UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
LAUREA MAGISTRALE A CICLO UNICO

in Ingegneria Edile-Architettura

DURABILITÀ DEGLI INTONACI TERMICI: STUDIO SPERIMENTALE SULL'INVECCHIAMENTO MEDIANTE NEBBIA SALINA

DURABILITY OF THERMAL PLASTERS: EXPERIMENTAL STUDY ON AGING BY SALT MIST

Relatrice:
Prof.ssa Francesca Stazi

Laureando:
Giorgia Cimarosti

Correlatori:
Prof.ssa Francesca Tittarelli

Prof. Costanzo Di Perna

Anno Accademico 2019/2020

a Marco, Mariateresa, Giulia,

Riccardo, Anna Maria

e Cristian

INDICE

ABSTRACT **1**
1. INTRODUZIONE **3**
1.1 MOTIVAZIONE DELLA TESI 3
1.2 STATO DELL'ARTE 4
1.2.1 Termointonaci 4
1.2.2 Invecchiamento artificiale 6
1.3 OBIETTIVO DELLA TESI 8
2 FASI DELLA SPERIMENTAZIONE **10**
3 MATERIALI **13**
3.1 TERMOINTONACO 13
3.2 PROVINI 16
3.2.1 Provini prismatici 16
3.2.2 Provini "termici" 19
3.2.3 Provini a disco piatto 21
4 ARTICOLAZIONE **24**
4.1 VALUTAZIONE DEI PARAMETRI DEGLI INTONACI 24
4.1.1 Analisi per la caratterizzazione delle malte mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) e analisi spettroscopia EDX 24
4.1.2 Analisi della distribuzione dei pori attraverso il MIP 29
4.1.3 Determinazione della massa volumica apparente della malta indurita 32
4.1.4 Determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità della malta indurita 34
4.1.5 Determinazione della permeabilità al vapore d'acqua della malta da intonaco 38
4.1.6 Determinazione della conducibilità termica con il metodo del termoflussimetro 44
5 INVECCHIAMENTO ARTIFICIALE **49**
5.1 CAMERA NEBBIA SALINA 50
5.1.1 Strumenti e materiali utilizzati 50
5.1.2 Principio di realizzazione della camera salina 53
5.1.3 Costruzione della camera 55
5.2 PROCEDIMENTO DELLA PROVA: cicli di invecchiamento 62

5.3 PROVINI 63
6 RISULTATI TEMPO T=0 66
6.1 Analisi per la caratterizzazione delle malte mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) e analisi spettroscopia EDX 66
6.2 Analisi della distribuzione dei pori attraverso il MIP 73
6.3 Determinazione della massa volumica apparente della malta indurita 78
6.4 Determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità della malta indurita 82
6.5 Determinazione della permeabilità al vapore d'acqua della malta da intonaco87
6.6 Determinazione della conducibilità termica con il metodo del termoflussimetro 89
7 RISULTATI POST INVECCHIAMENTO – Aged 92
7.1 Analisi per la caratterizzazione delle malte mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) e analisi spettroscopia EDX 93
7.2 Analisi della distribuzione dei pori attraverso il MIP 99
7.3 Determinazione della massa volumica apparente della malta indurita 103
7.4 Determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità della malta indurita 106
7.5 Determinazione della permeabilità al vapore d'acqua della malta da intonaco 111
7.6 Determinazione della conducibilità termica con il metodo del termoflussimetro 113
8 DISCUSSIONE 115
9 CONCLUSIONI 134
10 BIBLIOGRAFIA 136
11 ALLEGATI 142

ABSTRACT

L'oggetto della tesi è lo studio del comportamento termoigrometrico di intonaci sottoposti all'invecchiamento artificiale mediante l'esposizione di un ambiente salino, tipico delle zone costiere.

Si valuta la durabilità di tre miscele distinte di intonaci innovativi con funzione isolante costituiti da un impasto composto da legante idraulico più una componente coibente (microsfere di EPS, sughero) applicabili su edifici esistenti e non, interno o esterno al fine di ottimizzare la coibentazione e fornire un miglior comfort agendo contemporaneamente su più livelli quali il benessere termico e igrometrico. Si effettua lo stesso processo di caratterizzazione anche per un intonaco avente sia caratteristiche termiche sia proprietà deumidificanti.

L'attività sperimentale per la valutazione delle caratteristiche e della durabilità delle miscele in esame, si è svolta principalmente in 4 fasi distinte: caratterizzazione a T=0 (28 giorni), invecchiamento artificiale a seguito dell'esposizione all'attacco da nebbia salina, caratterizzazione a seguito dell'invecchiamento ed infine la valutazione della durabilità degli intonaci termici.

Sono state effettuate tre tipologie di caratterizzazione (chimica, morfologica e fisica) pre e post invecchiamento artificiale per la corretta definizione del comportamento termoigrometrico degli intonaci. La caratterizzazione chimica è avvenuta per mezzo della spettroscopia EDX. La caratterizzazione morfologica è ottenuta attraverso il microscopio elettronico a scansione (SEM) ed infine quella fisica attraverso varie prove: l' analisi della distribuzione dei pori attraverso la porosimetria ad intrusione di mercurio, la determinazione della massa volumica apparente [1] e del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità [2] della malta indurita, la determinazione della permeabilità al vapore d'acqua [3] e della conducibilità termica.[4].

I risultati a seguito dell'invecchiamento artificiale, mostrano che i campioni con microsfere di EPS non hanno subito sostanziali variazioni delle caratteristiche termoigromentriche e quindi possiamo affermare che sono materiali idonei per l'esposizione di ambienti salini. Invece i campioni a base di NHL con aggregati di sughero

hanno mostrato un'alterazione delle proprietà fisiche che ha comportato un aumento delle macroporosità con conseguente incremento del coefficiente di assorbimento e della permeabilità al vapore.

In conclusione, il campione *LIME-CEM-EPS* è l'intonaco termico più durabile dinanzi dall'esposizione dell'attacco da nebbia salina in quanto le sue caratteristiche termoigrometriche non hanno subito variazioni rispetto al tempo denominato T=0 e in relazione agli altri campioni analizzati

Matrice, aggregati e igroscopicità giocano un ruolo fondamentale per definire la durabilità degli intonaci termici esposti all'attacco da nebbia salina.

1. INTRODUZIONE

1.1 MOTIVAZIONE DELLA TESI

I temi del risparmio energetico e della salvaguarda del patrimonio esistente, risultano essere aspetti assai cari al giorno d'oggi in quanto è di fondamentale importanza sviluppare una strategia al fine di abbattere i consumi energetici in edilizia [5]. Lo sviluppo di intonaci termici è una tendenza recente nel mercato, che mira ad abbassare il valore U dell'involucro con una maggiore resistenza termica dei suoi componenti attraverso un intervento poco invasivo.

Diversi studi scientifici si sono orientati verso l'analisi di intonaci termici per porre una soluzione al problema del miglioramento dell'efficienza energetica, valutando anche le prestazioni delle malte a seguito di un invecchiamento artificiale considerandone così la durabilità. Grazie alla versatilità e alla facilità di applicazione, l'intonaco termico sembra essere una soluzione interessante in grado di offrire una risposta alle problematiche tecniche, geometriche e architettoniche degli edifici. Inoltre, possono essere applicati per risolvere i ponti termici caratterizzati come una discontinuità costruttiva in cui il flusso termico trasmesso è superiore rispetto ai componenti adiacenti (punti di giunzione tra elementi diversi).

Tuttavia, risulta essere ancora un campo giovane e in quanto tale necessita studi che possano valutarne efficacemente le diverse potenzialità e durabilità.

Per seguire la linea di ricerca e sviluppo di questi prodotti, si è deciso di effettuare uno studio sulla caratterizzazione di miscele di intonaci termoisolanti a base di calce e cemento i quali risultano da uno studio preliminare, essere i più disponibili in commercio e tra i più prestanti. È stata posta l'attenzione sui parametri che delineano le caratteristiche e le potenzialità termo fisiche dei prodotti, analizzando anche la loro durabilità mediante cicli di invecchiamento artificiale a base di nebbia salina in conformità alla UNI EN 14147:2005 [6]. La scelta della nebbia salina a base di NaCl risiede nell'effetto del cloruro di sodio sui prodotti edili e la scelta della normativa sulle pietre naturali enfatizza l'aspetto di aggressività del metodo che punta a sollecitare maggiormente gli intonaci studiati.

1.2 STATO DELL'ARTE

1.2.1 Termointonaci

L'intonaco è utilizzato da migliaia di anni come elemento costruttivo negli edifici, soprattutto in Europa. La versatilità di questo materiale ne consente l'utilizzo sia all'interno che all'esterno, con la possibilità di applicazione su diversi supporti, costruzioni e composizioni. L'intonaco termoisolante rappresenta una delle possibili soluzioni che possono essere adottate per affrontare problematiche energetiche in edifici esistenti, storici e nuovi. [7] [8]

Un intonaco per poter essere idoneo per l'isolamento termico, deve soddisfare determinati requisiti e la normativa UNI EN 998-1 [9] ne predispone le caratteristiche.

Tabella 1 Rielaborazione normativa UNI EN 988-1

Proprietà	Intervalli richiesti
Resistenza a compressione	Da CSI a CSII
Assorbimento d'acqua per capillarità	Wc1
Coefficiente di permeabilità al vapore acqueo μ	≤15
Conducibilità termica	T1:≤ 0,10 T2: ≤0,20

Gli aggregati che compongono le miscele devono avere una bassa conduttività e da una bassa densità. Per questo motivo sono denominati *Light Weight Aggregate* e possono essere di diversa natura. Ad esempio, può essere effettuata la seguente classificazione in base all'origine dell'aggregato:

- Minerale: perlite, argilla espansa, pomice etc.
- Vegetale: sughero, legno, canapa etc.
- Artificiale: polistirene, gomma etc.

È lavoro di una tesi lo studio sulla commercializzazione dei termointonaci [10] [11] . Il successivo grafico rielaborato riporta il trend di termointonaci presenti sul mercanto ed effettua una previsione di crescita dei prodotti nei prossimi anni. Gli intonaci con aggregati artificiali (EPS) e vegetali (sughero) sono i prodotti più disponibili sul mercato

in quanto risultano essere materiali economici e facilmente reperibili anche in forma riciclata.

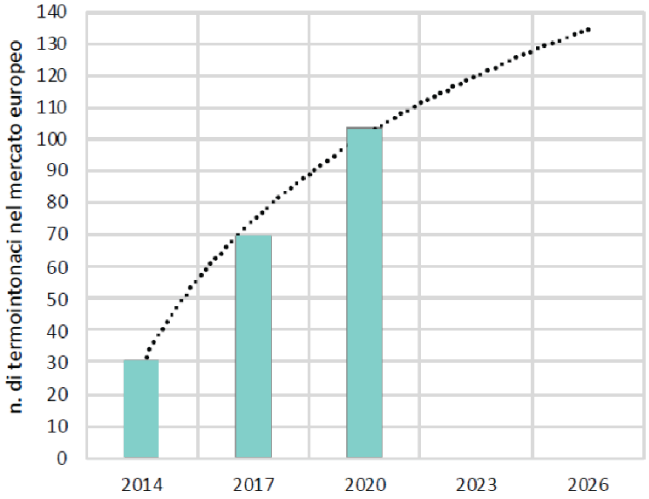


Figura 1: Rielaborazione grafica del'iIpotesi del trend della presenza dei termointonaci nel mercato [10]

Le principali miscele studiate per la formazione di intonaci in cui si è posta principalmente l'attenzione all'analisi dell'aspetto termoisolante, sono composte da matrici a base di calce/cemento o gesso con l'aggiunta di inerti leggeri (LWA) quali ad esempio microsfere di EPS [12] [13], sughero [14] e altri materiali anche di recupero [15] facendo tutte riferimento alla UNI EN 998-1 [9].

Esistono quindi, intonaci termoisolanti ottenuti mixando la matrice con materiali inerti leggeri ottenendo così una bassa conduttività termica, che è 2,5 / 3 volte inferiore rispetto all'intonaco convenzionale, portando ad una significativa riduzione dell'energia che attraversa il muro (circa 20-40%). Il buon comportamento termoigrometrico e la sua bassissima energia incorporata lo rendono una soluzione alternativa per il retrofit di edifici esistenti [7], essendo così un opzione per la ristrutturazione di manufatti.

L'applicazione di questo prodotto innovativo risulta essere idoneo sia per l'esterno che per l'interno. In riferimento all'isolamento esterno, tale applicazione può aumentare il comfort termico degli edifici e ridurre il loro rischio di danneggiamento ma si deve tenere presente che gli strati isolanti hanno un forte effetto tampone nei confronti

dell'assorbimento d'acqua, che può modificare il comportamento termoigrmetrico della muratura. [16]

Per quanto riguarda altre importanti proprietà funzionali degli intonaci, come la permeabilità al vapore acqueo e l'assorbimento capillare dell'acqua, che giocano un ruolo chiave nell'assicurare il comfort indoor (riducendo umidità), si pone l'attenzione alla presenza di macropori, che sono in grado di ridurre sia la resistenza al passaggio del vapore che la risalita dell'umidità. [12]

Per effettuare la caratterizzazione, diversi studi hanno analizzato la densità, il coefficiente di assorbimento d'acqua, la conducibilità termica, la permeabilità al vapore, lo studio per mezzo della microscopia elettronica a scansione e il MIP [12] [13] [15] in riferimento anche a vari processi di invecchiamento artificiale accelerato.

1.2.2 Invecchiamento artificiale

Al fine di valutare la durabilità dei prodotti, vengono eseguiti test di invecchiamento artificiale accelerato che alterano notevolmente il campione in esame attraverso di vari cicli di stress termico e fisico in cui vi è la possibilità di controllare le condizioni al contorno. Questo processo simulato serve a ridurre i tempi di attesa e di individuazione delle possibili cause di degrado potendo effettuare considerazioni a diversi step di avanzamento. Esistono diverse modalità per poter ottenere un invecchiamento artificiale:

- Invecchiamenti composti da due fasi principali ad esempio gelo-disgelo o secco-umido [14] [17] [18];
- Invecchiamenti composti da molteplici cicli collegati [19] [20].

Molteplici studi nominano il cloruro di sodio e in particolare l'aerosol marino come principale agente del degrado delle strutture anche a causa del processo di cristallizzazione. Quando si verificano in un materiale da costruzione, la dimensione dei pori, la capacità di assorbimento dell'acqua, la resistenza meccanica e la distribuzione della dimensione dei pori del materiale svolgono il loro ruolo anche nel decadimento indotto dal sale [21][22][23].

È stato dimostrato che la durabilità degli intonaci dipende in misura maggiore dalla distribuzione delle dimensioni dei pori [24] [25].

I principali fattori che riducono la durabilità delle pareti sono l'impatto simultaneo di soluzioni saline e umidità. Secondo Schaffer [26] , maggiori danni dovuti alla cristallizzazione si verificano in materiali con una struttura ben sviluppata di micropori per i quali i pori sono inferiori a 2 nm, rispetto ai materiali con pori di dimensioni maggiori. Secondo Rembiś [27] , i materiali con un'ampia gamma di dimensioni dei pori erano molto più resistenti di quelli con una gamma ristretta di pori di piccolo diametro [24].

1.3 OBIETTIVO DELLA TESI

L'obiettivo della tesi è indirizzato allo studio del comportamento di intonaci termici sottoposti ad un invecchiamento artificiale ponendo l'interesse verso le caratteristiche termoigrometriche delle miscele. La valutazione della durabilità e il possibile decadimento delle proprietà fisiche e termiche risulta essere un aspetto assai interessante per poter valutare la corretta applicabilità dei prodotti in situ. Essendo una nuova frontiera dell'isolamento termico, la sua caratterizzazione termoigrometrica nel tempo permette di valutarne efficacemente la sua economicità ed il suo effettivo contributo al miglioramento del comfort termico dell'ambiente in cui verrà applicato.

Per raggiungere tale obiettivo sono stati analizzati intonaci a base di calce e di cemento migliorati con l'aggiunta di materiale coibente ovvero mixando le rispettive miscele con microsfere di EPS e altre con sughero. Sono avvenute due tipi di caratterizzazioni: una a tempo T=0 e una a seguito dell'invecchiamento artificiale. La prima fase è avvenuta successivamente alla stagionatura a 28 giorni seguendo le prescrizioni di maturazione di ogni specifico provino. La seconda caratterizzazione è avvenuta successivamente a 60 cicli di invecchiamento mediante la nebbia salina sempre facendo riferimento alle stesse tipologie di provini a tempo T=0.

La scelta delle prove per la caratterizzazione si è basata sullo studio dei principali punti forza che definiscono le proprietà termoigrometriche delle miscele [16] escludendo le prove di tipo meccaniche in quando in fase di valutazione preliminare, non sono risultate fondamentali per il raggiungimento dell'obiettivo preposto.

L'invecchiamento artificiale accelerato risulta essere una strategia molto utilizzata in letteratura [17], al fine di ridurre notevolmente i tempi di attesa del processo di decadimento di un prodotto sotto l'effetto di determinate condizioni al contorno controllabili. Si possono utilizzare diversi cicli di invecchiamento [28] che simulano impatti diversi sulle miscele analizzate e in questo studio, si è valutato di utilizzare un invecchiamento artificiale seguendo la UNI EN 14147:2005 [6].

La norma UNI EN 14147 pone l'attenzione sull'invecchiamento artificiale mediante nebbia salina e la scelta di questa procedura mostra l'interesse sulla ricerca di una

tipologia di aging aggressivo caratterizzato dalla presenza di NaCl in quanto la cristallizzazione del sale provoca crepe, efflorescenze, aumento della igroscopicità, e diminuzione complessiva della funzionalità e della durabilità delle malte da muratura e da rivestimento [29][30]. In particolare, si pone l'attenzione sulla valutazione dell'effetto della presenza di cloruri sulle proprietà termiche, fisiche e chimiche di tipologie di malte destinate all'isolamento termico.

La ricerca, dunque, si pone l'obiettivo di valutare le caratteristiche degli intonaci termici a seguito di un invecchiamento artificiale al fine di definirne la durabilità.

2 FASI DELLA SPERIMENTAZIONE

PRIMA FASE: Caratterizzazione a T= 0 (28 giorni)

La prima fase della sperimentazione si avvale di un'indagine che si basa su uno step di identificazione e caratterizzazione univoca delle miscele utilizzate.

Vengono preparati i provini seguendo i criteri di stagionatura normati in relazione alla UNI EN 1015-10 e alla UNI EN 1015-19 contenute nel capitolo 3.2. Trascorsi i 28 giorni di stagionatura a temperatura e umidità relativa prefissate, vengono effettuate le prove, denominate a tempo T=0 che vengono successivamente descritte nel dettaglio nel cap. 4.1 VALUTAZIONE DEI PARAMETRI DEGLI INTONACI .

Sono state effettuate 3 tipi di diverse di caratterizzazione pre e post invecchiamento artificiale: chimica, morfologica e fisica. La caratterizzazione chimica è avvenuta per mezzo della spettroscopia EDX. La caratterizzazione morfologica è ottenuta attraverso il microscopio elettronico a scansione (SEM) ed infine quella fisica attraverso le seguenti prove normate:

1. analisi per la caratterizzazione delle malte mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) e Analisi spettroscopia EDX;

2. analisi della distribuzione dei pori attraverso il MIP (metodo dell'intrusione del mercurio);

3. determinazione della massa volumica apparente della malta indurita essiccata UNI EN 1015-10 [1];

4. determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità della malta indurita UNI EN 1015-18 [2];

5. determinazione della permeabilità al vapore d'acqua della malta da intonaco indurite UNI EN 1015-19 [3];

6. determinazione della conducibilità termica con il metodo del termoflussimetro UNI EN 12664 [4] ;

Ultimo step di questa prima fase consiste nella raccolta e nell'elaborazione dei dati.

SECONDA FASE: Invecchiamento artificiale mediante l'esposizione all'attacco da nebbia salina

La seconda fase consiste nel sottoporre i provini precedentemente preparati al processo di invecchiamento artificiale mediante cicli di nebbia salina [6]. La prova ha una durata di 720 ore per un totale di 30 giorni in cui si alternano condizioni di ambiente salino (240 ore) e condizioni di essiccazione (480 ore), bloccando la formazione della nebbia. L'intero processo di invecchiamento viene descritto in maniera dettagliata al cap. 5.

TERZA FASE: Caratterizzazione a seguito dell'invecchiamento artificiale

A seguito dell'invecchiamento artificiale, avviene la caratterizzazione come nella prima fase al fine di effettuare un'indagine comparativa delle miscele a seguito dell'esposizione da attacco salino. Vengono poste le medesime condizioni al contorno per ogni prova in modo da tale da valutare correttamente la durabilità degli intonaci termici. Per cui vengono effettuate le seguenti prove:

1. analisi per la caratterizzazione delle malte mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) e analisi spettroscopia EDX;

2. analisi della distribuzione dei pori attraverso il MIP (metodo dell'intrusione del mercurio);

3. determinazione della massa volumica apparente della malta indurita essiccata UNI EN 1015-10 [1];

4. determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità della malta indurita UNI EN 1015-18 [2];

5. determinazione della permeabilità al vapore d'acqua della malta da intonaco indurite UNI EN 1015-19 [3];

6. determinazione della conducibilità termica con il metodo del termoflussimetro UNI EN 12664 [4] ;

Una volta effettuate tutte le analisi, avviene lo step di raccolta e elaborazione dei dati raccolti.

QUARTA FASE: Confronto pre e post invecchiamento artificiale

La quarta fase permette di riassumere tutte le prove e le analisi precedentemente effettuate, ponendo l'attenzione verso la variazione delle proprietà delle miscele in esame. I dati raccolti vengono riassunti e messi a sistema per mezzo di grafici esplicativi.

3 MATERIALI

3.1 TERMOINTONACO

Vengono preparate 4 miscele di intonaco distinte aventi aggregati di origine artificiale (microsfere di EPS) e naturale (sughero) con caratteristiche di lavorabilità e rapporti a/c differenti. Vengono attribuite a ciascun impasto un codice identificativo in base alla matrice e all'aggregato. In aggiunta si riporta il quantitativo di acqua di impasto, la polvere utilizzata per poter realizzare tutti i provini necessari per le prove per miscela (3 triplette 16x4x4, 1 provini termici 30x30x3,2, 6 provini a disco piatto d 20 cm sp. 3 cm) e la densità della polvere riferita a 80 ml (capacità del becher graduato).

- Intonaco *LIME-CEM-EPS* con microsfere di EPS e con pigmentazione della polvere color grigio chiaro. La miscela contiene sia il cemento Portland sia la calce idrata rispettivamente con una concentrazione massima del 50% e del 20%. Durante le prove ai campioni *LIME-CEM-EPS* viene attribuita la lettera *B* per aver una dicitura più rapida.

Tabella 2: Intonaco LIME-CEM-EPS

Cod. identificazione -	Acqua d'impasto *l*	Polvere *kg*	Densità della polvere *g/ml*
LIME-CEM-EPS	3	1,89	0,15

Figura 2: Polvere intonaco LIME- CEM -EPS

Figura 3: Microsfere EPS intonaco LIME- CEM - EPS

- Intonaco *LIME-EPS* con microsfere di EPS e con pigmentazione della polvere color paglierino. La miscela contiene sia il cemento Portland sia la calce idrata rispettivamente con una concentrazione massima del 50% per entrambi i prodotti. Avendo una concentrazione di calce maggiore rispetto al precedente intonaco, si è deciso di togliere l'appellativo *"CEM"*. Durante le prove ai campioni *LIME-EPS* viene attribuita la lettera *A* per aver una dicitura più rapida.

Tabella 3:Intonaco LIME-EPS

Cod. identificazione -	Acqua d'impasto *l*	Polvere *kg*	Densità della polvere *g/ml*
LIME-EPS	2,4	1,84	0,16

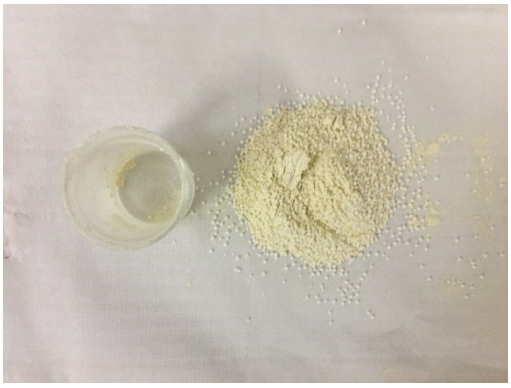


Figura 4: Polvere intonaco LIME-EPS

Figura 5: Microsfere EPS intonaco LIME-EPS

- Intonaco *NHL-CORK* con sughero e con pigmentazione della polvere color grigio chiaro/marroncino. Durante le prove ai campioni *NHL-CORK* viene attribuita la lettera *C* per aver una dicitura più rapida.

Tabella 4:Intonaco NHL-CORK

Cod. identificazione -	Acqua d'impasto *l*	Polvere *kg*	Densità della polvere *g/ml*
NHL-CORK	4,17	4,37	0,75

Figura 6: Polvere intonaco NHL-CORK

Figura 7: Sughero

- Intonaco con proprietà deumidificanti *NHL-CORK-DEUM* con sughero e con pigmentazione della polvere color grigio /marroncino. Durante le prove ai campioni *NHL-CORK-DEUM* viene attribuita la lettera *D* per aver una dicitura più rapida.

Tabella 5:Intonaco NHL-CORK-DEUM

Cod. identificazione -	Acqua d'impasto *l*	Polvere *kg*	Densità della polvere *g/ml*
NHL-CORK-DEUM	6,99	4,54	0,36

Figura 8: Polvere intonaco NHL-CORK-DEUM

Figura 9: Sughero

Di seguito viene riportata la strumentazione necessario per poter preparare tutte le miscele sopra descritte.

Bilancia con accuratezza dello 0,1%

Fase di miscelazione con trapano

Miscela pronta per il getto

Casseformi

Figura 10: Generalità della strumentazione utilizzata

3.2 PROVINI

Le prove selezionate richiedono provini aventi geometrie e condizioni di stagionatura differenti. Si individuano 3 tipologie differenti di campioni da realizzare:

1. Provini prismatici
2. Provini "termici"
3. Provini a disco piatto

3.2.1 Provini prismatici

I provini prismatici vengono realizzati per poter effettuare le prove relative alla misurazione delle densità a secco [1] e per determinare il coefficiente di assorbimento per capillarità [2]. Vengono utilizzati i seguenti casseri in ferro aventi elementi sagomati ad incastro che assumono una configurazione di stabilità e solidità per mezzo di un contrasto

[Figura 11]. Così facendo si configurano triplette in cui ciascun elemento ha le rispettive dimensioni di 16x4x4 cm [Figura 12].

Prima di utilizzare il cassero appeno descritto, è di fondamentale importanza spalmare uno strato di disarmante sulle superfici perimetrali degli alloggi che andranno ad ospitare il successivo getto di malta. Grazie a questo passaggio, sarà possibile effettuare il corretto disarmo del cassero.

Base cassero in ferro

Inserimento pareti in ferro

Inserimento pareti perpendicolari

Fine montaggio e serraggio con contrasto

Applicazione del disarmante

Getto della malta

Figura 11: Fasi del montaggio del cassero in ferro

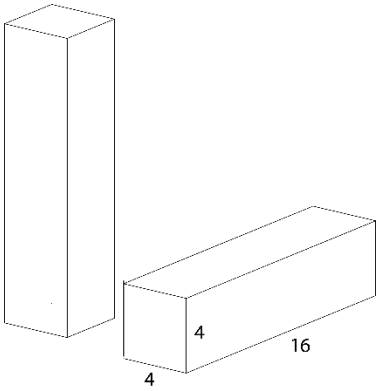


Figura 12: Schema provini prismatici

Una volta preparate le miscele seguendo le indicazioni del precedente paragrafo 3.1, avviene il getto all'interno delle casseformi metalliche in cui si deve prestare particolare attenzione alla modalità di inserimento della malta la quale non deve creare dei vuoti all'interno dei provini.

Successivamente avviene la fase di stagionatura che dura 28 giorni le cui fasi sono descritte nella Tabella 6.

Tabella 6:Descrizioni step di stagionatura dei provini prismatici

Temperatura 20 ± 2 °C				
	UR =(95 ± 5) %		**UR= (65± 5)%**	*tot*
	Nello stampo	Fuori dallo stampo	Fuori dallo stampo	
giorni	2	5	21	28

Trascorsi 28 giorni i provini risultano essere pronti per poter effettuare le prove normate. [Figura 13]

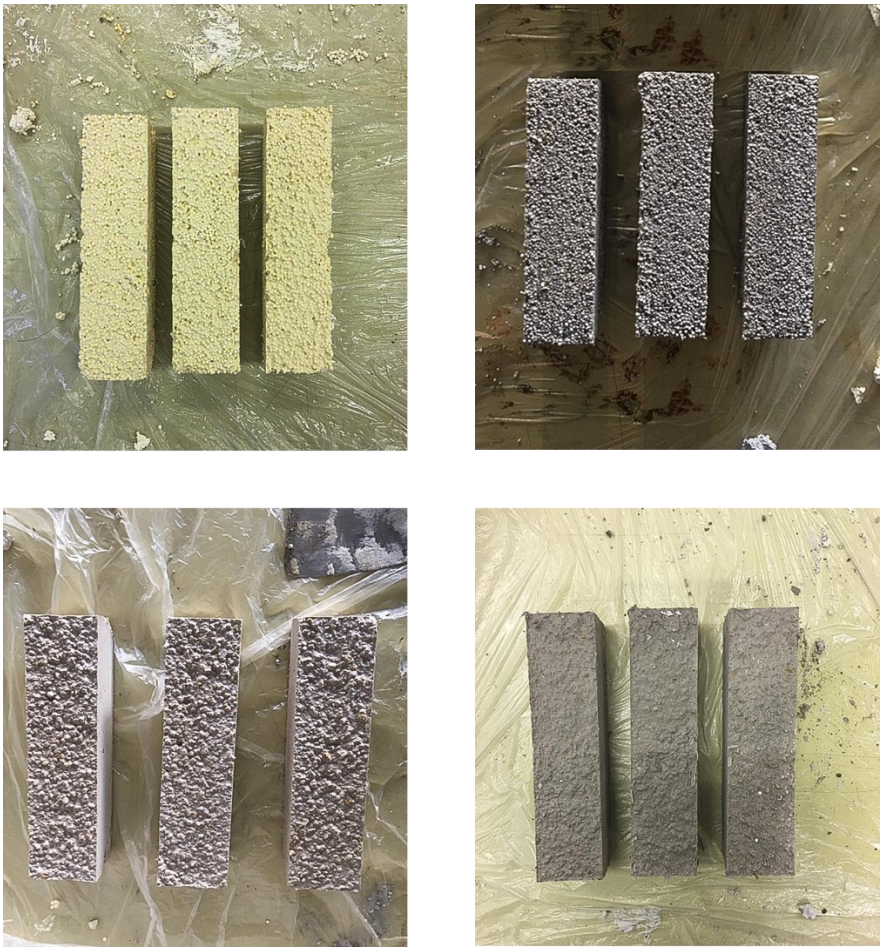


Figura 13: Provini prismatici a seguito della stagionatura a 28 gg

3.2.2 Provini "termici"

I provini "termici" vengono realizzati per poter determinazione della conducibilità termica con il metodo del termoflussimetro facendo riferimento UNI EN 12664 [4][1]. Vengono realizzate delle speciali casseformi a perdere aventi una base costituita da materiale che conduce. Nel caso in esame si viene impiegata una piastra di metallo quadrata di 1 mm di spessore e di dimensioni 35x35 cm su cui vengono fissati coppie di listelli di legno prismatici rispettivamente di dimensione 2,5x3,2x35 cm e 2,5x3,2x35 cm.

[1] Vengono prese in considerazione anche le seguenti norme : UNI EN 12667:2002 [44] e ISO 8301:1991 [45]

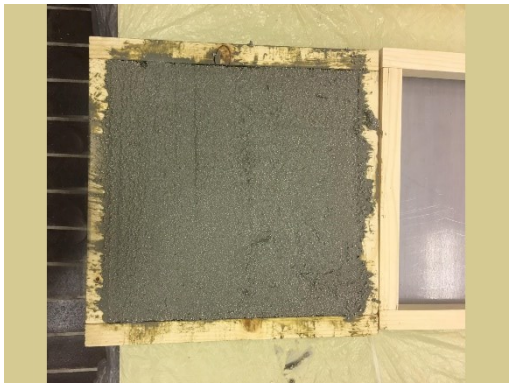
Materiale di base del cassero

Applicazione listello 1

Applicazione listello 2

Applicazione listello 3

Applicazione listello 4



Getto della malta

Figura 14: Fasi del montaggio del cassero a perdere dei provini "termici"

Per quanto riguardo le condizioni di stagionatura, si utilizzano le stesse condizioni dei provini prismatici precedentemente descritti [Tabella 6]. I provini così realizzati hanno rispettivamente un volume di 30x30x3,2 cm [Figura 15].

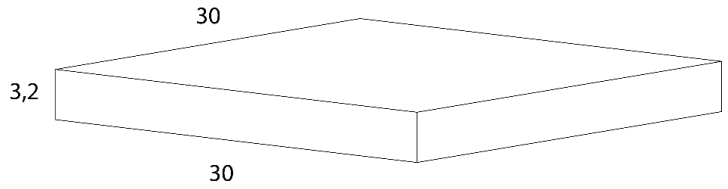
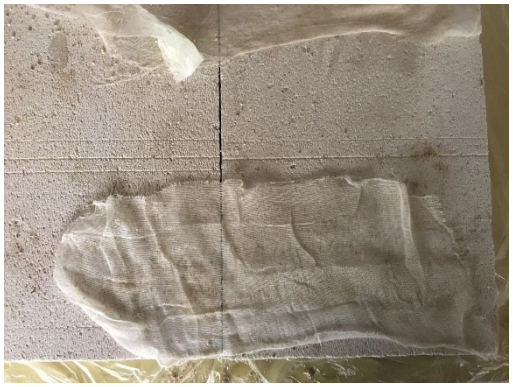


Figura 15: Schema provini "termici"

3.2.3 Provini a disco piatto

I provini a disco piatto vengono utilizzati per poter determinare della permeabilità al vapore d'acqua della malta da intonaco indurite in riferimento alla UNI EN 1015-19 [3]. Vengono realizzati dei casseri in PVC bianco DN200 con un'altezza di 3 cm. I campioni a disco piatto [Figura 18] si ottengono stendendo la malta su un substrato di calcestruzzo autoclavato poroso avente una densità di (550±50) kg/m^3. Prima di effettuare il getto, bisogna posizionare due strati di garza di cotone sotto la cassaforma in PVC e passare una mano di disarmante intorno alla superficie interna di quest'ultima.

Pulizia supporto cls autoclavato



Applicazione garza di cotone

Cassaforma in PVC bianco

Applicazione disarmante

Figura 16: Fasi di preparazione pre getto

Una volta effettuato il getto delle rispettive miscele, si procede ad un processo di stagionatura differente rispetto ai due provini precedentemente descritti. Cambiano le condizioni con cui avviene la stagionatura dopo i 2 giorni di UR= (95±5)%. Le nuove condizioni vengono raccolte nella tabella sottostante [Tabella 7].

Tabella 7:Condizioni di stagionatura dei provini a disco piatto

Temperatura 20 ± 2 °C				
	UR =(95 ± 5) %		**UR= (50 ± 5)%**	*tot*
	Nello stampo	Fuori dallo stampo	Fuori dallo stampo	
giorni	2	-	26	28

Ultimati i 28 giorni, si ottengono provini a disco piatto aventi un diametro di 20 cm e con uno spesso di 3 cm [Figura 17].

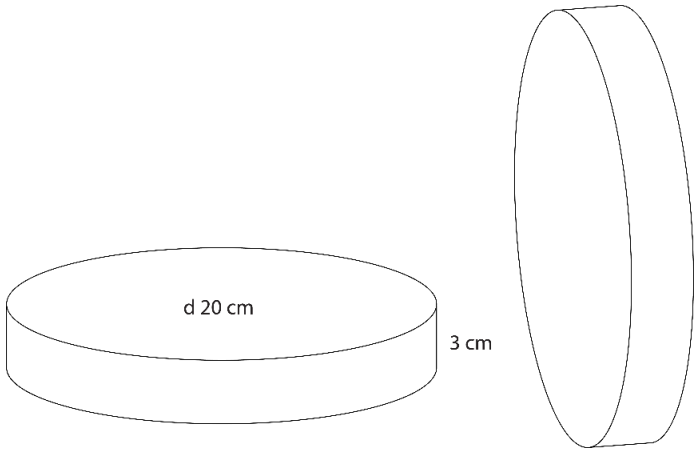


Figura 17: Schema provini disco piatto

Figura 18: Provini a disco piatto stagionati a 28 giorni

4 ARTICOLAZIONE

4.1 VALUTAZIONE DEI PARAMETRI DEGLI INTONACI

4.1.1 Analisi per la caratterizzazione delle malte mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) e analisi spettroscopia EDX

Le analisi per la caratterizzazione delle malte mediante microscopia elettronica a scansione utilizzano un fascio di elettroni nel vuoto che scansionano il campione seguendo un determinato pattern consentendo di ottenere un'immagine di alta qualità. Il sistema viene mantenuto sottovuoto per evitare interferenze. È composto da elementi elettronici e da un sistema di lenti elettromagnetiche che consistono in una bobina di fili all'interno di poli magnetici metallici. Dal contatto tra la superficie del campione e il flusso di fasci di elettroni, si generano diversi segnali che portano altrettante diverse informazioni. In particolare, possiamo ricordare i tre segnali più importanti e più utilizzati:

1. Elettroni retrodiffusi (BSE), rappresentano quella porzione di elettroni del fascio che viene riflessa con energia che va da 50 eV fino a quella di incidenza. Sono portatori di segnali principalmente compositivi e morfologici (topografici) e provengono da profondità massime di alcuni µm. La quantità di BSE dipende oltre che dalla morfologia della superficie anche dal numero atomico medio del materiale presente nel piccolo volume irradiato dal fascio. L'immagine BSE rispecchia la variazione del numero atomico medio all'interno del campione e permette quindi di individuare i minerali che costituiscono le diverse parti del campione.

2. Elettroni secondari (SE), sono gli elettroni in origine legati ai livelli atomici più esterni, che ricevono dal fascio incidente un'energia addizionale sufficiente ad allontanarli. Hanno un'energia compresa tra 0 e 50 eV e sono emessi da spessori superficiali del campione (~10nm). Sono frequentemente utilizzati per lo studio della morfologia superficiale.

3. Raggi X, caratteristici degli elementi che compongono il campione in esame, possono essere registrati e discriminati sulla base della lunghezza d'onda (WDS) o dell'energia (EDS). L'intensità di queste radiazioni caratteristiche è

proporzionale alla concentrazione dell'elemento nel campione. La microanalisi ai raggi X dà informazioni specifiche circa la composizione degli elementi del campione, in termini di quantità e distribuzione [2].

Gli elettroni che la prova restituisce, vengono acquisti attraverso specifici detector a seconda del tipo di segnale che devono rilevare e grazie alla loro captazione è possibile in maniera praticamente istantanea generare un'immagine. L'immagine generata permette di analizzare la superficie del campione con elevato ingrandimento sino ad arrivare alla nanoscala. Il prodotto in output risulta essere in scala di grigi dove:

- Materiali leggeri - immagini più scure (gli elettroni penetrano di più e quindi ne vengono riemessi pochi)
- Materiali pesanti - immagini più chiare (gli elettroni penetrano meno e quindi ne vengono riemessi molti)

In questo modo si ottengono informazioni riguardo la microstruttura del materiale (forma/morfologia delle particelle) e la dimensione dei pori (sulla base dei vuoti che si vedono), seguendo le indicazioni riportate da Collepardi et al [31] nel libro "Il calcestruzzo vulnerabile: prevenzione, diagnosi del degrado e restauro".

Strumenti utilizzati:

Il microscopio elettronico a scansione è costituito principalmente da una colonna lunga circa 1 metro in cui avviene la generazione del fascio di elettroni e una camera dei campioni. All'interno della colonna avviene la focalizzazione degli elettroni su zone desiderate attraverso l'ausilio di opportuni campi magnetici e quindi in questo modo avviene la "scansione" del campione in esame attraverso linee parallele ed equidistanti. Nel presente studio vengono utilizzati sia il microscopio "Vega" sia il SEM ZEISS che permettono di ottenere immagini con scale di ingrandimento differenti.

[2] Classificazione dei segnali descritta in riferimento a http://www.ct.ingv.it/index.php/risorse-e-servizi/laboratori/107-laboratorio-microscopia-elettronica-a-scansione-sem-e-microanalisi-eds

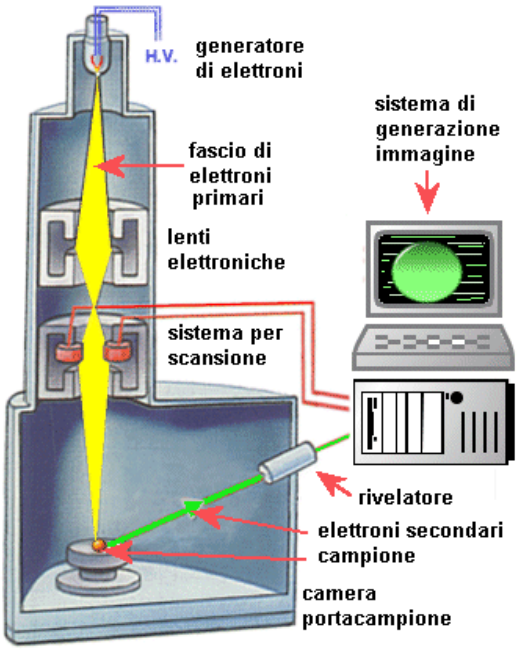


Figura 19: Schematizzazione generale del funzionamento del SEM

Provini:

I campioni di malta vengono prelevati dai residui dei campioni prismatici utilizzati per la prova di assorbimento opportunamente stagionati a 28 giorni. Quest'ultimi hanno un volume di circa 1 cm^3 e vengono resi conduttivi attraverso una tecnica chiamata *sputtering* che permette di ricoprire la superficie del provino con l'oro. In totale sono state analizzate 4 tipologie di termointonaci nelle due condizioni a T=0 e post invecchiamento al fine di valutarne gli effetti.

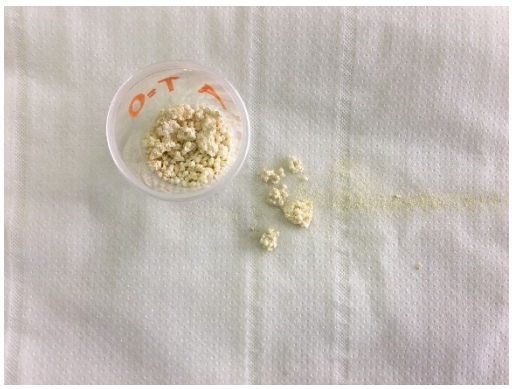


Figura 20: Provini LIME-EPS

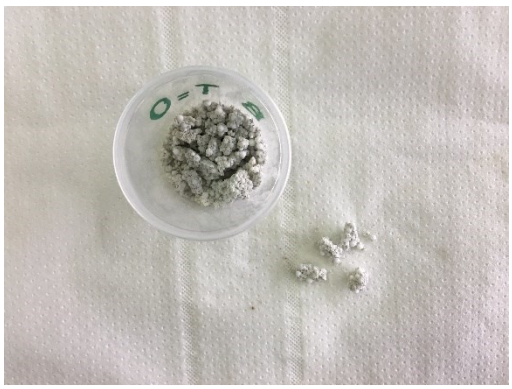


Figura 21: Provino LIME-CEM-EPS

Figura 22: Provini NHL-CORK

Figura 23: Provini NHL-CORK-DEUM

Figura 24: Frammenti dei vari intonaci

Procedimento:

Il funzionamento di base della SEM si fonda sull'utilizzo di un fascio di elettroni generato mediante un filamento di tungsteno portato ad elevate temperature. Dopo la loro formazione, gli elettroni vengono accelerati con un'energia (da 200 eV a 30 keV) grazie alla presenza di un anodo posto sotto il filamento. Il fascio viene successivamente indirizzato su una serie di lenti elettromagnetiche e grazie a delle bobine di scansione, avviene una deflessione degli elettroni i quali assumono un movimento alternato lungo linee parallele ed equidistanti per poter ricoprire in maniera corretta tutta la superficie del

campione in esame. Infine, avviene l'ultimo indirizzamento del fascio sulla lente finale il quale esce dalla colonna e colpisce direttamente il campione attraversando il vuoto. Durante il contratto tra il campione e il fascio, quest'ultimo perde energia che viene poi riemessa dal campione sotto diversi segnali i quali poi andranno a ricreare l'immagine in output. Nella Figura 19 possiamo trovare uno schema esemplificativo del funzionamento della Sem e nelle immagini qui sotto riportate, le componenti salienti della strumentazione effettivamente utilizzata.

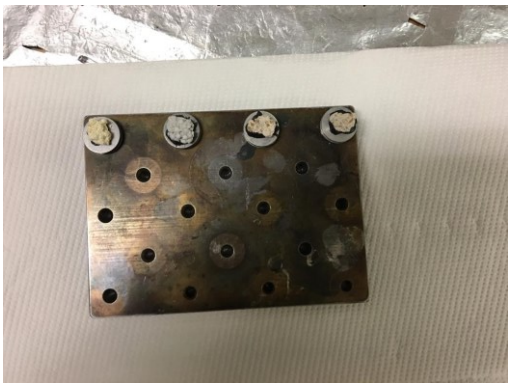


Figura 25: Provini sui porta campioni

Figura 26: Strumentazione per sottovuoto e doratura

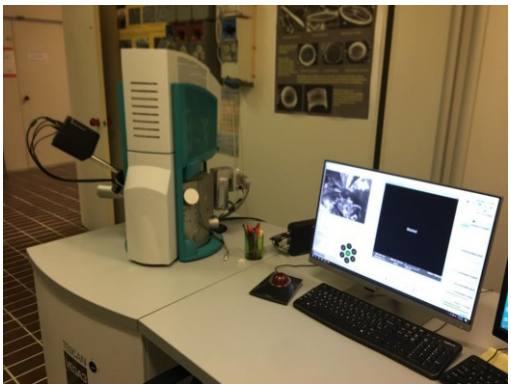


Figura 27: Sem: Vega

Figura 28: Sem: Zeiss

Criteri di valutazione

- Analisi della microstruttura e della morfologia superficiale dei campioni
- Valutazione degli elementi che compongono le miscele al fine di avere una classificazione univoca

- Classificare le malte a seconda della struttura della matrice e delle porosità grazie ad immagini scalate.

4.1.2 Analisi della distribuzione dei pori attraverso il MIP

Le analisi porosimetriche a mercurio consentono di misurare il volume e le dimensioni dei pori aperti del campione mediante l'intrusione a pressione via via crescente del mercurio. Si dimostra utile per la caratterizzazione microstrutturale, per una valutazione del degrado e per il controllo degli effetti dei trattamenti conservativi sulla loro struttura porosa[3]. Il mercurio, a differenza dell'acqua, non ha alcuna affinità con i materiali da costruzione e quindi non viene spontaneamente assorbito da quest'ultimi. Affiche questo penetri all'interno del materiale è necessario applicare una pressione tanto maggiore quanto più piccolo è il raggio dei pori come indicato nell'equazione di Washburn:

$$P = \frac{2\sigma}{r} cos\theta$$

dove:

- P è la pressione che occorre applicare per far entrare il mercurio entro i pori;
- r è il raggio dei pori;
- σ è la tensione superficiale del mercurio;
- θ è l'angolo di contatto tra mercurio e materiale solido.

