




Sommario


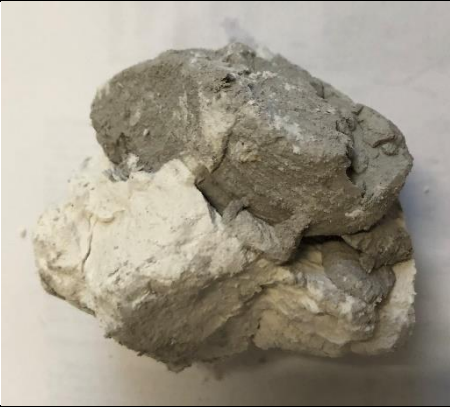
RECUPERO E VALORIZZAZIONE DEGLI SCARTI DI LAVORAZIONE LAPIDEA PER LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE	2
PARTE 1: Caratterizzazione analitica	2
PARTE 2: Proposte di valorizzazione.....	30
Conclusioni	32

RECUPERO E VALORIZZAZIONE DEGLI SCARTI DI LAVORAZIONE LAPIDEA PER LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

PARTE 1: Caratterizzazione analitica

Cinque campioni di residui di trattamenti industriali di materiali inorganici, sotto forma di polvere agglomerata per la presenza di acqua, sono stati recuperati e caratterizzati in vista del loro utilizzo in ottica di economia circolare. Sono stati identificati come:

 <p>Fango da Marmo di Carrara</p>	<p>1. Fanghi di Pietra Calcareo presi dal taglio dei blocchi per la produzione di lastre in azienda della Valpantena (Pietra lavorata, marmo di Carrara)</p>
 <p>Fango da Agglomerato</p>	<p>2. Fango di pietra artificiale del tipo "Agglomerato" presi dal taglio del blocco per la produzione di lastre in azienda della Valpantena</p>
 <p>Fango da Granito (misto)</p>	<p>3. Fango di Pietra Silicea presi dal taglio dei blocchi per la produzione di lastre in azienda della Valpantena (Pietre lavorate, graniti)</p>

	<p>4. Fanghi di Pietra Calcareea presi dal taglio dei blocchi in azienda Vicentina (Pietra lavorata: Pietra estratta dai Colli Berici)</p>
	<p>5. Fanghi di Pietra Calcareea presi dal taglio dei blocchi per la produzione di lastre in azienda della Valpolicella (Pietre lavorate provenienti da tutto il mondo)</p> <p>NOTA: il campione contiene parti grigie e bianche</p>

I materiali sono stati studiati e caratterizzati attraverso diverse tecniche:

- ESEM (microscopia elettronica a scansione ambientale) che permette di raccogliere micrografie elettroniche di campioni bagnati o non conduttivi, come i materiali inorganici, direttamente senza rivestimento in oro. Così, la morfologia reale può essere osservata senza alcuna modifica (LFD). Nelle micrografie, registrate in modalità back scattering (BSD), le parti del campione contenenti elementi più pesanti (numero atomico più alto e numero di elettroni più alto, es. Si, Ca, Fe) appaiono di colore più chiaro (bianco), per distinguere le parti con elementi con numero atomico più basso (es. C). Inoltre, lo strumento (disponibile nei laboratori CEASC dell'UNIPD) può effettuare analisi di fluorescenza a raggi X per identificare gli elementi che sono presenti nel campione in quantità semiquantitative.
- Spettroscopia infrarossa con trasformata di Fourier (FTIR) per identificare i gruppi chimici funzionali nei campioni. Gli spettri possono essere raccolti in trasmittanza o in modalità di riflessione totale attenuata (ATR). La tecnica può essere usata per tutti i tipi di campioni (solidi, liquidi e gas).
- Diffrazione della polvere di raggi X (XRD) che è una potente tecnica non distruttiva per caratterizzare i materiali cristallini. Fornisce informazioni su strutture, fasi, orientamenti cristallini preferiti (texture), e altri parametri strutturali, come la dimensione media dei grani, la cristallinità, la deformazione e i difetti cristallini. I picchi XRD sono prodotti dall'interferenza costruttiva di un fascio monocromatico di raggi X sparsi ad angoli specifici da ogni serie di piani reticolari in un campione. Di conseguenza, il modello XRD è l'impronta digitale delle disposizioni atomiche periodiche in un dato

materiale. Una ricerca online di un database standard per i modelli di diffrazione delle polveri a raggi X permette una rapida identificazione della fase per una grande varietà di campioni cristallini.

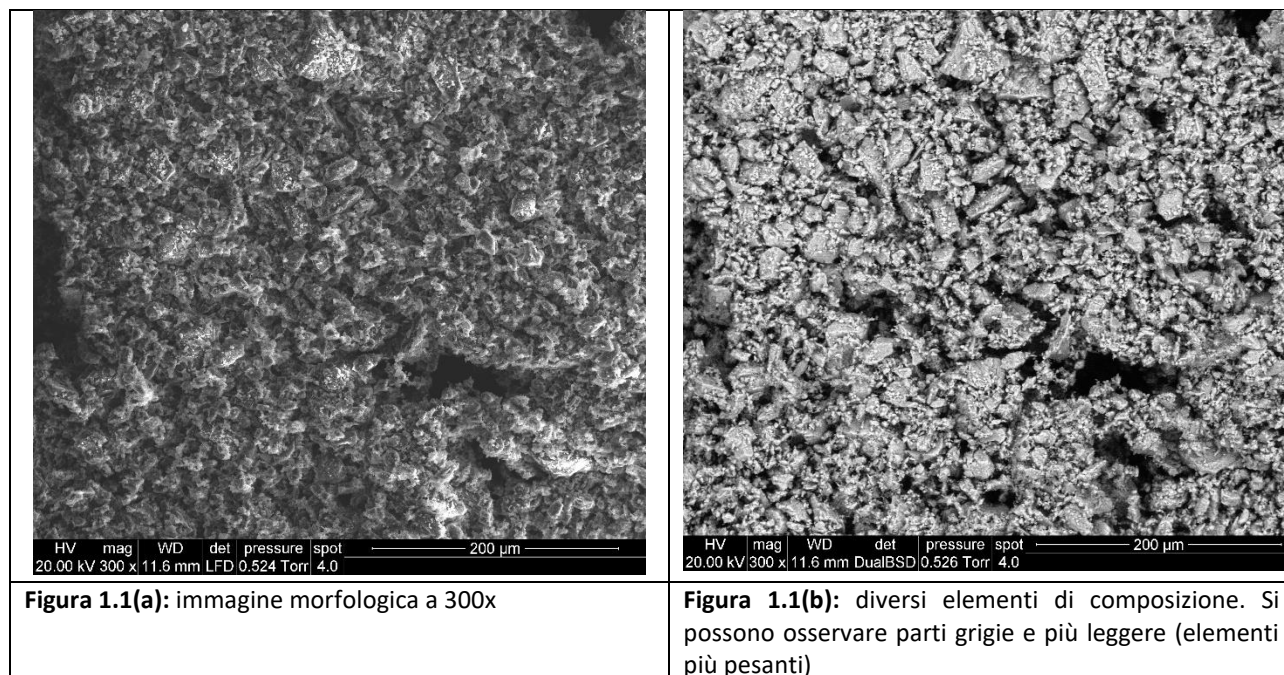
CAMPIONE 1. MARMO

Il campione si presenta come una pasta bianca, composta da particelle di polvere molto fine.

Una valutazione media della quantità d'acqua è stata effettuata riscaldando 3 campioni (raccolti dalla parte interna della pasta) in forno a 105°C per 12 ore (solo il peso non viene ulteriormente ridotto): il valore ottenuto è circa 1-2 %.

Le figure 1.1(a) e 1(b) mostrano le micrografie del campione 1 raccolte in modalità LFD (mostrando la morfologia) e in modalità DualBSD (mostrando la diversa composizione) a 300x (ingrandimento).

In Figura 1.2 è riportata un'immagine del campione a maggiore ingrandimento (3000 x).



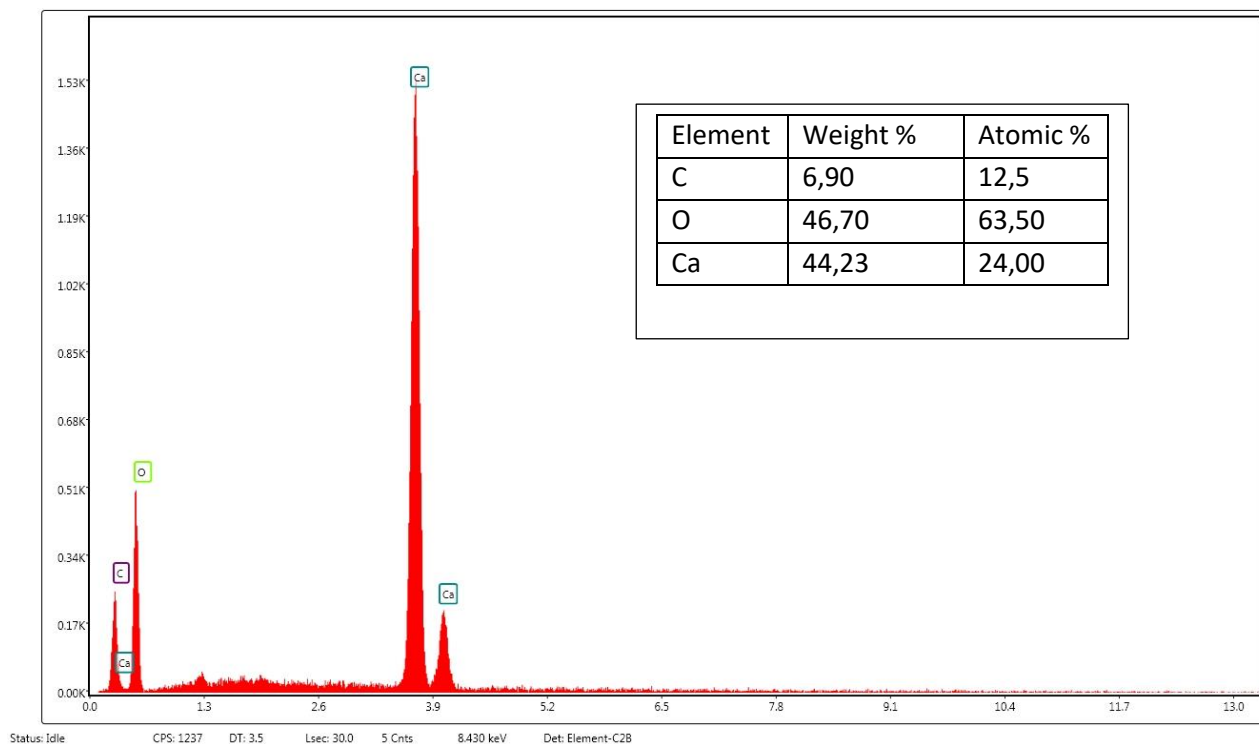
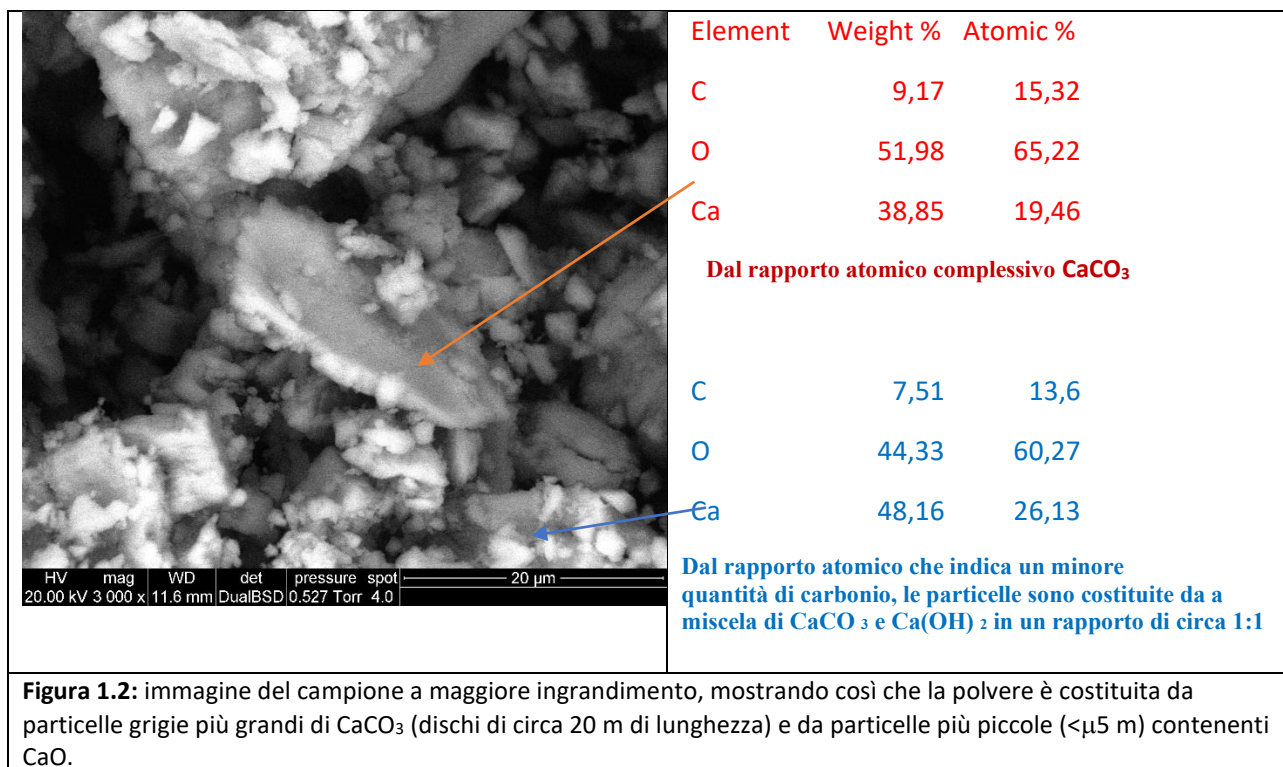


Figura 1.3: Analisi XRF del campione 1 su un'area 200x

Raccogliendo un'analisi elementare su un'area a 200x, figura 1.3, si ottengono i seguenti valori medi, che confermano la presenza di CaCO_3 e Ca(OH)_2 in un rapporto di circa 1:1.

