo di basso grado, ma anche gli affioramenti dei corpi serpentinitici risultano arealmente e volumetricamente significativi. Le rocce associate alla sequenza ofiolitica sono rappresentate da peridotiti serpentinite e metabasiti verdine o azzurrine in affioramenti di dimensioni variabili da qualche metro ad una decina di metri. Le prime contengono olivina, ortopirosseno, serpentino, lizardite,

spinello, granulazioni di magnetite e rara clorite in vene, le seconde - caratterizzate da una tessitura cataclastico-milonitica che conserva parte dell'originaria struttura magmatica - presentano un assemblaggio mineralogico costituito da plagioclasti albitizzati e sericitizzati, epidoto, clorite, titanite, a luoghi glaucofane e lawsonite.

L'analisi mineralogica mediante diffrattometria di raggi X di alcuni campioni di metabasiti e di serpentinita ha permesso di accertare la presenza di tremolite e actinolite, oltre a pumpellyite, phrenite, clorite e quarzo. Anche l'analisi quantitativa al SEM degli aerodispersi, campionati nei dintorni degli abitati di San Severino Lucano e Viggianello, rivela una concentrazione di fibre di amianto superiore ai valori normativi.

Il calcolo di alcuni parametri geomorfici (area del bacino A, densità di drenaggio D, numero di anomalia gerarchica Ga, indice di anomalia gerarchica  $\Delta a$ , deflusso torbido unitario Tu) e l'indicizzazione degli affioramenti delle successioni ofiolitiche ricadenti nei bacini idrografici del Torrente Frido, Fiume Sinni, Fiume Mercure, Torrente Torno, Torrente Rubbio, Fiume Sarmento e Fiume Noce hanno permesso di stabilire una relazione tra il deflusso superficiale e la diffusione del materiale proveniente dallo smantellamento erosivo delle rocce contenenti amianto, sia lungo le valli fluviali che in zone distanti dai luoghi sorgente. L'utilizzo di tecniche di *remote sensing* (basato su dati da piattaforma Mivis) ha

(\*) Dipartimento di Scienze Geologiche, Università della Basilicata, Potenza, schiattarella@unibas.it

(\*\*) Istituto di Metodologie di Analisi Ambientale, C.N.R., Tito Scalo, Potenza

confermato, grazie al riconoscimento della firma spettrale delle serpentiniti, la presenza in misura significativa di tali materiali lungo gli alvei fluviali, oltre a consentire l'individuazione di masse serpentiniche, quando depriate della copertura pedologica e del manto vegetazionale, e la possibilità di un monitoraggio in continuo.

In conclusione, la distribuzione delle litologie a maggior pericolosità di rilascio di fibre di amianto a ridosso della Catena del Pollino e la dispersione dei materiali detritici lungo le aste fluviali e in atmosfera su un'area ancora più vasta suggerisce la necessità dell'intensificazione del monitoraggio geo-ambientale nell'area del confine calabro-lucano, anche a causa del massiccio utilizzo antropico di inerti provenienti da affioramenti di serpentiniti.

**PAROLE CHIAVE:** geologia ambientale, analisi geomorfica quantitativa, ofioliti, amianto, Parco Nazionale del Pollino (Italia meridionale).

**ABSTRACT** - A multidisciplinary study on asbestos release by ophiolites outcropping in the area of the National Park of Mt. Pollino at the Calabria-Lucania border, southern Italy, has been carried out in the framework of the Regional Plan of Environmental Protection by Asbestos Pollution of the Basilicata region.

By using geological and geomorphological mapping, quantitative geomorphic analysis, rock and air sampling followed by petrological and mineralogical analyses, the geo-environmental frame of the study area has been defined in a complete and satisfying way. In addition, the use of remote sensing techniques based on the Mivis platform allowed to recognize asbestos-bearing detrital materials in the polygenic alluvial deposits along the valley floors of braided streams of the southern Basilicata, and to identify soil- and vegetation-depleted serpentinite bodies, which can be continuously monitored by such a method, on the basis of their spectral signature.

The ophiolitic suites outcropping at the Calabria-Lucania border (Liguride units) are prevalently constituted of cover rocks affected by very low grade metamorphism, characterized by the presence of crystalline-metamorphic bodies, as metabasite and serpentinite, bearing asbestos minerals. In southern Lucania, Liguride units (Frido Unit and Nord-calabrese Unit) crop out from Latronico and Castelluccio Inferiore to the west to San Costantino Albanese and Terranova del Pollino at the eastern boundary, forming a wide belt (about 400 km<sup>2</sup>) parallel to the carbonate morphostructure of Mt. Pollino. Serpentinite mainly contains olivine, orthopyroxene, spinel, magnetite grains, and rare chlorite in veins. Metabasites, characterized by a cataclastic-mylonitic texture partially showing the original magmatic structure, mainly contain plagioclase (albite), epidote, chlorite, titanite, rare glaucophane, and lawsonite.

Asbestos minerals (i.e. tremolite-actinolite and serpentine), together with relevant amounts of pumpellyite, phrenite, chlorite, and quartz, were recognized in the metabasite and serpentinite samples by means of X-ray powder diffraction. Asbestos fibres were also recognized in the aerosols sampled around the San Severino Lucano and Viggianello villages by SEM (Scanning Electron Microscope) analysis. Their concentration in the aerosols was higher than that suggested by the current legislation. Further, the quantitative geomorphic analysis showed that the dispersion of serpentinite-bearing

detrital deposits by streams represents a significant extension of the hazard. On this basis, a multi-parametric monitoring *in continuum* of the whole area is strongly recommended.

**KEYWORDS:** environmental geology, quantitative geomorphic analysis, ophiolites, asbestos, Mt. Pollino National Park, southern Italy.

## 1. - INTRODUZIONE

L'incremento delle attività antropiche in tempi storici, e nell'ultimo secolo in particolare, ha determinato un'accelerazione dei processi di modellamento del paesaggio fisico tale da attribuire all'uomo il ruolo di agente geomorfico al pari dei processi naturali (SCHIATTARELLA *et alii*, 1998; BERGLUND, 2003), con un'intensità che può raggiungere, almeno in aree ad elevata urbanizzazione, una magnitudo da due a quattro volte superiore rispetto a questi (RIVAS *et alii*, 2006). Nelle aree a basso grado di frequentazione antropica, tuttavia, la dinamica esogena è ancora regolata dall'intensità dei processi geomorfologici: simili condizioni persistono nell'area oggetto di questo studio, ubicata nel Parco Nazionale del Pollino al confine calabro-lucano (fig. 1), dove l'impatto antropico, legato soprattutto alle attività agricole e di estrazione di inerti, si risente solo in prossimità dei piccoli centri abitati, in modo da consentire la conservazione di una naturalità diffusa nel resto del paesaggio. La significativa presenza in queste aree di un substrato geologico costituito da successioni ofiolitiche e le modalità con cui si generano e si sviluppano i processi erosivi che hanno mobilitato ingenti volumi di rocce verdi hanno favorito la diffusione di minerali del gruppo dell'amianto in un'areale molto più esteso rispetto alle primitive aree di affioramento, così da determinare una distribuzione più ampia di sedimenti che contengono rocce amiantifere e un conseguente possibile aumento del grado di pericolosità geologica dell'intera area. Le successioni di fondo oceanico dell'Appennino meridionale sono concentrate in Cilento (Campania), dove affiorano unicamente coperture sedimentarie polideformate (MAURO & SCHIATTARELLA, 1988) con sporadici corpi magmatici volumetricamente trascurabili, ed al confine calabro-lucano, dove sono invece ben esposte anche sezioni di basamento oceanico (gabbri e basalti, metabasiti, etc.) e masse serpentinnizzate (MONACO *et alii*, 1995).

In Basilicata meridionale gli affioramenti delle unità ofiolitiche sono molto vasti e co-

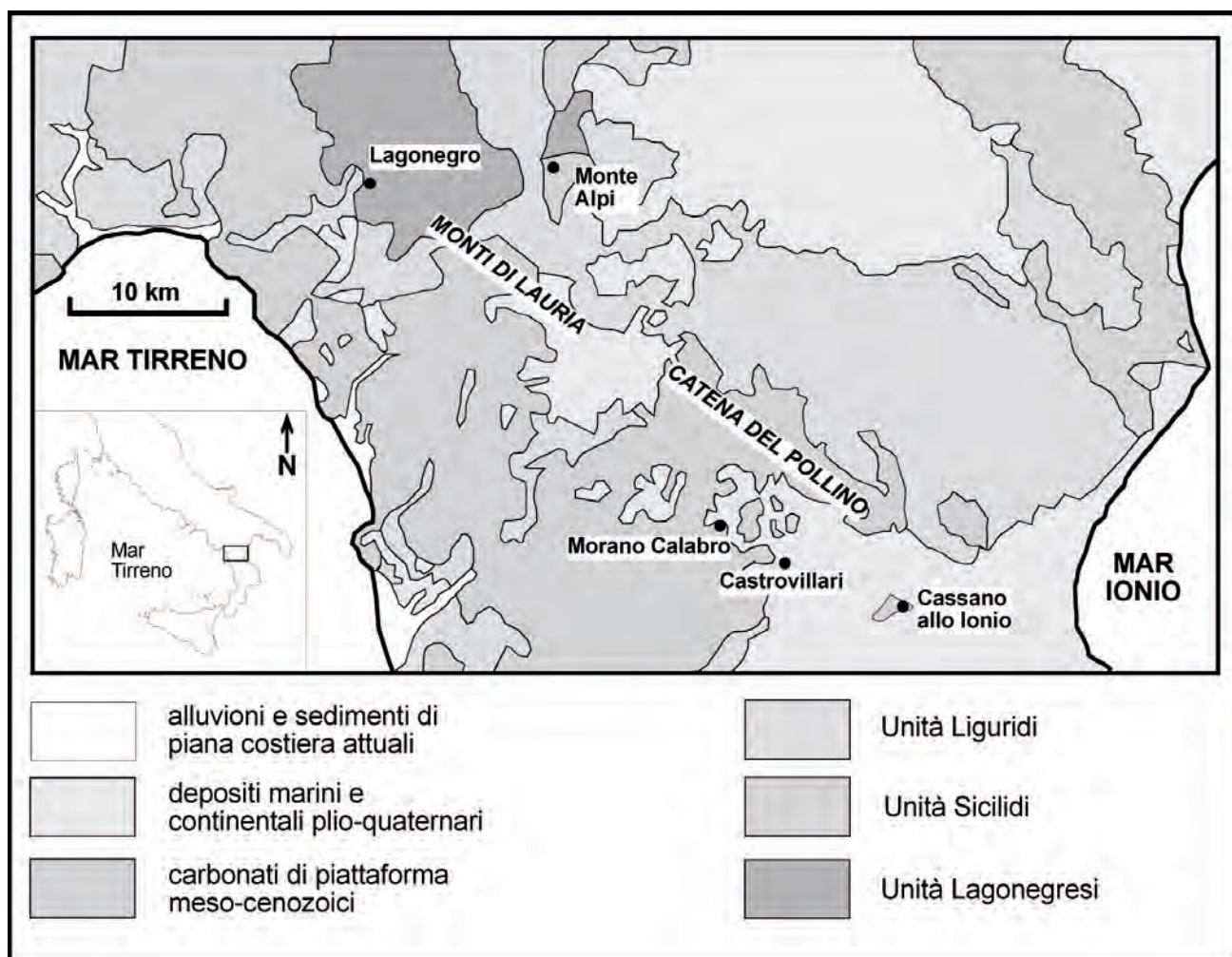


Fig. 1 – Schema geologico del confine calabro-lucano.  
– Geological scheme of the Calabria-Lucania Apennines.

stituiscono gran parte del territorio submontano-collinare che si estende a settentrione della Catena del Pollino, interessando una superficie di circa 400 km<sup>2</sup> parallela alla dorsale montuosa carbonatica (SCHIATTARELLA, 1996; 1998). All'interno di questa zona predominano unità di copertura (Unità del Frido e Unità Silentina, in parziale sinonimia con l'Unità Nord-calabrese di BONARDI *et alii*, 1988; cfr. anche KNOTT, 1987), in buona parte affette da metamorfismo di basso grado (DI LEO *et alii*, 2005), ma gli affioramenti dei corpi serpentinitici sono ampiamente distribuiti in tutta l'area di studio. Questi ultimi, insieme alle metabasiti affioranti nelle stesse aree (LANZAFAME *et alii*, 1979; SPADEA, 1994), costituiscono l'oggetto di questa nota per la presenza in essi di minerali del c.d. *gruppo dell'amianto*.