Il mercurio così facendo penetra attraverso la porosità aperta di un campione solido senza alterarlo grazie alla sua proprietà di non bagnabilità. Misurando la quantità di mercurio penetrato nei pori del campione ad ogni incremento di pressione, si ottengono i dati sperimentali da cui calcolare la distribuzione porosimetrica in funzione del raggio dei pori.

Le prove rientrano nella valutazione delle prestazioni termoigrometriche delle diverse tipologie di malte da intonaco. Tali analisi sono state svolte in conformità di quanto

[3] http://www.icvbc.cnr.it/Strumentazione/Porosimetro.html

riportato da Collepardi et al. nel libro “Il calcestruzzo vulnerabile: prevenzione, diagnosi del degrado e restauro”, per valutare la porosità aperta totale e la distribuzione dimensionale dei pori. [31]

Strumenti utilizzati:

- Porosimetro a mercurio
- Mercurio

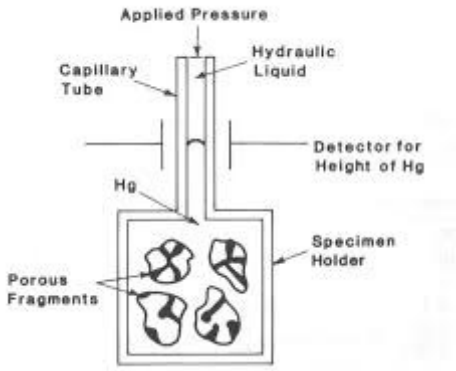


Figura 29

Provini:

I campioni di malta da intonaco sono ricavati dai provini sottoposti alla prova per la determinazione della densità a secco e per la determinazione del coefficiente di assorbimento d’acqua. I provini necessari per la prova in esame sono di dimensione 1x1x1 cm circa. In totale sono stati analizzati 8 campioni: 4 a tempo T=0 e 4 post invecchiamento artificiale.

Figura 30: Provini LIME-CEM-EPS per MIP

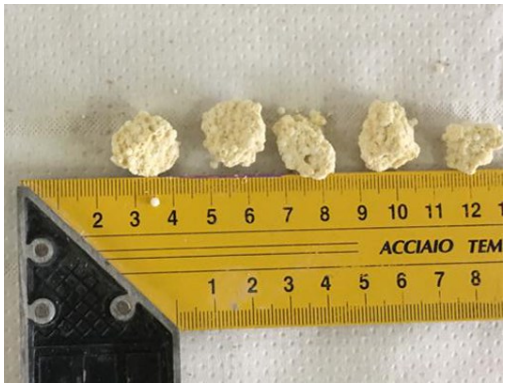


Figura 31: Provini LIME-EPS per MIP

Figura 32: Provini NHL-CORK per MIP

Figura 33: Provini NHL-CORK-DEUM per MIP

Procedimento:

Per determinare la porosità delle diverse malte, si immerge il campione in un bagno di mercurio, si applica una pressione P crescente e si misura il volume di mercurio (V_{Hg}) che progressivamente penetra nei pori del solido: al crescere della pressione saranno penetrati prima i pori di raggio maggiore e dopo quelli di minore dimensione. Pertanto, si riporta in un diagramma il volume di mercurio (V_{Hg}) riferito ad un certo peso di campione che è penetrato in funzione della pressione P applicata (N/mm^2).

Poiché tra pressione applicata e raggio (o diametro) dei pori esiste la correlazione a seconda dell'equazione di Washburn, si può anche esprimere sullo stesso grafico il volume di mercurio intruso in funzione del diametro dei pori d in µm.

In questo modo è possibile conoscere quale è il volume di mercurio penetrato (e quindi di pori presenti) fino ad una certa pressione P, oppure fino ad un certo diametro dei pori.

La curva che si ottiene rappresenta il volume cumulativo dei pori presenti fino ad un certo diametro. Il volume totale di mercurio intruso al massimo della pressione applicabile con lo strumento rappresenta il volume totale dei pori. La forma della curva ed in particolare il suo flesso indicano come sono distribuiti i pori: il diametro dei pori corrispondente al flesso indica la dimensione dei pori più frequente. La porosimetria a mercurio è particolarmente indicata per valutare la distribuzione dei pori aventi dimensione compresa fra centesimi e centinaia di µm.[31]

Criteri di valutazione

- Valutazione della distribuzione dei pori e la loro effettiva dimensione

Tabella 8: Classificazioni pori

Micropori	Mesopori	Macropori
< 0,1 µm	0,1-1 µm	> 1 µm

- Classificazione delle malte in base alla porosità totale aperta
- Determinazione della porosità al fine di valutare correttamente il comportamento del materiale analizzato con l'ambiente circostante.

4.1.3 Determinazione della massa volumica apparente della malta indurita

In riferimento alla normativa, la massa volumica apparente di un dato campione di malta indurita è determinata come rapporto tra la sua massa dopo asciugatura in forno e il volume che lo occupa. La densità per i materiali isolanti e in particolare le malte, è molto importante in quanto è strettamente collegata al valore µ e al valore della λ.

Strumenti utilizzati:

- Bilancia con accuratezza fino allo 0,1% della massa globale del provino.
- Forno ventilato, in grado mantenere una temperatura di (70±5)°C o (60±5)°C.

- Stampi come descritti nelle EN 1015-11. (vedi cap.3.2).
- Cilindro graduato in vetro borosilicato.

Provini:

La fase di formazione e stagionatura della prova sono descritti nel dettaglio al cap. 3.2 al paragrafo 3.2.1.

Procedimento:

Essiccare il campione in forno ad una temperatura di (60±5)°C, fino il raggiungere la massa costante. Si considera che il campione abbia raggiunto la massa costante se due pesate consecutive, distanti 2 h durante l'essiccazione, non differiscono di oltre 0,2% della massa del campione essiccato. Registrare la massa del campione con $m_{s,dry}$ in kilogrammi allo 0,1% più vicino. Come volume la normativa considera l'ingombro del cassero in ferro [Figura 11] di dimensioni 16x4x4 cm per un volume complessivo di $256x10^{-6}$ m^3. La massa secca $m_{s,dry}$ viene considerata in kg, così da esprimere la densità a secco in kg/m^3. Viene calcolata la massa volumica apparente di ciascun campione di malta come rapporto tra la massa registrata $m_{s,dry}$ e il volume V_s.

$$d = \frac{m_{s,dry}}{V_s}$$

Si utilizzano triplette di malte da intonaco e per cui si calcola il valore medio dai singoli valori di ciascun campione di malta, arrotondando ogni valore ai 10 kg/m^3 più vicini.

In aggiunta viene calcolato anche il volume effettivo dei campioni in quanto quest'ultimi risultano avere delle imperfezioni geometriche dovute dalla natura del materiale che lo compongono. Quindi viene calcolato il volume effettivo dei campioni (resi impermeabili con della pellicola) immergendoli all'interno di un cilindro graduato in vetro borosilicato in cui precedentemente si conosce il livello raggiunto dall'acqua. A seguito dell'immersione il livello di acqua sale e attraverso la differenza di letture si può conoscere il volume effettivo del provino testato. Successivamente viene calcolato la densità con il volume effettivo.

$$d = \frac{m_{s,dry}}{V_{eff}}$$

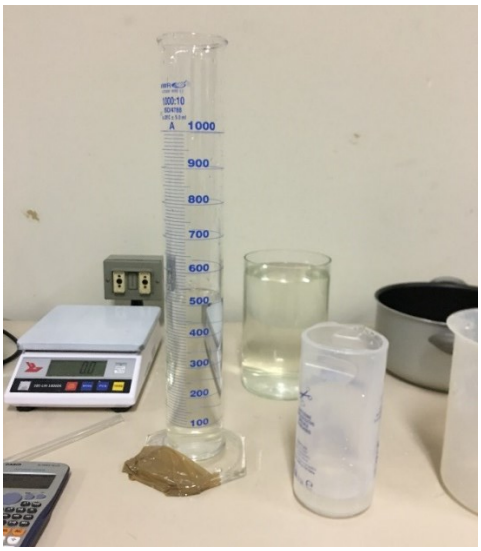


Figura 34: Strumentazione necessaria

Criteri di valutazione

- Classificazione delle malte in base alla densità a secco permette di dedurne in maniera preliminare anche le prestazioni termiche attese.
- Valutare la densità delle miscele analizzate aventi aggregati coibenti differenti.

4.1.4 Determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità della malta indurita

Il metodo si basa sulla misurazione dell'aumento di massa dovuto all'assorbimento capillare di acqua in un intervallo di tempo predeterminato. La massa d'acqua viene espressa come coefficiente che indica la tendenza del campione ad assorbire l'acqua per capillarità, senza applicazione di una pressione esterna. Il coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità è misurato sottoponendo dei provini di malta a forma di prismatica al contatto con acqua. I provini precedentemente descritti (cap.3.2) vengono essiccati a (60±5)°C, fino il raggiungere la massa costante che viene considerata tale se due pesate consecutive a distanza di 24 h non durante l'essicazione non differiscono di oltre il 0,2% della massa totale. Dopo l'essiccazione sino a massa costante, le facce laterali dei provini vengono rese impermeabili e poi vengono spezzati a metà: le facce spezzate dei provini

vengono immerse in 5÷10 mm d'acqua per uno specifico periodo di tempo ed è determinato l'aumento in massa.

Strumenti utilizzati:

- Bilancia con accuratezza fino allo 0,1% della massa globale del provino.
- Forno ventilato, in grado mantenere una temperatura di (60±5)°C.
- Stampi come descritti nelle EN 1015-11. (vedi cap.3.2).
- Cronometro, graduato in secondi.
- Bacinella con profondità minima di 20 mm e avente una superficie piana con un sistema per il mantenimento del livello d'acqua costante.
- Supporti per i provini idonei con superficie di contatto minima e in grado di mantenere i provini ad una profondità prefissata.
- Carta da filtro assorbente.
- Seghetto dentato
- Materiale sigillante, per esempio paraffina o resina sintetica.

Figura 35: Paraffina

Figura 36: Scioglimento paraffina

Provini:

La fase di formazione e stagionatura della prova sono descritti nel dettaglio al cap. 3.2 al paragrafo 3.2.1.

Procedimento:

Dopo la stagionatura a 28 giorni, i provini devono essere essiccati fino a massa costante. Successivamente avviene la sigillatura delle 4 facce lunghe dei provini utilizzando il materiale di sigillatura specificato [Figura 35: Paraffina], quindi vengono spezzati a metà. Successivamente vengono collocate tutte le metà ottenute all'interno di una bacinella tenuti a distanza dalla base di quest'ultima tramite idonei supporti (con le facce spezzate dei prismi rivolte verso il basso). L' immersione in acqua avviene per una profondità da 5 mm a 10 mm per la durata della prova.

Figura 37: Applicazione paraffina sul campione

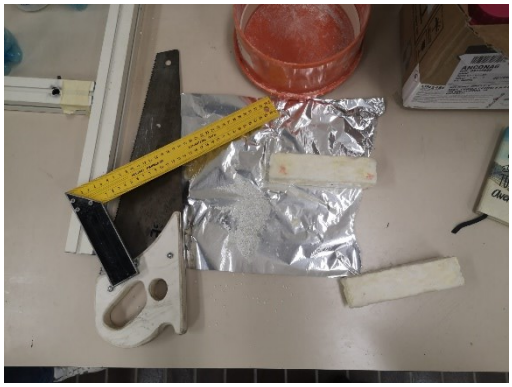


Figura 38: Taglio del provino a metà

Per garantire l'immersione completa delle superfici ruvide evitando l'intrappolamento di bolle d'aria, i provini vengono immersi con un assetto inclinato. Per lo svolgimento della prova si utilizza un cronometro e si mantiene costante il livello dell'acqua per tutta la prova.

I provini vengono pesati rispettivamente in due step: il primo dopo 10 minuti dall'immersione e il secondo dopo 90 minuti. Prima di prendere le varie pesate M1 (10 minuti) e M2 (90 minuti), le superficie di contatto dei provini vengono asciugate con un panno inumido per togliere l'acqua grondante.

Il coefficiente di assorbimento d'acqua è per definizione uguale alla pendenza della retta che unisce i punti rappresentativi delle misurazioni effettuate a 10 minuti e a 90 minuti.

$$C = 0{,}1\ (M_2 - M_1)$$

Viene calcolato il valore medio del coefficiente l'assorbimento d'acqua delle rispettive triplette *Cm* dai singoli valori al più prossimo 0,1 kg/m^2 min^{0,5}

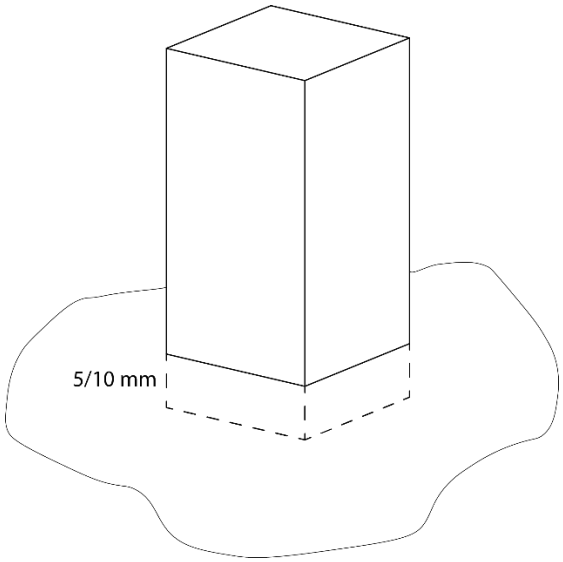


Figura 39: Schema sintetico dello svolgimento della prova

Criteri di valutazione

- Definire il tasso di assorbimento d'acqua dei materiali dovuto all'azione capillare come indicatore dell'assorbimento della pioggia battente o dei liquidi durante l'esercizio.

- Classificazione in base alla UNI EN 988.-1 per definire una malta da isolamento termico:

  - W_c1 → $C \leq 0{,}40$ kg /(m^2 min^{0,5})

- Classificazione in base alla UNI EN 988.-1 per definire una malta leggera per intonaci interni/esterni

  - W_c0 → non dichiarato

- $W_c1 \rightarrow C \leq 0{,}40$ kg /(m^2 min^{0,5})
- $W_c2 \rightarrow C \leq 0{,}20$ kg /(m^2 min^{0,5})

4.1.5 Determinazione della permeabilità al vapore d'acqua della malta da intonaco

La presente norma europea specifica un metodo per la determinazione della permeabilità al vapore d'acqua in condizioni di flusso stazionario per condizioni di umidità bassa ed elevata. Al contrario di quello che accade con l'acqua allo stato liquido, il vapore d'acqua si diffonde con maggiore facilità all'interno delle strutture, quando tra i lati del materiale si stabilisce un gradiente di pressione e temperatura. Il vapore d'acqua modifica il comportamento del materiale isolante, aumentando il valore di conduttività termica ed incrementando quindi le perdite energetiche ed il rischio di condensazioni. Quindi risulta importante conoscere la permeabilità al vapore acqueo delle miscele prese in esame. In particolare, vengono definite:

- Permeanza al vapore acqueo Λ: Flusso di vapore acqueo passante in condizioni stazionarie attraverso il campione riferito ad una superficie unitaria e per una differenza unitaria della tensione di vapore dell'acqua.
- Permeabilità al vapore acqueo W_{vp}: Permeanza al vapore acqueo moltiplicata per lo spessore del campione.
- Coefficiente di permeabilità al vapore : $\mu = \frac{\delta_{aria}}{\delta}$ in riferimento alla UNI 12086 [32]
  - Con $\delta = W_{sp}$

Un valore basso del coefficiente di permeabilità al vapore μ è indice di alta permeabilità al vapore (molto traspirante).

Strumenti utilizzati:

- Recipienti di prova circolare, costruito con materiale resistente alla corrosione avente un'apertura di circa 0,02 m^2, su cui viene sigillato il campione di prova.

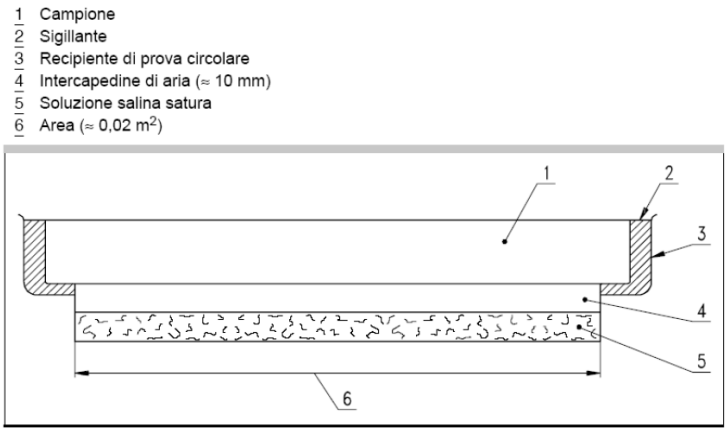


Figura 40:Schema del recipiente di prova fornito dalla normativa

Per poter soddisfare i requisiti da normativa, si sono realizzati due tipologie di contenitori.

La prima tipologia è costituita da un recipiente in plexiglass ricavato a tornio da un elemento pieno (processo di creazione lungo e costoso). È composto da due pezzi che si incastrano per mezzo di filettature in cui in mezzo viene inserita una guarnizione per poter rendere il contenitore stagno. La parte superiore dispone di alette dove poter posizionare il provino di intonaco. Il tutto viene serrato attraverso delle viti e bulloni.

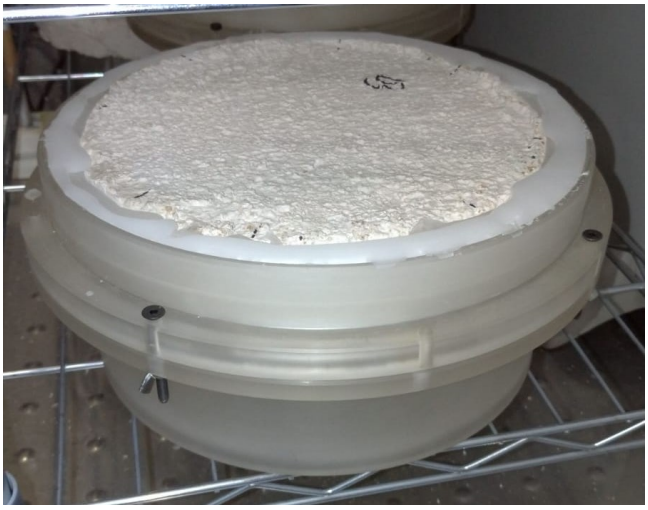


Figura 41: Contenitore in plexiglass

La seconda tipologia è costituita da tappi di ispezioni in PVC arancioni composti anche quest'ultimi da due elementi filettati che si uniscono attraverso un incastro. L'impermeabilizzazione avviene per mezzo di una speciale colla [Figura 45] che permette di sigillare i pezzi e renderli stagni. Per sicurezza viene stesa della colla calda sul

perimetro esterno del recipiente. Il porta-provino interno viene realizzato tagliando i casseri in PVC bianchi precedentemente utilizzati come casseforma per il getto dei provini a disco piatto [Figura 16]. Una volta che vengono puliti, carteggiati e tagliati, vengono inseriti all'interno del cilindro stagno. [Figura 44]

Figura 42: Contenitore in PVC

Figura 43: Porta campione

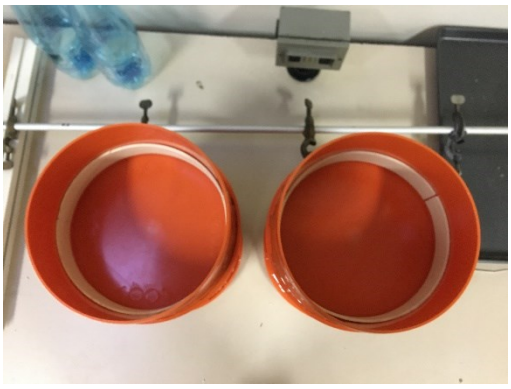


Figura 44: Porta provini assemblati

Figura 45: Colla sigillante

Per entrambi i contenitori, una volta appoggiato il provino di malta, avviene un processo di sigillatura del perimetro/spazio che rimane tra recipiente e campione.

- Bilancia avente una portata massima di 2 kg e un'accuratezza di 0,1 g.
- Sigillante appropriato, impermeabile la cui massa rimane invariata per il peridio della prova
- Soluzione di nitrato di potassio (NKO_3) [Allegato 5].

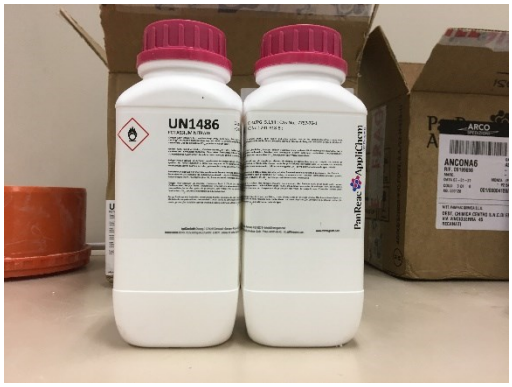


Figura 46:Nitrato di potassio

Figura 47: Stato fisico del sale

- Camera di prova in grado di mantenere una temperatura di (20±2)°C ed un'umidità relativa del (50±5)%.
- Calibro digitale
- Pistola colla caldo
- Carta stagnola

Provini:

La fase di formazione e stagionatura della prova sono descritti nel dettaglio al cap. 3.2 al paragrafo 3.2.3.

Procedimento:

In un primo step avviene la raccolta delle distinte geometriche di ogni provino a disco piatto. In particolare, vengono registrati 4 diametri sulla superficie superiore e inferiore del provino e lo spessore in 4 punti differenti secondo la Figura 48.

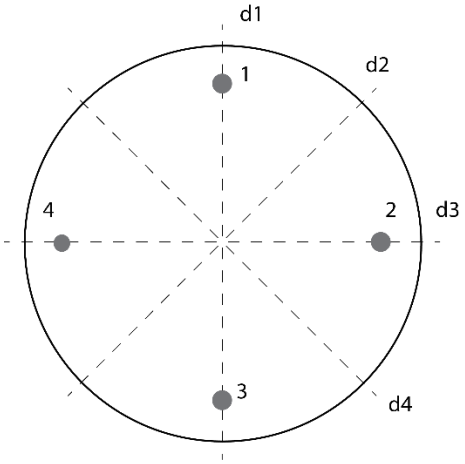


Figura 48: Distinte geometriche

Figura 49: Esempio di misurazione

I campioni prima di essere sottoposti alle prove, vengono sigillati sopra l'apertura dei recipienti circolari nei quali la pressione di vapore dell'acqua viene mantenuta costante a valori prefissati per mezzo di soluzioni saline sature. Nel caso in esame si è deciso di svolgere la prova solo con la soluzione salina che permette di ottenere un'umidità relativa del 93,2% (soluzione di nitrato di potassio Figura 46). I contenitori vengono posti in un ambiente a temperatura controllata dove la tensione di vapore dell'acqua (umidità relativa) è mantenuta costante ad un valore diverso da quella dell'interno dei contenitori. Il flusso dell'umidità attraverso la malta viene valutato in condizioni di stazionarietà a partire dalla variazione di massa dei contenitori.

Quando si deve effettuare la prova in condizioni di elevata umidità relativa, bisogna controllare la tensione del vapore d'acqua all'interno del recipiente utilizzando una soluzione satura di nitrato di potassio. In ogni caso, bisogna lasciare una piccola intercapedine di aria di (10 ± 5) mm tra il campione e la superficie della soluzione. I recipienti di prova vengono disposti nella camera di conservazione a (20±2)°C e umidità relativa di (50±5)%.

I recipienti di prova vengono pesati ad intervalli di tempo appropriati. Le masse vengono riportate su un diagramma in funzione del tempo. Quando tre punti si dispongono su di una linea retta, si ipotizza che sia raggiunta la condizione di stazionarietà, vale a dire, che la quantità di vapore acqueo che attraversa il campione per unità di tempo è costante.

In base al grafico ottenuto si determina il flusso di vapore acqueo ΔG/Δt e quindi si calcola la permeanza al vapore acqueo Λ $(kg/m^2 \cdot s \cdot Pa)$ mediante la seguente formula:

$$\Lambda = \frac{1}{A \cdot \frac{\Delta p}{\frac{\Delta G}{\Delta t}} - R_a}$$

Poi è possibile calcolare la permeabilità al vapore:

$$W_{vp} = \Lambda \cdot \mathrm{t}$$

Infine si calcola la resistenza al passaggio del vapore:

$$\mu = \frac{\delta_{aria}}{W_{vp}}$$

Con :

- A è l'area dell'apertura del recipiente di prova in mq
- Δp è la differenza della tensione di vapore dell'acqua tra l'aria dell'ambiente e la soluzione
- ΔG/Δt è il flusso di vapore acqueo in kg/s
- Λ è la permeanza al vapore acqueo $kg/m^2 \cdot s \cdot Pa$
- R_A è la resistenza alla diffusione del vapore acqueo dell'intercapedine d'aria tra il campione e la soluzione salina (0,048 x 10^9 Pa m^2 s/kg per intercapedine d'aria di 10 mm)
- t è lo spessore medio del provino in m
- W_{vp} è la permeabilità al vapore d'acqua (kg/m x s x Pa)
- μ resistenza al passaggio del vapore
- δ_{aria} permeabilità al vapore dell'aria

Criteri di valutazione

- Valutazione della resistenza al passaggio del vapore di un materiale al fine di ponderare al meglio l'applicabilità in situ in quanto avere un elevata permeabilità al vapore implica una migrazione di quest'ultimo riducendo sensibilmente il fenomeno di condensa.

- Classificazione in base alla UNI EN 988.-1 per definire una malta da isolamento termico:

    - $\mu \leq 15$

4.1.6 Determinazione della conducibilità termica con il metodo del termoflussimetro

Per eseguire le prove di conducibilità termica si è fatto riferimento alle specifiche delle normative:

ISO 8301:1991 "*Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus"*;

UNI EN 12664:2002 "*Thermal performance of building materials and products - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Dry and moist products of medium and low thermal resistance";*

UNI EN 12667:2002 *"Thermal performance of building materials and products - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Product of high and medium thermal resistance"*;

Lo scopo di tali prove è quello di dedurre la conducibilità termica dei campioni misurando il flusso termico medio scambiato in regime stazionario. Le proprietà termiche descrivono il comportamento di un materiale sottoposto a sollecitazioni nel corso di un processo di scambio termico e quindi di conseguenza mediante una variazione di temperatura. È una

particolare proprietà dei materiali che dipende dalla temperatura, dalla densità e dal contenuto di umidità.

Strumenti utilizzati:

- Termocoppie;
- Computer munito del software dedicato al controllo e al calcolo della λ;
- Strati isolanti in PE espanso;
- Piastre collegate ai rispettivi bagni termostatici;
- Anello in lana di roccia.

Provini:

La fase di formazione e stagionatura della prova sono descritti nel dettaglio al cap. 3.2 al paragrafo 3.2.2. I provini vengono testati a seguito del processo di stagionatura e ad una temperatura e UR ambientale (T~ 20°C; UR ~ 20%).

Procedimento:

La misurazione avviene stabilendo la condizione di flusso termico stazionario uni-direzionale, attraverso un campione sottoforma di lastra con facce piane e parallele ovvero la stessa condizioni che si avrebbe nel caso di una lastra piana indefinita con superfici esterne isoterme a temperature diverse.

Il provino viene posto all'interno di un perimetro composto da un materiale isolante (lana di roccia) e tra un pacchetto di strati differenti composti da una piastra calda e una fredda, termoflussimetri, termocoppie, provino di riferimento e strati isolanti come in Figura 52.

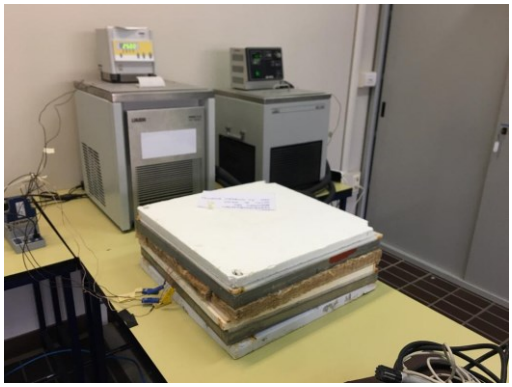


Figura 50; Sistema di misurazione

Figura 51: Bagni termostatici

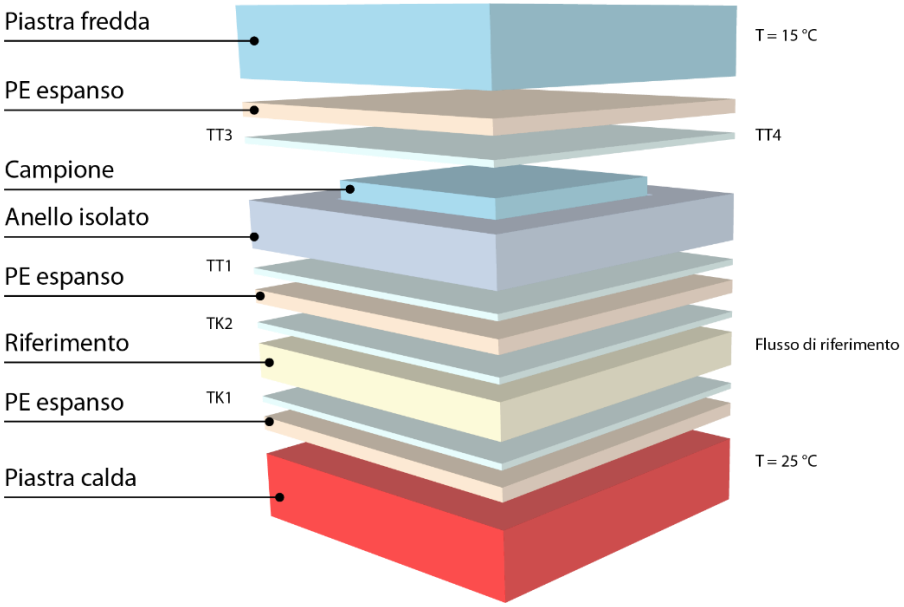


Figura 52: Schema compositivo degli strati del termoflussimetro utilizzato

Si effettuano i seguenti passaggi:

1. La piastra fredda si porta a temperatura T= 15°C grazie ad un bagno termostatico dedicato;

2. La piastra calda si porta a temperatura T= 25°C grazie ad un bagno termostatico dedicato;

3. Raggiunto il regime stazionario, il sistema di acquisizione misura il ΔT tra la piastra calda e la piastra fredda;

4. Si confronta il flusso passante per il provino di riferimento noto e il flusso passante per il campione;

5. Trascorse circa 24h il flusso inferiore e quello superiore si stabilizzano ed attraverso il software *Labview* [Figura 53] è possibile ottenere in automatico il valore della λ.

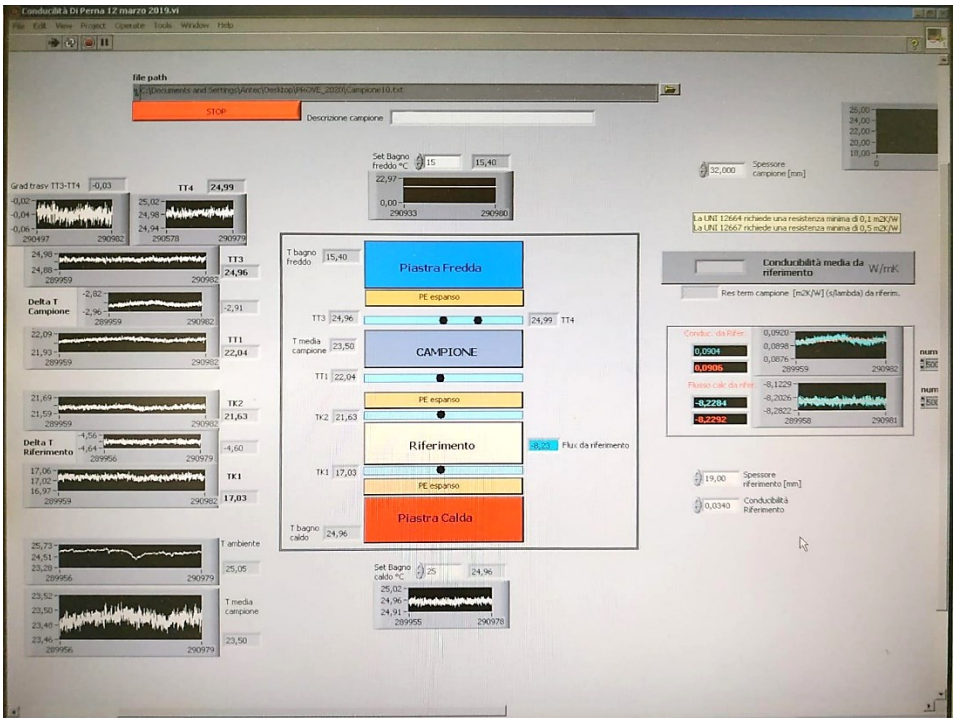


Figura 53: Software di gestione

Il valore della conducibilità termica λ [W/mK] si viene dedotto in maniera automatica dall'equazione inversa di Fourier:

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{x}{\lambda}} \quad [W]$$

Dove:

- q è il flusso do calore passante attraverso il provino;
- ΔT è la differenza di temperatura tra le due piastre;
- x è lo spessore del provino in m.

Una volta ottenuta la λ è possibile calcolare la resistenza termica essendo noto lo spessore del campione esaminato.

Criteri di valutazione

- Più il valore della λ risulta essere basso e più il campione è performante dal punto di vista dell'isolamento termico;
- A parità di spessore campioni con una conducibilità più bassa permettono di ottenere resistenze termiche più elevate.
- Classificazione in base alla UNI EN 998.-1 per definire una malta da isolamento termico:
    - T1 se $\lambda \leq 0{,}1$ W/mK
    - T2 se $\lambda \leq 0{,}2$ W/mK

5 INVECCHIAMENTO ARTIFICIALE

Per valutare la durabilità delle malte da intonaco, si è deciso di sottoporre i provini ad un invecchiamento artificiale attraverso l'esposizione di quest'ultimi ad un ambiente salino [33]. La scelta dell'invecchiamento che si basa sul coinvolgimento del cloruro di sodio nebulizzato è giustificata dalla pericolosità del sale presente nell'ambiente in esercizio il quale instaura un processo corrosivo talune volte anche di tipo irreversibile in quanto attraverso la sua penetrazione e successiva cristallizzazione, si potrebbero creare delle microfratture interne le quali agevolano il passaggio dell'acqua e di altre sostanze all'interno dello spessore del materiale. Se si realizzassero quest'ultime condizioni, l'intonaco perderebbe le sue caratteristiche termo fisiche con la possibilità di instaurare condizioni di degrado peggiorative.

L'invecchiamento scelto consiste in cicli di umido e asciutto in cui nella prima fase, vi è la generazione di una nebbia salina per mezzo di un apposito atomizzatore il quale nebulizza una soluzione di H_2O e NaCl. La soluzione deve avere una conducibilità di 156000 micro per poter essere idonea. Per risolvere il problema relativo al numero elevato di provini, si è creata una camera di invecchiamento su misura [Figura 54] seguendo le specifiche della normativa UNI EN 14147:2005 "*Natural stone test methods: Determination of resistance to ageing by salt mist*" [6]. All'interno della suddetta norma, sono contenute le modalità di configurazione della camera di invecchiamento e per questo motivo è stato possibile ricrearne una rispettando i parametri di controllo normati.

L'invecchiamento risulta essere necessario per poter valutare la durabilità dei termointonaci al fine di validarne l'utilizzo e l'efficacia in opera. La valutazione e le considerazioni sui provini vengono fatte in due modalità:

1. Ripetendo le prove a T=0 (confronto pre e post invecchiamento)

2. Ispezione visiva e cromatica della superficie deteriorata dei provini a seguito dell'invecchiamento

5.1 CAMERA NEBBIA SALINA

La normativa UNI EN 14147:2005 [6], predispone specifici e dettagliati requisiti per poter validare correttamente la camera da utilizzare tra cui il mantenimento della temperatura interna di (35±5)°C per tutto il funzionamento e il numero di ore per ogni fase del ciclo. Vengono predisposte anche delle prescrizioni relative alla soluzione di cloruro di sodio e sulla capacità della camera di produrre nebbia salina. La prova dura 30 giorni con cicli alternati composti da 4 ore di nebbia salina e 8 ore di essiccazione, quindi in un giorno si effettuano 2 cicli completi per un totale di 720 minuti di funzionamento (240 minuti di ambiente salino e 480 minuti di essiccazione). Con il termine essiccazione si intende quella fase in cui l'atomizzatore non nebulizza la soluzione salina e quindi non vi è la creazione della nebbia. La prova è costituita da 60 cicli, sebbene possa concludersi anche prima se, all'ispezione visiva, almeno due dei provini appaiono fratturati o disintegrati completamente. Questo implica che l'esposizione ai cicli di nebbia salina potrebbe portare a distruzione il provino ponendo fine alla prova di quest'ultimo.

5.1.1 Strumenti e materiali utilizzati

- Camera in grado di eseguire cicli alternati di atmosfera di nebbia salina ed essiccazione alla temperatura di (35 ± 5) °C;

- Sistema per spruzzare la soluzione salina nella camera, che include ugelli di nebulizzazione (atomizzatore) che non spruzzino direttamente sui provini;

- Due o più collettori di nebbia dotati di un'area di raccolta orizzontale di circa 8000 mm^2: in questo particolare studio sono stati impiegati imbuti di diametro 100 mm con gambo inserito in beute graduate;

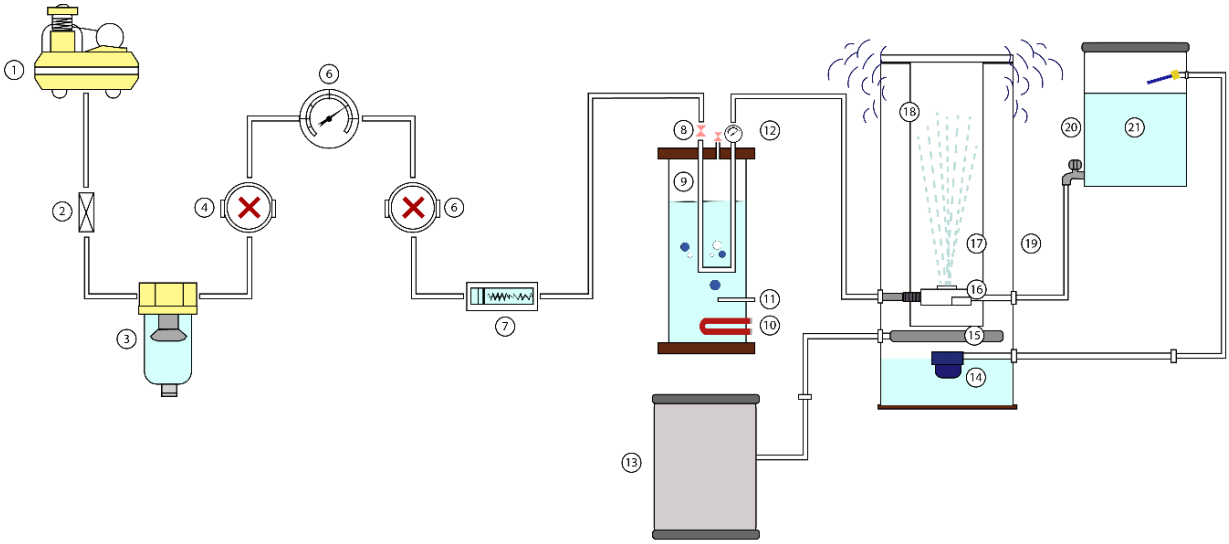
- Radiatore in alluminio [Figura 55] collegato ad un bagno termostatico [Figura 56] in grado di mantenere la temperatura all'interno della camera;

- Serbatoio esterno contenente la soluzione salina;

- Piastre deflettrici per evitare di spruzzare direttamente sui provini;

- Conduttivimetro, in grado di misurare la conducibilità della soluzione salina [Figura 57];
- Sonda elettrica, in grado di misurare temperatura e umidità relativa all'interno della camera [Figura 58];
- Cloruro di sodio con grado di purezza non minore del 95%;
- Soluzione di cloruro di sodio avente una concentrazione di 100 g/L;
- Sistema a tempo autonomo per scandire i cicli alternati;
- Bilancia, in grado di pesare provini con un'accuratezza di 0,1 g;
- Pompa di sentina e sistema di connessioni in PVC per mettere in comunicazione l'impianto;
- Sistema di compressore ad aria compressa.

Di seguito si riporta lo schema per la messa a punto dell'impianto realizzato e convalidato [Figura 54].



LEGEND:

(1) Compressed Air	(4) First stage Pressure Regulator	(7) Reflux Valve	(10) Heater
(2) Pressure Safety System	(5) Pressure Gaunge	(8) Air in-Take	(11) Temperature Sensor
(3) Air Filter	(6) Second stage Pressure Regulator	(9) Humidity Tube	(12) Pressure Gauge
(13) Thermostatic Bath	(16) Atomizing Device	(19) Salt Spray Chamber	
(14) Bilge Pump	(17) Specimen Protection	(20) Tank	
(15) Radiator	(18) Salt Spray (Fog)	(21) Salt Solution	

Figura 54: Schema dell'impianto relativo al funzionamento della camera di invecchiamento

Figura 55: Radiatore in alluminio

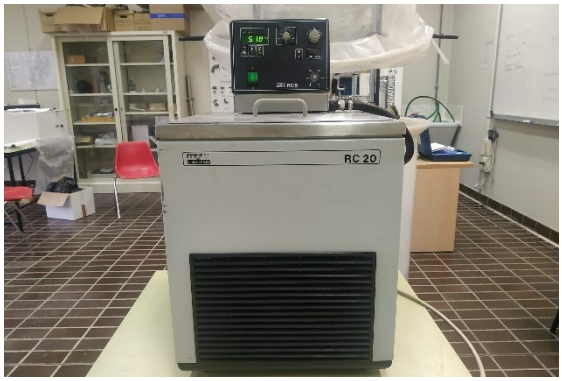


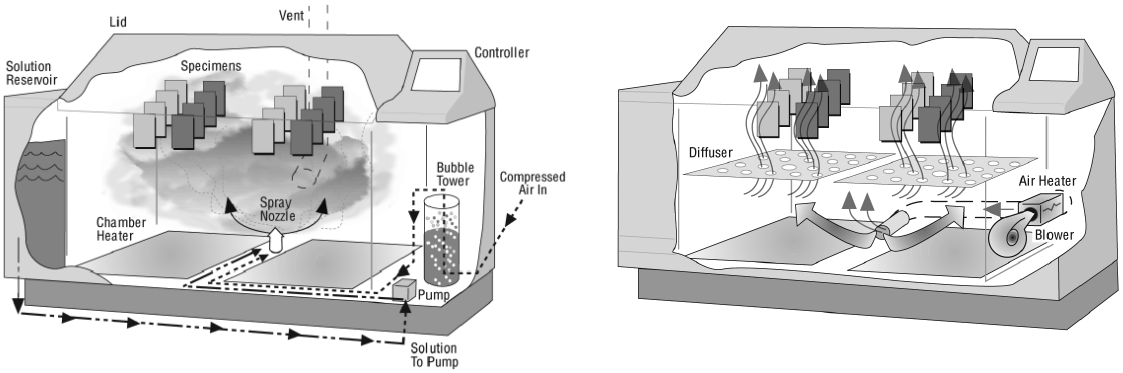
Figura 56: Bagno termostatico

Figura 57: Conduttivimetro

Figura 58: Sonda per temperatura e UR

5.1.2 Principio di realizzazione della camera salina

Per poter realizzare una camera salina che potesse soddisfare i requisiti della normativa, si è compreso quale fosse il suo funzionamento e quali fossero i componenti principali che la compongono. In commercio si possono trovare cabine che hanno diverse funzioni come quella della *Q-Lab Corporation* [ALLEGATO 2] che permette di ricreare diversi cicli, come quello con e senza nebbia [Figura 59].



Chamber performing the fog function *Chamber showing the dry-off environment*

Figura 59: Schematizzazione di alcuni cicli realizzabili con una salt chamber della Q-Lab Corporation.

Analizzando attentamente il funzionamento, si deduce che è un sistema combinato ad acqua e ad aria compressa le cui componenti principali sono esemplificati nella Figura 60. La soluzione viene immessa nel sistema mediante un serbatoio con capienza di 100 litri il quale contiene la soluzione salina controllata. La soluzione viene convogliata all'atomizzatore (*spray nozzle*) all'interno della camera stagna il cui funzionamento è scandito da un temporizzatore. L'aria, invece, dal compressore passa a un gorgogliatore il quale risulta essere un sistema che ha il compito di umidificarla e scaldarla. Grazie a questo passaggio si riesce ad ottenere un effetto nebbia con più vapore senza variare notevolmente la temperatura interna della camera che deve mantenersi a (35±5)°C.

La *spray tower* è il luogo dove questi due sistemi si uniscono e mixano. La soluzione in eccesso si deposita sul fondo durante la prova e viene poi drenata in un secondo momento. Sono presenti due collettori, uno posto vicino alla tower e uno più lontano che fungono da verificatori: raccolgono la soluzione durante la prova e, misurandone la quantità e la conducibilità elettrica, è possibile stabilire l'efficacia della prova. La temperatura è controllata durante tutto il processo e il pannello di controllo si possono impostare le tempistiche dei cicli.

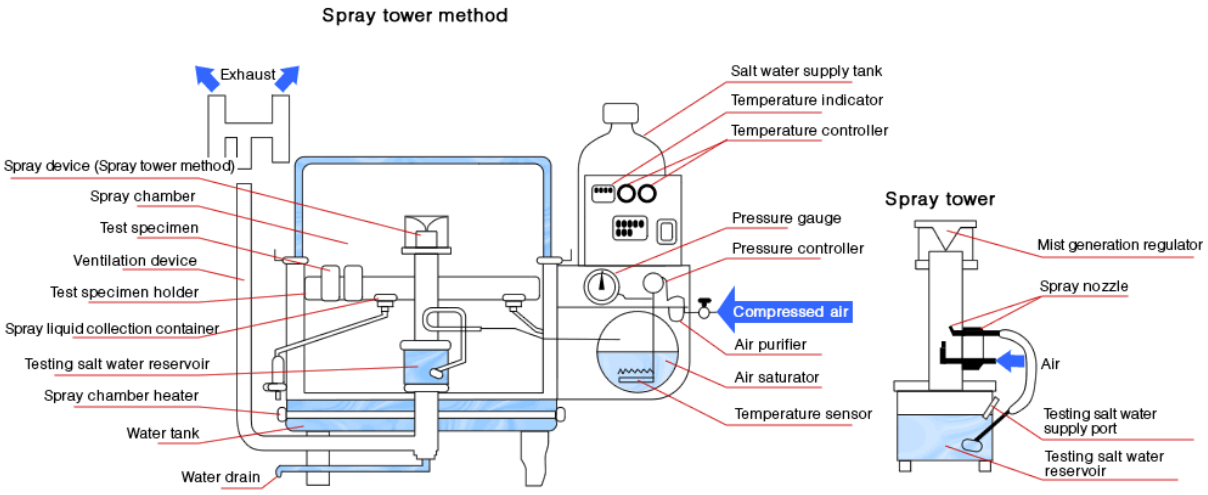
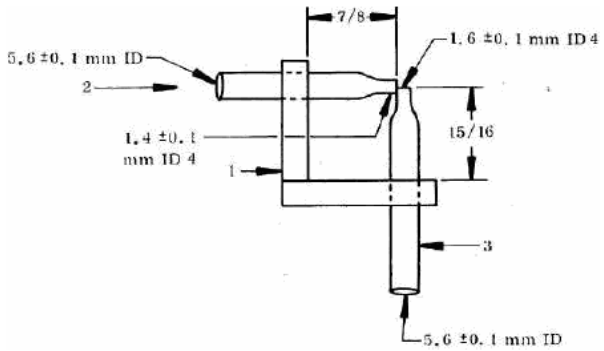


Figura 60: Neutral salt water spray test methods [https://www.misumi-techcentral.com/]

Particolare attenzione è stata posta al *salt spray nozzle* (definito anche come atomizzatore), elemento focale della camera che comunemente è realizzato in vetro [Figura 61]. È caratterizzato da due cilindri, perpendicolari tra loro, di diametri tali da avere un'opportuna nebbia in grado di non bagnare i provini anche con l'impiego di poca pressione del compressore.

