



TORRE GHIRLANDINA MODENA

INDAGINI DI LABORATORIO SU CAMPIONI PRELEVATI DAL PARAMENTO LAPIDEO ESTERNO



COMMITTENTE: COMUNE DI MODENA

INDICE

1. PREMESSA	pag.
2. PROSPETTO DELLE ANALISI ESEGUITE	pag.
3. METODI DI PROVA	pag.
4. UBICAZIONE DEI PRELIEVI	pag.
5. RISULTATI ANALITICI	pag.
6. CONCLUSIONI	pag.
APPENDICE I: Schede analitiche	pag.
CAMPIONE 10138/1	pag.
CAMPIONE 10138/2	pag.
CAMPIONE 10138/3	pag.
CAMPIONE 10138/4	pag.
CAMPIONE 10138/5	pag.
CAMPIONE 10138/6	pag.
CAMPIONE 10138/7	pag.
CAMPIONE 10138/8	pag.
CAMPIONE 10138/9	pag.
CAMPIONE 10138/10	pag.
CAMPIONE 10138/11	pag.
CAMPIONE 10138/12	pag.

CAMPIONE 10138/13	pag.
CAMPIONE 10138/14	pag.
CAMPIONE 10138/15	pag.
CAMPIONE 10138/16	pag.
CAMPIONE 10138/17	pag.
CAMPIONE 10138/8	pag.
CAMPIONE 10138/19	pag.
CAMPIONE 10138/20	pag.
CAMPIONE 10138/21	pag.
APPENDICE II: Rapporti di prova	pag.

1. PREMESSA

Su Vs incarico è stata eseguita un'indagine polimetodologica su 21 campioni prelevati dai paramenti esterni della Torre Ghirlandina a Modena.

I prelievi sono stati effettuati dal ns. tecnico specializzato dr.ssa Mirella Baldan il giorno 18/09/2007 in accordi con la DD.LL. arch. Rossella Cadignani allo scopo di caratterizzare lo stato di degrado delle superfici lapidee e di verificare la presenza di eventuali trattamenti superficiali applicati nei secoli durante gli interventi manutentivi della torre.

2. PROSPETTO DELLE PROVE ESEGUITE

Sigla campione	ANALISI										
	Petrografiche e Mineralogiche					Chimiche e Fisiche				Biologiche	
	SS	SL	SEM	XRD	TGA	EDS	FT/IR	ICP	HPLC	OM	CMB
10138/1		X				X	X				
10138/2		X				X	X				
10138/3		X				X	X				
10138/4			X			X					
10138/5								X	X		
10138/6		X				X	X				
10138/7		X				X	X				
10138/8										X	
10138/9		X				X	X				
10138/10			X			X		X	X		
10138/11										X	
10138/12										X	
10138/13							X				
10138/14								X	X	X	
10138/15		X				X	X				
10138/16							X				
10138/17								X	X		
10138/18		X				X	X				
10138/19							X				
10138/20		X				X	X				
10138/21			X			X					

LEGENDA: **SS**: studio al microscopio polarizzatore in luce trasmessa di sezione sottile trasversale; **SL**: studio al microscopio polarizzatore in luce riflessa di sezione lucida trasversale; **SEM**: studio al microscopio elettronico a scansione; **XRD**: analisi diffrattometrica ai raggi x; **TGA**: analisi termogravimetrica; **EDS**: microanalisi chimica elementare alla microsonda elettronica in dispersione di energia; **FT/IR**: analisi spettrofotometrica all'infrarosso; **ICP**: analisi chimica elementare dei cationi solubili; **HPLC**: dosaggio dei sali solubili mediante misure conduttimetriche ed analisi cromatografica in fase liquida; **OM**: studio al microscopio ottico da biologia; **CMB**: colture microbiologiche.

3. METODI DI PROVA

Ciascuna prova è stata eseguita secondo i metodi di seguito indicati.

Il prelievo dei campioni è stato eseguito in conformità alla NORMAL 3/80.

Il lessico utilizzato nella descrizione del degrado dei campioni è conforme alla UNI11182:2006.

La sezione lucida viene allestita secondo le tecniche indicate nella NORMAL 14/83.

L'esame delle caratteristiche morfologiche al microscopio a scansione (SEM) viene effettuato in conformità alle tecniche indicate nella NORMAL 8/81.

La determinazione dei sali solubili viene effettuata in conformità alle tecniche indicate nella UNI11087:2003.

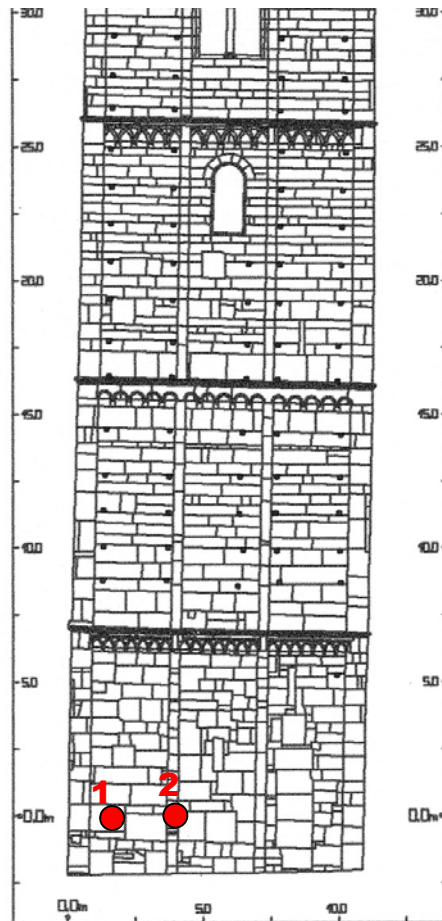
Le analisi in ICP ottico sono eseguite secondo il metodo EPA 6020A

Le analisi biologiche per lo studio degli organismi biodeteriogeni vengono effettuate su preparati allestiti e descritti in conformità alle normative UNI10923:2001 e NORMAL 19/85.

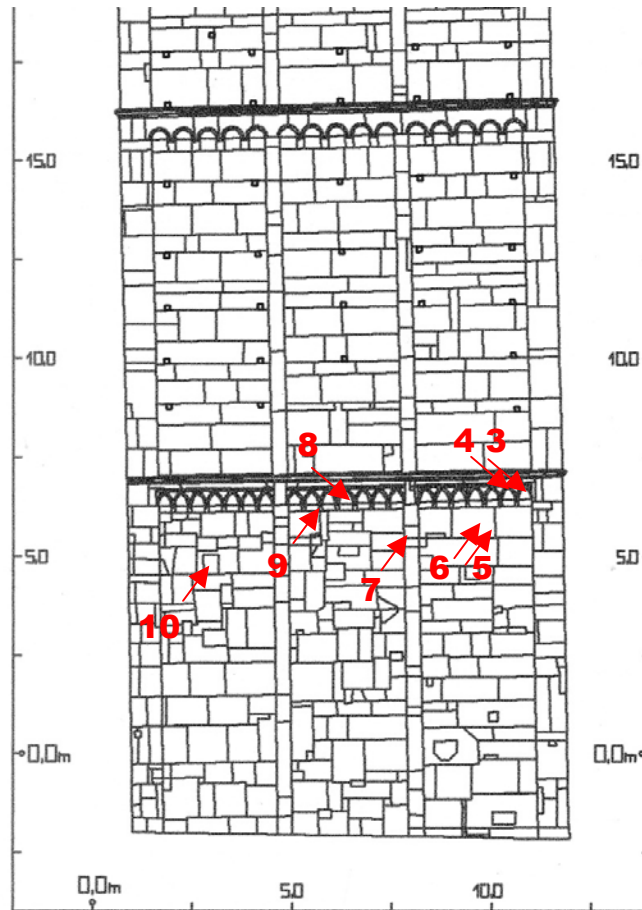
Le determinazioni analitiche che non sono normate da metodi ufficiali vengono effettuate nel rispetto di metodi interni di prova.

4. UBICAZIONE DEI PRELIEVI

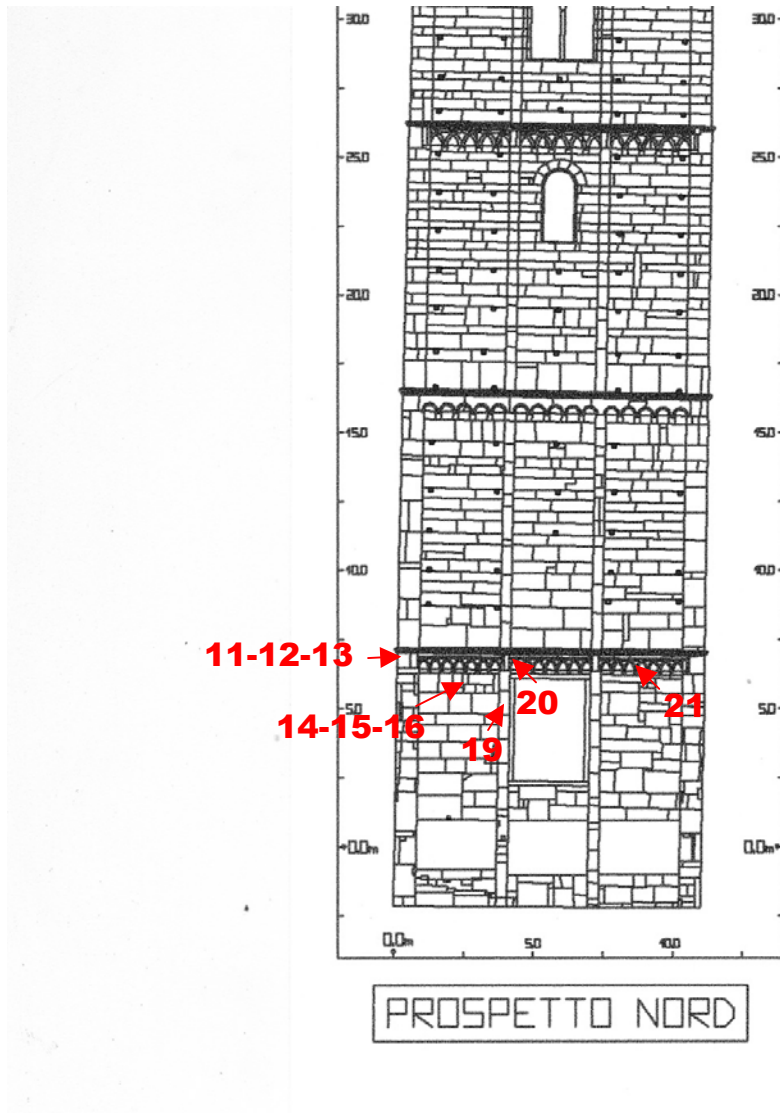
L'ubicazione dei punti di prelievo dei campioni esaminati risulta dalle mappe di seguito allegate e dalla documentazione fotografica riportata per ciascun campione nelle rispettive schede analitiche allegate in Appendice I.



PROSPETTO OVEST



PROSPETTO EST



5. RISULTATI ANALITICI

I risultati delle prove effettuate vengono riportati, commentati e corredati dalla relativa documentazione fotografica, in Appendice I.

I rapporti di prova, conformi alle prescrizioni del Sistema Nazionale per l'Accreditamento dei Laboratori (SINAL), relativi alle analisi eseguite e i dettagli dei risultati sperimentali ricavati sono riportati in Appendice II.

6. CONCLUSIONI

Integrando ed interpretando i risultati ottenuti dalle analisi riportate nelle pagine seguenti è possibile concludere quanto segue:

R&C Lab S.r.l.
Il Responsabile del Reparto Beni Culturali
dr.ssa Mirella Baldan

Relazione tecnica a cura della dr.ssa

Altavilla Vicentina,

Bibliografia:

- "La fabbrica del colore" (1986) ed. IL BAGATTO
- "Painting Materials - A short encyclopaedia" (1966) Dover Publications, In., New York
- "La chimica del restauro" (1989) Nardini Editore
- "Artists' Pigments - vol.1" (1986) Cambridge University Press
- "Artists' Pigments - vol.2" (1986) Cambridge University Press
- "An introduction to the Rock Forming Minerals" (1966) Deer, Howie e Zussman, ed. Longman

Appendice I

SCHEDE ANALITICHE

CAMPIONE 10138/1

Rapporto di Prova n°: 57946-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto ovest

Descrizione del campione: frammento lapideo con crosta nera

Scopo dell'indagine: individuazione della stratigrafia e analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: allestimento e studio della sezione lucida, analisi alla microsonda elettronica EDS analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Successione stratigrafica del campione, dettaglio.

Risultati: Il campione esaminato rappresenta un materiale lapideo (a) di natura carbonatica, tenace, di colore d'insieme giallo-nocciola la cui la porzione superficiale esterna (per uno spessore variabile da 50 a 150µm) appare meno compatta e leggermente solfatata.

Al di sopra di tale superficie sono stati evidenziati:

- uno strato (b) di colore d'insieme giallo-grigiastro a base di ossalato di calcio con minori calcite, gesso, ocre e nero di carbone. Nello strato è stata inoltre evidenziata la diffusa presenza di Fosforo (P);
- uno strato (c) di colore d'insieme nerastro a base di ossalato di calcio e gesso con particellato atmosferico sia di natura silicatica sia di natura carboniosa. Nello strato è stata inoltre evidenziata la presenza in minime quantità di Fosforo (P);
- uno strato (d) di colore d'insieme brunastro a base di ossalato di calcio e minime quantità di gesso e particellato atmosferico sia di natura silicatica sia di natura carboniosa. Nello strato è stata inoltre evidenziata la presenza in minime quantità di Fosforo (P).

L'analisi alla microsonda elettronica EDS ha evidenziato inoltre la presenza di quantità non trascurabili di Silicio (Si) sia in corrispondenza della porzione superficiale del supporto lapideo (a) sia degli strati soprastanti (b)-(d).

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione 10138/1, punto di prelievo.



Foto 2: Campione 10138/1, punto di prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/1, sezione lucida,
Nicols incrociati.

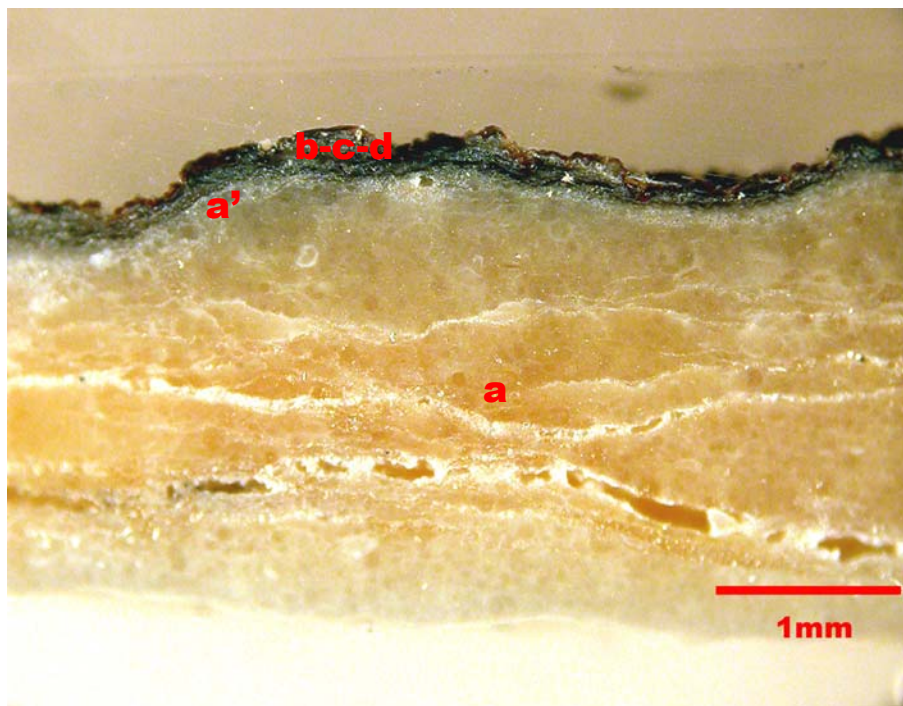
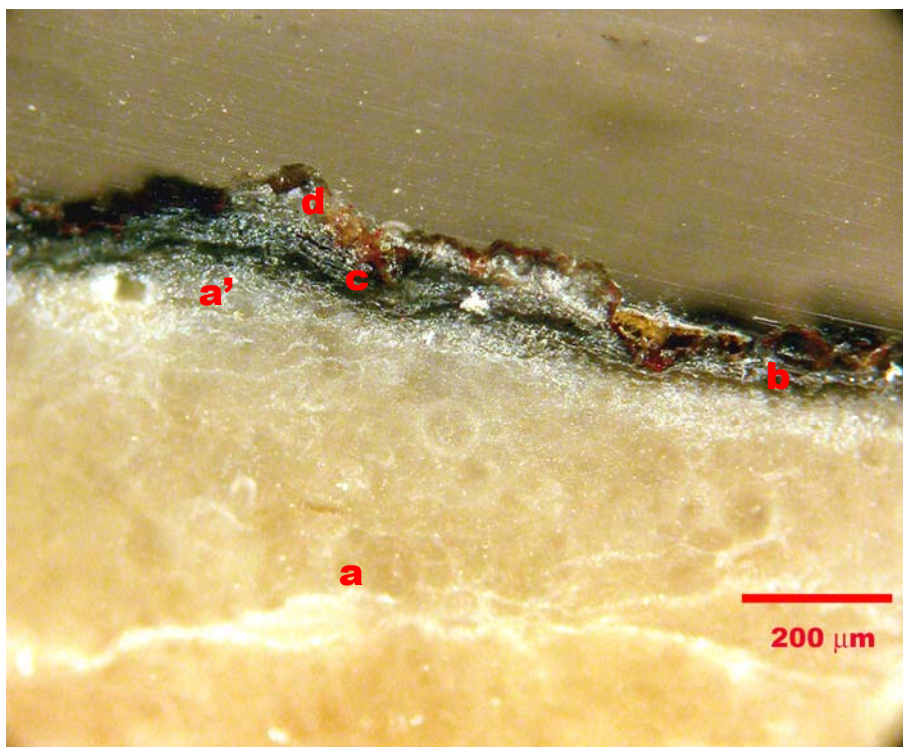


Foto 4: Campione
10138/1, sezione lucida,
Nicols incrociati,
dettaglio.



CAMPIONE 10138/2

Rapporto di Prova n°: 57947-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto ovest

Descrizione del campione: frammento lapideo con crosta nera

Scopo dell'indagine: individuazione della stratigrafia e analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: allestimento e studio della sezione lucida, analisi alla microsonda elettronica EDS analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Successione stratigrafica del campione, dettaglio.

Risultati: Il campione esaminato rappresenta un materiale lapideo (a) di natura carbonatica, tenace, di colore d'insieme giallo-nocciola la cui la porzione superficiale esterna (per uno spessore variabile da 50 a 250µm) appare meno compatta e leggermente solfatata.

