



## Terracuda e Nanotecnologie

Già con il Programma di Ricerca Nazionale PRIN 2006, dall'Unità di Ricerca UR/1, che fa capo all'Università degli Studi di Palermo, era stata affrontata la ricerca sui materiali compositi nanostrutturati, mirati al recupero e alla conservazione del patrimonio architettonico. E con Alberto Sposito, co-ordinatore nazionale e responsabile di una Unità di Ricerca, erano l'Unità chimico-fisica di Palermo e l'Unità che faceva capo all'Università di Messina. Con i fondi assegnati da tale PRIN l'Unità di Palermo ha organizzato nel 2009 il I Convegno Internazionale dal titolo *Nanotech for Architecture: innovative Technologies, Techniques and nanostructured Materials*, i cui atti sono stati pubblicati da Luciano Editore (2009). Inoltre, lo stesso anno e con gli stessi tipi sono state pubblicate le risultanze della ricerca con il titolo *Nanotecnologie & Nanomateriali per l'Architettura*. A tale PRIN ha fatto seguito quello del 2008, dal titolo *Terra cruda e Nanotecnologie: Tradizione, Innovazione e Sostenibilità*, di cui qui sono riportate le risultanze della ricerca. Dopo l'introduzione che presenta il progetto di ricerca, nella Prima Parte seguono le relazioni di Maria Luisa Germanà, Cesare Sposito, Giuseppe De Giovanni e Antonino Guglielmino. Nella Seconda Parte sono riportate gli esperimenti e diverse considerazioni fatte dal gruppo dei chimici coordinati da Stefana Milioto, dagli architetti Francesca Scalisi, Carmelo Cipriano e Salvatore Pitruzzella e dall'Ingegnere Teotista Panzeca. In ultimo Alberto Sposito traccia alcune valutazioni finali e indica delle tracce di ricerca.

*In copertina:* l'antica Città di Shibam, costruita in terracuda dal sec. XVI nello Yemen, Patrimonio dell'Umanità.

Terracuda e Nanotecnologie a cura di F. Scalisi e C. Sposito

# TERRACUDA E NANOTECNOLOGIE

## TRADIZIONE, INNOVAZIONE, SOSTENIBILITÀ

a cura di

Francesca Scalisi e Cesare Sposito

Alberto Sposito con i contributi di  
Giuseppe Cavallaro, Carmelo Cipriano, Giuseppe De Giovanni,  
Maria Luisa Germanà, Antonio Guglielmino, Giuseppe Lazzara,  
Stefana Milioto, Teotista Panzeca, Daniela Piazzese, Salvatore  
Pitruzzella, Francesca Scalisi e Cesare Sposito

Francesca Scalisi, architetto e Dottore di Ricerca in *Recupero e Fruizione dei Contesti Antichi*, è stata titolare di Assegno di Ricerca sul tema *Sperimentazione dei materiali nanostrutturati nei siti archeologici di Agrigento, Morgantina e Villa Romana del Casale*, presso l'Università degli Studi di Palermo. Già docente di *Progettazione dei sistemi costruttivi* e di *Elementi e materiali dell'Architettura* presso la Facoltà di Architettura di Palermo, svolge da anni attività di ricerca sui temi delle nanotecnologie applicate ai Beni Culturali e alle nuove costruzioni, dell'architettura bioclimatica e del rapporto tra nanotecnologie e risparmio energetico. Ha pubblicato varie monografie, tra cui: *Nanotecnologie per gli edifici: Innovazione tecnologica e nuovi materiali per le costruzioni* (2010) e *Tecnologie per il risparmio energetico degli edifici* (2011).

Cesare Sposito, architetto, svolge attività di ricerca nell'ambito della cultura architettonica, sul tema del recupero e della fruizione, con particolare attenzione alla sostenibilità ambientale e ai materiali innovativi. Ricercatore e docente del *Laboratorio di Costruzioni I* presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Palermo, già Dottore di Ricerca in *Recupero del Patrimonio Edilizio ed Ambientale*, docente di *Progettazione dei Sistemi Costruttivi* e di *Tecnologia dell'Architettura*, è componente della Società Italiana di Tecnologia dell'Architettura (SITdA). Ha pubblicato varie monografie su questioni tecnologiche, tra cui i volumi: *L'Anfiteatro romano di Catania: conoscenza, recupero e valorizzazione* (2003), *Le Tommare: storia e architettura* (2007), *Suite d'Autore: architettura, design e tecnologia per una moderna cultura dell'ospitalità* (2008), *Architettura Sistemica: materiali ed elementi costruttivi* (2011), *I siti archeologici: dalla definizione del valore alla protezione della materia* (2012), *Sul recupero delle aree industriali dismesse* (2012).



euro 24,00

ISBN 978-88-548-6044-5



9 788854 860445



## ESEMPI DI ARCHITETTURA

*Direttore*

Olimpia Niglio

Kyoto University, Japan

*Comitato scientifico*

Taisuke Kuroda

Kanto Gakuin University, Yokohama, Japan

Rubén Hernández Molina

Universidad Nacional, Bogotá, Colombia

Alberto Parducci

Università degli Studi di Perugia

Alberto Parducci

Università degli Studi di Perugia

Pastor Alfonso Sánchez Cruz

Revista Horizontes de Arquitectura, Mexico

Alberto Sposito

Università degli Studi di Palermo

Karin Templin

University of Cambridge, Cambridge, UK

*Comitato di redazione*

Giuseppe De Giovanni

Università degli Studi di Palermo

Marzia Marandola

Sapienza Università di Roma

Mabel Matamoros Tuma

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, La Habana, Cuba

Alessio Pipinato

Università degli Studi di Padova

Bruno Pelucca

Università degli Studi di Firenze

Chiara Visentin

Università degli Studi di Pisa, Campus di Lucca

## ESEMPI DI ARCHITETTURA

La collana editoriale Esempi di Architettura nasce per divulgare pubblicazioni scientifiche edite dal mondo universitario e dai centri di ricerca, che focalizzino l'attenzione sulla lettura critica dei progetti. Si vuole così creare un luogo per un dibattito culturale su argomenti interdisciplinari con la finalità di approfondire tematiche attinenti a differenti ambiti di studio che vadano dalla storia, al restauro, alla progettazione architettonica e strutturale, all'analisi tecnologica, al paesaggio e alla città.

Le finalità scientifiche e culturali del progetto EDA trovano le ragioni nel pensiero di Werner Heisenberg Premio Nobel per la Fisica nel 1932.

... È probabilmente vero, in linea di massima, che nella storia del pensiero umano gli sviluppi più fruttuosi si verificano spesso nei punti d'interferenza tra diverse linee di pensiero. Queste linee possono avere le loro radici in parti assolutamente diverse della cultura umana, in diversi tempi ed in ambienti culturali diversi o di diverse tradizioni religiose; perciò, se esse veramente si incontrano, cioè, se vengono a trovarsi in rapporti sufficientemente stretti da dare origine ad un'effettiva interazione, si può allora sperare che possano seguire nuovi ed interessanti sviluppi.

Publicazione realizzata con Fondi del Programma di Ricerca Scientifica di Rilevante Interesse Nazionale PRIN anno 2008.

Titolo del Programma:

NANOTECNOLOGIE PER L'ARCHITETTURA SOSTENIBILE: I MATTONI IN TERRACRUDA.  
*NANOTECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE: THE BRICKS IN UNFIRED CLAY.*

Titolo del Volume:

TERRACRUDA E NANOTECNOLOGIE: TRADIZIONE, INNOVAZIONE, SOSTENIBILITÀ.  
*UNFIRED CLAY AND NANOTECHNOLOGIES: TRADITION, INNOVATION, SUSTAINABILITY.*

Coordinatore Scientifico:

Prof. Arch. Alberto Sposito

# TERRACRUDA E NANOTECNOLOGIE

Tradizione, Innovazione, Sostenibilità

*a cura di*

Francesca Scalisi e Cesare Sposito

Alberto Sposito *con i contributi di*  
Giuseppe Cavallaro, Carmelo Cipriano,  
Giuseppe De Giovanni, Maria Luisa Germanà,  
Antonino Guglielmino, Giuseppe Lazzara, Stefana Milioto,  
Teotista Panzeca, Daniela Piazzese, Salvatore Pitruzzella,  
Francesca Scalisi e Cesare Sposito



© by Alberto Sposito  
Dipartimento di Architettura  
Università degli Studi di Palermo

Copyright © MMXIII  
ARACNE editrice S.r.l.

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

via Raffaele Garofalo, 133/A-B  
00173 Roma  
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-6044-5

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: maggio 2013

## Sommario

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <i>Presentazione</i> . . . . .     | 9  |
| <i>Presentation</i> . . . . .      | 10 |
| FRANCESCA SCALISI e CESARE SPOSITO |    |

|   |    |
|---|----|
| <i>Introduzione</i>                             |    |
| Il progetto di ricerca PRIN 2008 . . . . .      | II |
| <i>The Research Project PRIN 2008</i> . . . . . | 27 |
| ALBERTO SPOSITO                                 |    |

### PARTE PRIMA – *Terracruda e nanotecnologie*

|  |    |
|--|----|
| Terracruda in Sicilia: dal Patrimonio Architettonico<br>alle potenzialità contemporanee. . . . . | 49 |
| MARIA LUISA GERMANÀ  |    |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Architettura in terra. . . . . | 61 |
| CESARE SPOSITO                 |    |

|  |    |
|--|----|
| Le nanotecnologie per l'architettura . . . . . | 75 |
| GIUSEPPE DE GIOVANNI                           |    |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Costruire con la terra. . . . . | 89 |
| ANTONINO GUGLIELMINO            |    |

### PARTE SECONDA – *Gli esiti della ricerca*

|  |     |
|--|-----|
| Correlazioni struttura-proprietà di materiali compositi<br>nanoargilla/biopolimero . . . . . | 101 |
| GIUSEPPE CAVALLARO, GIUSEPPE LAZZARA, STEFANA MILIOTO, DANIELA PIAZZESE                      |     |

|   |     |
|---|-----|
| Le modalità di esecuzione dei mattoni in terracruda . . . . . | 111 |
| FRANCESCA SCALISI   |     |



|  |     |
|--|-----|
| Prove di resistenza a compressione e a flessione dei campioni<br>in terracuda . . . . .  | 137 |
| FRANCESCA SCALISI  |     |
| Valutazioni sulla resistenza dei campioni nanostrutturati. . . . .   | 153 |
| TEOTISTA PANZECA   |     |
| Prove di durabilità e di resistenza meccanica sui mattoni<br>in terra cruda nanostrutturati. . . . .   | 157 |
| CARMELO CIPRIANO   |     |
| Simulazione delle caratteristiche termofisiche di mattoni<br>in terracuda con nanodischi di argilla con il metodo<br>degli elementi finiti e loro applicazioni . . . . . | 169 |
| SALVATORE PITRUZZELLA  |     |
| Caratterizzazione acustica di mattoni in terracuda addizionati<br>con nanodischi di argilla . . . . .  | 197 |
| SALVATORE PITRUZZELLA  |     |
| <i>Conclusioni</i> . . . . .   | 213 |
| <i>Conclusions</i> . . . . .   | 221 |
| ALBERTO SPOSITO  |     |
| <i>Bibliografia</i> . . . . .  | 235 |

# Le modalità di esecuzione dei mattoni in terracuda

FRANCESCA SCALISI\*

*ABSTRACT – The article describes the operation carried out for the production of samples in unfired clay. Starting from the analysis of the materials used in the execution of the mixture, shaping and drying. The first group of samples, includes three types: clay and water; clay, water and sand; clay, water, sand and straw. In the second group of samples was added 5% of nanodiscs of clay.*

Nell'ambito del Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale PRIN 2008, dal titolo *Nanotecnologie per i mattoni in terra cruda: tradizione, innovazione e sostenibilità*, il compito dell'Unità di Ricerca di Palermo (da qui in avanti denominata UR/1) è stato quello di produrre mattoni in terracuda con l'aggiunta di componenti a scala nanometrica da sottoporre a caratterizzazione fisico-meccanica; inoltre, compito della UR/1 è stato quello di valutare il comportamento termo-igrometrico e il potere fono-isolante dei mattoni in terracuda prodotti. Alle prove sopra descritte sono stati sottoposti sia i mattoni in terracuda senza l'aggiunta di componenti a scala nanometrica, sia quelli con la loro aggiunta, in modo tale da comparare i risultati e stabilire la convenienza dell'aggiunta del rinforzo nanostrutturato.