Spray nozzle in vetro reperibile in commercio



Schema dello spray nozzle.

Figura 61: Salt Spray Nozzle

5.1.3 Costruzione della camera

Per la realizzazione dell'involucro esterno della camera di nebbia salina, si è impiegato un contenitore cilindrico in PVC di diametro 90 cm [Figura 62] avente anche lo scopo di essere un serbatoio di raccolta per la soluzione in eccesso e per quella che condensa all'interno della struttura. All'interno è stata posta una struttura parallelepipeda in acciaio alta 210 cm nella quale si sono inseriti 10 scaffali quadrati 45x45 cm posti ad un interasse tale da poter posizionare in maniera corretta i provini all'interno della camera. Nella parte sottostante della scaffalatura, si è inserito un radiatore in alluminio [Figura 63] con lo scopo di mantenere una temperatura di (35 ± 5) °C costante e quest'ultimo non è a contatto con la soluzione che si deposita sul fondo del contenitore cilindrico. Per poter proteggere i provini dal getto diretto dello *spray nozzle*, si è inserito un mezzo tubo in PVC opportunamente sagomato collegato saldamente alla struttura in acciaio per mezzo di fascette. In questo medo, in conformità con la normativa, la nebbia prodotta dal sistema non bagna direttamente i provini ma si ottiene un ambiente salino e si ricrea l'effetto dello *spray tower* [Figura 64]. Per rendere stagna la camera, si è creato un coperchio a cui viene collegato un telo trasparente di plastica la cui estremità viene resa rigida attraverso un tubo circolare [Figura 65]. Quest'ultimo si fissa a pressione e ad incastro al contenitore cilindrico di base, permettendo così di aver un sistema chiuso.

Figura 62: Contenitore cilindrico di base in PVC

Figura 63: Radiatore e scaffalatura in acciaio

Figura 64: Sistema "spray tower"

Figura 65: Copertura stagna e telo in PVC

Realizzazione dell'involucro della camera di nebbia salina.

Successivamente è stato costruito uno *spray nozzle* [Figura 66] costituito da un elemento metallico di base triangolare dove si incontrano il flusso d'aria compressa e soluzione salina, in riferimento allo schema della Figura 61. I condotti che portano i due composti, presentano delle strozzature in modo che l'azione combinata possa produrre l'effetto nebbia desiderato. Tale sistema è stato necessario anche al fine di far lavorare l'impianto a pressioni idonee ottenendo il risultato atteso e normato. La pressione di esercizio risulta essere di 0,7 bar.

Figura 66: Salt spray nozzle realizzato con componenti metalliche

Per raffinare il funzionamento del sistema e rispettare i requisiti da normativa, si è realizzato un gorgogliatore per umidificare e scaldare l'aria in entrata. Il sistema del gorgogliatore è composto da piccolo serbatoio stagno (elemento in PVC cilindrico DN 200) avente due basi costituite da coperchi [Figura 67]. Quest'ultimi sono composti da sezioni circolari aventi dei fori i quali sono stati fissati per mezzo di viti filettate, dadi e rondelle a successive flange [Figura 69]. Per rendere solidale il collegamento tra i coperchi e il cilindro del serbatoio viene data una mano di primer e di colla Tangit [Figura 68], garantendo una chiusura stagna ed ermetica del sistema.

Figura 67: Serbatoi cilindrico in PVC

Figura 68: Colla Tangit

Figura 69: Flange di chiusura

Figura 70: Viti autofilettante

Fasi salienti della realizzazione del sistema del gorgogliatore.

All'interno del sistema appena descritto, viene inserita una resistenza di rame a forma di bobina la quale ha il compito di scaldare l'acqua all'interno del gorgogliatore e portarla a 35°C in modo da non avere dei gap termici che potrebbero abbassare la temperatura all'interno della camera di nebbia salina. Sulla flangia superiore sono stati realizzati 4 fori con opportune filettature [Figura 72]: due sono la mandata e il ritorno dell'acqua che passa nella resistenza a cui è collegato il bagno termostatico e due sono la mandata e il ritorno dell'aria compressa. Al tubo di ritorno del gorgogliatore è stato inserito un filtro, per evitare che ipotetiche particelle arrivassero allo *salt spray nozzle.* Si è dunque assemblato l'intero elemento collegando gli estremi della bobina al coperchio, inserendola nel contenitore e sigillando il tutto. Sono stati poi collegati i tubi dell'acqua secondo il seguente circuito:

1. Partenza: bagno termostatico [Figura 74];
2. Passaggio all'interno della resistenza a forma di bobina nel gorgogliatore;
3. Passaggio all'interno del radiatore in alluminio posto nella camera di nebbia salina [Figura 63];
4. Ritorno al bagno termostatico;
5. Partenza aria compressa dal compressore;
6. Passaggio per il gorgogliatore dove si umidifica e riscalda l'aria;

7. Arrivo della soluzione salina e dell'aria umidificata e calda allo *spray nozzle*.

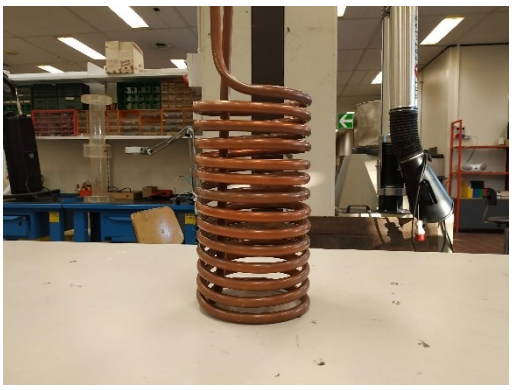


Figura 71: Resistenza in rame a forma di bobina

Figura 72: Fori per realizzazione circuito

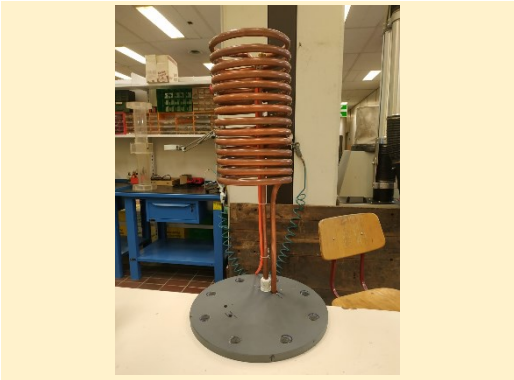


Figura 73: Collegamenti bobina

Figura 74: Connessioni al bagno termico

Figura 75: Collegamento Spray Nozzle

Figura 76: Collegamento circuito finale

Fasi salienti della realizzazione dei due circuiti della camera di nebbia salina.

Per poter immettere all'interno del circuito la soluzione salina opportunamente preparata, si è impiegato un serbatoio in PVC nero da 100 L. Tale capienza è stata dimensionata in

base al tempo di funzionamento del sistema in autonomia. Sulla parete perimetrale del serbatoio sono stati realizzati due fori posti in posizione opposta:

- Mandata: in basso abbiamo il foro di immissione della soluzione salina attraverso un sistema di tubazioni collegate ad un'elettrovalvola che arriva poi allo *spray nozzle* all'interno della camera di nebbia salina;

- Ritorno: in alto abbiamo il foro di emissioni del residuo di soluzione proveniente dalla camera di nebbia salina all'interno del serbatoio di partenza grazie all'ausilio di una pompa di sentina con funzionamento programmato (portata di 15 L/min e con tempo di esercizio: 4 minuti).

Per rendere autonomo tutto il circuito, si sono inseriti dei temporizzatori in grado di scandire correttamente i cicli di esercizio di tutto il sistema. Si sono anche inserite due elettrovalvole collocate rispettivamente alle mandate di aria compressa e soluzione salina [Figura 77].

All'interno della camera di nebbia salina è stata inserita una pompa di sentina [Figura 78] precedentemente annunciata. Quest'ultima ha il compito, una volta al giorno di svuotare la camera di nebbia salina e riempire il serbatoio contenente la soluzione al fine di evitare due problematiche:

1. Ristagno e accumulo della soluzione all'interno della camera di nebbia salina;

2. Recupero di tale soluzione e mescolazione della soluzione salina all'interno del serbatoio nero evitando il possibile deposito di particelle sul fondo.

Al fine di controllare in via remota il corretto funzionamento dell'intero sistema, si sono posizionate una serie di telecamere a circuito chiuso [Figura 79] con funzione infrarossi (per poter visionare il funzionamento anche di notte) collegate ad un PC. Grazie al programma *Team Viewer,* è stato possibile controllare la camera di nebbia salina anche durante il periodo natalizio [Figura 81].

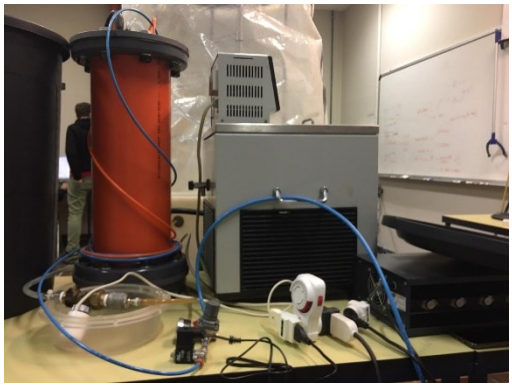


Figura 77: Temporizzatori ed elettrovalvole

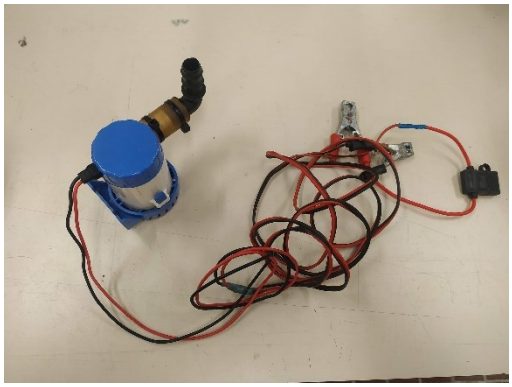


Figura 78: Pompa di sentina

Figura 79: Sistema di telecamere

Figura 80: Sistema completo

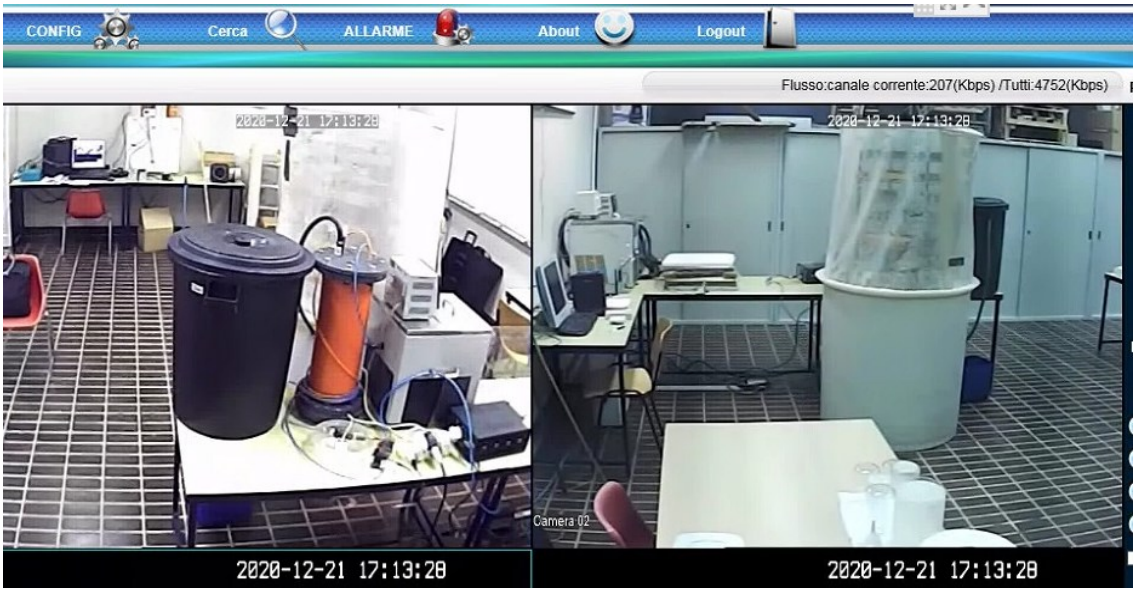


Figura 81: Viste dal sistema di telecamere

5.2 PROCEDIMENTO DELLA PROVA: cicli di invecchiamento

Prima dell'utilizzo della camera, si è eseguita una prova di messa a punto preliminare collaudando i collettori di nebbia [Figura 82] posizionati rispettivamente uno vicino allo *spray nozzle* e uno lontano, lasciando nebulizzare per almeno 16 h come da normativa. Dopo 16 ore di funzionamento continuo, si è verificato il contenuto di soluzione salina all'interno delle beute.

La soluzione salina è stata preparata utilizzando cloruro di sodio con grado di purezza non minore del 95% e acqua avente una conduttività minore uguale a 20 µS/cm. Per le dosi per la soluzione, si sono sciolti (10±1) parti in massa di cloruro di sodio in 90 parti di acqua per ottenere una concertazione di (100±10) g/L come da normativa [6].

Posizionati i provini sui supporti [Figura 87], si sono esposti alla nebbia salina per 4 h ± 15 min e si è poi disattivato il sistema di spruzzatura salina, essiccando i provini nella camera, per 8 h ± 15 min. Ciò costituisce un ciclo [Tabella 9] durante il quale la temperatura nella camera si è mantenuta costante a (35 ± 5) °C [33][34].

Tabella 9:Descrizione del ciclo di invecchiamento base

Descrizione di un ciclo		**Ore totali di funzionamento**	
Temperatura della camera mantenuta a (35±5) °C		**Tempi**	***tot***
Nebbia salina	4 h ± 15 min	4x60= 240 h	**720 h**
Spegnere il sistema di spruzzo		8x60= 480 h	
Essicazione	8 h ± 15 min		

La prova si è costituita da 60 cicli per un totale di 30 giorni. Una volta a settimana i provini sono stati sottoposti ad un'indagine visiva per verificare l'avanzamento della prova e in tale occasione vengono registrate anche le masse.

Figura 82: Posizionamento collettori di controllo prova

Figura 83: Controllo soluzione salina

Fasi di collaudo della camera

5.3 PROVINI

Al processo di invecchiamento artificiale, sono state sottoposte tutte le tipologie di miscele precedentemente descritti e identificati al paragrafo 3.2.

Quindi per ogni miscela sono stati inseriti nella camera di nebbia salina tutti i vari provini che corrispondono alle descrizioni campioni testati a T=0 al fine di poter effettuare il giusto confronto tra le analisi e le prove pre e post invecchiamento. Per cui si sono realizzati i seguenti provini per un totale di 28 campioni:

- 1 tripletta 4x4x16 cm per ogni miscela stagionati a 28 gg con le condizioni indicate nella Tabella 6 al cap. 3 [Figura 84];
- 1 provini termici per ogni miscela stagionati a 28 gg con le condizioni indicate nella Tabella 6 al cap. 3 [Figura 85];
- 3 provini a disco piatto per ogni miscela stagionati a 28 gg con le condizioni indicate nella Tabella 7 al cap. 3 [Figura 86];

Si sono posizionati [Figura 87] all'interno della camera sulle relative scaffalature precedentemente inserite in condizioni tali da essere sottoposti solo alla nebbia salina, evitando zone di spruzzatura diretta o di gocciolamento, e da non toccarsi direttamente.

Figura 84: es. provini prismatici

Figura 85: es. provino termico

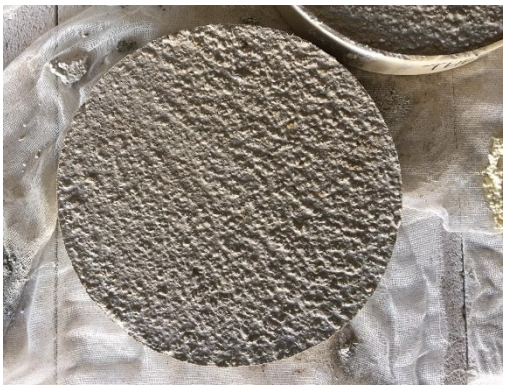


Figura 86: es. provino a disco piatto

Figura 87: Posizionamento provini nella camera di nebbia salina

Di seguito vengono riportati delle foto dei provini a seguito dell'invecchiamento.

Figura 88: provini prismatici Aged

Figura 89: es. provino termico Aged

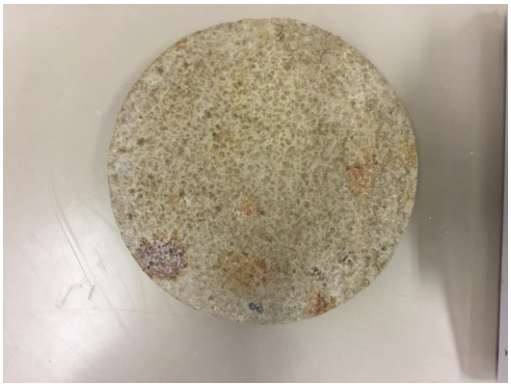


Figura 90: es. provino a disco piatto Aged

Figura 91: Stato della strumentazione Aged

A seguito dell'invecchiamento i provini vengono inseriti nel forno ventilato ad una temperatura di (35±5)°C prima di effettuare le prove post invecchiamento descritte nel cap. 7.

6 RISULTATI TEMPO T=0

6.1 Analisi per la caratterizzazione delle malte mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) e analisi spettroscopia EDX

Lo scopo della prova è l'analisi della topografia e della microstruttura della superficie del campione attraverso una scansione in scala di grigi e bidimensionale. Sono state analizzate in maniera qualitativa e quantitativa la distribuzione degli elementi presenti in una zona in esame valutandone anche la loro concentrazione. L'indagine è di tipo non distruttiva. Per ogni campione sono stati realizzati i seguenti ingrandimento attraverso il Vega: x33, x100; x200; x500; x1000. In aggiunta sono state effettuate ulteriori analisi con il Zeiss arrivando ad ingrandimenti sino a x10000. Si sono scelti i punti di frontiera tra la matrice e l'aggregato con funzioni coibenti.

Risultati

- Campione *LIME-CEM-EPS (i dati raccolti dell'analisi EDX sono raccolti nell'Allegato A)*

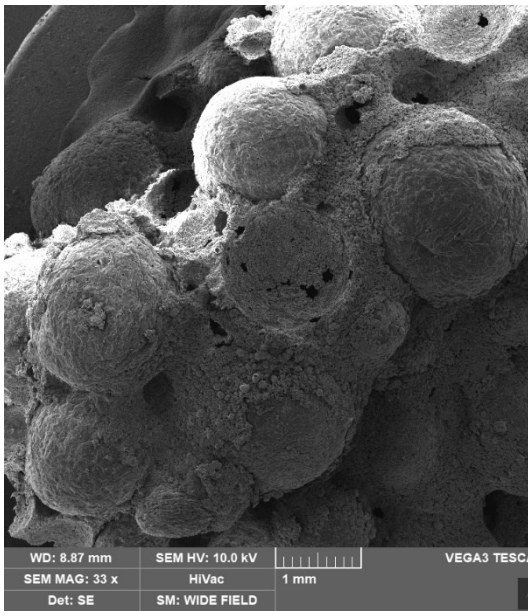


Figura 92: LIME-CEM-EPS x 33

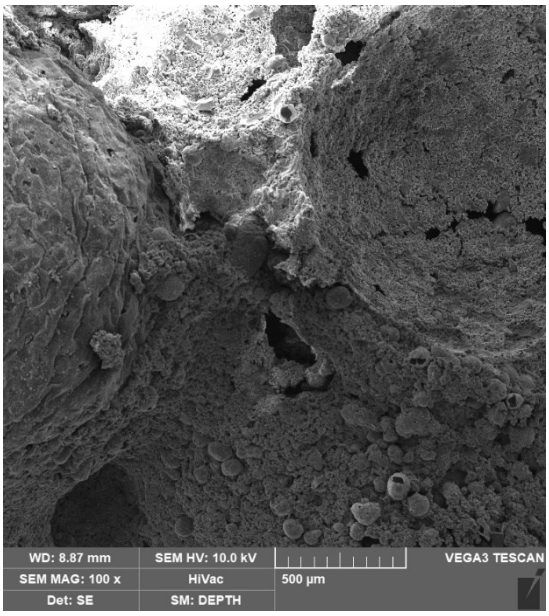


Figura 93: LIME-CEM-EPS x 100

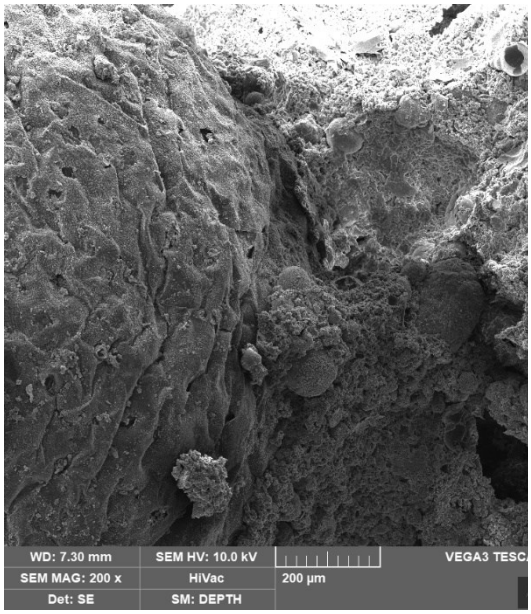


Figura 94: LIME-CEM-EPS x 200

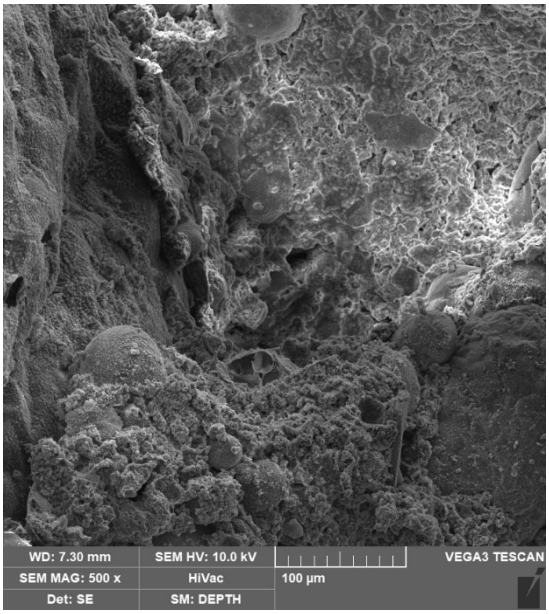


Figura 95: LIME-CEM-EPS x 500

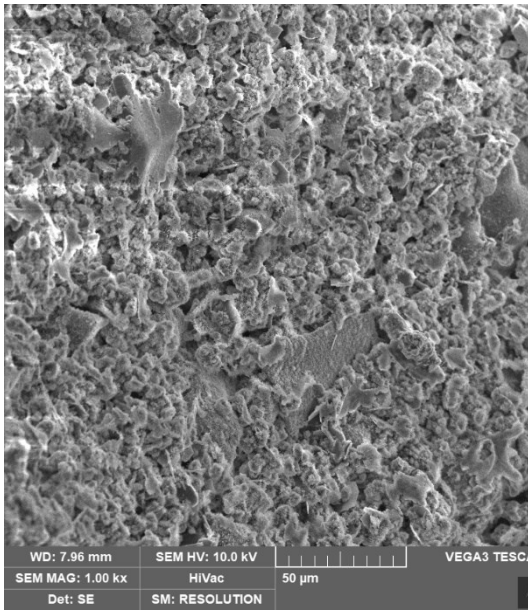


Figura 96: LIME-CEM-EPS x 1000

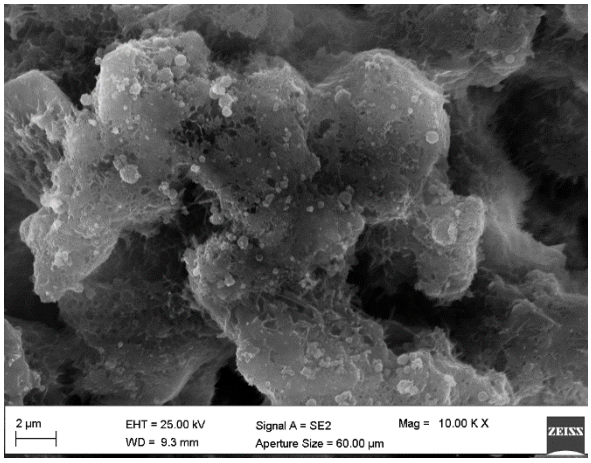


Figura 97: LIME-CEM-EPS x 10000

- Campione *LIME-EPS (i dati raccolti dell'analisi EDX sono raccolti nell'Allegato B)*

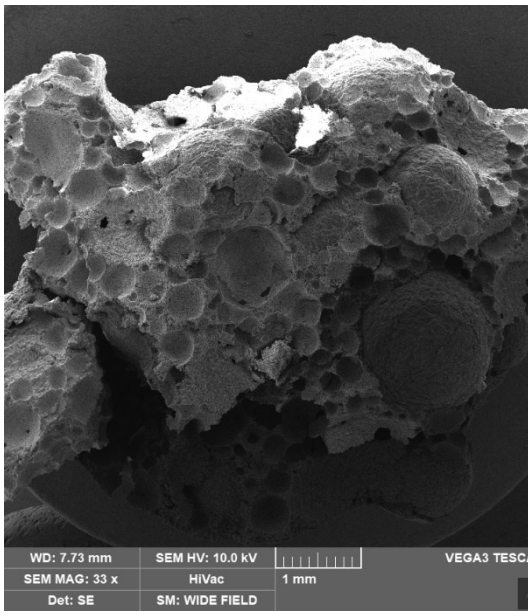


Figura 98: LIME-EPS x 33

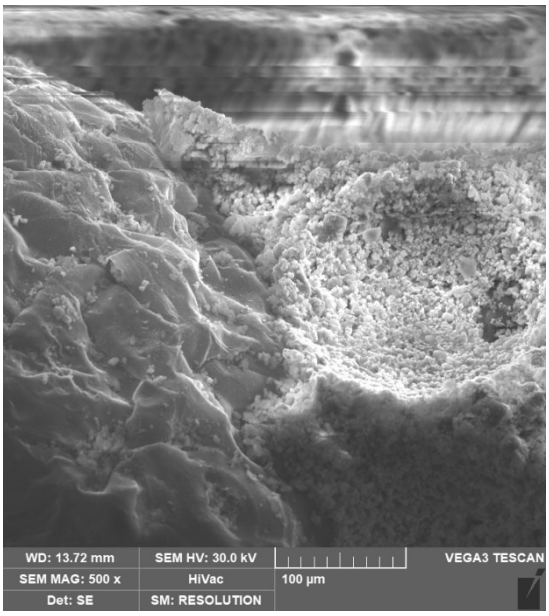


Figura 99: LIME-EPS x 100

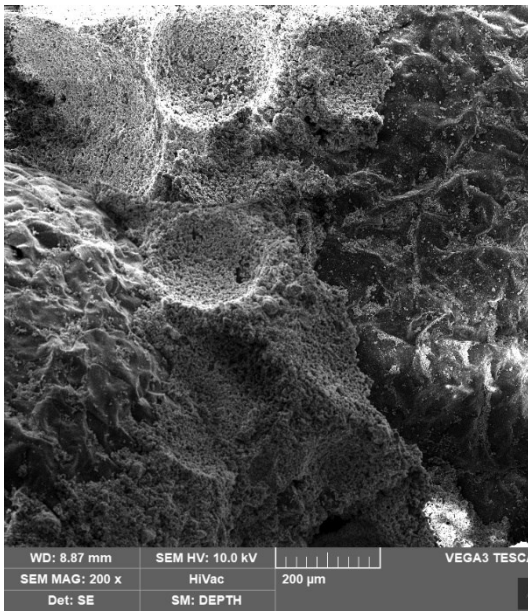


Figura 100: LIME- EPS x 200

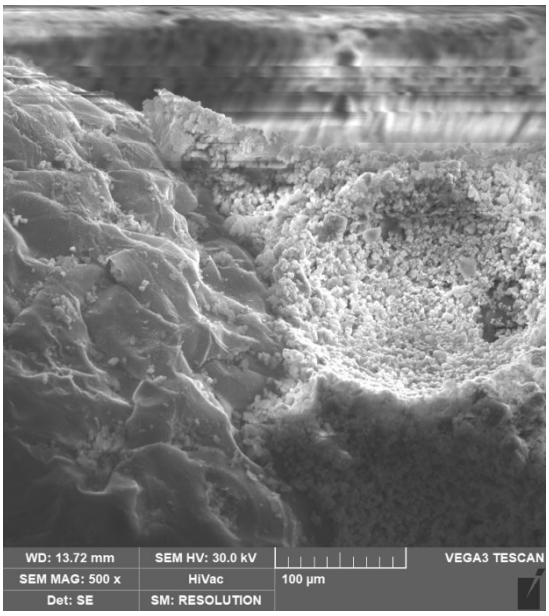


Figura 101: LIME-EPS x 500

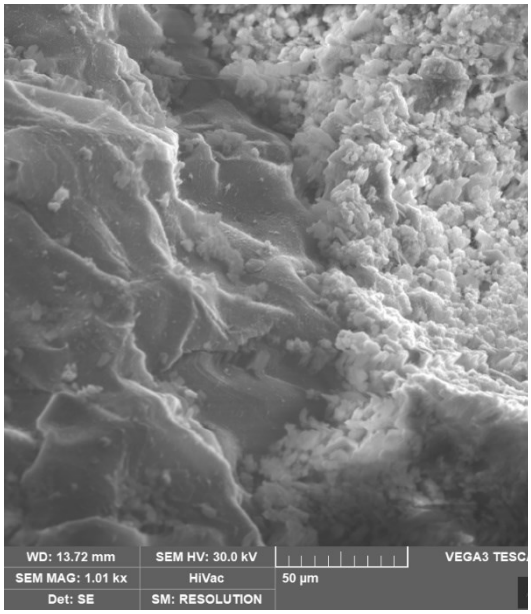


Figura 102: LIME-EPS x 1000

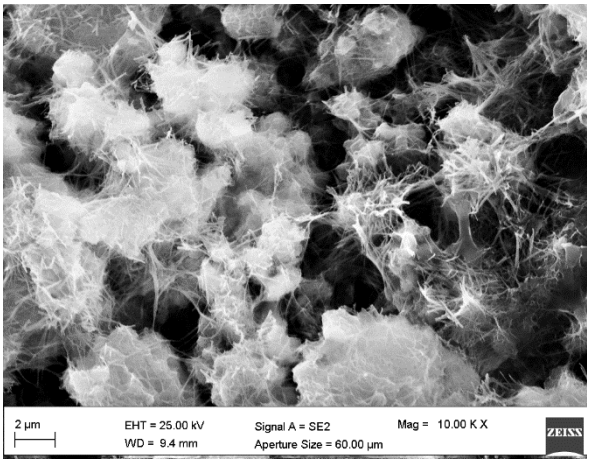


Figura 103: LIME-EPS x 10000

- Campione *NHL-CORK (i dati raccolti dell'analisi EDX sono raccolti nell'Allegato C)*

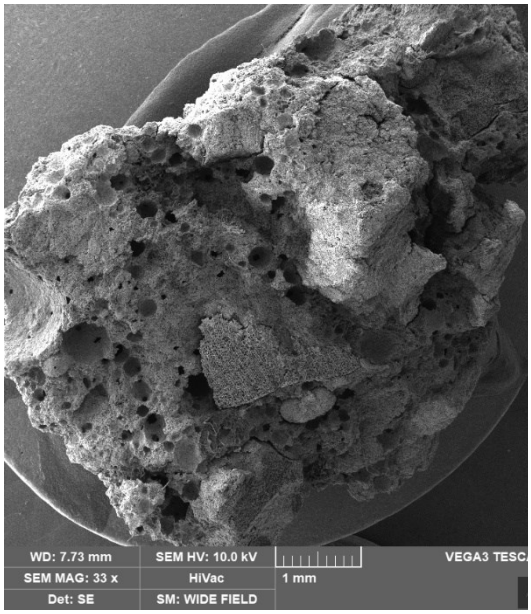


Figura 104:NHL-CORK x 33

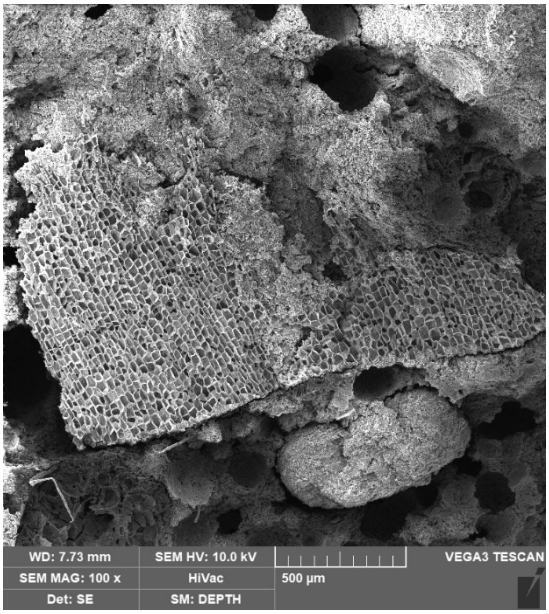


Figura 105:NHL-CORK x 100

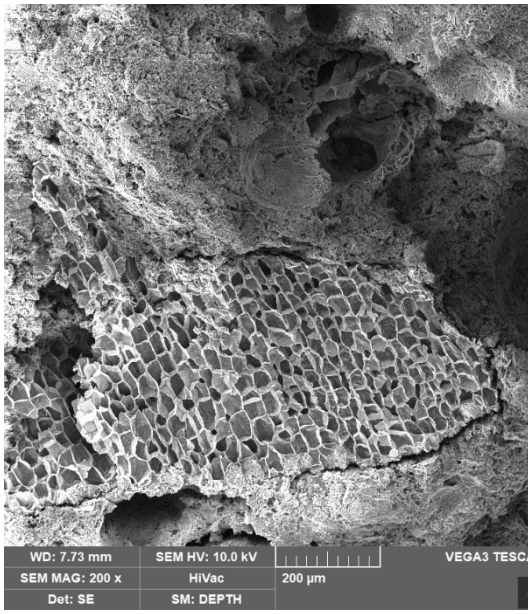


Figura 106:NHL-CORK x 200

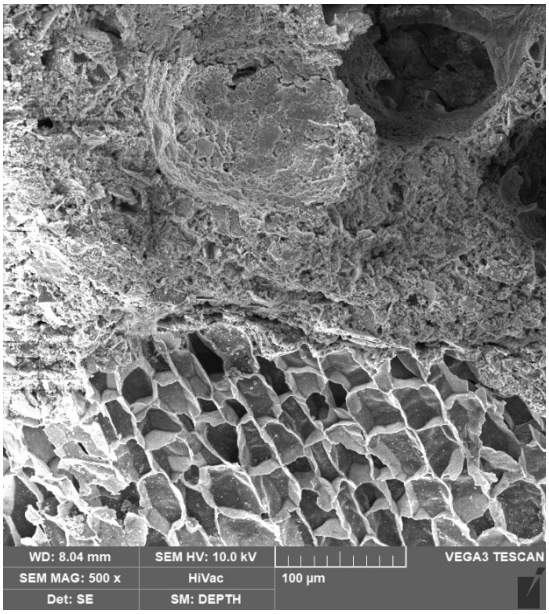


Figura 107:NHL-CORK x 500

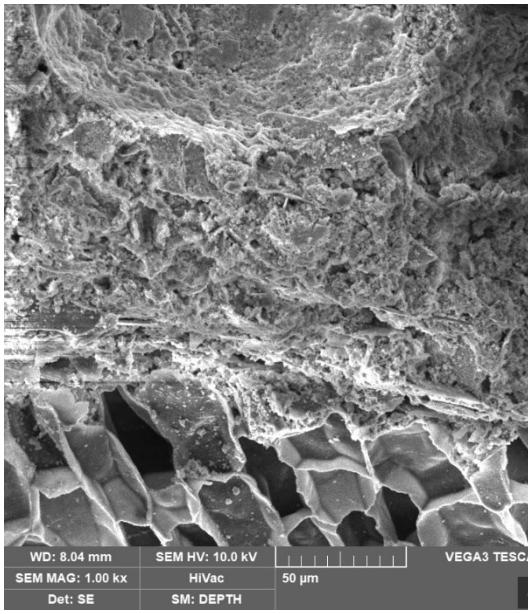


Figura 108:NHL-CORK x 1000

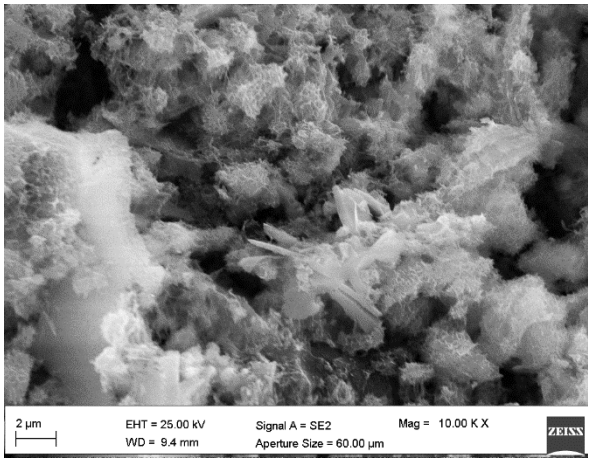


Figura 109:NHL-CORK x 10000

- Campione *NHL-CORK-DEUM (i dati raccolti dell'analisi EDX sono raccolti nell'Allegato D)*

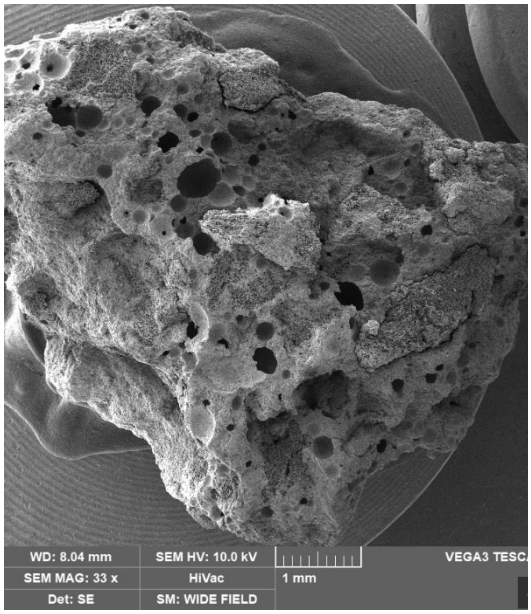


Figura 110:NHL-CORK-DEUM x 33

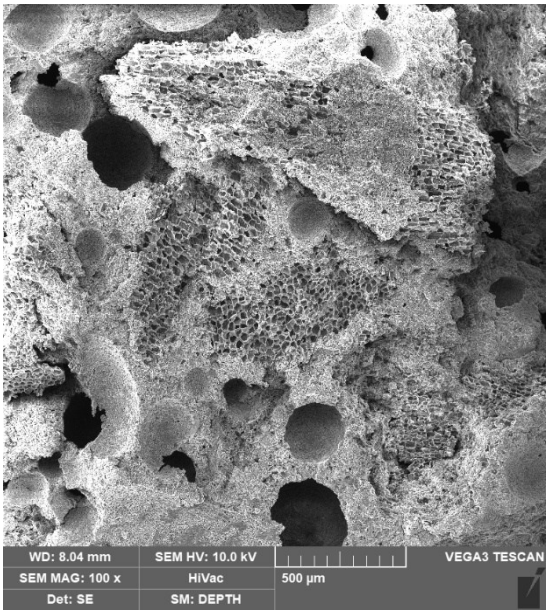


Figura 111:NHL-CORK-DEUM x 100

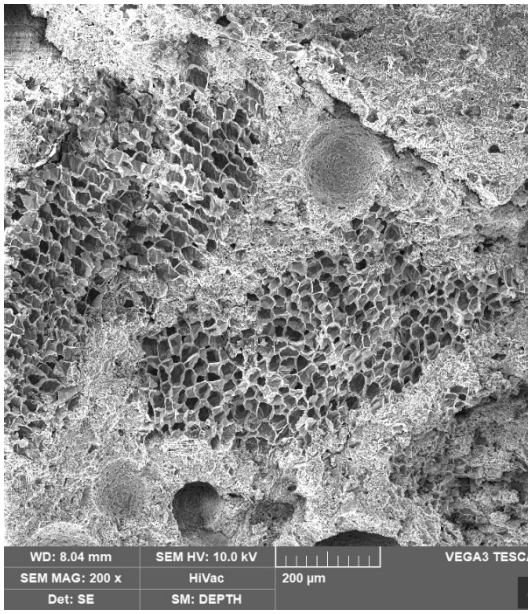


Figura 112:NHL-CORK-DEUM x 200

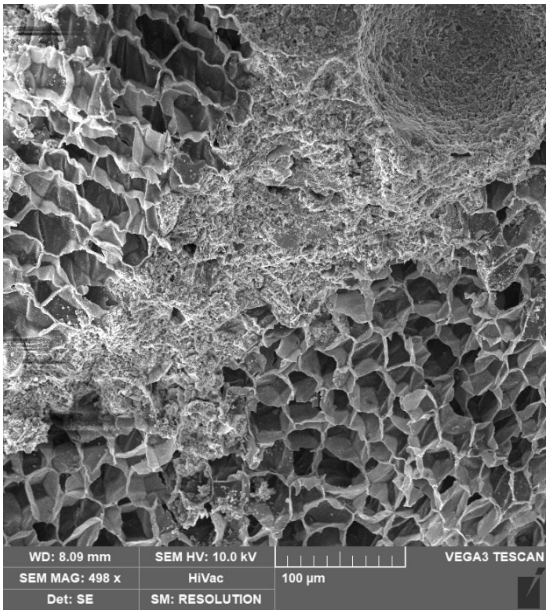


Figura 113:NHL-CORK-DEUM x 500

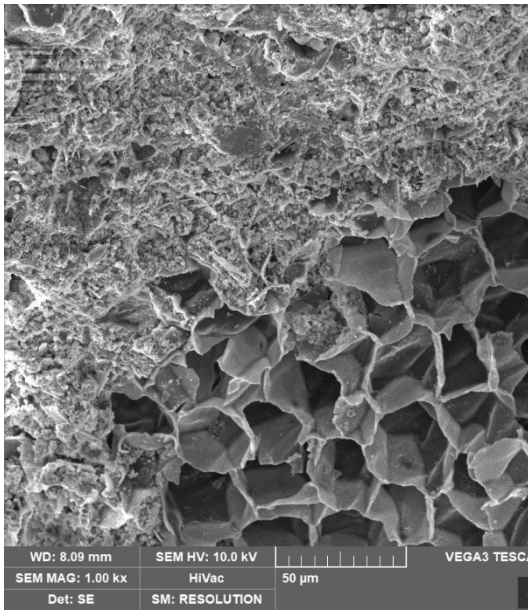


Figura 114:NHL-CORK-DEUM x 1000

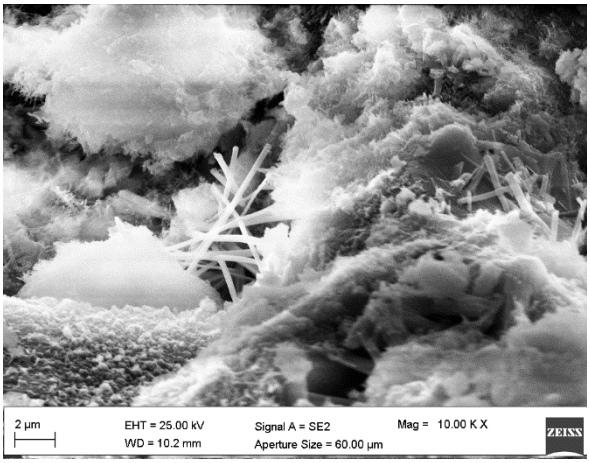


Figura 115:NHL-CORK-DEUM x 10000

	Weight % of binder									
Campione	***C***	***O***	***Mg***	***Na***	***Al***	***Si***	***S***	***Cl***	***K***	***Ca***
LIME-CEM-EPS	8,39	49,25	0,32	1,8	0,75	7,6	1,45	0,53	0,79	29,11
LIME-EPS	6,22	43,06	0,44	-	0,98	2,16	1,15	-	0,5	46,64
NHL-CORK	6,53	39,21	0,9	1,8	3,59	7,7	9,09	-	-	31,18
NHL-CORK-DEUM	5,38	42,43	0,84	-	1,85	4,01	-	-	-	45,5

Tabella 10: Risultati analisi EDX su matrice

	Weight % of aggregate									
Campione	***C***	***O***	***Mg***	***Na***	***Al***	***Si***	***S***	***Cl***	***K***	***Ca***
LIME-CEM-EPS	89,76	7,23	-	-	-	-	-	-	-	3
LIME-EPS	89,59	9,37	-	-	-	0,26	-	-	-	0,78
NHL-CORK	2,54	33,95	-	1,17	0,66	1,47	-	-	-	60,22
NHL-CORK-DEUM	54,88	28,73	-	-	-	-	-	-	-	18,59

Tabella 11: Risultati analisi EDX sugli aggregati

Considerazioni

Tutti i campioni analizzati presentano una struttura differente. Nei campioni *LIME-CEM-EPS* e *LIME-EPS* si possono notare dei crateri che corrispondono all'alloggio delle microsfere di EPS. Dal punto di vista della composizione elementare, i due campioni non si discostano più di tanto l'uno dall'altro ma risultano essere differenti dal *NHL-CORK* e *NHL-CORK-DEUM.* Quest'ultimi presentano delle microporosità e macroporosità. È possibile notare la struttura alveolare del sughero e la presenza di pori di forma sferica dovuti molto probabilmente dal fenomeno del trascinamento d'aria. L'analisi EDX

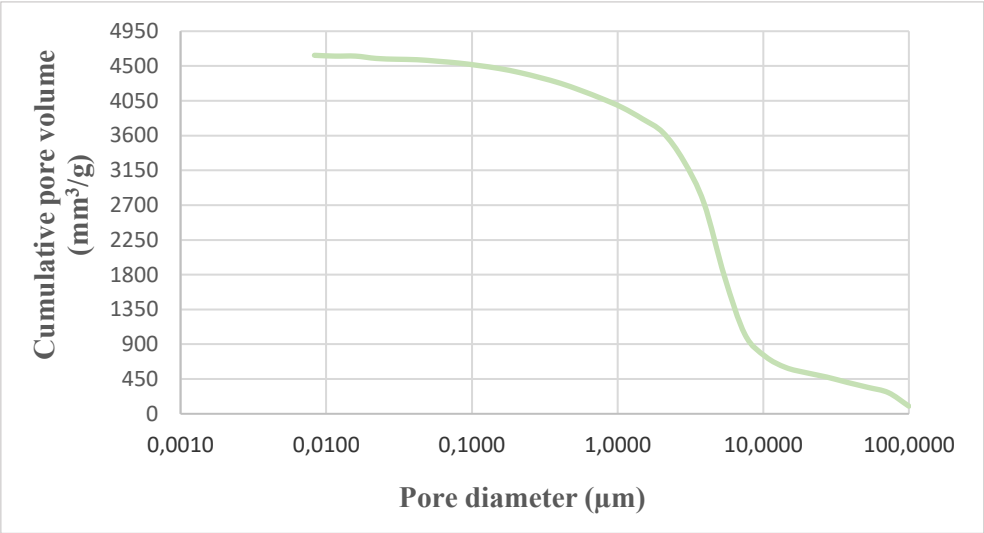
dell'aggregato *NHL-CORK-DEUM* non rispecchia un'elevata presenza di elementi vegetali. Si presume di aver analizzato una zona con una bassa presenza di sughero.