Le campionature di rocce e aerodispersi provenienti da siti-campione con caratteristiche geomorfologico-ambientali differenti (dorsale

de “La Fagosa”, abitato di San Severino Lucano, località Pietrapica e Villaneto-Mancini, frazione di Torno del comune di Viggianello) e le conseguenti analisi di laboratorio hanno permesso di chiarire la natura degli affioramenti che contengono minerali dell'amianto e la quantità di fibre di amianto disperse in atmosfera, mentre l'elaborazione multispettrale con tecniche di *remote sensing* aveva già in precedenza consentito di identificare la distribuzione areale dei corpi serpentinitici in tutta l'area di studio. Infine, la potenziale redistribuzione spaziale dei detriti di rocce ofiolitiche ad opera dei processi erosivi lineari ed areali è stata determinata con l'ausilio dell'analisi morfometrica dei reticoli idrografici. In tal modo è stato possibile stabilire il grado di pericolosità da rilascio naturale di fibre di amianto sia sulle aree urbanizzate che nell'intero comprensorio del bacino idrografico del Fiume Sinni al confine calabro-lucano.



## 2. - GEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO

Il confine calabro-lucano rappresenta in senso geologico la fascia di raccordo tra le unità tettoniche della catena sud-appenninica e le coltri cristallino-metamorfiche e sedimentarie dell'Arco calabro-peloritano (fig.1). Nel settore più meridionale della Basilicata, i carbonati di piattaforma mesozoico-terziari sono rappresentati dai contrafforti della Catena del Pollino e dei Monti di Lauria (SCHIATTARELLA, 1996). La successione calcareo-dolomitica di età altotriasico-cretacica costituisce l'ossatura geologica della imponente morfostruttura positiva, interrotta dalla depressione quaternaria del bacino del Mercure (SCHIATTARELLA *et alii*, 1994). Localmente affiorano, in contatto trasgressivo concordante sui calcari altocretacici, i depositi miocenici calcarenitici della Formazione di Cerchiara, che passano verso l'alto ai sedimenti terrigeni della Formazione del Bifurto. Questi segnano l'annegamento della piattaforma carbonatica e i prodromi dell'arrivo della sedimentazione silicoclastica sinorogena (PESCATORE *et alii*, 1999, e bibliografia contenuta).

Il fronte settentrionale dei rilievi del Pollino e dei Monti di Lauria-Castelluccio si sviluppa lungo il sovrascorrimento dei carbonati mesozoico-terziari sulle antistanti successioni pelagiche delle unità Liguridi e Lagonegresi. In particolare, il paesaggio a morfologia dolce distribuito lungo il settore a nord della dorsale carbonatica del Pollino è formato da depositi appartenenti ad unità terrigene ofiolitifere di pertinenza interna ("unità interne" o Unità Liguridi *Auctt.*), in origine tettonicamente sovrapposte alle unità di piattaforma carbonatica e in tal senso costituenti i termini geometricamente più alti della catena sud-appenninica. In quest'area, tuttavia, contatti tettonici "fuori sequenza" di età pliocenica hanno portato i carbonati mesozoici ad accavallarsi verso nord sui terreni liguridi (SCHIATTARELLA, 1996). Lungo il margine meridionale della Catena del Pollino è invece presente un'estesa fascia di deformazione fragile caratterizzata da piani a basso e alto angolo e cinematica polifasica (SCHIATTARELLA, 1996; 1998 e bibliografia contenuta), che mettono a contatto unità tettoniche appartenenti a diversi domini paleogeografici.

Le successioni di tipo liguride che affiorano in Lucania meridionale appartengono a due distinte unità tettoniche, rappresentate dall'Unità del Frido in posizione geometrica superiore e dall'Unità Silentina affiorante in finestra tettonica o, lungo il Fiume Sinni, nel letto dei sovrascorrimenti (fig. 2). L'Unità del Frido, di età

cretacico-oligocenica, poggia di norma in contatto tettonico anche sulle unità carbonatiche meso-cenozoiche ed è costituita da metamorfiti polideformate contenenti blocchi di dimensione variabile di rocce ofiolitiche e di rocce di crosta continentale. È divisa nella subunità ad argilloscisti, formata da argilloscisti grigio-nerastre con intercalazioni di metareniti, metasiltiti, quarziti e rari livelli di metacalcari e nella subunità a calcescisti, costituita da calcescisti grigi, cui si intercalano rari livelli di marmi, quarziti e argilloscisti, tettonicamente sovrapposta alla prima (MONACO *et alii*, 1995).

Le rocce delle successioni ofiolitiche associate all'Unità del Frido sono rappresentate da peridotiti serpentinite e da metabasiti (VEZZANI, 1968, 1970). Le serpentiniti cataclastiche nero-verdastre (fig. 3) si presentano in corpi lentiformi che marciano sistematicamente il contatto tra le due subunità (DI LEO *et alii*, 2005), in genere accompagnati da masse di metabasiti. Sono presenti inoltre rocce cristalline continentali tra cui granofels, gneiss granatiferi, gneiss biotitici e subordinatamente anfibolitici, scisti anfibolici, gneiss chiari a biotite talora attraversati da dicchi di metadiabasi e pegmatiti. A luoghi, blocchi metrici boudinati di rocce leucocratiche foliate sono pure presenti al contatto tra le due subunità, anche se in genere le si trovano geometricamente al *top* della pila tettonica.

L'Unità Silentina è costituita nella sua porzione basale da un'alternanza di quarzareniti ed argilliti grigio scure cui seguono *black shales* con intercalazioni di quarzareniti e subordinatamente litareniti e calciliti (Formazione delle Crete Nere). Verso l'alto si passa ad una alternanza di calcareniti e calciliti grigiastre con liste di selce nera e sottili interstrati pelitici che nella parte sommitale presentano intercalazioni silicoclastiche arenitiche e microconglomeratiche (Formazione del Saraceno). La successione si chiude verso l'alto con la Formazione di Albidona, costituita da un'alternanza di arenarie grigio avana, marne e marne argillose di colore grigio e biancastro che nella parte basale presentano megastrati di marne calcaree biancastre e livelli canalizzati di conglomerati.

Sulle unità precedentemente descritte poggiano in contatto stratigrafico discordante i depositi fluvio-lacustri legati al ciclo deposizionale mediopleistocenico del bacino del Mercure (SCHIATTARELLA *et alii*, 1994) e le successioni pelitico-grossolane plio-pleistoceniche di ambiente marino, transizionale e/o continentale del bacino di Sant'Arcangelo (GIANNANDREA & LOIACONO, 2003, e bibliografia contenuta).

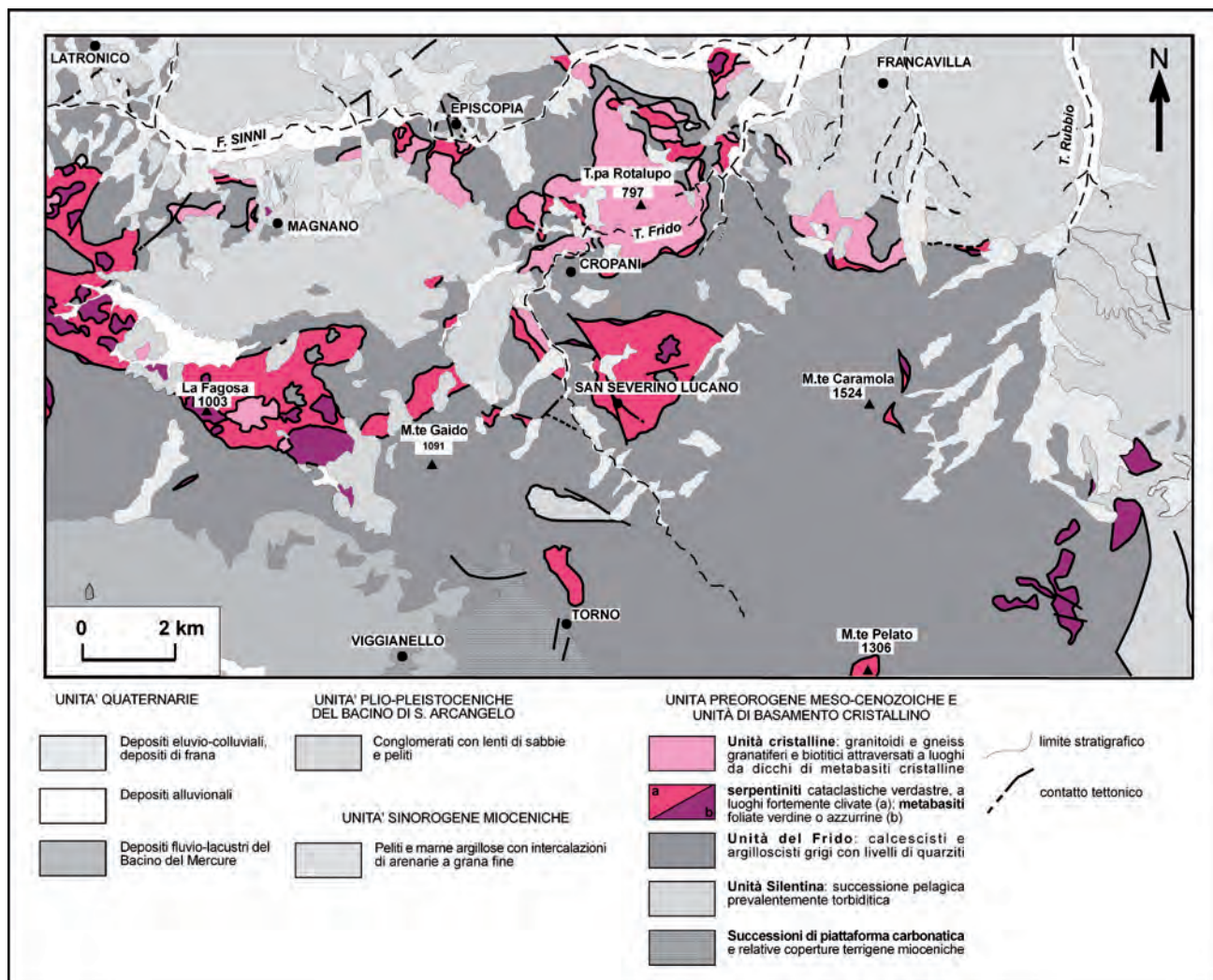


Fig. 2 – Carta geologica dell'area di studio.  
– Geological sketch map of the study area.