Di seguito viene descritta la complessa e fondamentale operazione di produzione dei mattoni in terra cruda, dall'analisi dei componenti di base, per poi proseguire con la miscelazione, l'impasto, lo stampo, la sformatura e l'essiccamento dei campioni<sup>1</sup>. La corretta esecuzione delle operazioni sopra elencate concorre alla realizzazione di un buon prodotto da sottoporre alle numerose prove previste.

Innanzitutto occorre specificare che la procedura utilizzata per la realizzazione dei campioni è quella che si esegue per l'*adobe*, un mattone di terra cruda formato a mano, con stampo, senza compressione e lasciato seccare naturalmente. L'uso dell'*adobe* è una delle tecniche costruttive più diffuse tra quelle riconduci-

\* Francesca Scalisi, architetto, è Dottore di Ricerca in *Recupero e Fruizione dei Contesti Antichi* all'Università degli Studi di Palermo.

bili alla terra cruda; tra le più impiegate ricordiamo il *blocco compresso*, mattone compresso con l'ausilio di presse meccaniche per aumentare le caratteristiche di compressione, il *blocco estruso*, la cui esecuzione è simile ai laterizi, il *pisé*, che consiste nella formatura e compressione della terra in apposite casseforme. Gli impasti utilizzati per la produzione degli *adobe* sono di tre tipi: *argilla e acqua*; *argilla, acqua e sabbia*; *argilla, acqua, sabbia e paglia*.

L'impasto argilla e acqua costituisce la base per la produzione di mattoni in terra cruda, ma comunemente vengono aggiunti altri elementi, utili a stabilizzare il composto. *Stabilizzare* una terra significa essenzialmente modificare le proprietà di un sistema terra-acqua per migliorarne, anche considerevolmente, le caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche. È un processo che esiste da sempre nella tradizione costruttiva in terra cruda, con aggiunte di fibre vegetali o animali (paglia, crine di cavallo), di sostanze collanti (caseina, sangue, sterco animale, albume d'uovo), di cementi, di calce o bitumi. Tuttavia, sebbene sia largamente praticata, la stabilizzazione non è una scienza esatta e non si conosce ancora uno stabilizzante *miracoloso* che risponda a tutte le problematiche. Si conoscono tre procedimenti di stabilizzazione:

- la *stabilizzazione meccanica*, che si ottiene attraverso il compattamento della terra, azione che ne modifica la densità, la resistenza meccanica, la comprimibilità, la permeabilità e la porosità;

- la *stabilizzazione fisica*, ottenuta per mezzo di interventi sulla tessitura: si può ottenere una miscela controllata delle diverse frazioni granulometriche, attraverso l'eliminazione per setacciatura o, viceversa, l'aggiunta di inerti più o meno grandi;

- la *stabilizzazione chimica*, che si ottiene aggiungendo altri materiali o prodotti chimici che ne modificano le proprietà, sia grazie a una reazione fisico-chimica tra particelle e materiale o prodotto aggiunto, sia anche creando una matrice che leghi o involuppi le particelle; da rilevare che la reazione fisico-chimica può anche causare la formazione di un nuovo materiale.

Il cemento è una dei materiali che frequentemente viene utilizzato come stabilizzante. Tra l'altro, nei Paesi dove è in vigore una Normativa relativa alle costruzioni in terracruda, tale Normativa prevede una percentuale di cemento da aggiungere alla terra: ad esempio in Canada, la percentuale di cemento prevista è compresa tra il 3 e il 6%. Nel nostro caso, nella prima fase, gli stabilizzanti utilizzati sono stati la sabbia e la paglia.

La prima operazione eseguita è stata l'analisi dei componenti che costituiscono l'impasto. L'argilla, la sabbia e la paglia sono stati forniti dalla Ditta Guglielmino di Misterbianco (CT), che ha collaborato al progetto di ricerca nella fase di reperimento dei materiali e per la preparazione dei campioni (Figg. 1-3).

L'argilla rappresenta il componente principale nella realizzazione di elementi in terra cruda; essa è una roccia composta da uno o più minerali caratterizzati dalla presenza dominante di silicati idrati di alluminio. In particolare, l'argilla è costituita da piani bidimensionali di tetraedri silicio-ossigeno, sovrapposti a strati ottaedrici costituiti da cationi metallici (magnesio, sodio, potassio, calcio, ferro,



Figg. 1-3 – I materiali forniti dalla Ditta Guglielmino: l'argilla, l'aggregato lavico da 0 a 2 mm e la paglia tagliata mediamente a mm 15.

ecc.). Tale struttura chimica conferisce all'argilla una struttura a sfoglia, da cui deriva il termine *fillosilicati*, che costituisce il legante o matrice e rappresenta la principale peculiarità. Altre componenti in difetto, quali granuli di quarzo, calcite ecc., costituiscono il rinforzo e contribuiscono a garantire importanti proprietà, quali la durezza e il ridotto fenomeno di ritiro durante l'essiccazione.

L'argilla fornita proviene dalla cava denominata *Roccasieli – Guglielmino Group*, ubicata nel comune di Motta S. Anastasia (CT) e l'analisi chimica a cui è stata sottoposta ha fornito i seguenti risultati: Silice 48,88%  $\text{SiO}_2$ ; Sodio ossido 1,33% m/m  $\text{Na}_2\text{O}$ ; Potassio ossido 0,56% m/m  $\text{K}_2\text{O}$ ; Magnesio ossido 5,05 m/m  $\text{MgO}$ ; Ferro ossido 8,08% m/m  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; Alluminio ossido 11,80% m/m  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; Manganese ossido 0,05% m/m  $\text{MnO}_2$ ; Titanio ossido 0,05% m/m  $\text{TiO}_2$ ; Sostanza organica 2,03% m/m; Cloruri 0,013% Cl; Fluoruri 0,001% F.

La sabbia presenta le seguenti caratteristiche:

- all'Analisi Chimica:  $\text{SiO}_2$  92,00%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  4,00%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0,040%;  $\text{TiO}_2$  0,01%; CaO 0,30%; MgO 0,02%;  $\text{K}_2\text{O}$  3,20%;  $\text{Na}_2\text{O}$  0,20%; P.F. (1100° C) 0,15%;
- all'Analisi Granulometrica:

| Classe<br>mm | peso<br>% |
|--------------|-----------|
| >1,00<1,50   | 3         |
| 1,00 – 0,80  | 8         |
| 0,80 – 0,60  | 37        |
| 0,60 – 0,40  | 37        |
| 0,40 – 0,30  | 8         |
| <0,30        | 5         |

- all'Analisi Mineralogica:

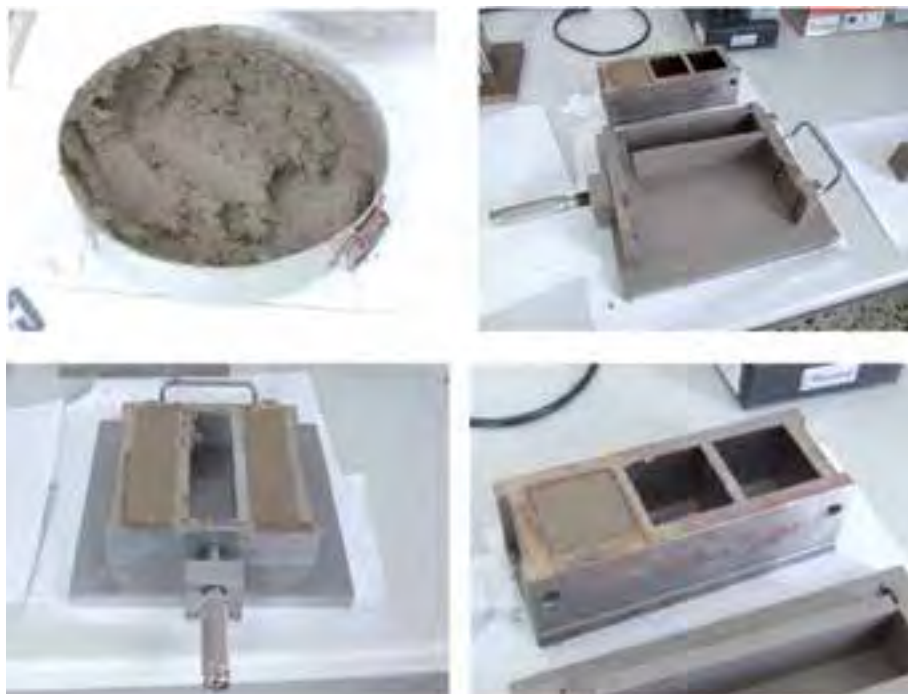
|                     |     |
|---------------------|-----|
| Quarzo              | 78% |
| Feldspato potassico | 20% |
| Feldspato sodico    | 1%  |
| Altri               | 1%  |

Gli impasti delle tre tipologie di campioni sono stati eseguiti sia presso il laboratorio del Dipartimento di Architettura dell'Università di Palermo, sia presso la sede della ditta Guglielmino a Misterbianco. L'esecuzione dell'impasto è avvenuta con modalità manuali e meccaniche. In una prima fase, l'impasto, in quantità limitate, è stato eseguito presso il Dipartimento di Architettura di Palermo, in modo tale da valutare le percentuali corrette di acqua da aggiungere.

Nel nostro Laboratorio del Dipartimento di Architettura l'impasto terra-acqua presentava il 45,45% di acqua. Nelle altre due tipologie la sabbia e la paglia sono state mescolate alla terra a secco e poi è stata aggiunta l'acqua: l'impasto argilla, acqua e sabbia presentava il 30% di sabbia e il 38,46% di acqua; l'impasto argilla, acqua, sabbia e paglia presentava il 30% di sabbia, l'1,5% di paglia e il 41,38% di acqua (Figg. 4 – 7). Una volta ottenuto un impasto omogeneo a secco si è proceduto ad aggiungere l'acqua; in quelli con la paglia, questa è stata aggiunta dopo l'acqua, cioè quando l'impasto era sufficientemente plastico.

Le forme utilizzate sono di acciaio, provviste di base, e ne sono state utilizzate con tre diverse dimensioni: da mm 120x120x60 per la realizzazione delle prove di abrasione; da mm 40x40x160 per la realizzazione delle prove di flessione; da mm 50x50x50 per la realizzazione delle prove di compressione.

L'impasto è stato introdotto nelle forme cercando di riempire completamente le cavità e successivamente il materiale è stato rasato, in modo tale da eliminare quello



Figg. 4-7 – I campioni in terracuda sono stati realizzati presso il Dipartimento di Architettura all'Università degli Studi di Palermo.





Figg. 8-15 – La realizzazione dei campioni in terracuda nello stabilimento della Ditta Guglielmino a Misterbianco (CT).

in eccesso. In seguito si è proceduto a ruotare la forma ed estrarre il blocco. Gli elementi ottenuti sono stati posizionati su di un ripiano in luogo asciutto e ventilato per poter permetterne l'essiccazione; dopo un paio di giorni erano sufficientemente solidi per poter essere girati e continuare così l'essiccamento. I blocchi sono stati girati diverse volte nei giorni successivi, per un periodo di ventotto giorni.

