

PRÜFBERICHT FÜR DIE ANALYSE VON GESTEINSPROBEN DURCH RASTERELEKTRONENMIKROSKOPIE UND EDS ELEKTRONENSTRAHLMIKROSONDE

EINFÜHRUNG:

Die Testprobe (bestehend aus **einem Paar von Serpentinplatten**, Größe 11 x 5 x 1 cm) wurde per Express-Kurier am Institut für Umwelt- und Geowissenschaften der Universität von Mailand-Bicocca in einem Karton am 4. Dezember 2015 geliefert. Die analytischen Untersuchungen wurden in den Zeitraum zwischen dem 7. Dezember 2015 und 24. Februar 2016 durchgeführt. In der nachstehenden Tabelle 1 werden die makroskopischen und petrographischen Eigenschaften der Probe beschrieben.

Tabelle 1: makroskopischen Eigenschaften und Herkunft der Probe.

Name der Probe	Makroskopischen Eigenschaften und Herkunft
“Sasso Corvi”	Paar von Serpentinplatten aus dem Sasso Corvi Steinbruch – Chiesa in Valmalenco (SO). Natürlich gespaltete Oberflächen.

Der Zweck dieser analytischen Untersuchung durch Rasterelektronenmikroskopie (REM) und EDS (energiedispersiven System) Elektronenstrahlmikrosonde, ist die morphologische und chemische Charakterisierung von jeder Faser, insbesondere im Hinblick auf Suche und Quantifizierung von Serpentin und/oder Amphibol Asbestfasern (entsprechend Ministerialdekret D.M. 06/09/94 und Ministerialdekret "Green Stones" vom 14. Mai 1996, mit "F.I. – Freisetzungsindex" Bestimmung), insbesondere die asbest-artigen Sorten der folgenden Mineralien:

Chrysotil	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	n. CAS 12001-29-5
Tremolit	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$	n. CAS 77536-68-6
Aktinolith	$Ca_2(Mg, Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	n. CAS 77536-66-4
Anthophyllit	$(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$	n. CAS 77536-67-5
Grunerit (Amosit)	$(Fe, Mg)_7Si_8O_{22}(OH)_2$	n. CAS 12172-73-5
Riebeckit (Krokydolith)	$Na_2(Mg, Fe)_6Si_8O_{22}(OH)_2$	n. CAS 12001-28-4

In Tabelle 2 sind die verwendeten Geräte (Abb. 1) und analytischen Bedingungen gegeben.

Tabelle 2: verwendeten Geräte und analytischen Bedingungen.

Verwendeten Geräte	<ul style="list-style-type: none"> • Rasterelektronenmikroskop Vega TS Tescan, Univac 5163 XM; • Energiedispersiven System EDAX Genesis 4000 XMS Imaging 60 SEM; • Metallisator: CARBON COATER Edwards 5150B.
Analytischen Bedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebsspannung: 20 kV; • Abstand der Probe: 23 mm (EDS) – 10 mm (SE-BSE Bilder); • Beobachtung bei 160 bis 124000-facher Vergrößerung; • Bestimmung bei 2000-facher Vergrößerung; • Erfassung von Bildern in Sekundär- (SE) und Rückstreuelektronen (BSE); • Erfassung von repräsentativen EDS-Spektren (100 s Meßzeit).



Abbildung 1: Rasterelektronenmikroskop Vega TS Tescan Univac 5163 XM mit energiedispersiven System (EDS) EDAX Genesis 4000 XMS Imaging 60 SEM, am Institut für Umwelt- und Geowissenschaften der Universität von Mailand-Bicocca.

PROBENVORBEREITUNG

Die Probenvorbereitung kann wie folgt zusammengefasst werden:

- die Gesteinsplatten wurden in einem Ofen 2 Stunden lang bei 105 °C getrocknet, bis zum Erreichen eines konstanten Gewichts, um Feuchtigkeitsspuren zu entfernen;
- die Platten wurden in ein Verfahren durch gegenseitigen mechanischen Abrieb ("Selbst-Vermahlung") unterzogen, wie von dem Ministerialdekret D.M. 14. Mai 1996 "Green Stones" angegeben;
- das erhaltene Pulver wurde zunächst mit einer 1.6 mm-*mesh* Sieb gesiebt, dann geviertelt, und anschließend weiter per Hand für ungefähr zwei Minuten in einem Achatmörser in Aceton Bad gemahlen (um die Amorphisierung der Fasern zu reduzieren);
- ca. 8 g Pulver wurden mit Ultraschall in einem Aceton Bad behandelt. Die Lösung wurde dann bei 60 °C in einem Ofen getrocknet, und das Pulver durch ein 125 µm Sieb durchsiebt, um größere Fragmente zu entfernen;
- etwa 10 mg des durch Sieben erhaltenen Pulvers wurden in 200 ml destilliertem und filtriertem Wasser dispergiert, mit der Zugabe von 0.2 ml Tensid (*Dioctylnatriumsulfosuccinat*, $C_{20}H_{37}NaO_7S$, CAS-Nr. 577-11-7), gemischt und für 5 Minuten mit Ultraschall behandelt ;
- ohne die Lösung dekantieren lassen, 3 x 2.5 ml wurden aus 3 verschiedenen Ebenen (Boden – Mitte – Oberfläche) des Bechers entnommen, für insgesamt 7.5 ml Lösung;
- die Lösung wurde durch eine Polycarbonatmembran filtriert (25 mm Durchmesser und Porosität von 0.6 µm), mit Hilfe einer unter Depression gesetzte Bürette und eines Trichters, auf dem die Membran gelegt wurde;
- die Membran mit ihrer Last von Suspension wurde dann bei 50 °C in einem Ofen getrocknet und mit einer Präzisions-Analysenwaage gewogen;
- die Membran wurde schließlich mit Hilfe eines leitfähigen doppelseitigen Klebstoff auf einem Al-*stub* angebracht und mit Graphit metallisiert (Abb. 2). Es wurde die Metallisierung mit Graphit ausgewählt (anstatt Au), um bessere Ergebnisse mit der EDS Mikroanalyse zu erhalten.