Con il termine di “*pietre verdi*” si identificano comunemente le rocce ignee femiche ed ultrafemiche delle associazioni ofiolitiche. Nell'area del Parco Nazionale del Pollino, queste rocce sono state largamente utilizzate come inerti per costruzioni, riempimenti e rilevati, e come pietre ornamentali. L'*amianto*, chiamato anche *asbesto*, è un termine genericamente usato per indicare diversi minerali che presentano un tipico *habitus* fibroso. Tra i minerali del cosiddetto *gruppo dell'amianto* i più comuni sono la tremolite e l'actinolite (anfibioli monoclini), le cui varietà nettamente fibrose sono conosciute come *amianto di anfibolo*, ed il crisotilo (*serpentino fibroso*), conosciuto come *amianto di serpentino* o *amianto bianco*. La resistenza al calore ed all'azione degli agenti chimici e biologici è alla base del perdurare dei minerali del *gruppo dell'amianto* nell'ambiente esterno. La loro perico-

losità consiste nella tendenza a frammentarsi in particelle estremamente piccole, potenzialmente inalabili, come conseguenza del loro aspetto fibroso.

Le principali rocce metamorfiche e cristalline affioranti al confine calabro-lucano sono rappresentate da serpentinitì, metabasiti, gneiss, calcescisti ed argilloscisti e rocce granitoidi. In alcune di queste rocce, come si evidenzia nella descrizione analitica qui di seguito riportata, sono contenuti minerali del *gruppo dell'amianto* quali la tremolite, l'actinolite ed il crisotilo.

## 2.1. - SERPENTINITI

Sono rocce metamorfiche ultramafiche di basso grado, composte generalmente per più dell'80% da fillosilicati del gruppo del serpentino (antigorite, crisotilo e lizardite) derivanti



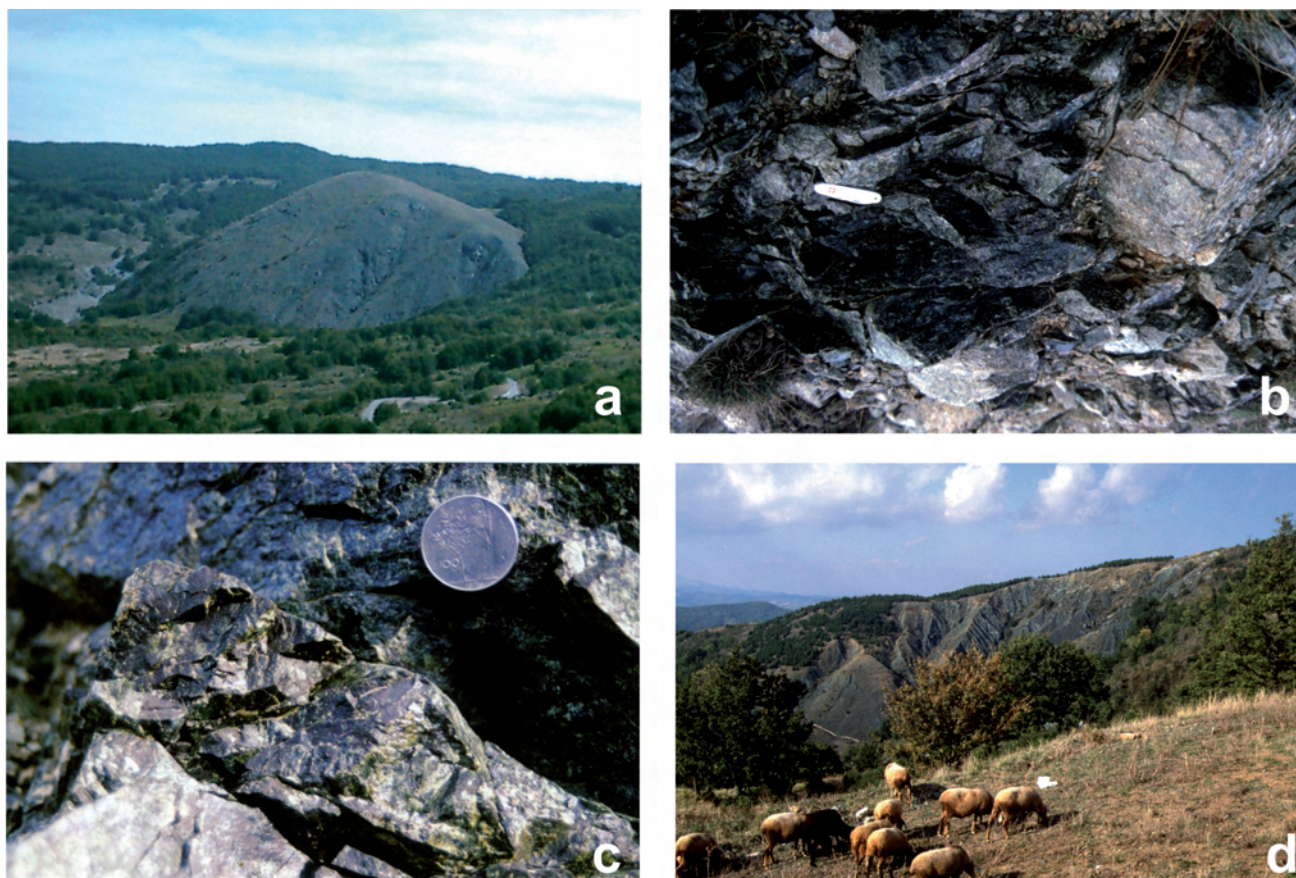


Fig. 3 – a) Monte Pelato: corpo serpentinitico morfoselezionato, imballato tettonicamente nelle metapeliti dell'Unità del Frido; b) serpentiniti cataclastiche affioranti a Timpa della Guardia, presso San Severino Lucano; c) particolare della foto precedente; d) forme pseudocalanchive nelle serpentiniti cataclastiche affioranti a monte dell'abitato di San Severino Lucano.  
 – a) Monte Pelato: morphoselected serpentinite body, tectonically included in the metapelite of the Frido Unit; b) cataclastic serpentinite, outcropping at Timpa della Guardia, near the San Severino Lucano village; c) detail of the previous image; d) pseudocalanchi-type morphology developed in the cataclastic serpentinite cropping out along the slope located immediately to the east of San Severino Lucano.

dall'idratazione di silicati ferromagnesiaci come olivina e pirosseno (tab. 1). Possono contenere come minerali accessori clorite, talco e magnetite, mentre componenti accidentali possono essere rappresentati da dolomite, calcite, granato e relitti di olivina e pirosseno. Le serpentiniti affioranti nell'area studiata mostrano, in particolare, un'associazione mineralogica data da olivina, ortopirosseno, serpentino, lizardite, spinello, granulazioni di magnetite e rara clorite in vene. Macroscopicamente le serpentiniti appaiono di colore da verde a nero, presentano una struttura massiccia con intercalazioni di vene e filoni di rodingiti ed arricchimenti in minerali di ferro, rame e nichel. Esse possono derivare da metamorfismo in ambiente ricco d'acqua di peridotiti, pirosseniti e lherzoliti, talora anche di anfiboliti e gabbri, ma il protolito delle serpentini affioranti nell'area studiata sembra corrispondere ad una harzburgite (MONACO *et alii*, 1995).

Le rocce serpentinitiche possono contenere minerali del gruppo dell'*amianto* in quantità ap-

prezzabile. La tabella 1 riporta le rocce amiantifere e le associazioni mineralogiche in esse contenute. La classificazione delle "pietre verdi" in funzione del loro contenuto di amianto è stata eseguita sulla base delle informazioni di natura petrografica disponibili in letteratura. La quantità esatta di amianto, sia esso amianto di serpentino o amianto di anfibolo, non può essere definita in modo assoluto, ma deve essere valutata caso per caso.

## 2.2. – METABASITI

Sono rocce mafiche metamorfosate. Le metabasiti che affiorano nell'area di studio appaiono di colore verde scuro o bluastrò. In esse si riconoscono talvolta le originarie strutture a *pillow*, estremamente deformate, e brecce di *pillow*. Talora sono presenti resti dell'originaria copertura sedimentaria costituiti da metaradiolariti, metasiltiti e metacalcari. Le metabasiti sono caratterizzate da una struttura

cataclastico-milonitica in cui sono preservate porzioni dell'originaria struttura magmatica. L'associazione mineralogica è costituita da plagioclasti albitizzati e sericitizzati, epidoto, clorite, titanite, a luoghi glaucofane e lawsonite. Talora sono presenti vene di aragonite. Alcune metabasiti mostrano di aver subito un primo evento metamorfico di AP/BT in *facies* di scisti blu, seguito da un evento in *facies* scisti verdi, mentre altre mostrano solo evidenze di tale evento o una debole impronta metamorfica.

### 2.3. - GNEISS

Si tratta di rocce sialiche metamorfiche da medio ad alto grado (generalmente *facies* delle anfiboliti), che presentano una tipica foliazione in cui si formano domini con diversa composizione mineralogica, spesso ad andamento lenticolare. Le rocce gneissiche che affiorano nell'area appaiono di colore rosso-brunastro ed estremamente alterate. L'associazione mineralogica è data da granato, plagioclasio, quarzo, biotite, sillimanite e rutilo. In generale le rocce mostrano di aver subito una forte retrocessione metamorfica con trasformazione più

o meno completa del granato in clorite, dei plagioclasti in sericite, epidoto ed albite e della biotite in clorite e titanite. Le anfiboliti rivelano un'associazione ad orneblenda, plagioclasti, epidoto, magnetite, titanite, apatite, zirconio e talora relitti di clinopirosseno. Queste rocce, pur non evidenziando caratteristiche tipiche di un evento di AP/BT, hanno subito tuttavia un evento in *facies* anfibolitico-granulitica seguito da retrometamorfismo in *facies* di scisti verdi.

### 2.4. - CALCESCISTI E ARGILLOSCISTI

I calcescisti sono interessati da una marcata anisotropia planare legata a fenomeni di *trassposizione*, a cui si associano numerose pieghe intrafoliate. L'associazione mineralogica è data da calcite, quarzo, albite, mica bianca, clorite e, a luoghi, aragonite, suggerendo pertanto un evento metamorfico di AP/BT.

Gli argilloscisti sono interessati da un clivaggio penetrativo accompagnato da fenomeni di fillonitizzazione, mentre i litotipi competenti mostrano un clivaggio spaziato ed un *boudinage* frequente del tipo *pinch and swell*. Gli argilloscisti e le metareniti contenute nelle intercalazioni mostrano di aver subito un evento metamorfico di basso grado compreso tra l'anchimetamorfismo e la *facies* a scisti verdi.