Al di sopra di tale superficie sono stati evidenziati:

- uno strato (b) di colore d'insieme giallastro a base di gesso e ossalato di calcio. Nello strato è stata inoltre evidenziata la diffusa presenza di Fosforo (P);
- uno strato (c) di colore d'insieme biancastro a base di gesso e ossalato di calcio. Nello strato è stata inoltre evidenziata la presenza in minime quantità di Fosforo (P);
- uno strato (d) di colore d'insieme giallo brunastro a base di ossalato di calcio e minime quantità di gesso e particellato atmosferico sia di natura silicatica sia di natura carboniosa;
- uno strato (e) di colore d'insieme giallo brunastro a base di ossalato di calcio e gesso con particellato atmosferico sia di natura silicatica sia di natura carboniosa.

L'analisi alla microsonda elettronica EDS ha evidenziato inoltre la presenza di quantità non trascurabili di Silicio (Si) sia in corrispondenza della porzione superficiale del supporto lapideo (a) sia degli strati soprastanti (b)-(e).

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione 10138/2, punto di prelievo.



Foto 2: Campione 10138/2, punto di prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/2, sezione lucida,
Nicols incrociati.

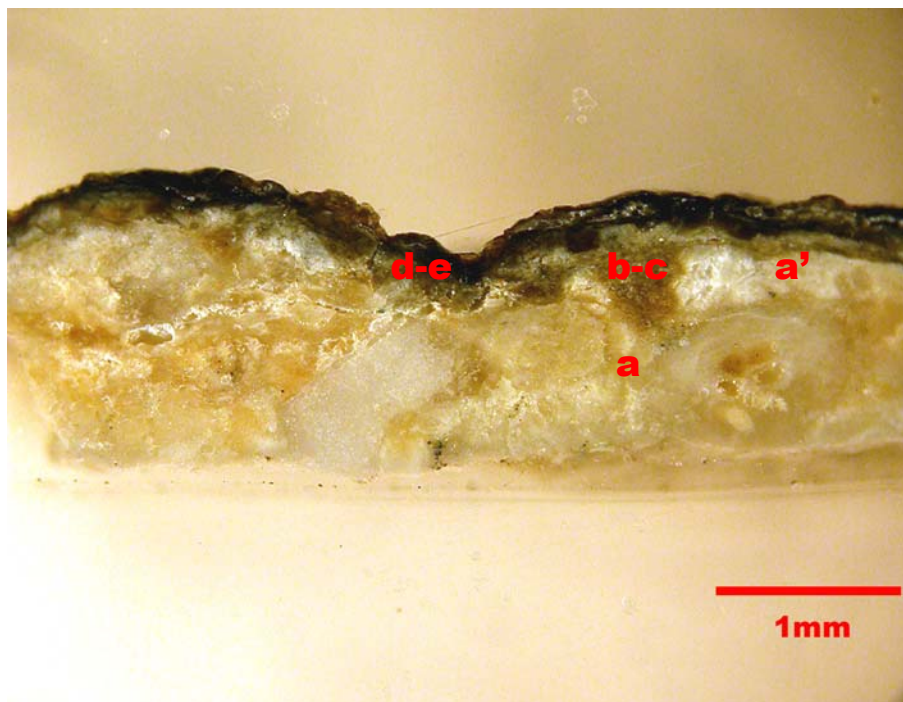
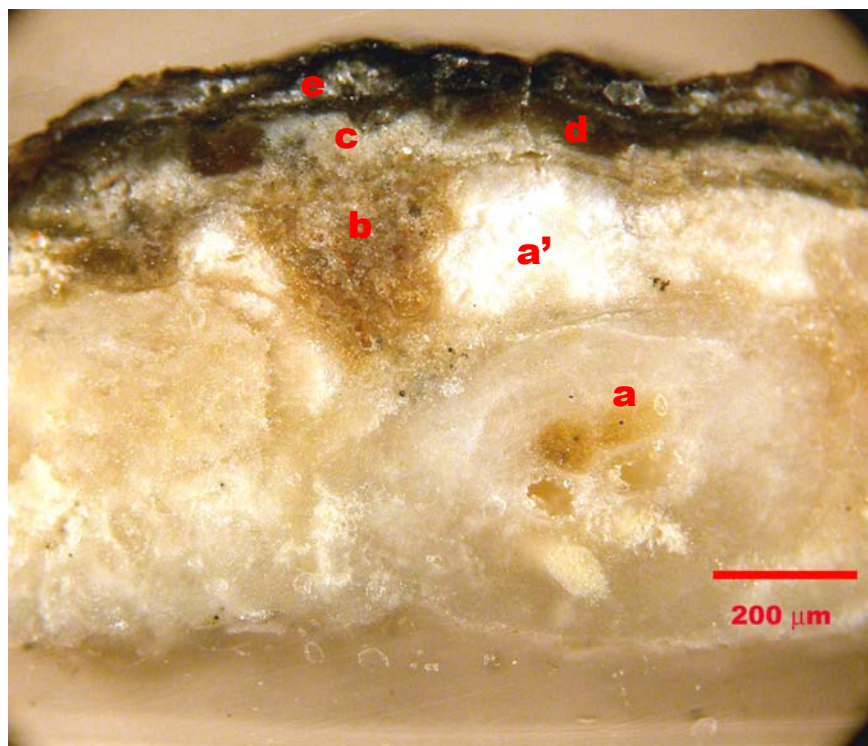


Foto 4: Campione
10138/2, sezione lucida,
Nicols incrociati,
dettaglio.



CAMPIONE 10138/3

Rapporto di Prova n°: 57948-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto est

Descrizione del campione: frammento lapideo con patina gialla

Scopo dell'indagine: individuazione della stratigrafia e analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: allestimento e studio della sezione lucida, analisi alla microsonda elettronica EDS analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Successione stratigrafica del campione, dettaglio.

Risultati: Il campione esaminato rappresenta un materiale lapideo (a) di natura carbonatica, tenace, di colore d'insieme biancastro.

Al di sopra di tale superficie sono stati evidenziati:

- uno strato (b) di colore d'insieme giallo-grigiastro a base di ossalato di calcio con minori calcite, gesso, ocre e nero di carbone;
- un sottile strato (c) di colore d'insieme nerastro a base di ossalato di calcio e gesso con particellato atmosferico sia di natura silicatica sia di natura carboniosa.

L'analisi alla microsonda elettronica EDS ha evidenziato inoltre la presenza di quantità non trascurabili di Silicio (Si) sia in corrispondenza della porzione superficiale del supporto lapideo (a) sia degli strati soprastanti (b) e (c).

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione
10138/3, punto di
prelievo.



Foto 2: Campione
10138/3, punto di
prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/3, sezione lucida,
Nicols incrociati.

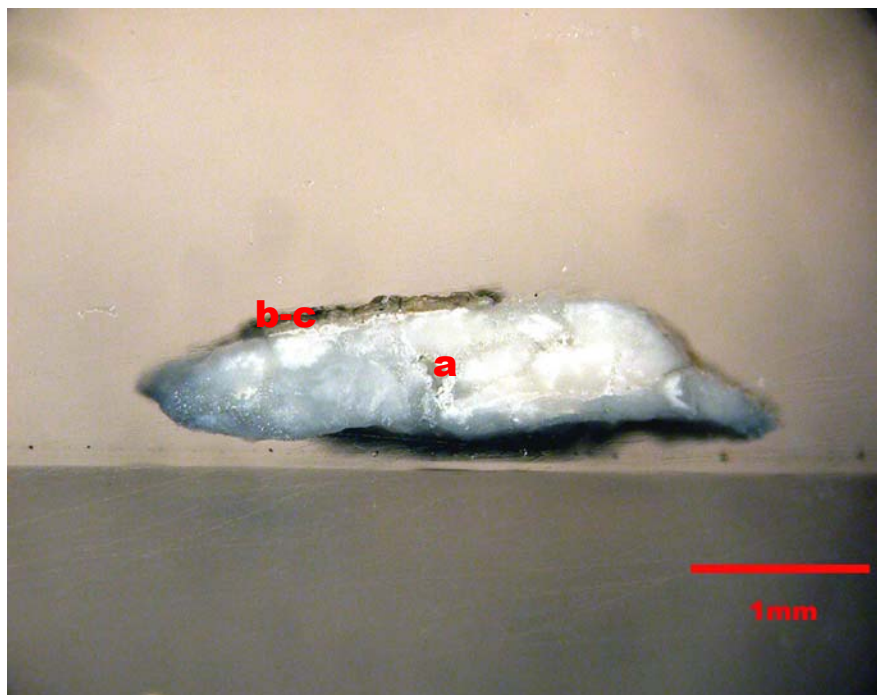
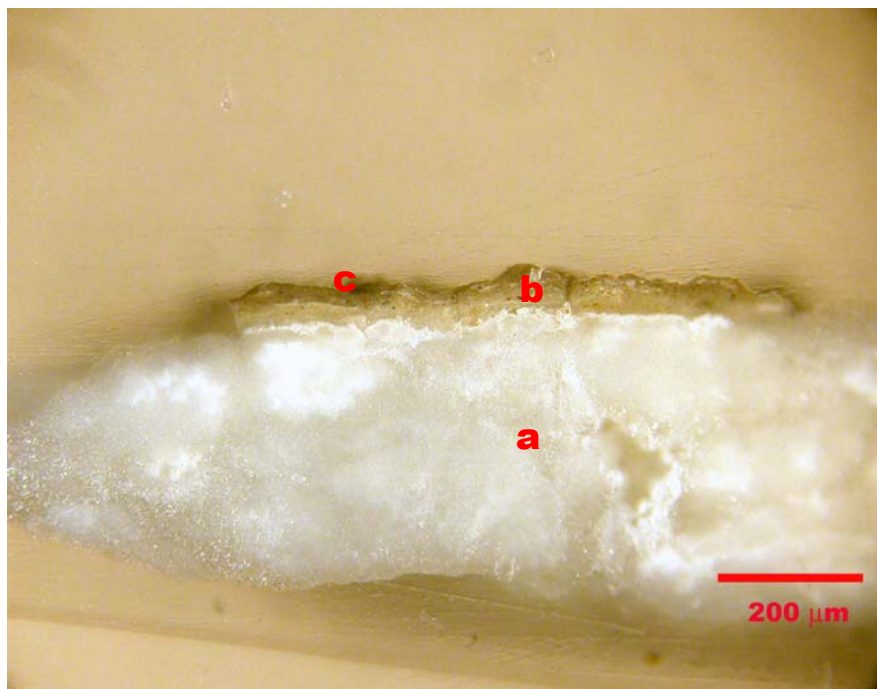


Foto 4: Campione
10138/3, sezione lucida,
Nicols incrociati,
dettaglio.



CAMPIONE 10138/4

Rapporto di Prova n°: 57949-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto est

Descrizione del campione: frammento lapideo con crosta nera

Scopo dell'indagine: analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: analisi al microscopio a scansione SEM, analisi alla microsonda elettronica EDS

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Microfotografia al SEM, successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Microfotografia al SEM, successione stratigrafica del campione, dettaglio.
Foto 5 – Microfotografia al SEM, superficie esterna del campione.
Foto 6 – Microfotografia al SEM, superficie esterna del campione, dettaglio.

Risultati: Il campione esaminato corrisponde alla porzione superficiale (spessore 2mm) di un materiale lapideo (a) di natura carbonatica sul quale è presente uno strato di crosta nera (b).

L'analisi in sezione al microscopio elettronico a scansione ha permesso di verificare che il materiale lapideo è interessato, per tutto lo spessore del campione, da diffuse microfessurazioni distribuite sia subparallelamente alla superficie di strato sia ortogonalmente. Tali microfessure appaiono beanti, quindi senza evidenti fenomeni di ricristallizzazione interna. Lo studio della zona di passaggio con lo strato di crosta nera soprastante ha permesso di evidenziare che il passaggio tra pietra e crosta nera risulta sfumato con evidente sviluppo dei cristalli di gesso a spese dei cristalli di calcite del supporto.

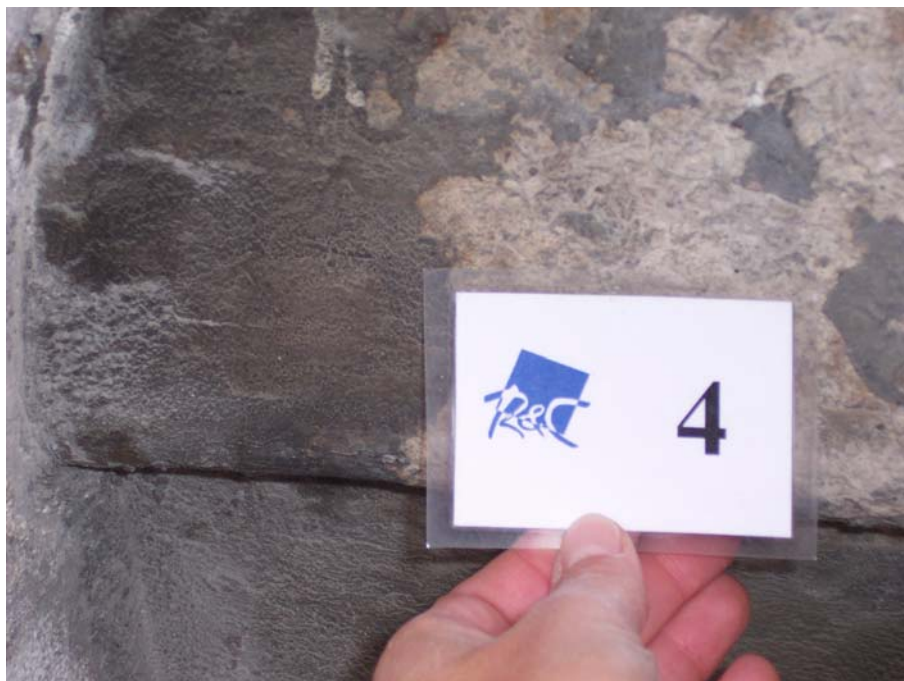
L'analisi della superficie della crosta nera ne ha messo in risalto la morfologia assai irregolare e grumosa. Lo strato risulta costituito da cristalli di gesso concresciuti a feltro che inglobano sia particellato atmosferico sia carbonioso, sia silicatico, sia di natura vegetale (pollini) con presenza in superficie di ife fungine.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione 10138/4, punto di prelievo.



Foto 2: Campione 10138/4, punto di prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/4, micrografia al
SEM.

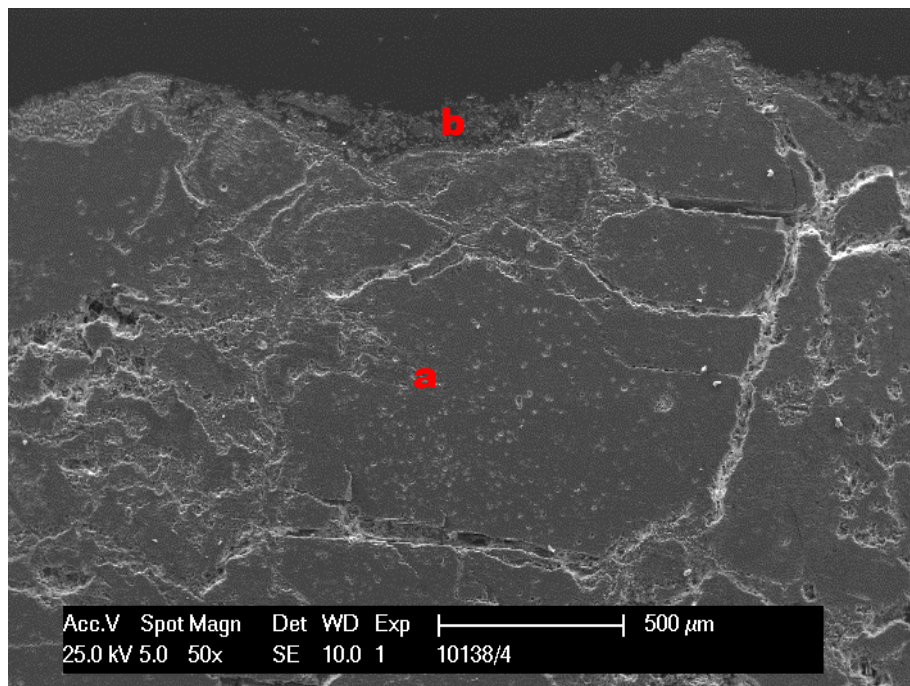
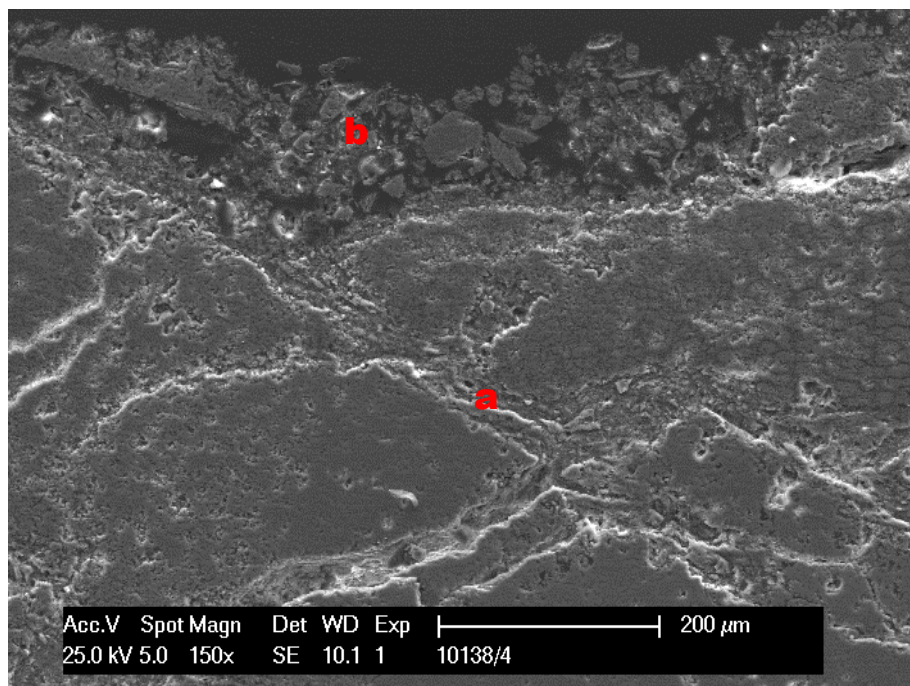


Foto 4: Campione
10138/4, micrografia al
SEM, sezione lucida,
dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 5: Campione 10138/4, micrografia al SEM. Particolare della foto precedente.

