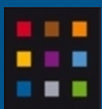




UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

Diagnostics for Cultural Heritage:

ANALYTICAL APPROACH FOR AN EFFECTIVE CONSERVATION



UniNetLab



DiFC



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

VOLUME DEGLI ATTI DEL WORKSHOP

**“DIAGNOSTICS FOR CULTURAL HERITAGE: ANALYTICAL
APPROACH FOR AN EFFECTIVE CONSERVATION”**

Palermo – 10 Giugno 2013

S. Antonio Abate – Complesso dello Steri

Piazza Marina 61, Palermo

A cura di:
Maria Brai, Luigi Tranchina, Maria Alberghina,
Dorotea Fontana, Federica Fernandez



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

DIAGNOSTICS FOR CULTURAL HERITAGE: ANALYTICAL APPROACH FOR AN EFFECTIVE CONSERVATION

Presentazione della giornata e apertura lavori

Prof. Roberto Lagalla, Magnifico Rettore dell'Università degli Studi di Palermo

Prof. Maurizio Leone, Direttore del Dipartimento di Fisica e Chimica UNIPA

Moderatori

Prof. Maria Brai, DiFC, UNIPA, Responsabile Scientifico del Laboratorio di Fisica e Tecnologie Relative - UniNetLab

Prof. Patrizia Livreri, DEIM, UNIPA, Coordinatore del Master Universitario di II livello in "Ricercatore esperto di nanotecnologie e nanomateriali per i beni culturali"

Prof. Sebastiano Olindo Troja, DFA, UNICT & INFN Sezione di Catania, Responsabile Scientifico del Laboratorio PH3DRA (PHysics for Dating Diagnostic Dosimetry Research and Applications)

Comitato Scientifico

Prof. Giuseppe Alaimo, Laboratorio di Edilizia - UniNetLab e DARCH, UNIPA

Prof. Maria Brai, Laboratorio di Fisica e Tecnologie Relative - UniNetLab e DiFC, UNIPA

Prof. Eugenio Caponetti, Centro Grandi Apparecchiature - UniNetLab e Dipartimento STeBiCeF, UNIPA

Prof. Leopoldo Ceraulo, Direttore del Sistema di Laboratori di Ateneo - UniNetLab e Dipartimento STeBiCeF, UNIPA

Prof. Giuseppe Rodonò, Laboratorio di Acustica - UniNetLab e DEIM, UNIPA

Prof. Francesco Tomaselli, Laboratorio di Indagini e Restauro dei Beni Architettonici - UniNetLab e DARCH, UNIPA

Prof. Benedetto Villa, Laboratorio di Rappresentazione - UniNetLab e DiCAM, UNIPA

Comitato Organizzatore

- Dr Maria Francesca Alberghina, DiFC, UNIPA
- Arch. Federica Fernandez, Master Universitario di II livello in "Ricercatore esperto di nanotecnologie e nanomateriali per i beni culturali", UNIPA
- Dr Dorotea Fontana, DiFC, UNIPA
- Dr Anna Gueli, DFA, UNICT & INFN Sezione di Catania
- Sig. Marcello Mirabello, DiFC, UNIPA
- Dr Michele Quartararo, Laboratorio di Fisica e Tecnologie Relative - UniNetLab, UNIPA
- Dr Luigi Tranchina, Laboratorio di Fisica e Tecnologie Relative - UniNetLab, UNIPA



BRAI M

*Questo volume raccoglie i contributi degli Autori che hanno preso parte al primo workshop: **Diagnostics for Cultural Heritage: Analytical Approach For An Effective Conservation**, tenutosi a Palermo il 10 giugno 2013, nella splendida cornice della Cappella di S. Antonio Abate, all'interno del complesso monumentale di Palazzo Chiaramonte Steri.*

In questa raccolta viene posta in evidenza la necessità di un approccio scientifico interdisciplinare e vengono ben focalizzate le competenze scientifiche integrate nell'intento di affrontare i diversi aspetti degli interventi di conservazione e di fruizione dei Beni Culturali.

Lo studio accurato del Bene Culturale diviene, infatti, esso stesso documento storico, ed indubbiamente risulta essere uno strumento indispensabile per la prevenzione del degrado, per l'ottimizzazione degli interventi di restauro e per la scelta dei protocolli di conservazione.