### 2.5. - ROCCE GRANITOIDI

Si tratta di piccoli ammassi di rocce leucocratiche granitoidi affioranti in posizione geometrica apicale o, talvolta, in zone di contatto tettonico. A luoghi le rocce presentano tessitura foliata.

## 3. - GEOMORFOLOGIA

### 3.1. - INDICIZZAZIONE DELLE SUCCESSIONI OFIOLITICHE

La diffusione e la differente entità degli affioramenti di ofioliti metamorfiche (vedi fig. 2), che costituiscono una fonte naturale di potenziale contaminazione ambientale da amianto in Basilicata meridionale, hanno comportato la necessità di una stima quantitativa dell'estensione totale della superficie di esposizione. A tale scopo e con l'ausilio delle informazioni presenti nella cartografia geologica, integrate da rilevamenti *ex novo*, sono state delimitate le aree di affioramento, comprensive di coperture detritiche e/o carapaci di alterazione, e computate le superfici

TAB. 1 - *Classificazione delle "pietre verdi" in funzione del loro contenuto di amianto (allegato 4 del DM 14/5/1996).*

- Classification of ophiolites based on asbestos contents.

LITOTIPO	MINERALI PRINCIPALI
"serpentinini" s.l.	antigorite, <u>crisotilo</u> , olivina, orto- e clino-pirosseni, anfibolo <u>tremolite</u> , talco, dolomite, granato, spinelli, cromite e magnetite
prasiniti	feldspato albite, epidoti anfiboli <u>tremolite-actinolite</u> , <u>glaucofane</u> , clino-pirosseni e mica bianca
eclogiti	pirosseno monoclinico, granato, rutilo, anfibolo <u>glaucofane</u>
anfiboliti	orneblenda, plagioclasio, zoisite, clorite, antofillite-gedrite
scisti actinolitici	<u>actinolite</u> , talco, clorite, epidoto, olivina
scisti cloritici, talcosi e serpentinosi	talco, clorite, dolomite, <u>tremolite</u> , <u>actinolite</u> , serpentino, <u>crisotilo</u> , rutilo, titanite, granato
oficalciti	talco, antigorite, <u>crisotilo</u> , <u>tremolite</u> , dolomite, calcite, olivina



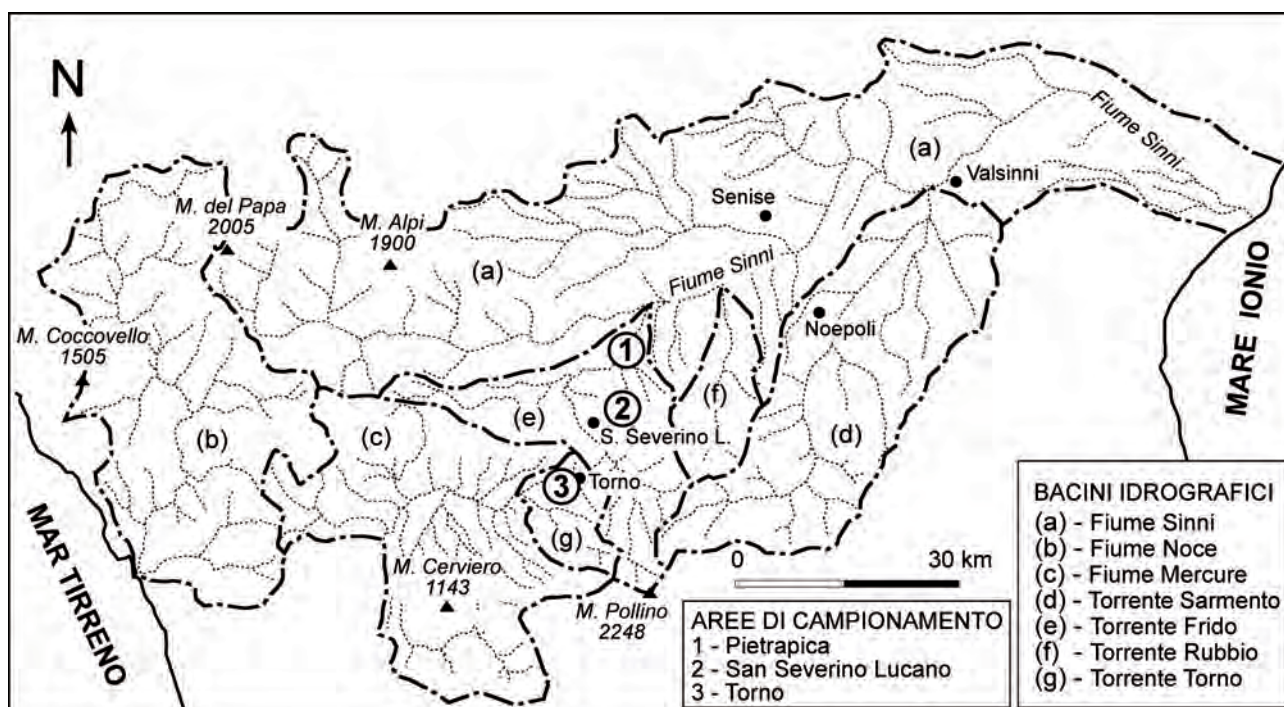


Fig. 4 – Bacini idrografici dell'area di studio e ubicazione dei siti di campionamento.  
– Catchment basins of the study area, with sampling sites location.

in km<sup>2</sup> per i singoli bacini idrografici (fig. 4). Ciò ha permesso di conoscere più precisamente la distribuzione dei terreni potenzialmente contaminanti in relazione alle singole entità territoriali (fisiografiche o antropiche). L'estensione degli affioramenti per ciascun bacino idrografico è stata arealmente indicizzata per mezzo della seguente relazione:

$$I = AE/A * 10^3$$

dove AE indica l'area di esposizione della superficie degli affioramenti ofiolitici, A esprime l'area della superficie del relativo bacino idrografico e 10<sup>3</sup> rappresenta un semplice fattore moltiplicativo necessario per rendere l'indice superiore all'unità. Tutti gli affioramenti di rocce ofiolitiche esaminati nel presente lavoro ricadono nei bacini idrografici indicati nelle tabelle 2 e 3, in cui sono riportati indici, aree bacinali e percentuali di esposizione per ciascun bacino. Tali parametri esprimono il potenziale delle aree più soggette a contaminazione. A fronte di un'estensione complessiva dei corpi ofiolitici pari a 32,63 km<sup>2</sup> rispetto ad una superficie complessiva di circa 1,215 km<sup>2</sup>, si osserva che gli affioramenti più estesi ricadono nei bacini del Torrente Frido, con il valore più elevato dell'indice di esposizione I, ed in quelli dei fiumi Sinni

e Mercure, che raggiungono complessivamente il 93,8% dell'intero valore, mentre appare scarsa l'esposizione nei restanti bacini, con un minimo nel Torrente Noce, che insieme non superano il 6,2% (fig. 5). L'elevato valore di I nel bacino imbrifero del Torrente Frido riflette – oltre alla presenza di una consistente estensione di masse ofiolitiche rispetto all'area del bacino – anche un alto potenziale di trasporto idrico di detriti amiantiferi. Tale area si configura come quella a maggiore rischio di diffusione di fibre dell'intero settore indagato. Valori intermedi sono quelli mostrati per i bacini dei fiumi Sinni e Mercure e dei torrenti Torno e Rubbio che evidenziano

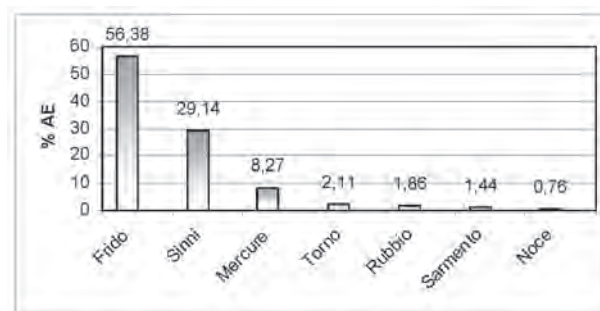


Fig. 5 – Percentuale dell'area di esposizione AE degli affioramenti ofiolitici nei singoli bacini idrografici.  
– Percentage of the exposure area (AE) of the ophiolitic outcrops for every single catchment basin.



un indice I con valori che oscillano tra 11 e 20 (tab. 2) e moderata pericolosità. Un significato diverso è rappresentato dai bassi valori di I relativi ai bacini del Torrente Sarmento e del Fiume Noce, che si configurano come aree a pericolosità bassa o nulla rispetto al rilascio di amianto da sorgenti naturali.

TAB. 2 – Area totale e Indice di affioramento per i singoli bacini idrografici (AE = area di esposizione, A = area del bacino idrografico).

– Total area (A) and serpentinite outcrop index (I) for every single catchment basin (AE = serpentinite exposure area).

Bacini idrografici	A(km <sup>2</sup> )	Indice $I = AE/A \times 10^3$
Torrente Frido	109.21	168.48
Fiume Sinni	464.29	20.48
Fiume Mercure	188.68	14.31
Torrente Torno	37	18.65
Torrente Rubbio	53.9	11.32
Fiume Sarmento	116.6	4.03
Fiume Noce	246.06	1.02
TOTALE	1215.74	

TAB. 3 – Area di esposizione (AE) di ogni singolo bacino del settore investigato e relativa percentuale di area di esposizione degli affioramenti ofiolitici rispetto al totale dell'area di esposizione.

– Serpentinite exposure area (AE) of every catchment basin of the study area and percentage of the serpentinite outcrop area with respect to the total area.

Bacini idrografici	AE(km <sup>2</sup> )	%AE
Torrente Frido	18.40	56.38
Fiume Sinni	9.51	29.14
Fiume Mercure	2.70	8.27
Torrente Torno	0.69	2.11
Torrente Rubbio	0.61	1.86
Fiume Sarmento	0.47	1.44
Fiume Noce	0.25	0.76
TOTALE	32.36	

### 3.2. - ANALISI GEOMORFICA QUANTITATIVA

Lo studio delle modalità di diffusione di fibre di amianto, in aree anche molto distanti dai luoghi di affioramento dei corpi ofiolitici, a carico delle acque di ruscellamento superficiali, sia a deflusso areale che incanalato, ha richiesto la realizzazione di un'analisi geomorfica quantitativa dei reticoli idrografici dei fiumi Sinni, Mercure e Noce e dei torrenti Frido, Rubbio, Sarmento e Torno.

I parametri geomorfico-quantitativi ben si prestano al monitoraggio ambientale in aree lontane dai luoghi di affioramento delle masse ofiolitiche e consentono di valutare la possibilità di contaminazione ambientale anche in zone considerate non direttamente a rischio. Per ciascun bacino idrografico sono stati calcolati alcuni parametri indicativi degli aspetti morfometrici della rete drenante, come il grado di gerarchizzazione del reticolo, la densità di drenaggio e gli indici di anomalia gerarchica (HORTON, 1945; STRAHLER, 1957; AVENA *et alii*, 1967; AVENA & LUPIA PALMIERI, 1969). La loro determinazione ha permesso, inoltre, di ricavare una stima dei tassi di erosione per ogni singolo bacino e l'entità del trasporto solido (CICCACCI *et alii*, 1980; LUPIA PALMIERI *et alii*, 1995; SCHIATTARELLA *et alii*, 2004, tra gli altri). Sono stati pertanto calcolati i seguenti parametri: l'area del bacino (A), la densità di drenaggio (D), il numero di anomalia gerarchica (Ga), l'indice di anomalia gerarchica ( $\Delta a$ ) e il deflusso torbido unitario (Tu), inteso come indicativo dell'intensità dei processi di erosione lineare (tab. 4).