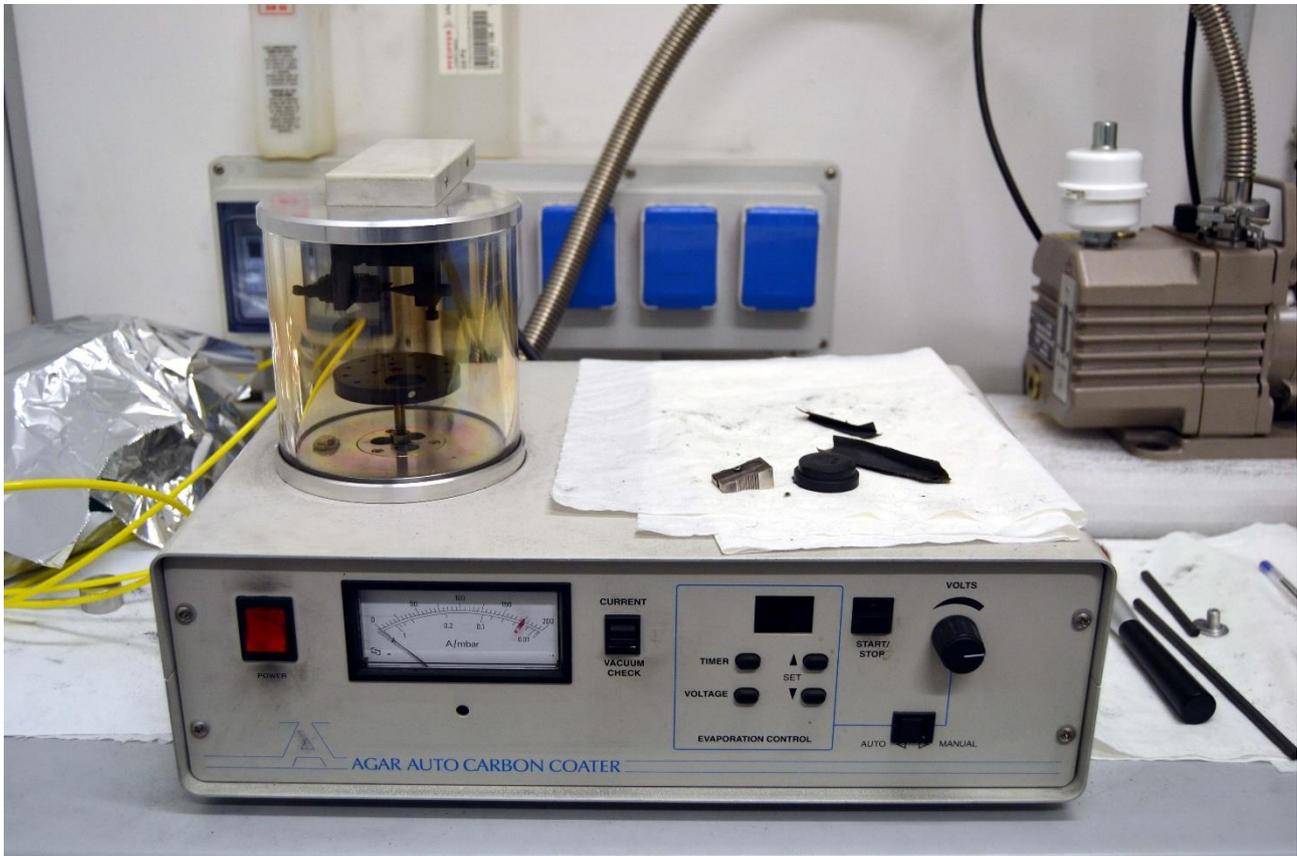


Abbildung 2: Graphit Metallisator CARBON COATER Edwards 5150B.

ERGEBNISSE

Allgemeine Bemerkungen

Es wurde eine Polycarbonatmembran analysiert, und es wurden 40 REM-Felder bei 2000-facher Vergrößerungen untersucht (Fläche der einzelnen Feldes gleich $26570 \mu\text{m}^2$), für einer gesamt-Fläche von **1.0628 mm²** untersucht. Der Durchmesser des Stauffleckens auf der Membran ist gleich **21.85 mm**, für einer Oberfläche von **375 mm²**. Die Voranalyse, um das Vorliegen von Asbestfasern zu überprüfen, hat die folgenden Ergebnisse geliefert:

- "Sasso Corvi" Gesteinsprobe: **kein Asbest vorhanden** (keine Faser in 40 REM-Felder bei 2000-facher Vergrößerung).

Repräsentative REM-Bilder wurden erworben, sowohl in dem Sekundärelektronen -Modus (SE, *secondary electrons*), als im Rückstreuelektronenmodus (BSE, *back-scattered electrons*). Die chemische Zusammensetzung der Partikel wurde durch EDS Elektronenstrahlmikrosonde analysiert.

Besondere Aufmerksamkeit wurde auf das Vorhandensein, die Anzahl, die Größe und die chemische Zusammensetzung der Fasern gelegt. Das Volumen jeder einzelnen Faser ist annähernd die eines Zylinders, und das Gewicht mit einer durchschnittlichen Dichte von **2.6 g/cm³** für **Chrysotil** und **3.0 g/cm³** für **Amphibol Asbest** berechnet. Die Konzentration **K** der Asbest Fasern wird in mg/kg (ppm) ausgedrückt und wie folgt berechnet:

$$K = \left[A \frac{(w_c + w_a)}{n a W} \right] 10^6$$

K = Konzentration der Asbest Fasern (mg/kg = ppm);
A = Fläche der Membran (mm²);
w_c = Gesamtgewicht der Chrysotilfasern;
w_a = Gesamtgewicht der Amphibol Fasern;
n = Anzahl der geprüften REM Felder;
a = Fläche des einzelnen REM Feldes (mm²);
W = Gesamtgewicht der Probe auf der Membran (mg).

Die experimentellen Fehler sind hauptsächlich eine Funktion der Statistik der REM Analyse, sowie der Größenverteilung und Abmessung der Fasern, die beim Zerkleinern und Mahlen des Gesteines entstehen. Mit einer relativ kleinen Anzahl von Fasern, mit $n_{ff} < 30$ sind der Mittelwert und die Standardabweichung der Partikelgrößenverteilung nicht bedeutsam, so ist es nicht möglich, die relativen Fehler zu berechnen. Es wird daher nur der Fehler der Zählstatistik **1σ** angegeben: wenn wir einer *Poisson*-Verteilung der Fasern auf der Membran annehmen, der Fehler **1σ** = $\left(\frac{\Delta N}{N}\right)$ wird wie folgt berechnet: **1σ** = $\frac{1}{\sqrt{N}}$.

