



UNIVERSITÀ  
DI SIENA  
1240

*Università degli Studi di Siena*

*Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente*

## **CARATTERIZZAZIONE MINERALOGICA E MICROSTRUTTURALE DEL MATERIALE INERTIZZATO**



Sezione sottile del pannello inertizzato. Si osserva una colorazione non omogenea del pannello, con una zona centrale di colore più scuro. La sezione è stata analizzata tramite SEM/EDS.

### **OSSERVAZIONI SEM**

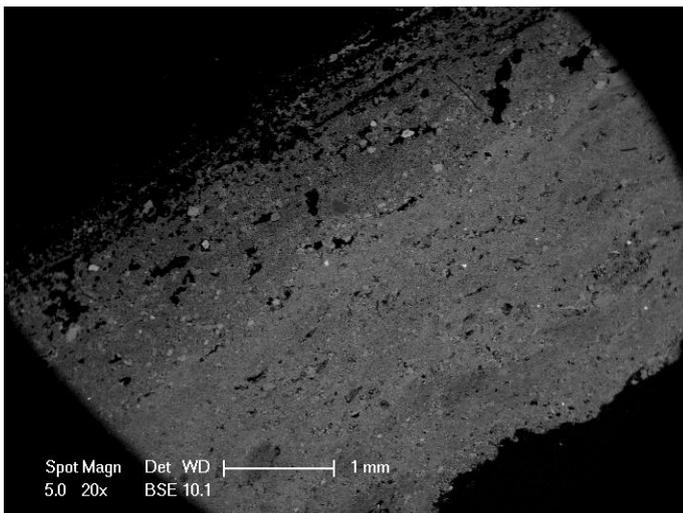


Immagine SEM/BSE a basso ingrandimento del pannello inertizzato. La zona centrale, leggermente più chiara rispetto ai bordi, corrisponde presumibilmente alla fascia più scura vista nella sezione sottile. Si osserva inoltre una distribuzione non omogenea della porosità (maggiore nella parte superiore) e dei clasti di maggiori dimensioni.

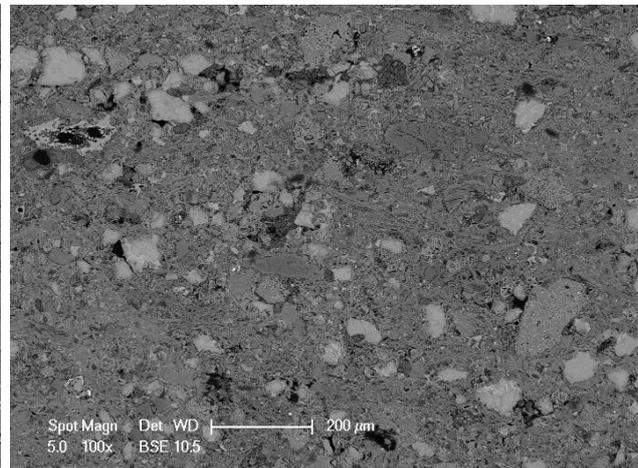
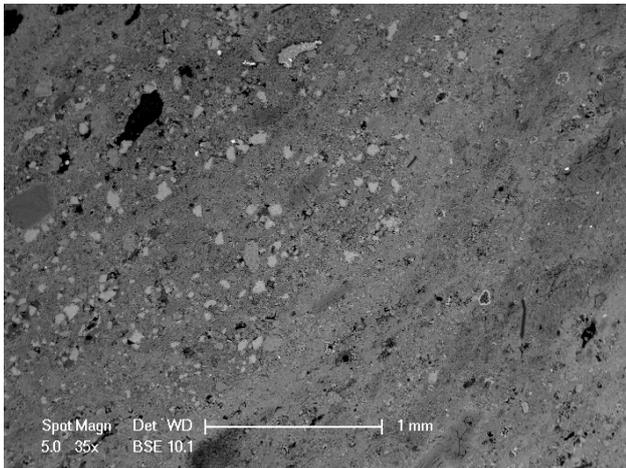
Responsabile del procedimento: .....

Compilatore del documento: .....

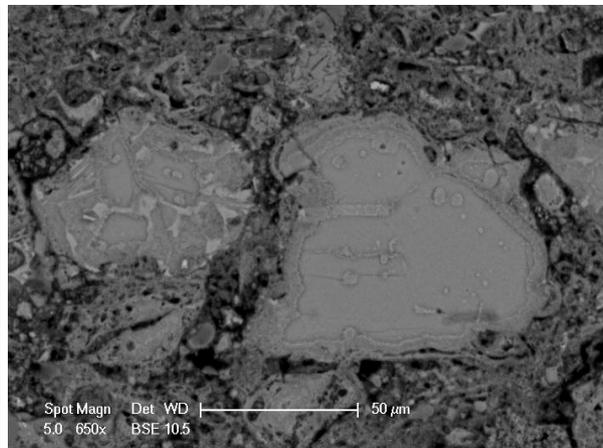
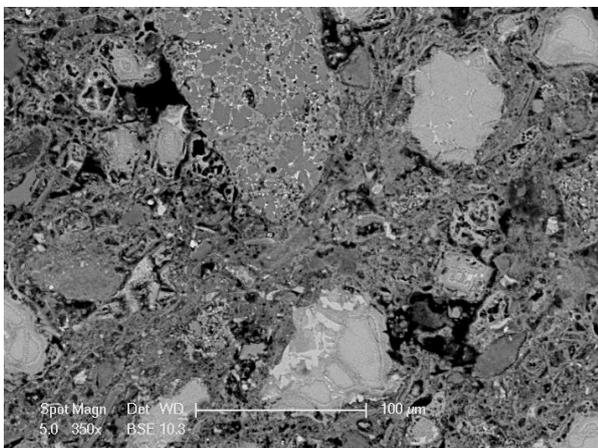
Via Laterino, 8 – 53100 Siena (Italia)