TAB. 4 – Parametri geomorfici calcolati per ogni singolo bacino idrografico.

– Geomorphic parameters calculated for all the hydrographic basins.

Bacini idrografici	A (km <sup>2</sup> )	D (km <sup>-1</sup> )	Ga	Aa	Tu (t/km <sup>2</sup> /a)
Fiume Sinni	464.29	1.68	24	0.40	90
Fiume Noce	246.06	1.28	20	0.57	70.32
Fiume Mercure	188.68	1.41	18	0.50	75.78
Fiume Sarmento	116.6	2.17	16	0.66	144.28
Torrente Frido	109.21	1.56	8	0.47	84.16
Torrente Rubbio	53.9	0.68	2	0.66	45.75
Torrente Torno	37	1.5	8	0.16	71.81

L'entità del deflusso torbido unitario (fig. 6) appare mediamente stabilizzata intorno a 70-90 t/km<sup>2</sup>/a per quasi tutti i bacini esaminati, fatta eccezione per il bacino del Torrente Sarmento, affluente di destra orografica del Fiume Sinni, che mostra valori superiori a quelli medi (con 144 t/km<sup>2</sup>/a circa), e per il bacino del Torrente Rubbio, che raggiunge il valore di appena 45 t/km<sup>2</sup>/a. Alla luce di tali dati, risulta dunque significativa l'aliquota di trasporto dei detriti contenenti minerali del gruppo dell'amianto legata ai processi erosivi di tipo lineare in quasi tutti i bacini idrografici esaminati.

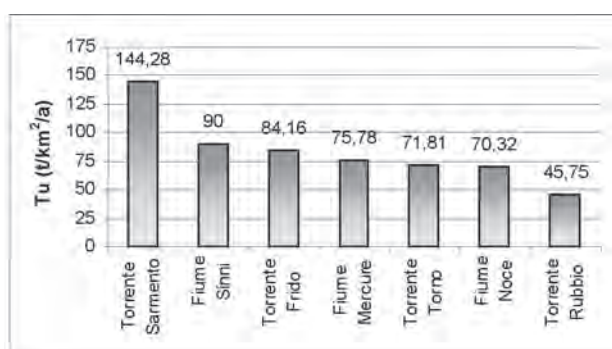


Fig. 6 – Valori del trasporto torbido unitario (Tu) per ogni singolo bacino dell'area investigata.

– Values of the turbid transport (Tu) for every single catchment basin.

Il confronto tra la densità di drenaggio e l'area di esposizione dei corpi ofiolitici per ogni singolo bacino (fig. 7) ha messo in risalto il ruolo svolto dalle estensioni degli affioramenti interessati da erosione lineare ed evidenzia che i bacini del Torrente Frido e dei fiumi Sinni e Mercure rappresentano le aree in cui il deflusso idrico può asportare potenzialmente la maggiore percentuale di rocce verdi.

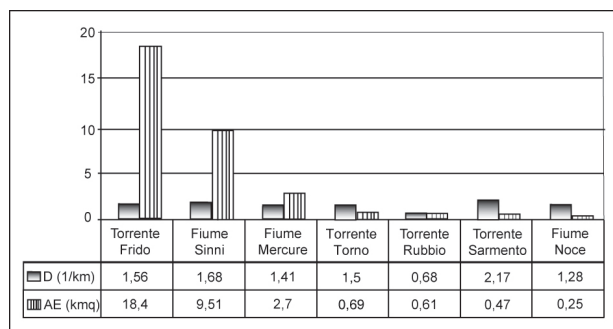


Fig. 7 – Confronto tra i valori relativi alla densità di drenaggio (D) e all'area di esposizione degli affioramenti (AE) per ogni singolo bacino.

– Comparison between the values of the drainage density (D) and the exposure areas (AE) of the ophiolitic outcrops for every single catchment basin.

L'elevata densità di drenaggio del Torrente Sarmento ( $D = 2,17 \text{ km}^{-1}$ ), che giustifica anche l'alto valore del deflusso torbido unitario (cfr. figg. 6 e 7), può essere spiegata in termini di maggiore erodibilità delle successioni affioranti. Questo non rappresenta tuttavia una situazione di pericolosità elevata a causa della bassa esposizione di affioramenti di ofiolit ( $< 0,54 \text{ km}^2$  di estensione).

Il confronto tra i valori relativi all'indice di esposizione (I), al deflusso torbido unitario (Tu) ed alla densità di drenaggio (D) ha evidenziato che, nonostante gli elevati valori di I nel bacino del Torrente Frido, il pur elevato valore di Tu non raggiunge quello calcolato per il bacino del Torrente Sarmento (fig. 8), probabilmente a causa di una minore densità di drenaggio e di litologie più conservative.

#### 4. - ANALISI DI LABORATORIO

##### 4.1. - ANALISI PETROGRAFICHE

Una descrizione dettagliata della composizione mineralogica delle rocce appartenenti alla *suite* ofiolitica che possono contenere minerali del gruppo dell'amianto è stata realizzata mediante l'osservazione al microscopio polarizzatore di sezioni sottili di campioni prelevati in punti significativi dell'area di studio (cfr. fig. 4).

I campioni di serpentiniti prelevati a Timpa della Guardia e Monte Caramola (AM1, AM2, AM3) hanno rivelato in sezione sottile la presenza di frammenti relitti di clinopirosseno, ortopirosseno, olivina e spinello cromifero immersi in una pasta di fondo a trama serpentinitica con struttura a maglie.

Sulle forme relitte più grandi di cristalli di pirosseni si osservano minerali di serpentino pseudomorfici, mentre diverse vene di clorite e serpentino attraversano interamente la sezione. L'analisi modale dei minerali relitti suggerisce un'originaria provenienza da rocce lherzolitiche.

Ulteriori campionature (AM4 e AM5) realizzate sempre a Timpa della Guardia, in affioramenti di metabasiti, hanno evidenziato nel campione AM4 una struttura porfirica con relitti di fenocristalli di plagioclasio trasformati in un aggregato sericitico-epidotico e subordinatamente con cristalli di medie dimensioni di pirosseni, anfibolo rossiccio immersi in matrice microcristallina costituita da piccoli cristalli idiomorfi di plagioclasio e da un'associazione



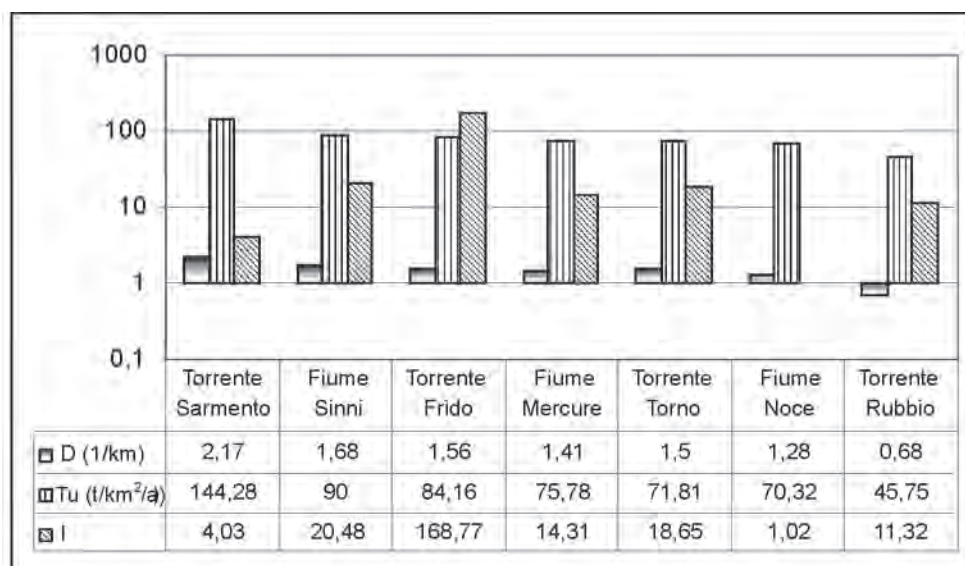


Fig. 8 - Confronto tra i valori della Densità di drenaggio (D), del Trasporto solido unitario (Tu) e dell'Indice di esposizione (I) delle masse ofiolitiche per ogni bacino idrografico dell'area investigata.  
- Comparison among drainage density (D), turbid transport (Tu), and exposure index (I) of the ophiolitic bodies for every single catchment basin of the study area.

di sericite + epidoto + clorite.

Analogamente al precedente, anche questo campione è attraversato da vene di albite, clorite, actinolite e pumpellyite.

Il campione AM5 è rappresentativo di metabasiti con tipica struttura foliata ed anisotropia planare in cui i minerali a grana fine, in corrispondenza di porfiroclasti di originario pirosseno, evidenziano un andamento ondulato.

I porfiroclasti di pirosseno hanno una forma rotondeggiante e sono sostituiti localmente da un aggregato pseudomorfo di clorite + actinolite + epidoto + titanite e altri minerali non risolvibili. La pasta di fondo è costituita da epidoto + actinolite + clorite + albite mentre alcune vene che tagliano i piani di foliazione sono formate da un'associazione di pumpellyite + actinolite + clorite, e localmente anche da pirite e titanite.

I campioni di metagabbri nei pressi di Timpa delle Murge (campione AM6) hanno rivelato un'associazione di minerali a grana grossa di clinopirosseno + ortopirosseno + plagioclasio rappresentativi dell'originaria paragenesi della roccia gabbrica, in cui i pirosseni rappresentano la fase cumulitica ed i plagioclasii quella di intercumulo.

Questi ultimi sono talvolta trasformati in aggregati di sericite, epidoto ed albite con sporadici cristalli di piccole dimensioni di lawsonite, mentre i pirosseni mostrano, localmente, un bordo di clorite e actinolite ovvero risultano completamente sostituiti. Il campione è attraversato da vene di clorite. Negli affiora-

menti di gneiss fortemente alterati di Timpa del Castello (campione AM7) sono stati individuati gneiss leucocratici a granato e biotite che presentano una struttura nodulare con fenocristalli di granato fratturato e cloritizzato e con pasta di fondo con scistosità planare, a luoghi cataclastica, entro cui ricristallizzano minerali di quarzo. Il plagioclasio, parzialmente alterato, ed il quarzo costituiscono la porzione leucocratica del campione. I cristalli di biotite si presentano decolorati e/o cloritizzati e talvolta appaiono trasformati in ossidi e stilpnomelano, mentre il campione è attraversato da vene di albite.

L'analisi delle sezioni sottili realizzate su campioni di rocce a diversa composizione, appartenenti alla *suite* ofiolitica e prelevati in varie località dell'area di studio ha mostrato la presenza di minerali del *gruppo dell'amiante*, tra cui l'actinolite in associazione con la clorite e la pumpellyite. Questi sono stati osservati sia nelle metabasiti che nei metagabbri in vene che tagliano nettamente i piani di foliazione ovvero come bordi di alterazione di cristalli di pirosseni, o cristalli di quarzo e di biotite cloritizzata, nei gneiss leucocratici di Timpa del Castello.