Die morphologischen und dimensional Kriterien für die Unterscheidung der Asbestartigen, faserigen (z.B. Chrysotil) und den nicht-faserigen Polymorphen (z.B. Antigorit/Lizardit) werden von der neuesten internationalen wissenschaftlichen Literatur angegeben [1 - 10].

Insbesondere ist es von grundlegender Bedeutung, bei dem so genannten "einatembaren" Fasern (mit L/D-Verhältnis > 3, D < 3 μm und L > 5 μm), zwischen "echten" Asbestfasern (Chrysotil und/oder Amphibol Asbest) und pseudo-Fasern zu unterscheiden (lamellar Serpentin, Antigorit und/oder Lizardit, bzw. sehr verbreitete prismatische und Nadelförmige Amphibole).

Im folgenden Paragraph sind die morphologischen und dimensional Kriterien für die Unterscheidung zwischen Chrysotil und pseudo-Fasern aufgeführt.

- 1. Lamellaren Serpentin pseudo-Fasern** (meistens Antigorit, kleine Mengen an Lizardit): Partikel mit lamellaren bis nadelförmigen Kristallhabitus (**pseudo - faserig**), gerader prismatischer Morphologie, mit planparallelen Spaltoberflächen, rechteckige und nicht ausgefranste Endungen, Durchmesser > 0.2 bis 0.3 μm (in der Regel > 0.5 – 0.6 μm), deren chemische Zusammensetzung und Morphologie mit nadelförmigen, pseudo - faserige **lamellaren Serpentin** Fragmente $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$ kompatibel ist. Es gibt keine Beweise über Fibrillen/Bündel von Fibrillen und/oder ausgefransten Enden. Die korrekte Unterscheidung dieser pseudo-faserige (in geometrischen und "rechtlichen" Sinn) Serpentin Fragmente ist oft nur durch Beobachtungen bei großer Vergrößerung möglich (bis zu 120000-facher Vergrößerung). Diese lamellare Serpentin Polymorphe sind **nicht** als Asbest betrachtet: obwohl die chemische Zusammensetzung (nachweisbar in EDS) identisch mit Chrysotil ist (Mg/Si Verhältnis, Spuren von Al und Fe), besitzen Sie nicht die typischen Asbest Merkmale und Eigenschaften (Fibrillen, Fibrillenbündel, usw.). Die pseudo-faserigen lamellaren Serpentin Fragmente sind in der Regel häufiger bei den schiefrigen Serpentin Sorten („*Serpentinoscisto*“), wo die Serpentin Kristalle einem hohen Aspektverhältnis besitzen, aufgrund der mylonitischen Mikrostruktur (starke duktile Verformung). Die zuverlässige Klassifizierung besonders problematische „Fasern“ (kleine, überlappende Partikel), würde jedoch den Rückgriff auf Untersuchungen mit anderen Analysetechniken erfordern (TEM, Transmissionselektronenmikroskopie, SAED – *selected area electron diffraction pattern*). Vom chemischen Standpunkt aus (EDS und/oder WDS Mikroanalyse), besitzt Chrysotil einen Gehalt an Mg + Si > 39.5% und Al + Fe + Mn + Cr <1.5%, während Antigorit hat einen höheren Gehalt an Al + Fe + Mn + Cr hat, und Mg + Si <39.5%. Jedoch gibt es eine Überlappung zwischen den chemischen Zusammensetzungen der beiden Polymorphen, sowie eine bedeutende natürliche Variabilität in Abhängigkeit von der Herkunft der Proben. Die chemische Analyse allein bietet keinen ausreichenden und sicheren Elementen zur Unterscheidung dieser Polymorphe.
- 2. Chrysotil:** im Vergleich zu lamellaren Serpentin, besitzen die **Chrysotil** $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$ Fasern einen kreisförmigen Querschnitt und eine „zylindrische“ Morphologie, sowie unregelmäßige, gebogene, ausgefranste Enden, Durchmesser < 0.2 μm , und öfters werden sie in Bündeln von Fibrillen gefunden. Wie von Cattaneo et al. (2012) [1] belegt, und von Cavallo & Rimoldi (2013) [2] ist es möglich, die Fibrillen von Chrysotil von den lamellaren Serpentin pseudo - Fasern zu unterscheiden, auf Basis von morphologischen Kriterien (Abb. 3) und einen *cut-off* Durchmesser (0.25 μm , Abb. 4). Chrysotil ist in der Regel in Form von isolierten Fibrillen, manchmal in Fibrillenbündel gefunden. Gelegentlich haften die einzelnen Fibrillen auf andere Teilchen und bilden Aggregate.