*Il workshop **Diagnostics for Cultural Heritage: Analytical Approach For An Effective Conservation**, è stato quindi rivolto alle tecniche fisiche, chimiche, biologiche, geologiche, applicate sia ai materiali costituenti i Beni Culturali sia ai materiali innovativi ideati per le procedure di restauro e conservazione degli stessi.*

Il workshop che ha visto la partecipazione di illustri esponenti Internazionali e Nazionali nell'ambito delle tematiche trattate, è stato anche un'occasione per la presentazione di alcuni dei risultati ottenuti da studenti del Master di II Livello "Ricercatore Esperto di Nanotecnologie e Nanomateriali per i Beni Culturali" durante lo svolgimento delle attività di tesi sperimentale.

Il volume vuole essere una testimonianza dei risultati esposti dai partecipanti in questa, spero ripetibile, occasione.

Maria Brai: maria.brai@unipa.it

Responsabile Scientifico del Laboratorio di Fisica e Tecnologie Relative - UniNetLab –
Università degli Studi di Palermo – Viale delle Scienze Ed. 18 – 90128 Palermo.

New Nanomaterials for Conservation of Stones and other Building Substrates	1
<i>Mosquera M. J., Illescas J. F., Pinho L., Facio D. S., Elhaddad F.</i>	
The Royal Palace of Madrid, Spain. Twenty years of stones conservation research	9
<i>Alvarez de Buergo M., Fort Gonzalez R.</i>	
Prodotti nanostrutturati per la protezione di superfici lapidee: valutazione dell'efficacia mediante tecniche fisiche non invasive	16
<i>Alaimo G., Alberghina M. F., Codan B., Enea D., Fernandez F., Fontana D., Livreri P., Todaro L., Tranchina L., Brai M.</i>	
Valutazione dell'efficacia e durabilità di protettivi nano strutturati applicati su campioni di marmo di Carrara	24
<i>Alaimo G., Alberghina M. F., Brai M., Enea D., Fernandez F., Fontana D., Livreri P., Longo A., Marrale M., Proietto V., Tranchina L.</i>	
Le nanotecnologie per la conservazione dei beni culturali: un approccio analitico per la sperimentazione dei prodotti innovativi	31
<i>Livreri P., Fernandez F.</i>	
Indagini diagnostiche per la sperimentazione di prodotti nanostrutturati per il consolidamento e la protezione di biocalcarenite	40
<i>Mirabelli C., Fernandez F., Elhaddad F., Mosquera M. J., Livreri P.</i>	
Indagine sulla componente lipidica di quattro manufatti ad uso votivo-rituale	45
<i>Aguzzino P., Avellone G., Ceraulo L., Filizzola F.</i>	
Sperimentazione di prodotti nanostrutturati per il consolidamento e la protezione della pietra fossena	50
<i>Stella M., Bellusci M., Fernandez F., Persia F.</i>	
Scientific investigation to maintain our architectural heritage experimental application in Sicily between 2002 and 2012	56
<i>Tomaselli F., Ventimiglia G. M.</i>	
Strumenti e metodi di valutazione della durabilità di componenti edilizi	61
<i>Alaimo G., Enea D.</i>	
La valutazione della durabilità di intonaci fotocatalitici	66
<i>Alaimo G., Enea D.</i>	
Diagnostic for the assessment of a new titania nano-composite photo-catalyst for application on stoneware tiles	71
<i>Mirabelli C., Fernandez F., Livreri P., Pinho L., Mosquera M. J.</i>	
Indagine GC-MS su alcuni materiali utilizzati nella imbalsamazione di una mummia di sesso femminile del periodo tolemaico	76
<i>Aguzzino P., Avellone G., Ceraulo L., Filizzola F., Haabu A.</i>	
La conservazione programmata delle collezioni museali: considerazioni su un'opera di ardesia dipinta da Grammichele (CT)	82
<i>Milazzo G., Rizzo G., Schiavone S.</i>	
Bioaerosol in ambienti adibiti alla esposizione e alla conservazione di manufatti storico-artistici	88
<i>Billeci N., Palla F.</i>	
A study of the acoustic parameters of ancient theaters	93
<i>Rodonò G., Franzitta V.</i>	
La spettroscopia di risonanza magnetica nucleare in stato solido per lo studio dello stato di conservazione di materiali cellulosici	103
<i>Bastone S., Chillura Martino D., Caponetti E.</i>	
Sperimentazione di prodotti nanostrutturati impermeabilizzanti su campioni di diverse specie legnose	108
<i>Carotenuto M. R., Marrale M., Longo A., Brai M.</i>	
Caratterizzazione molecolare di batteri in reperti lignei sommersi	113
<i>Palla F., Billeci N., Barresi G.</i>	
Indagine tramite GC-MS su alcuni materiali utilizzati come adesivi per utensili nel villaggio preistorico paleofitticolo di Fiavé	118
<i>Aguzzino P., Filizzola F.</i>	

VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA E DURABILITÀ DI PROTETTIVI NANOSTRUTTURATI APPLICATI SU CAMPIONI DI MARMO DI CARRARA

Alaimo G, Alberghina M. F
Brai M, Enea D, Fernandez F,
Fontana D, Livreri P
Longo A, Marrale M
Proietto V, Tranchina L

ABSTRACT

An integrated analytical approach can be useful to study the effectiveness of preservation treatment for Carrara marble surfaces, carried out for testing commercial products which are based on nano-structured silica oxides. Variation in hydrophobic properties, porosity distribution, and chemical composition of treated surfaces have been studied. With this aim, contact angle evaluation, NMR, XRF measurements have been used. Changes of above mentioned physical and chemical characteristics have been evaluated before and after aging in saline chamber of the treated and untreated samples. Moreover, the effectiveness of ultrasonic treatment in “safe” removal of the products from treated surfaces has been evaluated by XRF measurements, studying results by the PC analysis. Results show that some of tested products enhanced the required properties, while some other do not, hence their use should be avoided in the field of CH. Regarding the analysed stone sample, a “safe” removal of product from treated surfaces is possible by using ultrasound probe.

INTRODUZIONE

Oggi è condivisa l’aspettativa che le nanotecnologie abbiano un notevole ruolo nei più rilevanti progressi tecnico-scientifici degli ultimi decenni, grazie alle potenzialità delle loro applicazioni nei più diversi ambiti. Introdurre tali prodotti nel settore dei Beni Culturali potrebbe rappresentare una nuova frontiera e condurre alla soluzione di alcune problematiche, in accordo alle esigenze di una corretta conservazione. Molti dei prodotti impiegati nel settore della conservazione sono stati spesso mutuati da campi differenti per i quali sono stati appositamente pensati e sviluppati: applicarli al Patrimonio Culturale richiede grande responsabilità e, soprattutto, un ampio percorso di ricerche analitiche e studi che ne valutino efficacemente il potenziale utilizzo e gli eventuali rischi.

In tale contesto, l’obiettivo del presente lavoro è stato quello di sperimentare alcuni trattamenti superficiali protettivi nanostrutturati sulla superficie di campioni di Marmo di Carrara. Nello specifico, si è affrontato lo studio di alcuni prodotti nanostrutturati idrorepellenti attualmente presenti sul mercato, applicati su campioni di marmo del tipo Bianco di Carrara per valutare le

prestazioni indotte sulla superficie lapidea a seguito del trattamento, in termini di variazione del colore e riduzione dell'assorbimento di acqua. I test sono stati ripetuti dopo i cicli di invecchiamento accelerato in camera climatica al fine di valutare il comportamento nel tempo dello strato protettivo applicato. La ricerca effettuata ha avuto anche la funzione di stabilire se i prodotti utilizzati siano compatibili con il materiale, così da poter procedere alle applicazioni dei trattamenti più performanti direttamente su manufatti storici. Infine, in accordo con le normative riguardanti il restauro di superfici storiche, si è anche testata la reversibilità del prodotto.

MATERIALI E METODI

Tra le varie tipologie di marmo utilizzate in campo architettonico e monumentale si è deciso di analizzare e testare il marmo bianco di Carrara, il quale ha trovato largo uso nella realizzazione di manufatti di pregio storico-artistico. I campioni di marmo, ricavati da un'unica lastra di 2 cm tagliati in parallelepipedi di 5×10 cm, sono stati trattati con due prodotti commerciali, indicati nel seguito come "A" e "B". Dopo l'applicazione dei protettivi nanostrutturati, si è proceduto all'invecchiamento dei provini trattati in camera salina, per poter analizzare il comportamento dei prodotti applicati nel tempo in ambiente aggressivo.