Da quanto sino ad ora esposto, appare evidente che nelle rocce del confine calabro-lucano, in condizioni di "naturalità", sono significativamente presenti minerali potenzialmente dannosi se immessi in atmosfera ad opera di attività antropiche - come ad esempio di tipo estrattivo - o per mezzo di processi legati alla naturale dinamica evolutiva del territorio.

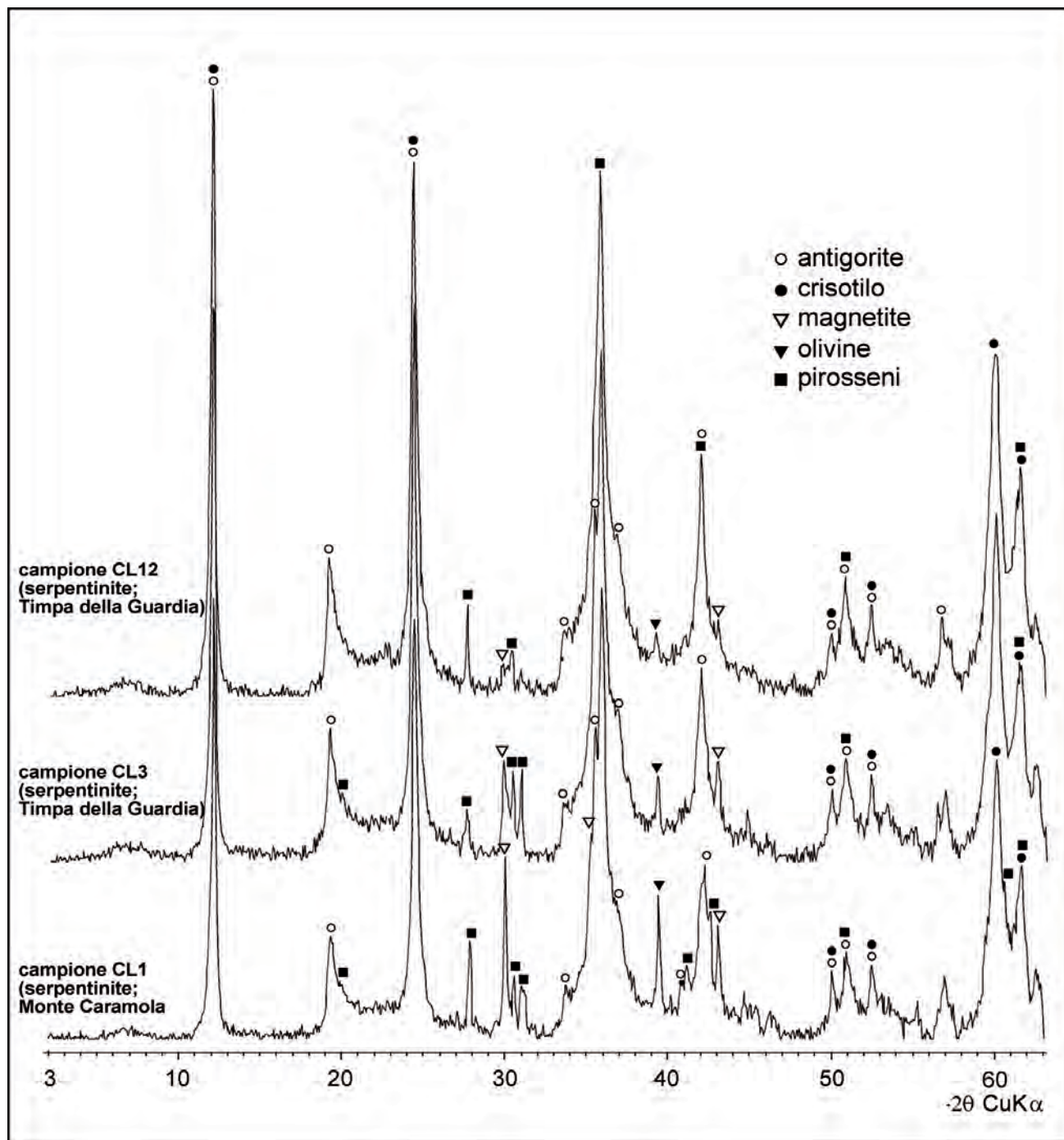


Fig. 9 - Pattern di diffrazione di raggi X delle serpentiniti provenienti dai rilievi di Timpa della Guardia e Monte Caramola.  
- X-ray diffraction pattern of the serpentinite from Timpa della Guardia and Monte Caramola.

#### 4.2. - ANALISI MINERALOGICHE

Ai fini della identificazione di eventuali minerali del gruppo dell'amianto in rocce verdi, è stata realizzata un'analisi diffrattometrica su campioni provenienti dai siti di Timpa della Guardia (serpentiniti e metabasiti), Monte Caramola (serpentiniti) e Madonna dell'Alto, alla sommità della dorsale de "La Fagosa" (metabasiti).

L'individuazione delle fasi mineralogiche presenti nei campioni è avvenuta mediante diffrattometria di raggi X, utilizzando un diffrattometro per polveri della Rigaku, modello Miniflex, con radiazione  $\text{CuK}\alpha$ , fenditura variabile e *sample spinner*.

I campioni sono stati polverizzati in mortaio di agata, quindi posti all'interno di un portacampione in modo da garantire una orienta-



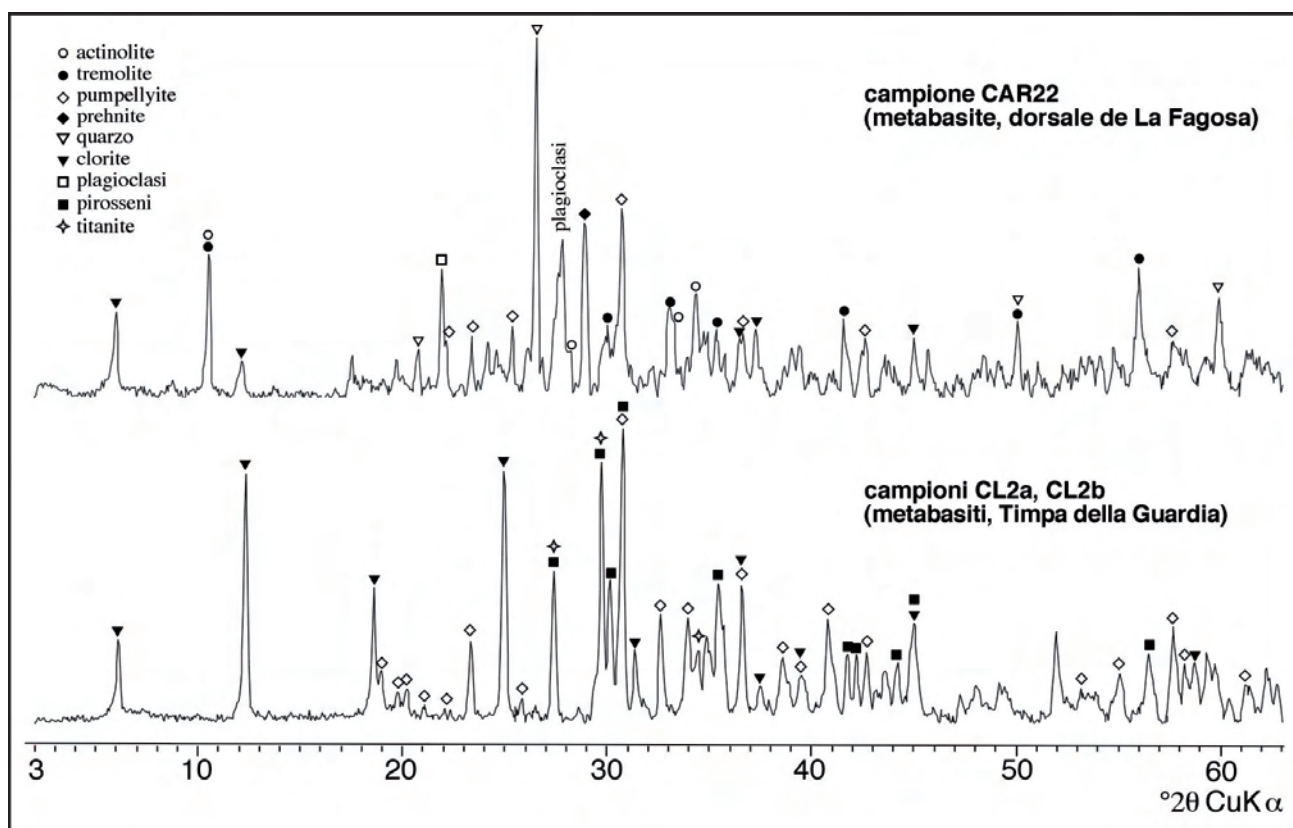


Fig. 10 – Pattern di diffrazione di raggi X delle metabasiti provenienti dai rilievi di Timpa della Guardia e de La Fagosa.  
– X-ray diffraction pattern of the metabasite from Timpa della Guardia and La Fagosa.

zione casuale dei granuli. Le fasi mineralogiche sono state individuate con l'ausilio del software *MacDiff* (versione 4.2), che utilizza un database mineralogico con schede identificative dei minerali JCPDS.

L'analisi diffrattometrica evidenzia effettivamente la presenza di minerali del cosiddetto gruppo dell'amianto.

In particolare, si osserva la presenza di crisotilo (*serpentino fibroso*), conosciuto come *amianto di serpentino* o *amianto bianco*, nei campioni di serpentiniti (fig. 9) e di tremolite ed actinolite (anfibioli monoclini), oltre a pumpellyite, clorite e quarzo nei campioni di metabasiti (fig. 10).

Le analisi mineralogiche, unitamente a quelle petrografiche (cfr. § *Analisi petrografiche*), evidenziano una paragenesi tipica di un metamorfismo di alta pressione. Nel diagramma pressione/temperatura (fig. 11; FREY & ROBINSON, 1999) i campioni di metabasiti ricadono infatti nel campo di stabilità dell'associazione pumpellyite+actinolite+clorite (Pmp+Act), con temperature e pressioni confinabili tra i 250-350 °C ed i 6-8 kbar.

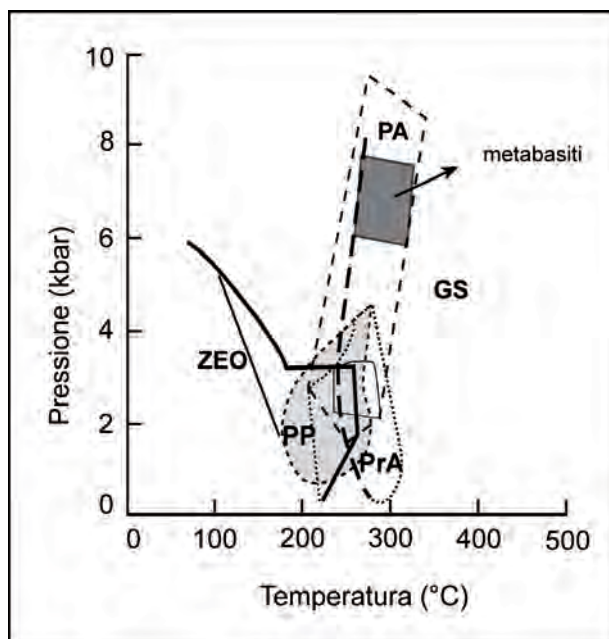


Fig. 11 – Diagramma P-T per metabasiti di basso grado (Frey & Robinson, 1999, modif.). ZEO = zeolite; PrA = prhenite+actinolite; PP = prhenite+pumpellyite; PA = pumpellyite+actinolite; GS = greenschist facies.