Si osserva anche che il materiale non contiene altri elementi, che potrebbero in caso essere presenti come tracce (< 1%).

La figura 1.4 mostra lo spettro FTIR (ATR) della polvere essiccata.

Esso mostra picchi a 1395 cm^{-1} , 872 cm^{-1} e 712 cm^{-1} che sono caratteristici del CaCO_3 .

Nessun segnale dovuto ai gruppi CH (a circa 2950 cm^{-1}) è presente, indicando l'assenza di contaminazione organica.

Nessun segnale dovuto ai gruppi OH può essere osservato: questo può essere spiegato da un rapido assorbimento di CO_2 da Ca(OH)_2 , dovuto alla polvere fine reattiva, che si è verificato durante le settimane di analisi.

L'osservazione è confermata dallo spettro XDR che indica che è presente solo calcite (CaCO_3). (Figura 1.5)

Un'ulteriore osservazione che conferma ciò è la formazione di goccioline d'acqua visibili nel contenitore del materiale originale secondo la seguente reazione:

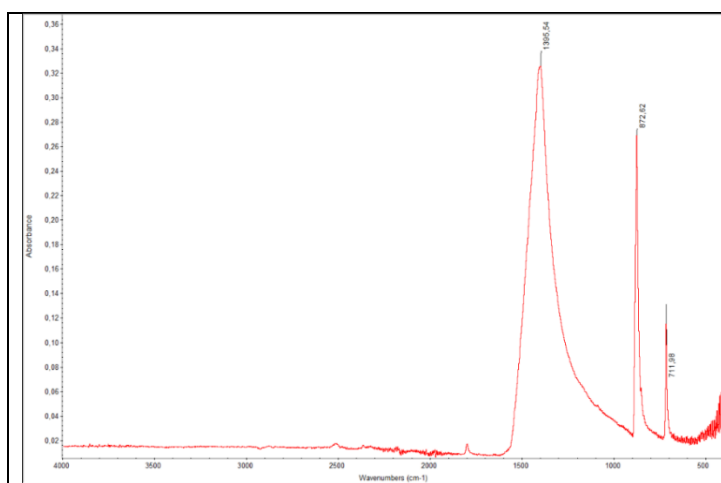
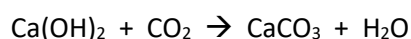


Figura 1.4: FT IR (ATR) del campione 1

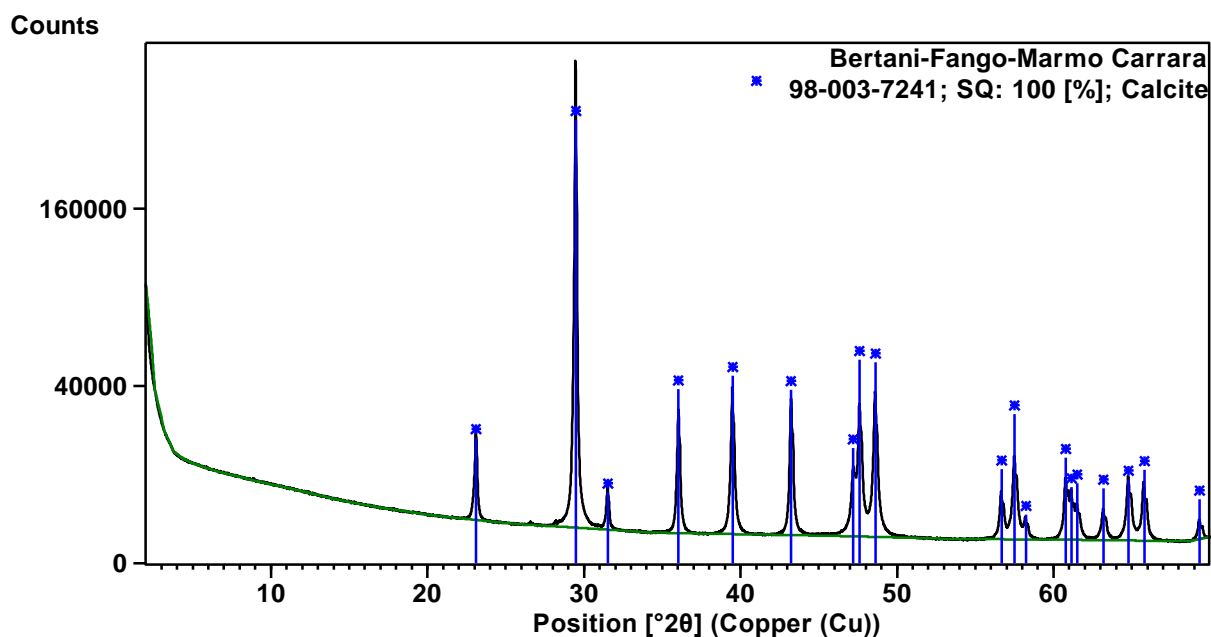


Figura 1.5: Spettro XRD del campione 1

Conclusion: il campione contiene CaCO_3 e $\text{Ca}(\text{OH})_2$ che reagisce rapidamente con la CO_2 dell'aria per convertirsi completamente in CaCO_3 .

CAMPIONE 2. AGGLOCCIMENTO

Il campione si presenta come una pasta grigio chiaro, composta da particelle di polvere molto fine.

Una valutazione media della quantità di acqua è stata effettuata riscaldando 3 campioni (raccolti dalla parte interna della pasta) in forno a 105°C per 12 ore (solo il peso non viene ulteriormente ridotto): il valore ottenuto è di circa 2-3 %.

La figura 2.1 mostra le micrografie del campione 2 raccolte in modalità DualBSD (che mostrano la diversa composizione) a 300x (ingrandimento).

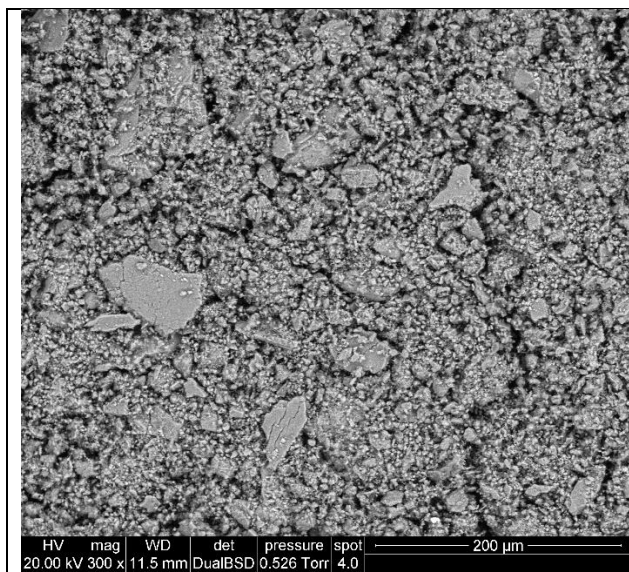
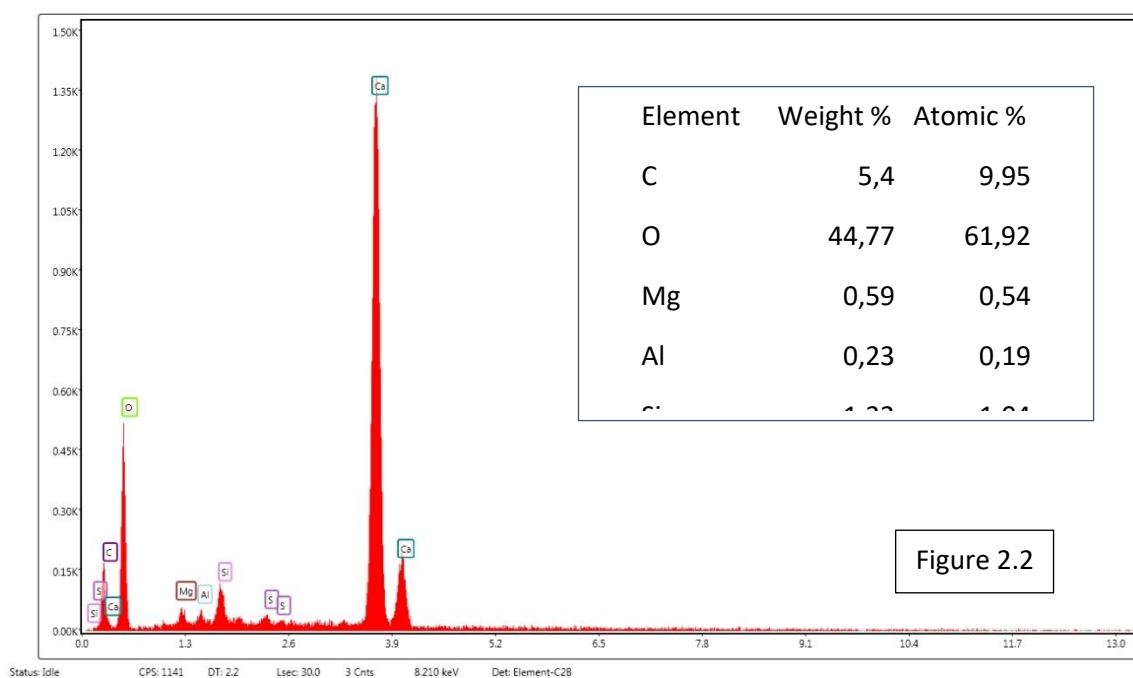


Figura 2.1: Micrografia del campione 2 a 300x.

Molte immagini raccolte mostrano che la composizione è omogenea in tutto il campione, con la presenza di particelle più grandi e più piccole.

Nella figura 2.2 è riportata l'analisi XRF. Mostra la presenza di una piccola quantità di carbonio (ragionevolmente presente come CaCO_3); di Ca(OH)_2 e silicati, con tracce di CaSO_4 .



Nella Figura 2.3 è riportata un'immagine ad un ingrandimento maggiore (3000x).

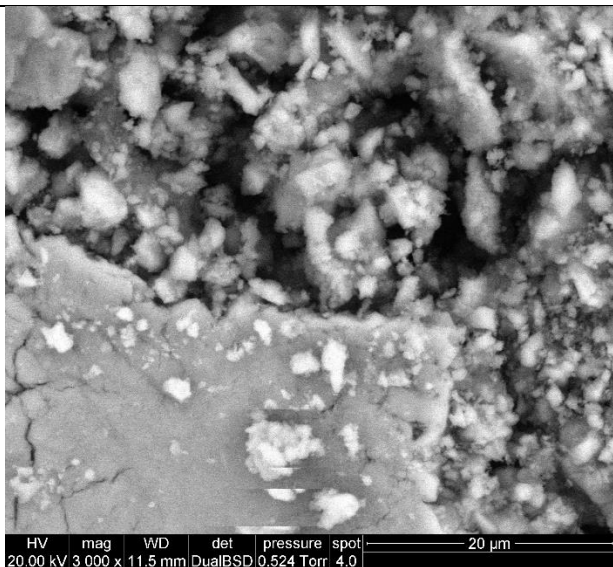
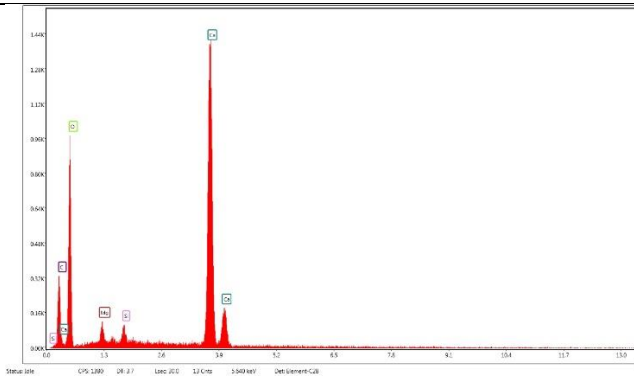


Figura 2.3:

micrografia del campione 2 a 3000x.

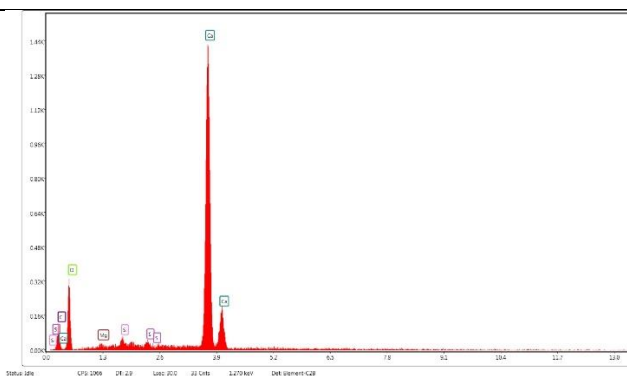
La presenza di particelle di tre dimensioni: quelle più grandi ($< 20 \mu\text{m}$) di CaCO_3 , la parte intermedia (circa $10 \mu\text{m}$) e quella più sottile ($< 5 \mu\text{m}$) che contengono miscele di CaCO_3 , Ca(OH)_2 e silicati.



Analisi delle particelle più sottili e leggere:

i silicati sono presenti in circa 1:10 tra silicati e sali di calcio.