Tel. +39 0577 233927 Fax +39 0577 233933 – <http://www.unisi.it>

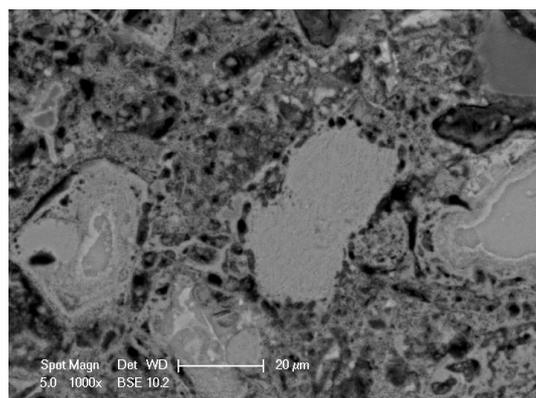
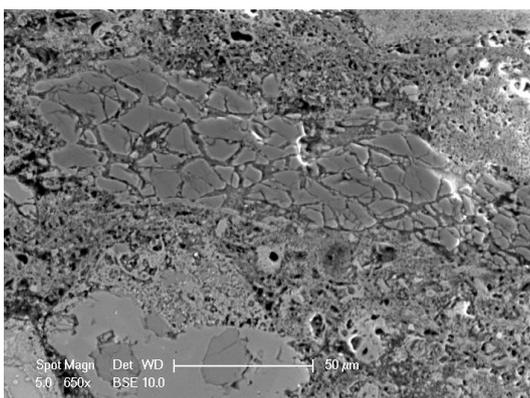
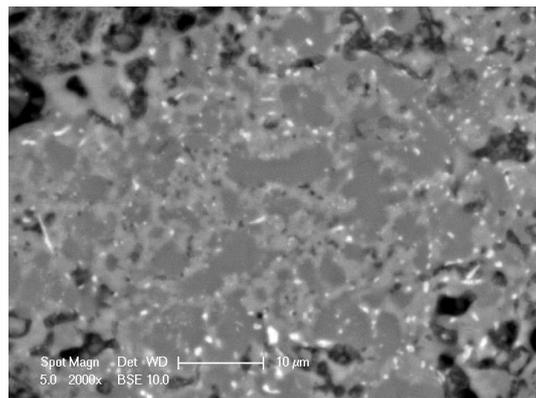
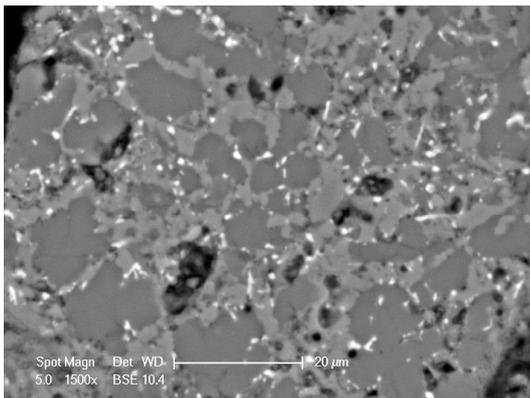
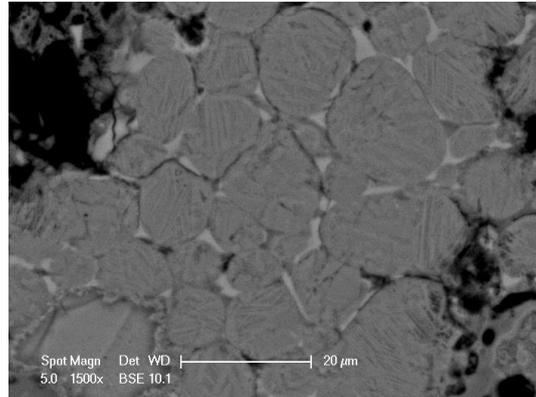
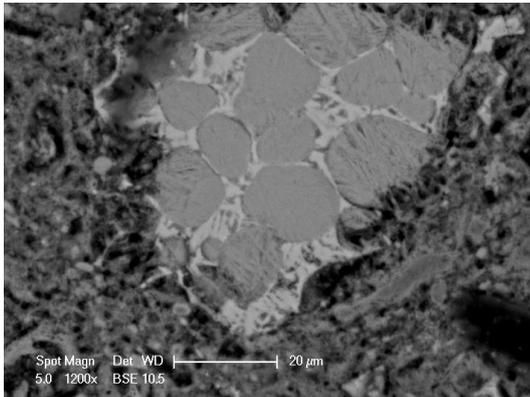
CF 80002070524 P.IVA 00273530527



Altre immagini SEM/BSE che mostrano la distribuzione non omogenea dei clasti, aventi dimensioni massime di 0.5 mm ed immersi in una matrice apparentemente omogenea ed a grana molto fine. I clasti hanno toni di grigio variabili, indicando quindi una diversa composizione chimica.



Aumentando gli ingrandimenti, si osserva che in realtà i clasti non sono chimicamente omogenei, mostrando toni di grigio variabili. Tali "clasti" sono probabilmente degli pseudomorfi: l'abito e le dimensioni sono quelle dei clasti originari presenti nel campione pre-inertizzazione, ma l'originario minerale è stato sostituito da altre associazioni minerali durante il processo di inertizzazione.



Esempi di originali clasti, parzialmente trasformati o completamente sostituiti da altre associazioni minerali. Contorni dei clasti irregolari, lobati e con bollosità sono indicativi di reazioni di decomposizione.

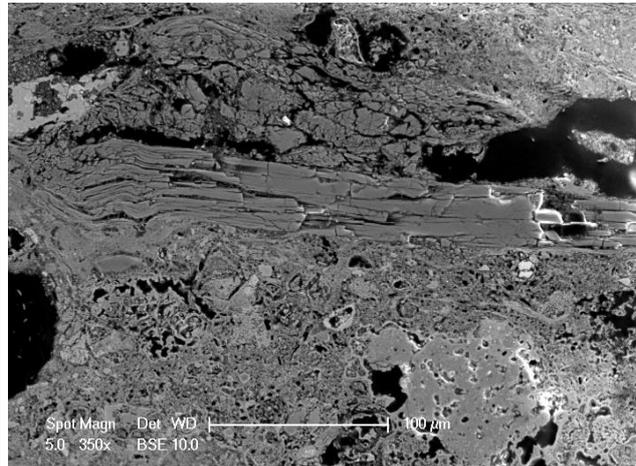
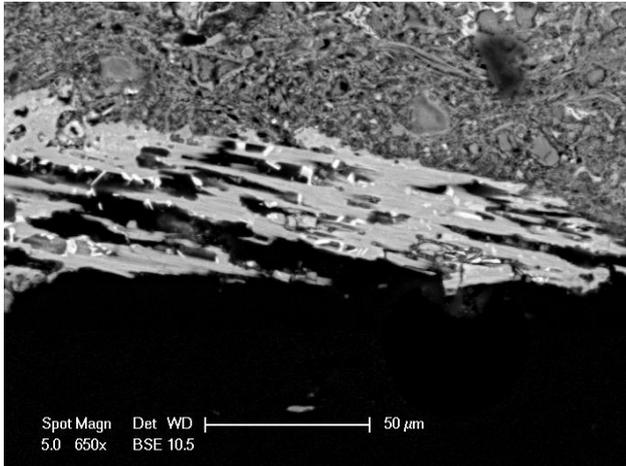
Responsabile del procedimento: .....

Compilatore del documento: .....