Una volta realizzati i provini sono state date le indicazioni alla *Guglielmino Group* per eseguire i numerosi campioni, necessari per la esecuzione delle prove; in questa fase, per l'impasto è stato fatto uso di impastatrici meccaniche (Figg 8 – 15).

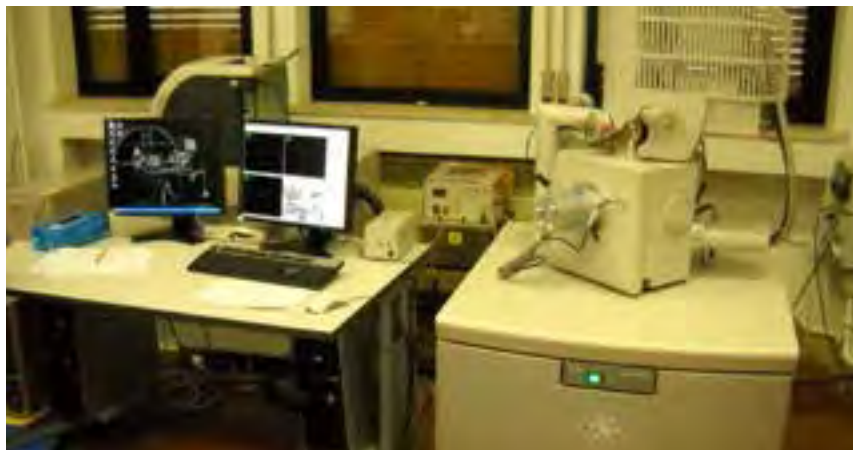


Fig. 16 – Lo Scanning Electron Microscope (SEM).



Figg. 17, 18 – Porzioni di campioni C1, C2 e C3 da osservare al SEM.

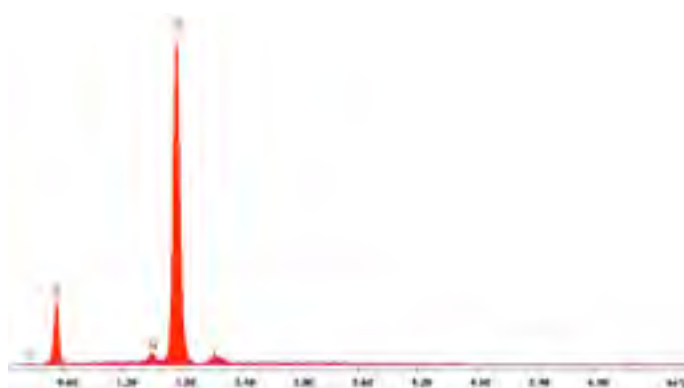


Fig. 19 – Il grafico degli elementi chimici nel campione C1 dall'osservazione al SEM a 100.000x.

I provini realizzati sono stati osservati allo *Scanning Electron Microscope (SEM)*, capace di ingrandire l'immagine del campione oltre 100.000 volte (Figg. 16-18). Le tre tipologie di campioni sono state denominate C1 (argilla e acqua), C2 (argilla, acqua e

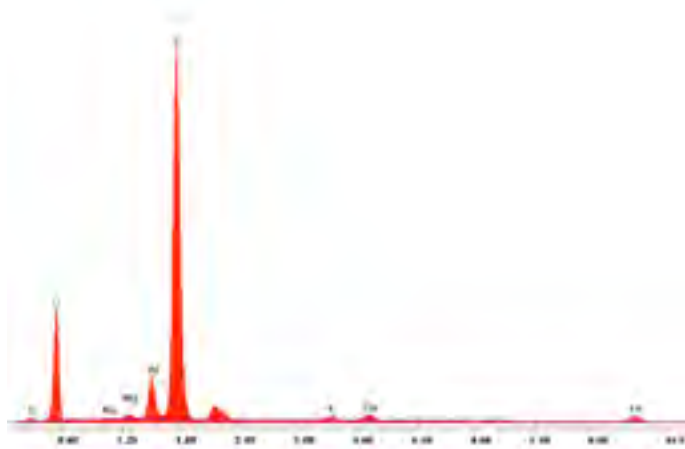
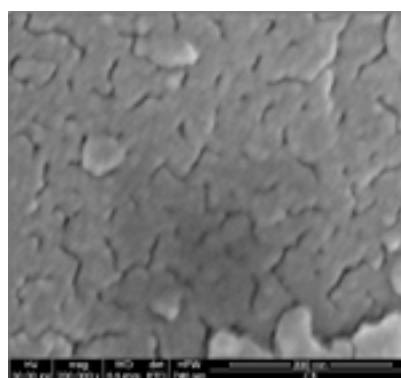
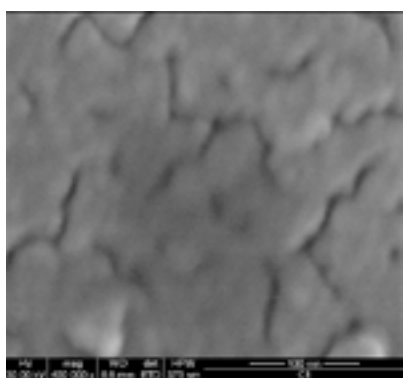
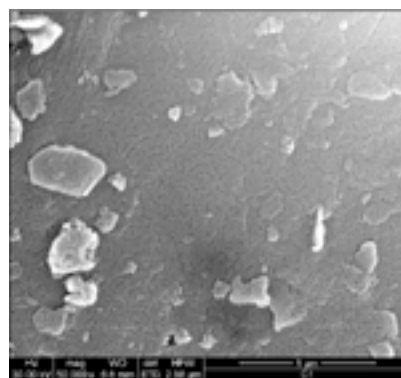
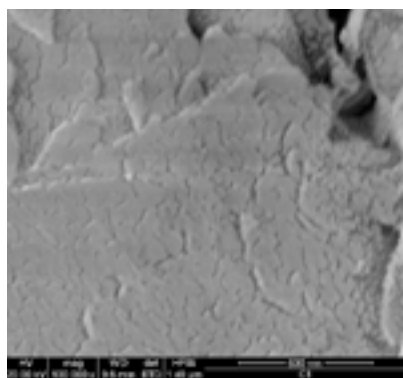


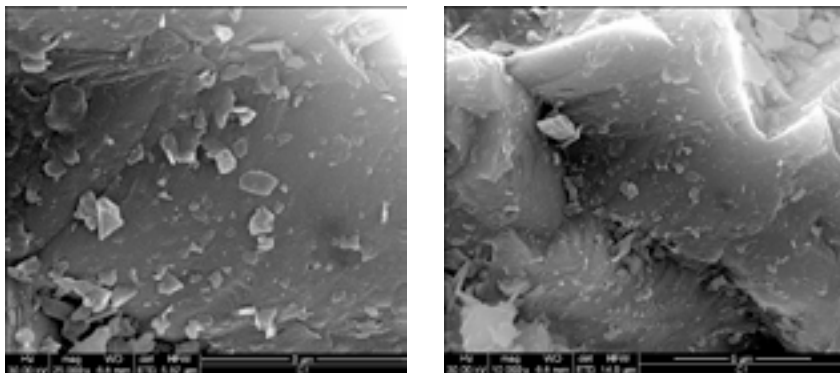
Fig. 20 – Il grafico degli elementi chimici nel campione C1 dall'osservazione al SEM a 10.000x.



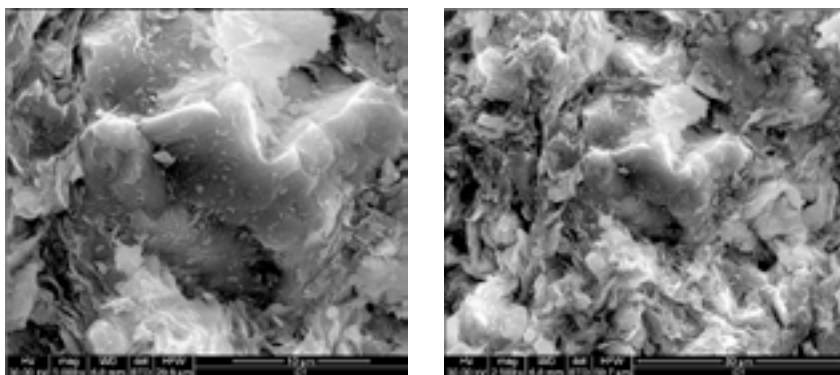
Figg. 21, 22 – Osservazione al SEM del campione C1: a 400.000x (sinistra) e a 200.000x (destra).



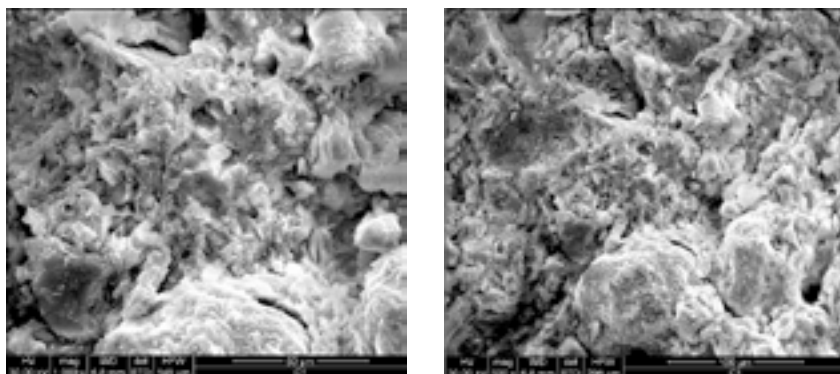
Figg. 23, 24 – Osservazione al SEM del campione C1: a 100.000x (sinistra) e a 50.000x (destra).



*Figg. 25, 26 – Osservazione al SEM del campione C1: a 25.000x (sinistra) e a 10.000x (destra)*

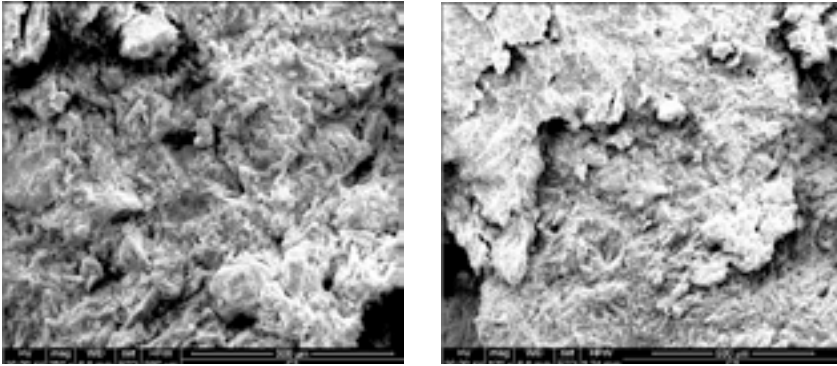


*Figg. 27, 28 – Osservazione al SEM del campione C1: a 5.000x (sinistra) e a 2.500x (destra).*



*Figg. 29, 30 – Osservazione al SEM del campione C1: a 1.000x (sinistra) e a 500x (destra)*

sabbia) e C3 (argilla, acqua, sabbia e paglia). Di ognuno dei tre campioni si è verificata la presenza degli elementi chimici ed è stata rilevata la loro percentuale con l'uso di grafici che mostrano le percentuali dei diversi elementi, grazie a ingrandimenti di



Figg. 31, 32 – Osservazione al SEM del campione C1: a 250x (sinistra) e a 120x (destra).