Element	Weight %	Atomic %
C	5,85	10,71
O	44,9	61,69
Mg	0,47	0,42
Al	0,27	0,22
Si	1,48	1,16
Ca	47,02	25,79



Analisi delle particelle di dimensioni intermedie: è quasi CaCO_3 , con una quantità minore di silicate

Element	Weight %	Atomic %
C	9,36	15,5
O	51,87	64,48
Mg	1,85	1,52
Si	0,89	0,63
Ca	36,03	17,88

In Figura 2.4 è riportato lo spettro FTIR (ATR) del campione 2 essiccato. Esso mostra picchi a 1395 cm^{-1} ; 872 cm^{-1} e 712 cm^{-1} che sono caratteristici del CaCO_3 ; l'ampia banda nella regione $1000\text{-}1100 \text{ cm}^{-1}$ è dovuta ai silicati.

Non sono presenti segnali dovuti a gruppi CH, indicando l'assenza di una contaminazione organica. Nessun segnale dovuto a gruppi OH può essere osservato: questo può essere spiegato con un rapido assorbimento di CO_2 da $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dovuto alla sottile polvere reattiva, avvenuta nelle settimane di esecuzione delle analisi.

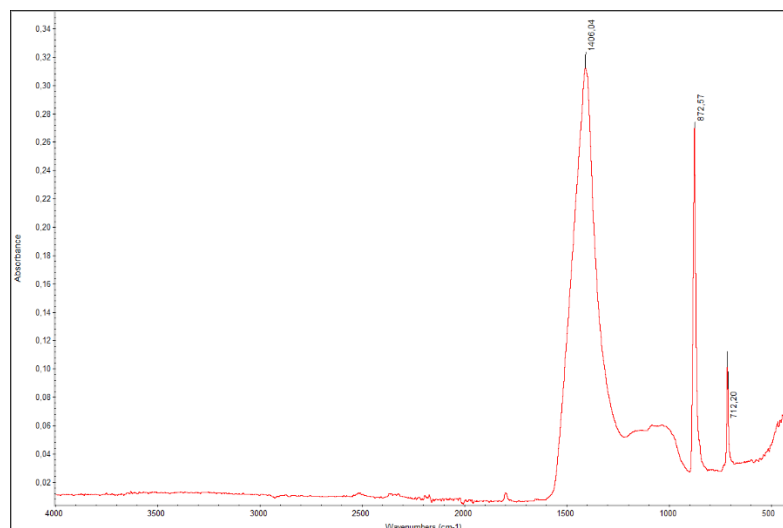


Figura 2.4: Spettro FTIR (ATR) del campione 2

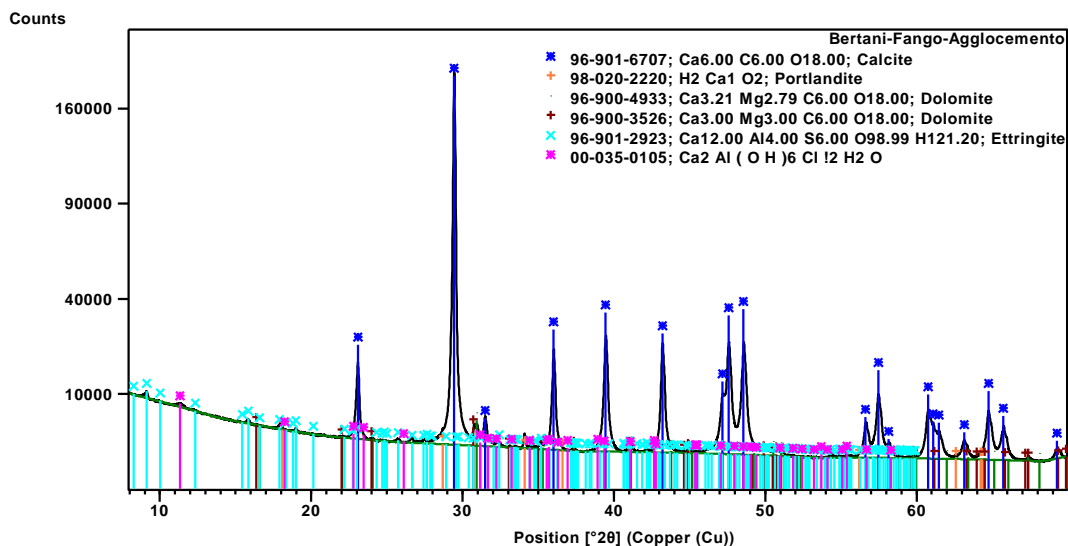


Figura 2.5: Spettro XRD del campione 2

Lo spettro XRD del campione 2 (Figura 2.5) mostra la presenza di CaCO_3 in grande quantità, insieme a $\text{Ca}(\text{OH})_2$, e tracce di alluminati e silicati.

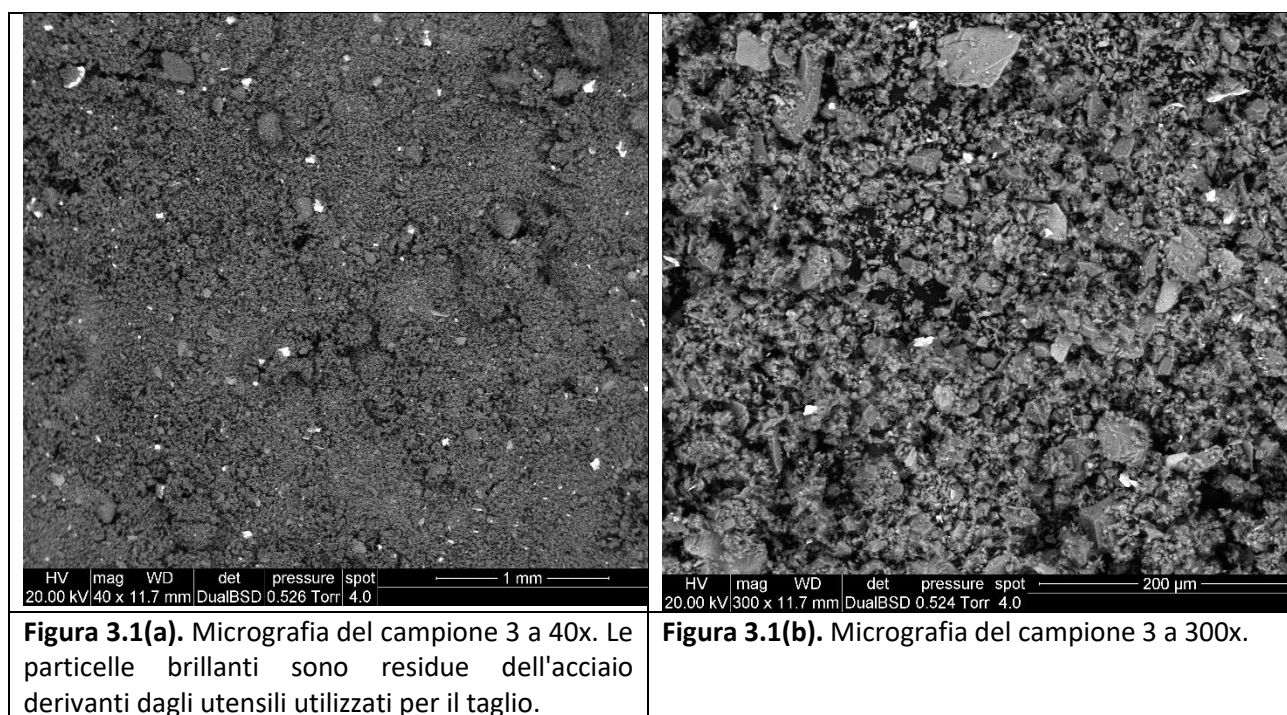
Conclusione: il campione contiene CaCO_3 , dolomite, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e piccole quantità di silicati

CAMPIONE 3. GRANITO

Il campione si presenta come una pasta di colore grigio più scuro, composta da particelle di polvere molto fine.

Una valutazione media della quantità di acqua è stata effettuata riscaldando 3 campioni (raccolti dalla parte interna della pasta) in forno a 105°C per 12 ore (solo il peso non viene ulteriormente ridotto): il valore ottenuto è di circa 2-3 %.

La figura 3.1(a) e (b) mostrano le micrografie del campione 3 raccolte in modalità DualBSD (che mostrano la diversa composizione) a 40x (ingrandimento) e 300x. In Figura 3.2 è riportata la composizione media su un'area a 300x.



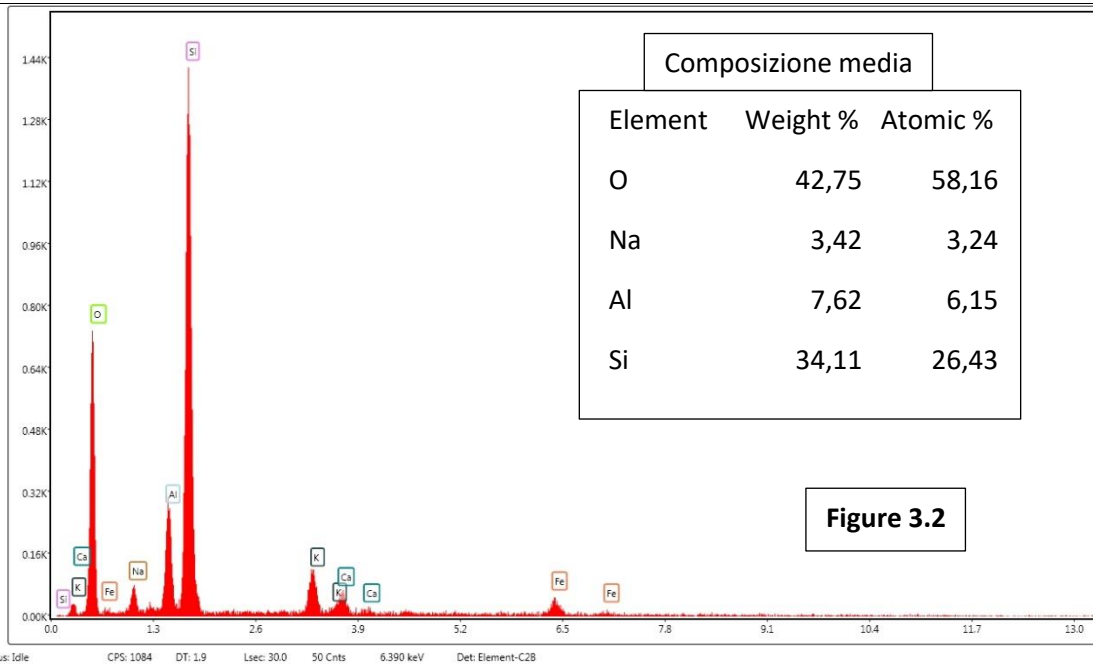
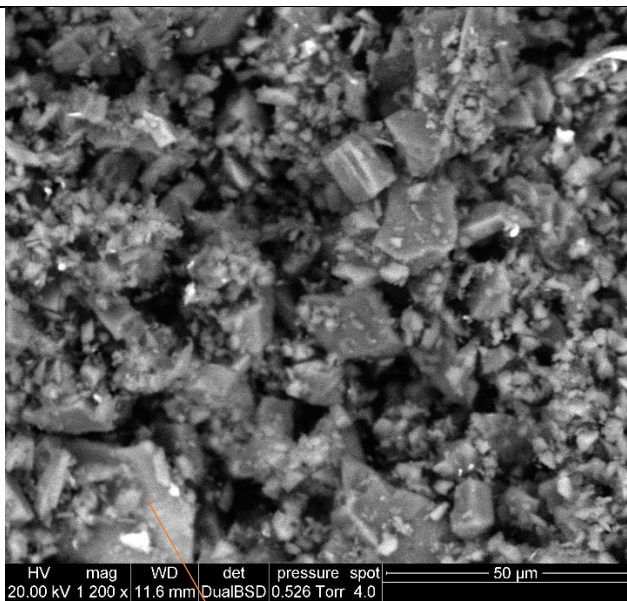
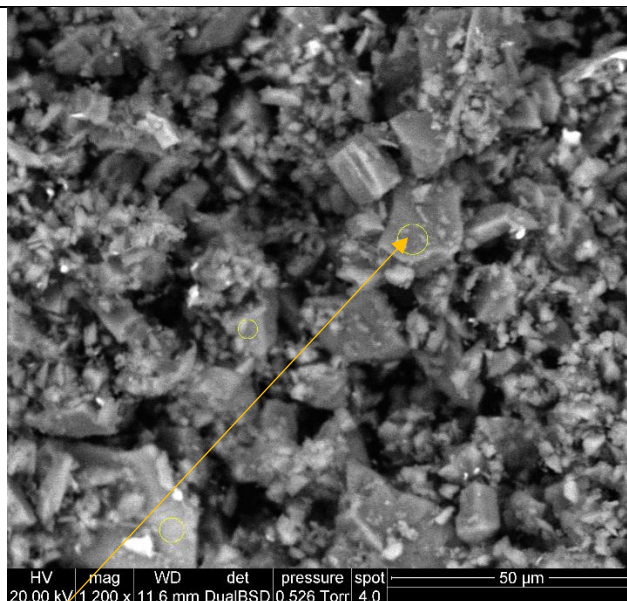


Figura 3.3. Viene analizzata la composizione di diverse particelle contenute nel campione 3.