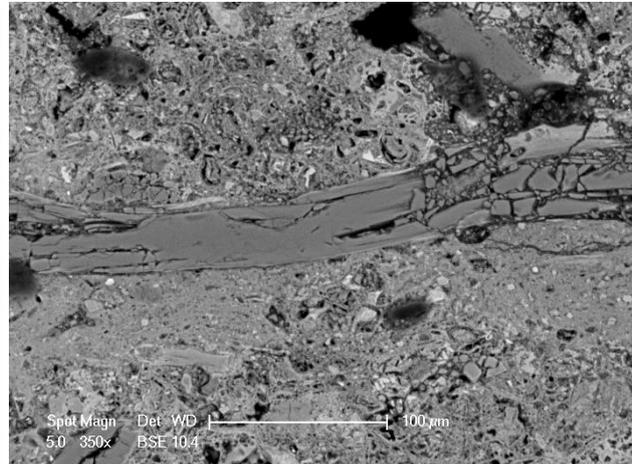
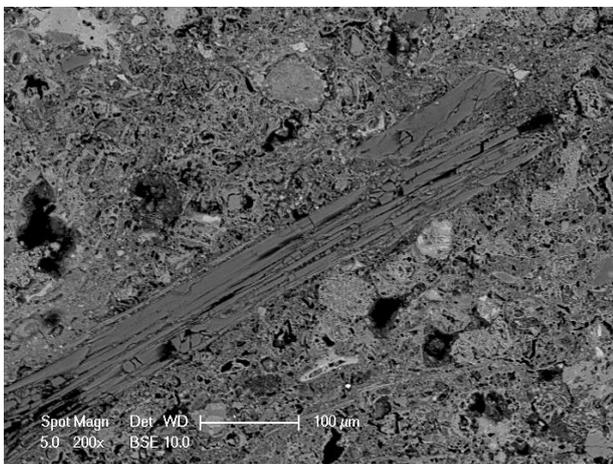
Via Laterino, 8 – 53100 Siena (Italia)

Tel. +39 0577 233927 Fax +39 0577 233933 – <http://www.unisi.it>

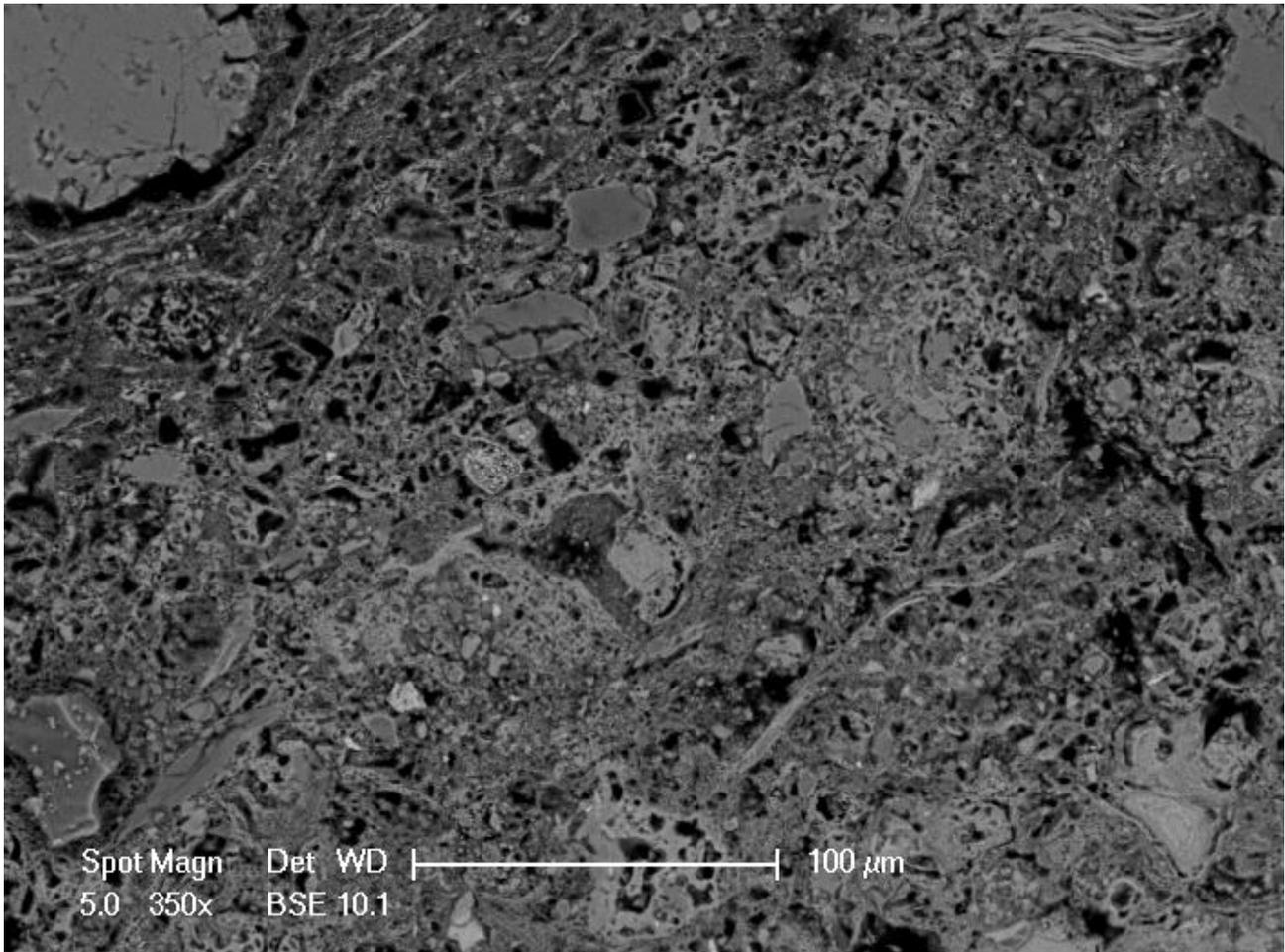
CF 80002070524 P.IVA 00273530527



Le originarie fibre di amianto mostrano anch'esse evidenze di decomposizione, reazione e trasformazione in altre fasi mineralogiche, non fibrose. Anche in questo caso, si hanno fenomeni di pseudomorfosi (*PSEUDOFIBRE*, ovvero l'abito fibroso dal minerale originario viene "ereditato" ed apparentemente mantenuto, nonostante sia costituito da cristalli nanometrici non fibrosi).



Un'altra caratteristica delle pseudofibre nel campione inertizzato è la notevole riduzione nella resistenza meccanica: a differenza di quanto osservato nel campione pre-inertizzazione, le pseudofibre mostrano un comportamento estremamente fragile, con tendenza alla fratturazione pervasiva.