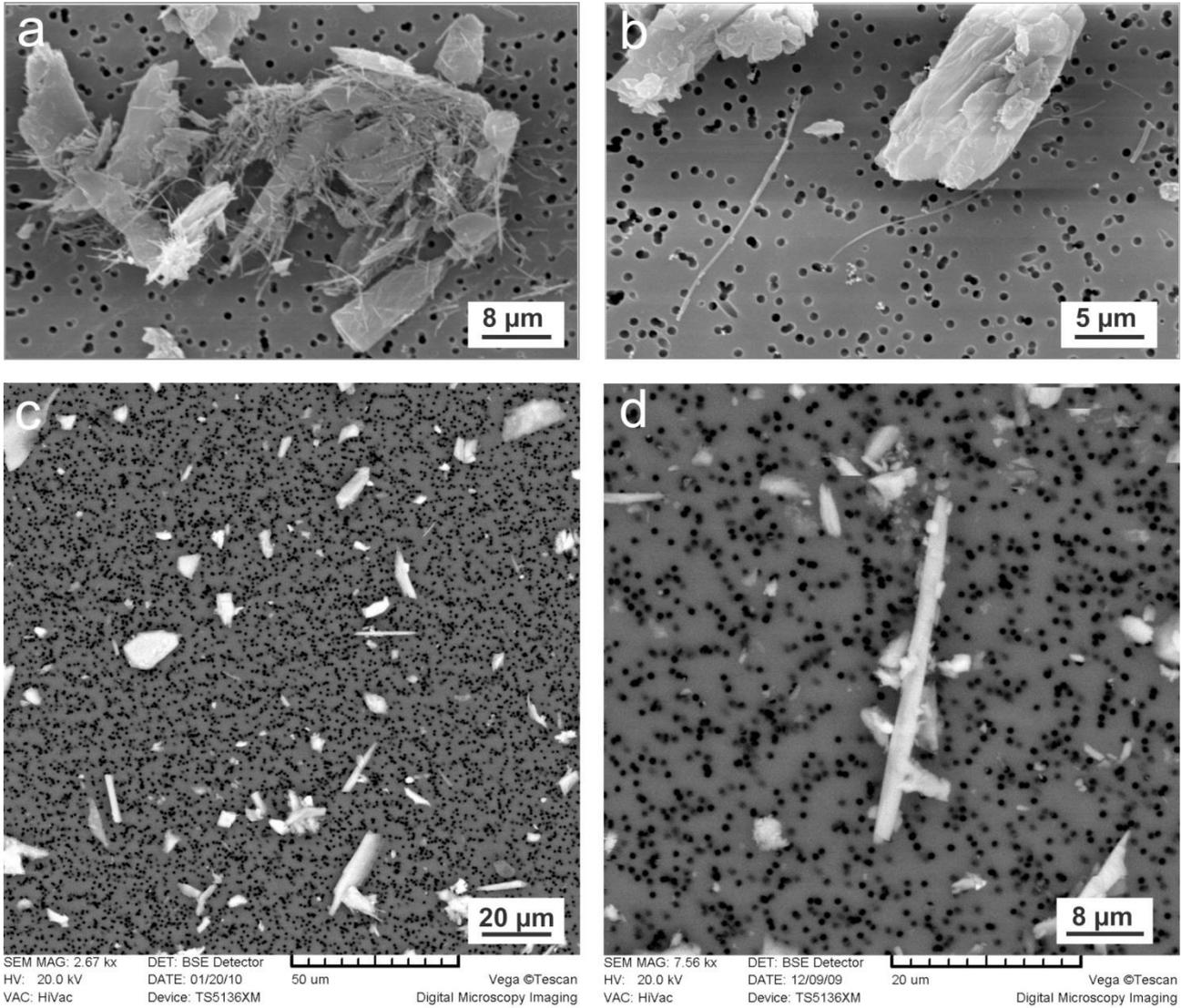


Abbildung 3: morphologische Unterschiede zwischen Chrysotil Fibrillen (a-b) und pseudo – faserige lamellar Serpentin (Antigorit) Teilchen (c-d), auf Polycarbonatmembranen von Schwebstaub Proben aus Serpentin Steinbrüchen. Nach Cavallo & Rimoldi, 2013 [2].