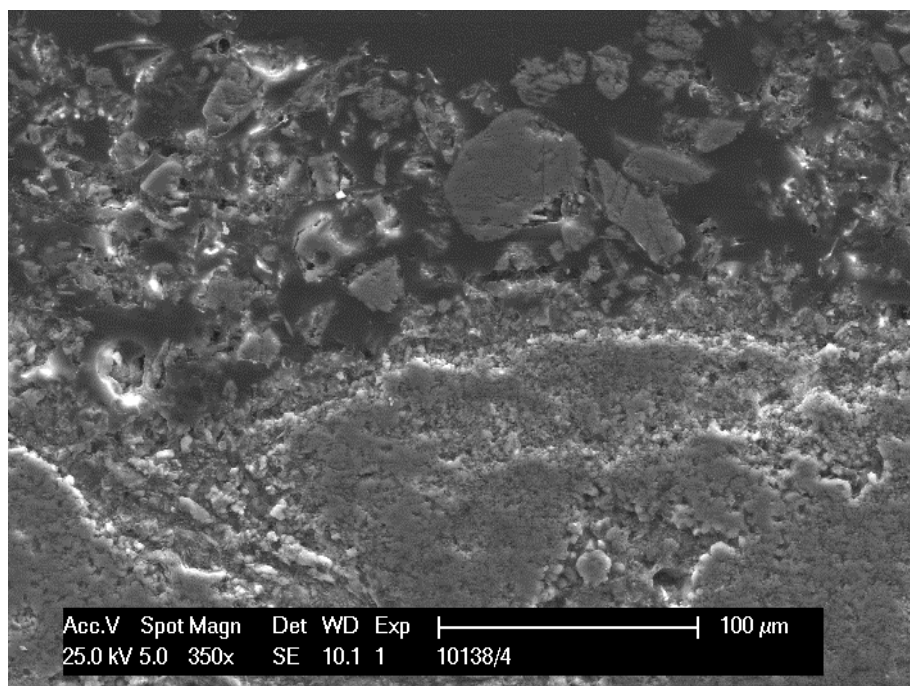
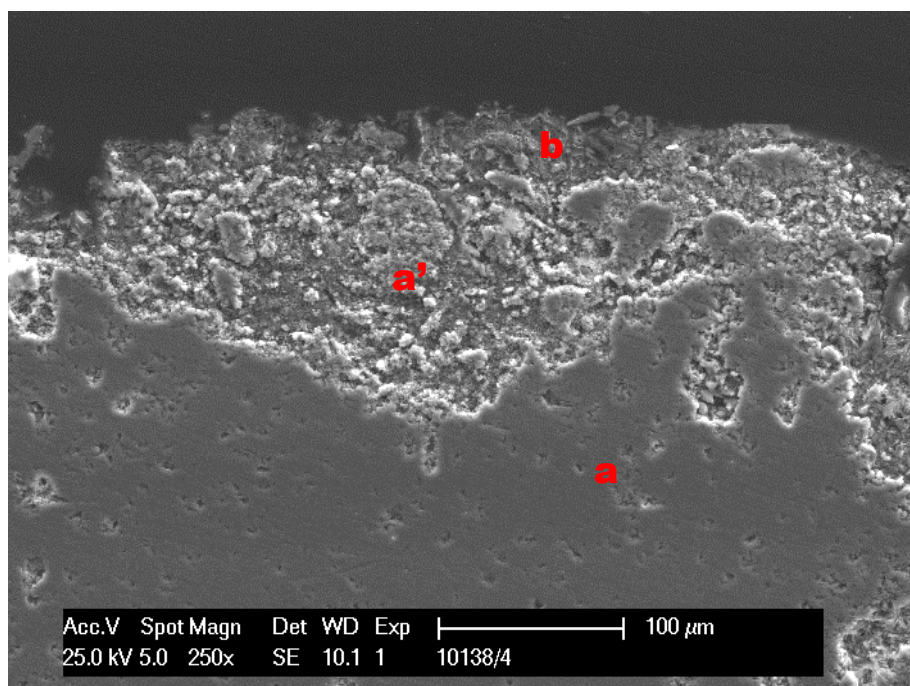


Foto 6: Campione 10138/4, micrografia al SEM, sezione lucida, dettaglio dove risulta ben visibile la porzione superficiale del lapideo (a') interessata dal fenomeno di solfatazione.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 7: Campione 10138/4, micrografia al SEM, sezione lucida. Dettaglio di una zona dove è stato evidenziato il distacco di microscaglie dal materiale lapideo.

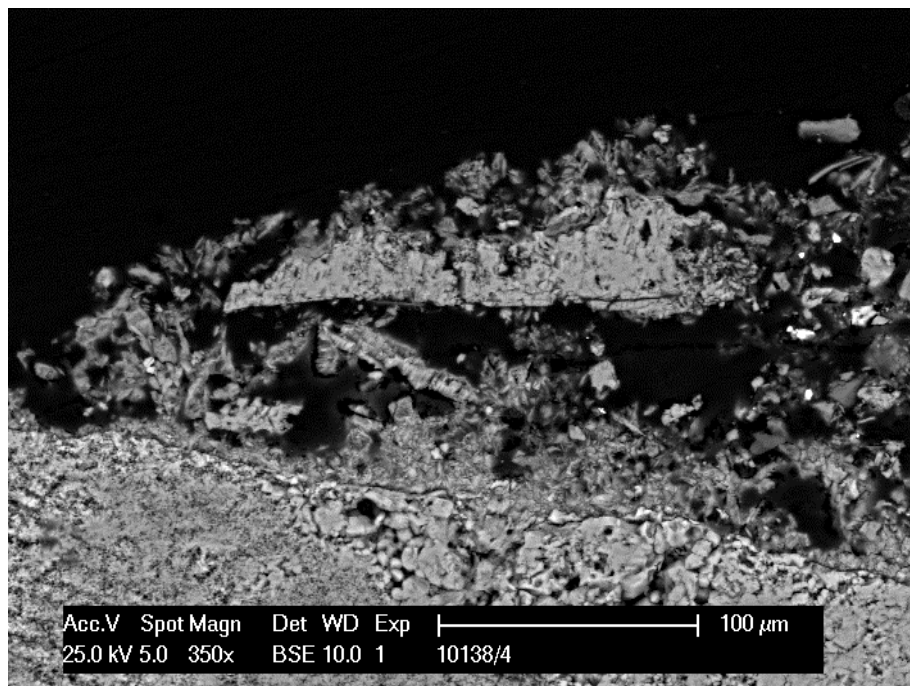
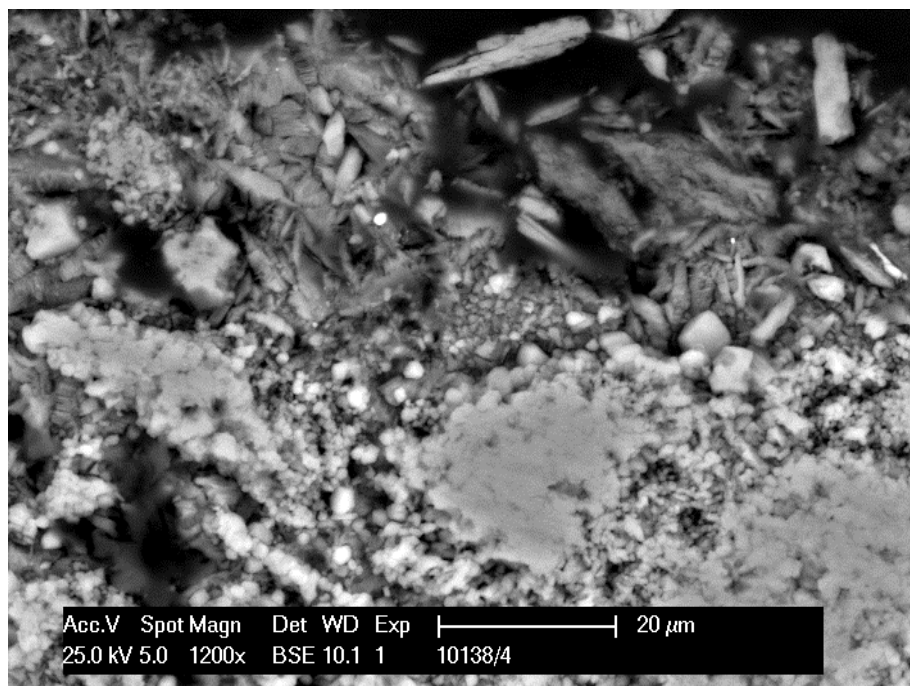


Foto 8: Campione 10138/4, micrografia al SEM, sezione lucida. Dettaglio della zona superficiale della pietra dove i cristalli di gesso si stanno sviluppando a spese della calcite che costituisce la pietra.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 9: Campione 10138/4, micrografia al SEM, superficie del campione. In evidenza morfologia irregolare e grumosa della superficie.

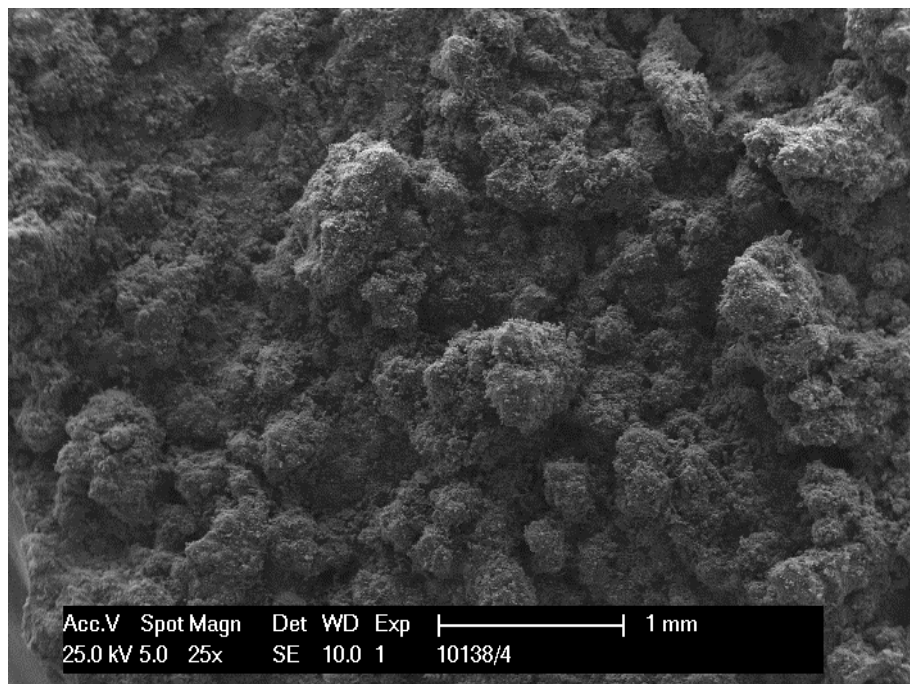
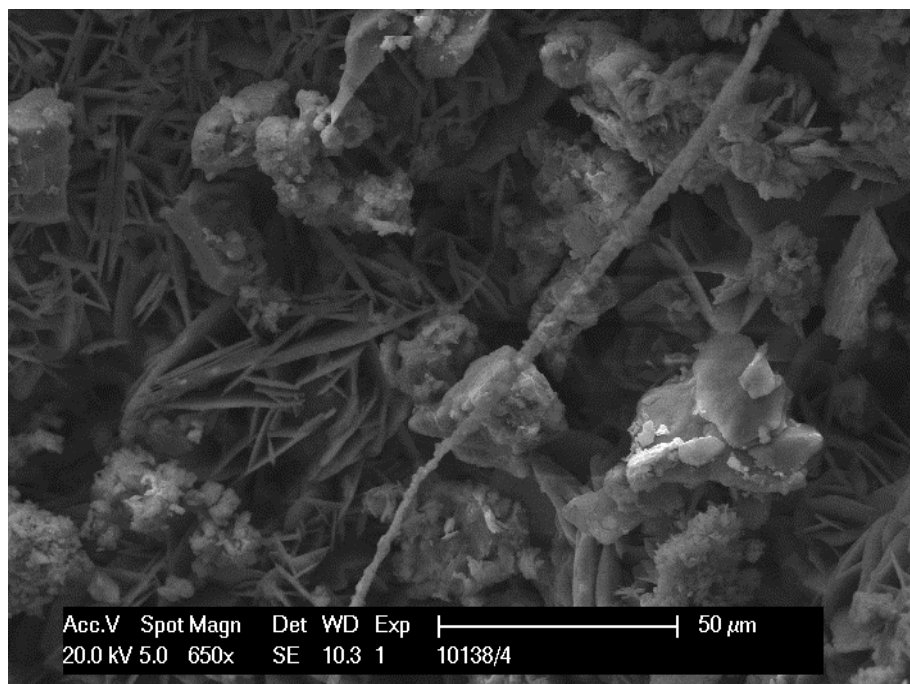


Foto 10: Campione 10138/4, micrografia al SEM, superficie del campione. In evidenza ife fungine.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 11: Campione 10138/4, micrografia al SEM, superficie del campione. in evidenza struttura a feltro dei cristalli di gesso.

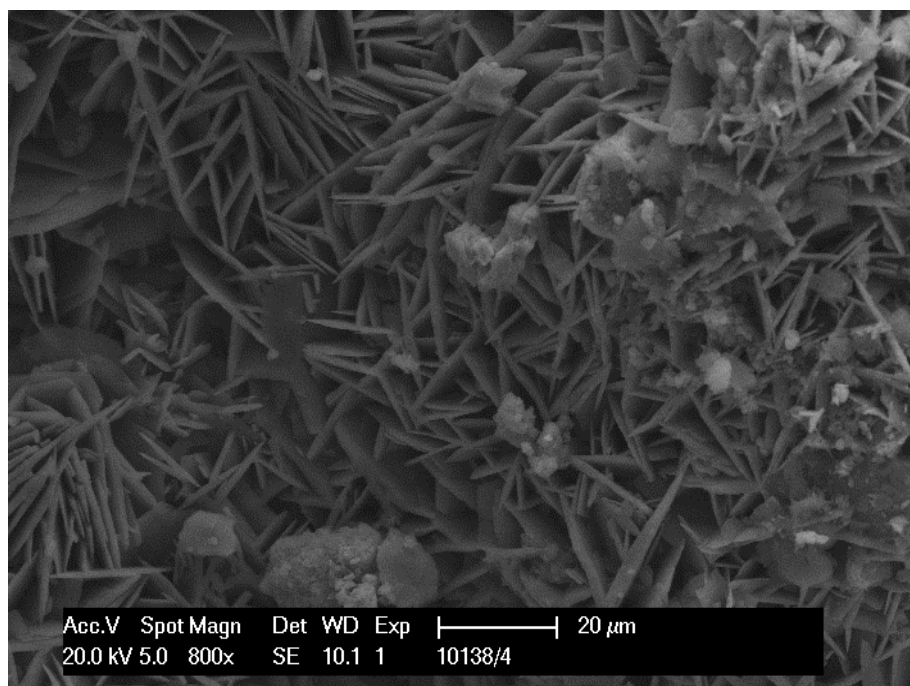
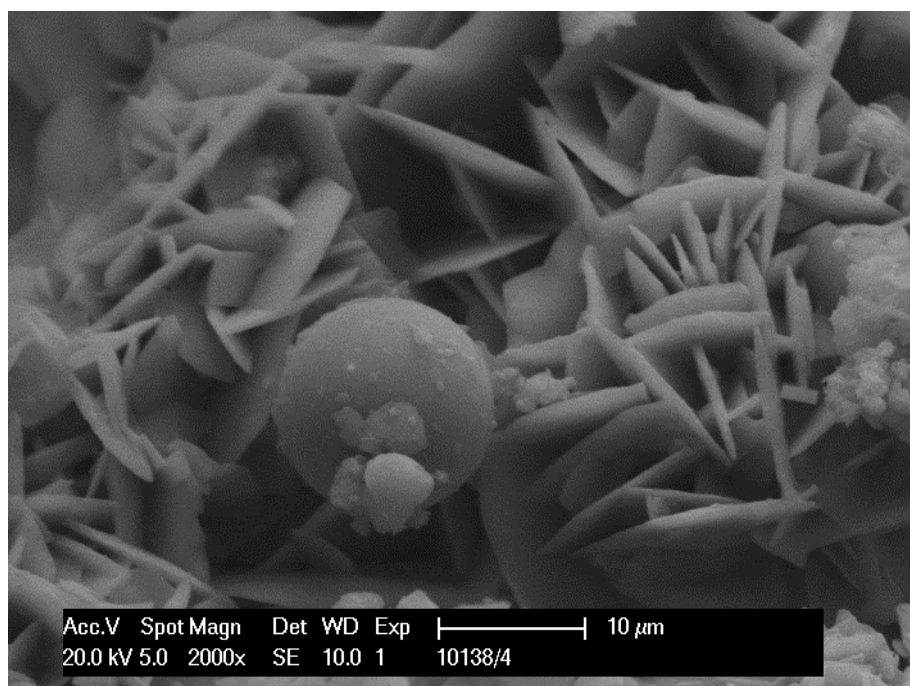
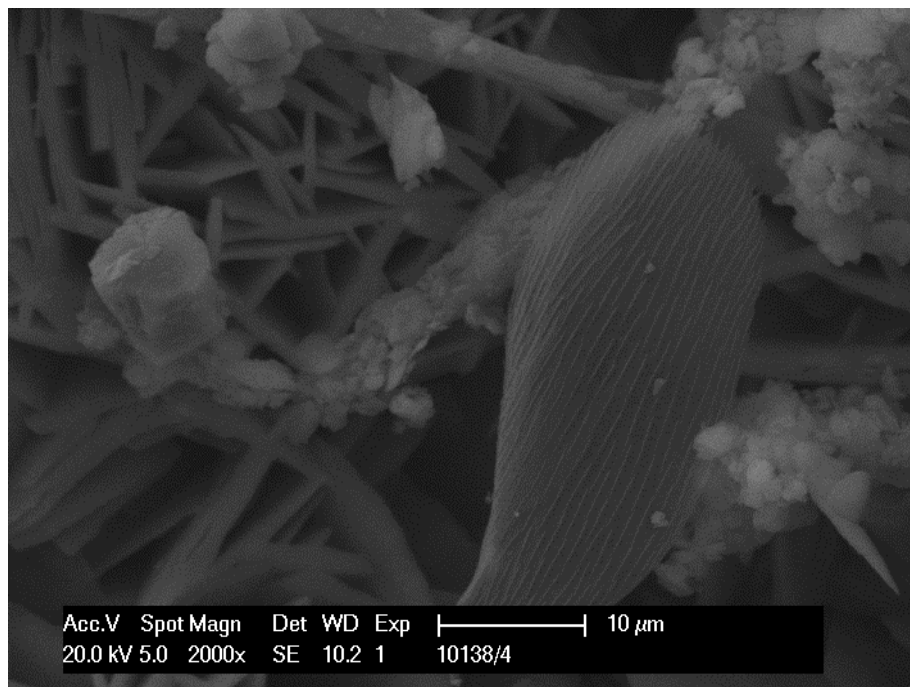


Foto 12: Campione 10138/4, micrografia al SEM, superficie del campione. In evidenza globulo di provenienza atmosferica.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 13: Campione 10138/4, micrografia al SEM, superficie del campione. In evidenza granulo di polline.



CAMPIONE 10138/5

Rapporto di Prova n°: 57950-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto est

Descrizione del campione: frammento lapideo degradato

Scopo dell'indagine: analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: misura della conducibilità e analisi cromatografica in HPLC

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.