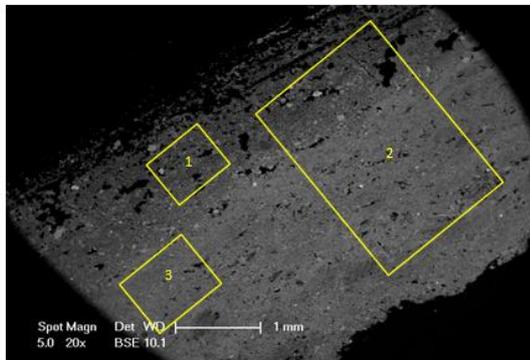


Dettaglio della matrice, all'interno della quale si osservano pseudoclasti di dimensioni variabili. La matrice è caratterizzata dalla presenza pervasiva ed abbondante di pori (neri) e dalla presenza di microgranuli e microcristalli associati a materiale apparentemente amorfo (vetro). Le caratteristiche microstrutturali della matrice sono consistenti con le trasformazioni attese ad alta temperatura (decomposizione delle fasi originarie, formazione di amorfo, ricristallizzazione di nuove fasi).



## **MICROANALISI EDS**

**A) Analisi chimica "bulk" su ampie aree della sezione** (vedi figura sottostante). La composizione chimica nelle varie porzioni non è del tutto omogenea. Ca, Si ed Al sono gli elementi più abbondanti, seguiti da Mg e Fe.



*1 - Zona più porosa, superiore.*

Elem	Wt %	Mol %	K-Ratio	Z	A	F
MgO	5.45	8.11	0.0155	0.9964	0.4713	1.0051
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>11.97</b>	7.04	0.0363	0.9670	0.5885	1.0071
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>32.27</b>	32.22	0.0996	0.9951	0.6608	1.0041
K <sub>2</sub> O	0.23	0.15	0.0018	0.9455	0.9277	1.0587
<b>CaO</b>	<b>45.44</b>	48.61	0.3008	0.9676	0.9556	1.0015
FeO	4.64	3.87	0.0308	0.8799	0.9693	1.0000
Total	100.00	100.00				

*2 - Area molto ampia, che interessa tutto lo spessore.*

Elem	Wt %	Mol %	K-Ratio	Z	A	F
MgO	7.63	11.16	0.0218	0.9962	0.4729	1.0048
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>10.63</b>	6.15	0.0317	0.9668	0.5782	1.0069
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>31.04</b>	30.48	0.0954	0.9950	0.6584	1.0041
K <sub>2</sub> O	0.34	0.21	0.0026	0.9453	0.9289	1.0597
<b>CaO</b>	<b>46.03</b>	48.43	0.3047	0.9675	0.9561	1.0014
FeO	4.35	3.57	0.0288	0.8798	0.9689	1.0000
Total	100.00	100.00				

Responsabile del procedimento: .....

Compilatore del documento: .....

Via Laterino, 8 – 53100 Siena (Italia)

Tel. +39 0577 233927 Fax +39 0577 233933 – <http://www.unisi.it>

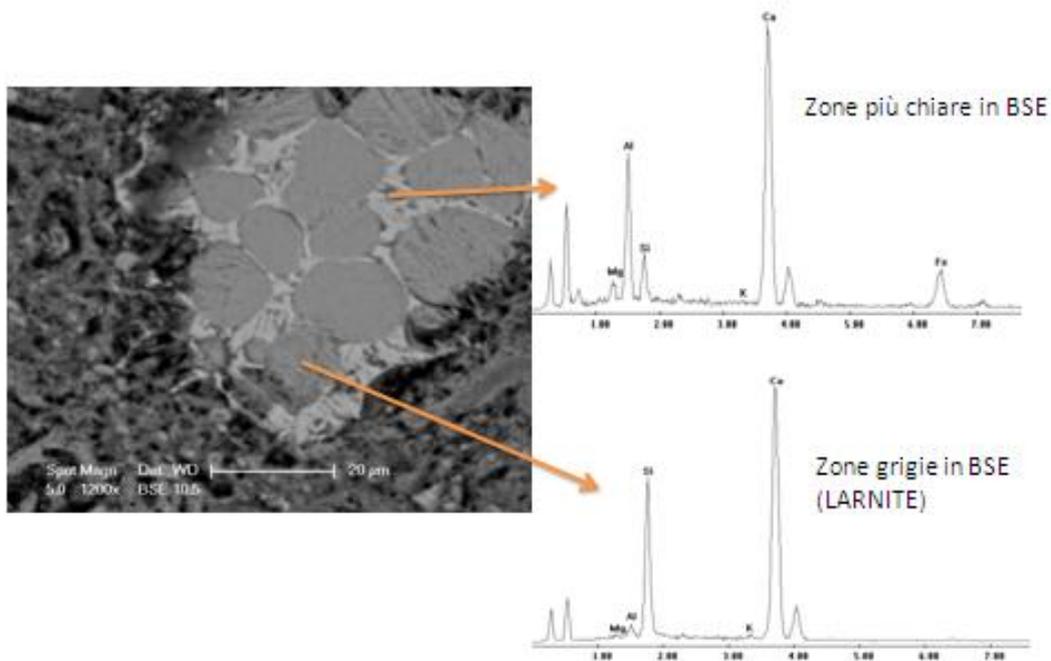
CF 80002070524 P.IVA 00273530527



3 - Zona centrale, più compatta.

Elem	Wt %	Mol %	K-Ratio	Z	A	F
MgO	5.52	7.99	0.0153	0.9980	0.4588	1.0043
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>7.63</b>	4.37	0.0227	0.9686	0.5765	1.0067
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>25.41</b>	24.69	0.0799	0.9967	0.6712	1.0054
K <sub>2</sub> O	0.51	0.32	0.0041	0.9474	0.9415	1.0792
<b>CaO</b>	<b>57.45</b>	59.80	0.3846	0.9695	0.9651	1.0011
FeO	3.48	2.83	0.0229	0.8819	0.9608	1.0000
Total	100.00	100.00				

**B) Analisi chimiche su pseudoclasti eterogenei**



Responsabile del procedimento: .....

Compilatore del documento: .....