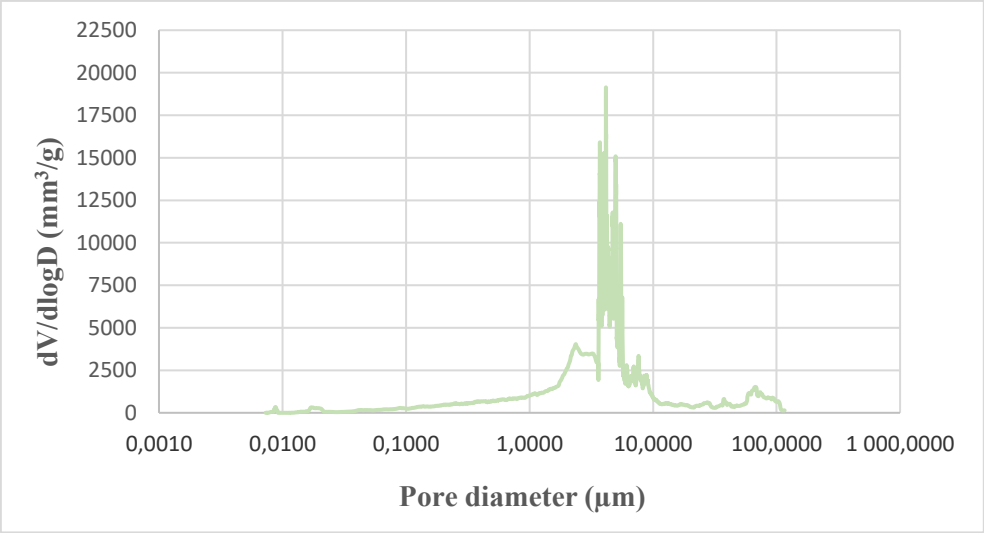
6.2 Analisi della distribuzione dei pori attraverso il MIP

È il metodo che permette di determinare la distribuzione delle dimensioni dei pori e dei rispettivi picchi. La tecnica permette di valutare la porosità aperta totale e l'individuazione della dimensione dei diametri più frequenti. Si utilizza un angolo di contatto di 140°. Per i campioni *LIME-CEM-EPS* e *LIME-EPS* non si considera la compressibilità delle microsfere di EPS.

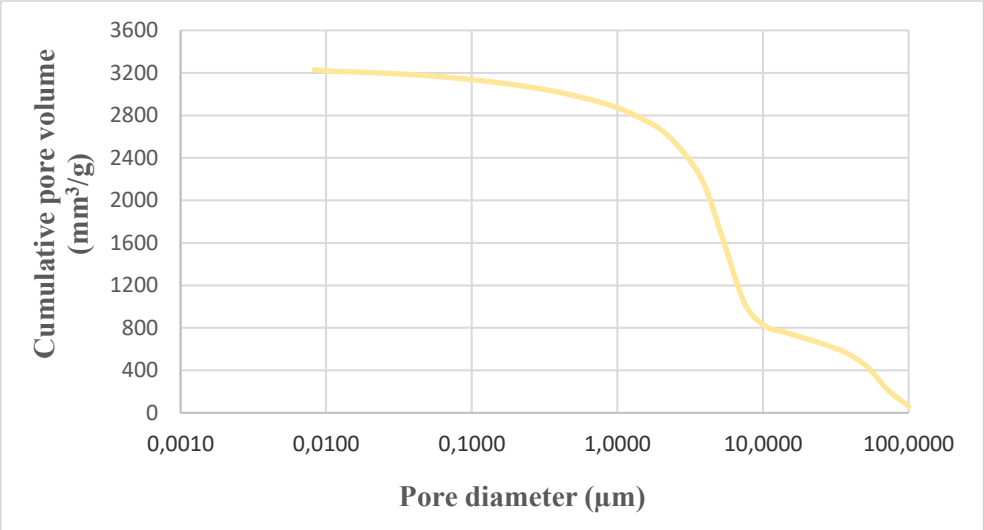
Raccolta dati e risultati

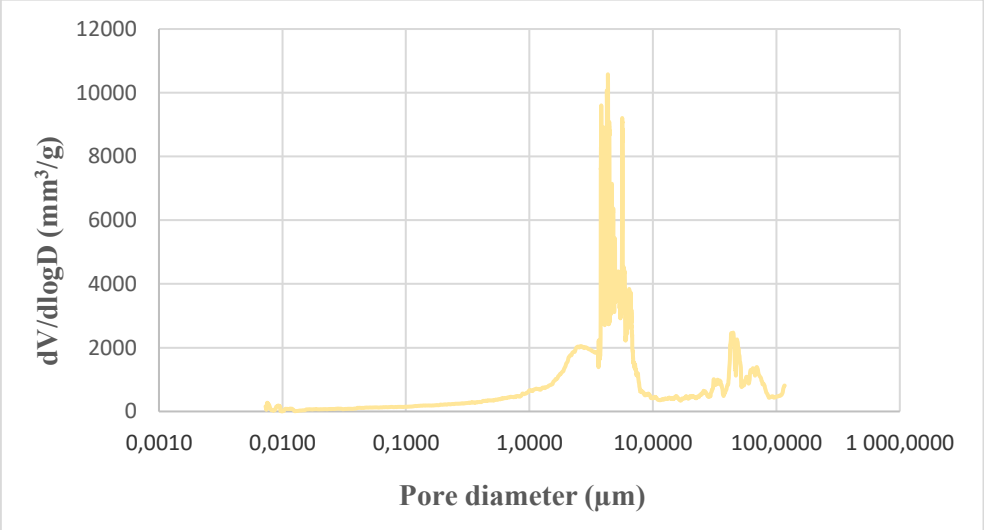
- *LIME-CEM-EPS*



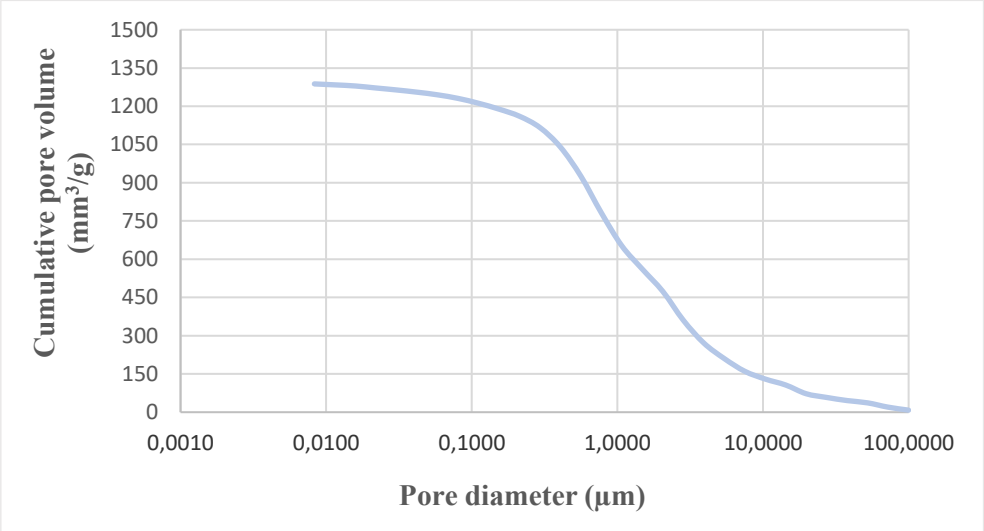

22500
20000
17500
15000
12500
10000
7500
5000
2500
0
dV/dlogD (mm³/g)
0,0010
0,0100
0,1000
1,0000
10,0000
100,0000
1 000,0000
Pore diameter (µm)

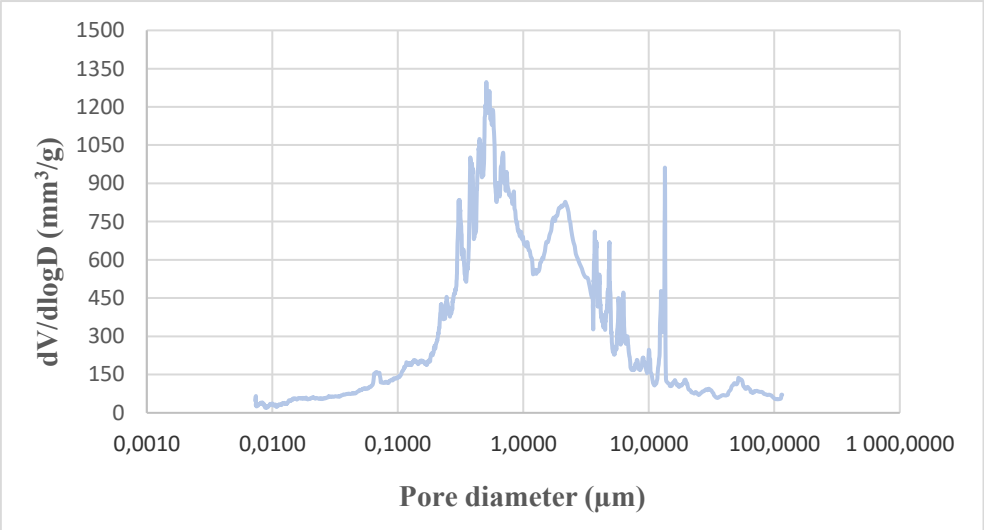
- *LIME-EPS*


3600
3200
2800
2400
2000
1600
1200
800
400
0
Cumulative pore volume (mm³/g)
0,0010
0,0100
0,1000
1,0000
10,0000
100,0000
Pore diameter (µm)

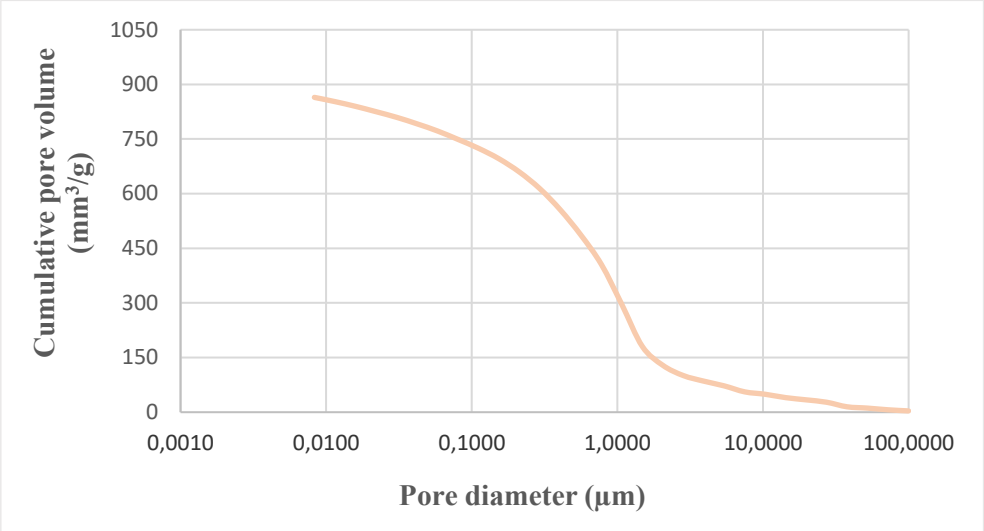

12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
dV/dlogD (mm³/g)
0,0010
0,0100
0,1000
1,0000
10,0000
100,0000
1 000,0000
Pore diameter (µm)

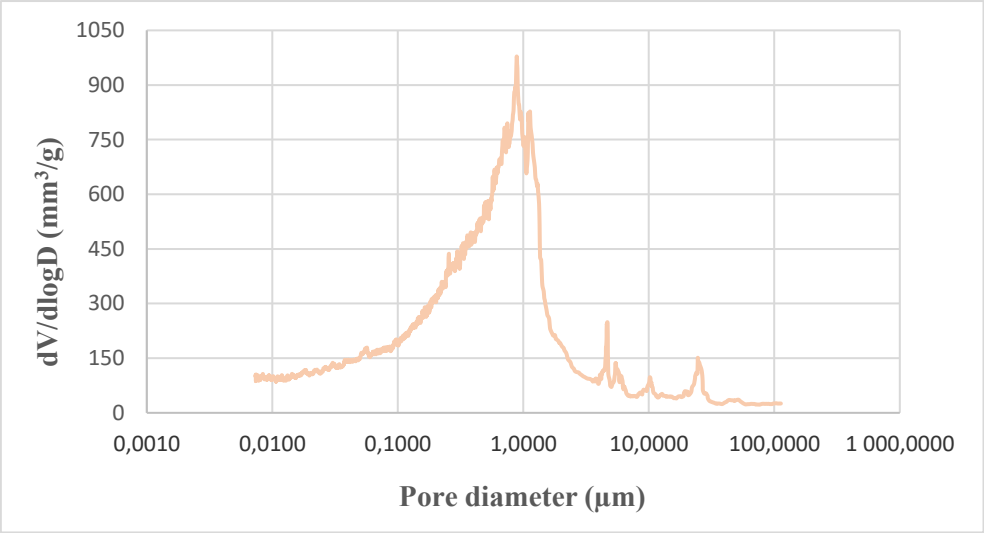
- *NHL-CORK*


Cumulative pore volume (mm³/g)
1500
1350
1200
1050
900
750
600
450
300
150
0
0,0010
0,0100
0,1000
1,0000
10,0000
100,0000
Pore diameter (µm)


dV/dlogD (mm³/g)
1500
1350
1200
1050
900
750
600
450
300
150
0
0,0010
0,0100
0,1000
1,0000
10,0000
100,0000
1 000,0000
Pore diameter (µm)

- *NHL-CORK-DEUM*





Considerazioni

A causa della presenza delle microsfere di EPS, le curve ottenute dalla prova potrebbero essere influenzate dalle caratteristiche del materiale plastico quali la compressibilità. Comunque, dalla prova emerge che i campioni *LIME-CEM-EPS* e *LIME-EPS* risultano essere molto porosi con una percentuale di porosità aperta totale rispettivamente di 87,43% e 84,69%.

Invece il campione *NHL*-CORK invece presenta una porosità totale aperta del 72,77% con una distribuzione porosimetrica trimodale.e *NHL-CORK-DEUM* risulta avere una porosità totale aperta del 63,35% con una curva di distribuzione bimodale.

Dalla sovrapposizione delle curve, possiamo affermare che il campione LIME-CEM-EPS è l'intonaco più poroso.

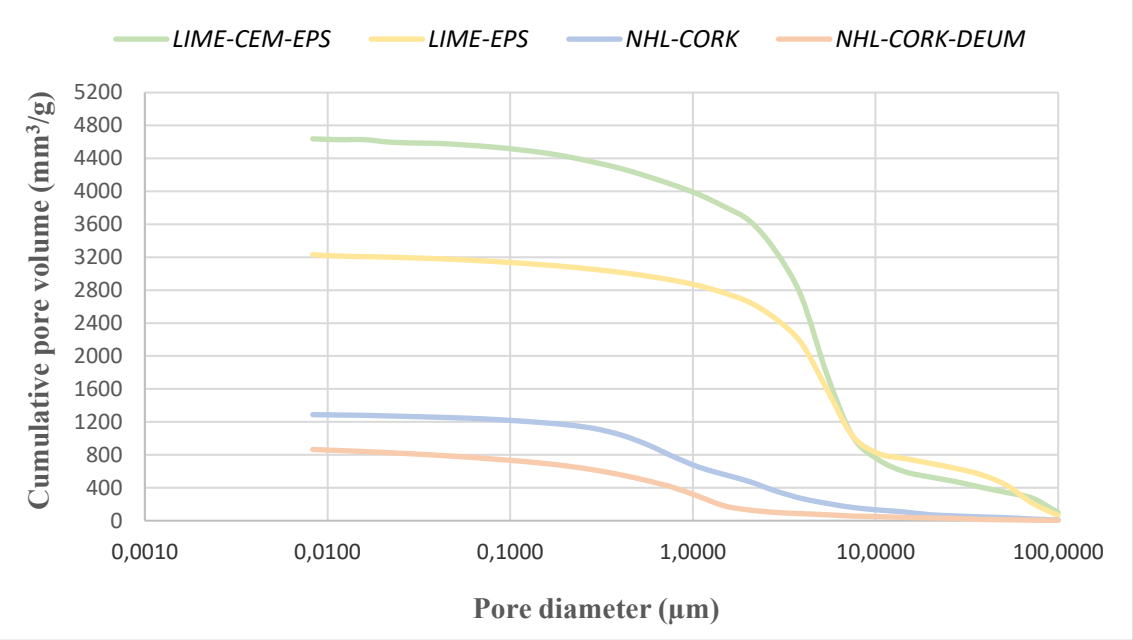


Tabella 12: Valori di output del MIP

Campione	Porosità totale aperta	A,superf, Totale dei pori	Diametro medio dei pori
	%	[m²/g]	[µm]
LIME-CEM-EPS	87,43	31,20	0,60
LIME-EPS	84,69	24,96	0,52
NHL-CORK	72,77	18,26	0,28
NHL-CORK-DEUM	65,35	30,09	0,11

6.3 Determinazione della massa volumica apparente della malta indurita

La determinazione della densità per i materiali isolanti e in particolare per le malte è molto importante in quanto è strettamente collegata al valore μ e al valore della λ che contribuiscono a definire le proprietà termoigrometriche di una miscela.

Raccolta dati e risultati

Si calcola la massa volumica apparente di ogni provino di malta essiccata $\rho_{bulk,i}$, dividendo la massa del provino $m_{s,dry}$,i per il volume del singolo stampo Vs; il volume del singolo stampo prismatico è noto e pari al prodotto (4x4x16) cm^3. Il valore della massa volumica apparente complessiva del campione si ricava calcolando il valore medio della massa volumica apparente dei tre provini che compongono il campione, arrotondando ogni valore ai 10 kg/m^3 più vicini.

$$\rho_{bulk} = \overline{\rho_{bulk}} = \sum_{i=1}^{N_{campioni}} \frac{\rho_{bulk}}{N_{campioni}}$$

Tabella 13:Raccolta data intonaco LIME-CEM-EPS

	ID Provino	Volume effettivo** provino (m^3)	Volume stampo provino conforme alla UNI EN 196-1 V_s (m^3)	Massa campione essiccato $m_{s,dry,i}$ (kg)	Massa volumica apparente malta indurita del provino $\rho_{bulk,i} = m_{s,dry,i}/V_s$ (kg/m^3)
LIME-CEM-EPS	B1	$240*10^{-6}$	$256*10^{-6}$	0,0395	154
	B2	$250*10^{-6}$		0,0409	160
	B3	$245*10^{-6}$		0,0384	150

Tabella 14:LIME-CEM-EPS. Valutazione della differenza percentuale tra la massa volumica apparente calcolata con il volume da normativa e con il volume effettivo

	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3)	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3) **	Δ%
LIME-CEM-EPS	**155**	**162**	4%

Tabella 15:Raccolta data intonaco LIME-EPS

	ID Provino	Volume effettivo** provino (m^3)	Volume stampo provino conforme alla UNI EN 196-1 V_s (m^3)	Massa campione essiccato $m_{s,dry,i}$ (kg)	Massa volumica apparente malta indurita del provino $\rho_{bulk,i} = m_{s,dry,i}/V_s$ (kg/m^3)
LIME-EPS	A1	$245*10^{-6}$	$256*10^{-6}$	0,0508	198
	A2	$250*10^{-6}$		0,0502	196
	A3	$250*10^{-6}$		0,0465	182
	A4	$245*10^{-6}$		0,0491	192
	A5	$240*10^{-6}$		0,0482	188
	A6	$235*10^{-6}$		0,0478	187

Tabella 16:LIME-EPS. Valutazione della differenza percentuale tra la massa volumica apparente calcolata con il volume da normativa e con il volume effettivo

	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3)	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3) **	Δ%
LIME-EPS	**190**	**200**	5%

Tabella 17:Raccolta data intonaco NHL-CORK

NHL-CORK	ID Provino	Volume effettivo** provino (m^3)	Volume stampo provino conforme alla UNI EN 196-1 V_s (m^3)	Massa campione essiccato $m_{s,dry,i}$ (kg)	Massa volumica apparente malta indurita del provino $\rho_{bulk,i} = m_{s,dry,i}/V_s$ (kg/m^3)
	C1	$250*10^{-6}$	$256*10^{-6}$	0,1054	410
	C2	$240*10^{-6}$		0,1032	400
	C3	$245*10^{-6}$		0,1034	400

Tabella 18:NHL- CORK. Valutazione della differenza percentuale tra la massa volumica apparente calcolata con il volume da normativa e con il volume effettivo

NHL-CORK	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3)	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3) **	Δ%
	400	**425**	6%

Tabella 19:Raccolta data intonaco NHL-CORK-DEUM

NHL-CORK-DEUM	ID Provino	Volume effettivo** provino (m^3)	Volume stampo provino conforme alla UNI EN 196-1 V_s (m^3)	Massa campione essiccato $m_{s,dry,i}$ (kg)	Massa volumica apparente malta indurita del provino $\rho_{bulk,i} = m_{s,dry,i}/V_s$ (kg/m^3)
	D1	$250*10^{-6}$	$256*10^{-6}$	0,1386	540
	D2	$250*10^{-6}$		0,1418	550
	D3	$240*10^{-6}$		0,1424	560

Tabella 20:NHL- CORK. Valutazione della differenza percentuale tra la massa volumica apparente calcolata con il volume da normativa e con il volume effettivo

NHL-CORK-DEUM	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3)	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3) **	Δ%
	550	**572**	4%

**Massa volumica apparente media calcolata con il volume effettivo ricavo mediante il metodo dell'immersione

Valutata la differenza percentuale Δ% tra la massa volumica apparente media utilizzando il volume dello stampo e il volume effettivo, si può notare i valori si discostano di poco. Da questo si deduce che date le successive approssimazioni, si può considerare il volume dello stampo come normativa. Di seguito di riporta la tabella con i risultati conclusivi delle prove.

Tabella 21:Risultati prova conforme alle UNI EN 1015-10

Campione -	Massa *kg*	Volume *m³*	Densità *kg/m³*
LIME-CEM-EPS	0,0396	0,000256	155
LIME-EPS	0,0488	0,000256	190
NHL-CORK	0,1036	0,000256	400
NHL-CORK-DEUM	0,1410	0,000256	550

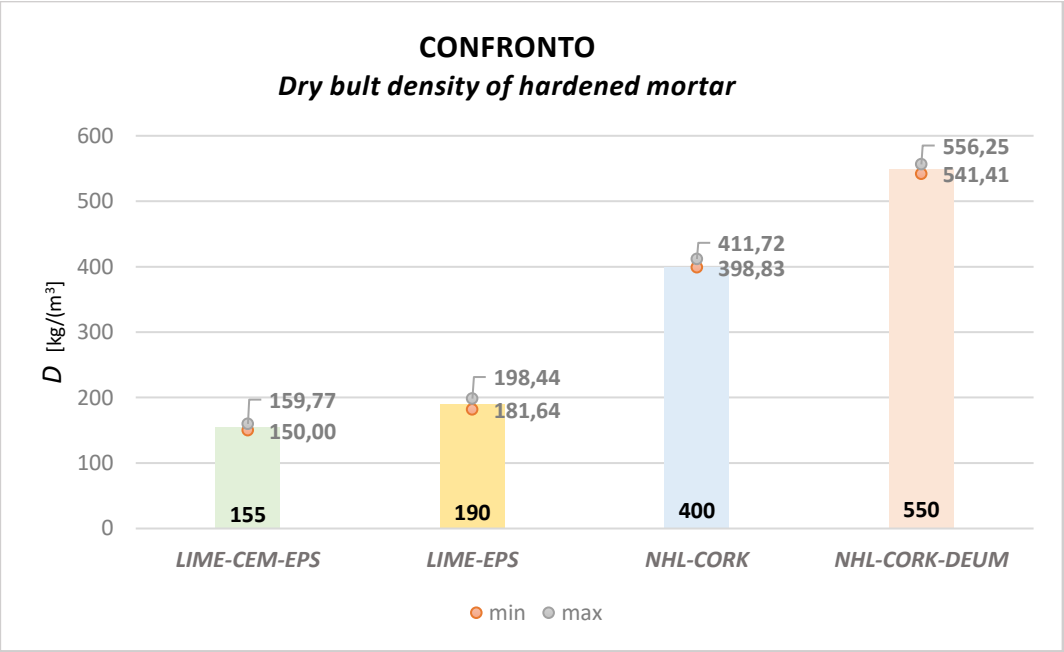


Figura 116:Dry bulk density of hardened mortar

Considerazioni

L'utilizzo di aggregati leggeri *LWA* permettono di ridurre la densità degli intonaci la quale risulta essere un aspetto molto importante in quanto il suo abbassamento implica una diminuzione della conducibilità termica. Questa conseguenza fa sì che intonaci termici

aventi una densità bassa siano più performanti dal punto di vista dell'isolamento termico. Un altro aspetto da non sottovalutare è la relazione che sussiste tra densità e proprietà meccaniche. Come noto, valori elevati di densità implicano alte proprietà meccaniche (anche se questo aspetto nello studio non viene analizzato). Di fatto, essendo intonaci con alte prestazioni termiche, la loro resistenza a compressione/flessione risulta essere bassa a conferma di quanto descritto precedentemente.

6.4 Determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità della malta indurita

Lo scopo della prova è la determinazione del valore del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità importante per ipotizzare il comportamento in situ dei materiali. La prova si svolte immergendo i campioni sino a (5±10) mm per un totale di 140 minuti. Vengono effettuate pesate a 10 minuti e a 90 minuti.

Raccolta dati e risultati

ID Provino		$*m_0$ [g]	$*m_1$ [g]	$*m_2$ [g]	C_i [kg/(m^2 min^{0,5})]	C_m [kg/(m^2 min^{0,5})]
LIME-CEM-EPS	B1	27,2	28,4	29,7	0,13	0,12
	B1'	32,1	33,1	34,4	0,13	
	B2	37,6	38,4	39,5	0,11	
	B2'	36,5	37,2	38,1	0,09	
	B3	29,7	30,5	31,8	0,13	
	B3'	30	30,7	31,8	0,11	

Tabella 22: Risultati campione LIME-CEM-EPS

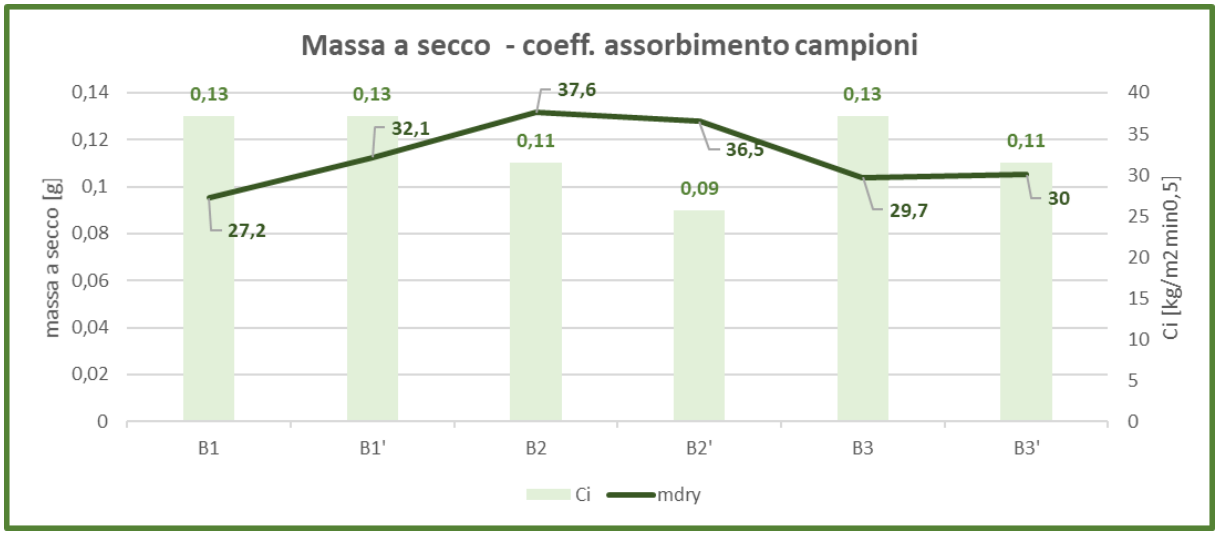


Figura 117:Andamento della massa in relazione al coefficiente di assorbimento

ID Provino		*m_0 [g]	*m_1 [g]	*m_2 [g]	C_i [kg/(m^2 min^{0,5})]	C_m [kg/(m^2 min^{0,5})]
LIME-EPS	A1	38	42,9	46,3	0,34	0,17
	A1'	35,5	40,5	44,6	0,41	
	A2	37,9	43,4	45,2	0,18	
	A2'	36	40,8	42,8	0,2	
	A3	34	39,1	41,5	0,24	
	A3'	35,3	40,8	43,7	0,29	
	A4	37,2	41,4	43,3	0,19	
	A4'	38,2	42,4	44,6	0,22	
	A5	36	39,7	41	0,13	
	A5'	35,8	39,4	40,7	0,13	
	A6	36,1	39,1	40,4	0,13	
	A6'	31,2	35	36,3	0,13	

Tabella 23: Risultati campione LIME-EPS

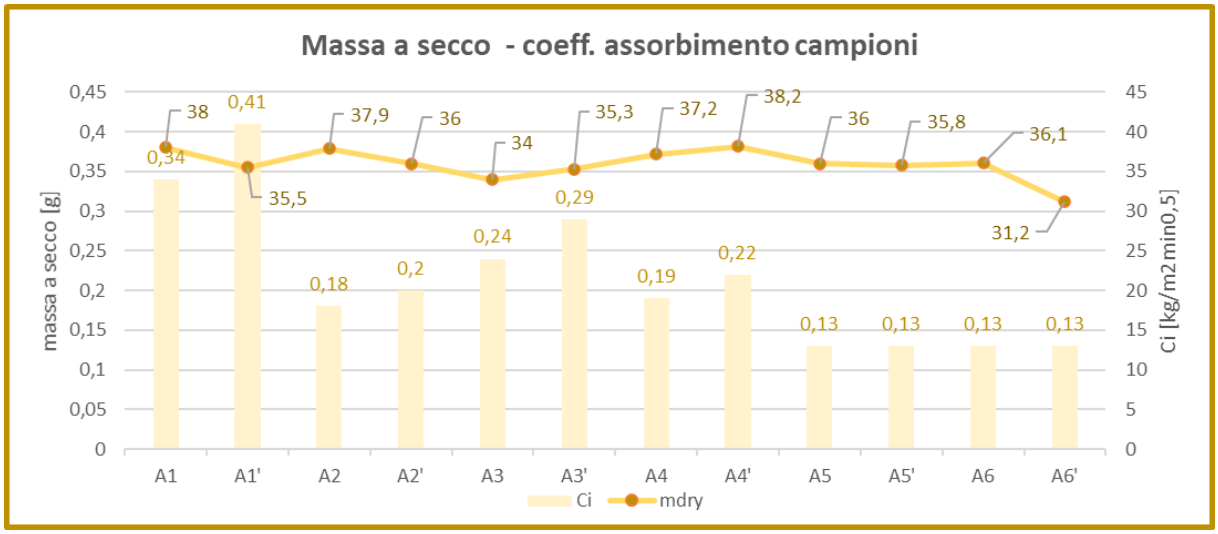


Figura 118:Andamento della massa in relazione al coefficiente di assorbimento

ID Provino		*m_0 [g]	*m_1 [g]	*m_2 [g]	C_i [kg/(m^2 min^{0,5})]	C_m [kg/(m^2 min^{0,5})]
NHL-CORK	C1	64,9	71,2	78,4	0,72	0,75
	C1'	72,2	77,9	84,8	0,69	
	C2	76,7	83,2	90,4	0,72	
	C2'	60,6	67,0	74,4	0,74	
	C3	66,8	72,9	80,5	0,76	
	C3'	66,7	72,5	81,1	0,86	

Tabella 24: Risultati campione NHL-CORK

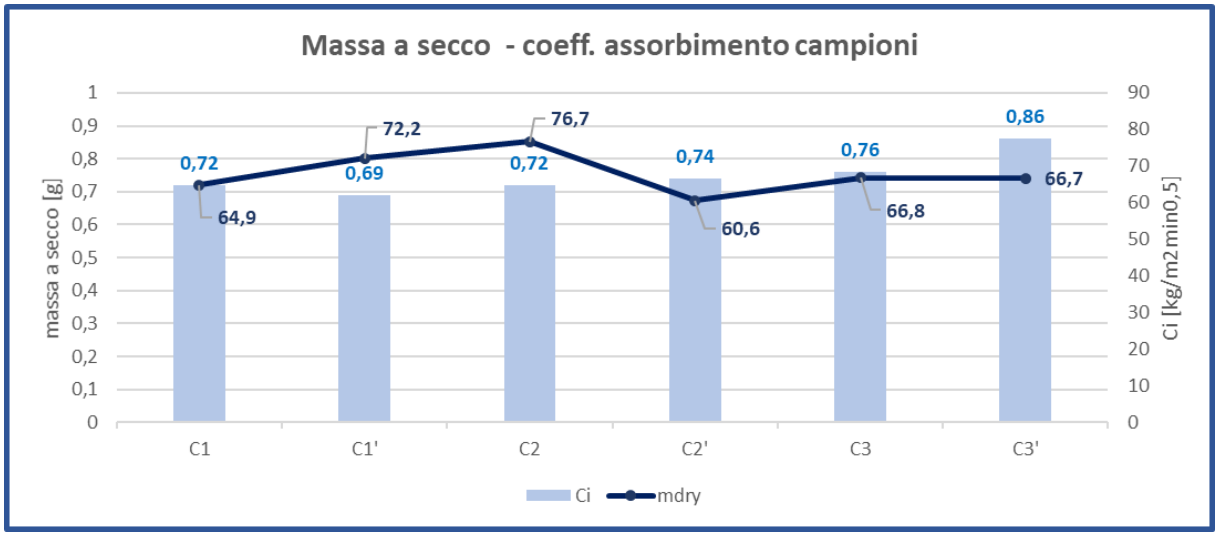


Figura 119:Andamento della massa in relazione al coefficiente di assorbimento

ID Provino		*m_0 [g]	*m_1 [g]	*m_2 [g]	C_i [kg/(m^2 min^{0,5})]	C_m [kg/(m^2 min^{0,5})]
NHL-CORK-DEUM	D1	81,5	84,4	87,4	0,3	0,27
	D1'	95,8	98,2	100,8	0,26	
	D2	84,2	86,7	89,2	0,25	
	D2'	100,6	103,2	106	0,28	
	D3	79	81,3	83,8	0,25	
	D3'	104,3	106,6	109,1	0,25	

Tabella 25: Risultati campione NHL-CORK-DEUM

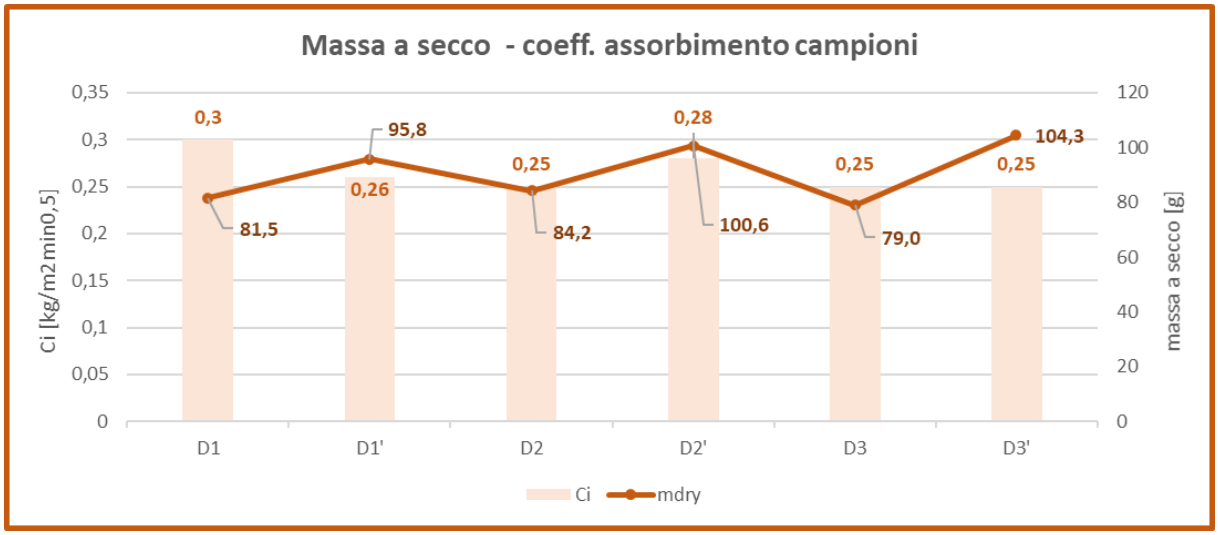


Figura 120:Andamento della massa in relazione al coefficiente di assorbimento

*i valori delle masse contengono anche i grammi riferiti alla paraffina laterale

**valori contrassegnati in rosso non sono stati considerati nel calcolo del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità in quanto sono valori anomali

Di seguito di riporta la tabella con i risultati conclusivi delle prove.

Tabella 26: Risultati finali

Campione	Cm da calcolo $kg/(m^2\ min^{0,5})$	Cm con appr. Normativa $kg/(m^2\ min^{0,5})$
LIME-CEM-EPS	0,12	0,15
LIME-EPS	0,17	0,20
NHL-CORK	0,75	0,75
NHL-CORK-DEUM	0,27	0,30

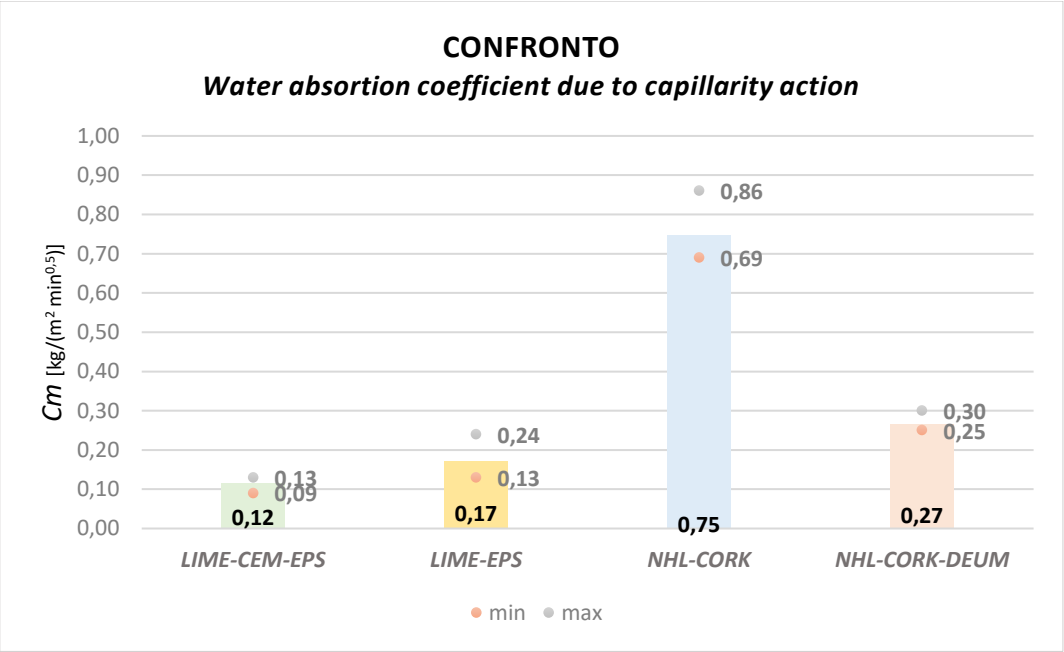


Figura 121:Confronto dei risultati ottenuti

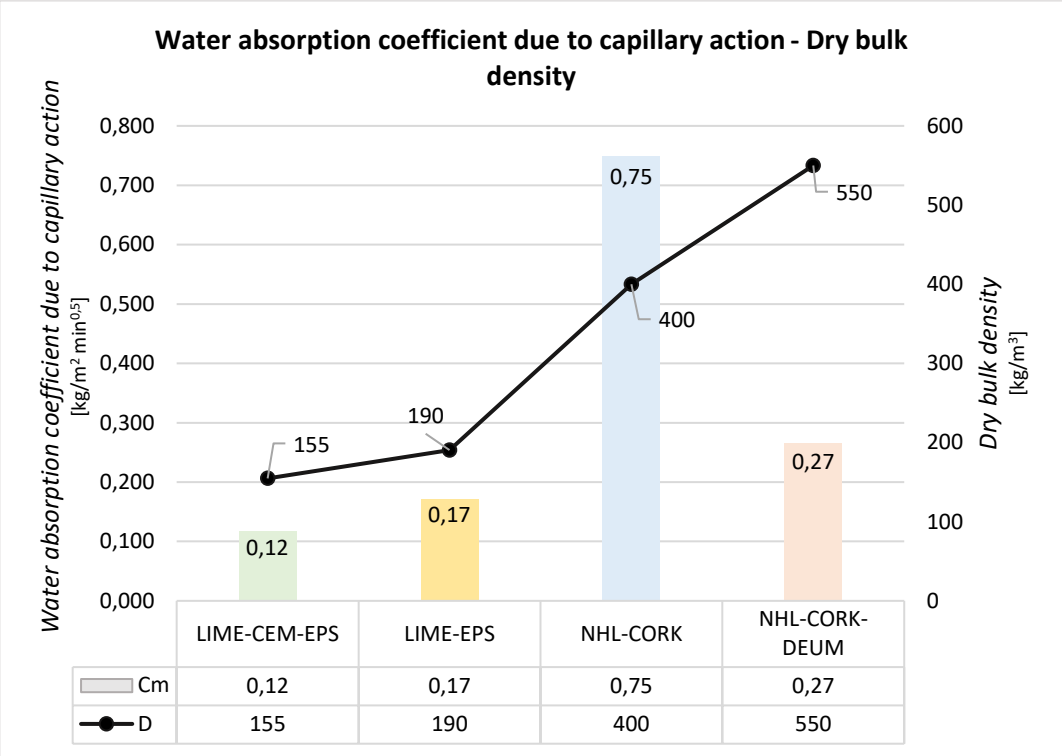


Figura 122:Confronto tra densità e Cm

Considerazioni

Il campione *LIME-CEM-EPS* risulta avere il minor valore del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità (0,15 kg/(m^2 min^{0,5})) essendo così idoneo contemporaneamente per l'applicazione esterna e come malta per intonaco isolante (W_c2 secondo UNI EN 988-1). Anche il campione *LIME-EPS* ha un valore basso classificabile come W_c2. I campioni appena citati risultano avere come materiale coibente le microsfere di EPS, materiale che per sua natura risulta essere idrofobo. Contrariamente è successo per *NHL-CORK* il quale ha raggiunto un valore di 0,75 kg/(m^2 min^{0,5}), riportando un valore elevato rispetto agli altri trovando così una futura applicazione nel lato interno degli edifici. Il campione deumidificante *NHL-CORK-DEUM* viene classificato come W_c1 trovando applicabilità sia interna che esterna. In aggiunta risulta avere un valore di assorbimento minore rispetto a *NHL-CORK* in quanto è un intonaco avente un agente idrofobizzante. Quest'ultimi due campioni essendo composti da sughero e calce naturale, hanno un valore di coefficiente di assorbimento per capillarità più elevato dato dall'aggregato vegetale che per sua natura è più sensibile all'assorbimento d'acqua rispetto ai campioni con microsfere di EPS.

Tabella 27: Classificazione della prova in base a UNI EN 998-1

Campioni	W (kg/m^2 min^{0,5})	Class	EN 998-1
LIME-CEM-EPS	0,15	W2	≤0,2
LIME-EPS	0,20	W2	≤0,2
NHL-CORK	0,75	n/a	n/a
NHL-CORK-DEUM	0,30	W1	≤0,4

6.5 Determinazione della permeabilità al vapore d'acqua della malta da intonaco

La prova permette di determinare la permeabilità al vapore dei campioni analizzati e di conseguenza la loro resistenza al vapore μ.

Risultati

Tabella 28: Risultati prova permeabilità al vapore del campione LIME-CEM-EPS

LIME-CEM-EPS	Wvp [kg/(m s Pa)]	δa [kg/(m s Pa)]	μ -	media	min	max
B1	3,83E-11	1,97E-10	5,15	4,29	3,46	5,15
B2	4,63E-11	1,97E-10	4,26			
B3	5,70E-11	1,97E-10	3,46			

Tabella 29: Risultati prova permeabilità al vapore del campione LIME- EPS

LIME-EPS	Wvp [kg/(m s Pa)]	δa [kg/(m s Pa)]	μ -	media	min	max
A1	1,35E-10	1,97E-10	1,46	1,78	1,46	2,05
A2	9,65E-11	1,97E-10	2,05			
A3	1,08E-10	1,97E-10	1,83			

Tabella 30: Risultati prova permeabilità al vapore del campione NHL-CORK

NHL-CORK	Wvp [kg/(m s Pa)]	δa [kg/(m s Pa)]	μ -	media	min	max
C1	3,44E-11	1,96E-10	5,70	6,25	5,66	7,38
C2	2,66E-11	1,96E-10	7,38			
C3	3,47E-11	1,96E-10	5,66			

Tabella 31: Risultati prova permeabilità al vapore del campione NHL-CORK-DEUM

NHL-CORK-DEUM	**Wvp** [kg/(m s Pa)]	**δa** [kg/(m s Pa)]	**μ** -	**media**	**min**	**max**
D1	2,07E-11	1,96E-10	9,46	9,93	9,24	11,10
D2	1,77E-11	1,96E-10	11,10			
D3	2,12E-11	1,96E-10	9,24			

Considerazioni

Tutti i campioni risultano avere un μ≤15, quindi non oppongono un elevata resistenza al vapore consentendo di evitare possibili problemi di condensa. Il campione con il minor valore di resistenza al vapore è il campione *LIME-EPS* e quindi è l'intonaco termico più traspirante.