Le particelle più grandi (circa 20 μm) sono composte da SiO_2

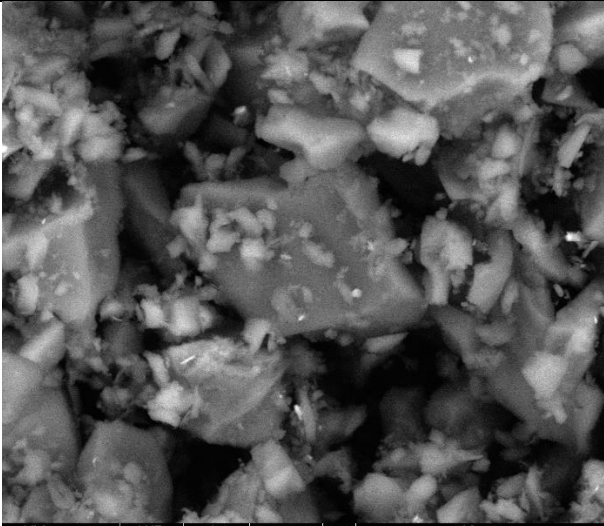


Feldspato

Particelle di dimensione intermedia (10-20 μm) sono di feldspato

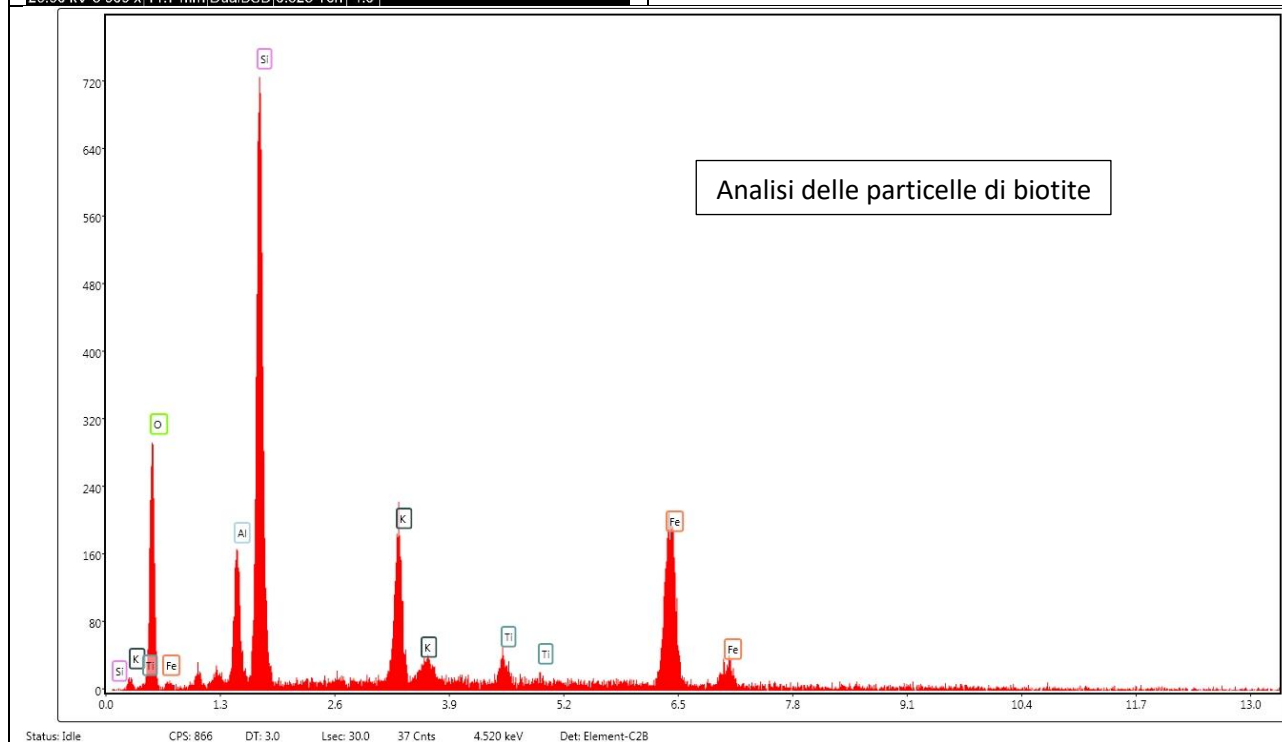
Element	Weight %	Atomic %
O	39,59	55,2
Na	2,11	2,04
Al	9,83	8,12

	Si	32,49	25,8
	K	14,28	8,15
	Fe	1,71	0,68



le particelle più piccole corrispondono alla biotite

Element	Weight %	Atomic %
O	23,76	42,27
Al	6,3	6,64
Si	25,82	26,16
K	10,3	7,5
Ti	2,31	1,38
Fe	31,5	16,05



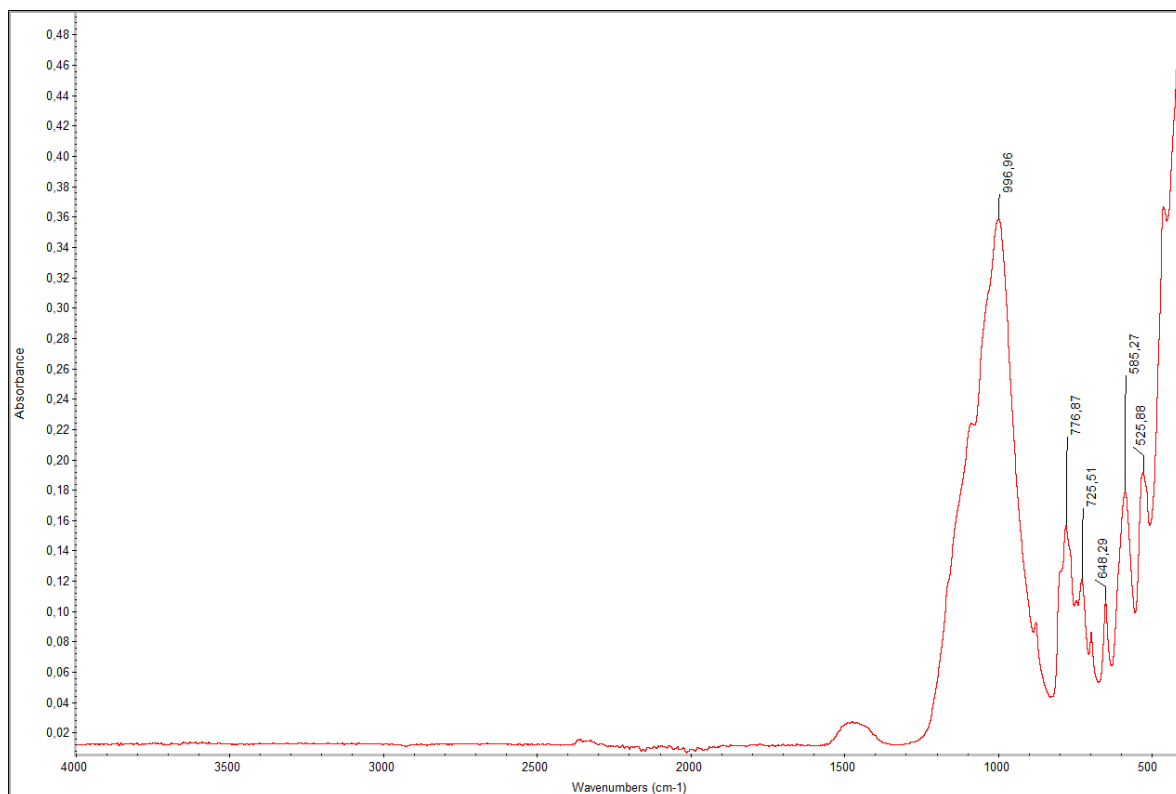


Figura 3.4: Spettro ATR del campione 3

In Figura 3.4 è riportato lo spettro FTIR (ATR) del campione 3 essiccato. Esso mostra un ampio picco a circa 1000 cm^{-1} dovuto a SiO_2 insieme ad un picco a 470 cm^{-1} . I segnali a 776, 725, 648, 585 e 552 cm^{-1} sono dovuti a keldspar e micas.

Non sono presenti segnali dovuti a gruppi CH, indicando l'assenza di una contaminazione organica.

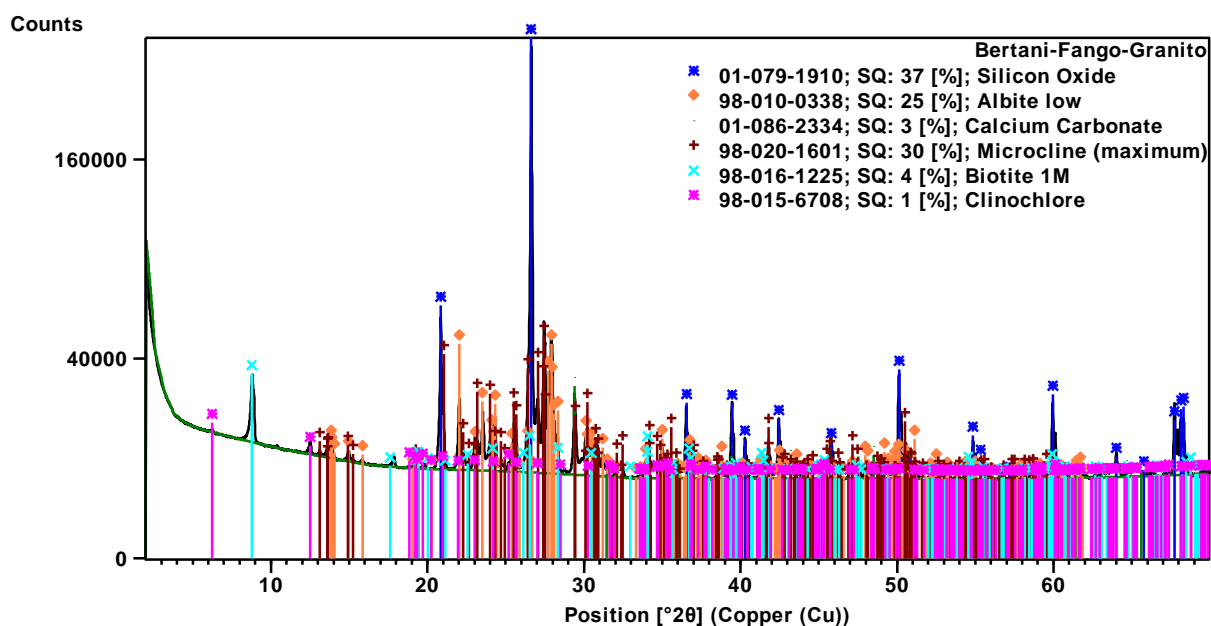


Figura 3.5: Spettro XRD del composto 3

Lo spettro XRD mostra che il componente più abbondante è SiO_2 , altri minerali presenti in grandi quantità sono:

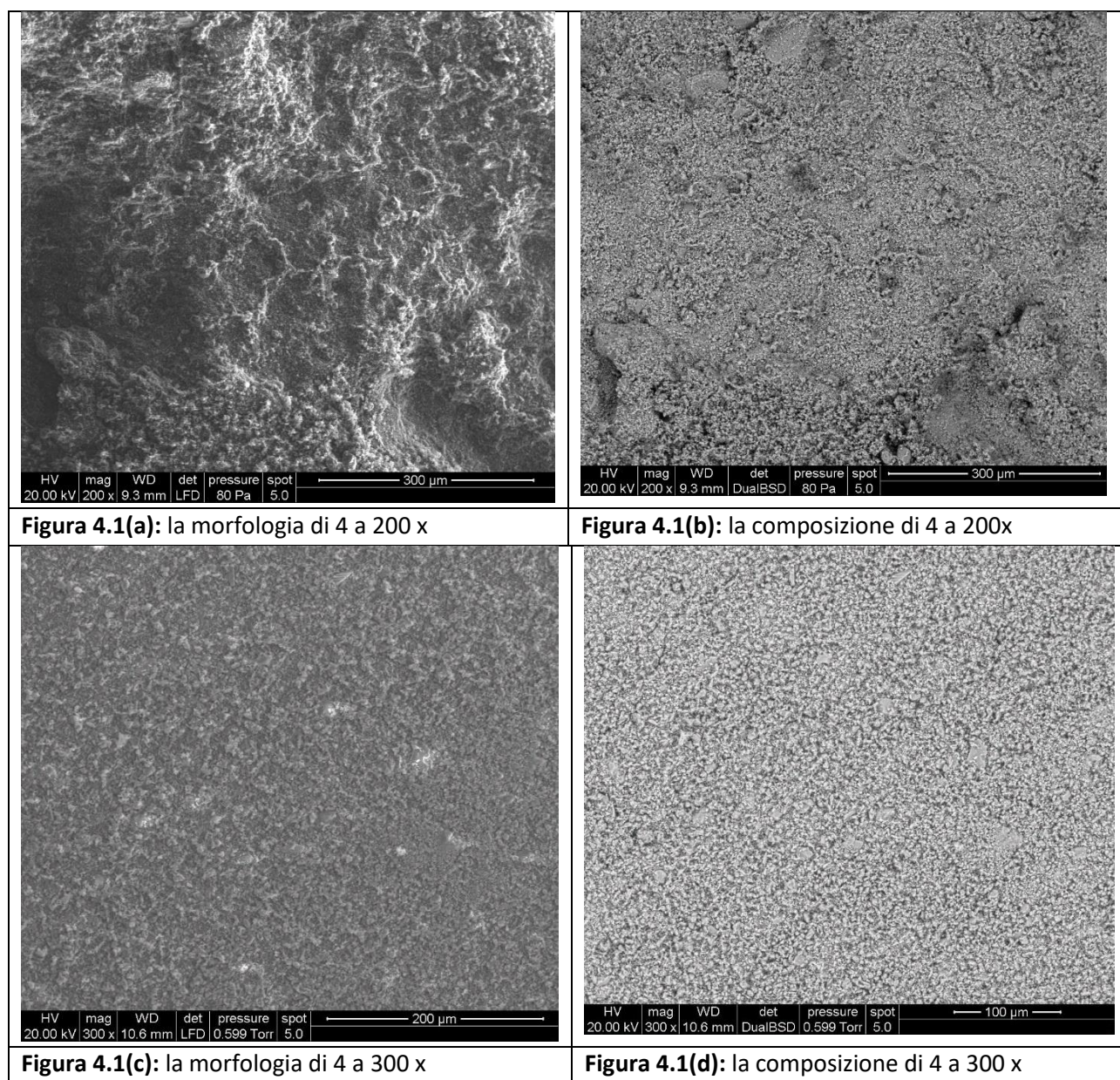
- Albite (un feldspato) con formula $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
- Microclino (un importante minerale tectosilicato che forma rocce ignee). È un feldspato alcalino ricco di potassio con formula KAlSi_3O_8
- Biotite (un gruppo comune di minerali fillosilicati all'interno del gruppo della mica, con la formula chimica approssimativa $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$)
- Clinocllore, un fillosilicato di formula generale $\text{Mg}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$

CAMPIONE 4. PIETRA DEI BERICI

Il campione si presenta come una pasta bianca, composta da particelle di polvere molto fine.