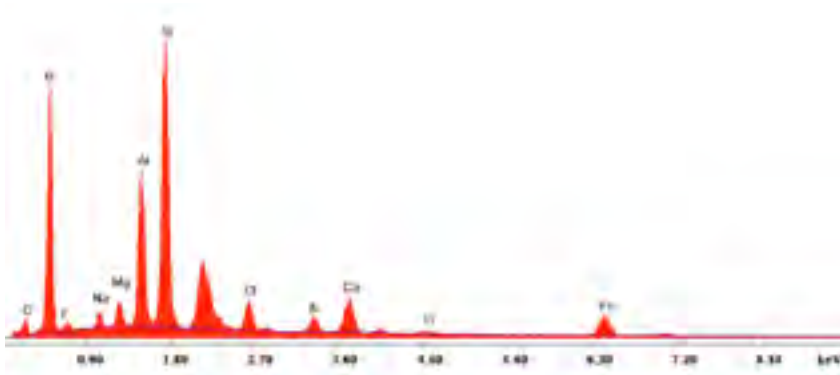


Fig. 33 – Il grafico degli elementi chimici nel campione C2 dall'osservazione al SEM a 100.000x.

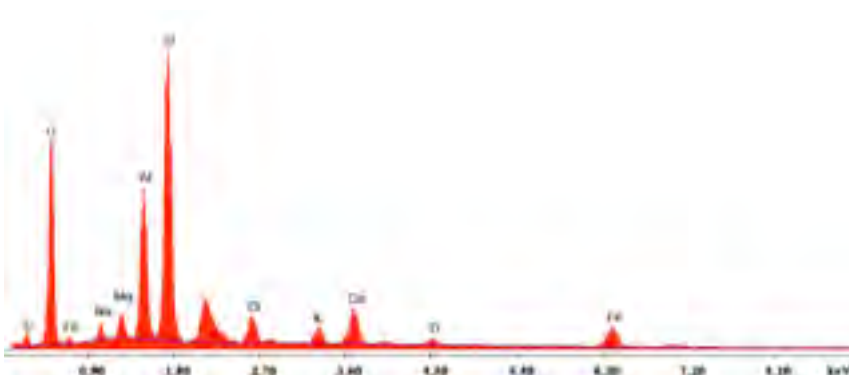
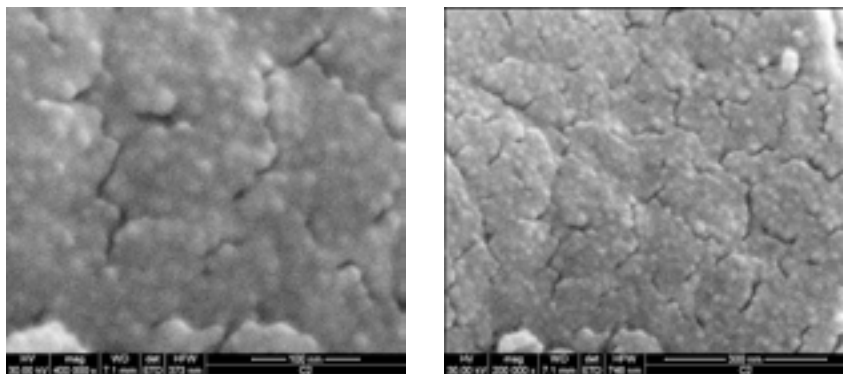


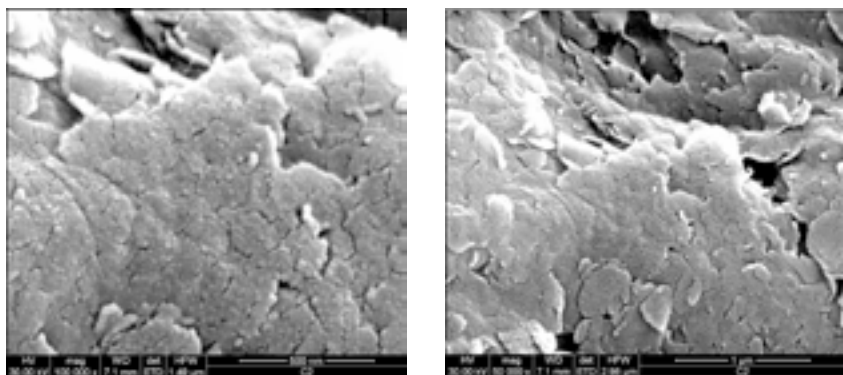
Fig. 34 – Il grafico degli elementi chimici nel campione C2 dall'osservazione al SEM a 10.000x.

100.000x e di 10.000x; inoltre è stato possibile osservare i vari tipi di campioni con ingrandimenti che vanno da 400.000x a 500x, cosa che ha permesso di verificare la distribuzione uniforme degli elementi che compongono i campioni (Figg. 19 – 58).

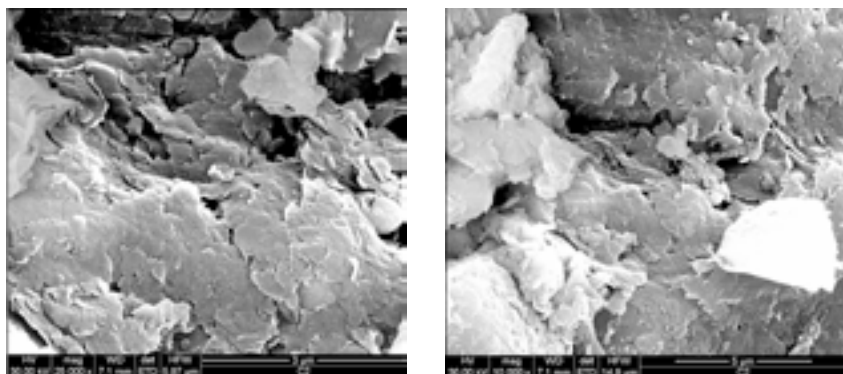




*Figg. 35, 36 – Osservazione al SEM del campione C2: a 400.000x (sinistra) e a 200.000x (destra).*

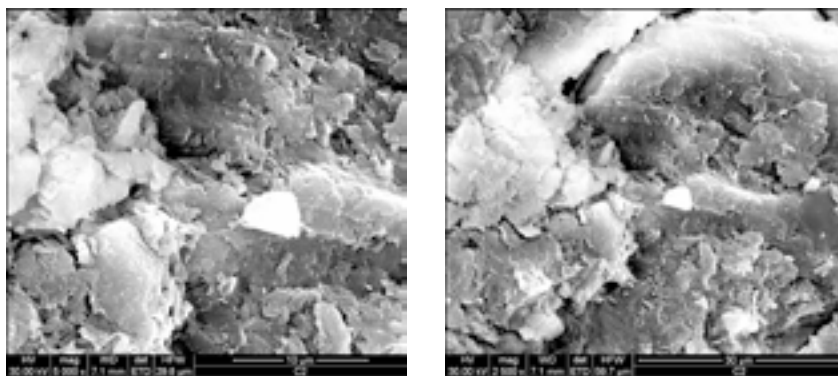


*Figg. 37, 38 – Osservazione al SEM del campione C2: a 100.000x (sinistra) e a 50.000x (destra).*

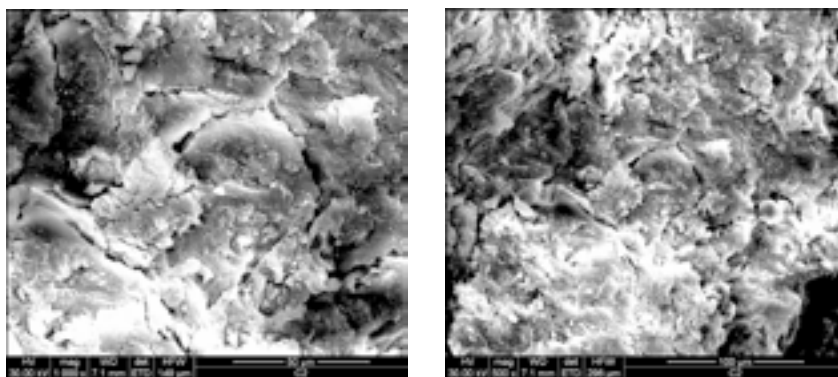


*Figg. 39, 40 – Osservazione al SEM del campione C2: a 25.000x (sinistra) e a 10.000x (destra).*

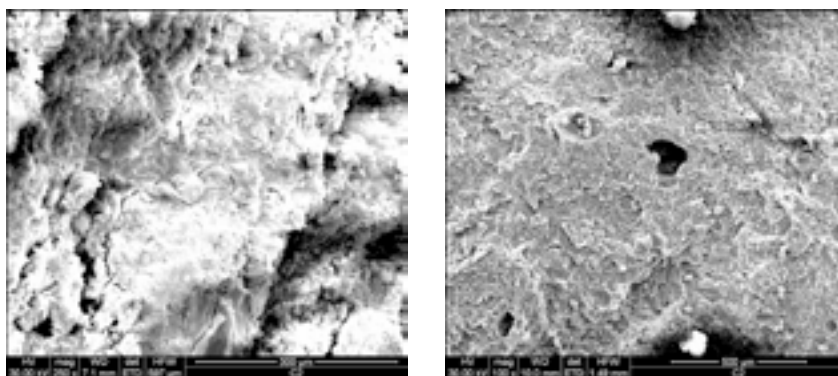
Terminata la preparazione dei blocchi di *argilla e acqua*, di *argilla, sabbia e acqua*, di *argilla, sabbia, paglia e acqua*, ha avuto inizio la preparazione dei tre tipi di blocchi con l'aggiunta del rinforzo nanostrutturato. Se la terra cruda è un



Figg. 41, 42 – Osservazione al SEM del campione C2: a 5.000x (sinistra) e a 2.500x (destra).



Figg. 43, 44 – Osservazione al SEM del campione C2: a 1.000x (sinistra) e a 500x (destra).



Figg. 45, 46 – Osservazione al SEM del campione C2: a 250x (sinistra) e a 100x (destra).

materiale composito naturale, formato dal legante e da rinforzi, i nanocompositi sono invece una nuova classe di materiali, caratterizzati da una dispersione delle fasi ultrafine, tipicamente dell'ordine di pochi nanometri; in virtù di questa

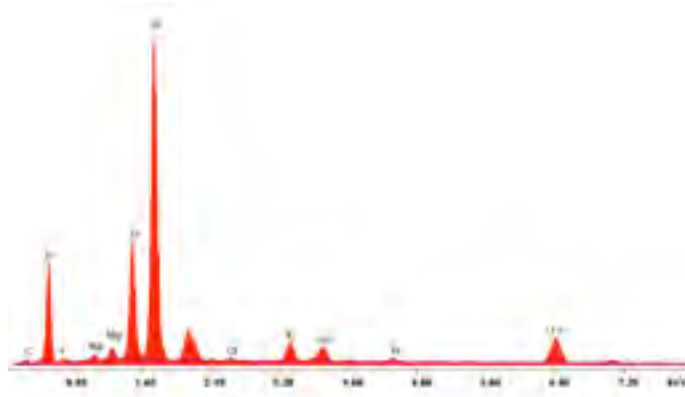


Fig. 47 – Il grafico degli elementi chimici nel campione C3 dall'osservazione al SEM a 100.000x.