Via Laterino, 8 – 53100 Siena (Italia)

Tel. +39 0577 233927 Fax +39 0577 233933 – <http://www.unisi.it>

CF 80002070524 P.IVA 00273530527



UNIVERSITÀ  
DI SIENA  
1240

Università degli Studi di Siena

Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente

*Composizioni chimiche tipo LARNITE ( $Ca_2SiO_4$ )*

Elem	Wt %	Mol %	K-Ratio	Z	A	F
Na <sub>2</sub> O	0.62	0.58	0.0010	0.9709	0.3197	1.0023
MgO	0.94	1.34	0.0019	0.9952	0.4594	1.0047
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.22	0.69	0.0027	0.9659	0.6028	1.0090
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>34.62</b>	33.20	0.0830	0.9939	0.7263	1.0060
<b>CaO</b>	<b>62.08</b>	63.78	0.2935	0.9668	0.9683	1.0002
FeO	0.52	0.42	0.0025	0.8793	0.9576	1.0000
Total	100.00	100.00				

*Formula corrispondente :*

*Ca<sub>1.90</sub> Fe<sub>0.01</sub> Al<sub>0.03</sub> Mg<sub>0.04</sub> Na<sub>0.03</sub> Si<sub>0.99</sub> Al<sub>0.01</sub> O<sub>4</sub>*

*Composizioni chimiche in ZONE PIU' CHIARE tipicamente associate a larnite*

Elem	Wt %	Mol %	K-Ratio	Z	A	F
MgO	4.25	6.83	0.0109	1.0094	0.4191	1.0042
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>23.82</b>	15.14	0.0672	0.9796	0.5422	1.0034
SiO <sub>2</sub>	8.72	9.40	0.0238	1.0081	0.5759	1.0040
K <sub>2</sub> O	0.44	0.30	0.0035	0.9588	0.9348	1.0642
<b>CaO</b>	<b>46.19</b>	53.38	0.3127	0.9811	0.9602	1.0055
<b>FeO</b>	<b>16.58</b>	14.95	0.1115	0.8927	0.9694	1.0000
Total	100.00	100.00				

Responsabile del procedimento: .....

Compilatore del documento: .....

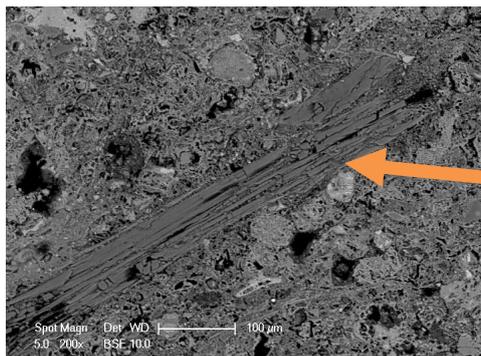
Via Laterino, 8 – 53100 Siena (Italia)

Tel. +39 0577 233927 Fax +39 0577 233933 – <http://www.unisi.it>

CF 80002070524 P.IVA 00273530527



### c) Analisi chimiche su pseudofibre



In corrispondenza di pseudofibre (ex-crisotilo), si possono ottenere analisi molto più ricche in Mg rispetto al resto della sezione, con rapporti cationici simili a quelli attesi per l'olivina magnesiaca (*FORSTERITE*). Considerate le dimensioni submicrometriche della forsterite (verificata in microscopia elettronica a trasmissione, TEM), le analisi non sono da considerarsi monofasiche e sono probabilmente affette da problemi di contaminazione.

Elem	Wt %	Mol %	K-Ratio	Z	A	F
Na <sub>2</sub> O	0.36	0.29	0.0008	0.9585	0.4395	1.0075
<b>MgO</b>	<b>48.19</b>	58.33	0.1197	0.9826	0.5990	1.0039
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.60	0.29	0.0010	0.9537	0.4691	1.0063
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>47.93</b>	38.93	0.0931	0.9816	0.5993	1.0001
K <sub>2</sub> O	0.18	0.09	0.0009	0.9305	0.8852	1.0016
CaO	1.12	0.97	0.0051	0.9525	0.9232	1.0007
FeO	1.61	1.10	0.0079	0.8650	1.0025	1.0000
Total	100.00	100.00				

Elem	Wt %	Mol %	K-Ratio	Z	A	F
Na <sub>2</sub> O	0.27	0.21	0.0006	0.9587	0.4446	1.0077
<b>MgO</b>	<b>48.60</b>	59.19	0.1085	0.9828	0.6055	1.0039
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.65	0.79	0.0026	0.9539	0.4703	1.0062
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>46.53</b>	38.01	0.0802	0.9817	0.5963	1.0002
K <sub>2</sub> O	1.75	0.91	0.0078	0.9306	0.8861	1.0005
CaO	0.28	0.25	0.0012	0.9527	0.9179	1.0004
FeO	0.93	0.64	0.0041	0.8651	1.0020	1.0000
Total	100.00	100.00				

Responsabile del procedimento: .....

Compilatore del documento: .....

Via Laterino, 8 – 53100 Siena (Italia)

Tel. +39 0577 233927 Fax +39 0577 233933 – <http://www.unisi.it>

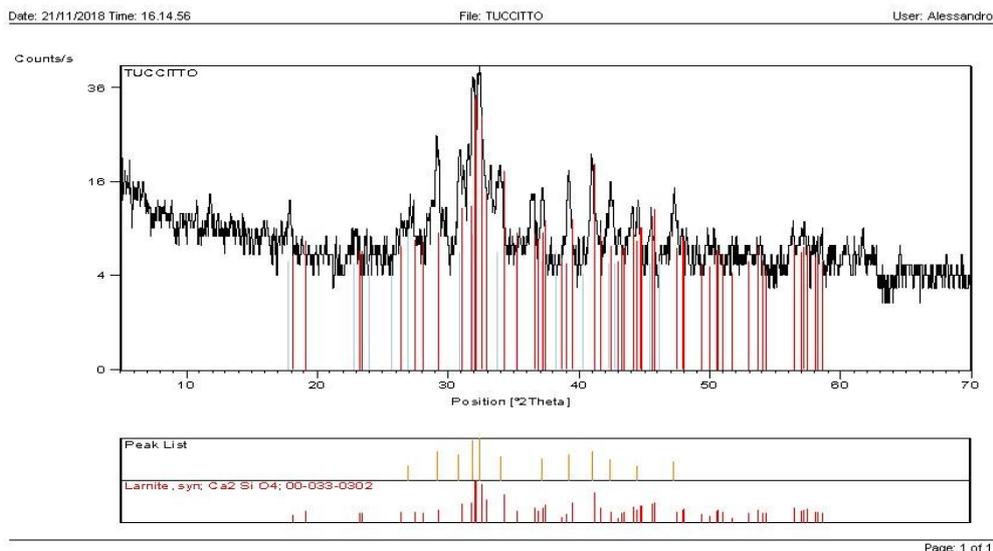
CF 80002070524 P.IVA 00273530527



## **DATI DI DIFFRATTOMETRA A RAGGI X (XRD)**

Sono stati raccolti tre diffrattegrammi X:

- Campione "bulk" (polvere ottenuta macinando un frammento rappresentativo dell'intero pannello inertizzato)
- Pseudofibre bianche, selezionate dal pannello inertizzato
- Pseudofibre azzurre, selezionate dal pannello inertizzato.