Una valutazione media della quantità d'acqua è stata effettuata riscaldando 3 campioni (raccolti dalla parte interna della pasta) nel forno a 105°C per 12 ore (solo il peso non viene ulteriormente ridotto): il valore ottenuto è circa 4-5 %.

Nelle figure 4.1 (a) e (l) sono riportate le immagini a 200, 300, 400, 1500 e 3000 x in LFD e BDS del campione 4.



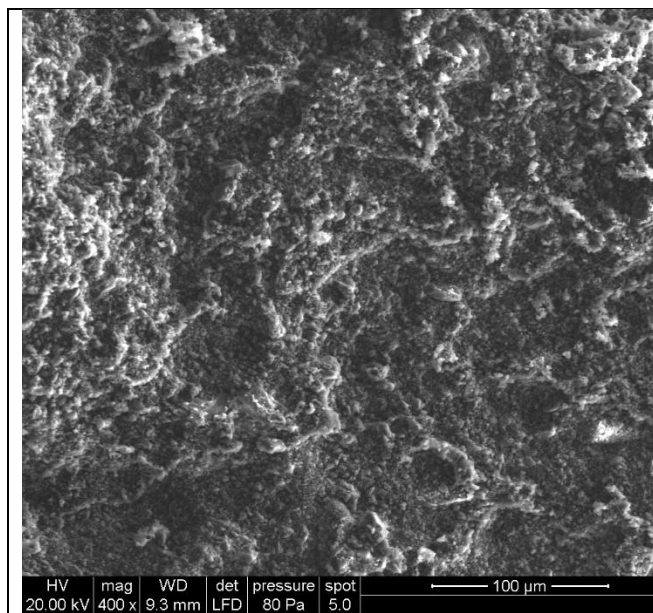


Figura 4.1(e): la morfologia di 4 a 400 x

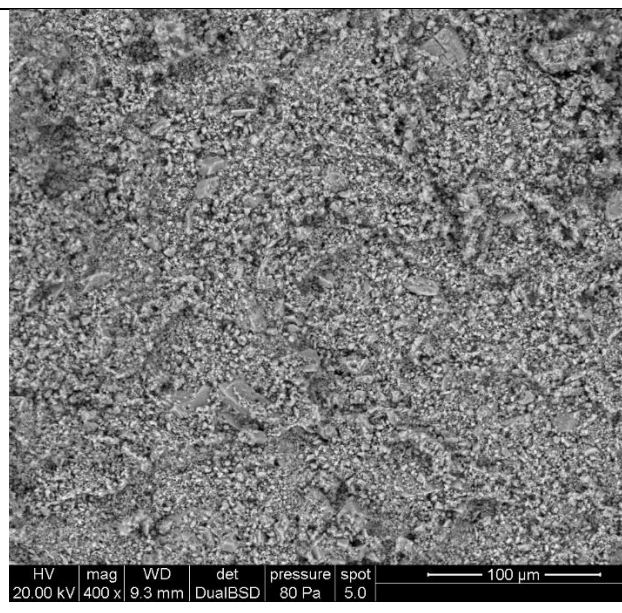


Figura 4.1(f): la composizione di 4 a 400 x

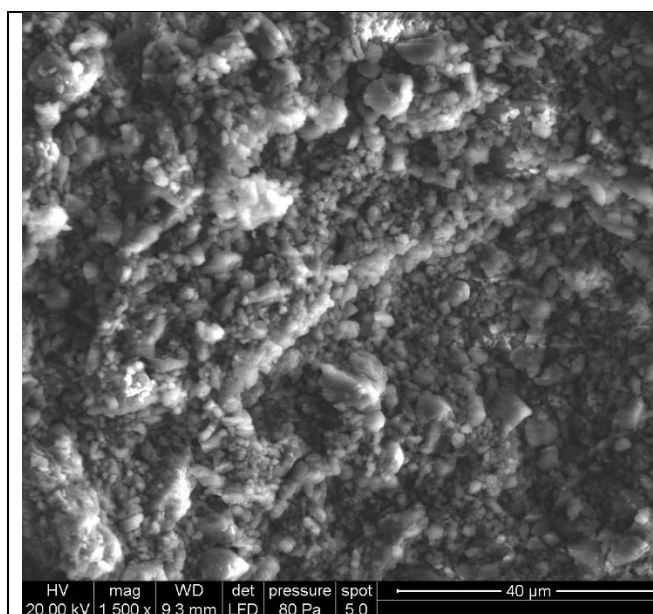


Figura 4.1(g): la morfologia di 4 a 1500 x

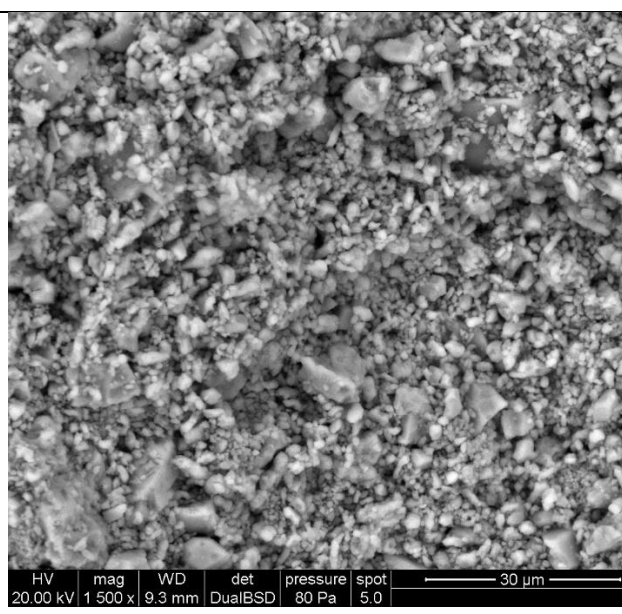
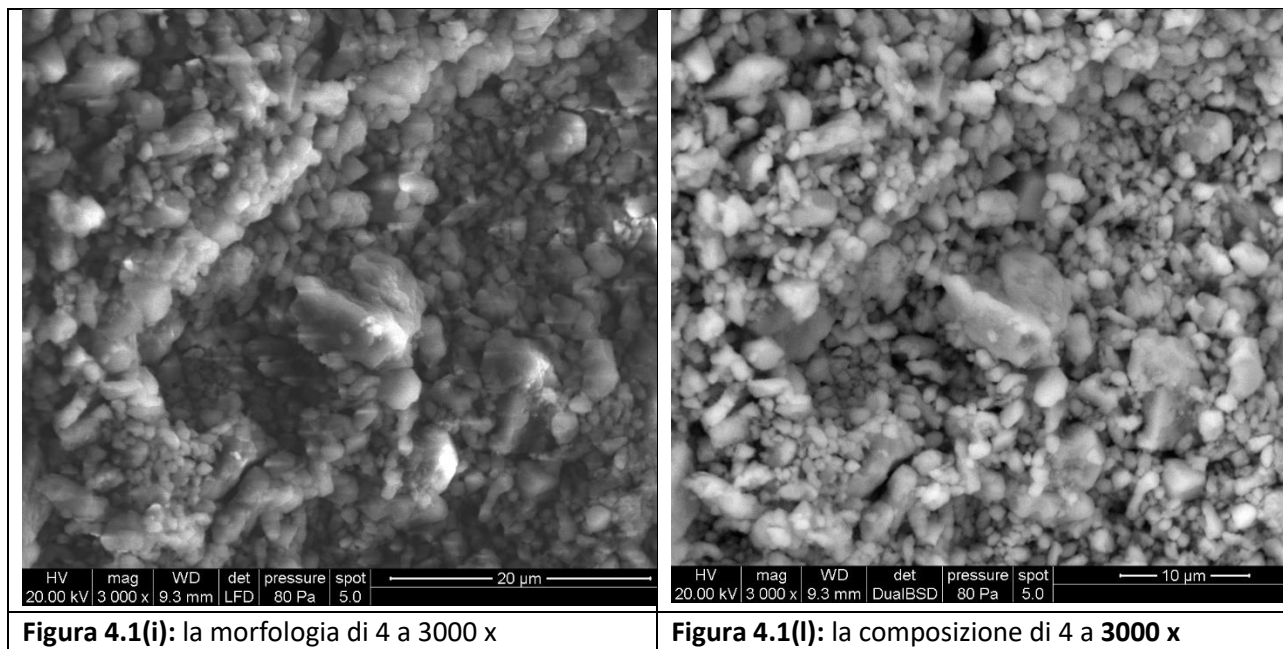


Figura 4.1(h): la composizione di 4 a 1500 x



Le micrografie mostrano che il materiale contiene particelle di diverse dimensioni: le più grandi appaiono di circa 10 micron di lunghezza.

La composizione è omogenea e corrisponde a questi dati:

Element	Weight %	Atomic %
C K	7,21	12,85
O K	46,8	62,59
Ca K	45,99	24,56

Che indicano la presenza di CaCO_3 e Ca(OH)_2 in un rapporto molare di circa 1:1.

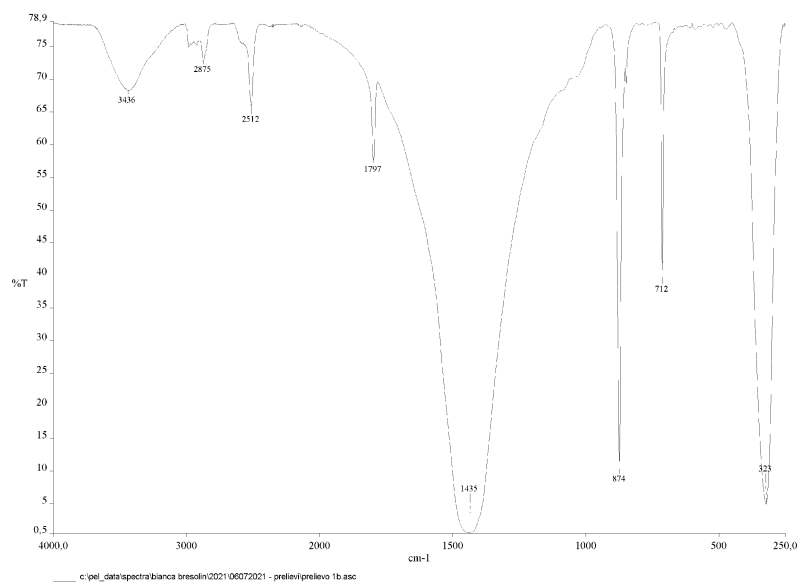


Figura 4.2: FTIR of sample 4

La FTIR conferma la presenza di CaCO_3 , segnali a 1435 e 874 cm^{-1} .

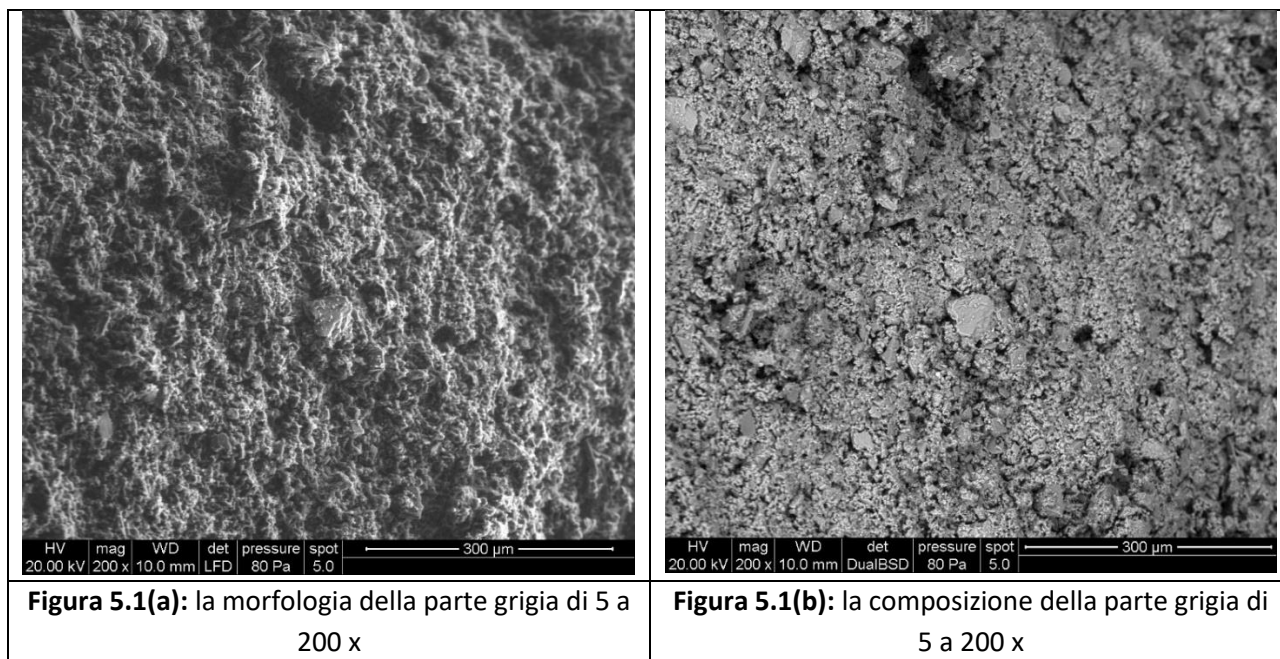
CAMPIONE 5. CALCARI MISTI (Lavorazione VR)

Il campione si presenta come una pasta mista grigia e bianca, composta da particelle di polvere molto fine.