– P-T diagram related to low-grade metabasite (modified after Frey and Robinson, 1999). ZEO = zeolite; PrA = prhenite+actinolite; PP = prhenite+pumpellyite; PA = pumpellyite+actinolite; GS = greenschist facies.

#### 4.3. - ANALISI DEGLI AERODISPERSI

Al fine di valutare se gli affioramenti studiati nel presente lavoro costituiscano fonte di contaminazione ambientale da rilascio di fibre di amianto è stato campionato, con l'ausilio di aerometri, il particellato presente in atmosfera e sulla vegetazione.

La stima quantitativa delle fibre di amianto è stata effettuata con un microscopio elettronico a scansione (*Scanning Electron Microscope*, SEM) equipaggiato con microanalizzatore in dispersione di energia di raggi X (*Energy Dispersive Scanning*, EDS) sui campioni di aereodispersi. Ogni sito di campionamento è stato contrassegnato con un acronimo di riferimento: PTP (località Pietrapica), SSL (abitato di San Severino Lucano e dintorni) e TRN (frazione di Torno).

Il sito in località Pietrapica (PTP) è ubicato in una cava impostata in serpentiniti cataclastiche lungo il raccordo stradale che collega la fondovalle del Sinni con l'abitato di San Severino Lucano, mentre quello nei pressi dell'abitato di Torno (TRN) si trova lungo il versante a monte dello stesso.

L'ultimo sito di campionamento è localizzato nell'area di recente urbanizzazione dell'abitato di San Severino Lucano, pertanto in una zona densamente abitata. La scelta di quest'ultimo sito è motivata dal fatto che l'area è potenzialmente predisposta ad un rischio di contaminazione atmosferica da amianto, poiché la fascia di serpentiniti appare interessata da un'ampia zona di faglia che ha prodotto una notevole quantità di roccia cataclastica più degradata e disgregabile rispetto alle stesse rocce circostanti.

Una descrizione sintetica dei risultati ottenuti dalle analisi di laboratorio sulla tipolo-

gia di minerali identificati e sul *range* di fibre di amianto contenuta in ciascun campione è riportata nella tabella 5, che mostra come il contenuto in fibre di amianto per quasi tutti i campioni rientri nei limiti massimi di tolleranza di 2 ff/l (fibre/litro). Fanno eccezione i campioni 1, 3 e 4 prelevati a San Severino Lucano (SSL), i cui *range* di concentrazione di fibre/litro di amianto risultano superiori alla normativa vigente (D.M. 14/5/1996, Legge n. 257 del 22/3/92, D.M. n. 156 del 29/7/94, del 5/9/94 e del 6/9/94 e successivi che prevede che non venga superato, in ogni campione esaminato, un limite massimo di tolleranza di 2 ff/l nel contenuto di sostanze amiantifere), evidenziando pertanto una situazione di inquinamento ambientale in atto. Relativamente ai campioni 2 e 3, prelevati in località Pietrapica (PTP), i valori prossimi al limite massimo ammissibile suggeriscono di effettuare un monitoraggio continuo dei livelli di fibre di amianto aerodisperse.

Le analisi relative alle campionature realizzate nella frazione di Torno (TRN) hanno rivelato, infine, l'assenza di fibre di amianto e condizioni di "naturalità" del territorio.

#### 4.4. - ANALISI MULTISPETTRALE DA REMOTE SENSING

L'utilizzo delle tecniche di *remote sensing* negli studi geoambientali sia a scala globale che regionale ha assunto negli ultimi anni un ruolo sempre più rilevante grazie al perfezionamento delle tecniche di acquisizione e di restituzione dei dati.

Tra queste, particolarmente affidabile si è rivelato il processamento di immagini multispettrali, ottenute attraverso la misurazione della banda spettrale che rientra nel campo

TAB. 5 – Analisi quantitativa al SEM delle fibre di amianto di 9 campioni di aerodispersi (analisi condotte presso i laboratori dell'Agenzia Regionale per l'Ambiente della Regione Basilicata).  
– *SEM quantitative analysis of the asbestos fibres related to 9 air-samples.*

Località	N° campioni	Minerale prevalente	Range fibre/litro (ff/l)
Cava di Pietrapica (km 54-55 S.P. San Severino Lucano S. S. Fondovalle Sinni)	3	Tremolite	0.028 - 0.840
		Tremolite	0.009 - 1.930
		Tremolite	0.009 - 1.930
Area di San Severino Lucano	4	Tremolite	0.140 - 2.020
		Tremolite	0.006 - 1.290
		Crisotilo/Tremolite	0.380 - 2.690
		Tremolite	0.140 - 2.020
Località Torno (frazione di Viggianello)	2	Indistinto	0.000 - 0.850
		Indistinto	0.000 - 0.850



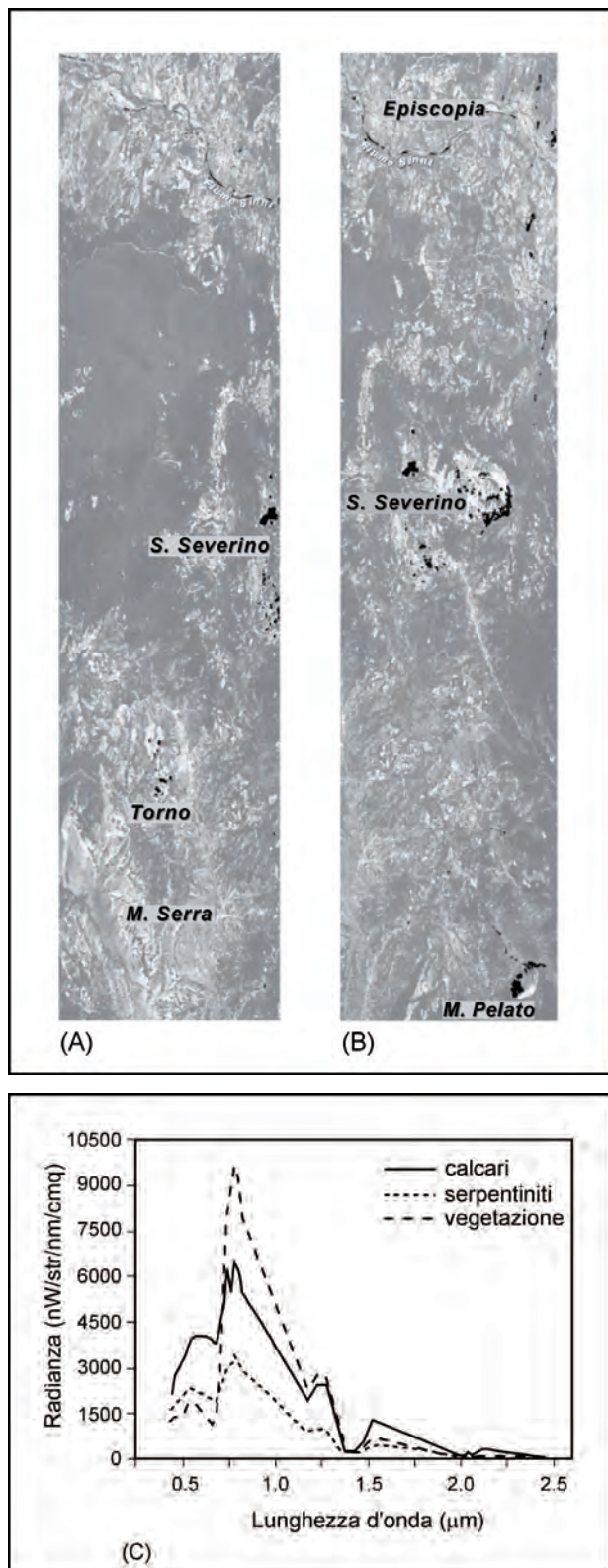


Fig. 12 – A) Individuazione da remote sensing degli affioramenti e dei detriti di serpentiniti (pixel in nero) nell'area tra la frazione di Torno (Viggianello) e il Fiume Sinni; B) stesso tema nell'area adiacente alla precedente, compresa tra Monte Pelato ed Episcopia C) risposta spettrale delle rocce e del manto vegetazionale.

– Remote sensing-detected serpentinite detrital material and bedrock bodies (black pixel) in the area between Torno village and Sinni River (A), and between Monte Pelato and Episcopia (B); spectral signature of rocks and vegetation mantle (C).

visibile/infrarosso per mezzo della tecnica di elaborazione SAM (*Spectral Angle Mapper*) basata su dati da piattaforma MIVIS, che ha consentito il riconoscimento della curva di risposta spettrale delle serpentiniti (fig. 12) rispetto a quella delle rocce carbonatiche e della vegetazione (TRAMUTOLI *et alii*, 2002) nell'area di studio, in diverse condizioni di luminosità e quindi con differenti curve di risposta spettrale.

In tal modo, selezionata un'area campione di dimensioni limitate in cui affiorano serpentiniti ed individuata la loro firma spettrale è stato possibile analizzare la distribuzione di queste rocce, quando depurate della copertura pedologica e del manto vegetazionale, entro areali molto più ampi rispetto al singolo affioramento cartografabile in campagna e con tempi notevolmente più rapidi (fig. 12).

Un esempio di applicazione di questa tecnica può essere legato al riconoscimento di materiale a composizione serpentinitica nei depositi alluvionali delle aste fluviali che fornisce preziose informazioni non solo di tipo sedimentologico e geomorfologico (aree sorgenti ed entità del trasporto fluviale), ma anche a carattere geo-ambientale sulla diffusione e sulla quantità di sostanze potenzialmente pericolose, come i minerali del gruppo dell'amianto contenuti nelle serpentiniti che possono inoltre essere, con simili tecniche, anche monitorati in continuo.

## 5. - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Ai fini dell'attuazione del piano regionale di protezione da inquinamento da amianto, è stato condotto uno studio multidisciplinare, in collaborazione con l'Agenzia per l'Ambiente della Regione Basilicata (ARPAB), finalizzato all'individuazione di affioramenti di rocce verdi (*suites* ofiolitiche serpentinite) presenti nell'area del Parco Nazionale del Pollino, al confine calabro-lucano, per accertare il livello di aerodispersione di fibre di amianto, ai sensi di quanto stabilito dalla legislazione vigente. A causa dell'elevata antropizzazione di alcuni dei luoghi di affioramento delle ofioliti lucane si è ritenuto opportuno selezionare, come già descritto in precedenza, tre situazioni-tipo che contemplassero altrettanti gradi di "naturalità" del territorio a rischio di emissione di fibre di amianto.