La soluzione salina è stata preparata secondo la norma UNI EN 14147:2005 "Determinazione della resistenza all'invecchiamento mediante nebbia salina". I campioni sono stati caratterizzati, sia prima che dopo l'applicazione dei prodotti e, successivamente, sia prima che dopo l'invecchiamento, per poter evidenziare eventuali cambiamenti delle caratteristiche fisico-chimiche delle superfici.

Le analisi di laboratorio, effettuate tramite strumentazione portatile e tecniche di indagine non invasive, hanno riguardato: la misura dell'angolo di contatto, la caratterizzazione tramite la tecnica della Fluorescenza a raggi X (XRF), la caratterizzazione porosimetrica tramite la Risonanza Magnetica Nucleare (Rilassometria NMR) e, infine, l'analisi colorimetrica delle superfici tal quali, trattate e invecchiate.

RISULTATI

Tra le indagini condotte sulla superficie dei campioni di marmo, i risultati delle misure dell'angolo di contatto hanno confermato che, rispetto ai campioni tal quali, a seguito dell'applicazione dei prodotti si verifica un aumento del valore dell'angolo di circa il 100%, sia nei campioni trattati non invecchiati sia in quelli trattati e successivamente invecchiati in

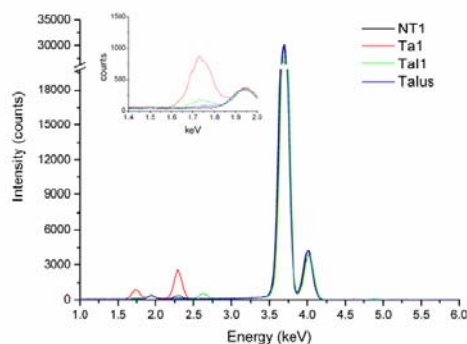
camera a nebbie saline, mostrando che l'efficacia dei trattamenti permane anche dopo il degrado artificiale indotto sui campioni.

Nell'analisi XRF dei campioni si è rilevata una differenza nell'intensità di picco degli elementi chimici costituenti il campione e di quelli introdotti sulla superficie dal trattamento protettivo. Negli spettri XRF acquisiti sui campioni trattati è possibile osservare la comparsa del picco del silicio, strettamente correlabile in questo caso alla presenza dei prodotti idrorepellenti applicati, mentre è assente il picco del titanio nei campioni trattati con il Prodotto A, componente dichiarato nella, allora disponibile, scheda tecnica, della casa produttrice. Infine, nei campioni invecchiati è presente il cloro, strettamente collegato all'invecchiamento a nebbie saline.

Dal confronto degli spettri XRF riportato in figura 1.a, come esempio dei risultati ottenuti, per i punti di misura acquisiti sulla superficie trattata con il Prodotto A, il picco del silicio, presente in tutti i campioni trattati, può essere considerato un marker della presenza/assenza del protettivo poiché non presente nella composizione del campione lapideo. Dopo la caratterizzazione della composizione superficiale, sono stati condotti test di laboratorio per la rimozione del prodotto dai campioni, dato di grande rilievo poiché una delle prerogative dei trattamenti su superfici storiche è la reversibilità dell'intervento. Le indagini, condotte subito dopo le prove condotte con sonda ad ultrasuoni, hanno dimostrato in questo caso la possibilità di rimuovere i trattamenti senza arrecare danno alle superfici, garantendo quindi di potere in seguito intervenire nuovamente sulle superfici in marmo esaminate. Infatti, tramite le analisi XRF è stato verificato che il campione testato, in precedenza trattato con Prodotto "A" e in seguito invecchiato, dopo la rimozione, ritorna allo stato iniziale del punto di vista chimico fisico superficiale.