Risultati: il campione esaminato è costituito da una scaglia superficiale di materiale lapideo friabile, di colore d'insieme giallo-nocciola chiaro, dello spessore medio di 10mm. Il dosaggio dei sali solubili ha permesso di determinare la presenza di:

anioni

- *cloruri* 0.03%
- *nitrati* 0.20%
- *solfati* 1.63%

cationi

- *sodio* 3.94%
- *calcio* 1.16%
- *potassio* 0.02%
- *magnesio* 0.02%

conduttività 58.3µS/cm

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione
10138/5, punto di
prelievo.



Foto 2: Campione
10138/5, punto di
prelievo, dettaglio.



CAMPIONE 10138/6

Rapporto di Prova n°: 57951-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto est

Descrizione del campione: frammento lapideo con crosta nera

Scopo dell'indagine: individuazione della stratigrafia e analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: allestimento e studio della sezione lucida, analisi alla microsonda elettronica EDS analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Successione stratigrafica del campione, dettaglio.

Risultati: Il campione esaminato rappresenta un materiale lapideo (a) di natura carbonatica, tenace, di colore d'insieme giallo-nocciola.

Al di sopra di tale superficie sono stati evidenziati:

- uno strato (b) di colore d'insieme giallo-grigiastro a base di ossalato di calcio con minori calcite, gesso, ocre e nero di carbone;
- un sottile strato (c) di colore d'insieme nerastro a base di ossalato di calcio e gesso con particellato atmosferico sia di natura silicatica sia di natura carboniosa.

L'analisi alla microsonda elettronica EDS ha evidenziato inoltre la presenza di quantità non trascurabili di Silicio (Si) sia in corrispondenza della porzione superficiale del supporto lapideo (a) sia degli strati soprastanti (b) e (c).

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione 10138/6, punto di prelievo.



Foto 2: Campione 10138/6, punto di prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/6, sezione lucida,
Nicols incrociati.

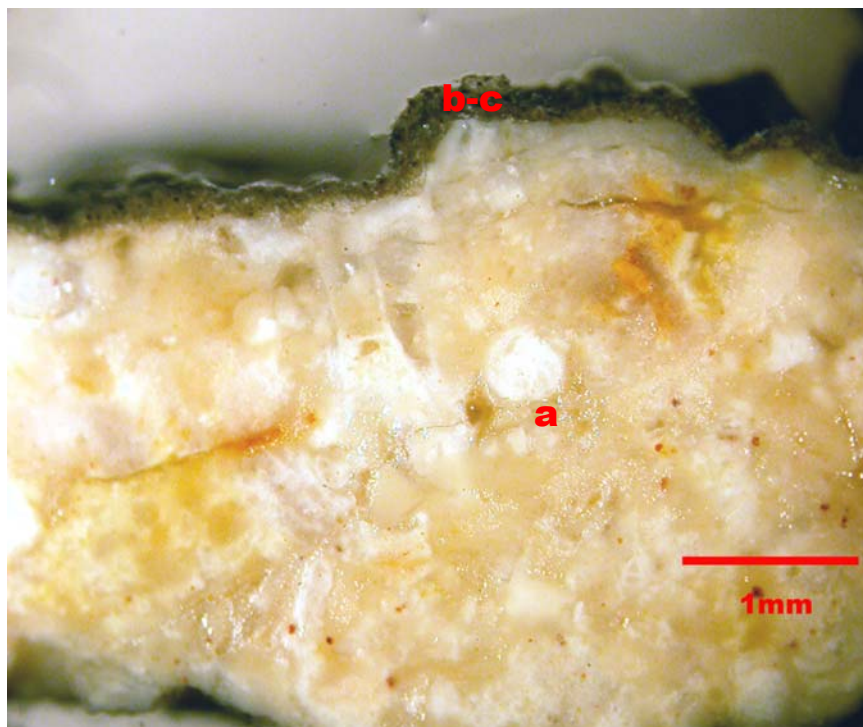
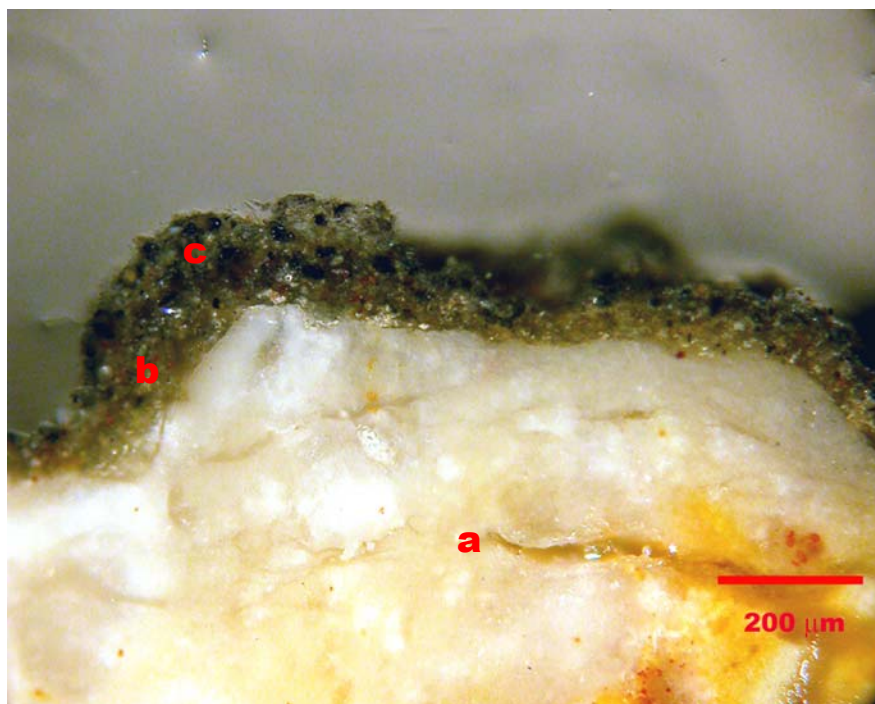


Foto 4: Campione
10138/6, sezione lucida,
Nicols incrociati,
dettaglio.



CAMPIONE 10138/7

Rapporto di Prova n°: 57952-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto est

Descrizione del campione: frammento lapideo con scialbo giallo-verde

Scopo dell'indagine: individuazione della stratigrafia e analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: allestimento e studio della sezione lucida, analisi alla microsonda elettronica EDS analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Successione stratigrafica del campione, dettaglio.

Risultati: Il campione esaminato rappresenta un materiale lapideo (a) di natura carbonatica, tenace, di colore d'insieme biancastro.
Al di sopra di tale superficie sono stati evidenziati:

- uno strato (b) di colore d'insieme bianco-verdastro a base di calcite con modeste quantità di gesso. Sulla superficie e all'interno delle porosità dello strato è stata riconosciuta la presenza di probabili cenosi algali.

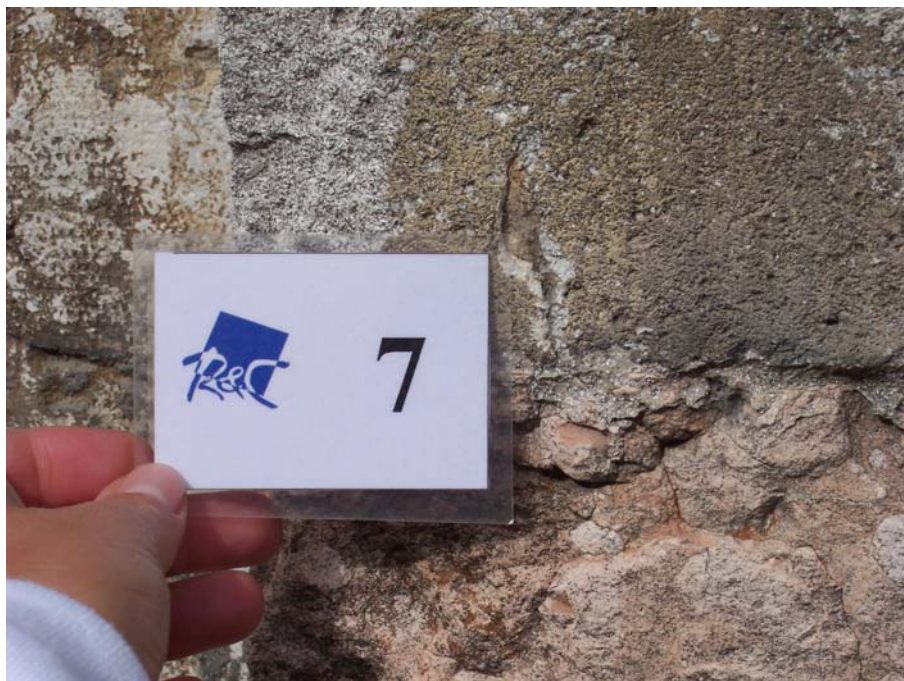
L'analisi alla microsonda elettronica EDS ha evidenziato inoltre in corrispondenza della porzione superficiale del supporto lapideo (a) (per uno spessore variabile da 50 a 100µm) la presenza di elevate quantità di Fosforo (P).

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione 10138/7, punto di prelievo.



Foto 2: Campione 10138/7, punto di prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/7, sezione lucida,
Nicols incrociati.

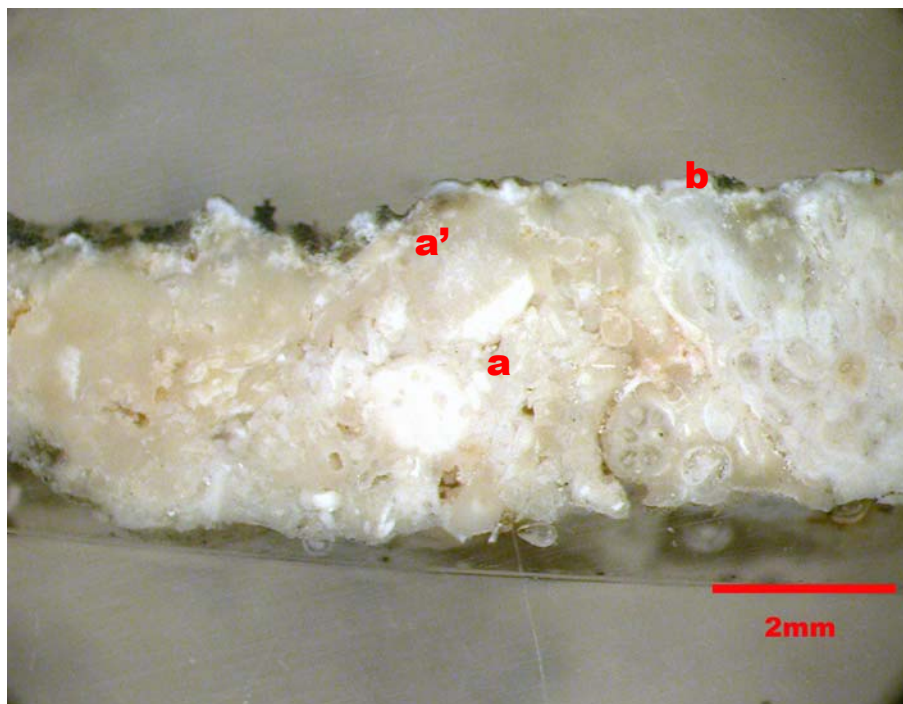
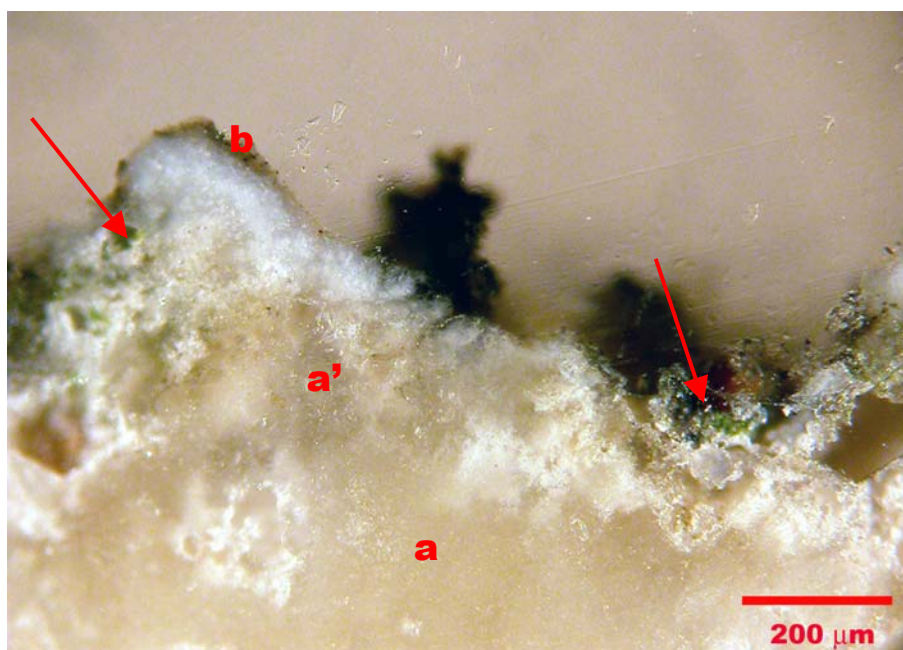
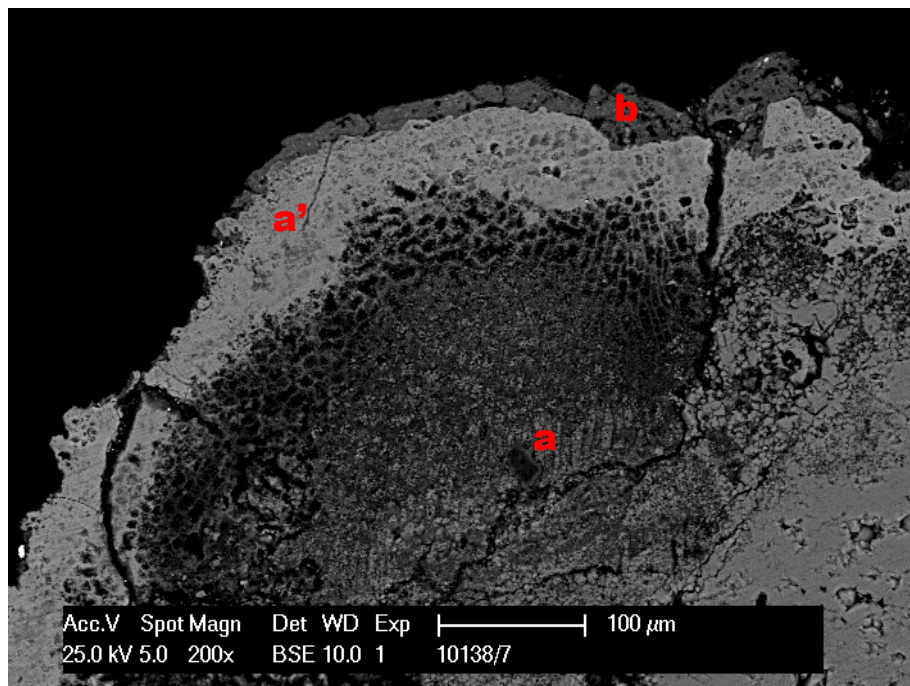


Foto 4: Campione
10138/7, sezione lucida,
Nicols incrociati,
dettaglio della superficie
esterna dove è stata
riconosciuta la presenza
di alghe.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 5: Campione
10138/7, micrografia al
SEM, sezione lucida.
Nella foto in BSE appare
evidente la zona
superficiale del materiale
lapideo ricca in Fosforo
(P).



CAMPIONE 10138/8

Rapporto di Prova n°: 57953-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto est

Descrizione del campione: patina biologica

Scopo dell'indagine: analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: osservazione biologica al microscopio

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Successione stratigrafica del campione, dettaglio.

Risultati: lo studio al microscopio ottico della patina verdastra presente sulla superficie del materiale lapideo ha permesso di determinare che l'attacco biodeteriogeno è di natura algale. In particolare sono state riconosciute le specie *Phormidium foveolarum* e *Microcystis viridis* (alghe azzurre).

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione
10138/8, punto di
prelievo.

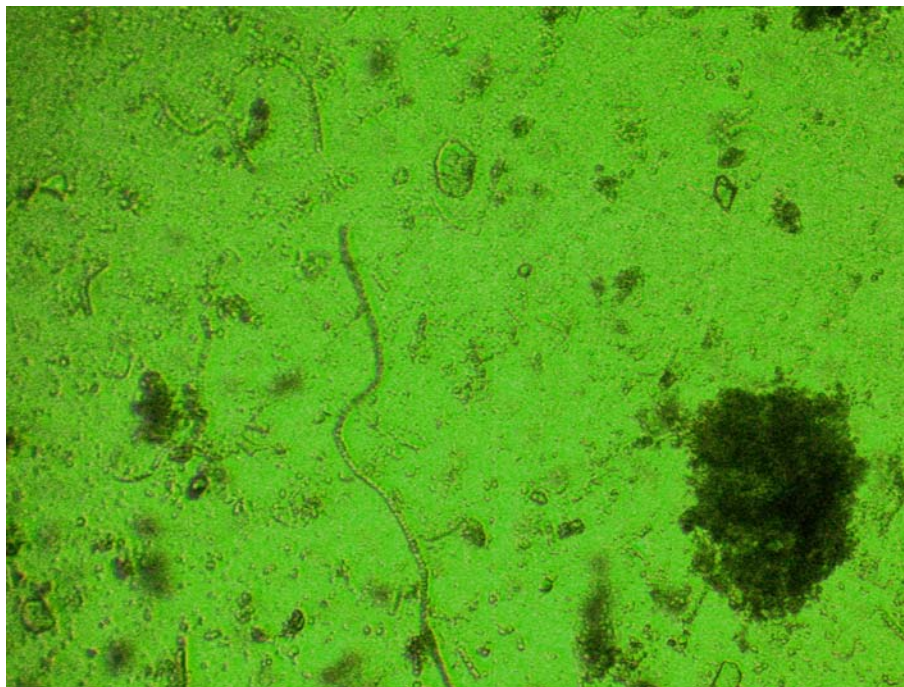


Foto 2: Campione
10138/8, punto di
prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/8, preparato
biologico. Cenosi algale
ad andamento reticolare e
filamentosa.



CAMPIONE 10138/9

Rapporto di Prova n°: 57954-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto est

Descrizione del campione: stuccatura con crosta nera

Scopo dell'indagine: individuazione della stratigrafia e analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: allestimento e studio della sezione lucida, analisi alla microsonda elettronica EDS analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Successione stratigrafica del campione, dettaglio.

Risultati: nel campione analizzato è stata individuata la seguente successione stratigrafica:

- strato (a) di stucco tenace, di colore d'insieme bianco, ottenuto miscelando un legante a base di calce con un aggregato a base di polvere di marmo;
- uno strato (b) di colore d'insieme giallo-grigiastro a base di ossalato di calcio con minori calcite, gesso, ocre e nero di carbone;
- un sottile strato (c) di colore d'insieme nerastro a base di gesso con particellato atmosferico sia di natura silicatica sia di natura carboniosa.