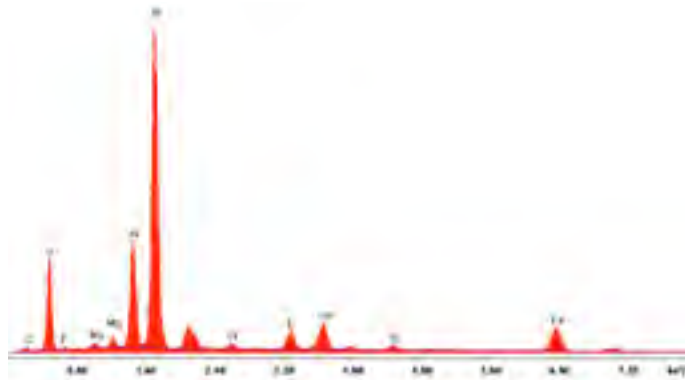
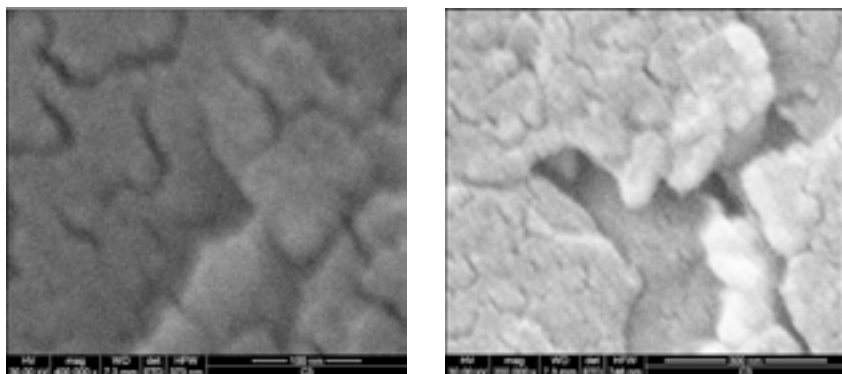
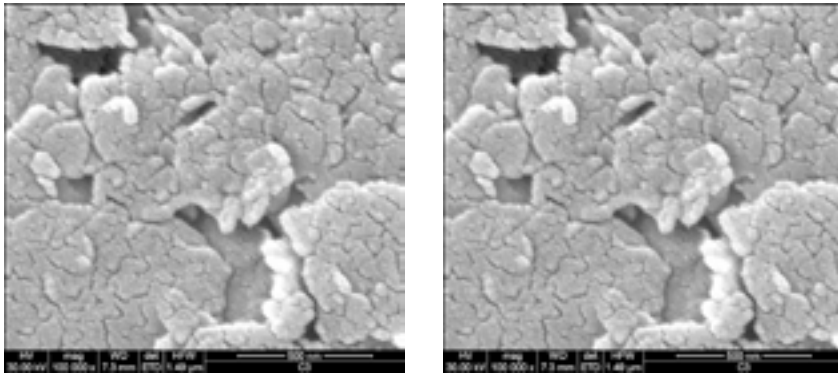


Fig. 48 – Il grafico degli elementi chimici nel campione C3 dall'osservazione al SEM a 10.000x.

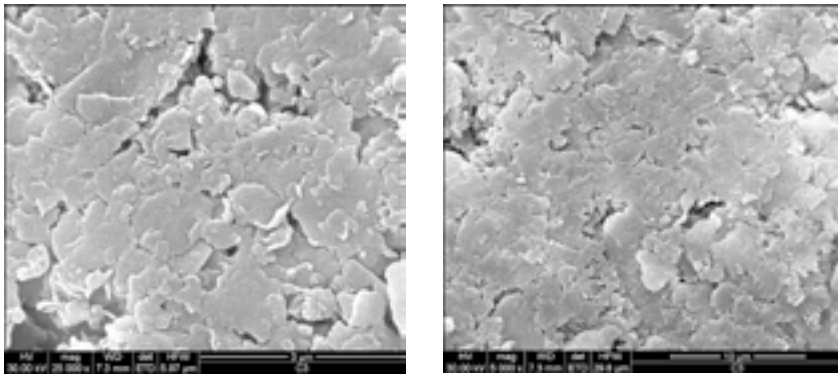


Figg. 49, 50 – Osservazione al SEM del campione C3: a 400.000x (sinistra) e a 200.000x (destra).

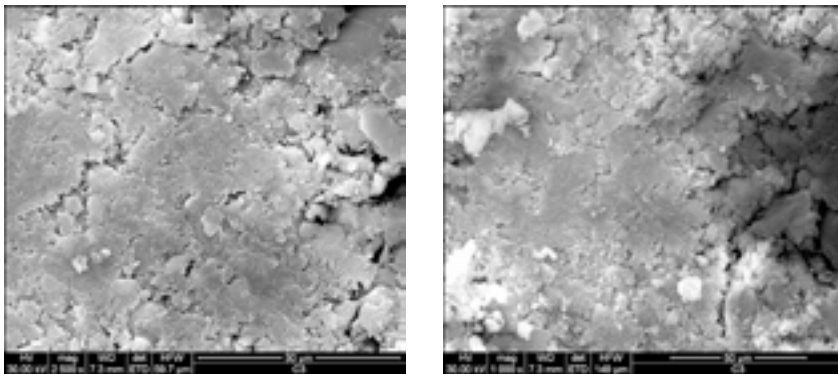
dispersione, i nanocomposti possiedono proprietà uniche, non condivise dai convenzionali composti o microcompositi.



Figg. 51, 52 – Osservazione al SEM del campione C3: a 100.000x (sinistra) e a 50.000x (destra).

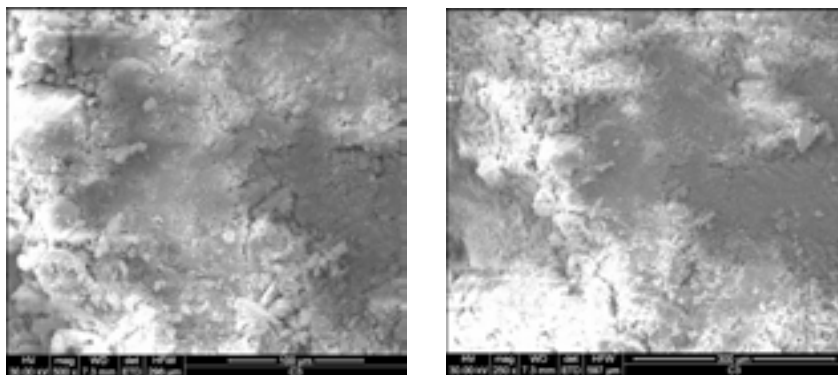


Figg. 53, 54 – Osservazione al SEM del campione C3: a 25.000x (sinistra) e a 5.000x (destra).



Figg. 55, 56 – Osservazione al SEM del campione C3: a 2.500x (sinistra) e a 1.000x (destra).

Il rinforzo nanostrutturato utilizzato, proposto dalla UR/2, è la *laponite*: si tratta di nanodischi di argilla che presentano lo spessore di 1nm e il diametro di 25 nm. La scelta di utilizzare materiale nanostrutturato deriva dalla enorme pos-



Figg. 57, 58 – Osservazione al SEM del campione C3: a 500x (sinistra) e a 250x (destra).

sibilità che la nanotecnologia rappresenta in ambito edilizio. Essa ha già portato sul mercato le finestre autopulenti, il cemento mangia-smog, i nano-sensori<sup>2</sup>. Ma cosa s'intende per *nanotecnologia*? Non esiste una definizione unanimemente riconosciuta, ma in base al *National Science and Technology Council*, essa può essere definita come la progettazione, la caratterizzazione, la produzione e l'applicazione di strutture, dispositivi e sistemi controllati alla scala nanometrica<sup>3</sup>. I nanomateriali vengono comunemente classificati in base alle loro dimensioni, per cui abbiamo (Fig. 59):

- *i materiali zero-dimensionali*, che presentano tutte e tre le dimensioni alla nanoscala, cioè le nanoparticelle;
- *i materiali mono-dimensionali*, che presentano due dimensioni alla nanoscala, come i nanowires, i nanorods e i nanotubi;
- *i materiali bi-dimensionali*, che presentano una sola dimensione alla nanoscala, cioè i nanocoatings e i nanofilms;
- *i materiali tri-dimensionali*, che non presentano nessuna dimensione alla nanoscala, come i materiali nanoscristallini e i nano compositi.

Prima del loro utilizzo, i nanodischi di argilla sono stati osservati allo *Scanning Electron Microscope (SEM)*, come è visibile nelle *Figure 60-71*.

Il problema principale che si è presentato nella preparazione di questi provini è stata la determinazione della percentuale di nanodischi di argilla da inserire nel composto. A questo proposito sono stati prodotti due tipi di provini: il primo, costituito da argilla, acqua e l'8% di nanodischi di argilla; il secondo costituito da argilla, acqua e il 5% di nanodischi di argilla. I provini realizzati con l'8% di nanodischi, durante la fase di essiccazione, presentavano diverse crepe, arrivando addirittura a spaccarsi (*Figg. 72-73*); questo perché i nanodischi assorbivano molta acqua e non permettevano la corretta essicca-



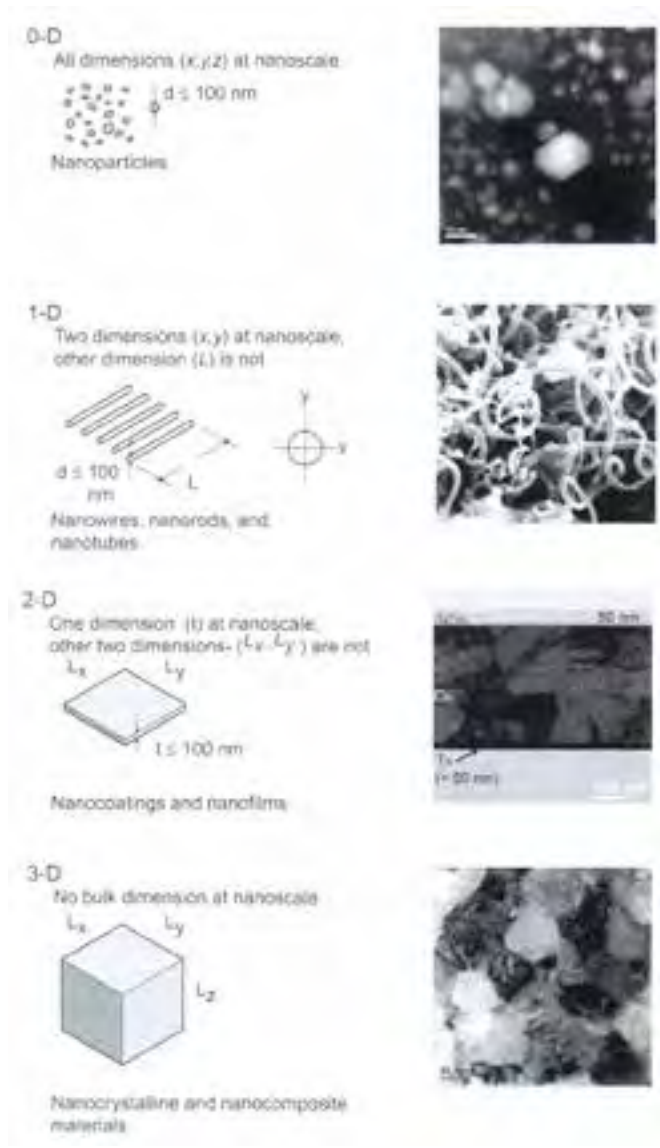


Fig. 59 – La classificazione dei nanomateriali in base alle dimensioni: zero-dimensionali, mono-dimensionali, bi-dimensionali e tri-dimensionali (F. Ashby, P.J. Ferrerira, D. L. Schodek, 2010).

zione del provino. Di contro, i provini realizzati con il 5% di nanodischi non hanno presentato crepe; pertanto è stato stabilito che la percentuale di nanodischi di argilla da utilizzare sarebbe stata del 5%. In seguito sono stati realizzati i provini con le stesse modalità adottate per quelli senza nanodischi, realizzando quindi le tre tipologie previste: *argilla, acqua e 5% di nanodischi di*

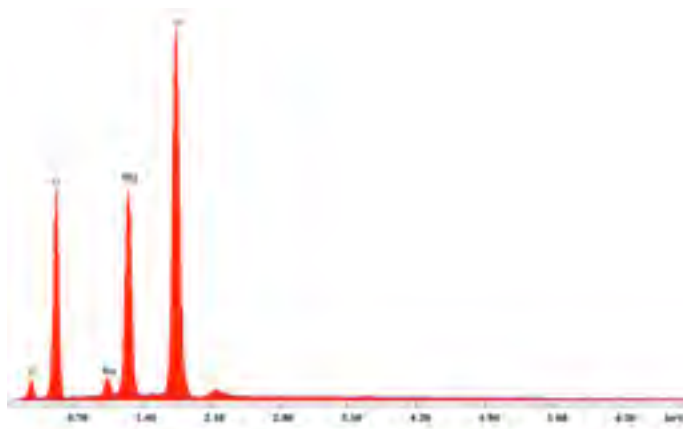


Fig. 60 – Il grafico degli elementi chimici della laponite dall'osservazione al SEM a 100.000x.