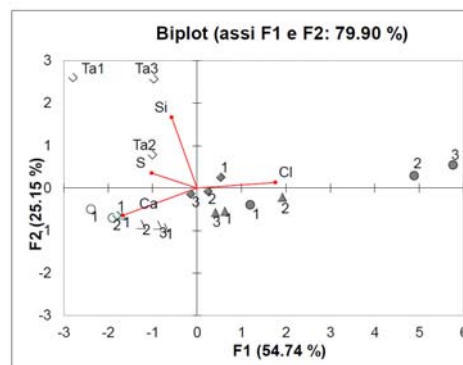
Il bi-plot riportato in figura 1.b mostra i risultati ottenuti dall'analisi multivariata dei dati XRF relativi ai punti di misura del campione trattato con il prodotto A. Gli assi riportati identificano ciascuno un componente chimico (Si, S, Cl, Ca) rivelato dall'analisi in fluorescenza a raggi X, individuando per ogni campione un punto nello spazio bidimensionale, che porta con sé le informazioni relative ad una valutazione multidimensionale. Tale analisi statistica ha evidenziato come i campioni sottoposti a rimozione del prodotto ritornino allo stato iniziale (individuati nel bi-plot da rombo) cioè nella stessa posizione spaziale dei provini tal quale (individuati da triangolo vuoto), confermando dunque che la rimozione del prodotto sia totale, con il ripristino della condizione precedente al trattamento (Fig.1b).

La rilassometria NMR ha fornito dati riguardanti le caratteristiche porosimetriche dei campioni studiati, evidenziando che l'applicazione del protettivo ha l'effetto di ridurre un'elevata percentuale dei pori presenti sulla superficie lapidea trattata.



a)

Figura 1.a. Confronto tra gli spettri XRF relativi ai punti di misura acquisiti sul campione tal quale (NT1); sul campione trattato con il prodotto A (Ta1); sul campione trattato sottoposto a cicli di invecchiamento artificiale (Ta11) e, infine, dopo la rimozione del prodotto tramite US.



b)

Figura 1.b. Analisi delle Componenti Principali (PCA) condotta tenendo conto di tutti gli elementi chimici costituenti la superficie del campione tal quale, trattato e, infine, sottoposto a test di rimozione del prodotto dalla superficie tramite ultrasuoni.

Si osserva, inoltre, che il valore massimo è raggiunto per tempi di rilassamento minori (Figg. 2 e 3). Questo implica che parte dei pori di piccole dimensioni sono meno raggiungibili dall'acqua. Tale evidenza analitica, correlabile con l'efficacia dei trattamenti in termini di idrorepellenza, nel prosieguo della ricerca andrebbe ulteriormente approfondita con indagini di permeabilità al vapore, al fine di valutare in che misura la chiusura dei pori alteri il passaggio di acqua in fase vapore all'interno della struttura porosa del materiale. Come si osserva in figura 3, il campione trattato con il prodotto B, a seguito dell'invecchiamento subisce un aumento dei pori, con diametro caratteristico inizialmente non presente nella struttura rivelata sul campione tal quale, rappresentato dalla comparsa del picco a tempi intermedi.

Oltre all'analisi composizionale e strutturale, sono state determinate le eventuali variazioni delle proprietà ottiche delle superfici trattate. Dal calcolo delle coordinate colorimetriche dei campioni trattati (rispetto a quelli tal quale), è stato possibile evincere che i due trattamenti producono una modesta variazione del colore del materiale e l'effetto in termini di differenza di colore, ΔE^*ab , secondo quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 3668:2002, è appena percepibile a occhio umano. In termini di differenza di tinta, ΔH^*ab , entrambi i prodotti hanno prodotto lo stesso effetto sulle superfici trattate.

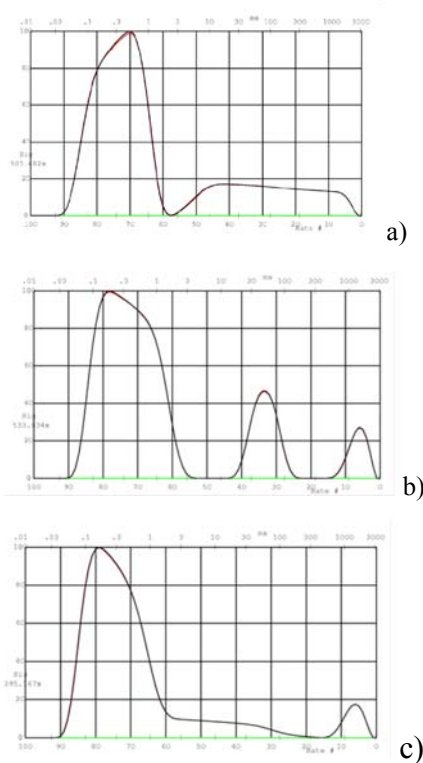


Figura 2. a) Campione non trattato; b) Campione trattato con prodotto A (TA2); c) Campione trattato con prodotto A e successivamente invecchiato (TAI2).