L'analisi alla microsonda elettronica EDS ha evidenziato inoltre la presenza di quantità non trascurabili di Silicio (Si) sia in corrispondenza della porzione superficiale dello stucco (a) sia degli strati soprastanti (b) e (c).

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione 10138/9, punto di prelievo.



Foto 2: Campione 10138/9, punto di prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/9, sezione lucida,
Nicols incrociati.

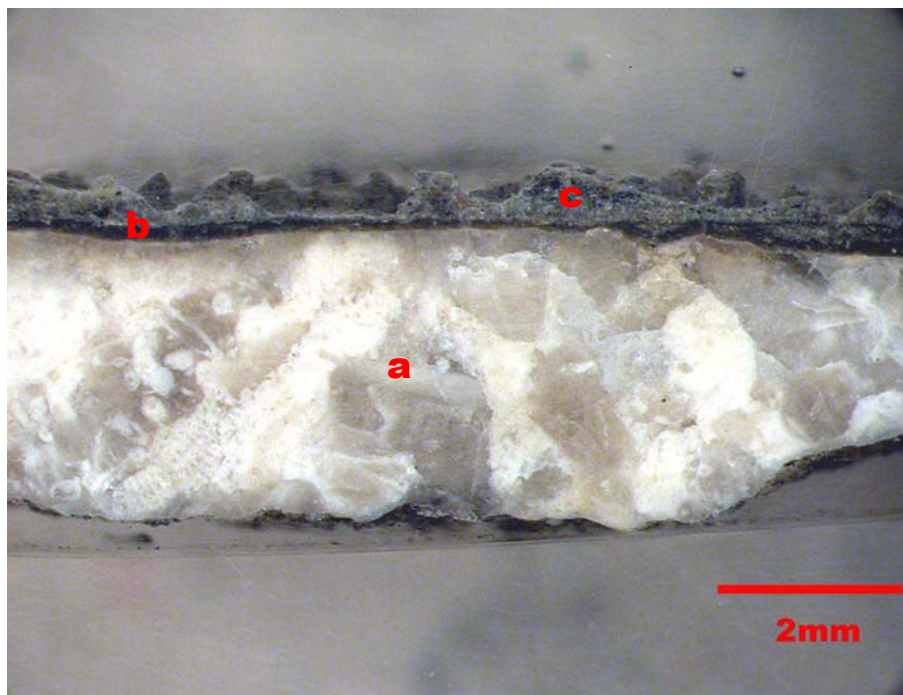
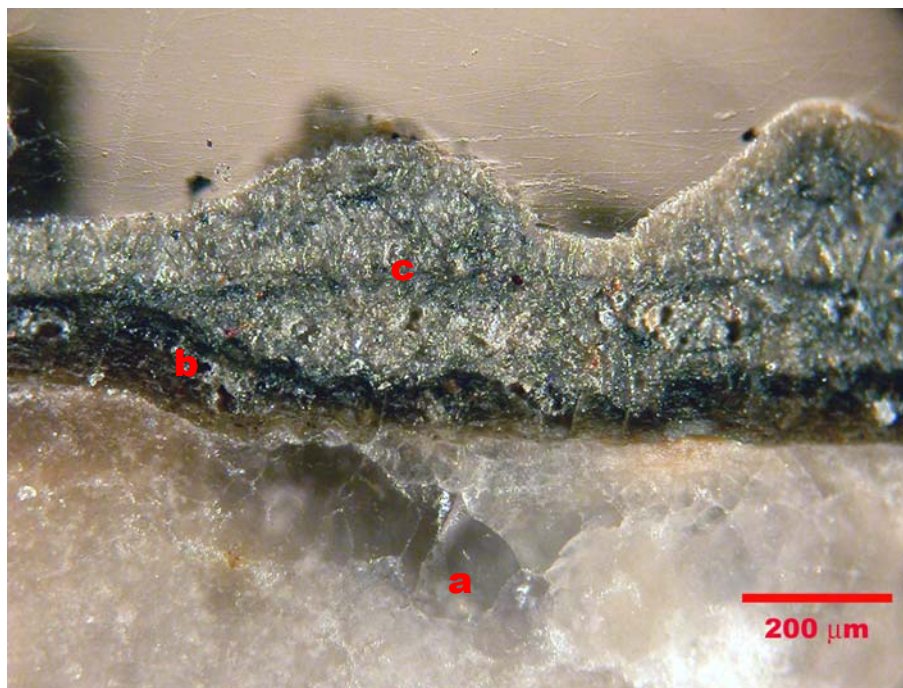


Foto 4: Campione
10138/9, sezione lucida,
Nicols incrociati,
dettaglio.



CAMPIONE 10138/10

Rapporto di Prova n°: 57955-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto est

Descrizione del campione: frammento lapideo con crosta nera

Scopo dell'indagine: analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: analisi al microscopio a scansione SEM, analisi alla microsonda elettronica EDS, misura della conducibilità e analisi cromatografica in HPLC

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Microfotografia al SEM.
Foto 4 – Microfotografia al SEM.

Risultati: il campione esaminato è costituito da una scaglia superficiale di materiale lapideo (a) tenace, di colore d'insieme rosso chiaro, dello spessore medio di 6mm, sul quale è presente una crosta nera (b).
Il dosaggio dei sali solubili effettuato sul materiale lapideo ha permesso di determinare la presenza di:

anioni

- *nitrati* 0.04%
- *solforati* 0.95%

cationi

- *sodio* 1.77%
- *calcio* 1.06%
- *potassio* 0.01%
- *magnesio* 0.03%

conduttività 42.3μS/cm

L'analisi in sezione al microscopio elettronico a scansione del campione ha permesso di verificare che il materiale lapideo è interessato da microfessurazioni superficiali, distribuite subparallelamente alla superficie di strato, che appaiono beanti, quindi senza evidenti fenomeni di ricristallizzazione interna. Lo studio della zona di passaggio con lo strato di crosta nera soprastante ha permesso di evidenziare che il limite tra pietra e crosta nera risulta piuttosto netto e regolare, senza evidenti fenomeni di solfatazione della pietra carbonatica.

L'analisi della superficie della crosta nera ne ha messo in risalto la morfologia leggermente irregolare e compatta. Lo strato risulta costituito da microcristalli di gesso saldati tra loro a formare uno strato tenace e compatto, che inglobano sia particolato atmosferico sia carbonioso, sia silicatico, sia di natura vegetale (pollini) con presenza in superficie di ife fungine.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione 10138/10, punto di prelievo.



Foto 2: Campione 10138/10, punto di prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/10, micrografia al
SEM, sezione lucida.

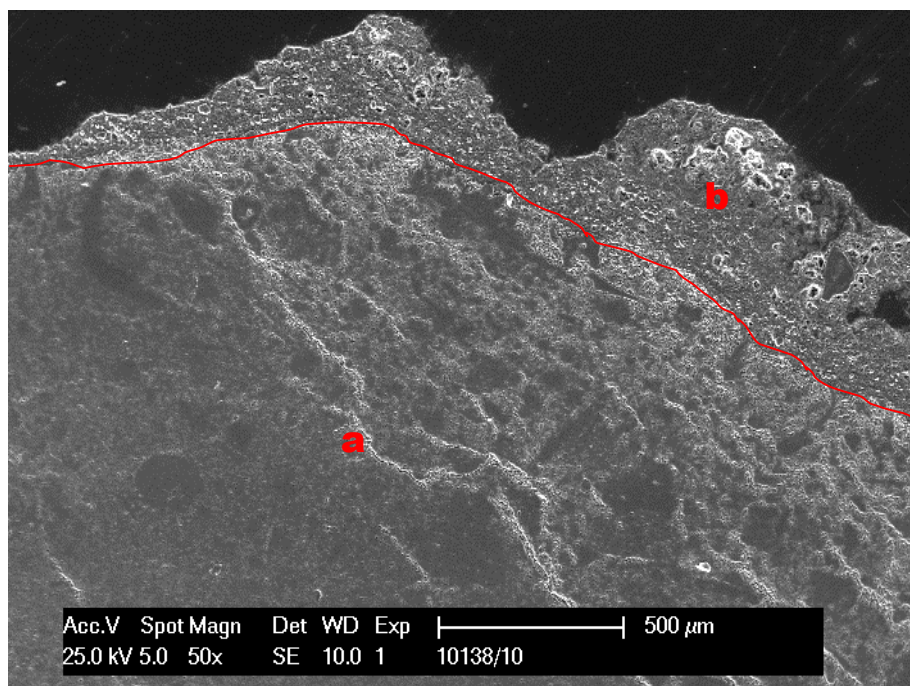
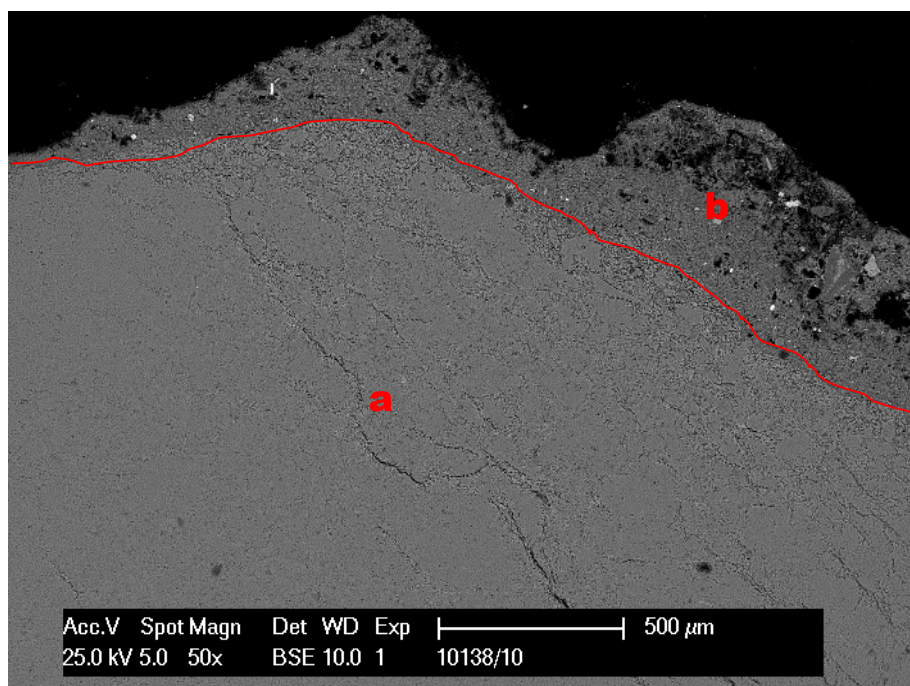


Foto 4: Campione
10138/10, micrografia al
SEM, sezione lucida,
soggetto analogo al
precedente, ripresa in
BSE.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 5: Campione 10138/10, micrografia al SEM, sezione lucida. Particolare della foto precedente.

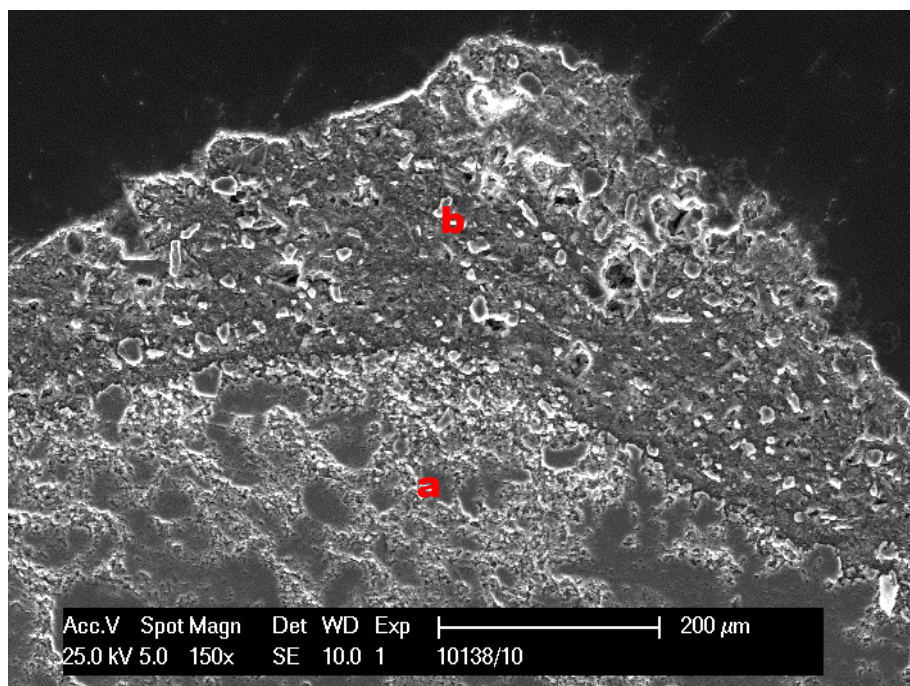
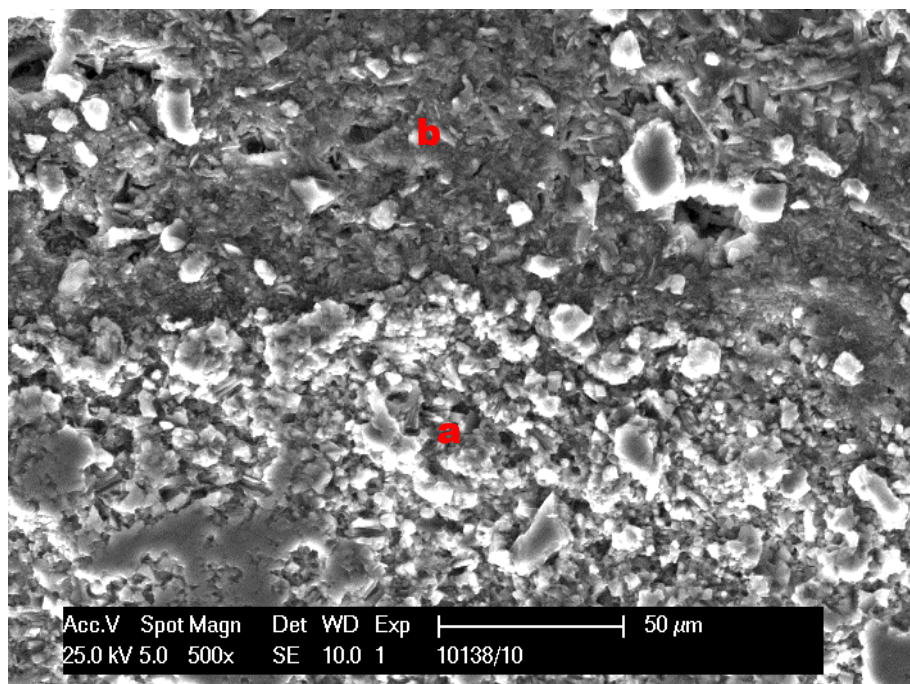


Foto 6: Campione 10138/10, micrografia al SEM, sezione lucida, dettaglio della zona di contatto tra il materiale lapideo (a) e la crosta nera (b).



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 7: Campione 10138/10, micrografia al SEM, superficie del campione.

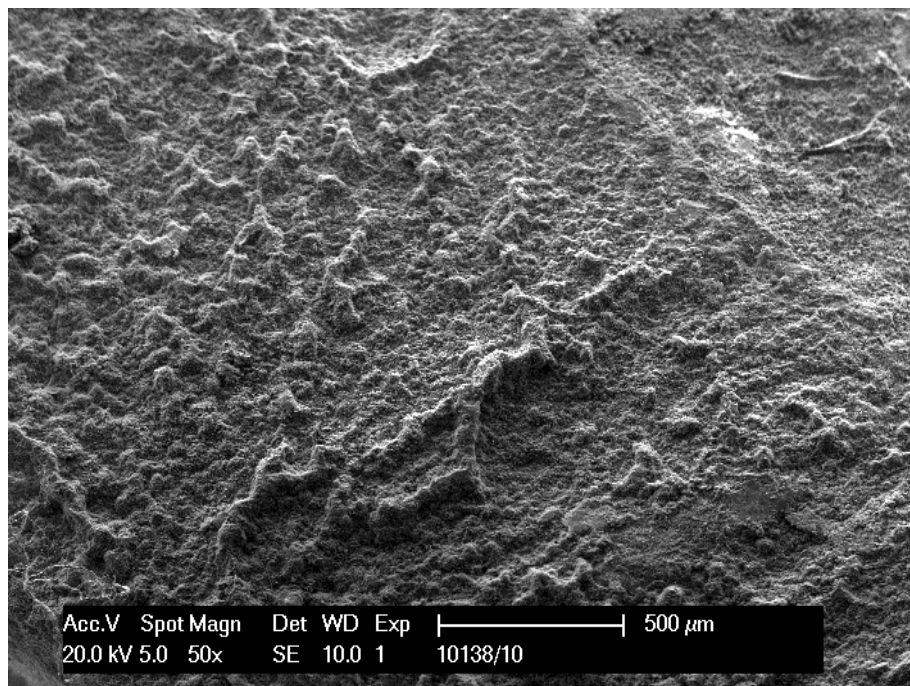
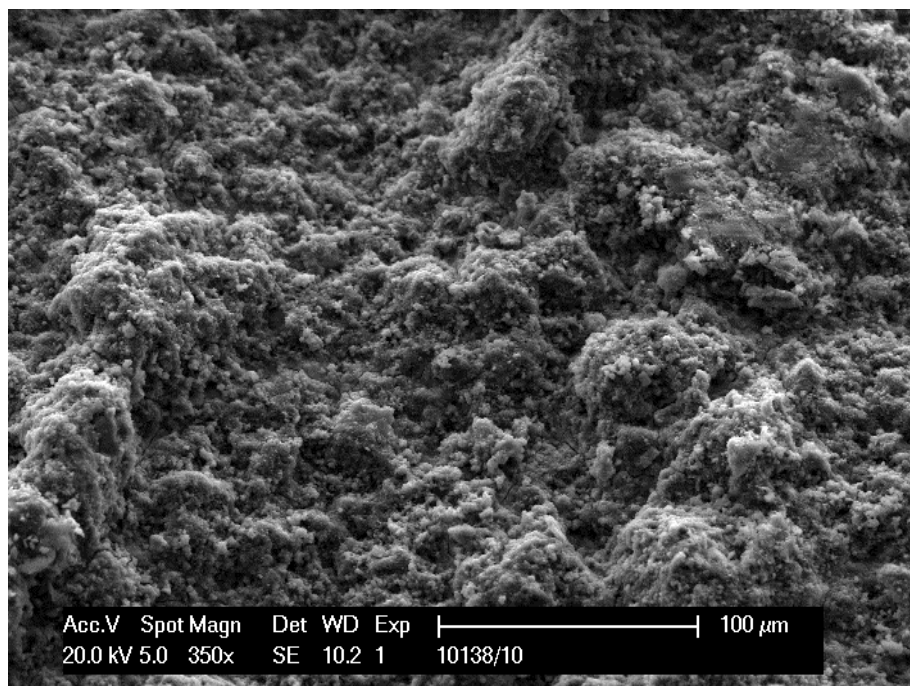


Foto 8: Campione 10138/10, micrografia al SEM, superficie del campione, dettaglio della foto precedente.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 9: Campione 10138/11, micrografia al SEM, superficie del campione. In evidenza nella foto la presenza di ife fungine.