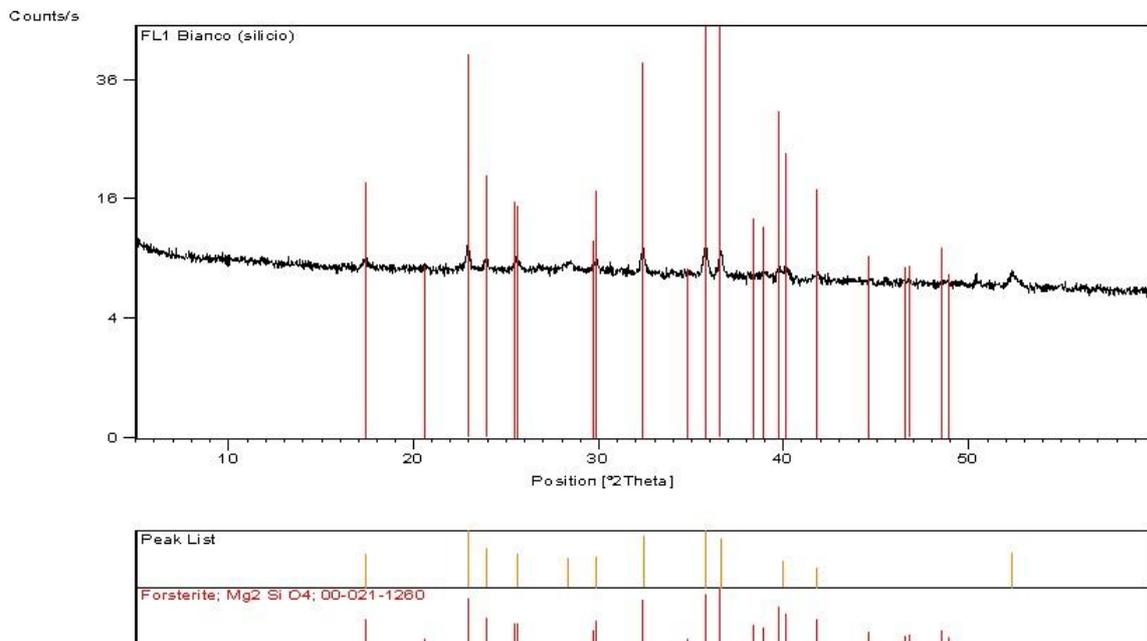
Diffrattegramma del **campione "bulk" inertizzato**. La principale fase cristallina individuata nel campione è la **LARNITE** (nesosilicato di composizione  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ). Le basse intensità dei picchi ed il non ottimale rapporto picco/fondo suggeriscono che il campione sia in buona parte costituito da **MATERIALE AMORFO/VETROSO** e che la larnite sia presente in quantità subordinate, in cristalli di dimensioni ridotte. Tale risultato è consistente con le osservazioni eseguite al SEM/EDS.



Date: 28/11/2018 Time: 10.18.45

File: FL1 Bianco (silicio)

User: Alessandro



Page: 1 of 1

Diffattogramma a raggi X eseguito sulle sole **pseudofibre di colore bianco (originario crisotilo)**, selezionate dal pannello inertizzato. Le righe rosse corrispondono ai picchi della **FORSTERITE** (nesosilicato di Mg, con formula  $Mg_2SiO_4$ ), tipico prodotto della decomposizione termica del serpentino. Si sottolinea la completa scomparsa dei picchi del serpentino (crisotilo), in particolare del picco diagnostico a circa  $12^\circ$  in  $2\theta$  (picco del riflesso 001 a  $7\text{\AA}$ ).

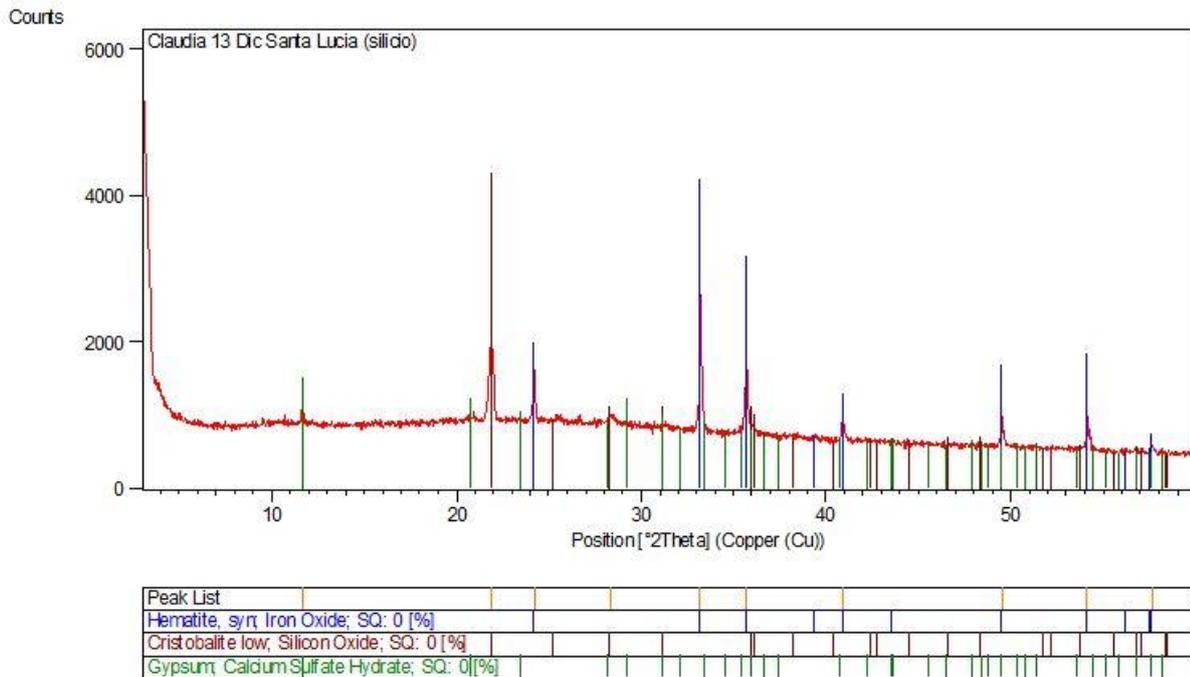
Responsabile del procedimento: .....

Compilatore del documento: .....