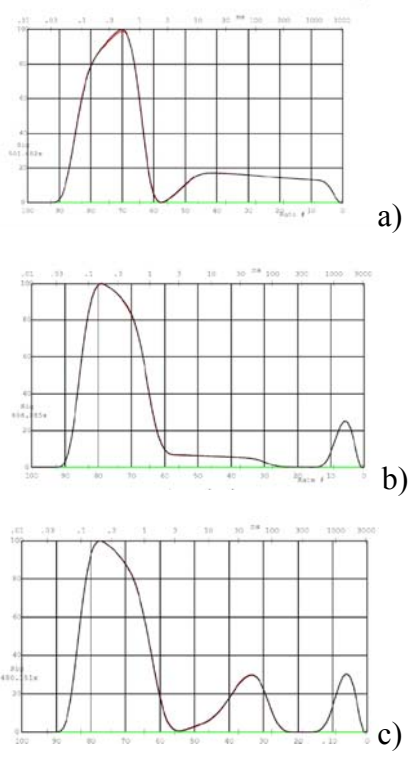


Figura 3. a) Campione non trattato; b) Campione trattato con prodotto B (TB2); c) Campione trattato con prodotto B e successivamente invecchiato (TBI2).

Per quanto riguarda i campioni trattati e invecchiati, dal calcolo dei parametri colorimetrici, si evince che l'invecchiamento accelerato in camera a nebbie saline ha prodotto effetti diversi sui due trattamenti.

Per il trattamento con il prodotto A c'è stato un incremento della differenza di colore, ΔE^*_{ab} , che si attesta su valori superiori alle cinque unità, che secondo quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 3668:2002, risulta essere una differenza significativa.

Infatti, tale superficie mostra un evidente ingiallimento. Per il trattamento con il prodotto B c'è stato un incremento della differenza di colore, ΔE^*_{ab} , che si attesta su valori inferiori alle tre unità e secondo quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 3668:2002, è una differenza non significativa. Questa differenza, però, non è dovuta a una variazione delle coordinate cromatiche, a^* e b^* , che si mantengono pressoché identiche rispetto a quelle misurate sui campioni trattati e non invecchiati, ma è dovuta a una sensibile variazione di luminosità, L^* ,

che si attesta intorno ai tre punti, correlabile probabilmente ad un'alterazione della morfologia superficiale per il degrado indotto artificialmente in camera salina.

Il diagramma riportato in figura 4 illustra le variazioni registrate nei due casi, in termini di differenza di colore calcolate tra i campioni trattati e non trattati (non invecchiati) e, successivamente, trattati invecchiati e non invecchiati. Per i provini trattati con il prodotto A, l'effetto del trattamento superficiale non comporta modifiche sostanziali sui provini, mentre l'effetto dell'invecchiamento accelerato comporta una leggera variazione di luminosità e i provini divengono più scuri. Per i provini trattati con il prodotto B, l'effetto del trattamento superficiale produce un incremento della differenza di croma che dimostra come la superficie divenga più vivida, divenendo ulteriormente amplificato per effetto dell'invecchiamento accelerato.

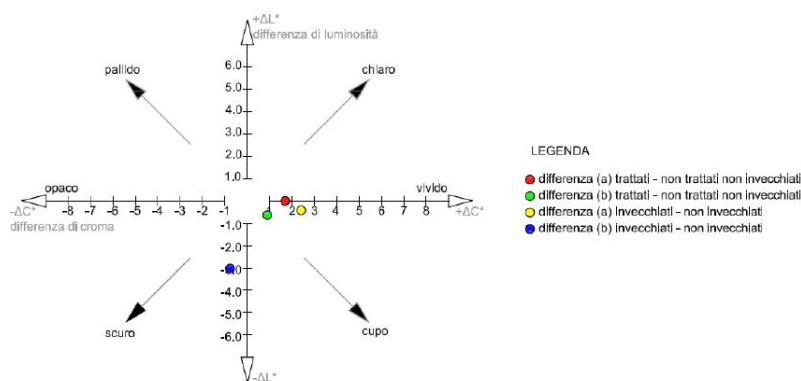


Figura 4. Diagramma Cromo-luminosità per le differenze calcolate tra i campioni trattati e non trattati (non invecchiati), trattati invecchiati e non invecchiati