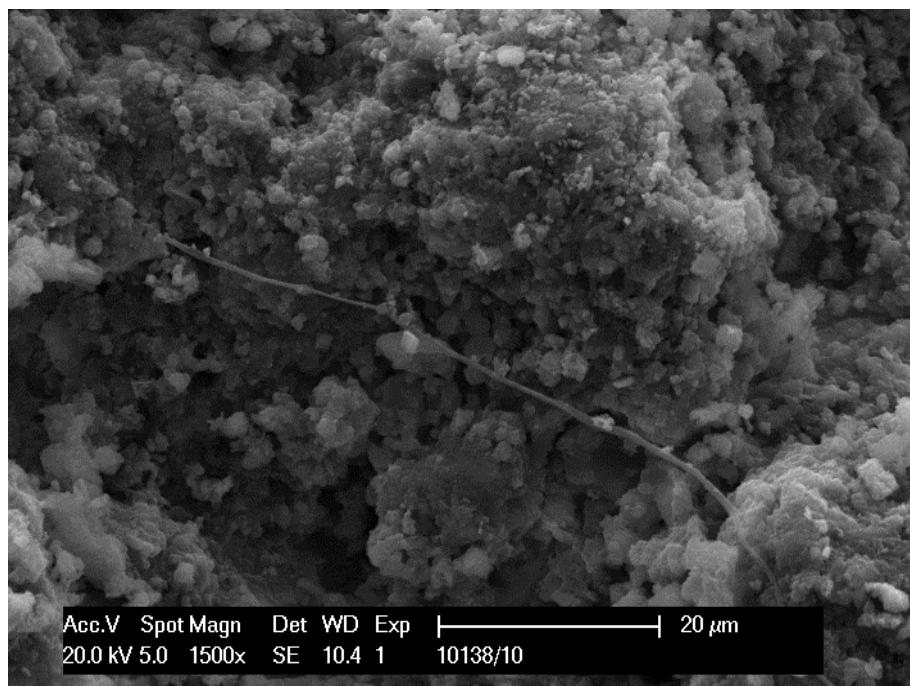
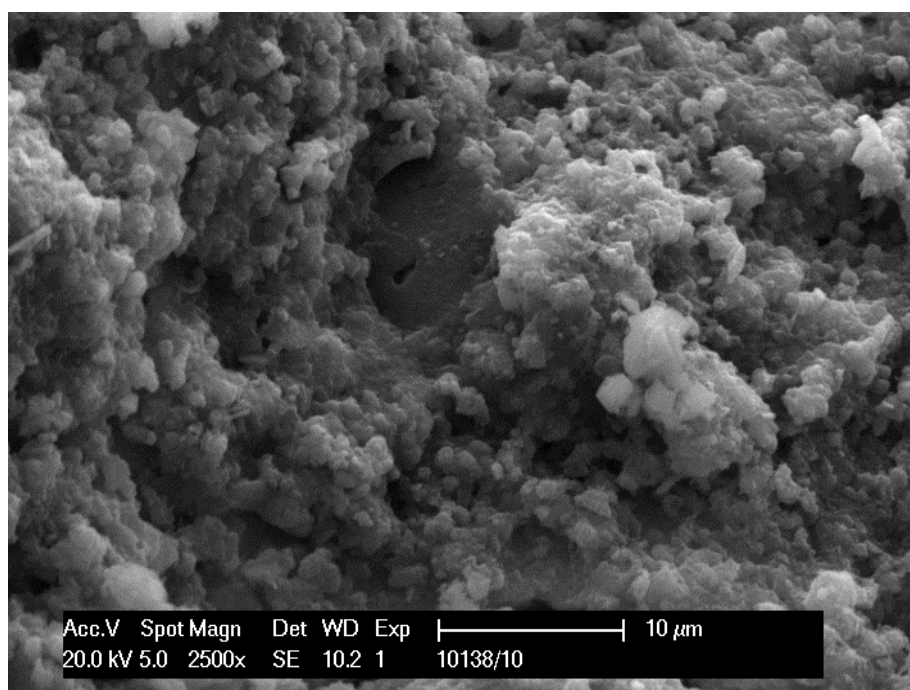


Foto 10: Campione 10138/11, micrografia al SEM, superficie del campione. In evidenza nella foto globulo carbonioso inglobato nella crosta gessosa.



CAMPIONE 10138/11

Rapporto di Prova n°: 57956-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto nord

Descrizione del campione: patina biologica su stuccatura

Scopo dell'indagine: analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: osservazione biologica al microscopio

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.

Risultati: lo studio al microscopio ottico della patina nerastra presente sulla superficie del materiale lapideo ha permesso di determinare che l'attacco biodeteriogeno è di natura lichenica. In particolare è stata riconosciuta la specie *Verrucaria lecideoides*.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione
10138/11, punto di
prelievo.



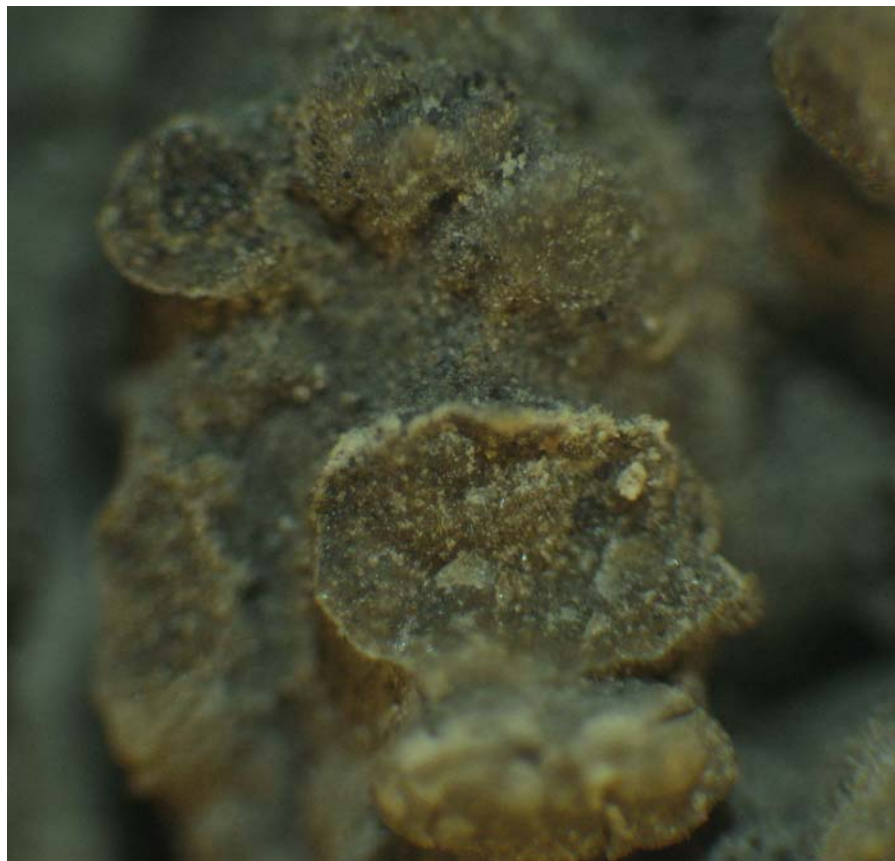
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 2: Campione
10138/11, punto di
prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 4: Campione
10138/11, preparato
biologico. Particolare dei
corpi fruttiferi di
Verrucaria lecideoides.



CAMPIONE 10138/12

Rapporto di Prova n°: 57957-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto nord

Descrizione del campione: patina biologica su lapideo

Scopo dell'indagine: analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: osservazione biologica al microscopio

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Preparato biologico.

Risultati: lo studio al microscopio ottico della patina nerastra presente sulla superficie del materiale lapideo ha permesso di determinare che l'attacco biodeteriogeno è dovuto alla contemporanea presenza di cuscinetti muscivi (al momento quiescenti) e di una colonizzazione post-pioniera allo stato secco.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione
10138/12, punto di
prelievo.



Foto 2: Campione
10138/12, punto di
prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/12, preparato
biologico. Cuscinetto
muscivo quiescente.



CAMPIONE 10138/13

Rapporto di Prova n°: 57958-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto nord

Descrizione del campione: patina bruno-nerastra

Scopo dell'indagine: analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.

Risultati: L'analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR della patina bruno nerastra prelevata ha permesso di determinare che essa è costituita essenzialmente da ossalato di calcio e gesso. Sono state rilevate inoltre tracce di sostanze organiche di natura proteica.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione
10138/13, punto di
prelievo.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 2: Campione
10138/13, punto di
prelievo, dettaglio.



CAMPIONE 10138/14

Rapporto di Prova n°: 57959-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto nord

Descrizione del campione: frammento lapideo degradato

Scopo dell'indagine: analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: osservazione biologica al microscopio, misura della conducibilità e analisi cromatografica in HPLC

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Successione stratigrafica del campione, dettaglio.

Risultati: il campione esaminato è costituito da una scaglia superficiale di materiale lapideo friabile, di colore d'insieme giallo-nocciola chiaro, dello spessore medio di 5mm. Il dosaggio dei sali solubili ha permesso di determinare la presenza di:

anioni

- *nitrati* 0.03%
- *solforati* 0.07%

cationi

- *sodio* 0.95%
- *calcio* 1.22%
- *potassio* 0.03%
- *magnesio* 0.02%

conduttività 24.6μS/cm

Lo studio al microscopio ottico della patina nerastra presente sulla superficie del materiale lapideo ha permesso di determinare che l'attacco biodeteriogeno è dovuto alla presenza di una simbiosi mutualistica algale-fungina correlabile ad una probabile lichenizzazione in corso.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione 10138/14, punto di prelievo.

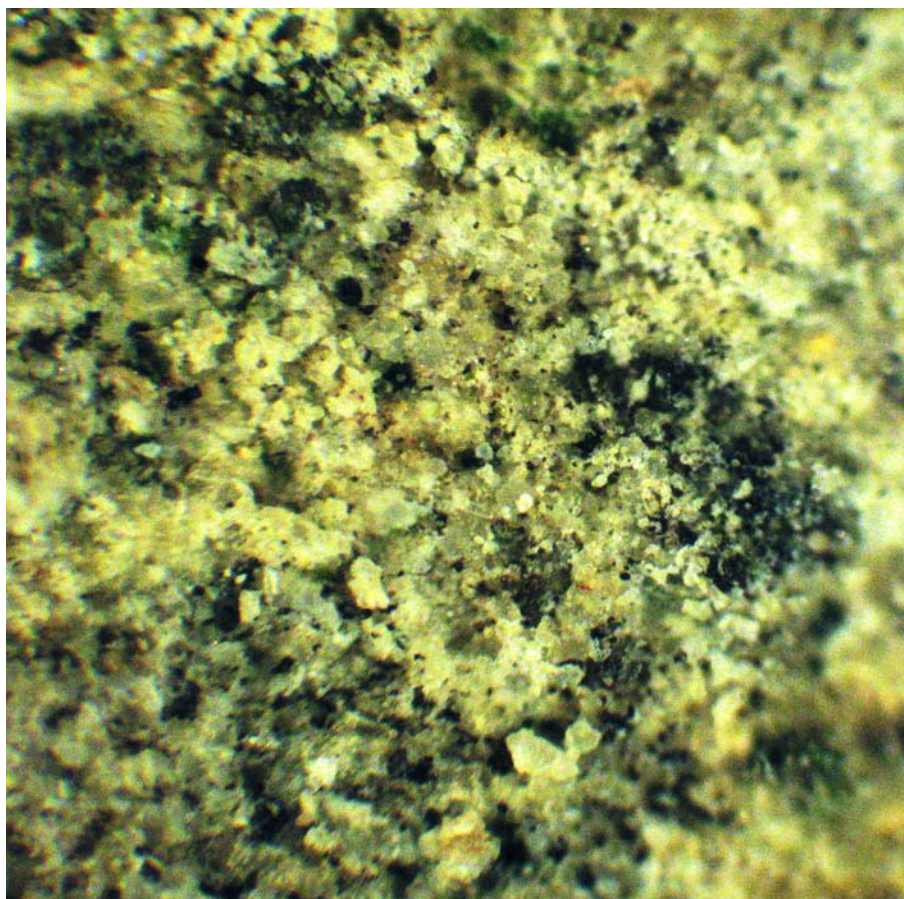


Foto 2: Campione 10138/14, punto di prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/14, preparato
biologico. Probabile fase
di lichenizzazione in atto.



CAMPIONE 10138/15

Rapporto di Prova n°: 57960-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto nord

Descrizione del campione: frammento lapideo con crosta nera

Scopo dell'indagine: individuazione della stratigrafia e analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: allestimento e studio della sezione lucida, analisi alla microsonda elettronica EDS, analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Successione stratigrafica del campione, dettaglio.

Risultati: il campione esaminato è costituito da una scaglia di materiale lapideo (a) di colore d'insieme giallo ocra, piuttosto friabile, di natura carbonatica con diffusi granuli di Glauconite, la cui porzione superficiale risulta in parte interessata da incipienti fenomeni di solfatazione.
Al di sopra della pietra è presente un sottile strato (b) di crosta nera a base di ossalati di calcio e gesso con particellato atmosferico sia di natura silicatica sia di natura carboniosa.

L'analisi alla microsonda elettronica EDS ha evidenziato inoltre la presenza di quantità non trascurabili di Silicio (Si) sia in corrispondenza della porzione superficiale del supporto lapideo (a) sia dello strato soprastante (b).

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione
10138/15, punto di
prelievo.



Foto 2: Campione
10138/15, punto di
prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/15, sezione lucida,
Nicols incrociati.

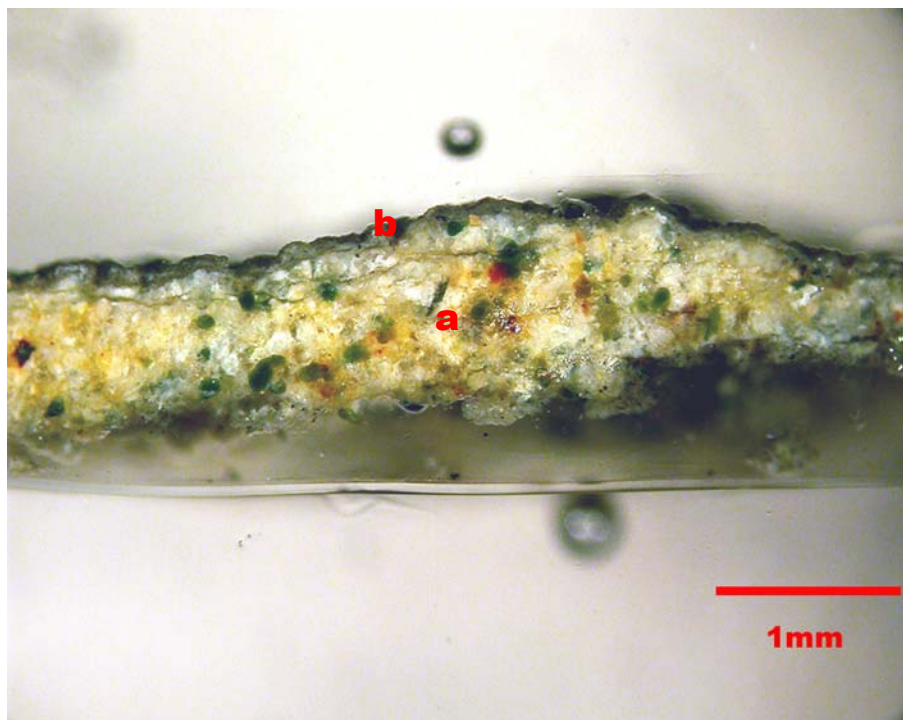
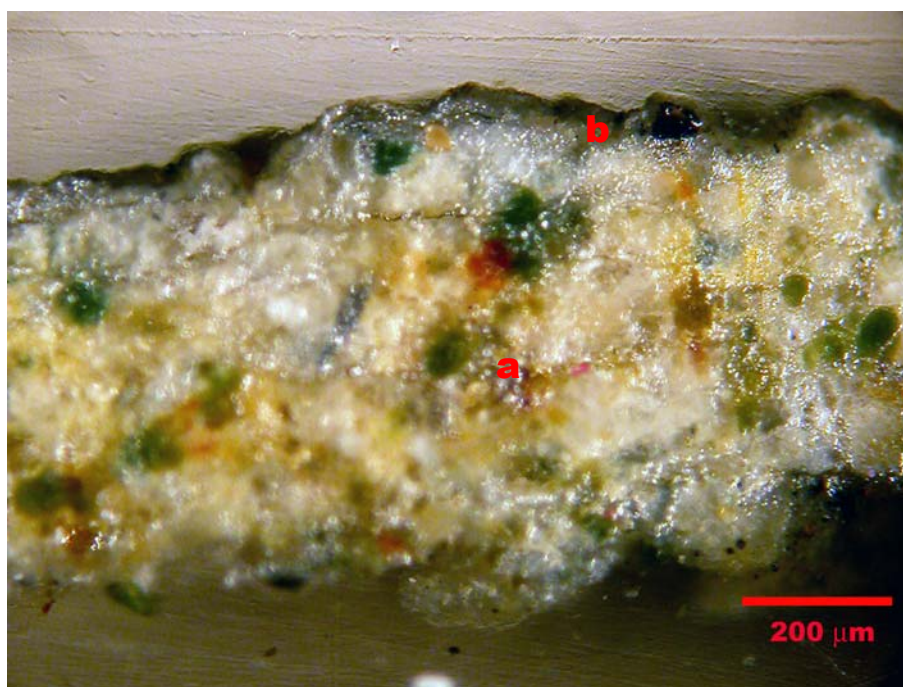


Foto 4: Campione
10138/15, sezione lucida,
Nicols incrociati,
dettaglio.



CAMPIONE 10138/16

Rapporto di Prova n°: 57961-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto nord

Descrizione del campione: stuccatura

Scopo dell'indagine: caratterizzazione del legante

Prove eseguite: analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.

Risultati: L'analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR del legante utilizzato per la stuccatura ha evidenziato che si tratta di carbonato di calcio miscelato con resina sintetica di tipo epossidico.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione
10138/16, punto di
prelievo.



Foto 2: Campione
10138/16, punto di
prelievo, dettaglio.



CAMPIONE 10138/17

Rapporto di Prova n°: 57962-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto nord

Descrizione del campione: frammento lapideo degradato

Scopo dell'indagine: analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: misura della conducibilità e analisi cromatografica in HPLC

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.