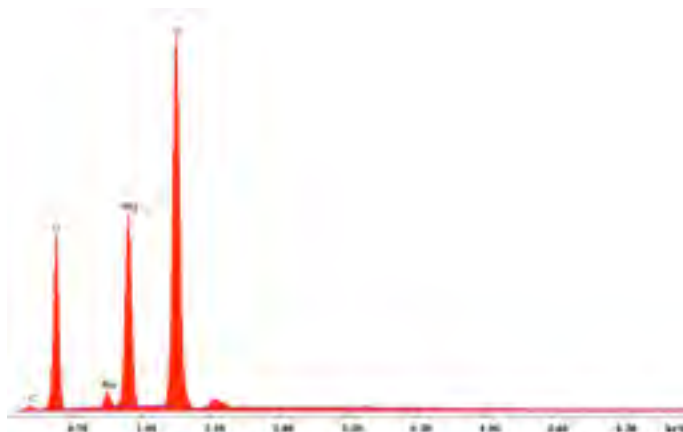
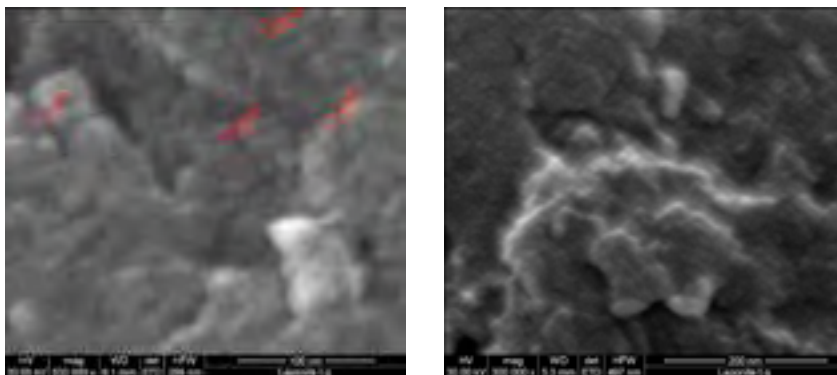


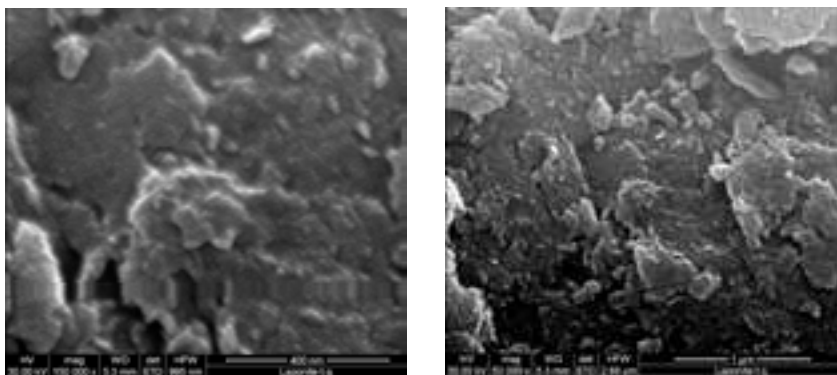
Fig. 61 – Il grafico degli elementi chimici della laponite dall'osservazione al SEM a 10.000x.

argilla; argilla, acqua, sabbia e 5% di nanodischi di argilla; argilla, acqua, sabbia, paglia e 5% di nanodischi di argilla (Figg. 74-76).

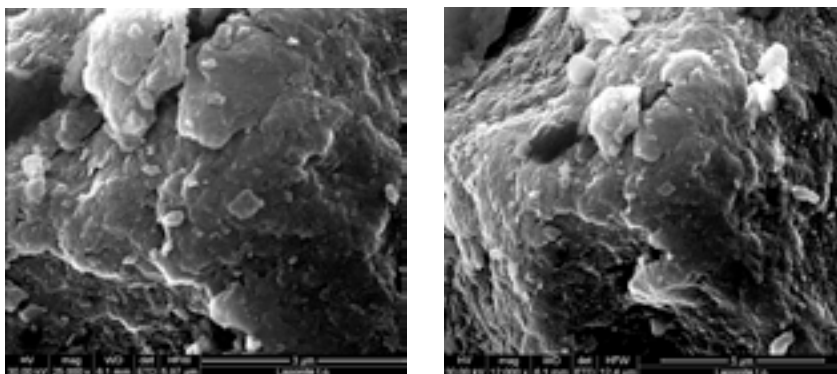
Le dimensioni dei provini sono le stesse dei provini descritti in precedenza: mm 120x120x60 per la realizzazione delle prove di abrasione; mm 40x40x160 per la realizzazione delle prove di flessione; mm 50x50x50 per la realizzazione delle prove di compressione. I tre tipi di provini realizzati con nanodischi di argilla sono stati osservati al SEM (Figg. 77-106): sono stati denominati C4 (argilla, acqua e nanodischi), C5 (argilla, acqua, sabbia e nanodischi) e C6 (argilla, acqua, sabbia, paglia e nanodischi). Così come per i campioni C1, C2 e C3, di ognuno dei tre campioni è stata verificata la presenza degli elementi chimici e la loro percentuale con l'uso di grafici, che mostrano le percentuali dei diversi elementi, grazie a ingrandimenti di 100.000x e di 10.000x; inoltre è stato possibile osservare i vari tipi di campioni con ingrandimenti che vanno da 400.000x a 500x, cosa che ha permesso di verificare la distribuzione uniforme degli elementi che compongono i campioni.



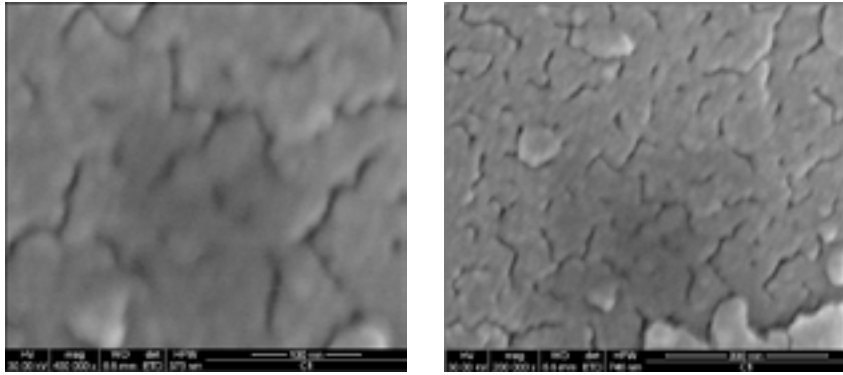
Figg. 62, 63 – Osservazione al SEM della laponite: a 500.000x (sinistra) e a 300.000x (destra).



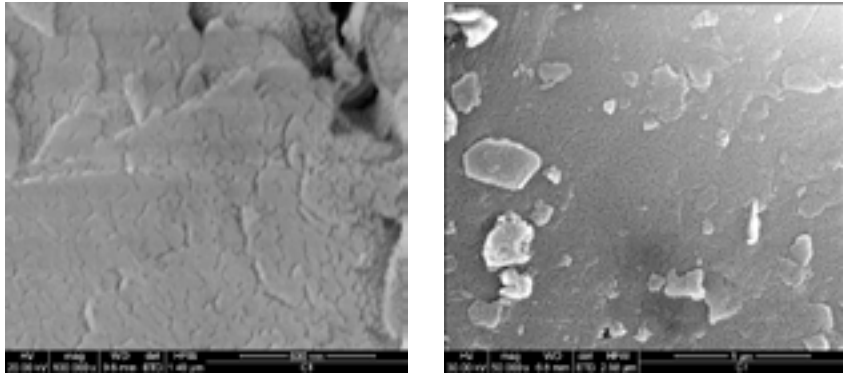
Figg. 64, 65 – Osservazione al SEM della laponite: a 150.000x (sinistra) e a 50.000x (destra).



Figg. 66, 67 – Osservazione al SEM della laponite: a 25.000x (sinistra) e a 12.000x (destra).



*Figg. 68, 69 – Osservazione al SEM della laponite: a 10.000x (sinistra) e a 2.500x (destra).*



*Figg. 70, 71 – Osservazione al SEM della laponite: a 1.000x (sinistra) e a 500x (destra).*



*Figg. 72, 73 – Campioni realizzati con l'8% di nanodischi di argilla.*



Figg. 74, 76 – Campioni realizzati con il 5% di nanodischi di argilla.

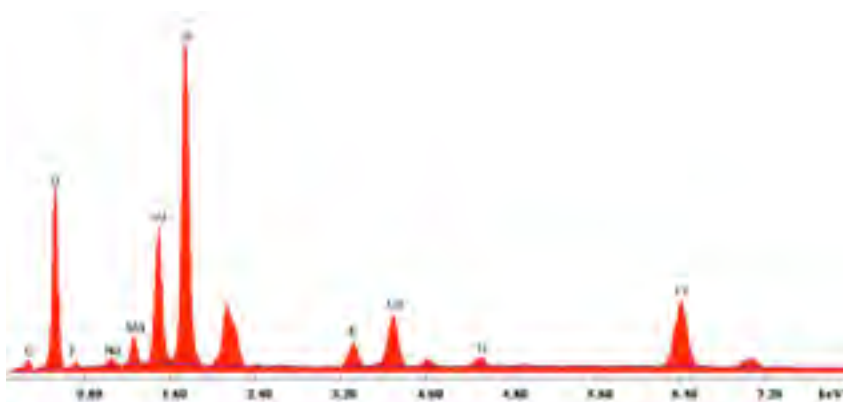


Fig. 77 – Il grafico degli elementi chimici nel campione C4 dall'osservazione al SEM a 100.000x.