Via Laterino, 8 – 53100 Siena (Italia)

Tel. +39 0577 233927 Fax +39 0577 233933 – <http://www.unisi.it>

CF 80002070524 P.IVA 00273530527

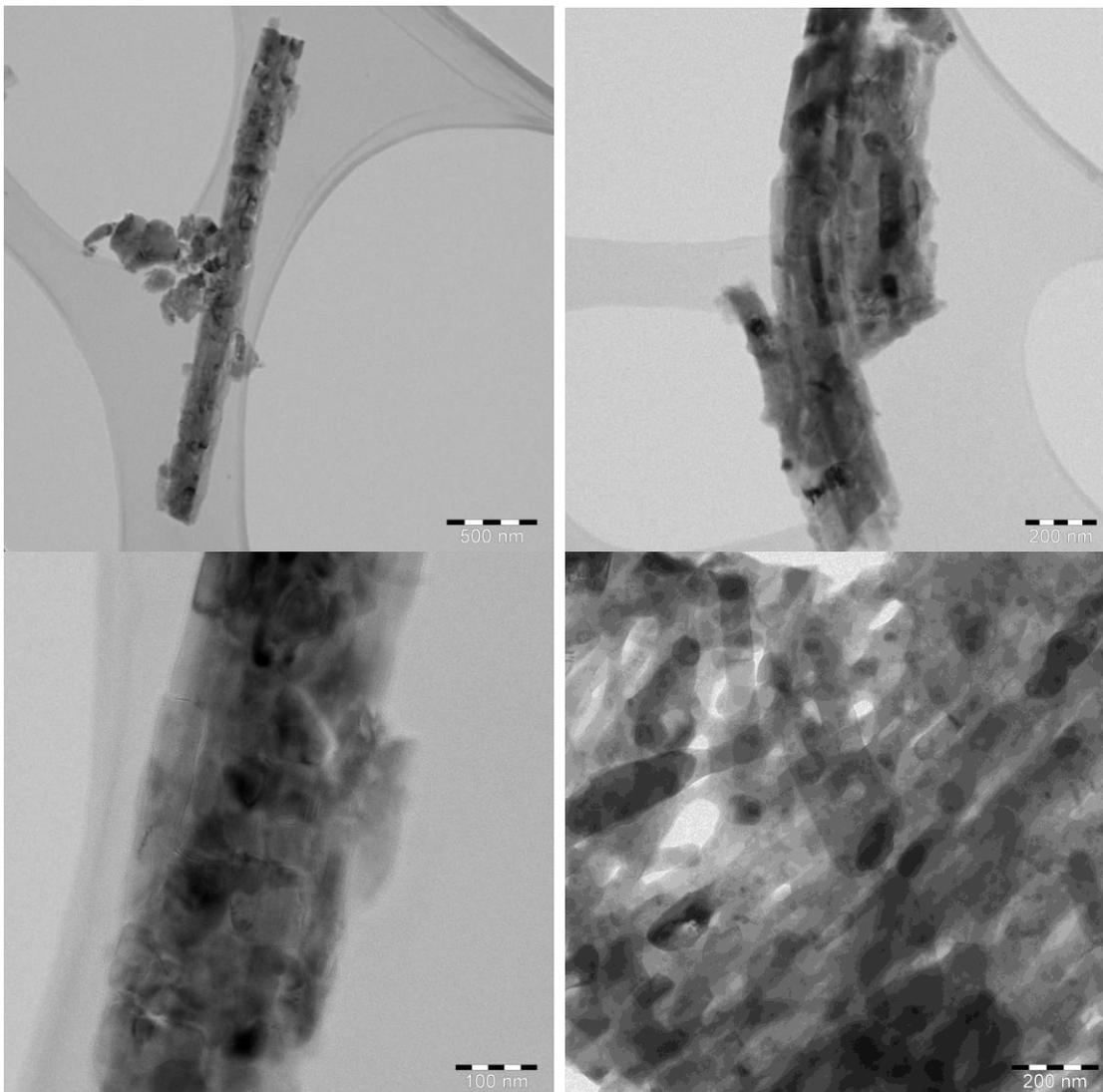


Diffattogramma a raggi X eseguito sulle sole **pseudofibre di colore scuro (originaria crocidolite)**, selezionate dal pannello inertizzato. Il diffattogramma mostra la completa scomparsa della crocidolite, sostituita prevalentemente da cristalli di ematite e cristobalite (fase della  $\text{SiO}_2$  di alta T).



### **OSSERVAZIONI TEM SU FIBRE INERTIZZATE**

Al fine di verificare in maniera inequivocabile la nanostruttura dei prodotti inertizzati, è stata condotta una indagine in microscopia elettronica a trasmissione (TEM) su entrambe le varietà di pseudofibre (originari crisotilo e crocidolite). In entrambi i casi, le pseudofibre non corrispondono più a monocristalli di serpentino fibroso ed anfibolo fibroso, rispettivamente, ma risultano costituite da nanocristalli granulari associati a materiale amorfo/vetroso. I cristalli nanogranulari corrispondono a forsterite, ematite e cristobalite, in accordo con dati XRD.



Responsabile del procedimento: .....

Compilatore del documento: .....

Via Laterino, 8 – 53100 Siena (Italia)