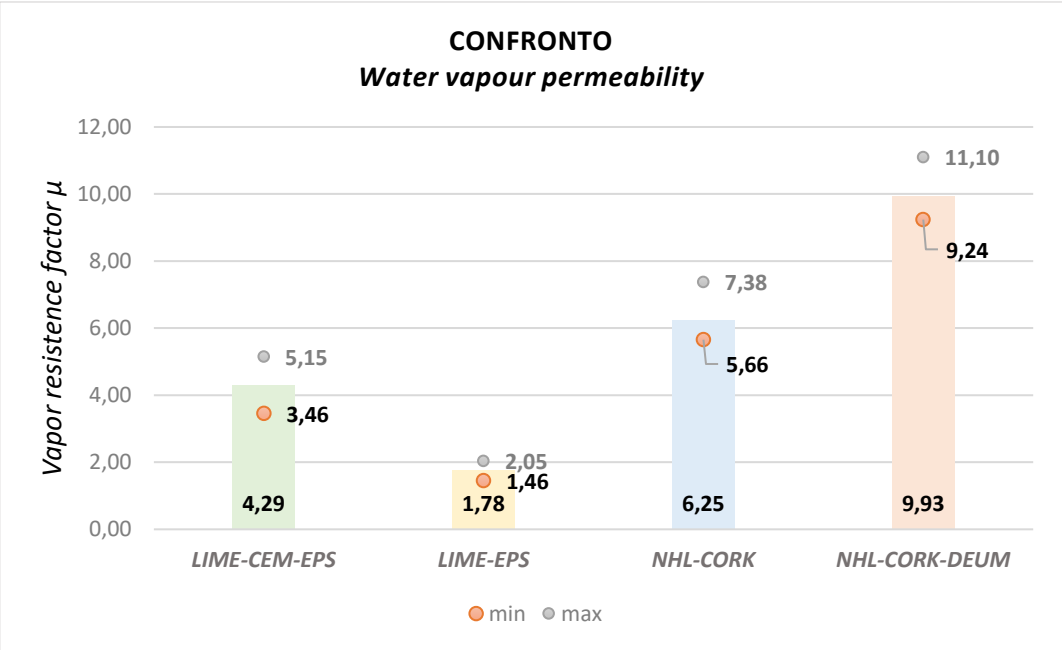


Tabella 32: Classificazione della prova in base a UNI EN 998-1

	μ	**Class**	**EN 998-1**
LIME-CEM-EPS	4,29	n/a	≤15
LIME-EPS	1,78	n/a	≤15
NHL-CORK	6,25	n/a	≤15
NHL-CORK-DEUM	9,93	n/a	≤15

6.6 Determinazione della conducibilità termica con il metodo del termoflussimetro

Lo scopo della prova è la determinazione del valore della conducibilità termica λ al fine di determinare all'occorrenza la resistenza termica degli intonaci testati. Il concetto di base del metodo si basa sulla misurazione del flusso termico medio scambiato in regime stazionario.

Risultati

Di seguito si riportano tabelle e grafici dei risultati ottenuti. Si evidenzia il campione *NHL-CORK-DEUM* in quanto reference in questa fase.

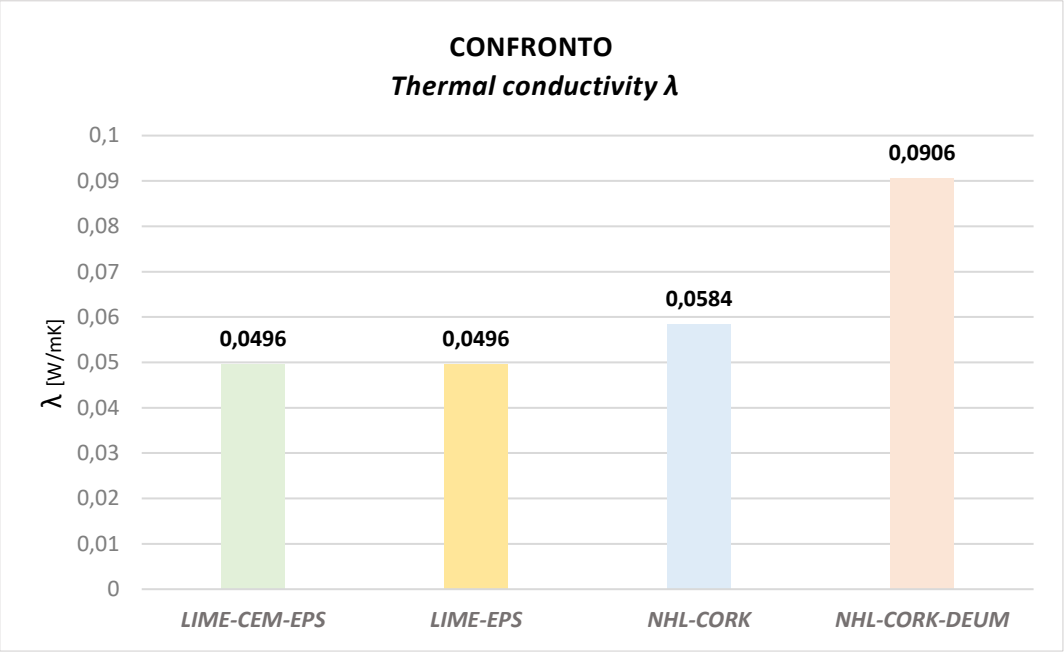


Figura 123: Conducibilità termica dei campioni

Nome -	Sp. cm	λ W/mK	Δ% -
LIME-CEM-EPS	3,2	0,0496	-45%
LIME-EPS	3,2	0,0496	-45%
NHL-CORK	3,2	0,0584	-36%
NHL-CORK-DEUM	3,2	0,0906	100%

Tabella 33: Riassunto della prova

Considerazioni

Dai risultati emerge che i termointonaci con aggregati microsfere di EPS risultano essere più performanti dal punto di vista termico in quanto hanno entrambi una λ di 0,0496. Dividendo quest'ultimo valore per lo spessore medio del campione, possiamo ottenere la resistenza termica *R* la quale poi successivamente potrà essere utilizzata per il calcolo della trasmittanza termica *U* della parete opaca su cui verranno applicati i prodotti.

Se prendessimo l'intonaco deumidificante come reference possiamo notare che la differenza percentuale tra i vari prodotti è del 45% per i termointonaci con microsfere di EPS e del 36% per il termointonaco con sughero.

In conformità alla UNI EN 988-1 tutti gli intonaci possono essere considerati T1 in quanto hanno una λ ≤ 0,1 W/mK.

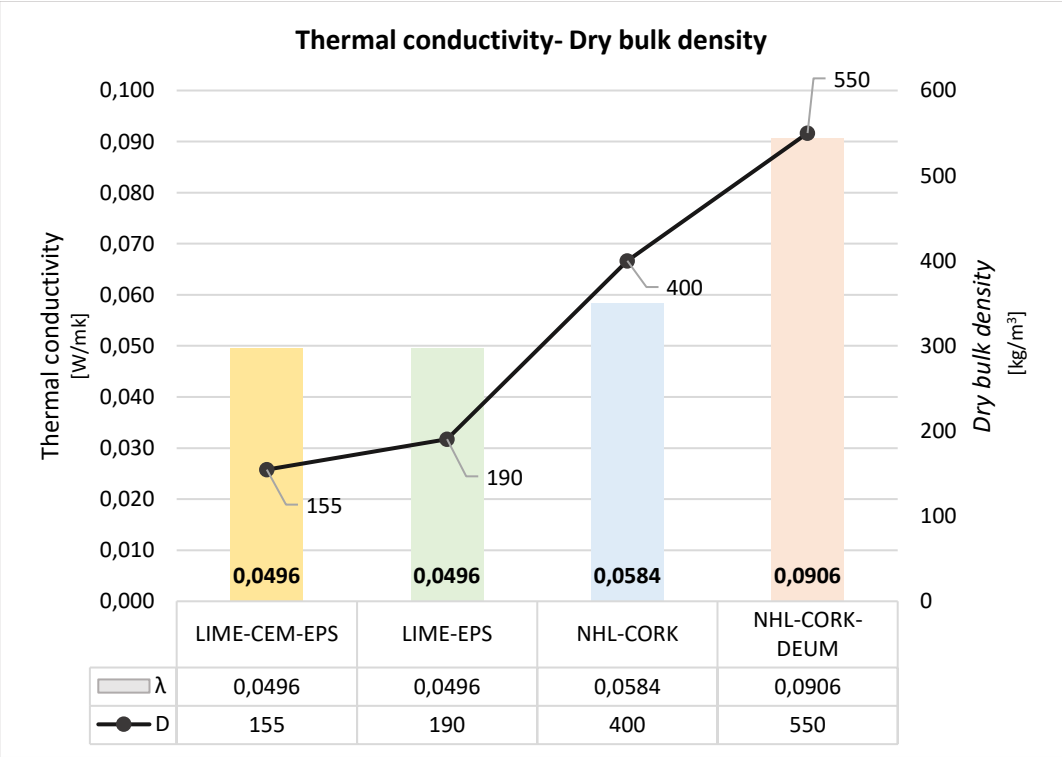


Figura 124:Confronto tra la conducibilità termica e la densità a secco

	λ (W/mK)	Class	EN 998-1
LIME-CEM-EPS	0,0496	T1	≤0,1
LIME-EPS	0,0496	T1	≤0,1
NHL-CORK	0,0584	T1	≤0,1
NHL-CORK-DEUM	0,0906	T1	≤0,1

Tabella 34: Classificazione in relazione alla UNI EN 998-1

7 RISULTATI POST INVECCHIAMENTO – Aged

Durante l'invecchiamento artificiale mediante nebbia salina, si sono raccolte le masse di campioni prismatici ad intervalli di tempo prestabiliti. I dati sono stati successivamente elaborati al fine di studiare la variazione percentuale di massa durante la prova. I dati confermano il grado di assorbimento delle malte studiate a tempo T=0.

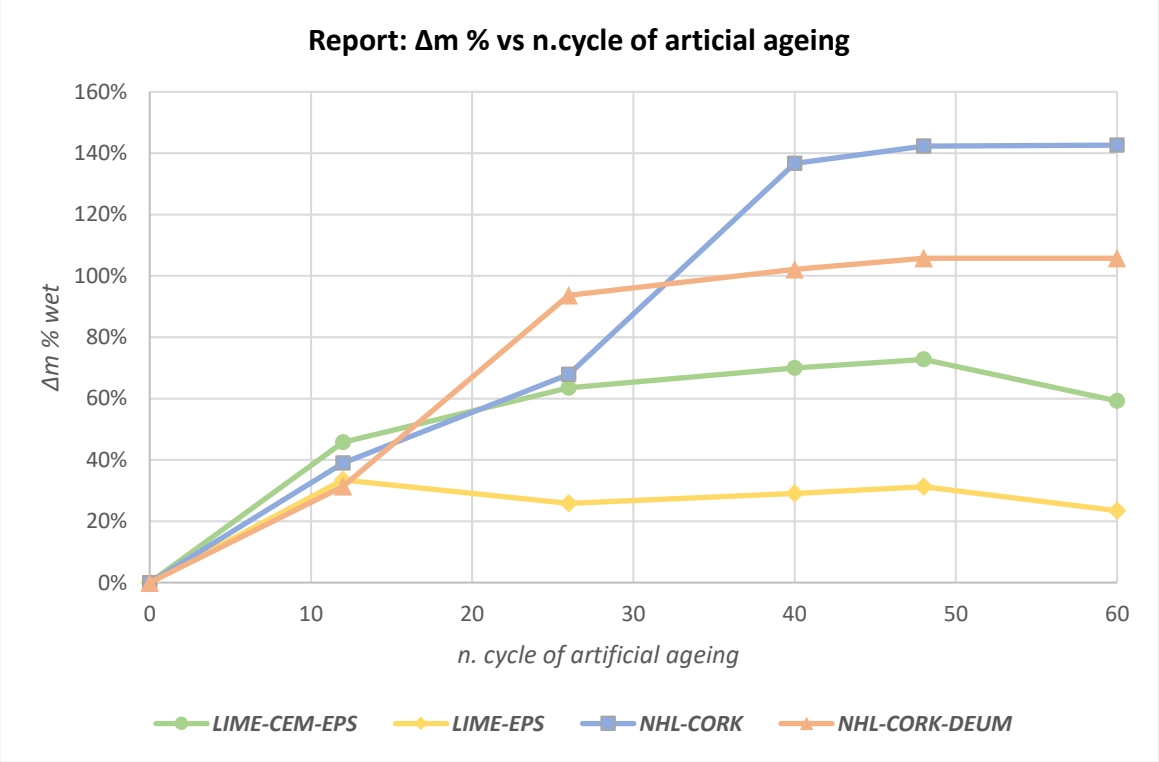


Figura 125: Variazione percentuale di massa in relazione al numero di cicli di nebbia salina

7.1 Analisi per la caratterizzazione delle malte mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) e analisi spettroscopia EDX

Risultati

- Campione *LIME-CEM-EPS (i dati raccolti dell'analisi EDX sono raccolti nell'Allegato A1)*

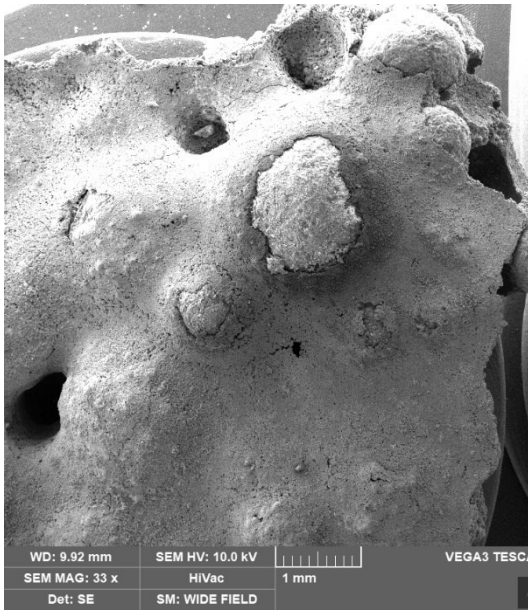


Figura 126: LIME-CEM-EPS x 33

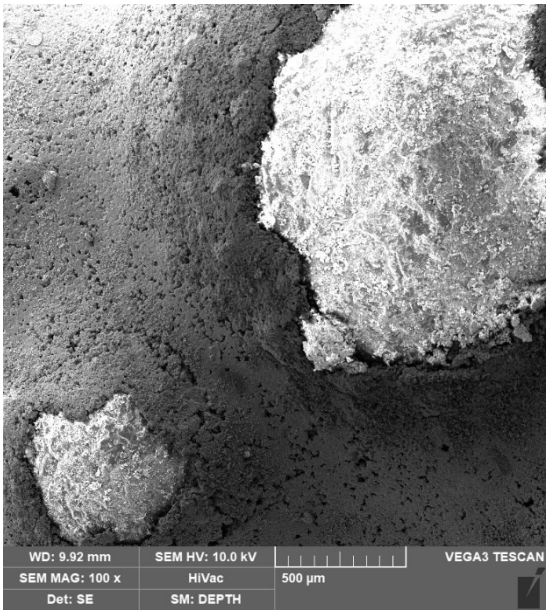


Figura 127: LIME-CEM-EPS x 100

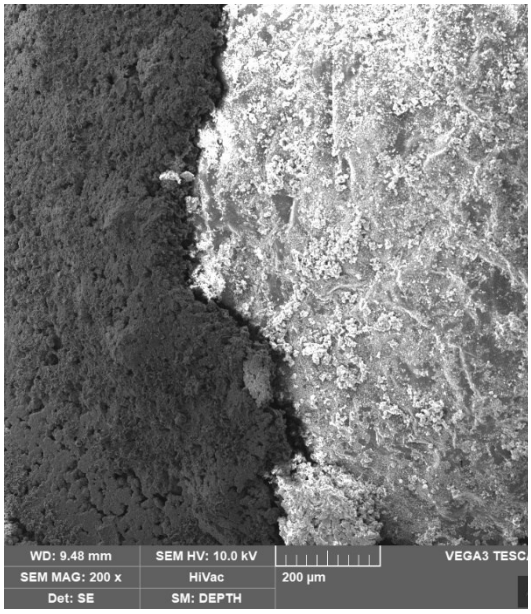


Figura 128: LIME-CEM-EPS x 200

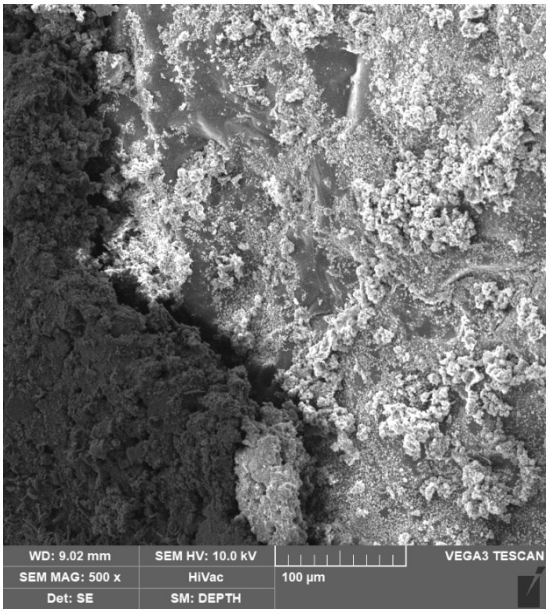


Figura 129: LIME-CEM-EPS x 500

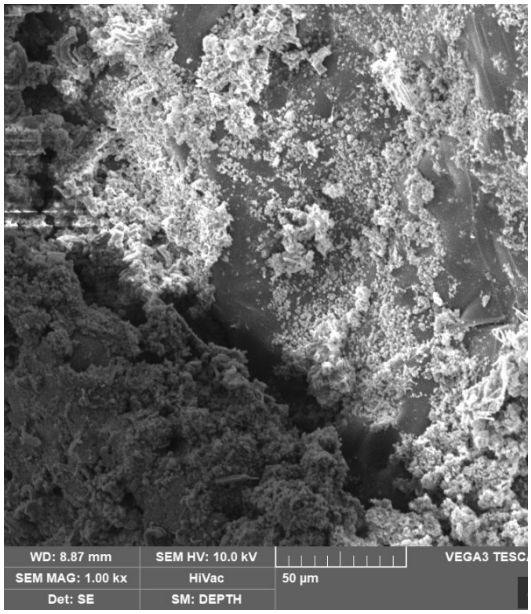


Figura 130: LIME-CEM-EPS x 1000

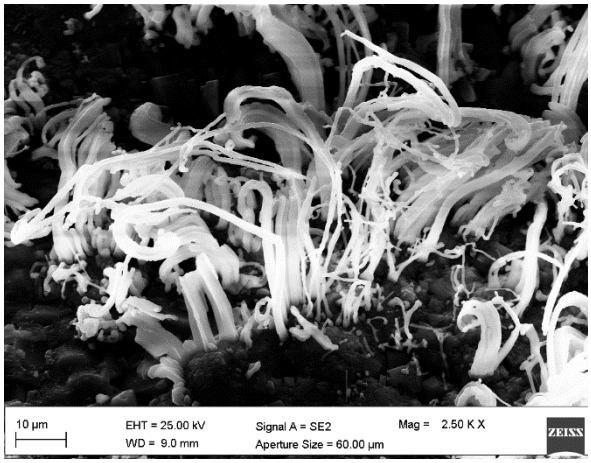


Figura 131: LIME-CEM-EPS x 9000

- Campione *LIME-EPS (i dati raccolti dell'analisi EDX sono raccolti nell'Allegato B2)*

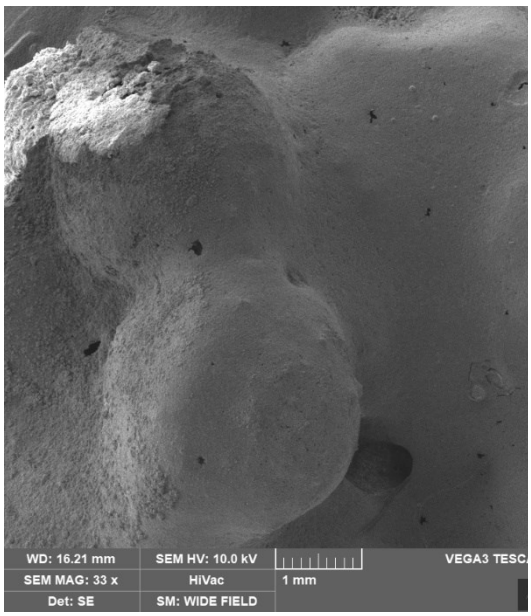


Figura 132: LIME-EPS x 33

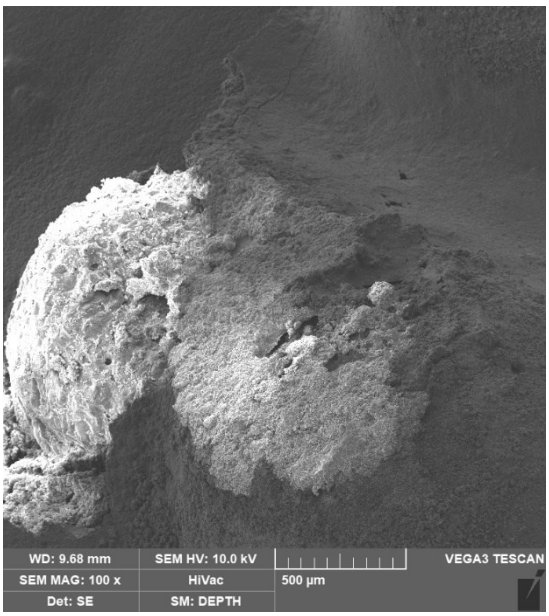


Figura 133: LIME-EPS x 100

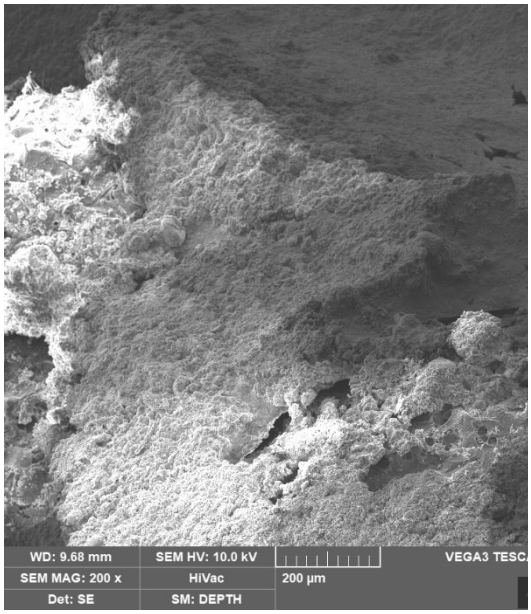


Figura 134: LIME- EPS x 200

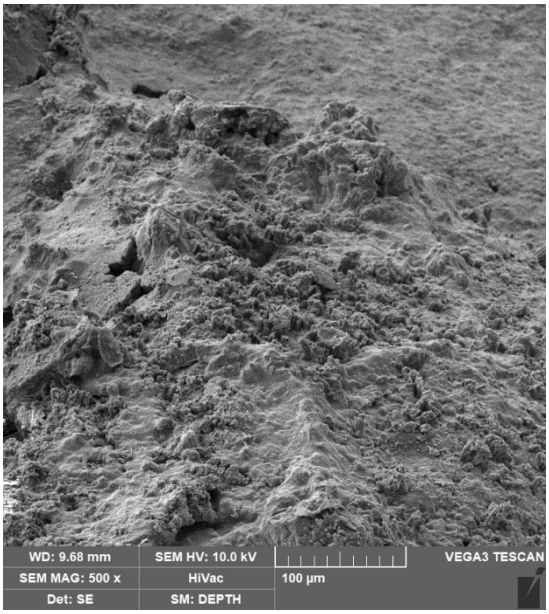


Figura 135: LIME-EPS x 500

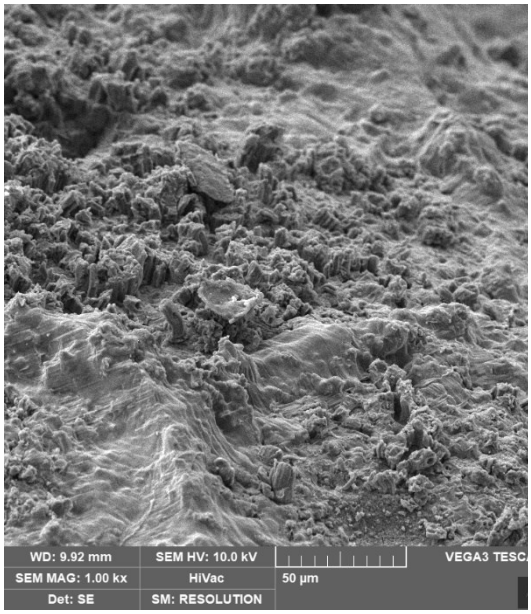


Figura 136: LIME-EPS x 1000

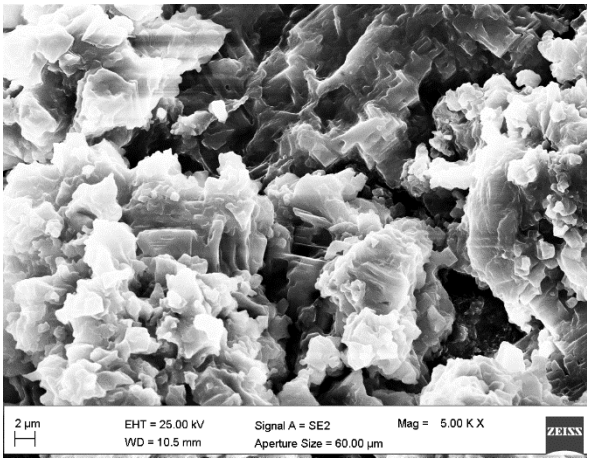


Figura 137: LIME-EPS x 10000

- Campione *NHL-CORK (i dati raccolti dell'analisi EDX sono raccolti nell'Allegato C1)*

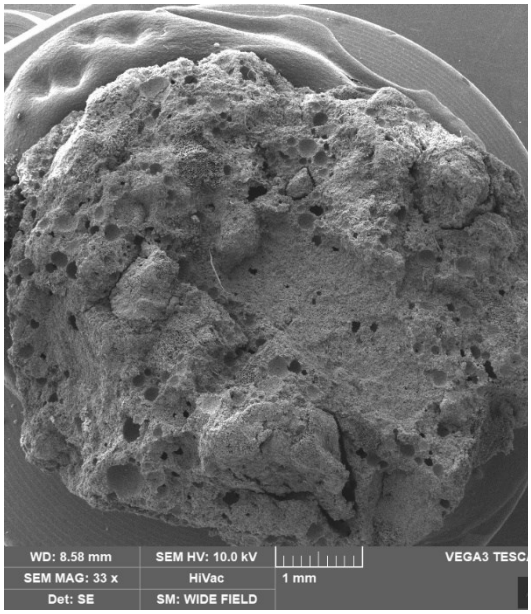


Figura 138:NHL-CORK x 33

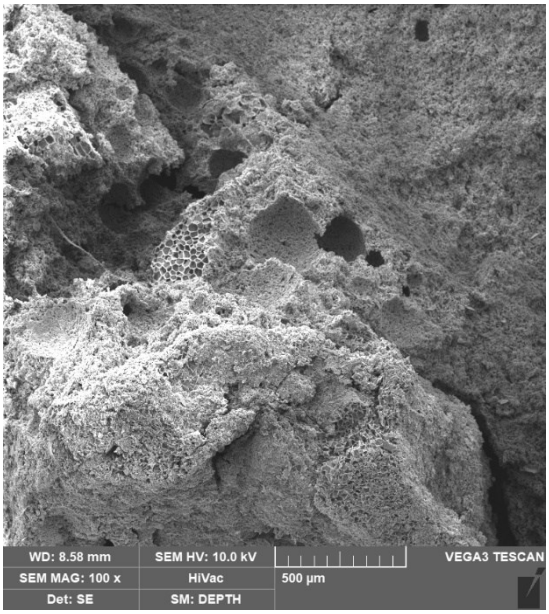


Figura 139:NHL-CORK x 100

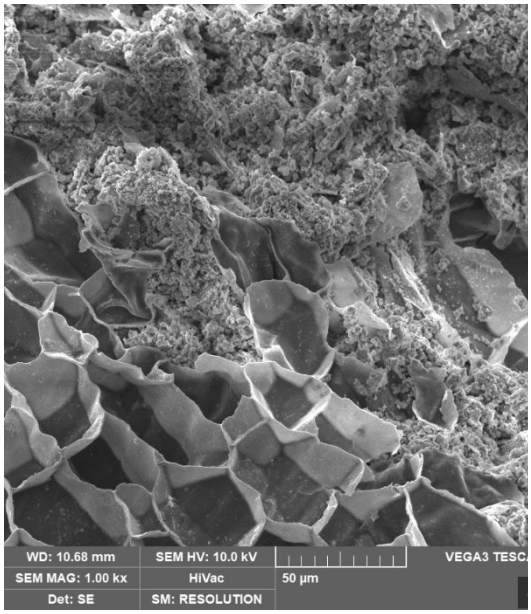


Figura 140:NHL-CORK x 200

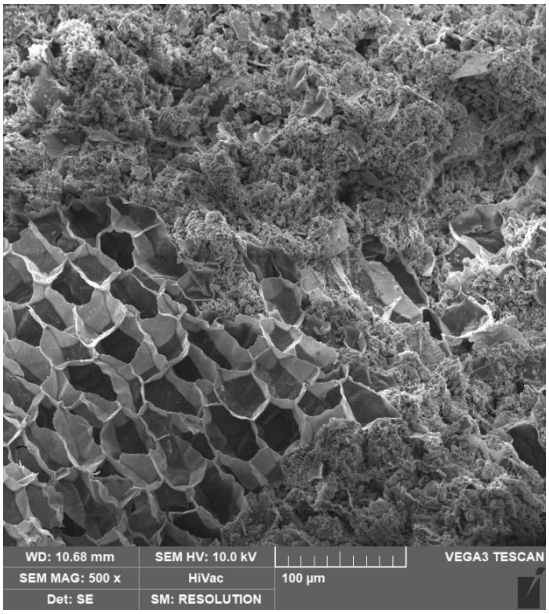


Figura 141:NHL-CORK x 500

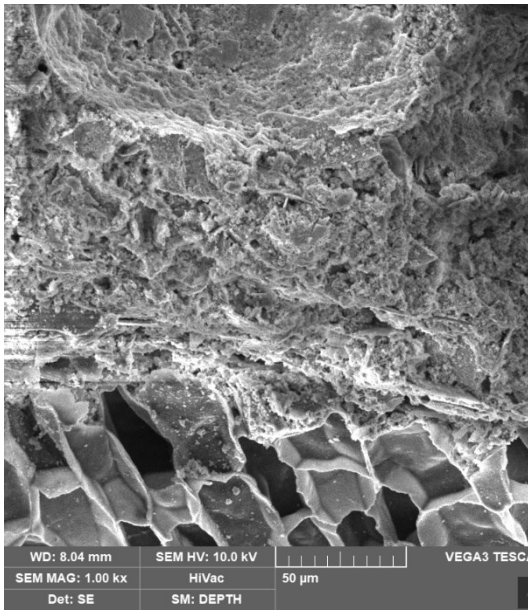


Figura 142:NHL-CORK x 1000

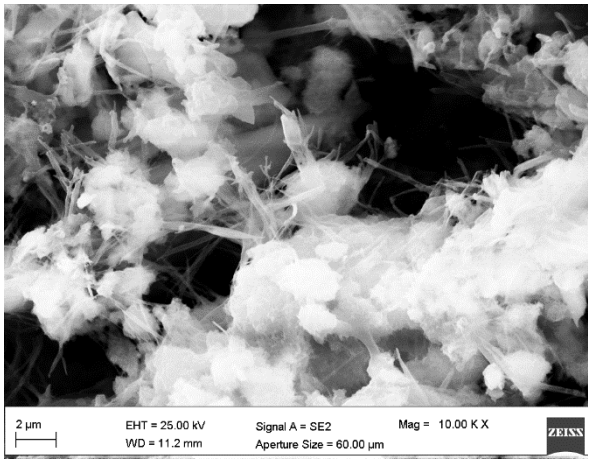


Figura 143:NHL-CORK x 10000

- Campione *NHL-CORK-DEUM (i dati raccolti dell'analisi EDX sono raccolti nell'Allegato D1)*

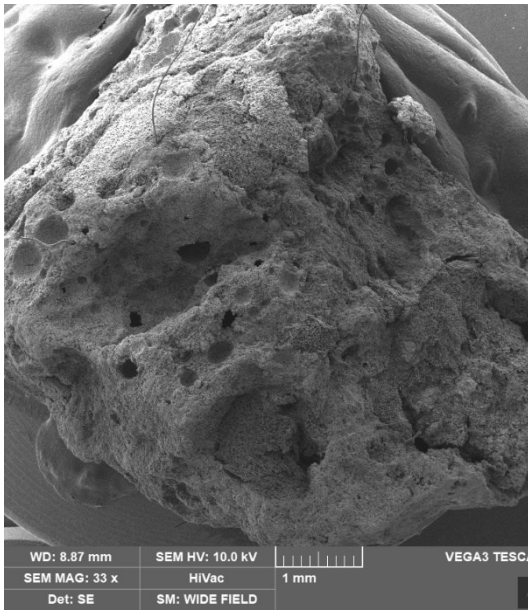


Figura 144:NHL-CORK-DEUM x 33

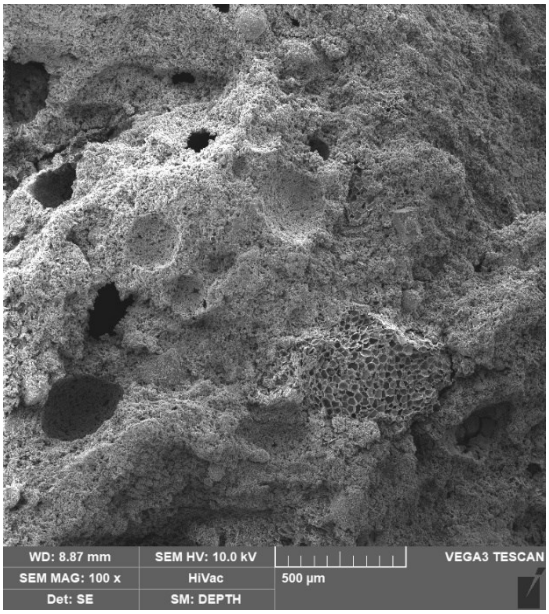


Figura 145:NHL-CORK-DEUM x 100

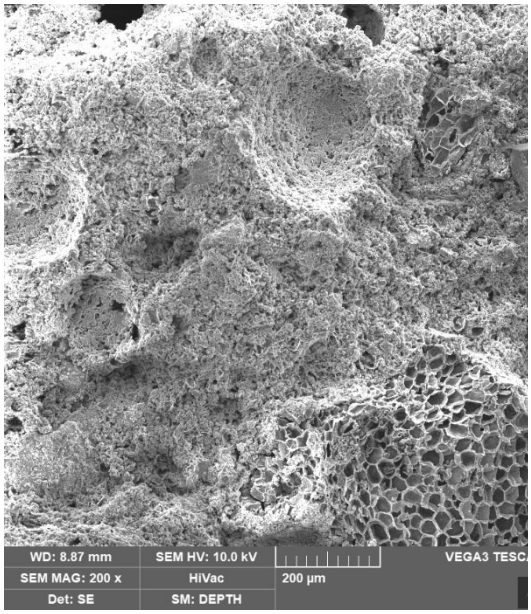


Figura 146:NHL-CORK-DEUM x 200

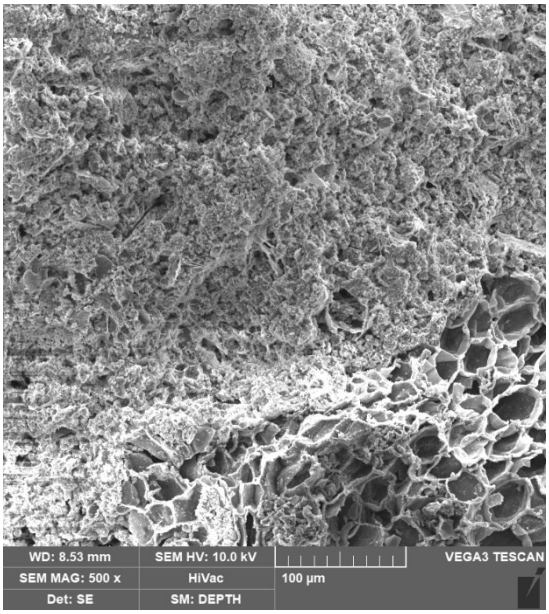


Figura 147:NHL-CORK-DEUM x 500

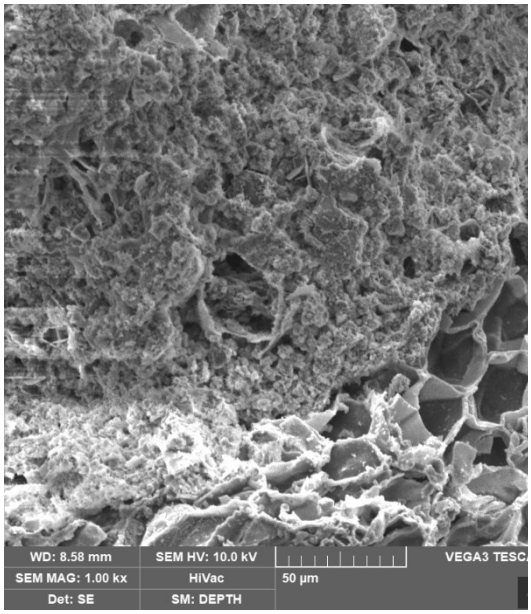


Figura 148:NHL-CORK-DEUM x 1000

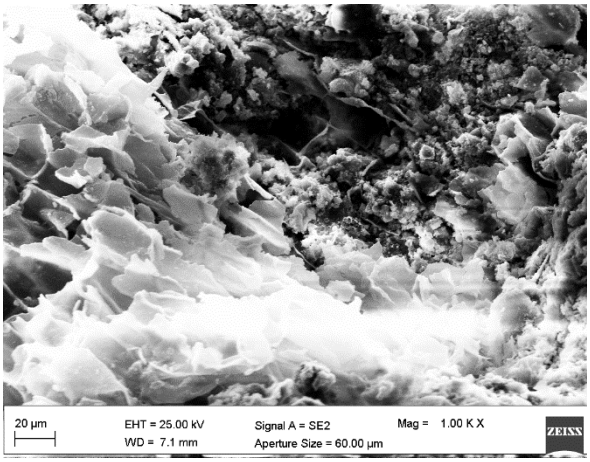


Figura 149:NHL-CORK-DEUM x 10000

	Weight %									
Campione	***C***	***O***	***Mg***	***Na***	***Al***	***Si***	***S***	***Cl***	***K***	***Ca***
LIME-CEM-EPS	13,22	23,28	-	27,34	0,49	1,61	-	18,75	-	15,3
LIME-EPS	11,09	8,3	-	35,94	-	0,45	1,06	34,69	-	8,49
NHL-CORK	14,1	46,95	0,57	4,24	1,33	8,1	1,22	2,07	0,39	21,04
NHL-CORK-DEUM	6,11	38,89	0,59	3,15	2,04	5,94	2,07	5,63	0,25	35,34

Tabella 35: Risultati analisi EDX

Considerazioni

Nell'immagini acquisite tramite il SEM è possibile notare dei depositi dovuti dalla presenza del sale cristallizzato. La presenza dell'NaCl è confermata dall'analisi EDX in quanto sono presenti sia Na sia Cl che in precedenza non vi erano.

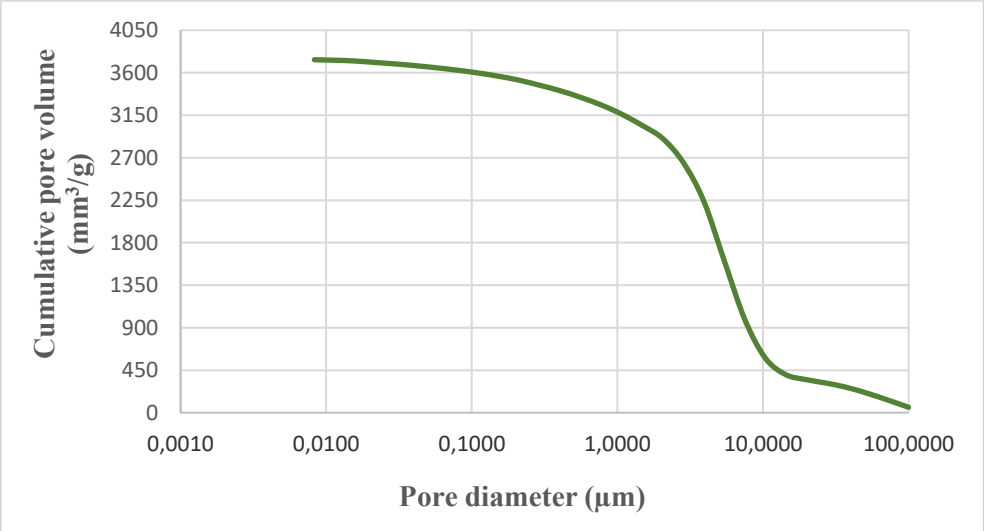
Tuttavia, il quantitativo di NaCl dipende molto dalla zona di acquisizione del campione anche se quest'ultimo è stato acquisito circa a 5 mm dalla zona corticale.

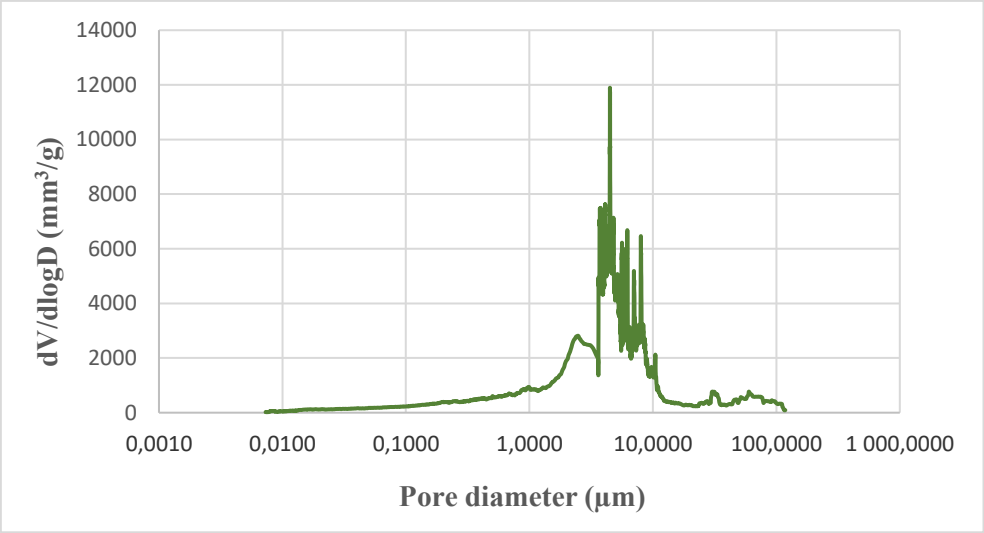
Vengono confermati gli elementi a tempo T=0.