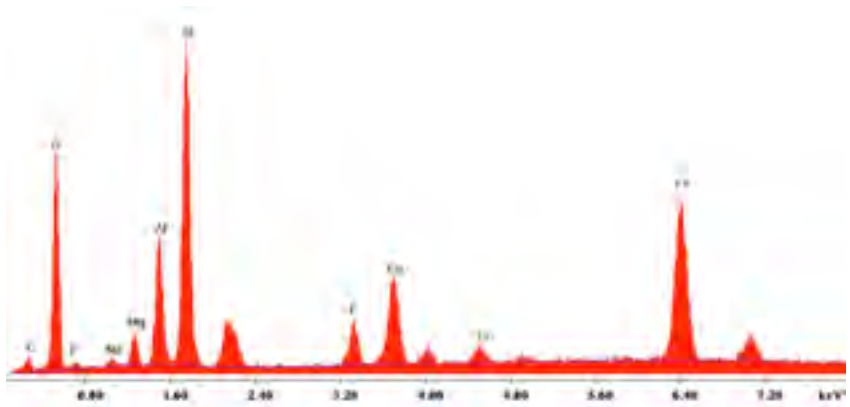
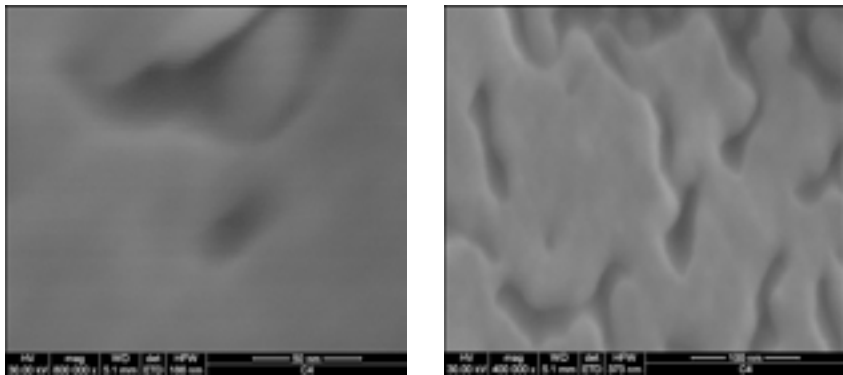
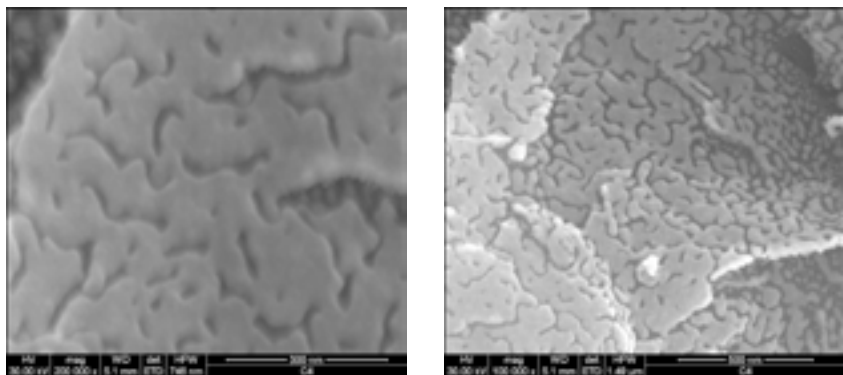


Fig. 78 – Il grafico degli elementi chimici nel campione C4 dall'osservazione al SEM a 10.000x.

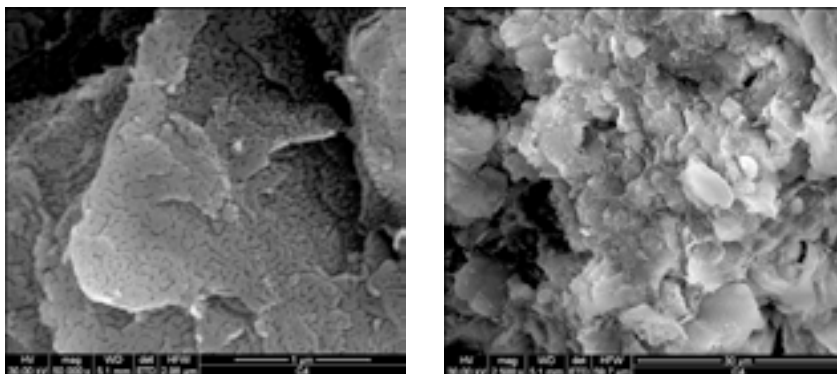


Figg. 79, 80 – Osservazione al SEM del campione C4: a 800.000x (sinistra) e a 400.000x (destra).

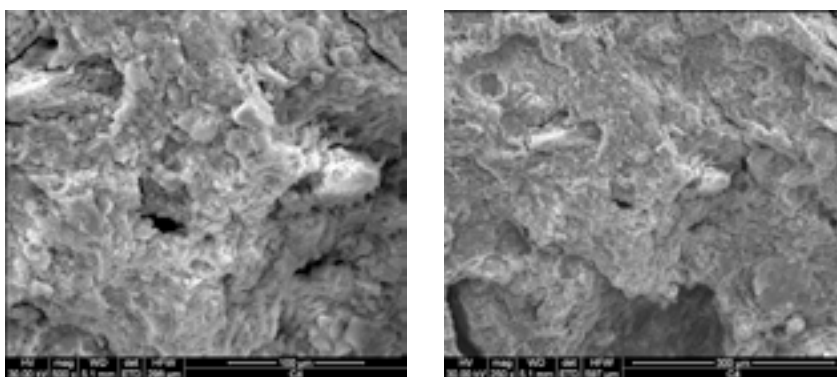


Figg. 81, 82 – Osservazione al SEM del campione C4: a 200.000x (sinistra) e a 100.000x (destra).





Figg. 83, 84 – Osservazione al SEM del campione C4: a 50.000x (sinistra) e a 2.500x (destra).



Figg. 85, 86 – Osservazione al SEM del campione C4: a 500x (sinistra) e a 250x (destra).

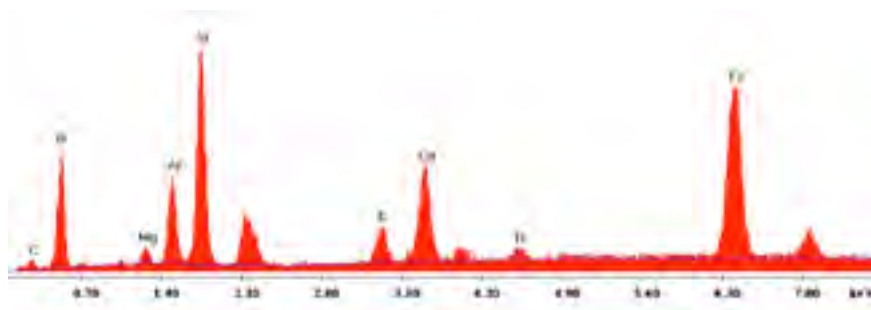


Fig. 87 – Il grafico degli elementi chimici nel campione C5 dall'osservazione al SEM a 100.000x.



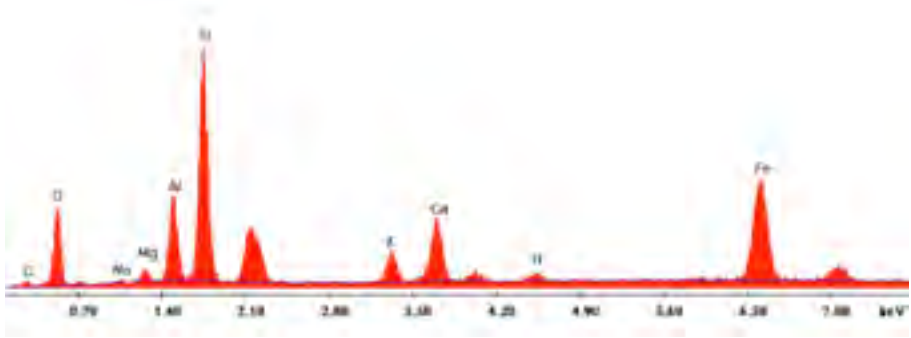
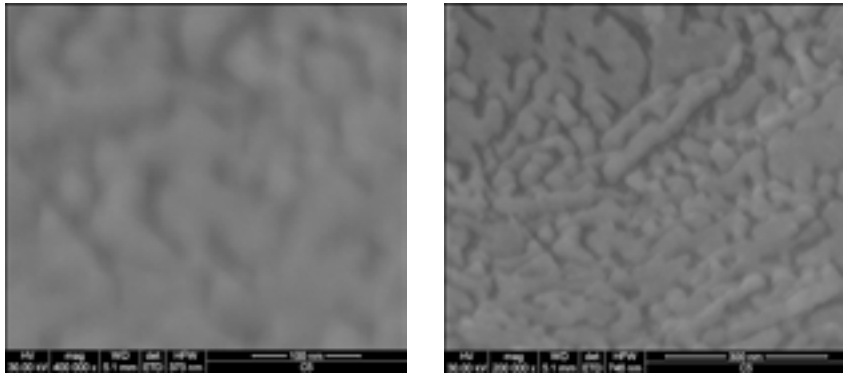
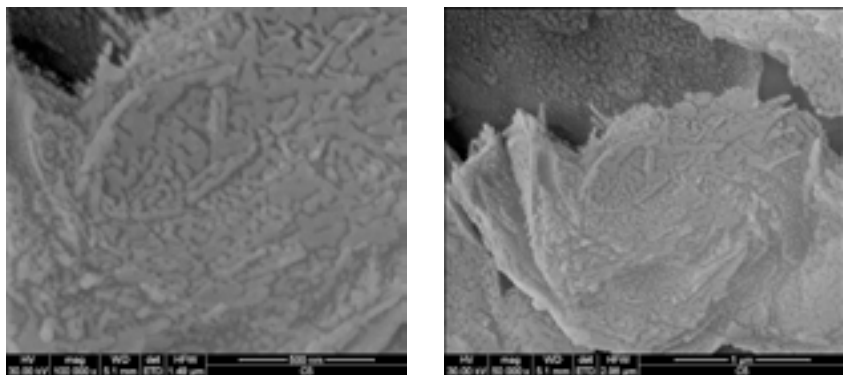


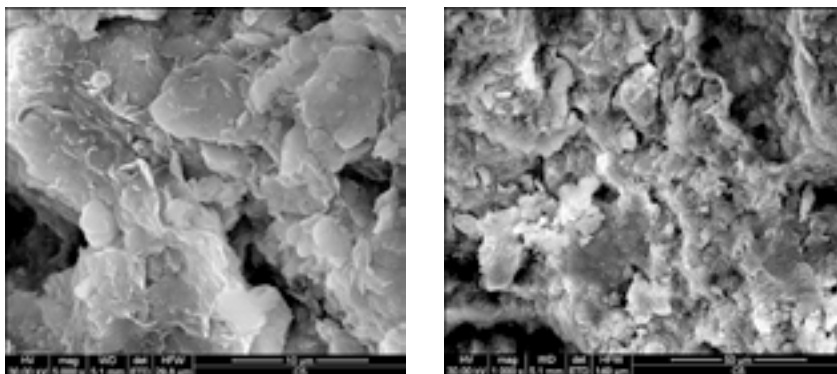
Fig. 88 – Il grafico degli elementi chimici nel campione C5 dall'osservazione al SEM a 10.000x.



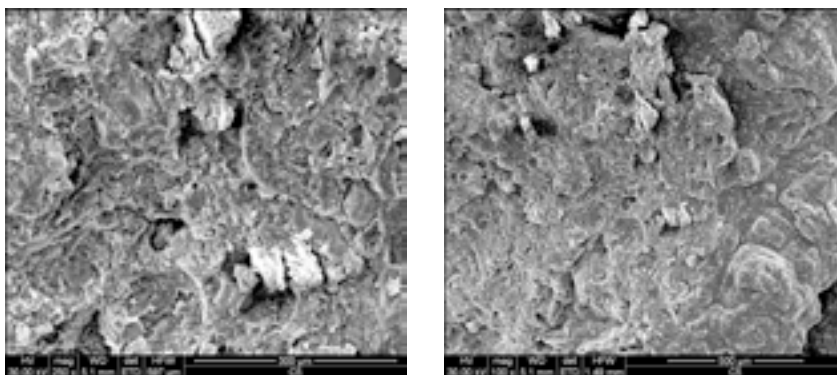
Figg. 89, 90 – Osservazione al SEM del campione C5: a 400.000x (sinistra) e a 200.000x (destra).



Figg. 91, 92 – Osservazione al SEM del campione C5: a 100.000x (sinistra) e a 50.000x (destra).