Tel. +39 0577 233927 Fax +39 0577 233933 – <http://www.unisi.it>

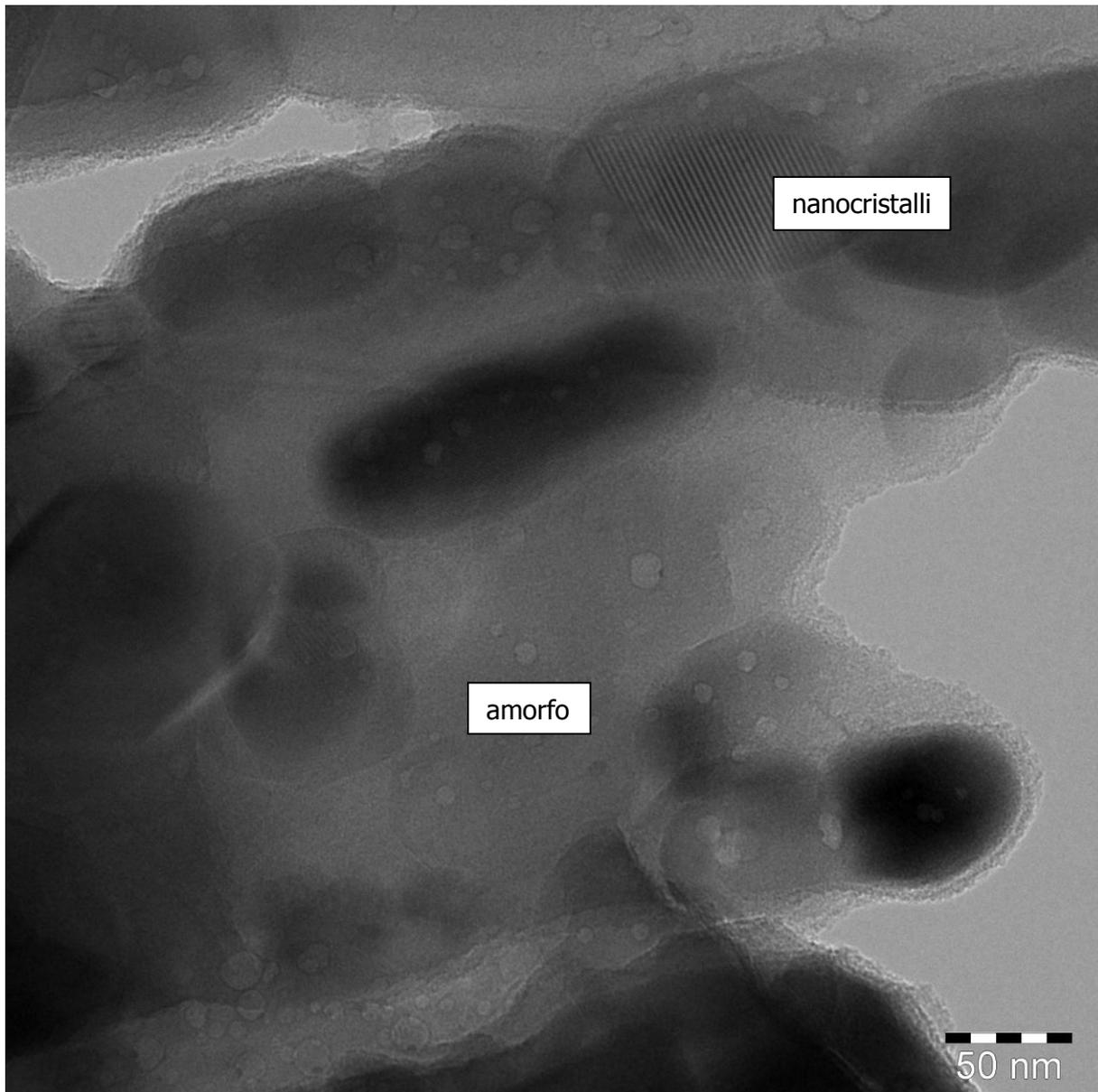
CF 80002070524 P.IVA 00273530527



UNIVERSITÀ  
DI SIENA  
1240

*Università degli Studi di Siena*

*Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente*



Responsabile del procedimento: .....

Compilatore del documento: .....

Via Laterino, 8 – 53100 Siena (Italia)

Tel. +39 0577 233927 Fax +39 0577 233933 – <http://www.unisi.it>

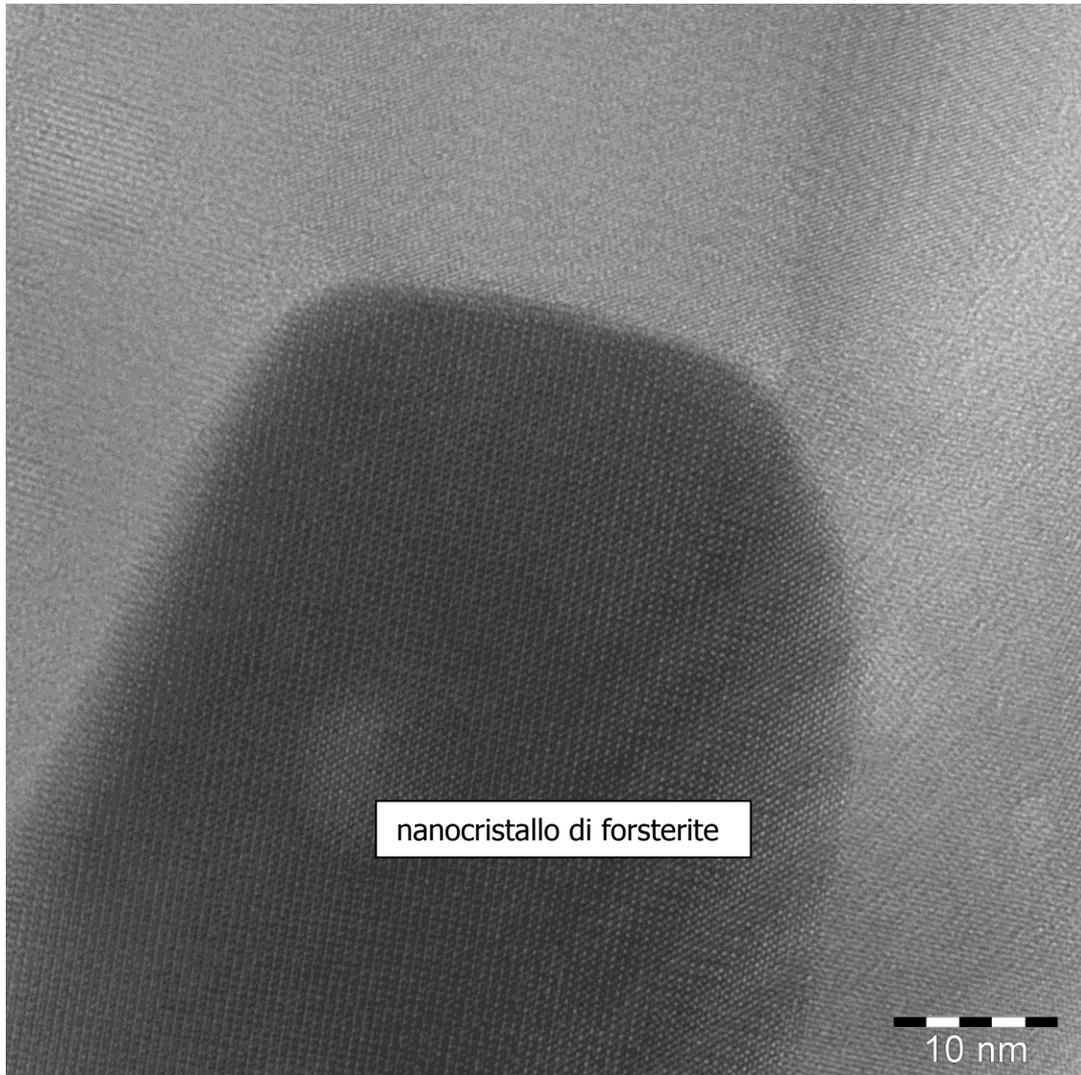
CF 80002070524 P.IVA 00273530527



UNIVERSITÀ  
DI SIENA  
1240

*Università degli Studi di Siena*

*Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente*



Siena 11 dicembre 2018

Prof.ssa Cecilia Viti

*Cecilia Viti*