Una valutazione media della quantità d'acqua è stata effettuata riscaldando 3 campioni (raccolti dalla parte interna della pasta) nel forno a 105°C per 12 ore (solo il peso non viene ulteriormente ridotto): il valore ottenuto è circa 5-6 %.

Caratterizzazione della parte grigia

Nelle figure 5.1 (a) e (l) sono riportate le immagini a 200, 300, 400, 1500 e 3000 x in LFD e BDS del campione 5.



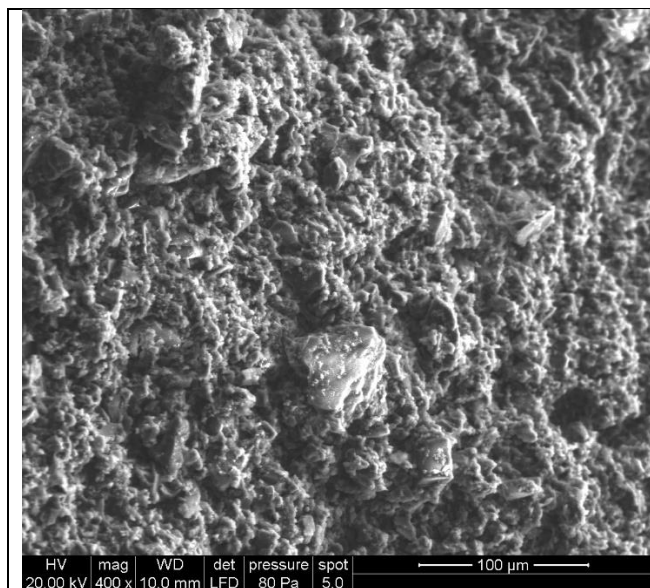


Figura 5.1(c): la morfologia della parte grigia di 5 a 400 x

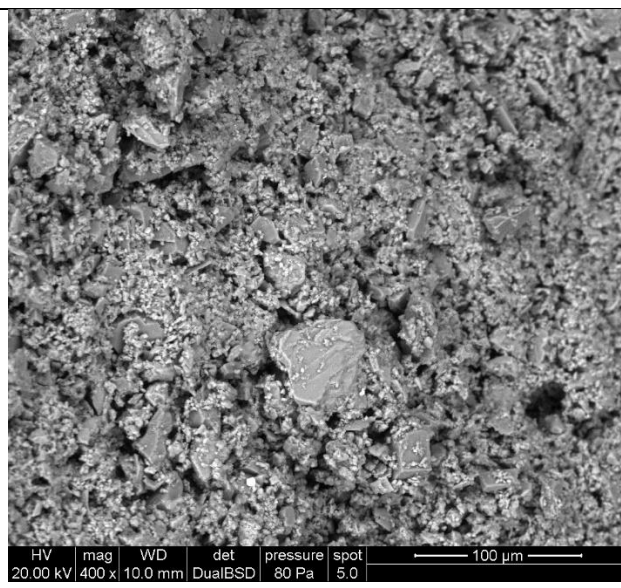


Figura 5.1(d): la composizione della parte grigia di 5 a 400 x

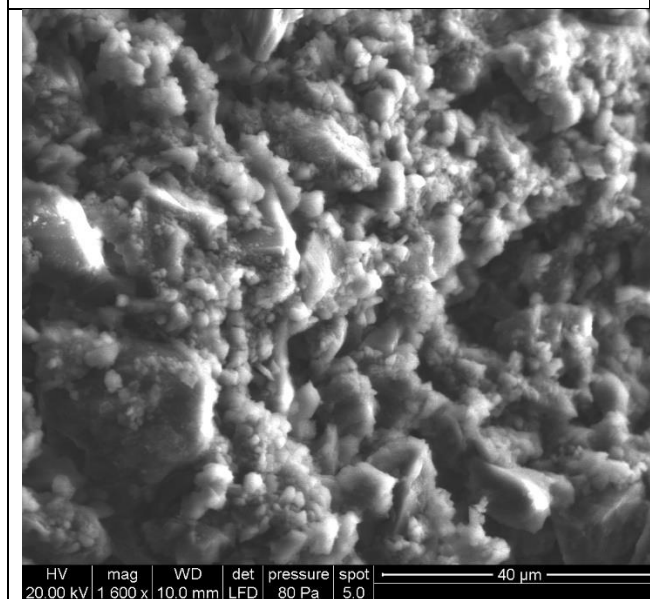


Figura 5.1(e): la morfologia della parte grigia di 5 a 1600 x

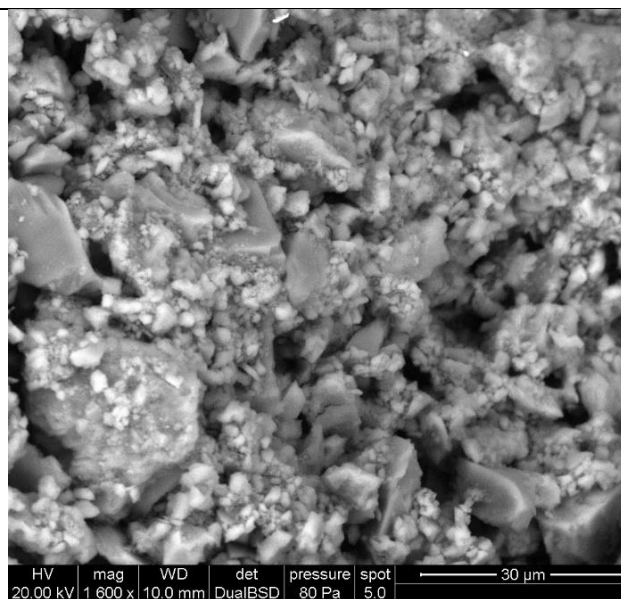


Figura 5.1(f): la composizione della parte grigia di 5 a 1600 x

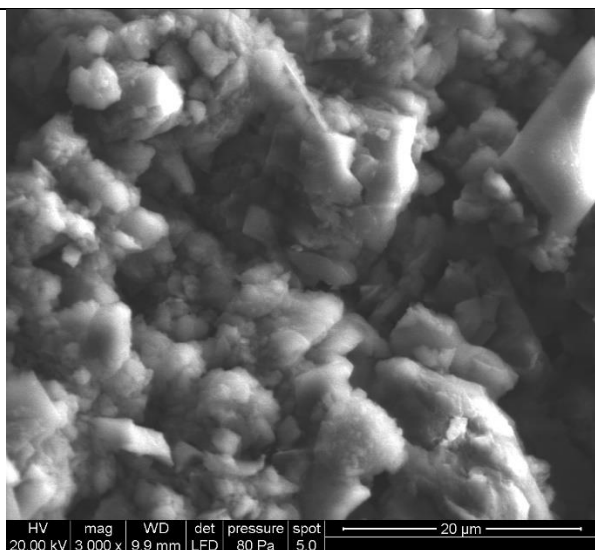


Figura 5.1(g): la morfologia della parte grigia di 5 a 3000 x

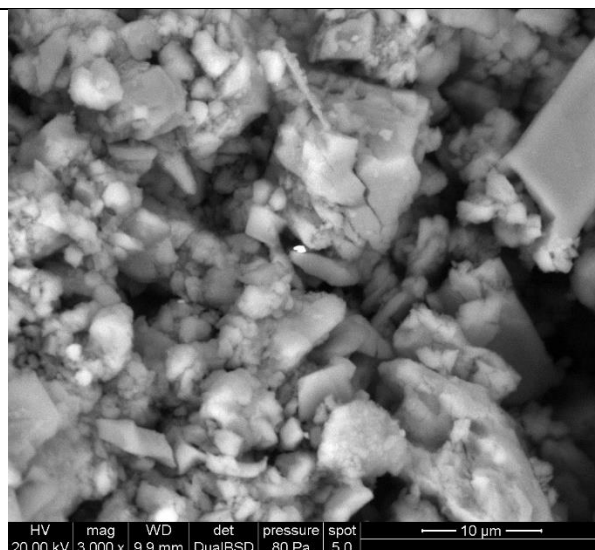
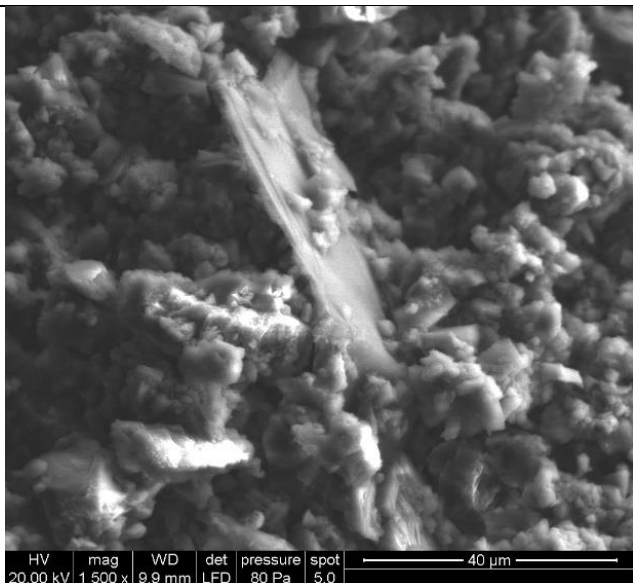


Figura 5.1(h): la composizione della parte grigia di 5 a 3000 x

La composizione media a 400x corrisponde ai seguenti dati:

Element	Weight %	Atomic %
C K	8,04	13,48
O K	51,08	64,31
Mg K	3,98	3,3
Al K	0,65	0,48
Si K	0,76	0,55
S K	0,28	0,18
Ca K	35,21	17,69

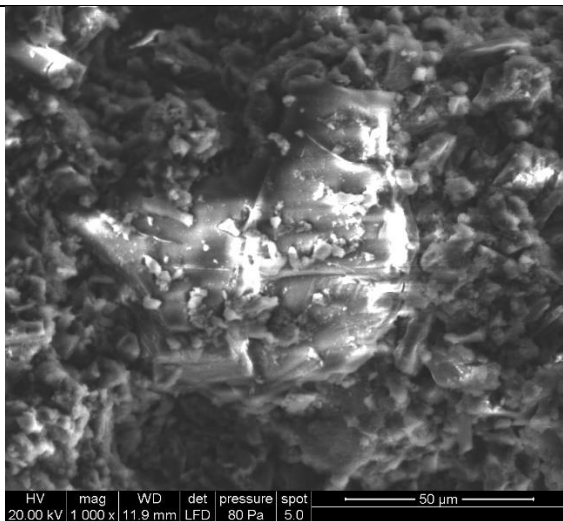
Le micrografie indicano che il materiale contiene particelle più grandi e più piccole di diverse composizioni. In particolare il minerale mica (biotite) è presente insieme alla dolomite.



analisi del cristallo di mica

Element	Weight %	Atomic %
O K	52	66
F K	3,18	3,4
Mg K	12,77	10,67
Al K	5,2	3,91
Si K	10,97	7,93
K K	3,78	1,96
Ca K	12,1	6,13

composizione generale
della biotite



il grande cristallo centrale è la dolomite

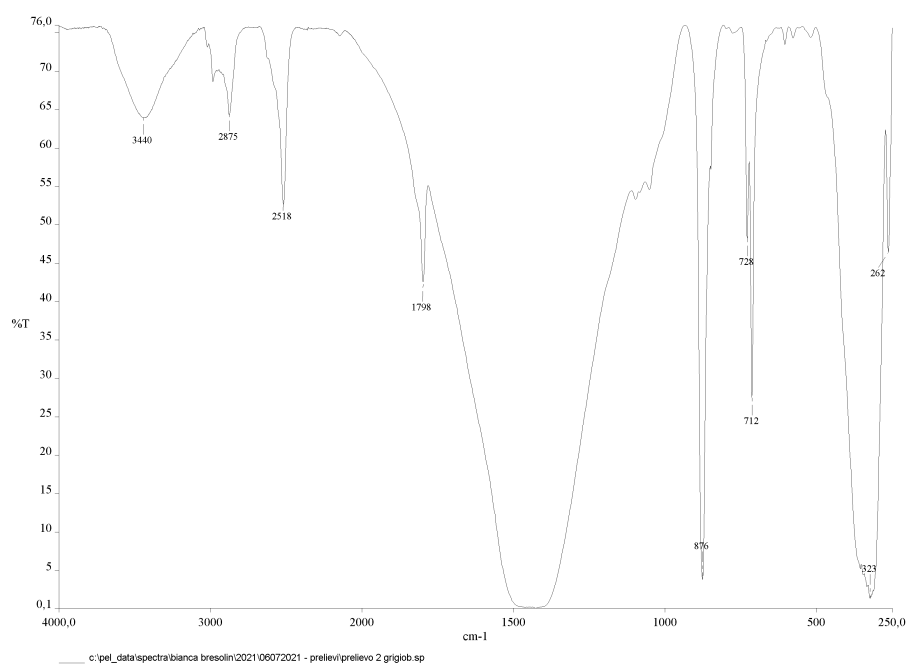


Figura 5.2: FTIR della parte grigia del campione 5

L'FT IR conferma la presenza di $(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$, segnali a 1435 e 874 cm^{-1} .