Figg. 93, 94 – Osservazione al SEM del campione C5: a 5.000x (sinistra) e a 1.000x (destra).



Figg. 95, 96 – Osservazione al SEM del campione C5: a 250x (sinistra) e a 100x (destra).

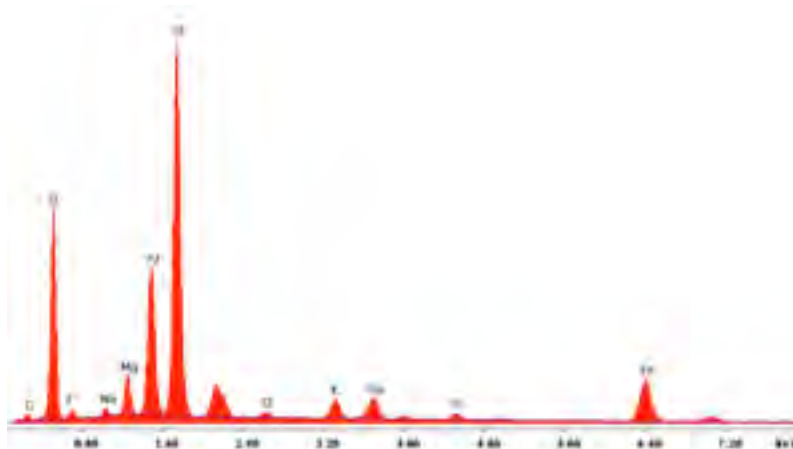


Fig. 97 – Il grafico degli elementi nel campione C6 dall'osservazione al SEM a 100.000x.

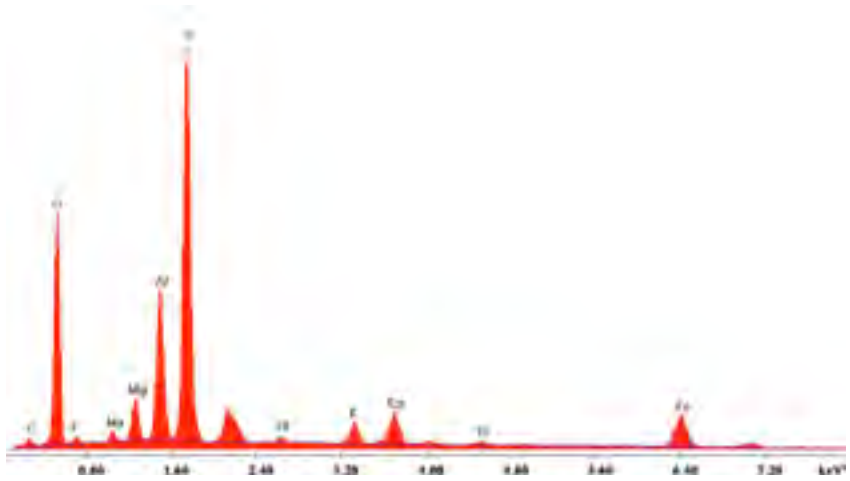
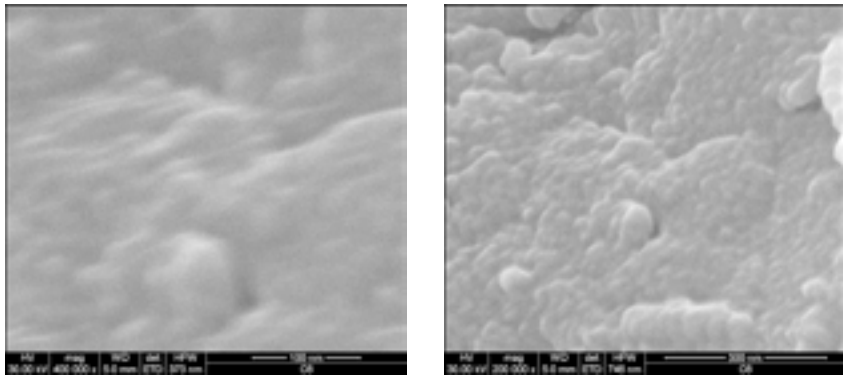
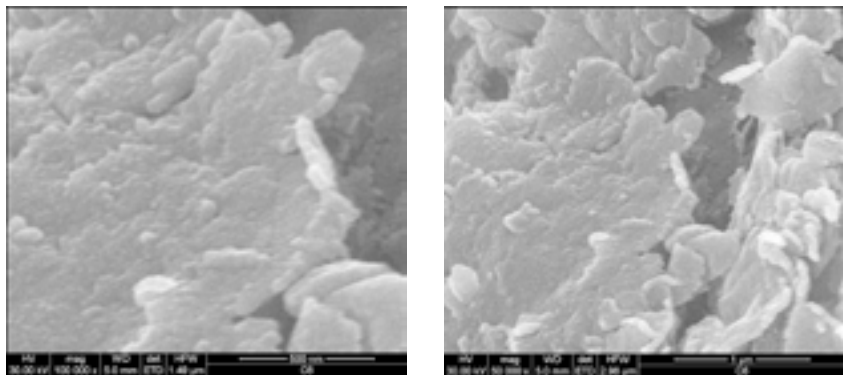


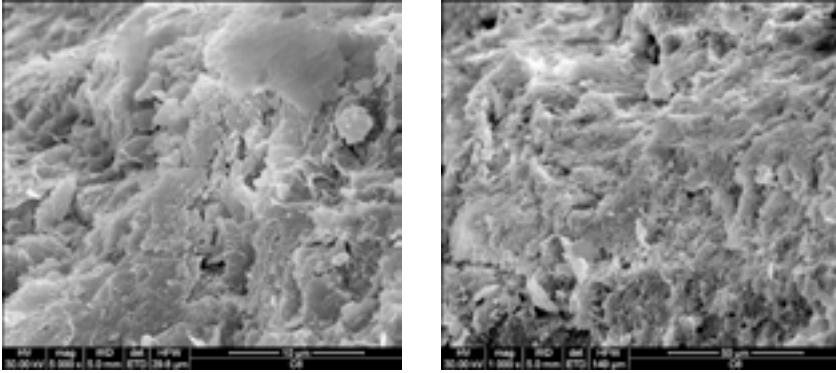
Fig. 98 – Il grafico degli elementi nel campione C6 dall'osservazione al SEM a 10.000x.



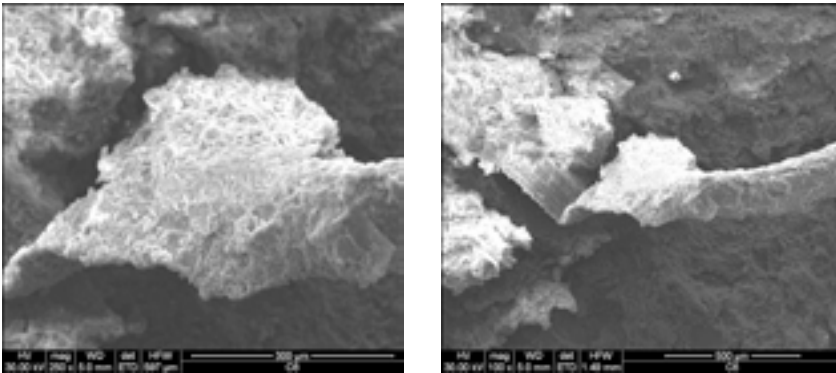
Figg. 99, 100 – Osservazione al SEM del campione C6: a 400.000x (sinistra) e a 200.000x (destra).



Figg. 101, 102 – Osservazione al SEM del campione C6: a 100.000x (sinistra) e a 50.000x (destra).



Figg. 103, 104 – Osservazione al SEM del campione C6: a 5.000x (sinistra) e a 1.000x (destra).



Figg. 105, 106 – Osservazione al SEM del campione C6: a 250x (sinistra) e a 100x (destra).

#### NOTE

<sup>1</sup> I provini sono stati realizzati dall'architetto Francesca Scalisi in collaborazione con la Guglielmino Group.

<sup>2</sup> Il termine *nanotecnologia* è stato impiegato per la prima volta nel 1974 da Norio Taniguchi, ricercatore dell'Università di Tokio, in riferimento all'abilità di manipolare la materia a livello nanometrico. Ma colui che viene riconosciuto unanimemente come il padre della nanotecnologia è il premio Nobel per la fisica Richard Feynman: in un famoso seminario tenuto al California Institute of Technology, nel dicembre 1959, dal titolo *There's plenty of room at the bottom*, ovvero c'è molto spazio in fondo, egli parlò della possibilità fisica di manipolare la materia su scala atomica e molecolare e delle immense potenzialità offerte, anche se ciò è legato allo sviluppo di strumenti adeguati. L'esistenza di materiali a scala nanometrica è nota fin dall'antichità. Infatti, nella Coppa di Licurgo, risalente al sec. IV a. C. e conservata al British Museum di Londra, sono presenti nanoparticelle d'oro e d'argento. La Coppa è realizzata con un vetro dicroico, in grado, cioè, di cambiare il suo colore al variare delle modalità di illuminazione.

Nel medioevo i maestri vetrai ottenevano le splendide vetrate colorate delle chiese disperdendo nel vetro piccole quantità di oro; così come la leggendaria resistenza delle spade di Damasco, risalenti al sec. XVII, è stata spiegata con la presenza di nanotubi di carbonio, grazie all'osserva-

zione con il microscopio elettronico. Anche in alcuni dipinti risalenti all'epoca dei Maya sono state scoperte presenze di nanoparticelle. Infatti sembra che l'intenso blu presente in alcuni dipinti di Cacaxtla, in Messico, sia dovuto a nano particelle di metallo sulla superficie. D'altronde, le nanoparticelle sono un fenomeno naturale e quindi non sorprende che le loro proprietà sono state usate nel corso della storia. Attraverso la nanoscienza e la biologia molecolare stiamo imparando di più sui sistemi naturali, sugli organismi e sul comportamento dei materiali, e la nanotecnologia e la biotecnologia ci danno gli strumenti non solo per intervenire in tali sistemi, ma per crearne di nuovi. Studiando, ad esempio, la composizione molecolare della foglia di loto, gli scienziati sono riusciti a creare una nuova generazione di materiali idrorepellenti.

La natura offre infinite lezioni che potrebbero essere applicate in futuri prodotti, processi e materiali. Esaminando la struttura alla nanoscala dei piedi del gecko, per esempio, gli scienziati hanno creato materiali con proprietà adesive straordinarie, così come le falene sono prese come esempio per creare materiali anti-riflesso. Tutte queste lezioni offerte dalla natura ci aiuteranno a creare sistemi, materiali e dispositivi più efficienti rispetto a quelli disponibili oggi.

<sup>3</sup> La definizione è del *National Science and Technology Council, Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology*, p. 5.

#### BIBLIOGRAFIA

- ACHENZA M., SANNA U., curs., *Il manuale tematico della terra cruda*, DEI – Tipografia del Genio Civile, 2006.
- MECCA S., BRICCOLI BATTI S., FORLANI M.C., GERMANÀ M.L., curs., *Earth/Lands*, Edizioni ETS, Pisa 2011.
- SCALISI F., *Nanotecnologie in edilizia. Innovazione tecnologia e nuovi materiali per le costruzioni*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN) 2010.
- SCUDO G., NARICI B., TALAMO C., *Costruire con la terra*, Sistemi Editoriali, Napoli 2001.
- SPOSITO A., cur., *Nanotech for Architecture. Innovative technologies, techniques and nanostructured materials*, Atti del I Convegno Internazionale, Palermo, 26-28 Marzo 2009, Luciano Editore, Napoli 2009.
- SPOSITO A., cur., *Nanotecnologie & Nanomateriali per l'Architettura*, Luciano Editore, Napoli 2009.