CONCLUSIONI

Le indagini non invasive condotte per lo studio di due protettivi commerciali impiegati per il trattamento di superfici in marmo di Carrara, ha permesso di valutarne l'efficacia e verificarne l'idrorepellenza. Le indagini non invasive condotte hanno permesso di seguire le diverse fasi di intervento per l'applicazione dei protettivi fino ai test di pulitura per verificarne l'effettiva rimozione dalla superficie marmorea e, conseguentemente, la reversibilità del trattamento. Lo studio ha permesso di stabilire che, per le applicazioni su superfici di pregio storico-artistico, il prodotto B risulta più adeguato, poiché pur conferendo proprietà idrofobiche non più efficaci del prodotto A, non altera le proprietà ottiche dello strato superficiale né a seguito del trattamento né dell'invecchiamento in camera salina.

Una seconda fase necessaria sarà quella di testare i prodotti su materiale invecchiato artificialmente, proprio per riprodurre gli effetti che si avrebbero applicando i prodotti su un ambiente più realistico possibile. Solo a questo punto si potrà procedere alla sperimentazione dei trattamenti che hanno dato i migliori risultati direttamente su manufatti storici.

BIBLIOGRAFIA

- Alberghina, M.F; Barraco, R; Brai, M; Schillaci, T; Tranchina, L.; Double laser LIBS and micro-XRF spectroscopy applied to characterize materials coming from the Greek-Roman theatre of Taormina, Proceedings of SPIE Europe optics metrology, Optics for Arts, Architecture and Archaeology II, Vol. 7391, 739107, 17-19 June 2009, Munich, Germany, ISBN 978-0-8194-7674-6 (2009).
- M.F. Alberghina, R. Barraco, M. Brai, M.P. Casaletto, M. Marrale, D. Policarpo, T. Schillaci, L. Tranchina, Degradation study of XVIII century graffiti on walls of Chiaramonte palace, Applied Physics A: Materials Science & Processing, 2010, Volume 100, Number 3, Pages 953-963, DOI: 10.1007/s00339-010-5679-z.
- Brai M., Casieri C., De Luca F., Fantazzini P., Gombia M., Terenzi C., Validity of NMR pore-size analysis of cultural heritage ancient building materials containing magnetic impurities, Solid State Nuclear Magnetic Resonance 32 (2007), pp. 129 - 135.
- Brai M., Longo A., Maccotta A., Marrale M., Electronic paramagnetic resonance power saturation of wooden samples, J. Appl. Phys. 105, 094913 (2009).
- Norma UNI EN 14147:2005 Determinazione della resistenza all'invecchiamento mediante nebbia salina

Author informations:

Giuseppe Alaimo: Giuseppe.alaimo@unipa.it - Daniele Enea: daniele.enea@unipa.it
Laboratorio di Edilizia - UniNetLab – Università degli Studi di Palermo – Viale delle Scienze – 90128 Palermo.

Maria F. Alberghina: maria.alberghina@unipa.it; Dorotea Fontana: dorotea.fontana@unipa.it;
Maurizio Marrale: maurizio.marrale@unipa.it, Anna Longo: anna.longo@unipa.it; Maria Brai: maria.brai@unipa.it
Dipartimento di Fisica e Chimica – Università degli Studi di Palermo – Viale delle Scienze Ed. 18 – 90128 Palermo.

Federica Fernandez: federicafernandez@libero.it;
Vincenzo Proietto: vincenzo.proietto@libero.it
Master Universitario di II livello in “Ricercatore esperto di nanotecnologie e nanomateriali per i beni culturali

Patrizia Livreri: patrizia.livreri@unipa.it
Dipartimento Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici – Università degli Studi di Palermo – Viale delle Scienze – 90128 Palermo.

Luigi Tranchina: luigi.tranchina@unipa.it; Maria Brai: maria.brai@unipa.it
Laboratorio di Fisica e Tecnologie Relative - UniNetLab – Università degli Studi di Palermo – Viale delle Scienze Ed. 18 – 90128 Palermo.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

ISBN 978-88-907460-5-5