7.2 Analisi della distribuzione dei pori attraverso il MIP

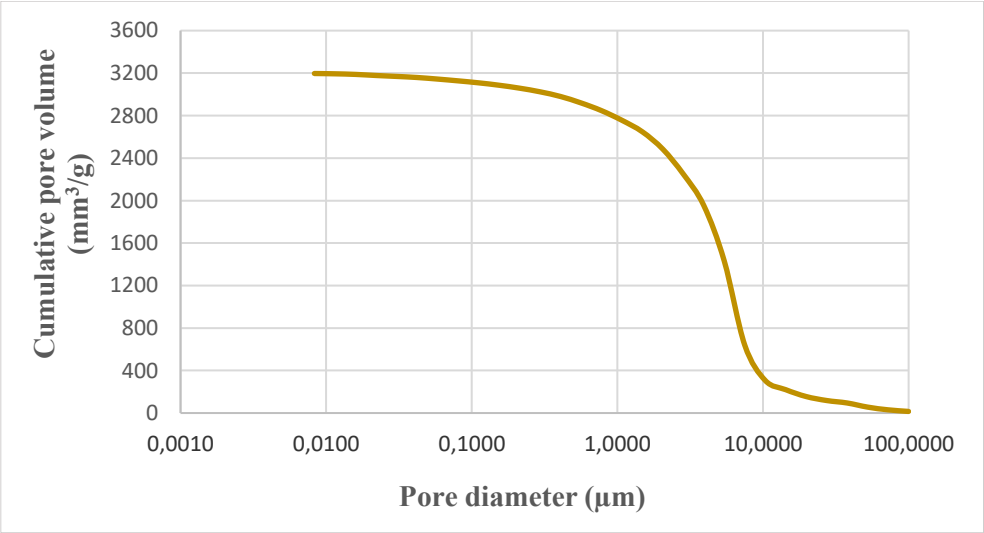
Risultati

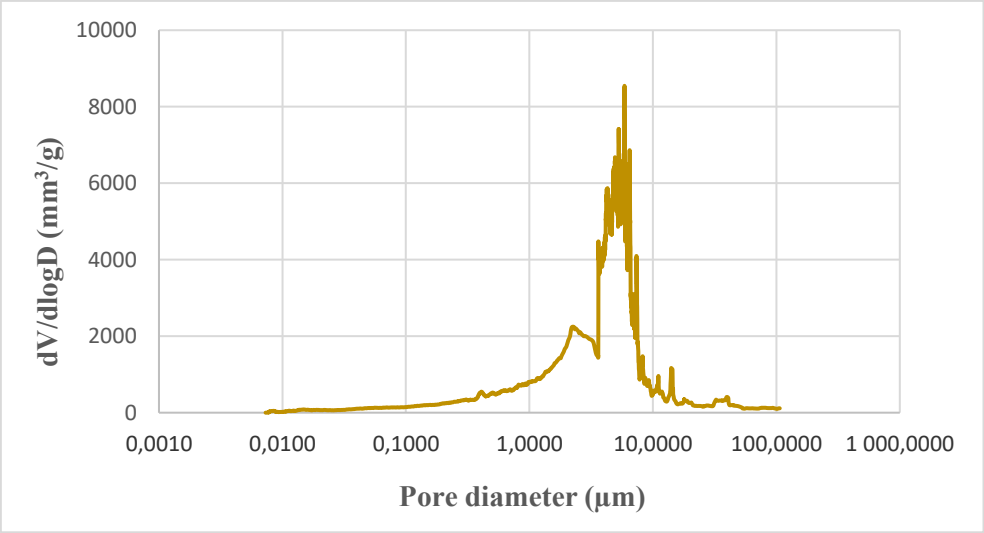
- *LIME-CEM-EPS*



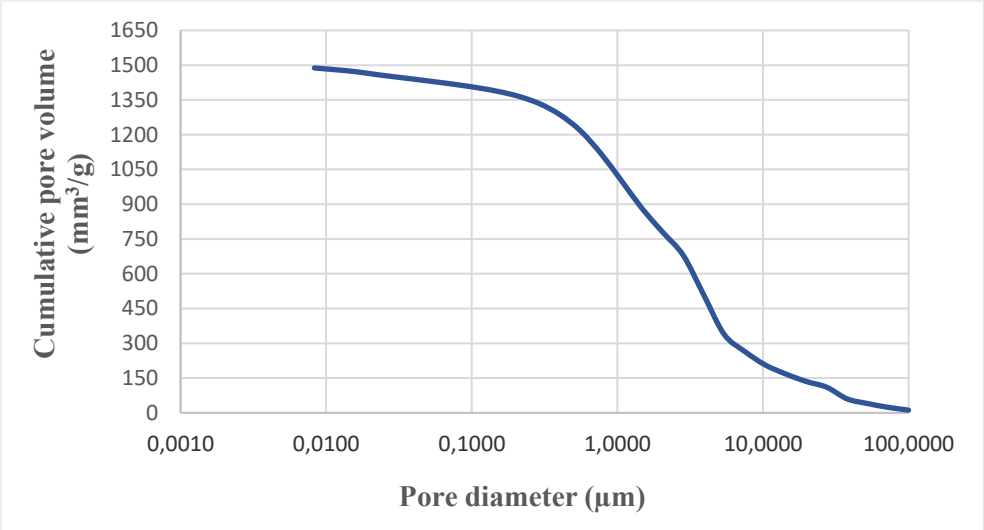

14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
dV/dlogD (mm3/g)
0,0010
0,0100
0,1000
1,0000
10,0000
100,0000
1 000,0000
Pore diameter (µm)

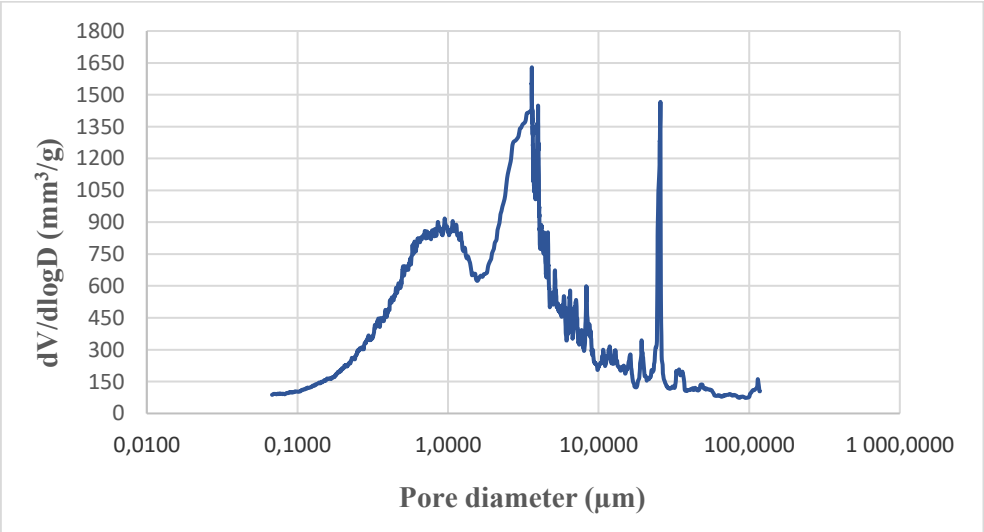
- *LIME-EPS*


3600
3200
2800
2400
2000
1600
1200
800
400
0
Cumulative pore volume (mm3/g)
0,0010
0,0100
0,1000
1,0000
10,0000
100,0000
Pore diameter (µm)

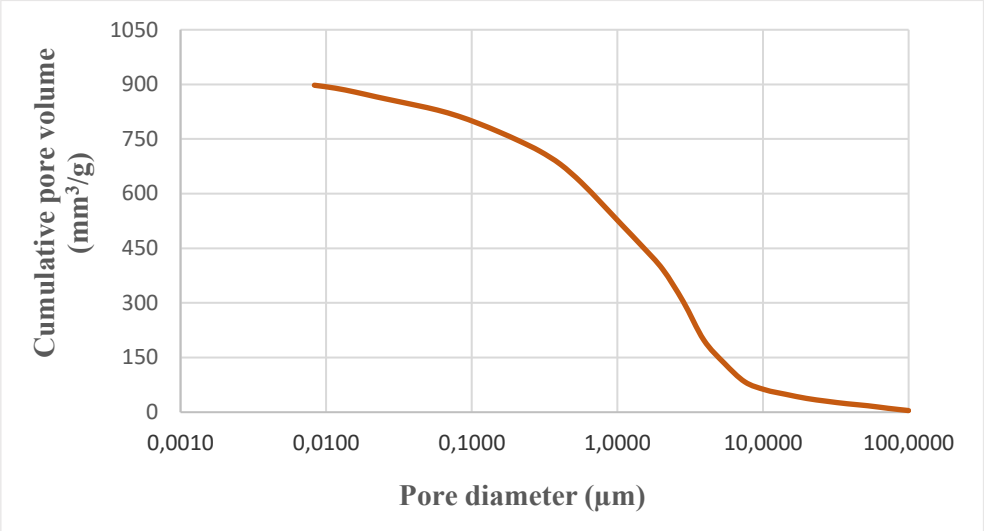

10000
8000
6000
4000
2000
0
dV/dlogD (mm³/g)
0,0010
0,0100
0,1000
1,0000
10,0000
100,0000
1 000,0000
Pore diameter (µm)

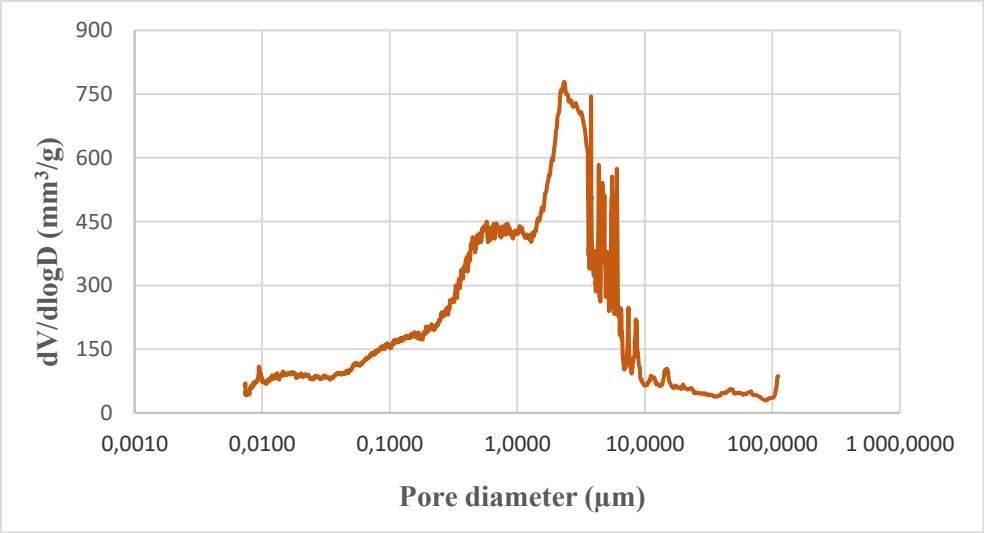
- *NHL-CORK*


1650
1500
1350
1200
1050
900
750
600
450
300
150
0
Cumulative pore volume (mm³/g)
0,0010
0,0100
0,1000
1,0000
10,0000
100,0000
Pore diameter (µm)


1800
1650
1500
1350
1200
1050
900
750
600
450
300
150
0
dV/dlogD (mm³/g)
0,0100
0,1000
1,0000
10,0000
100,0000
1 000,0000
Pore diameter (µm)

- *NHL-CORK-DEUM*





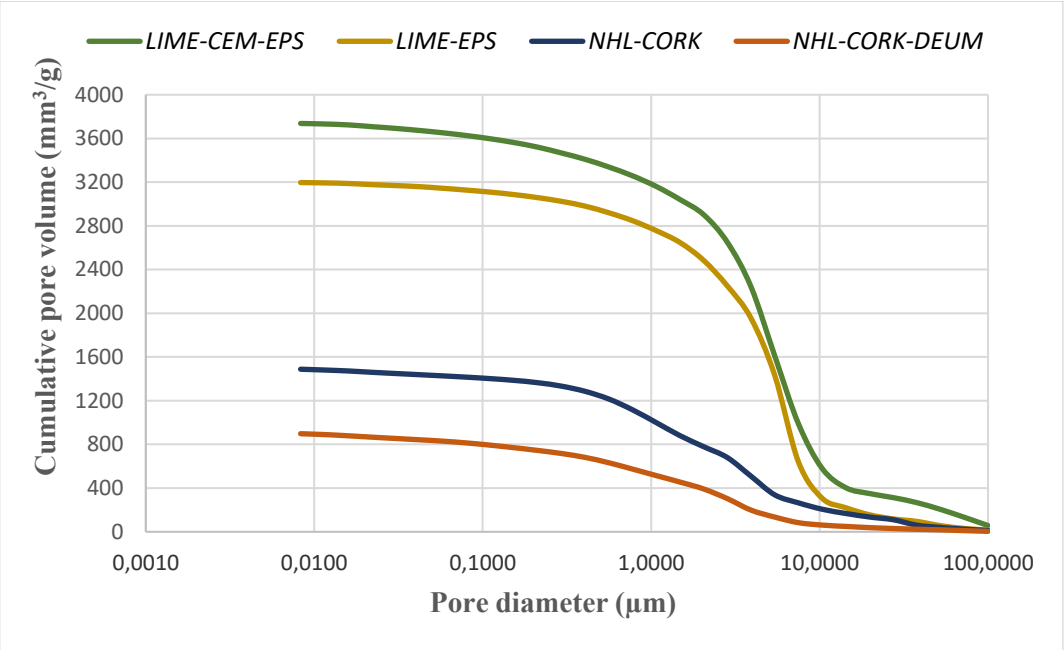
Considerazioni

L'invecchiamento mediante nebbia salina ha modificato la distribuzione dei pori nei campioni *NHL-CORK* e *NHL-CORK-DEUM* aumentando la dimensione di quest'ultimi. Nei campioni con microsfere di EPS non ci sono state significative variazioni.

Si confermano le ipotesi a tempo T=0.

Tabella 36; Risultati out della MIP

Campione	Porosità totale aperta %	A, superf, Totale dei pori [m²/g]	Diametro medio dei pori [µm]
LIME-CEM-EPS	87,35	29,49	0,51
LIME-EPS	82,52	19,97	0,64
NHL-CORK	73,04	21,64	0,28
NHL-CORK-DEUM	64,85	22,64	0,16



7.3 Determinazione della massa volumica apparente della malta indurita

Risultati

In riferimento al precedente cap.6.3, non si effettua il calcolo del volume effettivo in quanto la sua incidenza non risulta essere significativa dinanzi alla successiva approssimazione definita da normativa. In aggiunta il calcolo del volume effettivo attraverso immersione risulta essere non preciso in quando subentrano condizioni al contorno difficili da controllare che alterano notevolmente la lettura del volume come ad esempio l'assorbimento d'acqua, l'errore di parallasse e la graduazione del becher. La densità si è calcolata con la seguente formula considerando il volume dello stampo:

$$\rho_{bulk} = \overline{\rho_{bulk}} = \sum_{i=1}^{N_{campioni}} \frac{\rho_{bulk}}{N_{campioni}}$$

Tabella 37: LIME-CEM-EPS. Valutazione della massa volumica apparente calcolata

LIME-CEM-EPS	ID Provino	Volume stampo provino conforme alla UNI EN 196-1 V_s (m^3)	Massa campione essiccato $m_{s,dry,i}$ (kg)	Massa volumica apparente malta indurita del provino $\rho_{bulk,i} = m_{s,dry,i}/V_s$ (kg/m^3)	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3)
	B1	$256*10^{-6}$	0,0437	171	**166**
	B2		0,0411	161	
	B3		0,0428	167	

Tabella 38:LIME-EPS. Valutazione della massa volumica apparente calcolata

LIME-EPS	ID Provino	Volume stampo provino conforme alla UNI EN 196-1 V_s (m^3)	Massa campione essiccato $m_{s,dry,i}$ (kg)	Massa volumica apparente malta indurita del provino $\rho_{bulk,i} = m_{s,dry,i}/V_s$ (kg/m^3)	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3)
	A1	$256*10^{-6}$	0,0489	191	**200**
	A2		0,0524	205	
	A3		0,0534	209	
	A4		0,0502	196	

Tabella 39: NHL- CORK. Valutazione della massa volumica apparente calcolata

NHL-CORK	ID Provino	Volume stampo provino conforme alla UNI EN 196-1 V_s (m^3)	Massa campione essiccato $m_{s,dry,i}$ (kg)	Massa volumica apparente malta indurita del provino $\rho_{bulk,i} = m_{s,dry,i}/V_s$ (kg/m^3)	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3)
	C1	$256*10^{-6}$	0,117	458	**446**
	C2		0,113	443	
	C3		0,112	436	

Tabella 40: NHL- CORK-DEUM. Valutazione della massa volumica apparente calcolata

NHL-CORK-DEUM	ID Provino	Volume stampo provino conforme alla UNI EN 196-1 V_s (m^3)	Massa campione essiccato $m_{s,dry,i}$ (kg)	Massa volumica apparente malta indurita del provino $\rho_{bulk,i} = m_{s,dry,i}/V_s$ (kg/m^3)	Massa volumica apparente media ρ_{bulk} (kg/m^3)
	D1	$256*10^{-6}$	0,175	684	**674**
	D2		0,172	671	
	D3		0,171	669	

Di seguito di riporta la tabella con i risultati delle prove.

Tabella 41: Risultati prova conforme alle UNI EN 1015-10

Campioni -	Massa *kg*	Volume *m³*	Densità *kg/m³*
LIME-CEM-EPS	0,0433	0,000256	170
LIME-EPS	0,0512	0,000256	200
NHL-CORK	0,1141	0,000256	450
NHL-CORK-DEUM	0,1726	0,000256	670

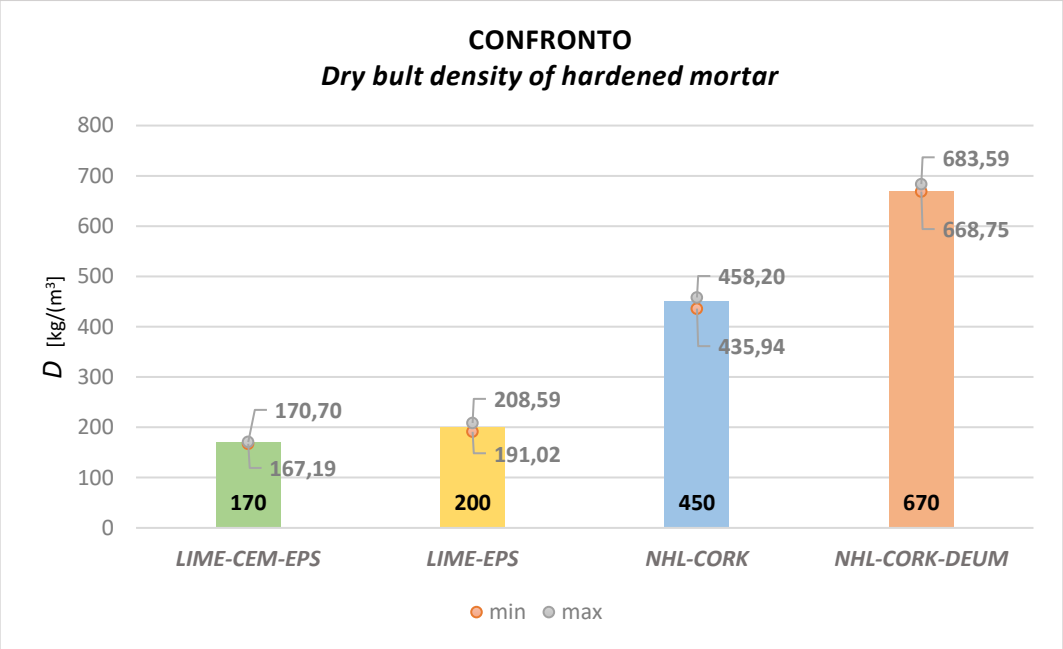


Figura 150: Dry bulk density of hardened mortar

Considerazioni

A seguito dell'invecchiamento mediante nebbia salina, le masse sono aumentate a causa dell'assorbimento dei materiali e dell'intrusione del cloruro di sodio. I provini a *LIME-CEM-EPS e LIME-EPS* non hanno subito un rilevante aumento di densità. Tale valore è confermato anche dal loro coefficiente di assorbimento per capillarità basso a T=0. Risultati opposti hanno ottenuto i campioni *NHL-CORK* e *NHL-CORK-DEUM*: la massa e quindi la loro densità è aumentata significativamente.

7.4 Determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità della malta indurita

Risultati

ID Provino		$*m_0$ [g]	$*m_1$ [g]	$*m_2$ [g]	C_i [kg/(m^2 min^{0,5})]	C_m [kg/(m^2 min^{0,5})]
LIME-CEM-EPS	B1	30,9	32	33,2	0,12	0,14
	B1'	28,2	29,2	30,5	0,13	
	B2	22,4	23,1	24,8	0,17	
	B2'	26,9	27,9	29,5	0,16	
	B3	27,5	28,9	30,2	0,13	
	B3'	30	28,6	30,1	0,15	

Tabella 42: Risultati campione LIME-CEM-EPS

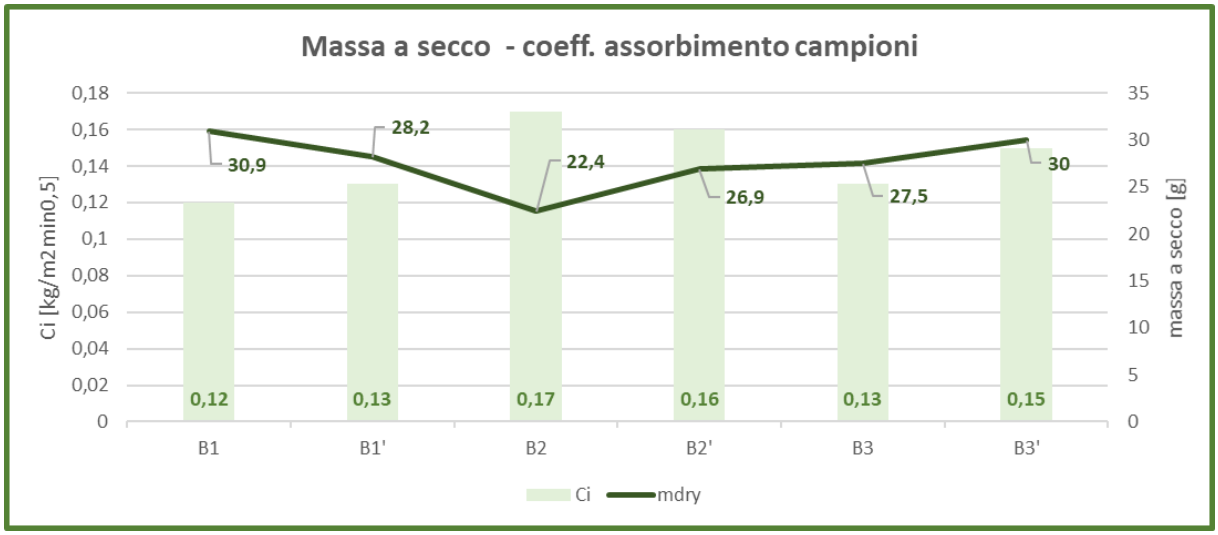


Figura 151:Andamento della massa in relazione al coefficiente di assorbimento

ID Provino		*m_0 [g]	*m_1 [g]	*m_2 [g]	C_i [kg/(m^2 min^{0,5})]	C_m [kg/(m^2 min^{0,5})]
LIME-EPS	A1	34,5	39,3	45,7	0,64	0,57
	A1'	33,6	38,6	45,5	0,69	
	A2	33,8	37,2	41,5	0,43	
	A2'	33,7	37,2	41,5	0,43	
	A3	36,6	42,4	48,8	0,64	
	A3'	31,2	36,9	44,2	0,73	
	A4	32,2	35,9	41,5	0,56	
	A4'	37,2	40,7	45	0,43	

Tabella 43: Risultati campione LIME-EPS

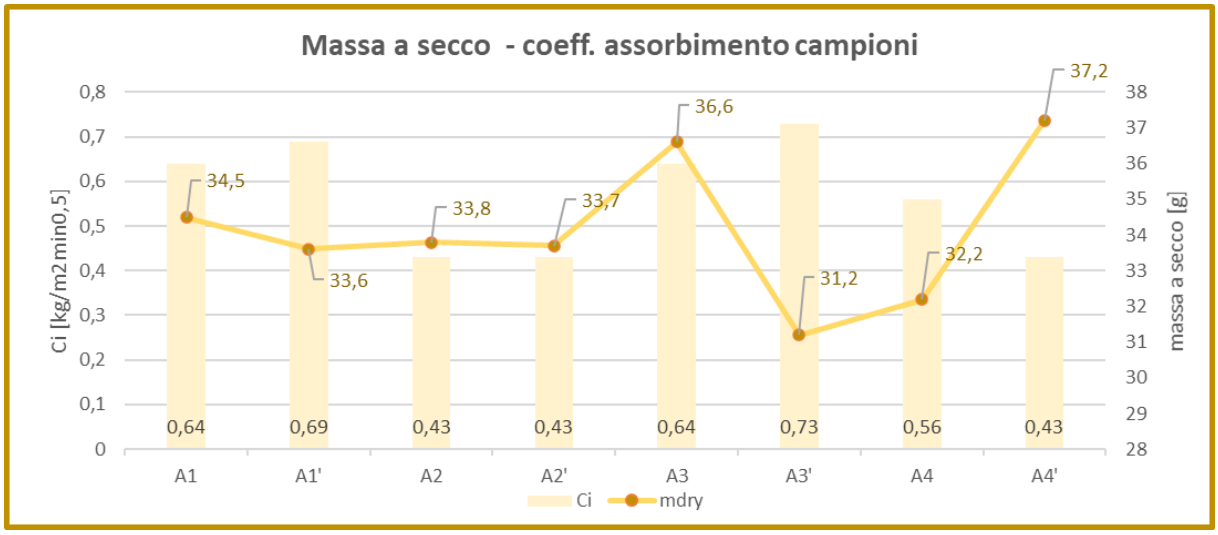


Figura 152: Andamento della massa in relazione al coefficiente di assorbimento

ID Provino		*m_0 [g]	*m_1 [g]	*m_2 [g]	C_i [kg/(m^2 min^{0,5})]	C_m [kg/(m^2 min^{0,5})]
NHL-CORK	C1	66,5	76,9	96,7	1,98	1,87
	C1'	62,2	72,1	88,6	1,65	
	C2	67,3	78,6	97,9	1,93	
	C2'	65,6	76,7	95,7	1,9	
	C3	61,1	71,9	92,7	2,08	
	C3'	63,2	75,7	92,5	1,68	

Tabella 44: Risultati campione NHL-CORK

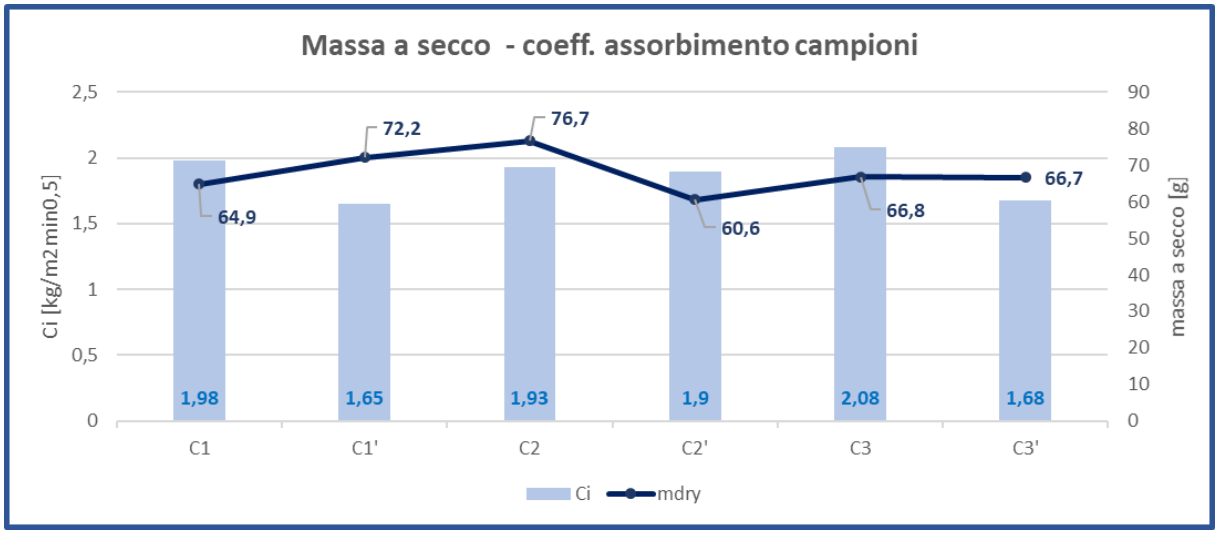


Figura 153: Andamento della massa in relazione al coefficiente di assorbimento

ID Provino		*m_0 [g]	*m_1 [g]	*m_2 [g]	C_i [kg/(m^2 min^{0,5})]	C_m [kg/(m^2 min^{0,5})]
NHL-CORK-DEUM	D1	96,2	101	109,2	0,82	1,17
	D1'	94,2	98,9	108,7	0,98	
	D2	82,1	87,5	95,9	0,84	
	D2'	89,6	95,1	107,9	1,28	
	D3	92,6	99,2	115,1	1,59	
	D3'	95,7	102,4	117,7	1,53	

Tabella 45: Risultati campione NHL-CORK-DEUM

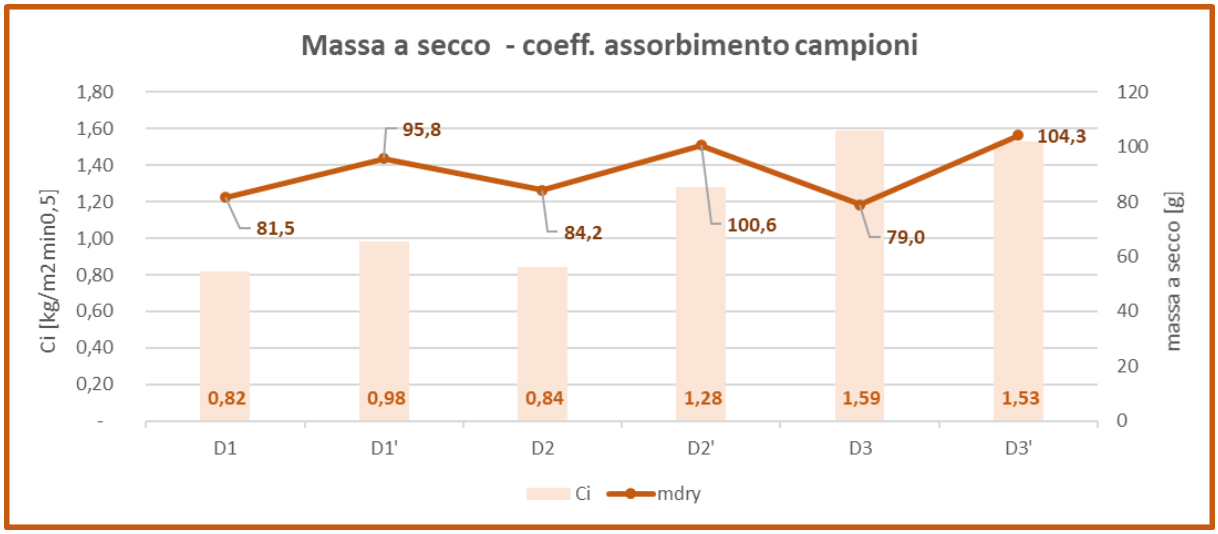


Figura 154: Andamento della massa in relazione al coefficiente di assorbimento

*i valori delle masse contengono anche i grammi riferiti alla paraffina laterale

**valori contrassegnati in rosso non sono stati considerati nel calcolo del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità in quanto sono valori anomali

Di seguito di riporta la tabella con i risultati delle prove.

Tabella 46: Risultati finali

Campione	Cm da calcolo $kg/(m^2\ min^{0,5})$	Cm con appr. Normativa $kg/(m^2\ min^{0,5})$
LIME-CEM-EPS	0,14	0,15
LIME-EPS	0,57	0,60
NHL-CORK	1,87	2,00
NHL-CORK-DEUM	1,17	1,50

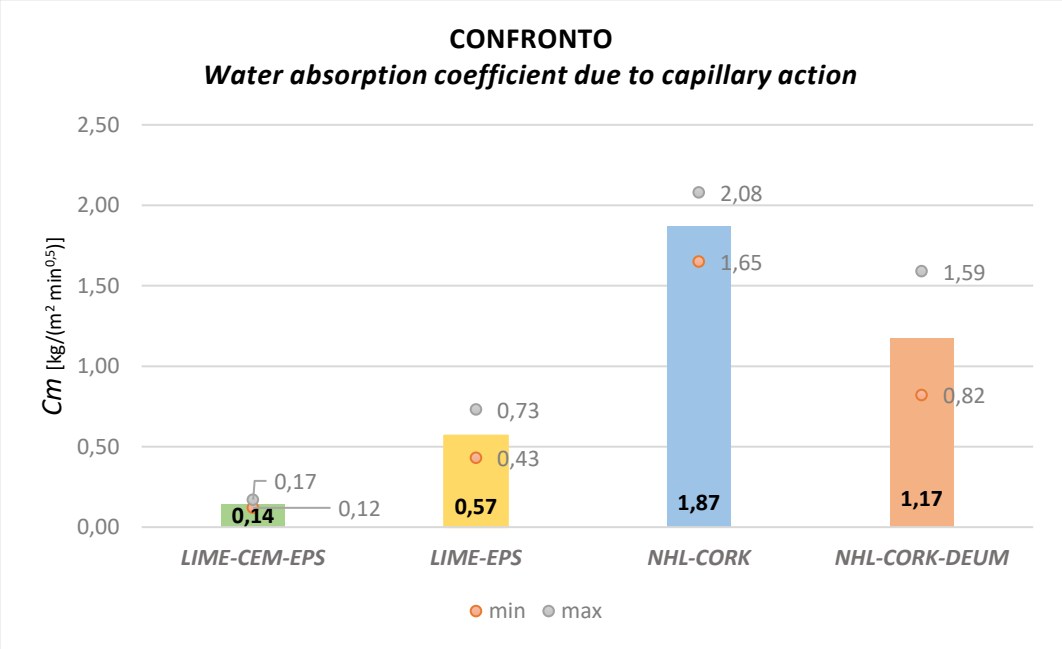


Figura 155: Confronto dei risultati ottenuti

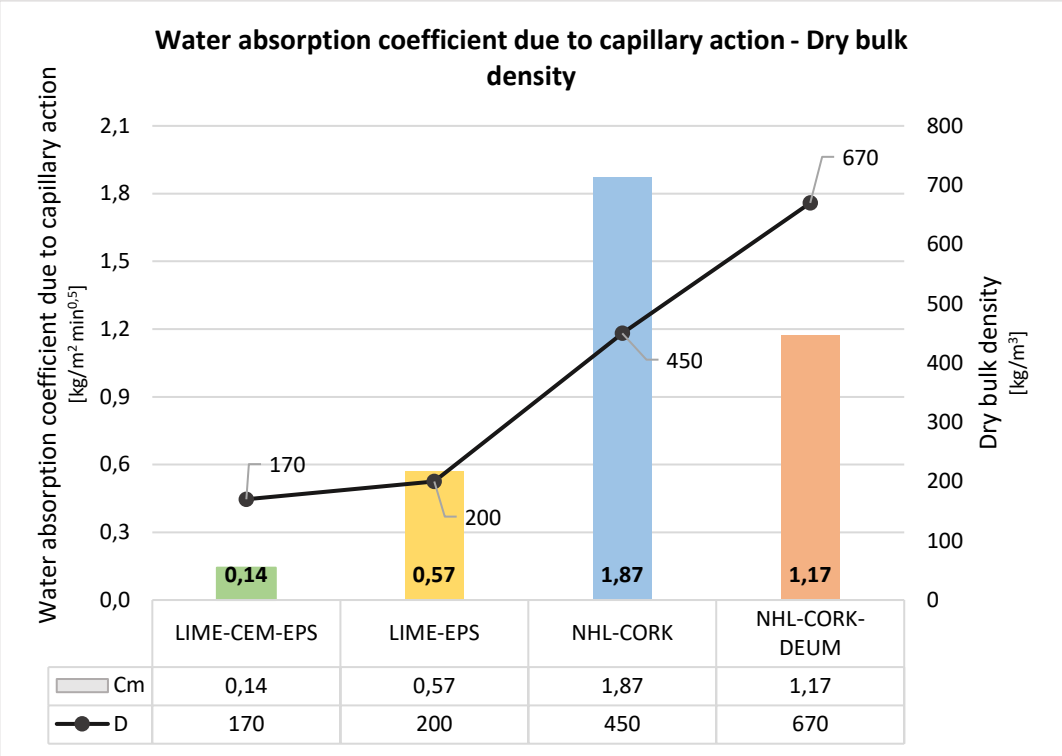


Figura 156:Confronto tra Cm e Dm

Considerazioni

I provini a seguito dell'invecchiamento artificiale cambiano la loro attitudine nell'assorbire l'acqua per capillarità. Si nota che il campione *LIME-CEM-EPS* non subisce variazioni significative. Gli altri campioni *LIME-EPS, NHL-CORK, NHL-CORK-DEUM* mostrano un notevole aumento del coefficiente di assorbimento di capillarità. Si nota il comportamento del campione *NHL-CORK*: il valore di 1,87 kg/(m^2 min^{0,5}) è a conferma che questa tipologia di intonaco termico è adatto solo per interni.

Tabella 47: Classificazione secondo UNI EN 998-1

	W (kg/m^2 min^{0,5})	Class	EN 998-1
LIME-CEM-EPS	0,15	W2	≤0,2
LIME-EPS	0,60	n/a	n/a
NHL-CORK	2,00	n/a	n/a
NHL-CORK-DEUM	1,50	n/a	n/a

7.5 Determinazione della permeabilità al vapore d'acqua della malta da intonaco

Risultati

Tabella 48: Risultati prova permeabilità al vapore del campione LIME-CEM-EPS

LIME-CEM-EPS	Wvp [kg/(m s Pa)]	δa [kg/(m s Pa)]	μ -	media	min	max
B4	4,75E-11	1,97E-10	4,16	4,46	3,75	5,47
B5	5,26E-11	1,97E-10	3,75			
B6	3,61E-11	1,97E-10	5,47			

Tabella 49: Risultati prova permeabilità al vapore del campione LIME- EPS

LIME-EPS	Wvp [kg/(m s Pa)]	δa [kg/(m s Pa)]	μ -	media	min	max
A4	6,37E-11	1,97E-10	3,10	2,63	2,11	3,10
A5	9,34E-11	1,97E-10	2,11			
A6	7,35E-11	1,97E-10	2,69			

Tabella 50: Risultati prova permeabilità al vapore del campione NHL-CORK

NHL-CORK	Wvp [kg/(m s Pa)]	δa [kg/(m s Pa)]	μ -	media	min	max
C4	1,29E-10	1,97E-10	1,53	1,49	1,06	1,87
C5	1,06E-10	1,97E-10	1,87			
C6	1,87E-10	1,97E-10	1,06			

Tabella 51: Risultati prova permeabilità al vapore del campione NHL-CORK-DEUM

NHL-CORK-DEUM	Wvp [kg/(m s Pa)]	δa [kg/(m s Pa)]	μ -	media	min	max
D4	4,97E-11	1,97E-10	3,97	3,61	2,86	3,99
D5	6,91E-11	1,97E-10	2,86			
D6	4,95E-11	1,97E-10	3,99			

Considerazioni

I campioni con microsfere di EPS hanno confermato le loro caratteristiche a tempo T=0. Solo il campione *LIME-EPS* ha avuto un leggero aumento della resistenza al vapor d'acqua a causa della variazione della distribuzione dei pori. Invece i campioni a base di calce idraulica e sughero hanno mostrato una diminuzione della resistenza al vapore e

quindi un aumento della permeabilità. I materiali analizzati, anche dopo l'invecchiamento hanno ottenuto una μ≤15.

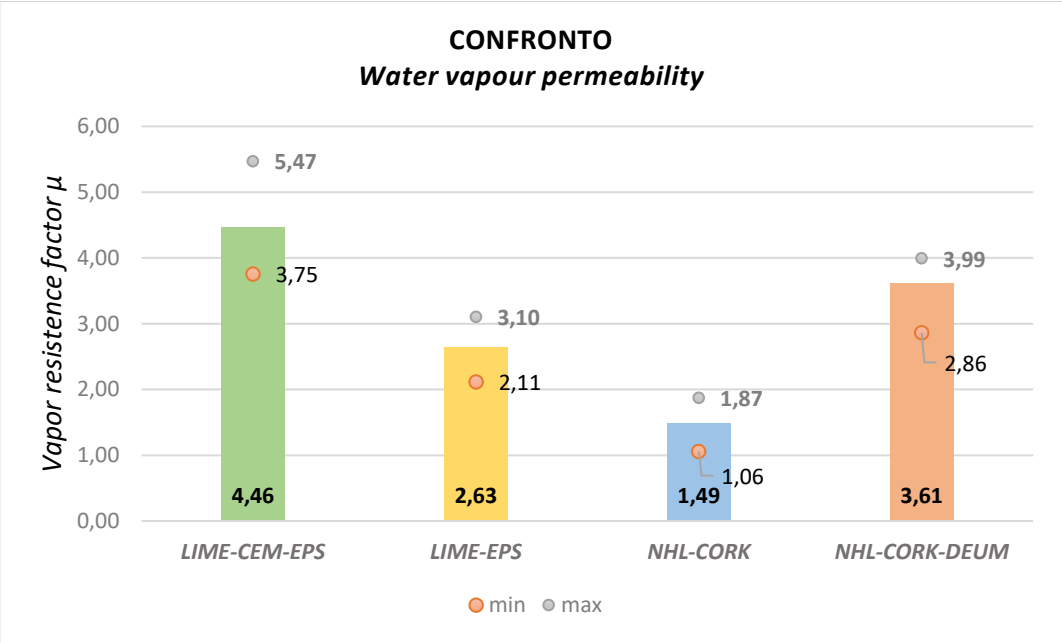
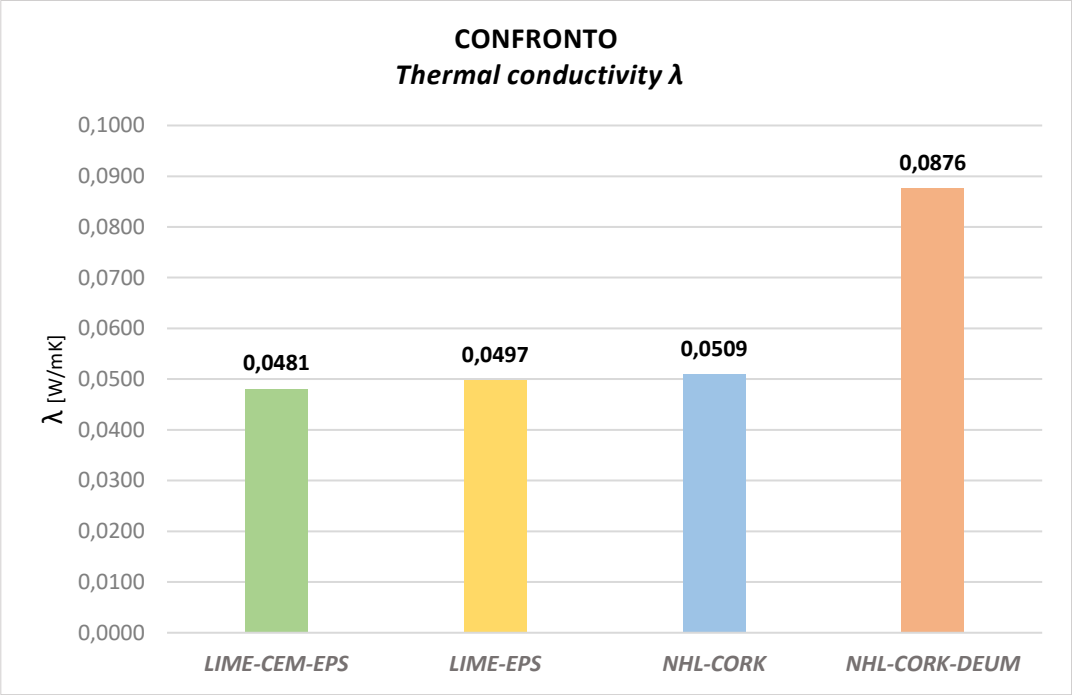


Tabella 52: Classificazione secondo UNI EN 998-1

	μ	Class	EN 998-1
LIME-CEM-EPS	4,46	n/a	≤15
LIME-EPS	2,63	n/a	≤15
NHL-CORK	1,49	n/a	≤15
NHL-CORK-DEUM	3,61	n/a	≤15

7.6 Determinazione della conducibilità termica con il metodo del termoflussimetro

Risultati



Considerazioni

A seguito dell'invecchiamento artificiale, i campioni aventi come aggregato l'EPS, hanno confermato le prestazioni a T=0, invece *NHL-CORK* e *NHL-CORK-DEUM* hanno subito un decremento del valore della λ, aumentando così la loro prestazione dal punto di vista termico.

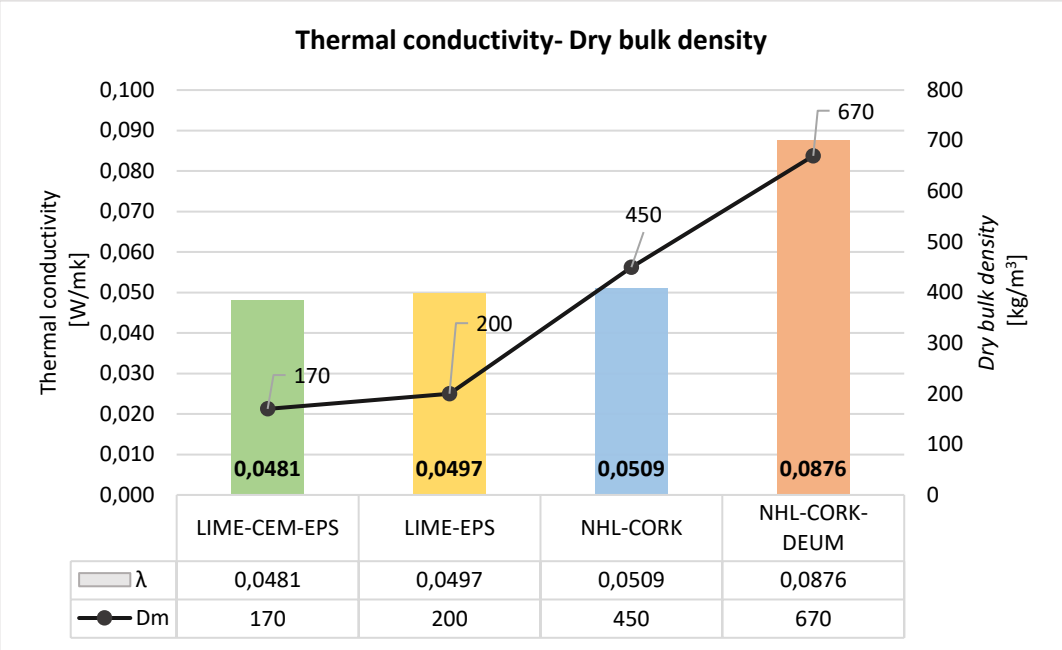


Tabella 53: Classificazione secondo UNI EN 998-1

	λ (W/mK)	Class	EN 998-1
LIME-CEM-EPS	0,0481	T1	≤0,1
LIME-EPS	0,0497	T1	≤0,1
NHL-CORK	0,0509	T1	≤0,1
NHL-CORK-DEUM	0,0876	T1	≤0,1

8 DISCUSSIONE

Lo studio sperimentale che è stato svolto ha permesso di stabilire le caratteristiche di durabilità degli intonaci termici a seguito dell'esposizione a cicli di nebbia salina.

Scelta dell'invecchiamento artificiale

La scelta dell'invecchiamento artificiale si è basata sulla ricerca di un metodo aggressivo che potesse sollecitare le caratteristiche dei materiali analizzati. In aggiunta si voleva valutare la durabilità dei materiali ricreando un ambiente salino, tipico delle zone costiere. Si è ricostituita un'atmosfera salina con una concentrazione di (100±10) g/L di soluzione di NaCl e acqua secondo la norma UNI EN 14147 [6].

Tabella 54: Confronto dei tipi di invecchiamenti

Riferimento bibliografico	Oggetto	Tipologie di invecchiamento
Enea, D., Bellardita, M., Scalisi, P., Alaimo, G. & Palmisano, L. Effects of weathering on the performance of self-cleaning photocatalytic paints. *Cem. Concr. Compos.* 96, 77–86 (2019).	Pitture	Nebbia salina
Marvila, M. T. et al. Durability of coating mortars containing açaí fibers. Case Stud. Constr. Mater. 13, (2020).[35]	Malte con aggregati vegetali	Nebbia salina
Mu, R., Miao, C., Luo, X. & Sun, W. Interaction between loading, freeze-thaw cycles, and chloride salt attack of concrete with and without steel fiber reinforcement. Cem. Concr. Res. 32, 1061–1066 (2002).[36]	Cemento	Attacco da cloruri Gelo e disgelo
Junco, C., Gadea, J., Rodríguez, A., Gutiérrez-González, S. & Calderón, V. Durability of lightweight masonry mortars made with white recycled polyurethane foam. Cem. Concr. Compos. 34, 1174–1179 (2012).[37]	Malte con poliuretano espanso	Nebbia salina

Di Bella, G., Fiore, V., Galtieri, G., Borsellino, C. & Valenza, A. Effects of natural fibres reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs. Polypropylene). Constr. Build. Mater. 58, 159–165 (2014). [34]	Malte a base di calce	Nebbia salina
Bochen, J. Weathering effects on physical-chemical properties of external plaster mortars exposed to different environments. Constr. Build. Mater. 79, 192–206 (2015).	Malte da esterno	Ambienti differenti

In riferimento alle informazioni acquisite con i suddetti articoli di ricerca, si è deciso di effettuare un invecchiamento mediante un ciclo composto da 4 ore di nebbia salina e 8 ore di essiccazione per un totale di 60 cicli in 30 giorni.

Per lo svolgimento della sperimentazione si è progettata una camera idonea per poter contenere tutti i provini che poi successivamente sono stati testati con le stesse modalità di caratterizzazione a tempo T=0. L'invecchiamento è stato concepito in riferimento alla normativa UNI EN 14147:"*Metodi di prova per pietre naturali: Determinazione della resistenza all'invecchiamento mediante nebbia salina"* senza valutare la perdita di massa dei campioni in quando si è voluto valutare l'effetto della nebbia salina sulle caratteristiche termoigrometriche e quindi con la possibile presenza di NaCl all'interno dei campioni. La valutazione della perdita di massa implicava la deionizzazione dei campioni, processo ritenuto non consono ai fini dell'obiettivo preposto.