Caratterizzazione della parte bianca

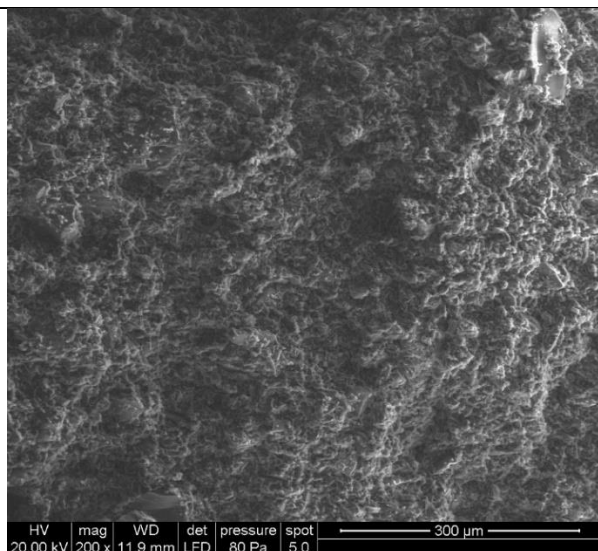


Figura 5.3 (a): morfologia della parte bianca del 5 a 200 x

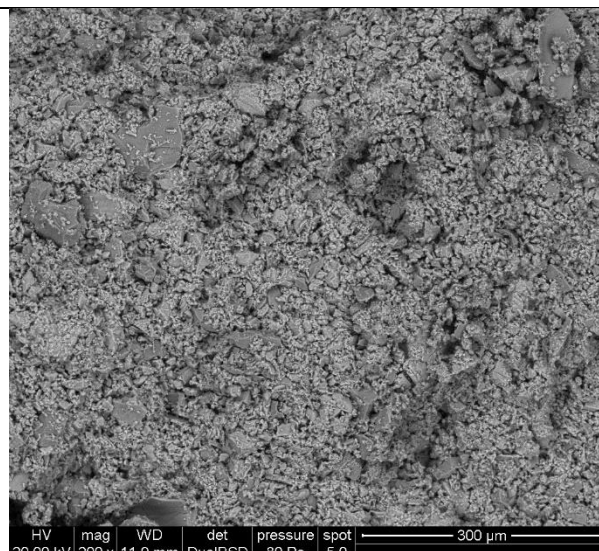


Figura 5.3 (b): composizione della parte bianca di 5 a 200 x

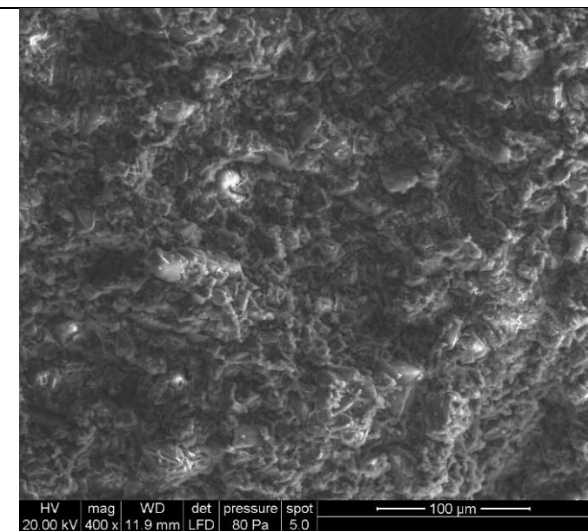


Figura 5.3 (c): morfologia della parte bianca del 5 a 400 x

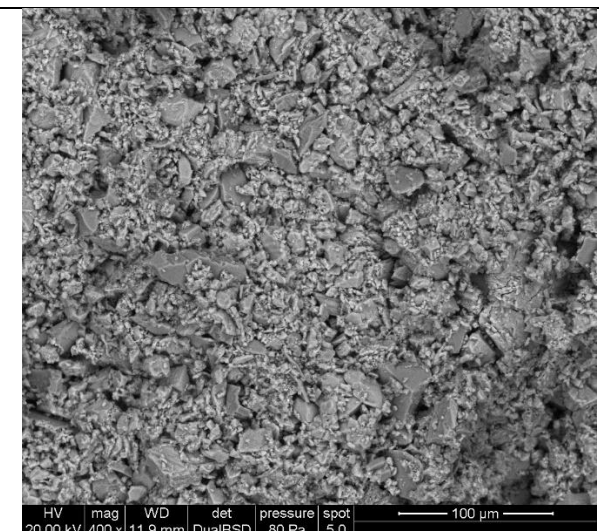


Figura 5.3 (b): composizione della parte bianca di 5 a 400 x

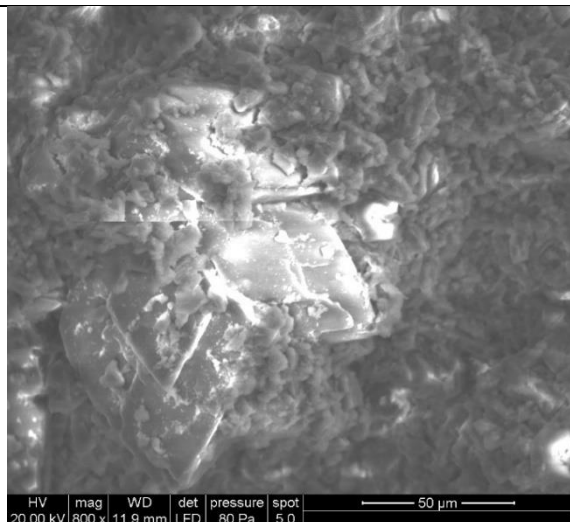


Figura 5.3 (e): morfologia della parte bianca del 5 a 800 x

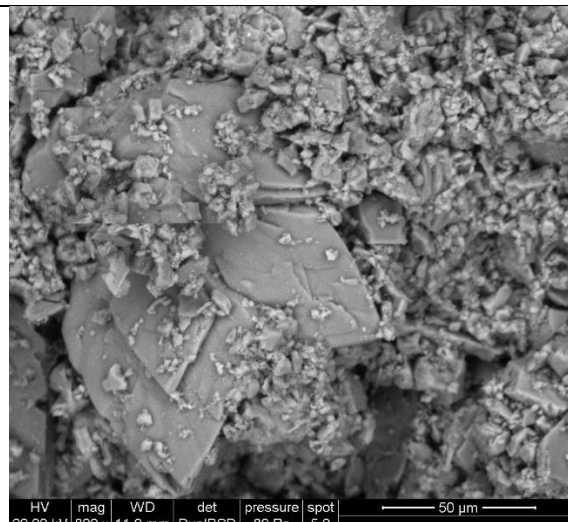


Figura 5.3 (f): composizione della parte bianca di 5 a 800x. Composition of the crystal=dolomite

Element	Weight %	Atomic %
C K	9,58	15,9
O K	51,99	64,79
Mg K	0,62	0,51
Ca K	37,81	18,81

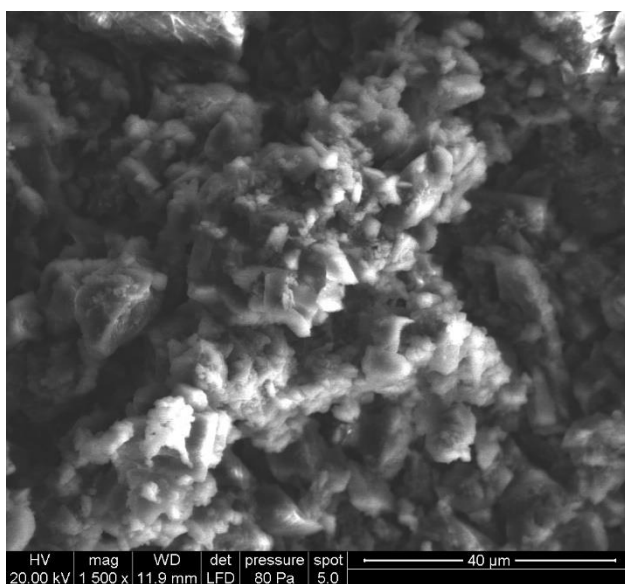


Figura 5.3 (g): morfologia della parte bianca del 5 a 1500 x

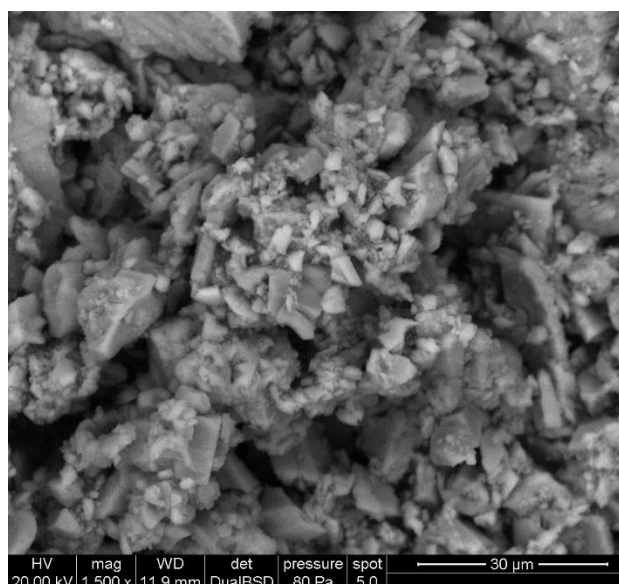


Figura 5.3 (h): composizione della parte bianca di 5 a 1500x.

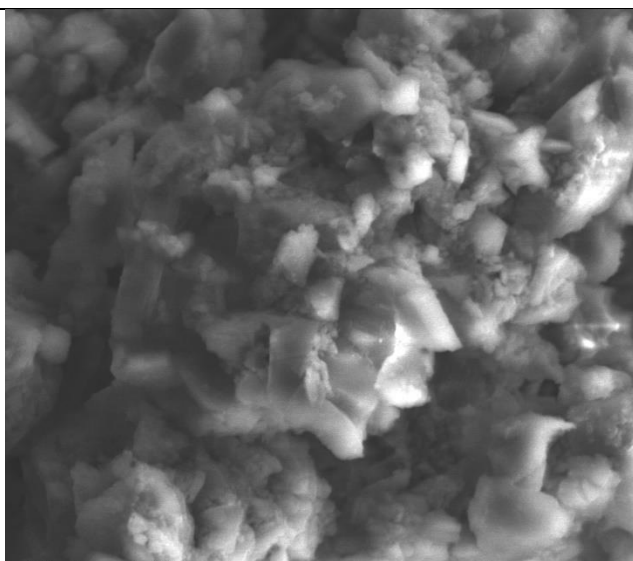


Figura 5.3 (i): morfologia della parte bianca del 5 a 3000 x

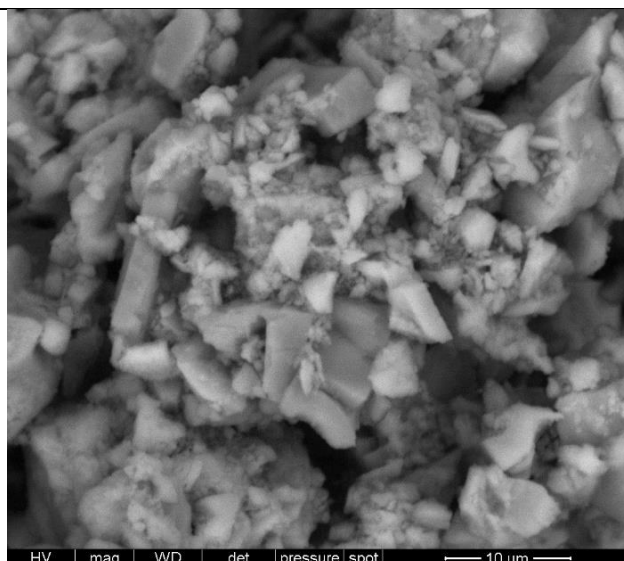
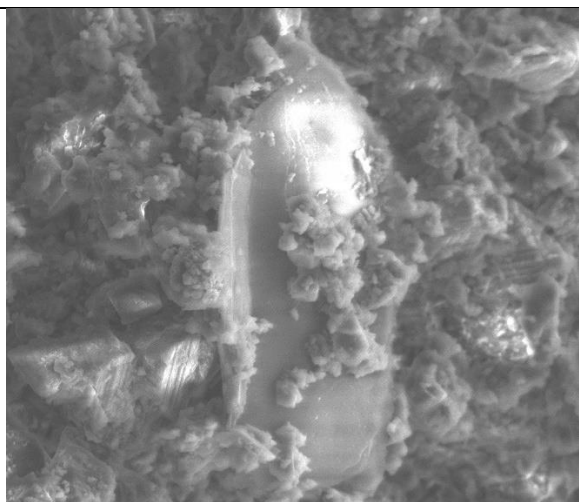
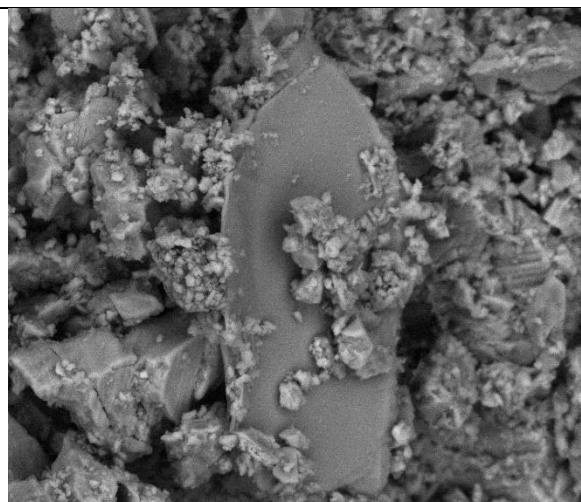


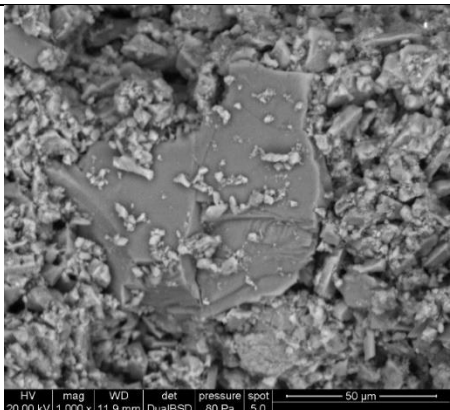
Figura 5.3 (l): composizione della parte bianca di 5 a 3000x.



composizione del cristallo di mica



Element	Weight %	Atomic %
O K	47,67	62,07
F K	1,82	1,99
Mg K	13,69	11,73
Al K	7,62	5,88
Si K	14,2	10,53
K K	5,37	2,86
Ca K	8,85	4,6

		Ti K	0,78	0,34
		composizione del cristallo di dolomite		
		Element	Weight %	Atomic %
		C K	7,89	13,01
		O K	51,35	63,57
		Mg K	10,22	8,32
		Ca K	30,54	15,09

In Figura 5.4 è riportato l'FTIR della parte bianca di 5.