Risultati: il campione esaminato è costituito da materiale incoerente polverulento prelevato da un materiale lapideo friabile, di colore d'insieme grigio chiaro. Il dosaggio dei sali solubili ha permesso di determinare la presenza di:

anioni

- *nitrati* 0.03%
- *solforati* 0.07%

cationi

- *sodio* 0.33%
- *calcio* 1.05%
- *potassio* 0.02%
- *magnesio* 0.02%

conduttività 26.6μS/cm

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione
10138/17, punto di
prelievo.



Foto 2: Campione
10138/17, punto di
prelievo, dettaglio.



CAMPIONE 10138/18

Rapporto di Prova n°: 57963-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto nord

Descrizione del campione: frammento lapideo con crosta nera

Scopo dell'indagine: individuazione della stratigrafia e analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: allestimento e studio della sezione lucida, analisi alla microsonda elettronica EDS, analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Successione stratigrafica del campione, dettaglio.

Risultati: il campione esaminato è costituito da una scaglia di materiale lapideo (a) di colore d'insieme bianco-giallastro, piuttosto friabile, di natura carbonatica con diffusi granuli di Glauconite.

Al di sopra del lapideo sono stati riconosciuti:

- uno strato (b) di colore d'insieme giallo-grigiastro a base di ossalato di calcio e gesso con minori calcite, ocre e nero di carbone;
- uno strato (c) di colore d'insieme nerastro a base di gesso con particellato atmosferico sia di natura silicatica sia di natura carboniosa.

L'analisi alla microsonda elettronica EDS ha evidenziato inoltre la presenza di quantità non trascurabili di Silicio (Si) sia in corrispondenza della porzione superficiale del supporto lapideo (a) sia dello strato sovrastante (b).

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione
10138/18, punto di
prelievo.



Foto 2: Campione
10138/18, punto di
prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/18, sezione lucida,
Nicols incrociati.

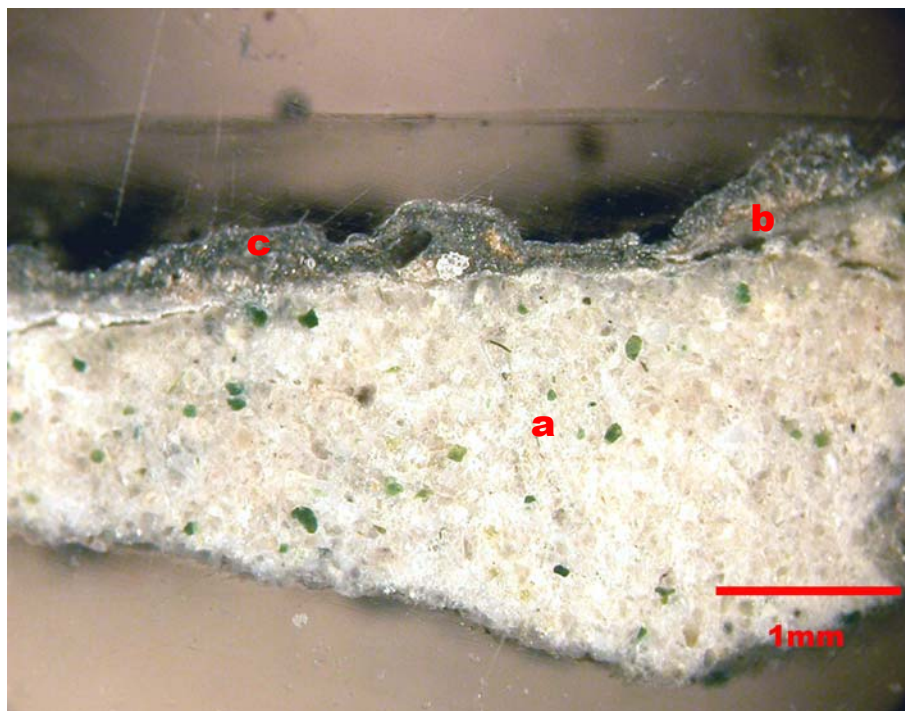
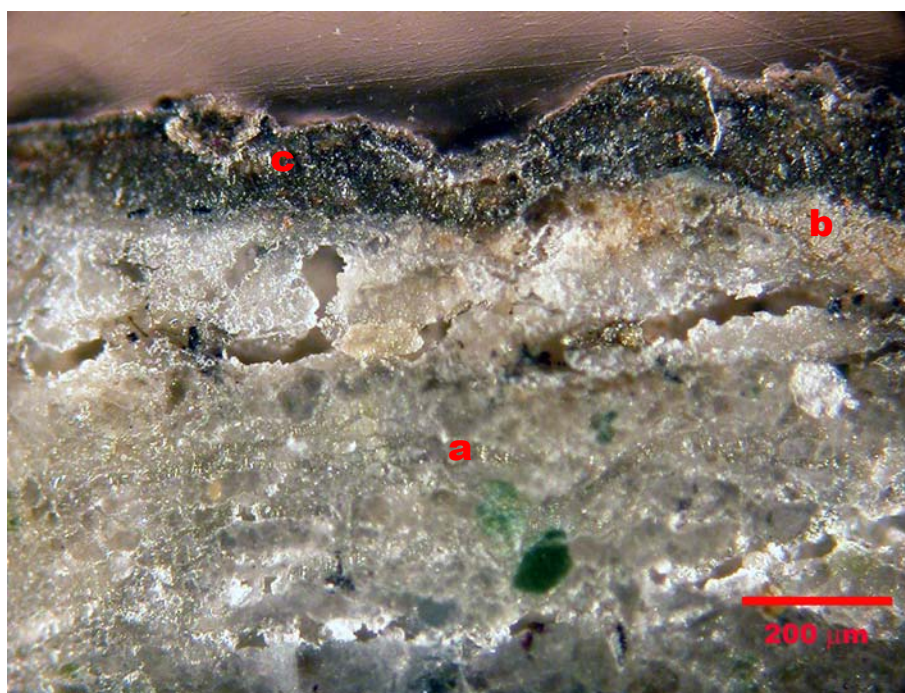


Foto 4: Campione
10138/18, sezione lucida,
Nicols incrociati,
dettaglio.



CAMPIONE 10138/19

Rapporto di Prova n°: 57964-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto nord

Descrizione del campione: materiale gommoso

Scopo dell'indagine: caratterizzazione del materiale

Prove eseguite: analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.

Risultati: Il campione esaminato è costituito dalla sovrapposizione di 3 strati: il primo (a) di colore d'insieme giallino e consistenza gommosa, il secondo (b) di colore d'insieme biancastro e struttura fibrosa, il terzo (c) di colore d'insieme nero traslucido.
L'analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR dei tre strati ha evidenziato che essi risultano costituiti rispettivamente da una gomma siliconica, da fibre polisaccaridi riferibili a cellulosa (carta) intrise di un pigmento di colore nero.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione 10138/19, punto di prelievo.



Foto 2: Campione 10138/19, punto di prelievo, dettaglio.



CAMPIONE 10138/20

Rapporto di Prova n°: 57965-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto nord

Descrizione del campione: frammento lapideo con crosta nera

Scopo dell'indagine: individuazione della stratigrafia e analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: allestimento e studio della sezione lucida, analisi alla microsonda elettronica EDS, analisi spettrofotometrica all'infrarosso FT/IR

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Successione stratigrafica del campione.
Foto 4 – Successione stratigrafica del campione, dettaglio.

Risultati: il campione esaminato è costituito da un materiale lapideo (a) di colore d'insieme biancastro, molto tenace, di natura carbonatica, leggermente solfatato superficialmente.

Al di sopra del lapideo sono stati riconosciuti:

- un sottile strato (b) di colore d'insieme giallo-grigiastro a base di ossalato di calcio e gesso con minori calcite, ocre e nero di carbone;
- una strato (c) di colore d'insieme nerastro a base di gesso con particellato atmosferico sia di natura silicatica sia di natura carboniosa.

L'analisi alla microsonda elettronica EDS ha evidenziato inoltre la presenza di quantità non trascurabili di Silicio (Si) sia in corrispondenza della porzione superficiale del supporto lapideo (a) sia degli strati soprastanti (b) e (c).

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione 10138/20, punto di prelievo.



Foto 2: Campione 10138/20, punto di prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/20, sezione lucida,
Nicols incrociati.

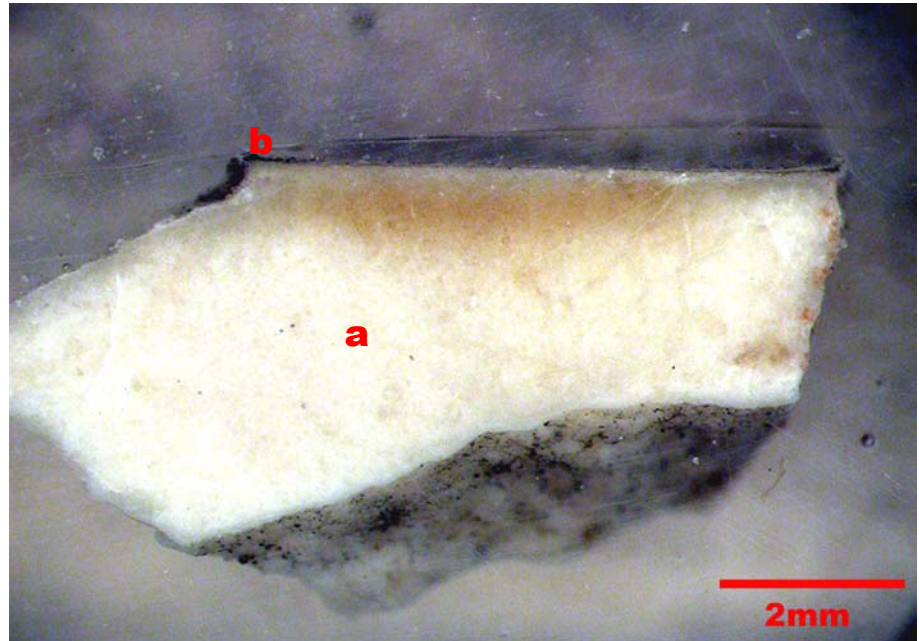
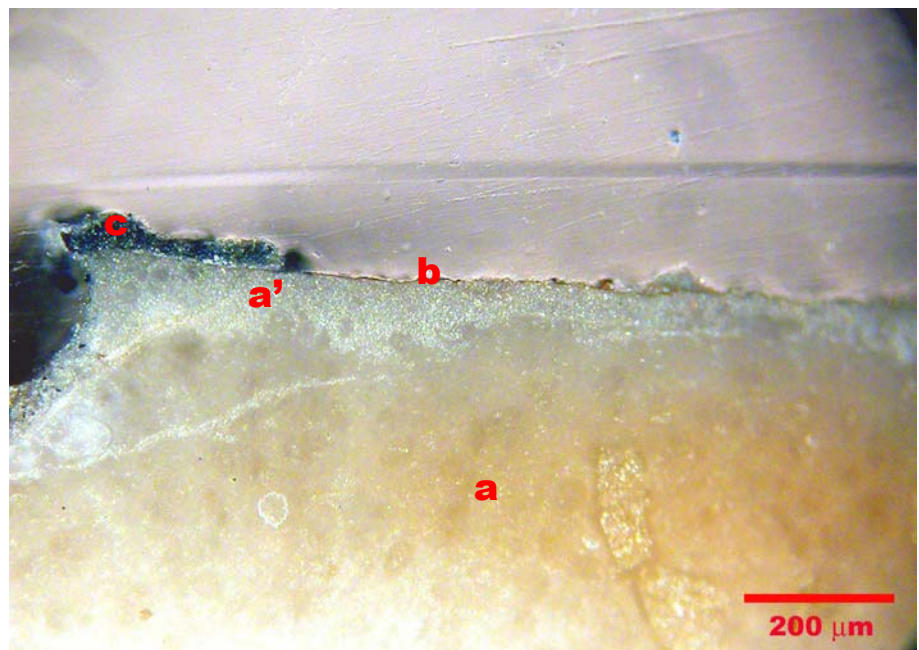


Foto 4: Campione
10138/20, sezione lucida,
Nicols incrociati,
dettaglio della zona
superficiale (a') del
materiale lapideo che
risulta solfatata.



CAMPIONE 10138/21

Rapporto di Prova n°: 57966-07

Punto di prelievo del campione: Torre Ghirlandina, Modena – prospetto nord

Descrizione del campione: frammento lapideo con crosta nera

Scopo dell'indagine: analisi del degrado superficiale

Prove eseguite: analisi al microscopio a scansione SEM, analisi alla microsonda elettronica EDS

Documentazione allegata: Foto 1 – Ubicazione del prelievo.
Foto 2 – Ubicazione del prelievo, dettaglio.
Foto 3 – Microfotografia al SEM.
Foto 4 – Microfotografia al SEM.

Risultati: Il campione esaminato corrisponde alla porzione superficiale (spessore 2mm) di un materiale lapideo (a) di natura carbonatica sul quale è presente uno strato di crosta nera (b).

L'analisi in sezione al microscopio elettronico a scansione ha permesso di verificare che il materiale lapideo è interessato, per tutto lo spessore del campione, da diffuse microfessurazioni distribuite sia subparallelamente alla superficie di strato sia ortogonalmente. Tali microfessure appaiono beanti, quindi senza evidenti fenomeni di ricristallizzazione interna. Lo studio della zona di passaggio con lo strato di crosta nera soprastante ha permesso di evidenziare che il passaggio tra pietra e crosta nera risulta sfumato con evidente sviluppo dei cristalli di gesso a spese dei cristalli di calcite del supporto.

L'analisi della superficie della crosta nera ne ha messo in risalto la morfologia irregolare della crosta nera e ha permesso di determinare che risulta composta da un aggregato a feltro di cristalli di gesso che spesso appaiono saldati tra loro. Tra i cristalli di gesso è stata riconosciuta la presenza di particellato atmosferico di varia natura (carbonioso, silicatico e di natura vegetale (pollini)) e di ife fungine.

In particolare al di sopra dei cristalli di gesso sono state trovate tracce di una sottile pellicola di natura organica (resina?).

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 1: Campione 10138/21, punto di prelievo.



Foto 2: Campione 10138/21, punto di prelievo, dettaglio.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 3: Campione
10138/21, micrografia al
SEM, sezione lucida.

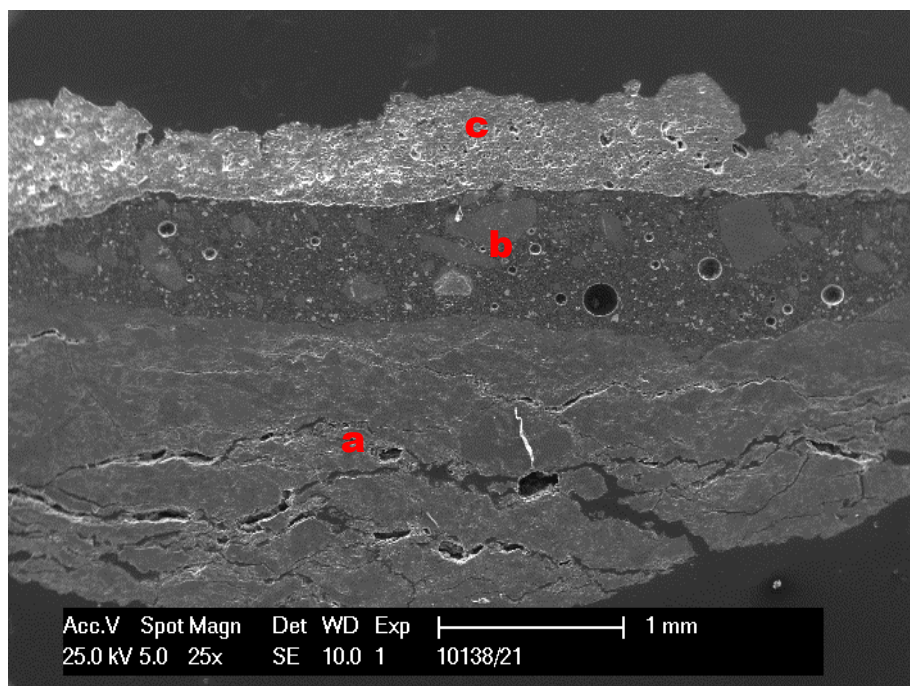
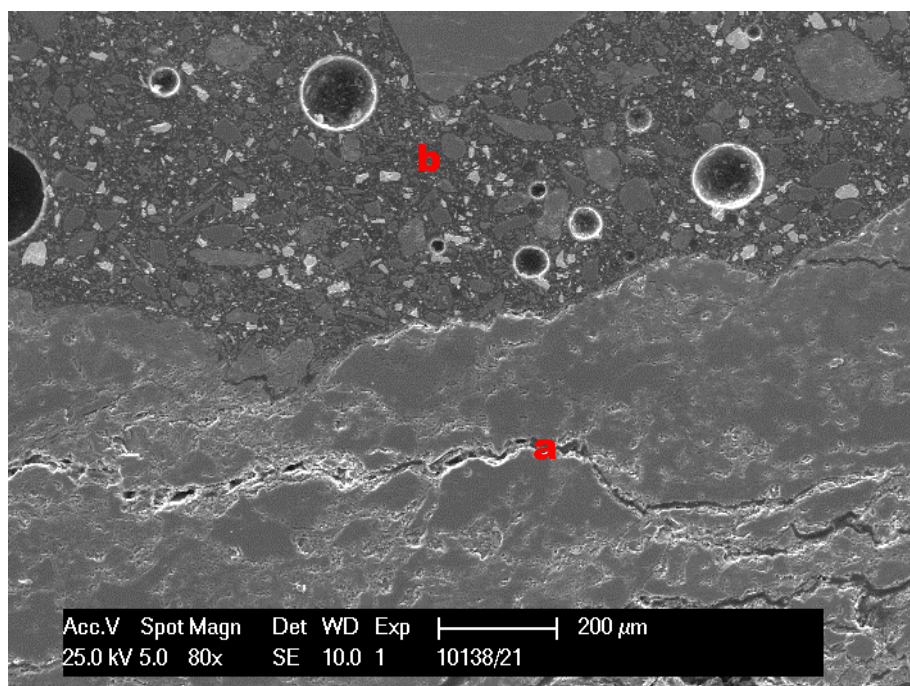


Foto 4: Campione
10138/21, micrografia al
SEM, sezione lucida,
dettaglio della zona di
contatto tra lo strato (a) di
materiale lapideo e lo
strato (b) di stuccatura.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 5: Campione 10138/21, micrografia al SEM, sezione lucida, dettaglio della zona di contatto tra lo strato (b) di stuccatura e lo strato (c) di crosta nera.