I campioni dopo l'invecchiamento non hanno mostrato segni di degrado sostanziale con perdita di materiale, processo che invece è accaduto ai campioni di intonaco studiati da *Di Bella, G., Fiore, V., Galtieri, G., Borsellino, C. & Valenza et al* [34] mediante il medesimo ciclo di invecchiamento.

Sui campioni analizzati. è stato rilevato del degrado superficiale dovuto dalla variazione cromatica attraverso il deposito del sale e sono state riscontrate delle efflorescenze, particolarmente significative nei provini di *NHL-CORK* sottoposti alla prova di permeabilità dove il vapor acqua ha permesso il maggior trasporto di sale. [Figura 157]

Figura 157: Degrado riveduto su alcuni provini a disco piatto di NHL-CORK

Valutazione della durabilità: caratterizzazione chimica e morfologica

Le prove non distruttive relative al metodo del microscopio elettronico a scansione e l'analisi elementare dipendono dalla posizione di prelevazione del campione. I risultati ottenuti sono di tipo qualitativo.

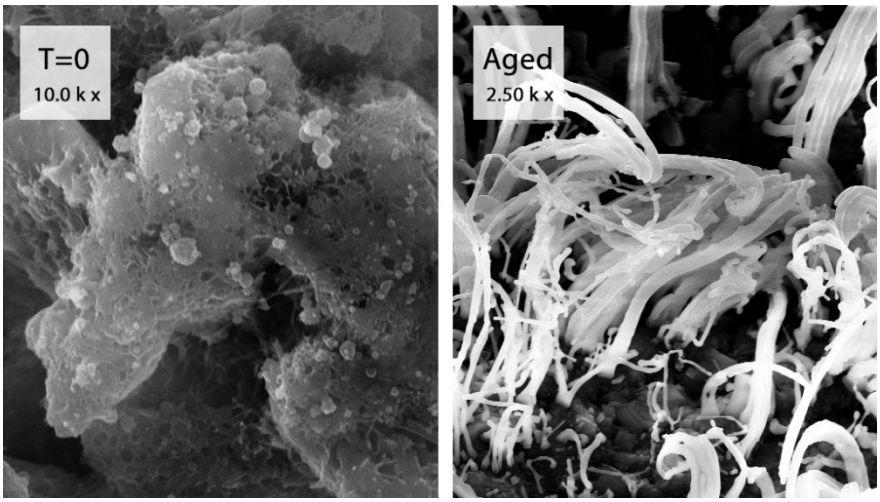


Figura 158: Confronto immagini SEM ZEISS_LIME-CEM-EPS

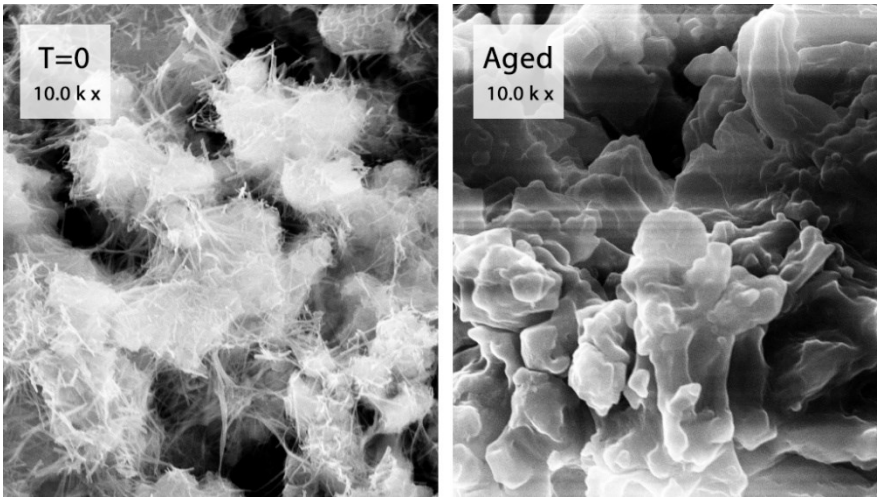


Figura 159:Confronto immagini SEM ZEISS_LIME-EPS

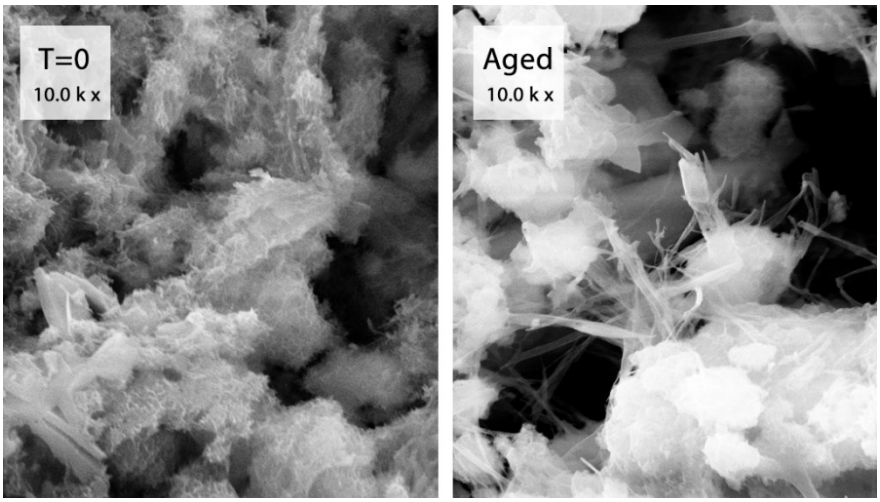


Figura 160: Confronto immagini SEM ZEISS_NHL-CORK

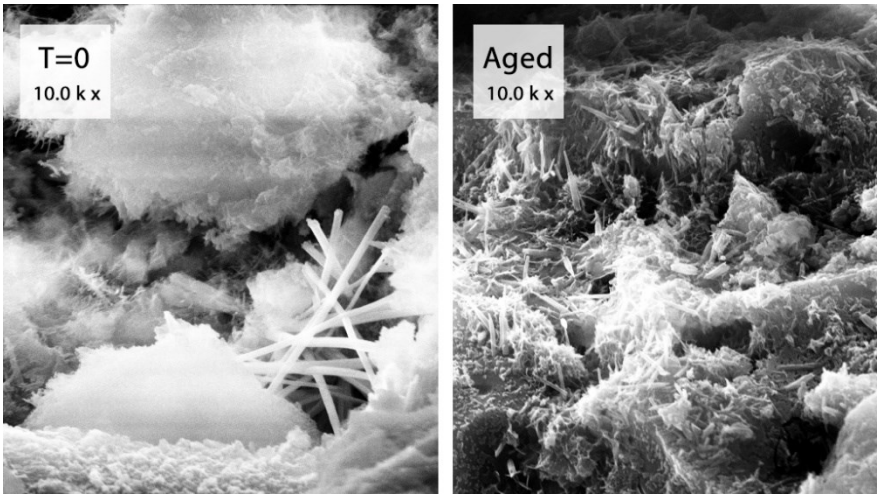


Figura 161: Confronto immagini SEM ZEISS_NHL-CORK-DEUM

L'attacco da nebbia salina non ha riportato rilevanti cambiamenti sulla composizione elementare degli intonaci termici. Grazie al SEM è stato possibili vedere la formazione di cristallizzazioni del sale aventi strutture differenti. L'apporto di soluzione, la velocità di evaporazione e il contenuto d'acqua del substrato, determinano la diversa formazione dei cristalli: una fornitura bassa di soluzione dà luogo a cristalli di baffi (campione *LIME-CEM-EPS*) e un'alta fornitura determina una crosta di sale [38]. Inoltre, la forma della struttura cristallizzata dipende molto dallo stato di avanzamento di formazione in quanto non è un sale stabile. In generale è possibile vedere la deposizione di NaCl sulle superficie di tutti i campioni.

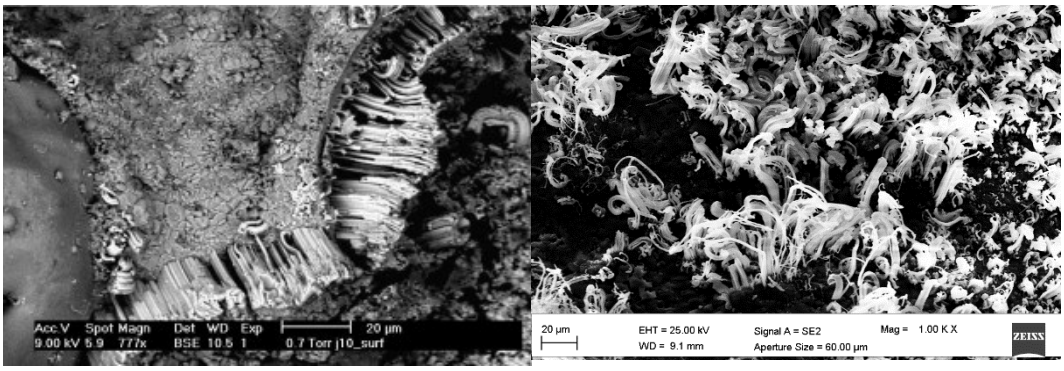
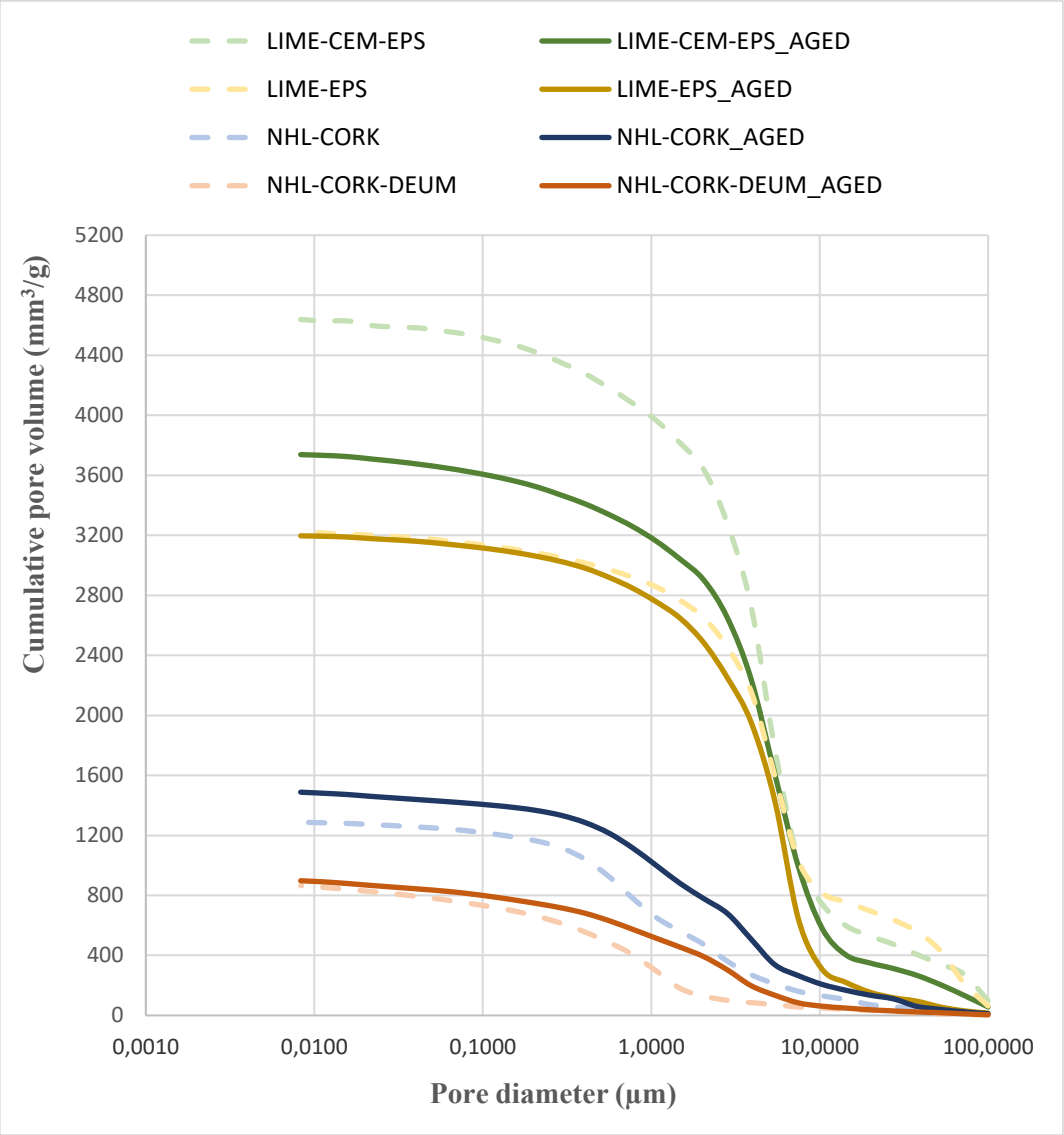


Figura 162: Confronto della cristallizzazione a forma di baffi con la letteratura [38]

Valutazione della durabilità: caratterizzazione fisica e termoigrometrica

I campioni sono stati sottoposti alle medesime prove e condizioni al contorno in modo da avere un corretto confronto pre e post invecchiamento.

L'analisi porosimetrica al mercurio è stata effettuata su tutti gli intonaci anche se dai campioni con aggregato le microsfere di EPS si possono ottenere curve non perfettamente corrette a causa di problemi connessi alla compressibilità e alla natura polimetrica del materiale. Questo aspetto è confermato da *Ferrándiz-Mas, V. & García-Alcocel et al* [39] il quale afferma che la tecnica della porosimetria ad intrusione di mercurio non è particolarmente adatta alla natura polimerica e alla struttura porosa interna del polistirene espanso. In ogni caso l'analisi è servita per definire, a parità di condizioni al contorno, la variazione della distribuzione dei pori a seguito dell'invecchiamento.



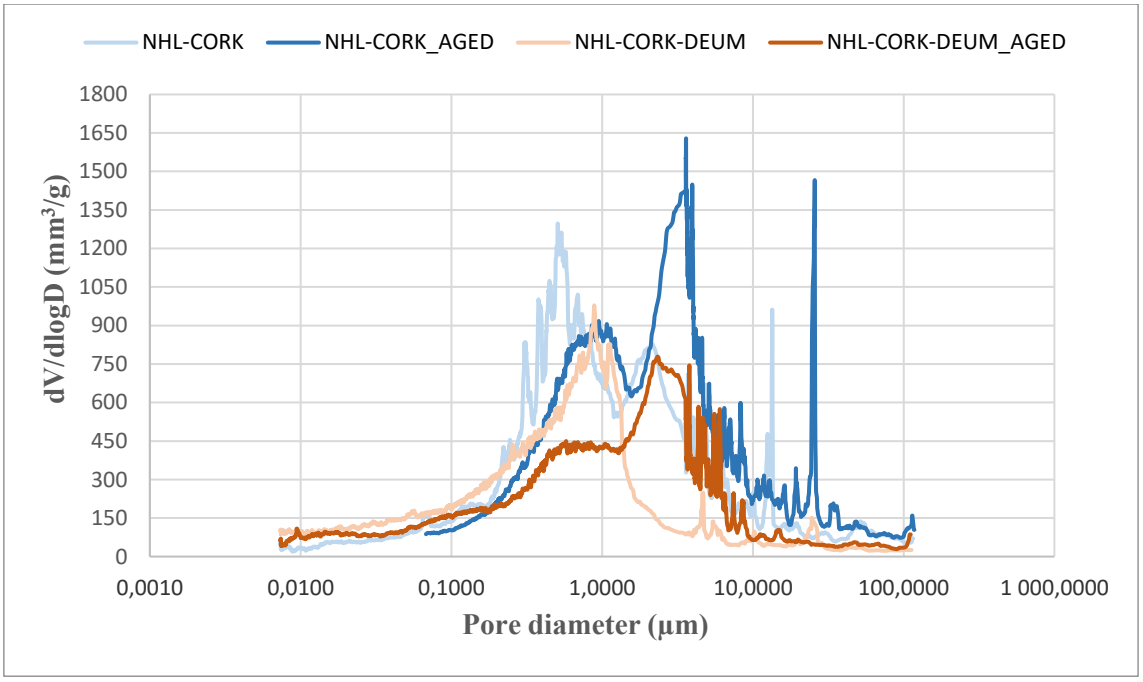
Dalla figura si evince che a seguito dell'invecchiamento c'è stato un duplice comportamento:

- I campioni con aggregato di EPS sono diventati leggermente meno porosi e hanno ridotti il quantitativo di macropori con diametro maggiore di 10 µm.
- I campioni con aggregato di sughero sono diventati più porosi. In particolare, hanno aumentato i pori con un diametro maggiore di 0,1 µm ovvero i meso e i macropori

La distribuzione dei pori e in particolare la presenza dei macropori, influenza notevolmente la capacità di assorbimento degli intonaci valutati attraverso il coefficiente descritto dalla UNI EN 1015-18. L'influenza delle microporosità sulla capacità di

assorbimento incide maggiormente nel lungo periodo (circa dopo le 24h). Inoltre, la capacità di assorbimento degli intonaci dipende anche dall'affinità dei materiali con l'acqua: la calce idraulica e il sughero risultano essere molto affini all'acqua invece la natura polimerica dell'EPS lo rende idrofobo. Quindi gli intonaci termici con microsfere di EPS pur essendo più porosi rispetto agli altri campioni analizzati, tenderanno ad avere un coefficiente di assorbimento più basso proprio per la natura dell'aggregato.

Il campione con sughero più poroso anche a seguito dell'invecchiamento è *NHL-CORK* il quale data la sua densità e conducibilità più basse, possiamo dedurre che abbia un quantitativo di sughero maggiore rispetto a *NHL-CORK-DEUM* come affermano *Al Rim, K., Ledhem, A., Douzane, O., Dheilly, R. M. & Queneudec, M. et al* [40].



Dallo spettro dei picchi possiamo dedurre che *NHL-CORK* e *NHL-CORK-DEUM* a seguito dell'invecchiamento avranno un coefficiente di assorbimento per capillarità maggiore rispetto al tempo T=0 in quanto si può notare che sono aumentate le macroporosità.

Campione	Porosità totale aperta %	Porosità totale aperta *aged* %	A,superf, Totale dei pori [m²/g]	A, superf, Totale dei pori *aged* [m²/g]
LIME-CEM-EPS	87,43	87,35	31,20	29,49
LIME-EPS	84,69	82,52	24,96	19,97
NHL-CORK	72,77	73,04	18,26	21,64
NHL-CORK-DEUM	65,35	64,85	30,09	22,64

Da come si evince dalle curve, la minor porosità totale di *NHL-CORK-DEUM* è data dalla possibile minore quantità di aggregato, aspetto confermato dalla densità maggiore rispetto a *NHL-CORK*.

Possiamo stimare il contenuto di EPS nei campioni *LIME-CEM-EPS* e *LIME-EPS* attraverso una relazione approssimativa della composizione dei campioni di. *Laoubi, H. et al* [13]. Attraverso il suo studio, l'autore mostra come la dimensioni delle sfere di EPS e la loro percentuale, incidano sulla densità e sulle proprietà meccaniche. In particolare, mostra come l'aumento di diametro della sfera di EPS e il suo contenuto maggiore nella matrice, faccia decrescere in maniera considerevole la densità. Dal grafico si evince che all'aumentare del contenuto di EPS, la densità diventa indipendente dalla dimensione del diametro delle EPS. Quindi anche se la dimensione delle microsfere di EPS utilizzate è inferiore di 3 mm, date le densità di *LIME-CEM-EPS* e *LIME-EPS* possiamo stimare che quest'ultimi abbiano un quantitativo di microsfere superiore al 70%.

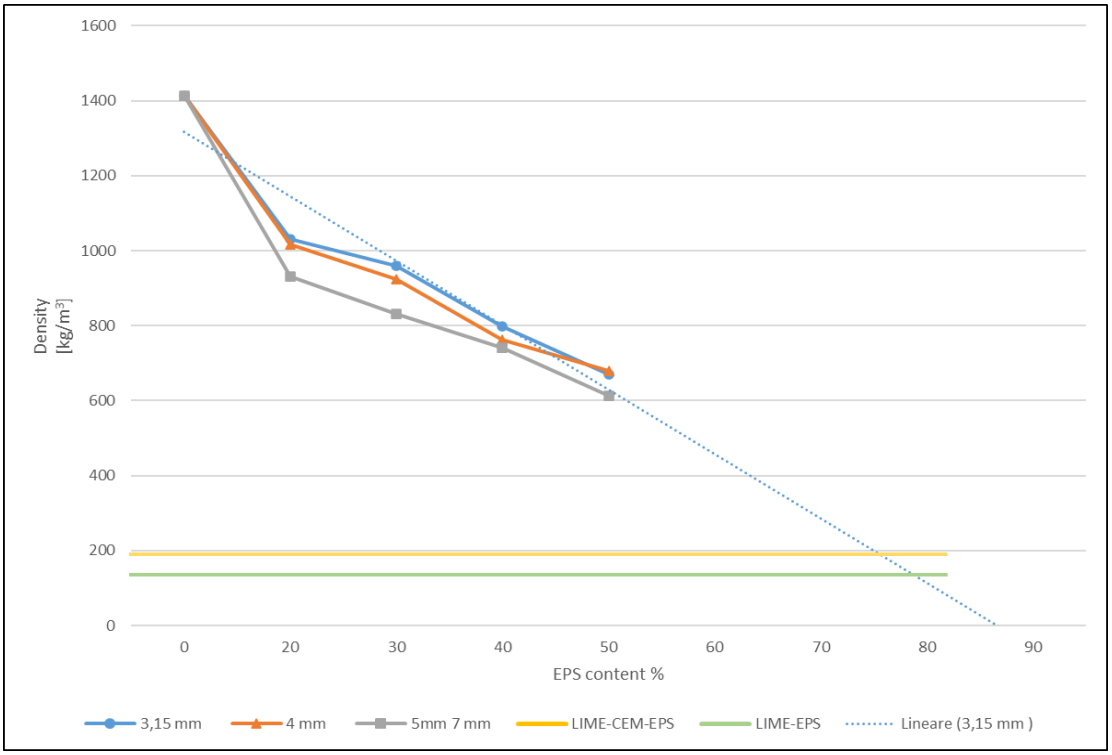


Figura 163: Rielaborazione dati Laoubi, H. et al [13] con previsione del contenuto di EPS

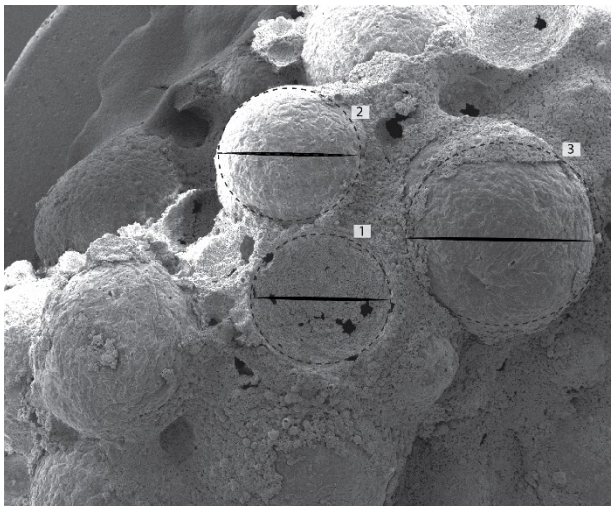


Figura 165: Stime della dimensone dei diametri di LIME-CEM-EPS

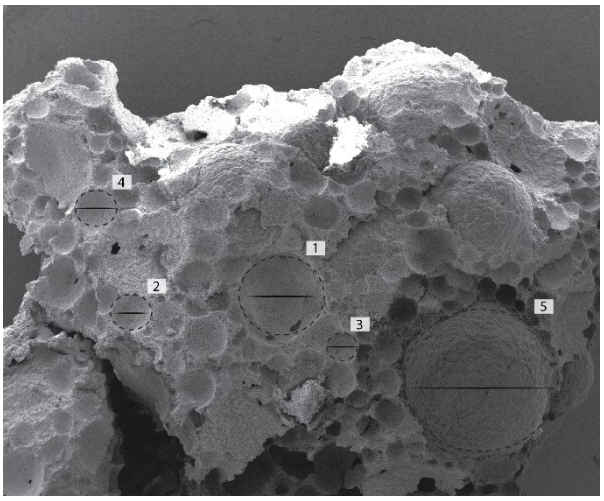


Figura 164: Stima della dimensione dei diametri di LIME-EPS

	dIametro dei punti selezionati in mm				
Campione	1	2	3	4	5
LIME-CEM-EPS	0,90	0,39	0,32	0,44	1,60
LIME-EPS	1,45	1,52	2,08	0,00	0,00

Tabella 55: Raccolta diametri tipo

Quindi per quanto riguardo i campioni *LIME-CEM-EPS* e *LIME-EPS* possiamo affermare che dato l'elevato contenuto di microsfere di EPS, la durabilità del materiale è ottimale proprio per la natura dell'aggregato come afferma *Ferrándiz-Mas, V. & García-Alcocel et al* [39]. Questo aspetto è confermato dalla densità, il coefficiente di assorbimento capillare e la conducibilità che non hanno subito praticamente variazioni post invecchiamento. È aumentato solo il coefficiente di assorbimento di *LIME-EPS* del +232% rispetto al valore T=0, dovuto probabilmente alla maggior presenza di calce idrata (50%) rispetto a *LIME-CEM-EPS.*

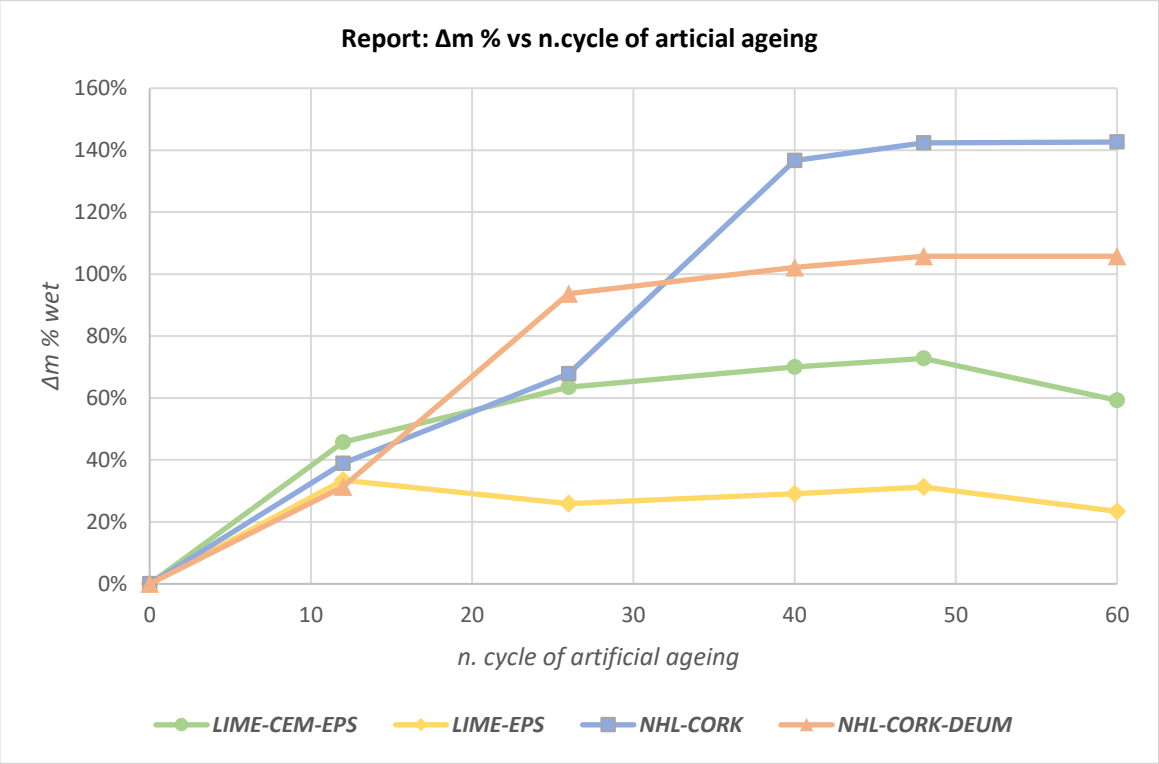


Figura 166:Analisi della variazione di massa durante la prova

Durante il processo di invecchiamento tramite nebbia salina, si sono registrate le masse di campioni prismatici [Figura 166], al fine di osservare la variazione percentuale delle masse in relazione al numero dei cicli effettuati. Dai dati emersi, si evince l'attitudine dei campioni ad assorbire la nebbia e in particolare si nota il campione *NHL-CORK* che sino al ventiseiesimo ciclo ha mostrato una diretta proporzionalità tra variazione di massa e cicli. Dopo il ventiseiesimo ciclo ha subito una variazione della l'andamento con un aumento della massa rispetto al tempo T=0 del 140%. Invece il campione *NHL-CORK-DEUM* ha aumentato la sua massa sino circa il 100% per poi assumere un andamento

quasi stabile. Il campione *LIME-EPS* invece ha mostrato un comportamento instabile durante la prova, effettuando un'oscillazione della massa dopo il dodicesimo ciclo. Diversamente è successo per *LIME-CEM-EPS* il quale ha avuto un incremento di massa per tutta la prova sino ad arrivare ad un massimo del 78% rispetto al tempo T=0 per poi decrescere sino al sessantesimo ciclo. L'incremento di massa in condizioni di umido è maggiore nel campione *NHL-CORK*.

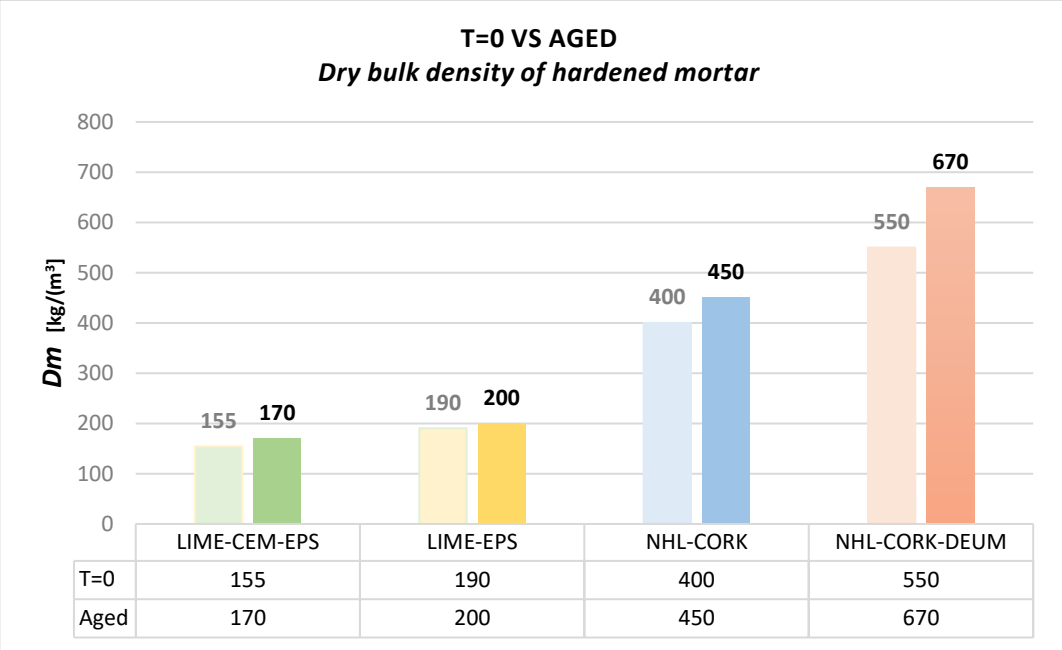


Figura 167:Dry bulk density of hardend mortar T=0 and Aged

Il comportamento dei campioni durante la prova è a conferma della variazione della densità dopo l'esposizione a nebbia salina. Si nota che i campioni a base di calce naturale hanno una variazione significativa della densità del +13% per *NHL-CORK* e del di +22% per *NHL-CORK-DEUM*. I termointonaci con microsfere di EPS essendo meno propensi all'assorbimento, non hanno una sostanziale variazione di densità con una media di +10% per *LIME-CEM-EPS* e con media di 5% per *LIME-EPS*

Tabella 56: Valutazione media della variazione di densità del provino secco secondo UNI EN 1015-10

Campione	Dm *kg/m³*	Dm_{aged} *kg/m³*	Δ% -	Δ *g*
LIME-CEM-EPS	155	170	10%	15
LIME-EPS	190	200	5%	10
NHL-CORK	400	450	13%	50
NHL-CORK-DEUM	550	670	22%	120

Confrontando la variazione di densità dei campioni secchi si può evidenziare il quantitativo/percentuale di sale che hanno assorbito i campioni.

Il buon comportamento dei primi due campioni è confermato da *Ferrándiz-Mas García-Alcocel, E. et al* [39], V. il quale mostra il coefficiente di assorbimento di diversi campioni non invecchiati a base di EPS.

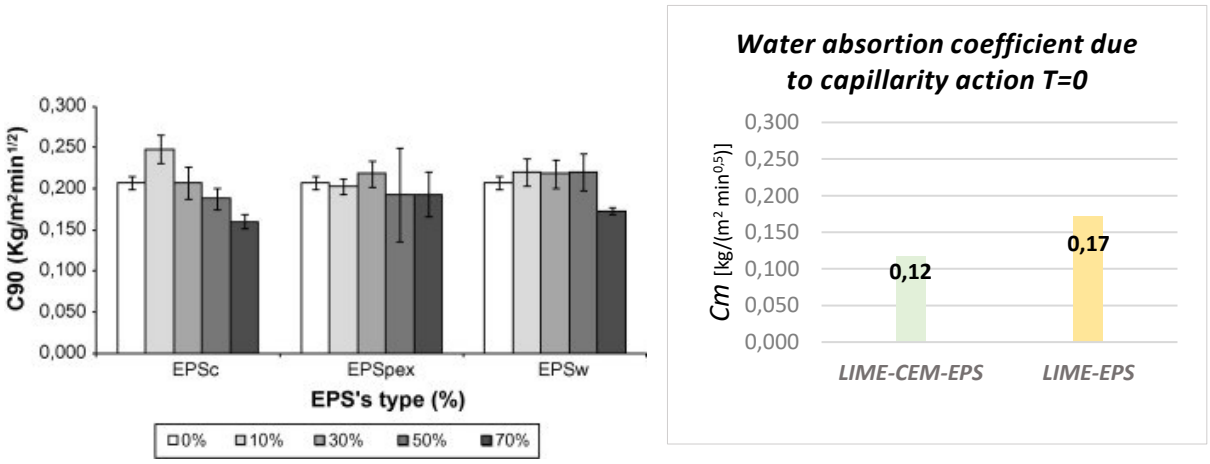


Figura 168: Confronto dati con prova di García-Alcocel, E. et al [38]

Le prestazioni peggiori degli intonaci a base di calce naturale e sughero sono state anche confermate *da C.Brocato et al* [11] la quale ha effettuato la prova di assorbimento capillare per i campioni *CORK001* e *Biocork*.

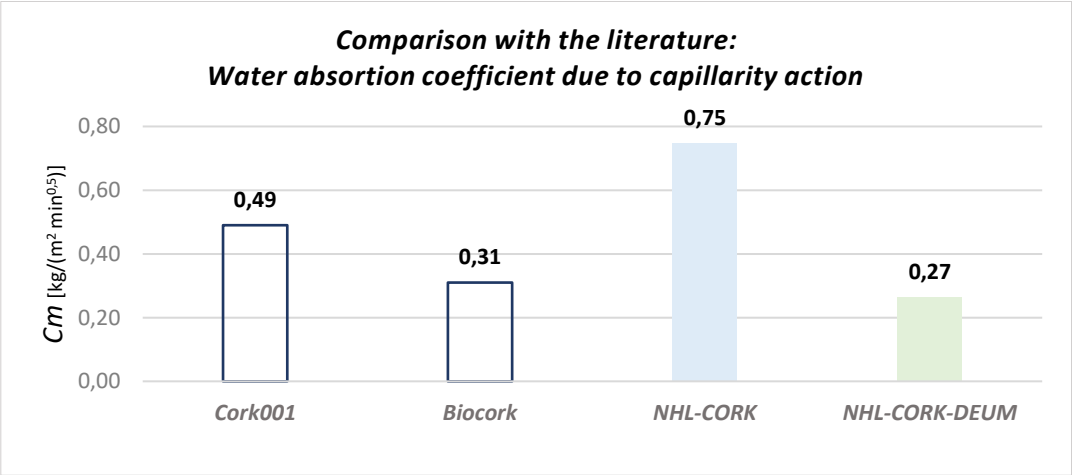


Figura 169:Confronto dati con prova in letteratura

Contrariamente da quello che ci aspettavamo, il campione *LIME-EPS* a seguito dell'invecchiamento ha aumentato il suo coefficiente di assorbimento per capillarità e questo potrebbe essere indice della variazione della distribuzione delle porosità come afferma *Coppola, B. et al* [41] per malte con aggregati di rifiuti di plastica espansa. *LIME-CEM-EPS* invece non ha una sostanziale variazione: solo del +23% ma a seguito di arrotondamento da normative, il valore rimane invariato (0,15 kg/m^2 min $^{0.5}$). In aggiunta il peggior comportamento di *LIME-EPS* rispetto a *LIME-CEM-EPS* può essere dovuto dalla diversa percentuale di calce idrata all'interno della miscela. (*LIME EPS* ha un 50 % di calce idrata contro il 20 % di *LIME-CEM-EPS*)

Invece i campioni *NHL-CORK* e *NHL-CORK-DEUM* hanno subito una notevole variazione del coefficiente di assorbimento dato da un aumento delle macroporosità e a causa della natura degli intonaci studiati.

Il campione *NHL-CORK-DEUM* ha un coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità minore in quanto ha un trattamento idrofobizzante che cambia l'angolo di contatto con l'acqua e quindi rende il materiale meno affine ai liquidi come mostra la Figura 170.

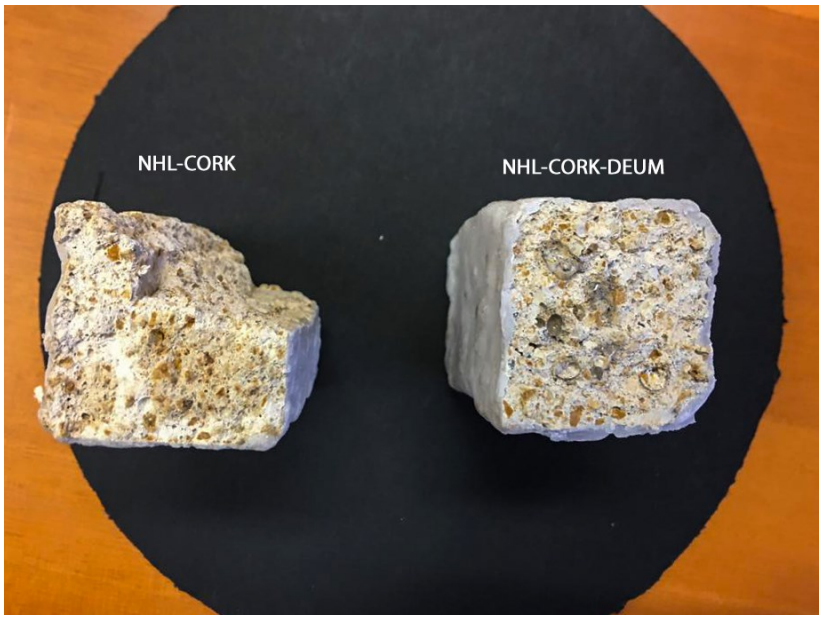


Figura 170: Prova della goccia

Dalla figura si può notare che il campione *NHL-CORK* assorbe immediatamente l'acqua ed invece sul campione *NHL-CORK-DEUM* a parità di tempo trascorso, il liquido rimane sulla superficie in forma di goccia.

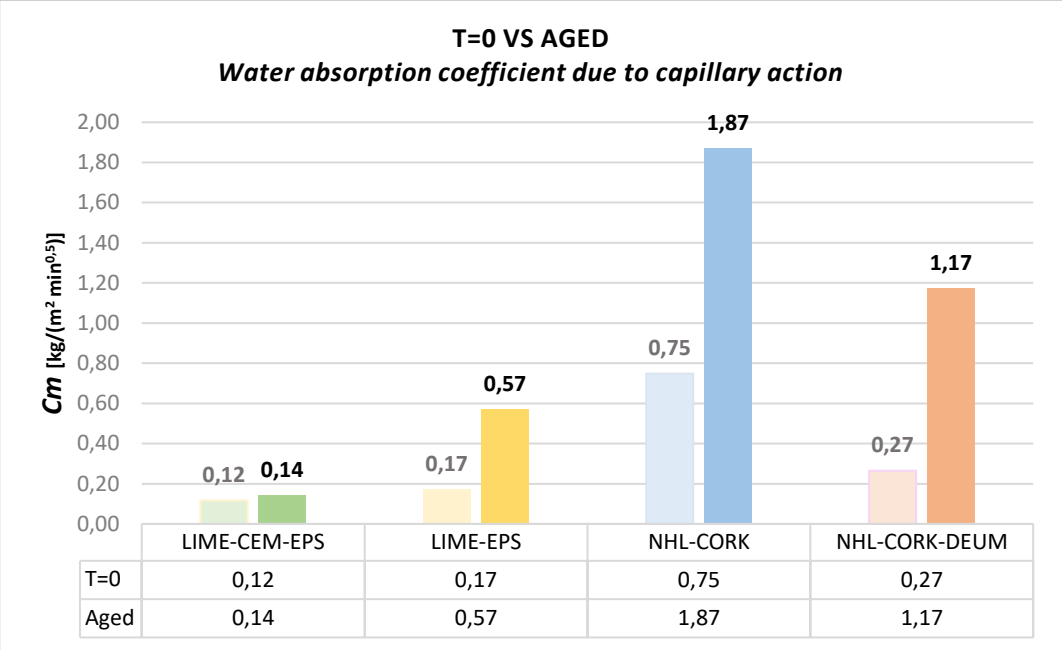


Figura 171: Water absorption coefficient due to capillary action of hardend mortar T=0 and Aged

Campione	Cm $kg/(m^2\ min^{0,5})$	Cm_{aged} $kg/(m^2\ min^{0,5})$	Δ%	W $kg/(m^2\ min^{0,5})$	W_{aged} $kg/(m^2\ min^{0,5})$
LIME-CEM-EPS	0,12	0,14	23%	Wc_2	Wc_2
LIME-EPS	0,17	0,57	232%	Wc_2	n/a
NHL-CORK	0,75	1,87	150%	n/a	n/a
NHL-CORK-DEUM	0,27	1,17	343%	Wc_1	n/a

Tabella 57: Water absorption coefficient due to capillary action of hardend mortar T=0 and Aged

L'aumento del coefficiente di assorbimento d'acqua è a conferma del comportamento che ha riportato *J.Bochen et al* [20] il quale ha sottoposto gli intonaci da lui studiati a cicli differenti di invecchiamento artificiale con durata di sino 500 cicli.

Per quanto riguarda la capacità dei materiali di opporre resistenza al passaggio del vapore, possiamo notare che i campioni già a tempo T=0 mostrano bassi valori di μ dimostrando che siamo difronte a intonaci con un elevata permeabilità.

A seguito dell'esposizione salina, la permeabilità degli intonaci con microsfere di EPS rimane pressoché invariato. *LIME-CEM-EPS* ha ottenuto lo stesso valore di μ ed invece *LIME-EPS* ha avuto in incremento di μ del +32% rispetto al tempo T=0.

J.Bochen et al [20] mostra che dopo molteplici cicli di invecchiamento su diverse malte da intonaco, la permeabilità al vapore aumenta e questo è confermato per gli intonaci *NHL-CORK* e *NHL-CORK-DEUM* i quali hanno un decremento della resistenza al passaggio del vapore (rispettivamente -320% per *NHL-CORK* e -175% per *NHL-CORK-DEUM)* e hanno sviluppato un notevole incremento della capacità di assorbimento. Questi due aspetti confermano la maggior presenza e incidenza di macropori all'interno dell'intonaco.

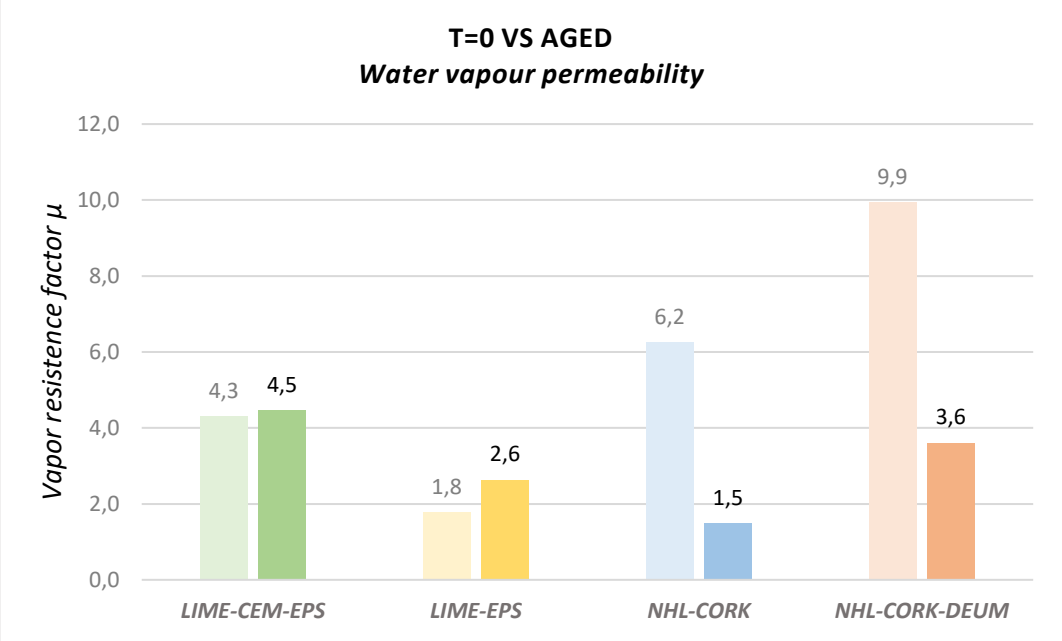


Figura 172:Vapour resistence factor T=0 and Aged

Campione	μ -	μ_{aged} -	Δ%
LIME-CEM-EPS	4,3	4,5	4%
LIME-EPS	1,8	2,6	32%
NHL-CORK	6,2	1,5	-320%
NHL-CORK-DEUM	9,9	3,6	-175%

Tabella 58: Vapour resistence factor T=0 and Aged

Anche dal punto di vista termico, i termointonaci con microsfere di EPS non hanno variato il valore della λ confermando il buon comportamento nei confronti della nebbia salina. Tale andamento è stato riscontrato in letteratura da il *REF 1, REF 2, REF 3, REF 4, REF 5* i quali a seguito di diversi cicli di invecchiamento non hanno subito variazione sostanziale della λ (con un massimo di variazione del 8% di *REF 1* rispetto al valore iniziale). Dal punto di vista termico gli intonaci studiati da *Berardi, U. & Nosrati, R. H.et al* [42] a base di aerogel sono più performanti ma sono risultati di difficile reperibilità sul mercato. Per quanto riguarda i termointoanci con aggregato vegetale, la *λ* di *NHL-CORK* ha subito un decremento del -13% rispetto al valore iniziale, aumentando così le prestazioni termiche. Stessa cosa è successo per i *REF 18-19-20* studiati da *Belayachi, N., Hoxha, D. & Slaimia, M*. et al [17] i quali essendo anche loro composti da elementi naturali, hanno subito un decremento del -13%, -7%, -9% a seguito di un invecchiamento a base di cicli di gelo e disgelo.