La FTIR conferma la presenza di $(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$, segnali a 1435 e 874 cm^{-1} .

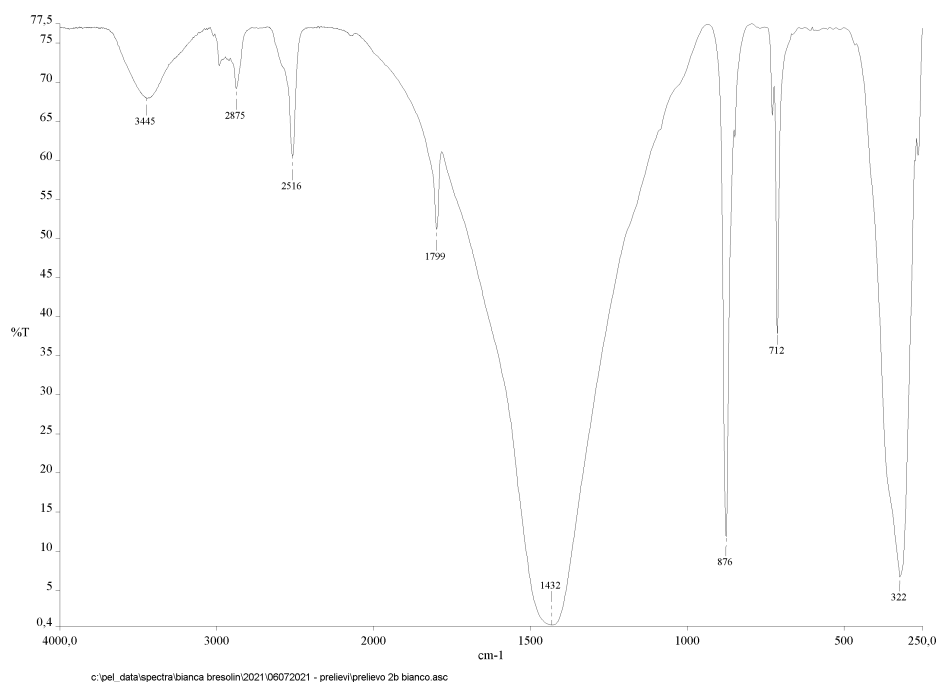


Figura 5.4: FTIR della parte bianca del campione 5

composizione media a 400x della parte grigia			composizione media a 400x della parte bianca		
Element	Weight %	Atomic %	Element	Weight %	Atomic %
C	6,44	11,31	C	7,47	12,95
O	48,03	63,33	O	48,63	63,32
Mg	3,5	3,04	Mg	2,44	2,09
Al	0,26	0,21	Si	0,28	0,21
Si	0,42	0,31	S	0,25	0,16
S	0,25	0,16	Ca	40,93	21,27
K	0,28	0,15	Al and K < 0.1%		
Ca	40,82	21,49			

SOMMARIO

Campioni	Minerali più rilevanti
1. Marmo Carrara	CaCO ₃ e Ca(OH) ₂
2. Agglomerato	CaCO ₃ e Ca(OH) ₂ e silicati
3. Granito	SiO ₂ , feldspato (microclino and albite); mica (biotite, clinocloro)
4. Pietra dei Berici	CaCO ₃ e Ca(OH) ₂
5. Marmo misto VR	parte grigia: dolomite and mica parte bianca: dolomite and mica Il diverso colore è dovuto alle forme e alle dimensioni dei cristalli di dolomite

PARTE 2: Proposte di valorizzazione

Per il grande volume di questi rifiuti, in una prospettiva di economia circolare, sulla base della letteratura scientifica e della composizione chimica dei materiali sopra descritti si possono proporre una serie di processi per la loro valorizzazione.

Nell'ambito delle costruzioni, le applicazioni dei granulati e delle polveri di marmo e residui della lavorazione della pietra in generale, sono moltissime:

- **AggloCemento – AggloResina:**

è la pietra ricomposta con abilità miscelando sapientemente graniglie e polveri di marmo con un "legante" quale cemento o resina. Con questo impasto possono essere prodotti sia blocchi, poi tagliati e lavorati, sia direttamente mattonelle o altri manufatti desiderati.

- **Mattonelle e manufatti a decoro:**

con una tradizione secolare queste mattonelle sfidano il tempo con raffinatezza e gusto. Storiche aziende italiane hanno portato questi manufatti ad ottenere un prestigio internazionale indiscusso.

- **Terrazzo alla veneziana e mosaico:**

di origini antichissime, il mosaico si sviluppa in prevalenza a Venezia, dove già nel 1586 si trovano le prime regole scritte sulla sua corretta realizzazione. Le materie prime utilizzate (granulati e polveri di marmo e altri materiali lapidei) trovano la massima valorizzazione in questi pavimenti dove artigiani, con la loro esperienza e creatività, fanno di ogni realizzazione un'opera d'arte unica.

- **Prefabbricati ed arredo urbano:**

i materiali sono utilizzati dall'industria della prefabbricazione per conferire una "pelle" nobile alla struttura in cemento armato. Le varie lavorazioni studiate e sviluppate da queste aziende coprono tutte le possibili richieste del mercato, spaziando dal lavato al lucido al sabbato o bocciardato. Con le graniglie di marmo è stato possibile abbinare alla funzionalità tipica della struttura prefabbricata, un'estetica pregiata e duratura.

- **Colori e marmorini per interni ed esterni:**

le polveri e le micrograne bianche e colorate sono componenti fondamentali in questo settore di utilizzo. La pigmentazione con polveri di marmo colorato garantisce finiture eleganti ed un'elevata resistenza agli agenti atmosferici.

- **Collanti e stucchi:**

il carbonato di calcio micronizzato e le polveri di marmo sono basi primarie per molti collanti e stucchi. Utilizzati nelle giuste proporzioni assicurano un ottimo livello di adesione tra le giunzioni e permettono l'utilizzo in forti spessori limitando i ritiri e le fessurazioni.

- **Materie plastiche:**

In questo settore il carbonato di calcio micronizzato è da sempre uno dei componenti più utilizzati per modificare e migliorare le caratteristiche prestazionali dei materiali polimerici. Il carbonato di calcio ad altissimo punto di bianco è il prodotto ideale per creare compound bianchi, riducendo l'impiego di biossido di titanio o dove la costanza della tonalità del prodotto finale diventa una caratteristica importante.

- **Arte del verde e giardini zen:**

Il risultato estetico e la funzione pratica (pacciamatura), si uniscono per rendere il granulato uno strumento indispensabile nell'arte del verde. La possibilità di spaziare tra una gamma di materiali e granulometrie così vasta, permette ai progettisti del verde di creare sempre gli abbinamenti migliori per evidenziare e valorizzare le loro creazioni.

- **Agricoltura:**

Da molti anni questi prodotti sono utilizzati anche in agricoltura come correttivi di acidità, assorbitori di sostanze inquinanti e con la funzione di filler all'interno di prodotti fertilizzanti.

In questo ambito, sono state condotte tre campagne sperimentali separate per quanto concerne i materiali a base cementizia: la prima iniziale su un residuo di marmo puro del distretto veronese (solo su malte); la seconda su paste di cemento con residui di marmo del distretto veronese e di Vicenza; la terza sugli stessi materiali delle paste di cemento, ma su malte.

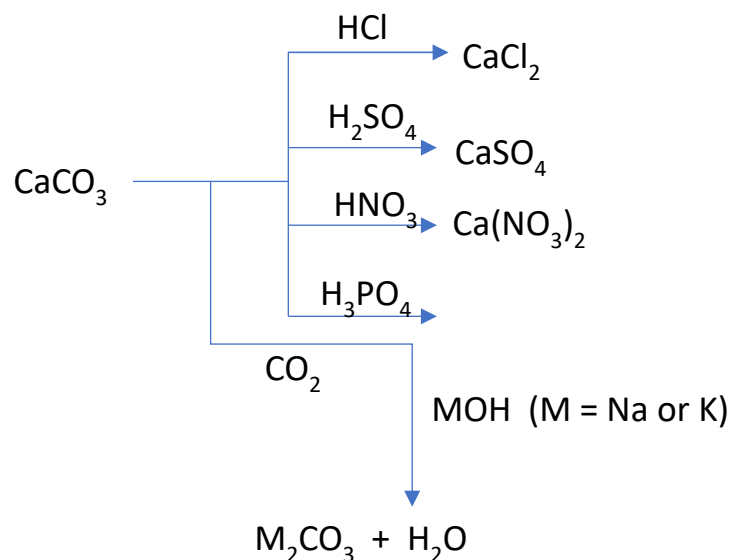
È stata anche condotta una campagna sperimentale sui materiali polimerici, dove i residui vengono impiegati come filler.

Previo lo svolgimento di queste attività, sono state condotte ampie campagne sperimentali per la caratterizzazione analitica (chimica), fisica, mineralogica, microstrutturale di fanghi della lavorazione del marmo, agglomerato, granito, pietra dei Berici, calcari misti (si veda parte 1 della presente relazione).

Alternativamente, per le applicazioni in mercati ad elevata valorizzazione del rifiuto, si possono proporre le seguenti applicazioni.

1) Rifiuti marmorei e carbonacei.

- a) Il primo approccio da esplorare riguarda la trasformazione del carbonato di calcio (può essere anche in miscela con ossido o idrossido di calcio). La scelta sarà basata su una valutazione economica in termini di acidi reagenti e applicazioni dei sali finali, compresa la purezza di questi sali per applicazioni specifiche.



I fanghi di marmo sono stati aggiunti a una base minerale composta da una miscela di argilla ceramica da sinterizzare in mattoni, che ha mostrato di avere proprietà meccaniche adatte per applicazioni di costruzione anche se la porosità dei mattoni è risultata aumentata come conseguenza della decomposizione dei carbonati, con riduzione della densità apparente e un aumento dell'assorbimento di acqua. (Cobo-Coacero et al. Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 26(2019)35399).

2) Fanghi di granito

- a) I fanghi di granito sono stati aggiunti per preparare la miscela di calcestruzzo sostituendo il cemento come materiale pozzolanico o aggregati fini in diverse percentuali di peso, fornendo una buona coesione della miscela. (Yabue et al. *Materials* 13(2020)4941; Allam et al. *ARPN J. Eng. Appl.Sci.* 9(2014)2731). L'effetto dell'incorporazione di residui di granito sul comportamento delle malte è stato profondamente studiato (de Azevedo et al. *Materials* 12(2019)1449).
- b) Componenti di feldspato sono stati recuperati dai residui di granito per il mercato della ceramica (Vrbicly et al. *Minerals* 11(2021)455)
- c) I rifiuti solidi di granito sono stati utilizzati come materiale abrasivo nel taglio a getto d'acqua del marmo (Aydin et al. *J.Cleaner Production*, 159(2017)241).

3) Polvere di marmo e granito.

Uno studio dettagliato è stato condotto per ottimizzare le proprietà della polvere in termini di composizione e dimensioni delle particelle per essere utilizzata come riempitivo minerale nella malta, nel calcestruzzo, nel cemento, nei brocks e nel pigmento del suolo. (Benjeddou et al. *Crystals*. 11(2021)619).

- a) La polvere di marmo e granito è stata usata come riempitivo nei compositi polimerici:
 - in polipropilene, PP, (Awad et al. *J.Thermal Anal. E Calor.* 140(2020) 2615)
 - nel polietilene ad alta densità, HDPE, (Awad et al. *A.S. Eng. J.* 11(2020)1211)
 - nelle resine epossidiche (Santos Carvalho et al. *Mat. Res.* 21(2018)e20171104).
 - nel marmo artificiale (Samad et al. *IOP Conf Series: Mat. Sci.Eng.* 713(2020)012017)
- b) La polvere di marmo e granito è stata utilizzata nella fabbricazione di mattoni di cemento, le cui proprietà fisiche e meccaniche erano in accordo con i dati ASTM. (Hamza et al. *Int.J. Biosci.* 1(2011)286).
- c) La polvere di marmo, la polvere di granito o quella mista sono state utilizzate come additivo al cemento per ottenere un'alta resistenza alla compressione con una fluidità accettabile. I risultati hanno indicato che alti volumi di queste polveri (fino al 50% in peso) potrebbero essere utilizzati con successo nella produzione di calcestruzzo autocompattante. (Sadek et al. *J.Cleaner Production*, 121(2016)19; Singh et al. *Procedia Env. Sci.* 35(2016)571; Binici et al. *J.Mat. Proc.Technol.* 208(2008)299). È stato anche riportato che il calcestruzzo indurito che incorpora la sostituzione del cemento con fanghi di marmo e granito ha mostrato un miglioramento verso la profondità di penetrazione dell'acqua e la resistenza all'attacco dell'acido solforico. (Rashwan et al. *J.Building Eng.* 32(2020)101697). È stato riportato che le proprietà meccaniche dei calcestruzzi aumentano con la quantità di granito, mentre diminuiscono con la quantità di marmo (Amani, et al. *Int. J. Pavement Eng.* 2019)

Conclusioni

- Le approfondite analisi sono propedeutiche alla realizzazione di un impianto base per ottenere materie prime seconde dagli scarti.
- Il processo di trasformazione (riciclo) sarà a modesto consumo energetico grazie all'utilizzo di energie alternative ed a basso impatto ambientale;
- La quantità di materiale non più conferito in discarica lascerà posto libero ad altro più idoneo (salvaguardia delle falde acquifere) e in generale più rispettoso dell'ambiente (flora e fauna)