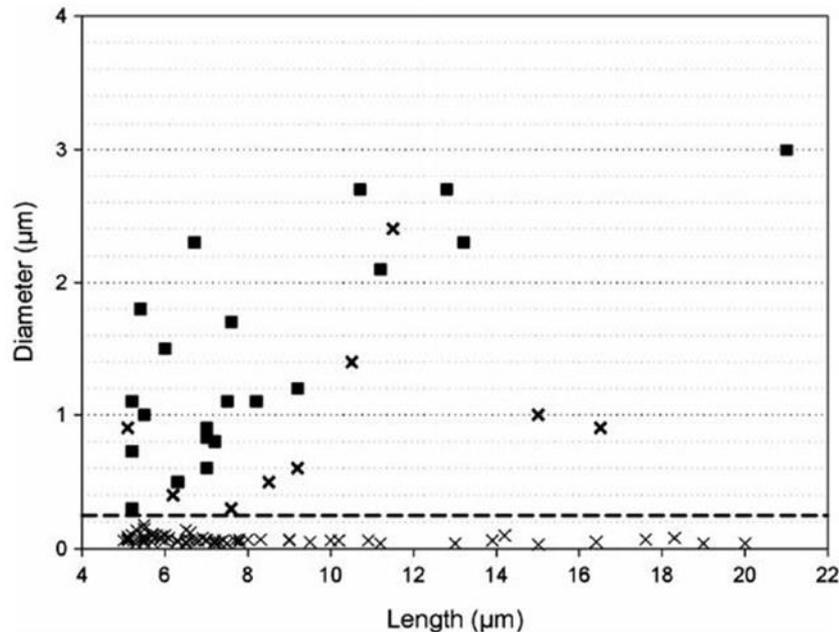


Fig. 4. TEM dimensional analysis of airborne serpentine WHO fibres. Thin crosses = chrysotile fibrils, thick crosses = chrysotile bundles, and black squares = antigorite fibres. The dashed line shows the width threshold that separates the chrysotile single fibre region from the antigorite single fibre region.

Abbildung 4: cut-off Durchmesser für die Unterscheidung zwischen Chrysotil Fibrillen und pseudo – faserige lamellaren Serpentin (Antigorit) Teilchen, von Schwebstaub Proben aus Serpentin Steinbrüchen. Nach Cattaneo et al., 2012 [1].

Die Diskussion über Asbest im "natürlichen" Umfeld (NOA – *naturally occurring asbestos*) ist ein sehr komplexes Thema, nicht vergleichbar mit den industriellen Kontexten, wegen der Anwesenheit von **nicht-asbestartigen Polymorphe** (z.B. Antigorit und Lizardit, im Falle des Serpentin), oder von Mineralien, die genau die gleiche chemische Zusammensetzung von Asbest Sorten haben, jedoch **ohne asbestartigen Krystallhabitus** (wesentliche Voraussetzung für die Definition von Asbest). Diese Besonderheit wird nie in den industriellen Bereich und in asbesthaltigen Produkten gefunden, weil diese Polymorphe nicht verwendet werden, da sie nicht die technischen Eigenschaften besitzen (z. B. Spinnbarkeit, Zugfestigkeit, Bündel von Fibrillen, usw.). Über die Unterschiede in der Gefährlichkeit zwischen Asbest und nicht-asbestartige Polymorphe (*cleavage fragments*), gibt es genügend wissenschaftliche Literatur, mit erheblichen Unterschieden in Zytotoxizität (nicht vorhanden bei nicht-asbestartige Polymorphe).

Hauptmineralphasen der Gesteinsprobe

In der nachstehenden Tabelle 3 sind in der Reihenfolge der Häufigkeit die wichtigsten Mineralphasen der Gesteinsprobe aufgeführt.

Tabelle 3: Hauptmineralphasen der Gesteinsprobe "Sasso Corvi".