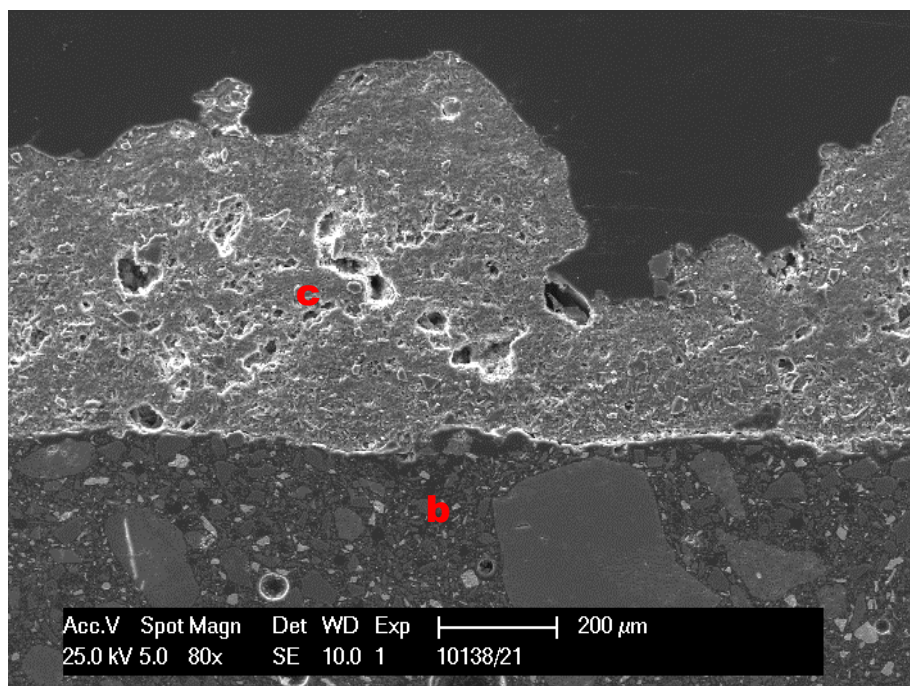
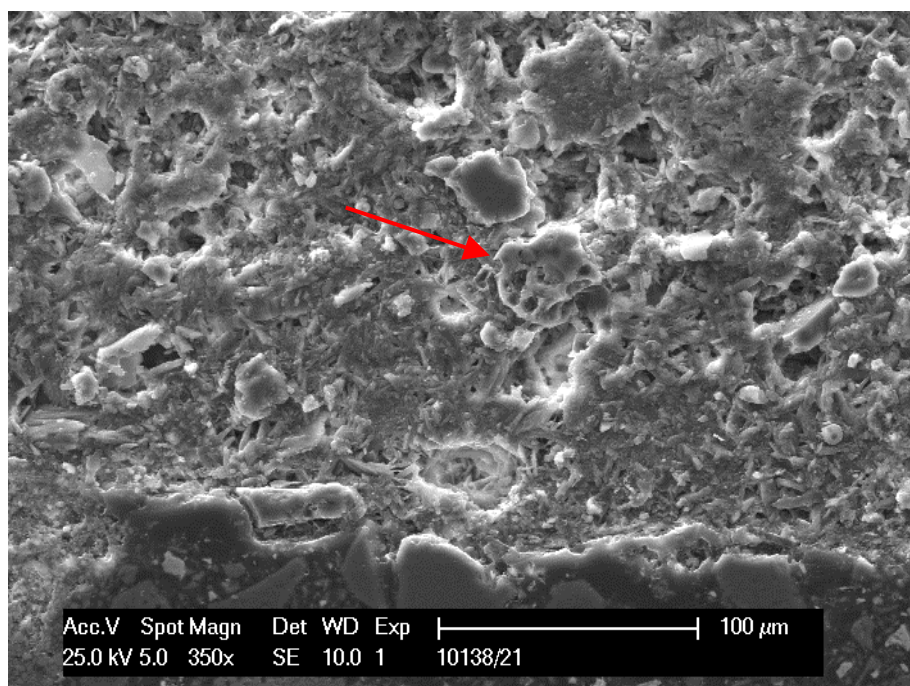


Foto 6: Campione 10138/21, micrografia al SEM, sezione lucida, dettaglio della foto precedente. In particolare, al centro, è riconoscibile un granulo carbonioso in sezione.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 7: Campione 10138/21, micrografia al SEM, sezione lucida, dettaglio di un granulo carbonioso inglobato nella struttura a feltro dei cristalli di gesso.

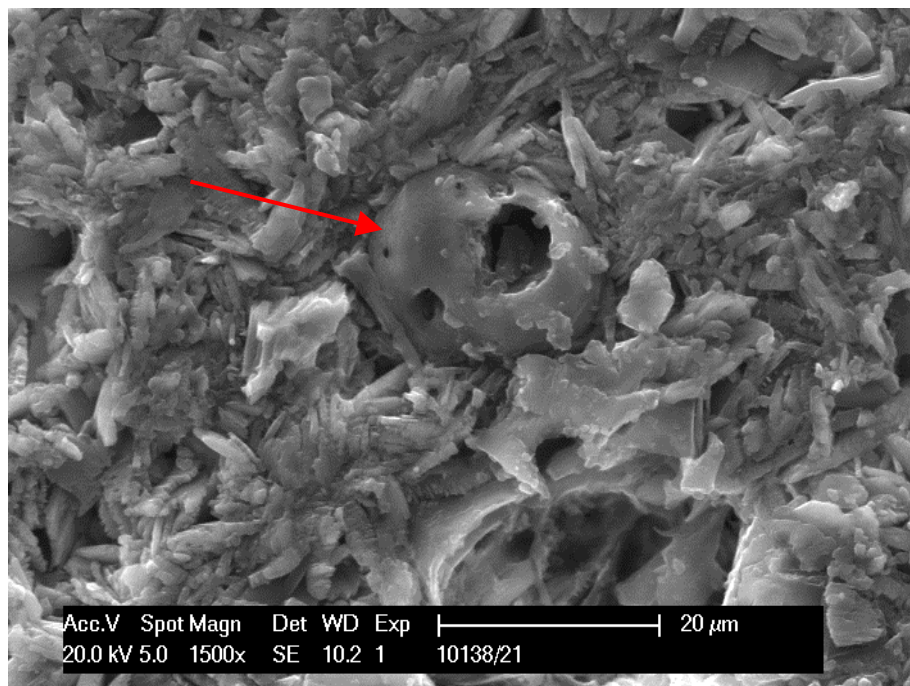
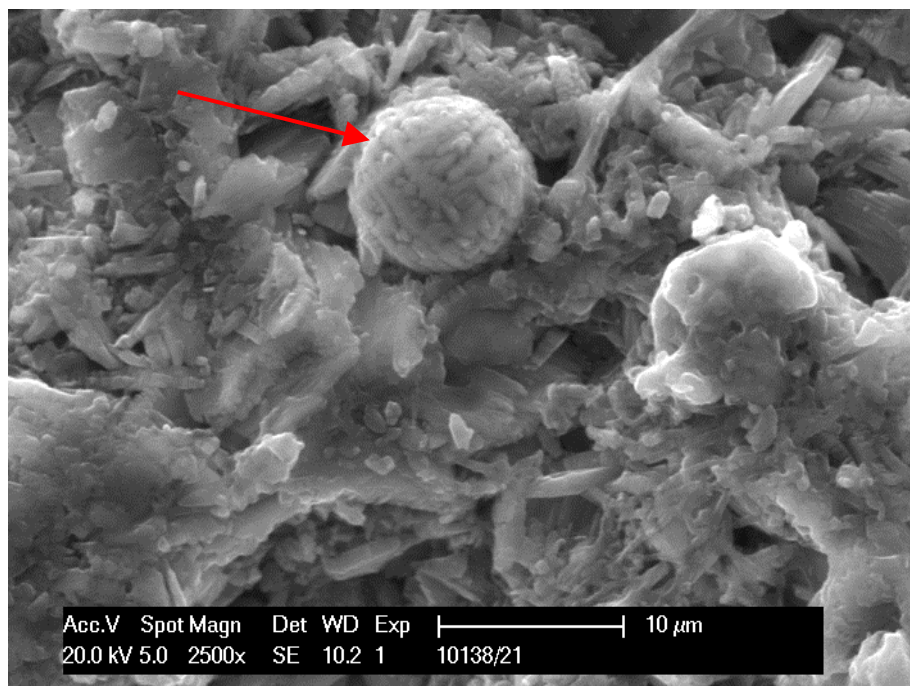


Foto 8: Campione 10138/21, micrografia al SEM, sezione lucida, dettaglio di un granulo *ferroso* intrappolato nella crosta nera.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 9: Campione 10138/21, micrografia al SEM, superficie del campione.

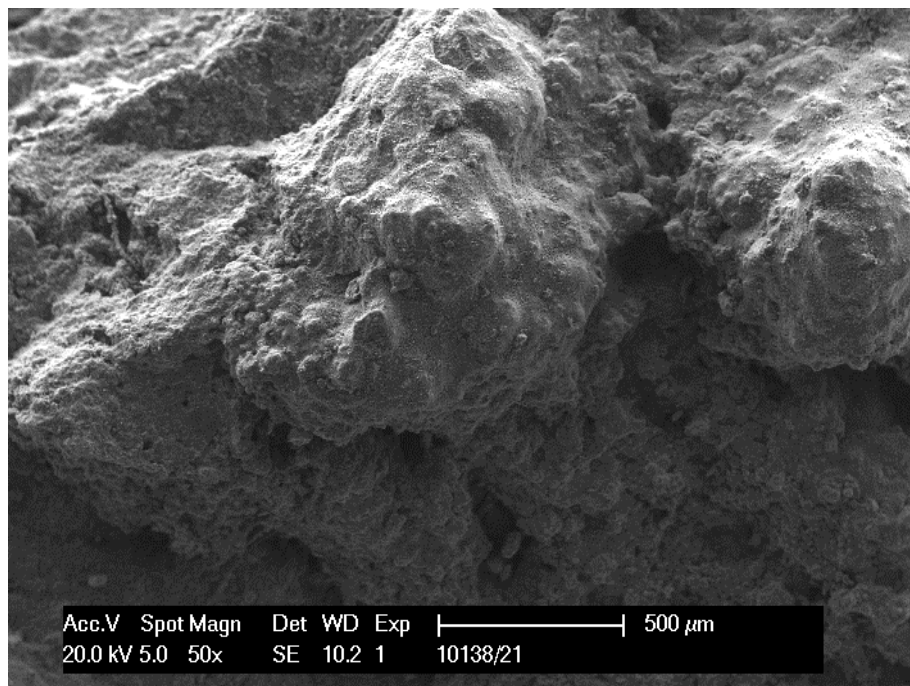
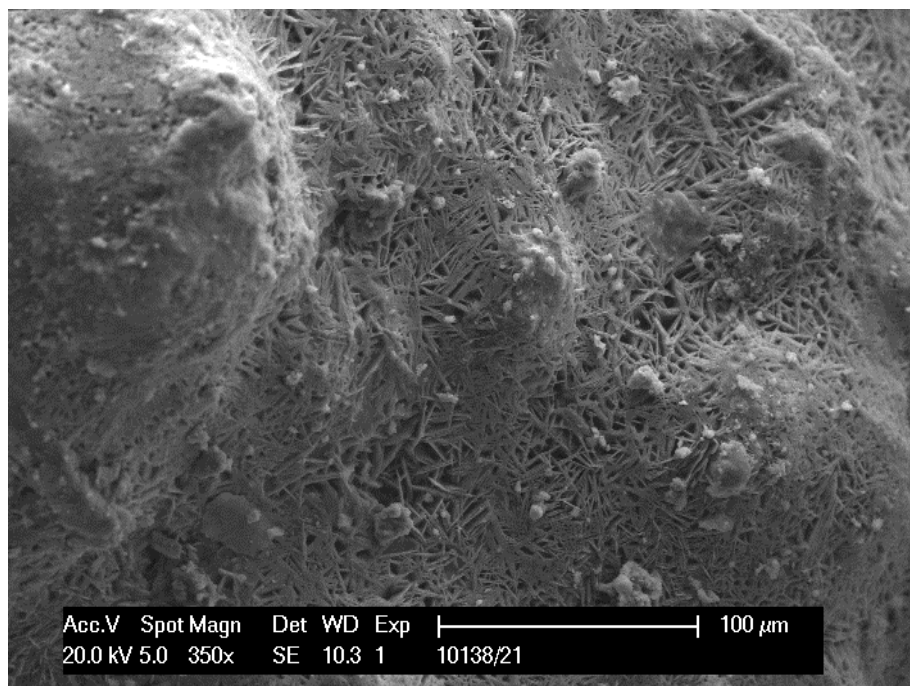


Foto 10: Campione 10138/21, micrografia al SEM, superficie del campione in zona dilavata.

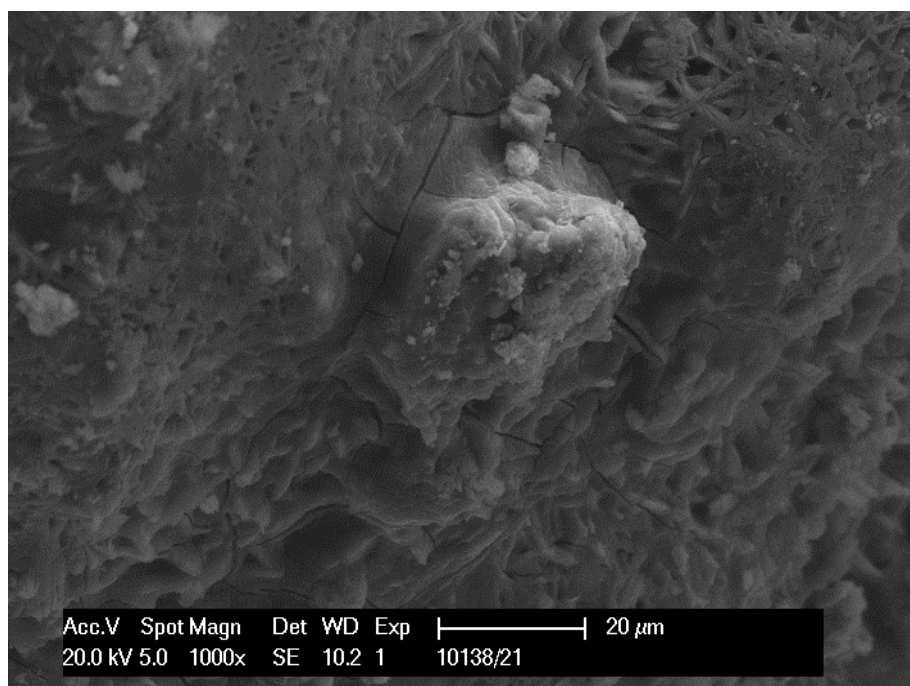


DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 11: Campione 10138/21, micrografia al SEM, superficie del campione in zona protetta.



Foto 12: Campione 10138/21, micrografia al SEM, superficie del campione in cui sono visibili delle crepe nella crosta nera compatta.



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto 13: Campione 10138/21, micrografia al SEM, superficie del campione.

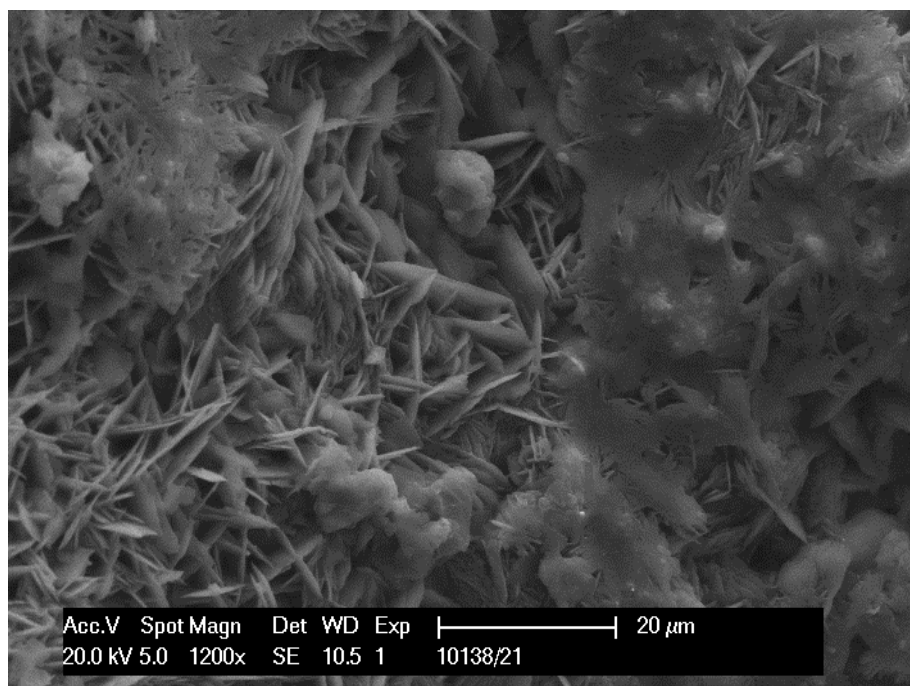
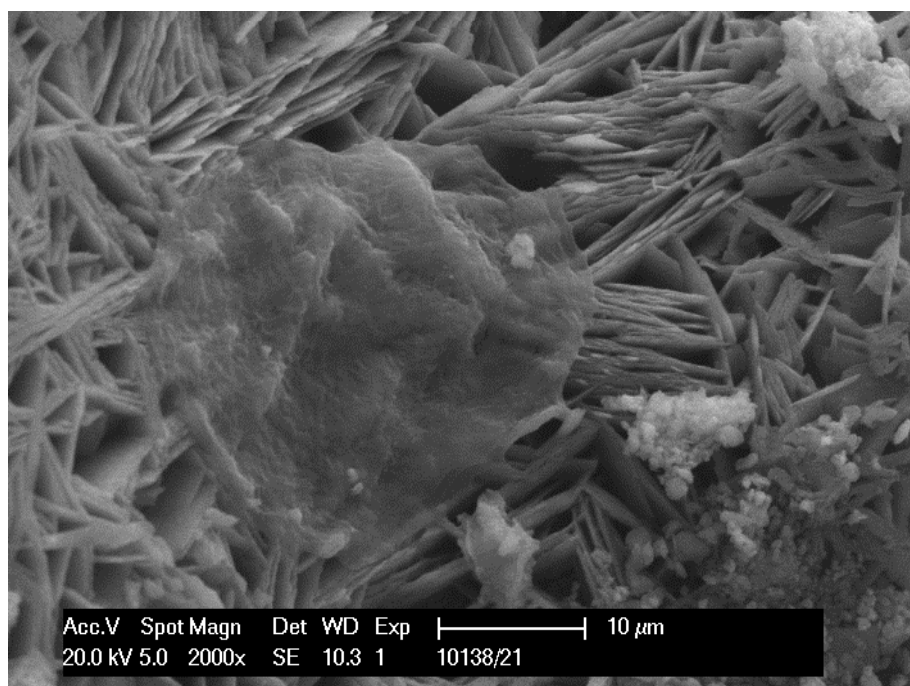


Foto 14: Campione 10138/21, micrografia al SEM, superficie del campione, particolare in cui si evidenzia la presenza di resti di una pellicola di natura organica sulla superficie dei cristalli di gesso.



Appendice II

RAPPORTI DI PROVA