Nell'area di cava in località Pietrapica (PTP) la sezione sottile AM7 realizzata su un campione di gneiss in contatto tettonico con la massa serpentinitica ha rivelato la presenza di una roccia leucocratica a granato e biotite fortemente alterata, mentre le analisi sulle sostanze aerodisperse hanno rivelato la presenza tra i minerali prevalenti di Tremolite, con concentrazioni massime di fibre di amianto pari a 1,93 ff/l. In tal senso il sito necessita di un monitoraggio continuo per controllare che non venga raggiunta o superata la soglia di 2 ff/l, indicativa di un inquinamento in corso. Quest'area appare allora come la più compromessa dal punto di vista ambientale, a causa della passata attività estrattiva probabilmente volta a fornire materiale per il battuto stradale della rete viaria del Parco Nazionale del Pollino. Lo stato fortemente cataclastico delle rocce verdi predispone inoltre la zona ad un aumento del rischio di contaminazione da amianto ad opera dei processi di dinamica esogena sia di tipo lineare che areale.

Le sezioni sottili ottenute dai campioni di serpentiniti prelevati in prossimità del centro abitato di San Severino Lucano (SSL) (AM1, AM2, AM3) hanno evidenziato la presenza di minerali contenenti fibre di amianto. Le successive analisi di laboratorio sulle sostanze aerodisperse hanno confermato tale osservazione grazie alla individuazione della presenza di Tremolite e Crisotilo che raggiungono valori di concentrazione massimi di 2,69 ff/l indicativi di una situazione di inquinamento in atto sia in prossimità del centro abitato che nelle contrade Mancino-Villaneto. Le serpentiniti in questa zona sono sbancate in seguito a lavori di edilizia urbana per uso abitativo o lavorativo ma in misura più modesta rispetto al sito precedente. Diversi fronti di scavo a ridosso delle costruzioni risultano attualmente a giorno. Va ricordato che l'area è posta a cavallo di una linea di faglia che potrebbe recitare un ruolo importante nella circolazione superficiale e sotterranea di fluidi arricchiti in elementi contaminanti. Una maggiore lisciviazione delle rocce verdi private della copertura vegetale ad opera delle acque di infiltrazione potrebbe, infatti, provocare l'aumento della normale concentrazione di elementi nocivi nelle acque di falda.

Le analisi di laboratorio sulle sostanze aerodisperse prelevate lungo il versante a monte della frazione di Torno non hanno individuato la presenza di fibre di amianto. Tale sito si configura come un buon esempio di "natura-

lità" del territorio, con aree discretamente vegetate e non interessate da opere antropiche di rilievo (si noti che una simile condizione risulta assai utile ai fini della taratura del metodo analitico).

La determinazione della capacità di diffusione delle rocce della serie ofiolitica per mezzo dei processi di trasporto naturale ad opera delle acque di ruscellamento superficiale è stata realizzata con analisi semi-quantitative tramite l'indicizzazione delle aree di affioramento di tali rocce e con l'ausilio del calcolo di parametri geomorfici dei bacini idrografici dell'area esaminata.

Il valore dell'indice di esposizione (I) più elevato è risultato quello del Torrente Frido, che testimonia quindi una distribuzione più ampia dei litotipi contenenti minerali dell'amianto, mentre quello più basso si osserva nel bacino del Fiume Noce. Il confronto tra i diversi parametri geomorfici mostra che, nonostante l'elevato valore di D e Tu relativi al bacino del Torrente Sarmento, il basso indice di esposizione (I) è causa di scarsa pericolosità di contaminazione in aree lontane dai luoghi di affioramento. Viceversa, per il bacino del Torrente Frido l'elevato indice di esposizione (I) e i significativi valori di D e Tu indicano un elevato potenziale di distribuzione dei materiali contenenti amianto in un'area più estesa rispetto a quella di affioramento. E' necessario sottolineare che i torrenti Frido e Sarmento sono affluenti di destra del Fiume Sinni e che pertanto una parte del materiale trasportato viene sicuramente ridistribuito (ma anche ampiamente "diluuito") nel più ampio bacino idrografico del Fiume Sinni.

In conclusione, è possibile affermare che la distribuzione dei minerali del gruppo dell'amianto non è limitata ai dintorni dei siti di affioramento ma, soprattutto a causa del deflusso superficiale ad opera delle acque correnti, i detriti di serpentiniti e metabasiti sono diffusi all'interno delle valli fluviali anche a distanze considerevolmente lontane, fino a raggiungere l'invaso artificiale di Monte Cotugno, presso l'abitato di Senise. Appare pertanto opportuno suggerire che un eventuale monitoraggio ambientale dell'area dovrà tenere conto non solo delle aree in cui affiorano le successioni contenenti rocce amiantifere, ma anche dei bacini idrografici che sottendono le aree di affioramento delle successioni ofiolitiche, con particolare riguardo ai bacini del Fiume Sinni e dei torrenti Frido e Sarmento.

## BIBLIOGRAFIA

- AVENA G.C., GIULIANO G. & LUPA PALMIERI E. (1967) - *Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., **86**: 781-796.
- AVENA G.C. & LUPA PALMIERI E. (1969) - *Analisi geomorfica quantitativa in «Idrogeologi dell'Alto bacino del Liri (Appennino Centrale)»*. Geol. Romana, **8**: 319-378.
- BERGLUND B.E. (2003) - *Human impact and climate changes synchronous events and a causal link?* Quaternary International, **105**: 7-12.
- BONARDI G., AMORE F.O., CIAMPO G., DE CAPOA P., MICONNET P. & PERRONE V. (1988) - *Il Complesso Liguride Auct.: stato delle conoscenze e problemi aperti sulla sua evoluzione pre-appenninica ed i suoi rapporti con l'Arco Calabro*. Mem. Soc. Geol. It., **41**: 17-35.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPA PALMIERI E. & PUGLIESE F. (1980) - *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., **99**: 455-516.
- DI LEO P., SCHIATTARELLA M., CUADROS J. & CULLERS R. (2005) - *Clay mineralogy, geochemistry and structural setting of the ophiolite-bearing units from southern Italy: a multidisciplinary approach to assess tectonic history and exhumation modalities*. Atti Ticinesi Sc. Terra, ser. spec., **10**: 87-93.
- FREY M. & ROBINSON D. (1999) - *Low grade metamorphism*, pp. 313, Blackwell Science, Oxford.
- GIANNANDREA P. & LOIACONO F. (2003) - *Le successioni alluvionali e lacutri quaternarie affioranti nella media valle del Fiume Sinni (Appennino meridionale, Basilicata)*. Il Quaternario, **16**: 257-267.
- HORTON R.E. (1945) - *Erosional development of streams and their drainage basins: idrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. Am. Bull., **56**: 275-370.
- KNOTT S.D. (1987) - *The Liguride Complex of Southern Italy - a Cretaceous to Paleogene accretionary wedge*. Tectonophysics, **142**: 217-226.
- LANZAFAME G., SPADEA P. & TORTORICI L. (1979) - *Relazioni stratigrafiche tra ofioliti e formazione del Frido nella Calabria settentrionale e nell'Appennino lucano*. Ofioliti, **4**: 313-330.
- LUPA PALMIERI E., CICCACCI S., CIVITELLI G., CORDA L., D'ALESSANDRO L., DEL MONTE M., FREDI P. & PUGLIESE F. (1995) - *Geomorfologia quantitativa e morfodinamica del territorio abruzzese: I - Il bacino idrografico del Fiume Sinello*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **18**, 31-46.
- MAURO A. & SCHIATTARELLA M. (1988) - *L'Unità Silentina di Base: assetto strutturale, metamorfismo e significato tettonico nel quadro geologico dell'Appennino meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., **41**: 1201-1213.
- MONACO C., TORTORICI L., MORTEN L., CRITELLI S. & TANSI C. (1995) - *Geologia del versante nord-orientale del massiccio del Pollino (confine calabro-lucano): nota illustrativa sintetica della Carta geologica alla scala 1:50.000*. Boll. Soc. Geol. It., **114**, 277-291.
- PESCATORE T., RENDA P., SCHIATTARELLA M. & TRAMUTOLI M. (1999) - *Stratigraphic and structural relationships between Meso-Cenozoic Lagonegro basin and coeval carbonate platforms in southern Apennines, Italy*. Tectonophysics, **315**: 269-286.
- RIVAS V., CENDRERO A., HURTADO M., CABRAL M., GIMENEZ J., FORTE L., DEL RIO L., CANTÙ M. & BECKER A. (2006) - *Geomorphic consequences of urban development and mining activities; an analysis of study areas in Spain and Argentina*. Geomorphology, **73**: 185-206.
- SCHIATTARELLA M. (1996) - *Tettonica della Catena del Pollino(confine calabro-lucano)*. Mem. Soc. Geol. It., **51**: 543-566.
- SCHIATTARELLA M. (1998) - *Quaternary tectonics of the Pollino Ridge, Calabria-Lucania boundary, southern Italy*. In: HOLDSWORTH R.E., STRACHAN R.A. & DEWEY J.F. (Eds): "Continental transpressional and transtensional tectonics". Geological Society, London, Spec. Publ., **135**: pp. 341-354.
- SCHIATTARELLA M., BENEDEUCE P. & PASCALE S. (2004) - *Comparazione tra i tassi di erosione e sollevamento dell'Appennino lucano: l'esempio della Fiumara di Tito e Picerno*. Boll. A.I.C.: **121-122**, 367-385.
- SCHIATTARELLA M., GIANO S.I. & GUARINO P.M. (1998) - *Interazione uomo-ambiente e sistemi geoarcheologici*. In: C. ALBORE LIVADIE & F. ORTOLANI (Eds.) "Il sistema uomo-ambiente tra passato e presente". CUEBC, Territorio storico e ambiente, 1. Atti del Secondo Seminario Internazionale, Ravello 3-6-giugno 1994: pp. 181-184, Bari.
- SCHIATTARELLA M., TORRENTE M.M. & RUSSO F. (1994) - *Analisi strutturale ed osservazioni morfostratigrafiche nel bacino del Mercure (Confine Calabro-Lucano)*. Il Quaternario, **7**: 613-626.
- SPADEA P. (1994) - *Calabria-Lucania Ophiolites*. Boll. Geof. Teor. Appl., **36**: 271-281.
- STRAHLER A.N. (1957) - *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Trans. Am. Geoph. Un., **38**: 913-920.
- TRAMUTOLI V., FILIZZOLA C., PERGOLA N., PIGNATTI S. & SCHIATTARELLA M. (2002) - *Automatic recognition of rocky outcrops from MIVIS data: a test case on a selected area of the Pollino National Park (Southern Italy)*. In: M. EHLERS (Ed.): "Remote sensing for environmental monitoring, GIS applications, and geology". Proc. SPIE, **4545**: pp. 196-206.
- VEZZANI L. (1968) - *Rapporti tra ofioliti e formazioni sedimentarie nell'area compresa tra Viggianello, Francavilla sul Sinni, Terranova del Pollino e S. Lorenzo Bellizzi*. Atti Acc. Gioenia Sci. Nat., **19**: 109-144, Catania.
- VEZZANI L. (1970) - *Le ofioliti della zona tra Castelluccio inferiore e S. Severino Lucano (Potenza)*. Atti Acc. Gioenia Sci. Nat.: **7**: 1-49, Catania.