Probe	Mineralphasen	Relative Häufigkeit
"Sasso Corvi"	Serpentin (Antigorit) $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$;	++
	Olivin $(Mg, Fe)_2SiO_4$;	++/+
	Pyroxen (Diopsid) $(Ca, Na)(Mg, Fe^{+2}, Al)(Si, Al)_2O_6$;	O
	Chlorit $(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn, Al)_{12}[(Si, Al)_8O_{20}](OH)_{16}$;	O
	Magnetit $(Fe, Mg)Fe_2O_4$;	O/-
	Chromit $(Fe, Mg)(Cr, Al)_2O_4$;	-
	Fe, Ni und Cu Sulfide ;	-
	Ti-clinohumit $M_8Si_4O_{16}Ti_x(OH)_{2-2x}O_{2x}$; M = Mg, Fe^{2+} , Mn, Ni; $0 < x < 0.5$;	-
	Ilmenit $FeTiO_3$;	-
Metall-Legierungen (Fe-Ni, Cu).	--	

- ++ = sehr reichlich vorhanden (> 25 wt.%)
- + = reichlich vorhanden (10 – 25 wt.%)
- O = vorhanden (2 – 10 wt.%)
- = Spuren (0.5 - 2 wt. %)
- = geringe Spuren (≤ 0.5 wt.%)

Analyse der Fasern

Serpentin Asbest (Chrysotil):

Es wurden keine Chrysotil [$Mg_3(OH)_4Si_2O_5$] Asbestfasern festgestellt. Die Kriterien für die Unterscheidung zwischen Chrysotil und nicht asbestartige Polymorphe (Antigorit/Lizardit) stammen aus der neuesten internationalen wissenschaftlichen Literatur [1-10].

Es wurden große Mengen an **lamellar Serpentin** festgestellt (Antigorit, seltener Lizardit), manchmal in Form von nadelförmigem, pseudo - faserige Fragmenten, die die dimensional/geometrischen Kriterien von "Faser" ($L > 5 \mu m$ $\varnothing < 3 \mu m$, $L/\varnothing > 3$) entsprechen, sowie die gleiche chemische Zusammensetzung wie Chrysotil (Mg/Si Verhältnis). Jedoch zeigte eine genauere Untersuchung bei hoher Vergrößerung, dass diese pseudo - faserige Fragmente das Produkt der mechanischen Zersplitterung von lamellar Serpentin sind laminierten (*cleavage fragments* - Spaltfragmente). Diese lamellaren Serpentin Polymorphe (Antigorit/ Lizardit) werden nicht als Asbest eingestuft: obwohl die chemische Zusammensetzung identisch mit Chrysotil ist, besitzen sie nicht die typischen Asbest Eigenschaften (Fibrillen, Bündel von Fibrillen, Durchmesser der einzelnen Fibrillen $< 0.3 \mu m$, etc.). Für die korrekte Unterscheidung gewisser problematischer Partikel, würde aber die Verwendung von anderen Analysetechniken (TEM-SAED, Transmissionselektronenmikroskopie – *selected area electron diffraction*) notwendig sein.

Amphibol Asbest:

Es wurden keine Amphibol Asbest Fasern festgestellt (Tremolit, Aktinolith, Anthophyllit, Grunerit, Riebeckit).

Asbest Konzentration und "Freisetzungindex"

In Tabelle 4 wird der Asbestgehalt der Proben (mg/kg = ppm) und der „Freisetzungindex“ (F.I.) aufgeführt. Für die Berechnung des F.I. wird ein Wert von 90% der relativen Dichte in Betracht gezogen, wie von der wissenschaftlichen Literatur angegeben [3, 7].

Die gesetzliche Asbestgehalts-Grenze für Natursteine (Ministerialdekret D. M. 14. Mai 1996 „Green Stones“), ist **F.I. < 0.1**.

Aus Gründen der Klarheit und Vollständigkeit, und unter Berücksichtigung der "umstrittenen" Definition des „Freisetzungindex“ (siehe Anmerkung), wird ebenfalls der **Wert in ppm (mg/kg)** angegeben. Für Erdböden und Gesteine aus Baugruben, ist die gesetzliche Grenze bei **1000 ppm (0.1%** bezogen auf das Gewicht).

Tabelle 4: Asbest Konzentration und "Freisetzungindex"

Gesteinsprobe	Konzentration (mg/kg = ppm)			Freisetzungindex*
	Serpentin Asbest (1σ) [n. Fasern]	Amphibol Asbest (1σ) [n. Fasern]	Gesamt Asbest (1σ) [n. Fasern]	
"Sasso Corvi"	< LOD# [0]	< LOD# [0]	< LOD# [0]	I.R. < 0.01

- # LOD = *limit of detection* - Nachweisgrenze, ca. 50 - 100 ppm.
- 1σ = Fehler ausschließlich der REM Zählstatistik.
- *F.I. = *Freisetzungindex*, definiert als $F.I. = \frac{\% \text{ freigesetztes Asbest}}{\% \text{ relative Dichte}}$, während % *relative Dichte* ist definiert als $\frac{\text{Schüttdichte}}{\text{absolute Dichte}}$. Die Definition des "Freisetzungindex", wie im Ministerialdekret D.M. 1996 berichtet, ist "abnormal", weil es ist offensichtlich, dass in der Definition der *relativen Dichte* ein "%" fehlt, oder gibt es ein "%" mehr in der Formel des F.I.. Es ist klar, dass der Grenzwert des Ministerialdekrets für den Zweck nicht geeignet ist, und muss drastisch gesenkt werden. Es würde beispielsweise ausreichen, den **F.I. = % freigesetztes Asbest** zu definieren (mg/kg, wie zum Beispiel durch ARPA der Region Emilia Romagna vorgeschlagen), so dass der Nenner entfernt wird, der gleich oder nahe 100% ist, und automatisch den F.I. Wert um 100 mal reduziert. Für die Berechnung des F.I. wird ein % Wert der *relativen Dichte* gleich 90% berücksichtigt.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. CATTANEO, A. SOMIGLIANA, M. GEMMI, F. BERNABEO, D. SAVOCA, D.M. CAVALLO, P.A. BERTAZZI (2012) - *Airborne Concentrations of Chrysotile Asbestos in Serpentine Quarries and Stone Processing Facilities in Valmalenco, Italy*, Ann. Occup. Hyg. **56/6**, 671-683.
- [2] A. CAVALLO, B. RIMOLDI (2013) - *Chrysotile asbestos in serpentinite quarries: a case study in Valmalenco, Central Alps, northern Italy*, Environ. Sci: Processes Impacts **15/7**, 1341-1350.
- [3] A.F. GUALTIERI, S. POLLASTRI, N. BURSÌ GANDOLFI, F. RONCHETTI, C. ALBONICO, A. CAVALLO, G. ZANETTI, P. MARINI, O. SALA (2014) - *Determination of the concentration of asbestos minerals in highly contaminated mine tailings: An example from abandoned mine waste of Crètaz and Èmarese (Valle d'Aosta, Italy)*. Am. Mineral., **99**, 1233 – 1247.
- [4] ISO (2002) - *Ambient air—determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles—scanning electron microscopy method 14966*, International Standard Organization Geneva, Switzerland.
- [5] M.E. GUNTER (2010) - *Defining asbestos: Differences between the built and natural environments*, Chimia **64**, 747–752.
- [6] R.J. LEE, B.R. STROHMEIER, K.L. BUNKER, D.R. VAN ORDEN (2008) - *Naturally occurring asbestos - A recurring public policy challenge*, J. Haz. Mat. **153**, 1–21.
- [7] NIOSH – DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (2011) - *Asbestos Fibers and Other Elongate Mineral Particles: State of the Science and Roadmap for Research. Revised Edition*. DHHS (NIOSH) Publication No. **2011–159**.
- [8] S. POLLASTRI, A. F. GUALTIERI, M. LASSINANTI GUALTIERI, M. HANUSKOVA, A. CAVALLO, & G. GAUDINO (2014) – *The zeta potential of mineral fibres*. J. Haz. Mat., **276**, 469 – 479.
- [9] H.C.K. SKINNER (2003) - *Mineralogy of asbestos minerals*, Indoor Built Environ. **12**, 385–389.
- [10] D.R. VAN ORDEN, K.A. ALLISON, R.J. LEE (2008) - *Differentiating amphibole asbestos from non-asbestos in a complex mineral environment*, Indoor Built Environ. **17**, 58–68.

Der zuständige Wissenschaftler



Dr. Alessandro Cavallo (Ph.D.) - Researcher
Department of Earth and Environmental Sciences
University of Milan-Bicocca
Piazza della Scienza, 4
I – 20126 Milano
Phone +39-02-6448-2027
Fax +39-02-6448-2073
Mobile +39-338-2343834
e-mail alessandro.cavallo@unimib.it
<http://www.unimib.it/go/Home/Italiano/Elenco-Docenti/cavallo-alessandro>