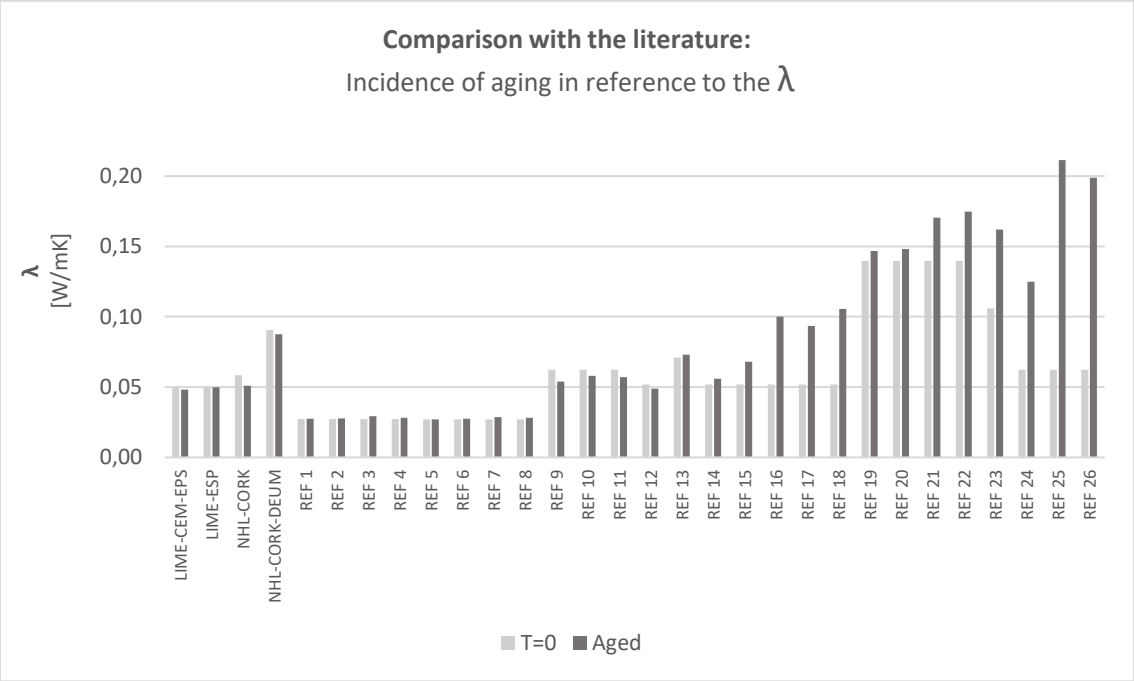


Figura 173:Comparison with the literature: Incidence of aging in reference to the λ

Alcuni REF studiati *da Belayachi, N., Hoxha, D. & Slaimia, M et al* [17] hanno subito una dilatazione del valore della λ in quanto sottoposti a cicli di *drying-wetting,*cicli risultati altamente dannosi per un intonaco a base di gesso e paglia.

Invece i REF studiati *Berardi, U. & Nosrati, R. H. et al* [42] che hanno subito un aumento della conducibilità risultano essere esposti a cicli combinati di *UV+elevated temperature+elevated RH* o cicli aventi un elevato RH.

Tabella 59: Comparison with the literature: Incidence of aging in reference to the λ

	Campioni	$\lambda_{T=0}$	λ_{Aged}	**Δ%**
	LIME-CEM-EPS	0,0496	0,0481	-3%
	LIME-EPS	0,0496	0,0497	0%
	NHL-CORK	0,0584	0,0509	-13%
	NHL-CORK-DEUM	0,0906	0,0876	-3%
	REF 1	0,0272	0,0275	1%
	REF 2	0,0272	0,0277	2%
	REF 3	0,0272	0,0294	8%
[42]	*REF 4*	0,0272	0,0283	4%
	REF 5	0,0270	0,0271	0%
	REF 6	0,0270	0,0275	2%
	REF 7	0,0270	0,0286	6%
	REF 8	0,0270	0,0281	4%
	REF 9	0,0623	0,0540	-13%
[17]	*REF 10*	0,0623	0,0580	-7%
	REF 11	0,0623	0,0570	-9%
	REF 12	0,0518	0,0488	-6%
[43]	*REF 13*	0,0710	0,0730	3%
	REF 14	0,0518	0,0560	8%
	REF 15	0,0518	0,0680	31%
[17]	*REF 16*	0,0518	0,1000	93%
	REF 17	0,0518	0,0936	81%
	REF 18	0,0518	0,1056	104%
	REF 19	0,1398	0,1468	5%
	REF 20	0,1398	0,1482	6%
[42]	*REF 21*	0,1398	0,1706	22%
	REF 22	0,1398	0,1748	25%
[43]	*REF 23*	0,1060	0,1620	53%
	REF 24	0,0623	0,1250	101%
[17]	*REF 25*	0,0623	0,2114	239%
	REF 26	0,0623	0,1990	219%

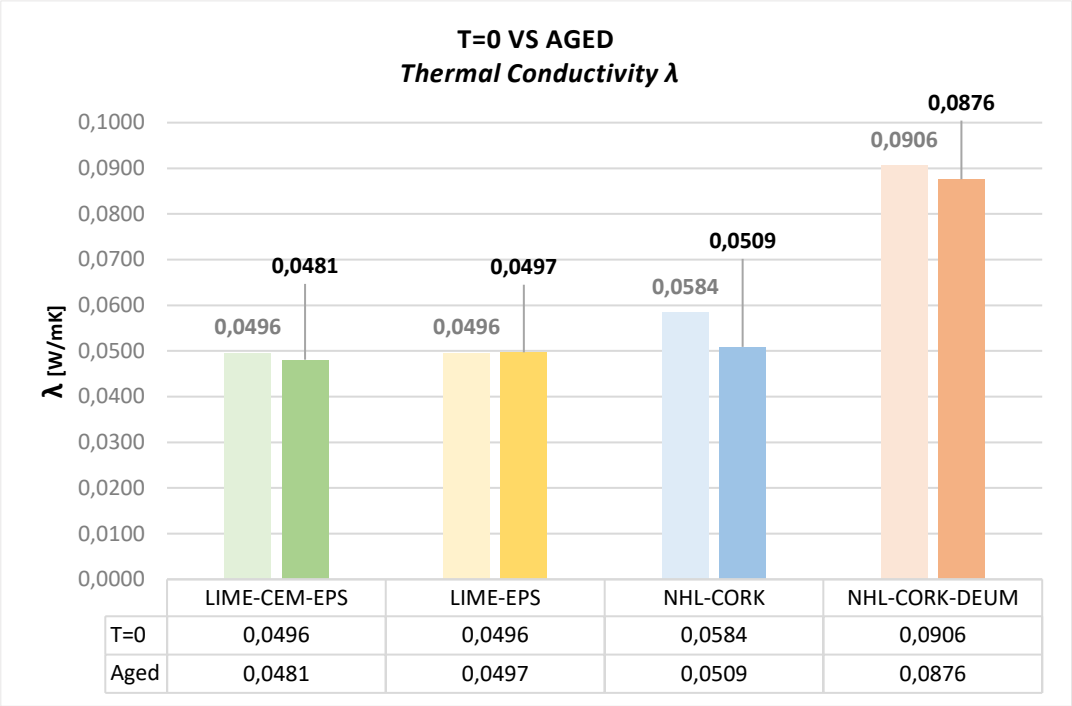


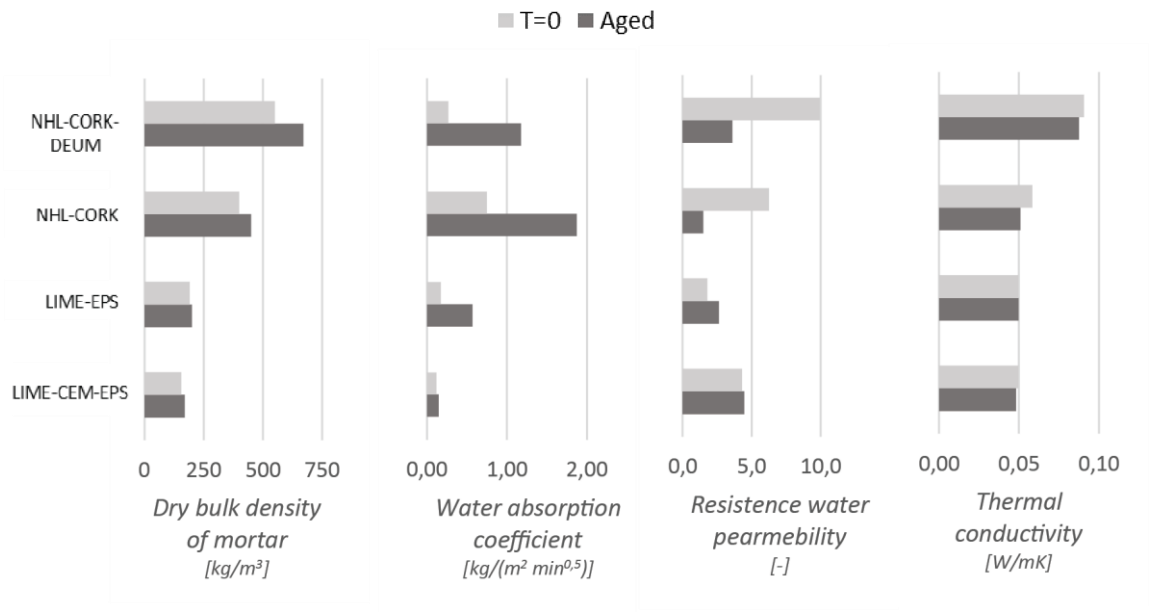
Figura 174: Thermal conductivity:T=0 and Aged

Nome -	λ *W/mK*	λ_{aged} *W/mK*	Δ%	T *W/mK*	T_{aged} *W/mK*
LIME-CEM-EPS	0,0496	0,0481	-3%	T1	T1
LIME-EPS	0,0496	0,0497	0%	T1	T1
NHL-CORK	0,0584	0,0509	-15%	T1	T1
NHL-CORK-DEUM	0,0906	0,0876	-3%	T1	T1

Tabella 60: Thermal conductivity:T=0 and Aged

In generale prestazioni termiche si sono confermate o addirittura sono migliorate a seguito dell'esposizione da nebbia salina.

Infine, si riporta il grafico riassuntivo delle prestazioni studiate nella 4 miscele di intonaco.



9 CONCLUSIONI

Lo studio sperimentale svolto ha permesso di effettuare considerazioni sulla durabilità di 3 intonaci termici e un intonaco avente caratteristiche sia termiche sia deumidificanti. La sperimentazione si è avvalsa di un processo di invecchiamento artificiale mediante nebbia salina.

A seguito dell'analisi possiamo affermare che:

- Per quanto riguarda l'analisi al SEM e l'analisi EDAX i campioni non hanno subito variazioni sostanziali sia dal punto di vista elementale sia dal punto di vista morfologico. È possibile osservare la presenza di NaCl e la sua cristallizzazione. Il campione *LIME-CEM-EPS* ha sviluppato filamenti cristallini.

- Rispetto alla variazione della distribuzione delle porosità, si ha un effetto opposto a seconda dell'aggregato: i campioni con aggregato artificiale hanno una leggera riduzione delle macroporosità e i campioni con sughero hanno un aumento delle macroporosità. L'aumento dei macropori è indice di maggior permeabilità e assorbimento. La distribuzione dimensionale dei pori influenza fortemente la durabilità delle malte e proprietà igrotermiche.

- La massa volumica apparente è aumentata con un massimo del 22% per i campioni a base di NHL e con un massimo del 10% per i campioni con aggregato di EPS. La matrice, la natura dell'aggregato e la capacità di assorbimento hanno svolto un ruolo fondamentale nella variazione della massa durante la fase di invecchiamento.

- L'assorbimento per capillarità non ha subito variazioni significative per il campione *LIME-CEM-EPS* (23% senza arrotondamenti o 0% con arrotondamenti da normativa). *LIME-EPS* ha aumentato la sua attitudine ad assorbire e il suo peggior comportamento rispetto a *LIME-CEM-EPS* può essere dovuto dalla diversa percentuale di calce idrata all'interno della miscela. (*LIME EPS* ha un 50 % di calce idrata contro il 20 % di *LIME-CEM-EPS*). Invece per i restanti intonaci a base di calce naturale mostrano un notevole aumento del coefficiente di assorbimento per capillarità dovuto all'aumento delle porosità e in particolare dei macropori. La

valutazione del coefficiente di assorbimento per capillarità così definito è fortemente influenzato dalla presenza delle macroporosità.

- La permeabilità al vapore è rimasta invariata per il campione *LIME-CEM- EPS* invece il campione *LIME- EPS* ha mostrato un aumento di μ del 32%. I campioni a base di calce naturale e sughero hanno diminuito la resistenza al passaggio al vapore grazie alle macroporosità aggiuntive,diventando così intonaci più permeabili.

- Le prestazioni termiche dei campioni sono rimaste invariate confermando così ancora una volta la durabilità del campione *LIME-CEM- EPS* dinanzi all'attacco da nebbia salina. Il campione *NHL-CORK* ha migliorato le sue prestazioni termiche attraverso una contrazione del valore della λ del -15% rispetto al valore iniziale.

A seguito dello studio sperimentale, possiamo affermare che il campione *LIME-CEM-EPS* è l'intonaco termico più durabile dinanzi dall'esposizione dell'attacco da nebbia salina. Le sue caratteristiche termoigrometriche non hanno subito significative variazioni rispetto al tempo denominato T=0 e in relazione agli altri campioni analizzati.

Gli intonaci composti da aggregati vegetali, calce idraulica naturale e con alte percentuali di calce idrata risentono maggiormente dell'effetto dei cicli salini di bagnasciuga rispetto a miscele con alte percentuali di cemento e aggregati artificiali come l'EPS. Le alterazioni delle caratteristiche dei campioni non sono sempre state negative, in alcuni casi si hanno addirittura dei miglioramenti ma la resilienza del materiale non permette di avere un comportamento controllabile e stimabile in esercizio a causa della sua instabilità.

In conclusione, i fattori che influenzano notevolmente la durabilità degli intonaci termici sottoposti all'invecchiamento mediante nebbia salina sono la natura dell'aggregato e della matrice e l'igroscopia.

10 BIBLIOGRAFIA

[1] “UNI EN 1015-10 "Determinazione della massa volumica apparente della malta indurita essiccata "./” .

[2] “UNI EN 1015-18 ‘Determinazione del coefficiente di assorbimento d’acqua per capillarità della malta indurita.’” .

[3] “UNI EN 1015-19 ‘Determinazione della permeabilità al vapore d’acqua della malta da intonaco indurite.’” .

[4] “UNI EN 12664:2002 ‘Thermal performance of building materials and products - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Dry and moist products of medium and low thermal resistance.’” .

[5] “Strategia Energetica Nazionale: per un’energia più competitiva e sostenibile,marzo 2013, approved by DM 8 March 2013.” .

[6] “UNI EN 14147:2005 Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza all’invecchiamento mediante nebbia salina.” .

[7] L. Bianco, V. Serra, S. Fantucci, M. Dutto, and M. Massolino, “Thermal insulating plaster as a solution for refurbishing historic building envelopes: First experimental results,” *Energy Build.*, vol. 95, pp. 86–91, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.11.016.

[8] J. Peterková, J. Zach, and M. Sedlmajer, “Development of advanced plasters for insulation and renovation of building constructions with regard to their hygrothermal behaviour,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 92, no. September 2015, pp. 47–55, 2018, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.05.014.

[9] “UNI EN 998-1:2016.” .

[10] “U. M. Trocino, ‘Retrofit energetico di edifici residenziali con intonaci di ultima generazione- Potenzialità di riduzione della domanda energetica tramite

applicazione su larga scala', Politecnico di Torino, Tesi di laurea magistrale in Architettura per i." .

[11] C. B. "Caratterizzazione delle proprietà' termoigrometriche e simulazione delle prestazioni di intonaci isolanti "Politecnico di T. corso di laurea in architettura per il progetto Sostenibile and T. di laurea M. a. a. 2019/2020, "CARATTERIZZAZIONE DELLE PROPRIETA' TERMOIGROMETRICHE E SIMULAZIONE DELLE PRESTAZIONI DI INTONACI ISOLANTI." .

[12] V. Corinaldesi, J. Donnini, and A. Nardinocchi, "Lightweight plasters containing plastic waste for sustainable and energy-efficient building," *Constr. Build. Mater.*, vol. 94, pp. 337–345, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.069.

[13] H. Laoubi, M. Bederina, A. Djoudi, A. Goullieux, R. M. Dheilly, and M. Queneudec, "Study of a New Plaster Composite Based on Dune Sand and Expanded Polystyrene as Aggregates," *Open Civ. Eng. J.*, vol. 12, no. 1, pp. 401–412, 2018, doi: 10.2174/1874149501812010401.

[14] J. Maia, N. M. M. Ramos, V. P. De Freitas, and Â. Sousa, "Laboratory tests and potential of thermal insulation plasters," *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 2724–2729, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.613.

[15] L. Contrafatto, S. Gazzo, A. Purrazzo, and A. Gagliano, "Thermo-mechanical Characterization of Insulating Bio-plasters Containing Recycled Volcanic Pyroclasts," *Open Civ. Eng. J.*, vol. 14, no. 1, pp. 66–77, 2020, doi: 10.2174/1874149502014010066.

[16] Y. Govaerts *et al.*, "Performance of a lime-based insulating render for heritage buildings," *Constr. Build. Mater.*, vol. 159, pp. 376–389, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.10.115.

[17] N. Belayachi, D. Hoxha, and M. Slaimia, "Impact of accelerated climatic aging on the behavior of gypsum plaster-straw material for building thermal insulation," *Constr. Build. Mater.*, vol. 125, pp. 912–918, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.08.120.

[18] M. Jerman *et al.*, “Effect of cyclic wetting and drying on microstructure, composition and length changes of lime-based plasters,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 104, no. September, 2019, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2019.103411.

[19] J. Ślusarek, B. Orlik-Kożdoń, J. Bochen, and T. Muzyczuk, “Impact of the imperfection of thermal insulation on structural changes of thin-layer façade claddings in ETICS,” *J. Build. Eng.*, vol. 32, no. January, 2020, doi: 10.1016/j.jobe.2020.101487.

[20] J. Bochen, “Weathering effects on physical-chemical properties of external plaster mortars exposed to different environments,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 79, pp. 192–206, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.079.

[21] H. Morillas *et al.*, “Science of the Total Environment Decay processes in buildings close to the sea induced by marine aerosol : Salt depositions inside construction materials,” vol. 721, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137687.

[22] B. Lubelli *et al.*, “Towards a more effective and reliable salt crystallization test for porous building materials : state of the art,” *Mater. Struct.*, vol. 51, no. 2, pp. 1–21, 2018, doi: 10.1617/s11527-018-1180-5.

[23] B. Lubelli, R. P. J. Van Hees, H. P. Huinink, and C. J. W. P. Groot, “Irreversible dilation of NaCl contaminated lime-cement mortar due to crystallization cycles,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 36, no. 4, pp. 678–687, 2006, doi: 10.1016/j.cemconres.2005.10.008.

[24] W. Brachaczek, “Microstructure of renovation plasters and their resistance to salt,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 182, pp. 418–426, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.068.

[25] M. Pavlíková, Z. Pavlík, and P. Matiašovský, “Water Vapour Storage Capacity of Masonry Renovation Plasters Contaminated with Chlorides,” vol. 24, no. 4, 2018.

[26] “R.J. Schaffer The Weathering of Natural Building Stones Routledge (2016) Google Scholar.” .

[27] "M. Rembiś, A. Smoleńska, The resistance of selected Carpathian sandstones to the salt crystallization and the changes of their microstructure. [in Polish: Odporność wybranych piaskowców karpackich na krystalizację soli i zmiany ich mikrostruktur], Gospoda." .

[28] G. Griciutė, R. Bliūdžius, and R. Norvaišienė, "The Durability Test Method for External Thermal Insulation Composite System used in Cold and Wet Climate Countries," *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 50–56, 2013, doi: 10.5755/j01.sace.1.2.2778.

[29] M. Záleská, L. Zemanová, M. Pavlíková, and Z. Pavlík, "Thermal, mechanical and structural properties of mortars for rehabilitation of buildings contaminated by chlorides," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1988, p. 5047629, 2018, doi: 10.1063/1.5047629.

[30] C. Groot, R. van Hees, and T. Wijffels, "Selection of plasters and renders for salt laden masonry substrates," *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 5, pp. 1743–1750, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.09.013.

[31] M. Collepardi, J. J. O. Olagot, F. Simonelli, and R. Troli, "Il calcestruzzo vulnerabile: prevenzione, diagnosi del degrado e restauro," no. March, pp. 25–27, 2005.

[32] "UNI EN 12086:2013 : Isolanti termici per edilizia - Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo." .

[33] D. Enea, M. Bellardita, P. Scalisi, G. Alaimo, and L. Palmisano, "Effects of weathering on the performance of self-cleaning photocatalytic paints," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 96, no. July 2017, pp. 77–86, 2019, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.11.013.

[34] G. Di Bella, V. Fiore, G. Galtieri, C. Borsellino, and A. Valenza, "Effects of natural fibres reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs. Polypropylene)," *Constr. Build. Mater.*, vol. 58, pp. 159–165, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.02.026.

[35] M. T. Marvila *et al.*, “Durability of coating mortars containing açaí fibers,” *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 13, 2020, doi: 10.1016/j.cscm.2020.e00406.

[36] R. Mu, C. Miao, X. Luo, and W. Sun, “Interaction between loading, freeze-thaw cycles, and chloride salt attack of concrete with and without steel fiber reinforcement,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 32, no. 7, pp. 1061–1066, 2002, doi: 10.1016/S0008-8846(02)00746-9.

[37] C. Junco, J. Gadea, A. Rodríguez, S. Gutiérrez-González, and V. Calderón, “Durability of lightweight masonry mortars made with white recycled polyurethane foam,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 34, no. 10, pp. 1174–1179, 2012, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.07.006.

[38] B. Lubelli and M. R. de Rooij, “NaCl crystallization in restoration plasters,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 5, pp. 1736–1742, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.09.010.

[39] V. Ferrándiz-Mas and E. García-Alcocel, “Durability of expanded polystyrene mortars,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 46, pp. 175–182, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.04.029.

[40] K. Al Rim, A. Ledhem, O. Douzane, R. M. Dheilly, and M. Queneudec, “Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 21, no. 4, pp. 269–276, 1999, doi: 10.1016/S0958-9465(99)00008-6.

[41] B. Coppola, L. Courard, F. Michel, L. Incarnato, P. Scarfato, and L. Di Maio, “Hygro-thermal and durability properties of a lightweight mortar made with foamed plastic waste aggregates,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 170, pp. 200–206, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.083.

[42] U. Berardi and R. H. Nosrati, “Long-term thermal conductivity of aerogel-enhanced insulating materials under different laboratory aging conditions,” *Energy*, vol. 147, pp. 1188–1202, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.01.053.

[43] “Tesi di Y.Capotondo:"EXPERIMENTAL STUDY OF THE USE OF

SEPIOLITE FOR MACROPOROUS PLASTERS".” .

[44] “UNI EN 12667:2002 ‘Thermal performance of building materials and products - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Product of high and medium thermal resistance.’” .

[45] “ISO 8301:1991 ‘Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus.’”

11 ALLEGATI

ALLEGATO 1

Ed.: 5 . Vig.: 03.09.2014 . Prod.: 131524

PanReac AppliChem
ITW Reagents

PRODUCT CODE: 131524

Potassium Nitrate without anticaking (Reag. Ph. Eur.) for analysis, ISO

KNO_3
KNO_3

M.= 101,11 CAS [7757-79-1] EINECS 231-818-8
TARIC 2834 21 00 00

PHYSICAL DATA: Small crystals, White, Soluble in water 320 g/l at 20 °C Thermal decom. above 400 °C • D 20/4 2,11 • M.P.: 334 °C • pH5,5 - 8,0 •
BIBLIOGRAPHY: Merck Index **14,** 7.733 Sax **PLL**500 • Safety **2 , 2906 B** • Römp **8 , 2020** • Kühn-Birett **K** 13 • Fieser **5**561 **10**329 • ACS **XI** • ISO 6353/3-1987R - 84 , 58 • BP.**2018** • USP **41** • Ph. Eur. **8.0** (2014) **9.0** (2017) 7.6 • F.C.C **10 11** • BOE **243**(8-10-2009) • Regulation (EU) nº 231/2012 •

HAZARDOUS: RTECS: TT 3700000 • LD50 oral rat 3.750 mg/kg •

H: H272 •
P: P210 • P220 • P221 • P280 • P370+P378 •

TRANSPORT REGULATIONS: UN: 1486 • ADR: 5.1/III • IMDG: 5.1/III • IATA: 5.1/III • PAX: 559 • CAO: 563 • (E) •

SPECIFICATIONS:

Minimum assay (Acidim.)	99,0%
pH of 5% solution	5-8

Maximum limit of impurities	
Insoluble matter in H2O	0,005 %
Chloride (Cl)	0,001%
Ammonium (NH4)	0,001%
Phosphate (PO4)	0,0005 %
Sulfate (SO4)	0,003%
Iodate (IO3)	0,0005%
Nitrite (NO2)	0,001%
As	0,00004%
Heavy metals (as Pb)	0,0005%

Metals by ICP [in mg/Kg (ppm)]	
Ag	5
Al	5
Ba	5
Be	5
Bi	5
Ca	10
Cd	5
Co	5
Cu	5
Fe	3
Ga	5
Ge	5
Hg	1
In	5
Li	5
Mg	10
Mn	5
Mo	5
Na	200
Ni	5
Pb	5
Pt	5
Sb	5
Sr	5
Ti	5
Tl	5
Zn	5
Zr	5

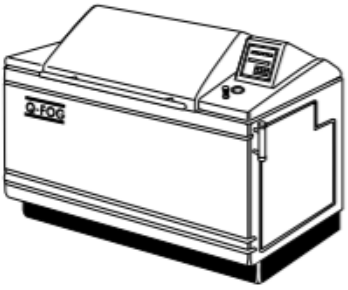
TECHNICAL BULLETIN LF-8144

Introduction to Cyclic Corrosion Testing

This paper is intended as a general introduction to cyclic corrosion testing (CCT). It outlines the rationale for cyclic testing, includes some guidelines for using cyclic tests and explains some common CCT cycles and their applications. This discussion is not intended to be a complete, exhaustive tutorial on cyclic corrosion testing. Consult the referenced technical papers for more detailed information.

Background

Salt spray was first used for corrosion testing around 1914. In 1939, the neutral salt spray test was incorporated as ASTM B117.[1] This traditional salt spray specifies a continuous exposure to a 5% salt fog at 35°C. During the course of 80 years of use, there have been many modifications and refinements to B117. In spite of all these refinements, there has long been general agreement that "salt spray" test results do not correlate well with the corrosion seen in actual atmospheric exposures. Nevertheless, B117 has been generally accepted as the standard corrosion test method and is still widely specified for testing painted and plated finishes, military components and electrical components.



As the demand for improved corrosion protection increased, engineers and scientists attempted to develop test procedures to more accurately predict the corrosion of materials. In England, during the 1960's and 1970's, Harrison and Timmons[2, 3] developed the cyclic Prohesion™ test, which has been found especially useful for industrial maintenance coatings. More recently, the Society of Automotive Engineers (SAE) and The American Iron and Steel Institute (AISI) have been studying cyclic testing for automotive applications. Their progress has been encouraging and is well documented.[4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] Japanese researchers have also developed a number of cyclic corrosion test methods.

What is Cyclic Corrosion Testing?

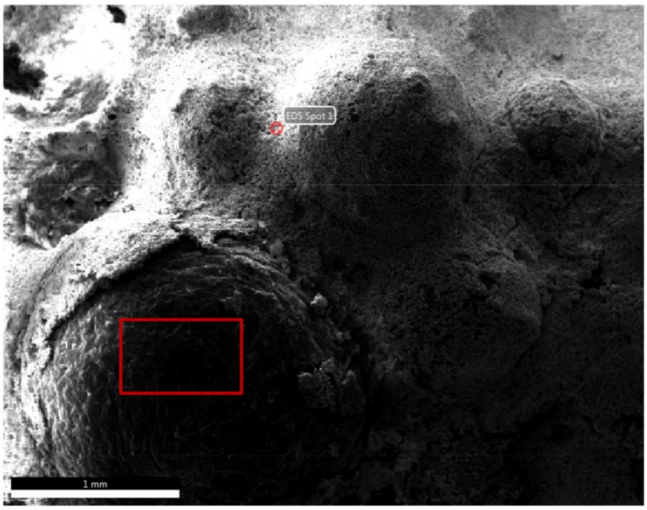
Cyclic corrosion testing is intended to be a more realistic way to perform salt spray tests than traditional, steady state exposures. Because actual atmospheric exposures usually include both wet and dry conditions, it makes sense to pattern accelerated laboratory tests after these natural cyclic conditions. Research indicates that, with cyclic corrosion tests, the relative corrosion rates, structure and morphology are more similar to those seen outdoors. Consequently, cyclic tests usually give better correlation to outdoors than conventional salt spray tests. They are effective for evaluating a variety of corrosion mechanisms, including general, galvanic, and crevice corrosion.

1. ASTM B 117, Method of Salt Spray (Fog) Testing.
2. Cremer, N.D., "Prohesion Compared to Salt Spray and Outdoors: Cyclic Methods of Accelerated Corrosion Testing," Federation of Societies for Coatings Technology, 1989 Paint Show.
3. Timmins, F.D., "Avoiding Paint Failures by Prohesion," J. Oil & Colour Chemists Assoc., Vol. 62, No. 4, p. 131 (1979).
4. M. L. Stephens, "SAE ACAP Division 3 Project: Evaluation of Corrosion Test Method," Paper No. 892571, Automotive Corrosion and Prevention Conference Proceedings, P-228. Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA (1989), pp. 157-164.
5. H. E. Townsend, "Status of a Cooperative Effort by the Automotive and Steel Industries to Develop a Standard Accelerated Corrosion Test," Paper No. 892569, ibid., pp. 133-145.
6. F. Blekkenhorst, "Hoogovens' Contribution to AISI Program "Accelerated Corrosion Testing: A Cooperative Effort by the Automotive and Steel Industries" Paper No. 892570, ibid., p 147-156.
7. M. Petschel, Jr., "SAE ACAP Division 3 Project: Evaluation of Corrosion Test Results and Correlation with Two-Year, On-Vehicle Field Results, Paper No. 912283, Automotive Corrosion and Prevention Conference Proceedings, P-250, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA (1989), pp. 179-203.
8. R. J. Neville, W.A. Schumacher, D.C. McCune, R.D. Granata and H. E. Townsend, "Progress by the Automotive and Steel Industries Toward and Improved Laboratory Cosmetic Corrosion Test," Paper No. 912275, ibid., pp. 73-98.
9. F. Blekkenhorst, "Further Developments Toward a Standard Accelerated Corrosion Test for Automotive Materials, Paper No. 912277, ibid., pp. 99-114.
10. D. D. Davidson and W. A. Schumacher, "An Evaluation an analysis of Commonly Used Accelerated Cosmetic Corrosion Test Using Direct Comparisons with Actual Field Exposure," Paper No. 912284, ibid., pp. 205-220.

Q-LAB

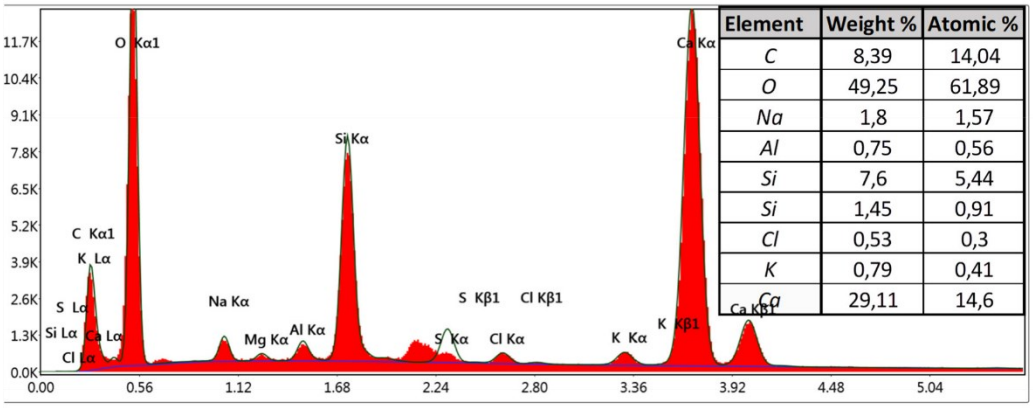
ALLEGATO A

Campione *LIME-CEM-EPS*



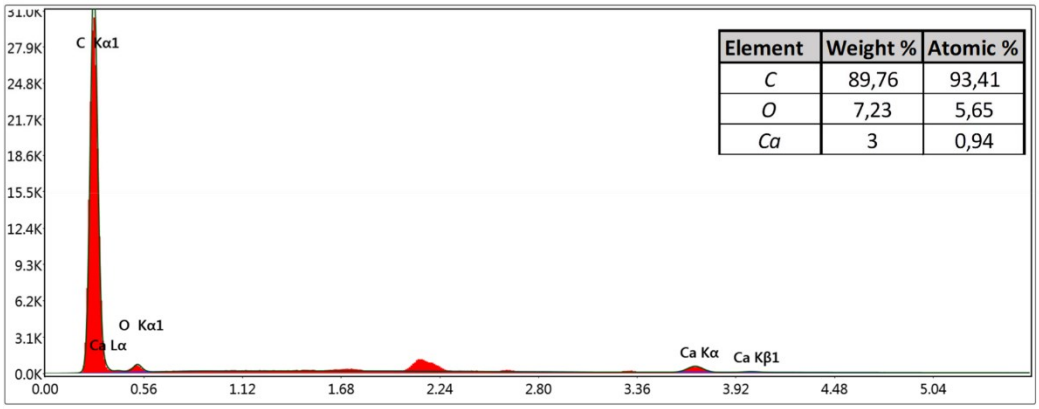
Spettro riferito allo Spot

kv: 20 Mag: 71 Takeoff:33,7 *Live time (s): 100* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128



Element	Weight %	Atomic %
C	8,39	14,04
O	49,25	61,89
Na	1,8	1,57
Al	0,75	0,56
Si	7,6	5,44
Si	1,45	0,91
Cl	0,53	0,3
K	0,79	0,41
Ca	29,11	14,6

Spettro riferito allo Spot

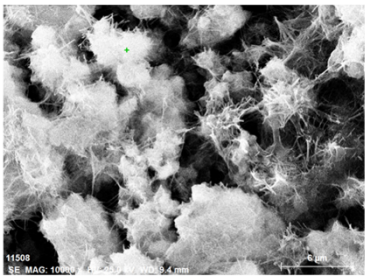


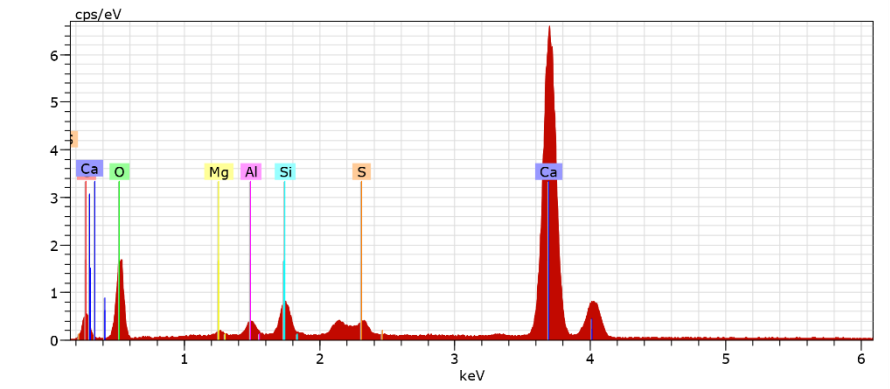
Element	Weight %	Atomic %
C	89,76	93,41
O	7,23	5,65
Ca	3	0,94

Zeiss

Spectrum: Acquisition

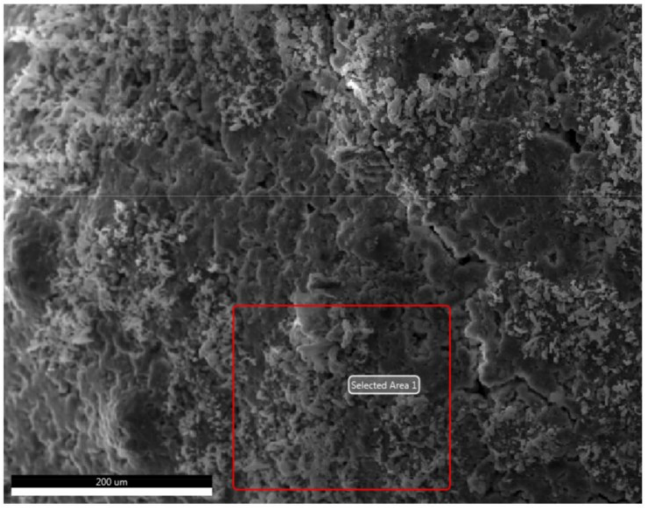
Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Carbon	K-series	13.92	11.65	18.62	2.58
Oxygen	K-series	63.71	53.32	63.98	9.15
Calcium	K-series	38.11	31.89	15.28	1.15
Silicon	K-series	1.52	1.28	0.87	0.10
Aluminium	K-series	0.87	0.73	0.52	0.08
Magnesium	K-series	0.28	0.24	0.19	0.05
Sulfur	K-series	1.07	0.90	0.54	0.07
	Total:	119.49	100.00	100.00	



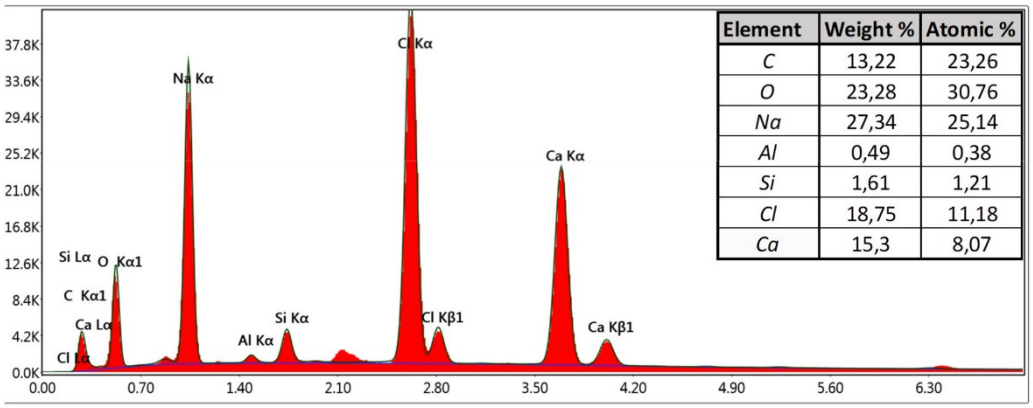


ALLEGATO A1

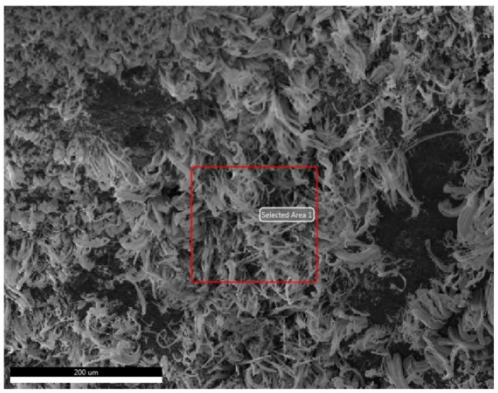
Campione *LIME-CEM-EPS* **Stato** *Aged*



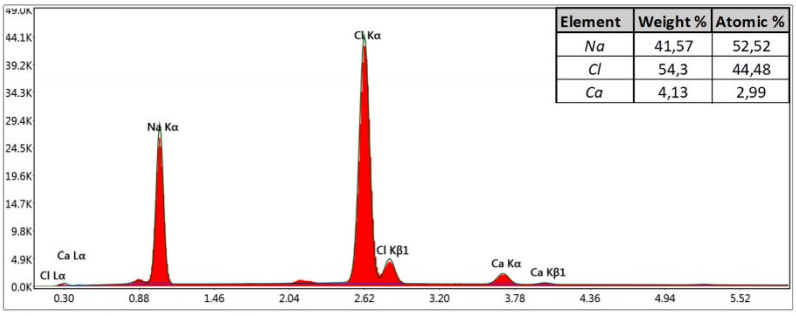
kv: 25 Mag: 425 Takeoff:33,7 *Live time (s): 100* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128



Element	Weight %	Atomic %
C	13,22	23,26
O	23,28	30,76
Na	27,34	25,14
Al	0,49	0,38
Si	1,61	1,21
Cl	18,75	11,18
Ca	15,3	8,07



kv: 25 Mag: 419 Takeoff:33,7 *Live time (s): 65,9* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128

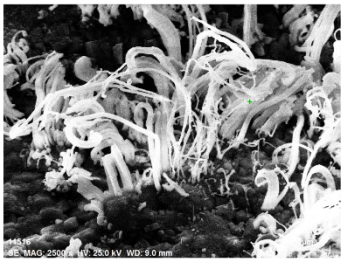


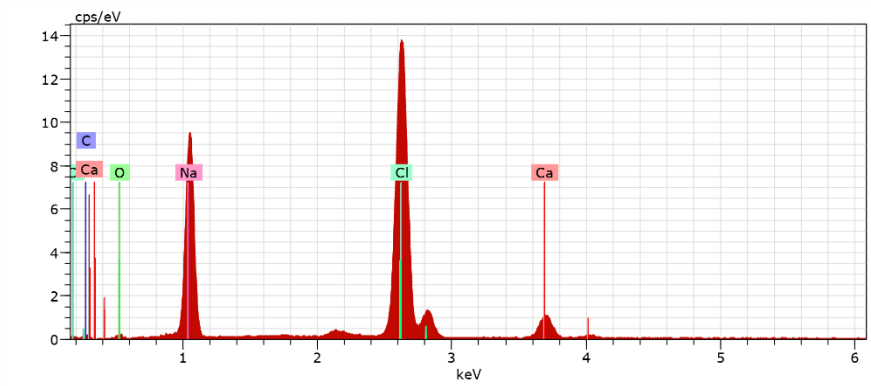
Element	Weight %	Atomic %
Na	41,57	52,52
Cl	54,3	44,48
Ca	4,13	2,99

Zeiss

Spectrum: Acquisition

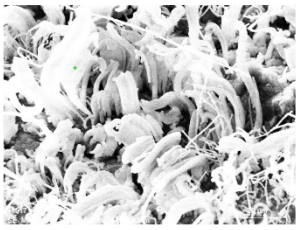
Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Chlorine	K-series	43.91	45.89	31.57	1.53
Sodium	K-series	29.26	30.58	32.45	1.99
Calcium	K-series	6.31	6.60	4.01	0.23
Oxygen	K-series	4.56	4.77	7.26	1.29
Carbon	K-series	11.64	12.17	24.71	3.33
	Total:	95.68	100.00	100.00	

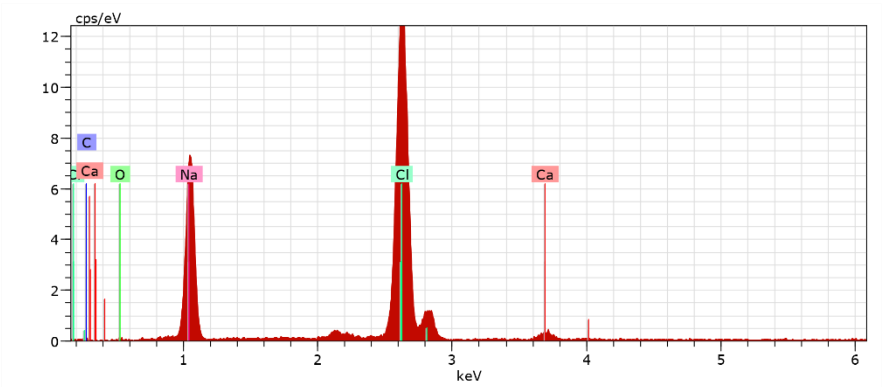




Spectrum: Acquisition

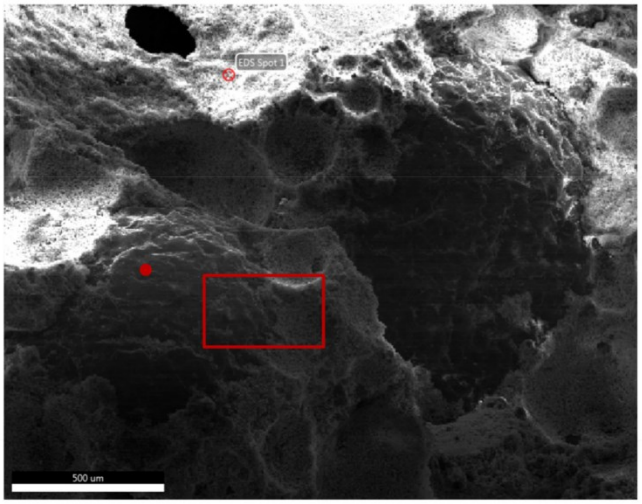
Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Chlorine	K-series	41.30	49.62	35.07	1.46
Sodium	K-series	29.87	35.88	39.10	2.07
Calcium	K-series	1.84	2.21	1.38	0.12
Oxygen	K-series	1.88	2.26	3.54	1.07
Carbon	K-series	8.34	10.02	20.91	3.91
	Total:	83.24	100.00	100.00	





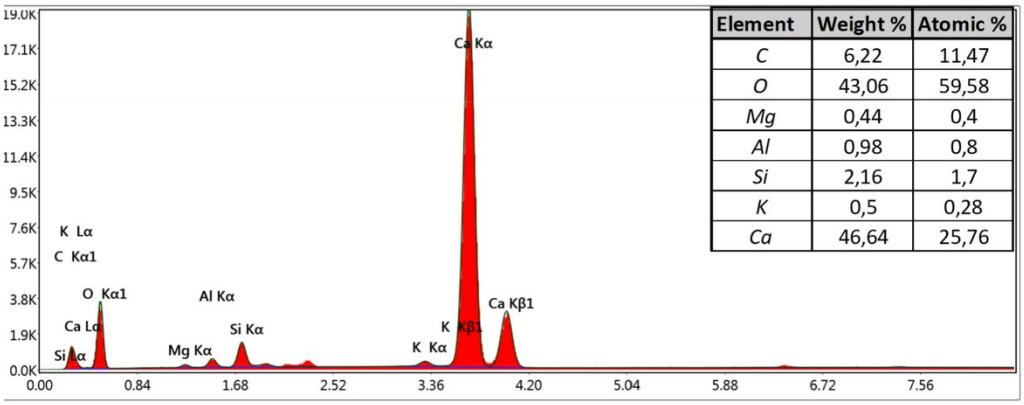
ALLEGATO B

Campione *LIME-EPS*



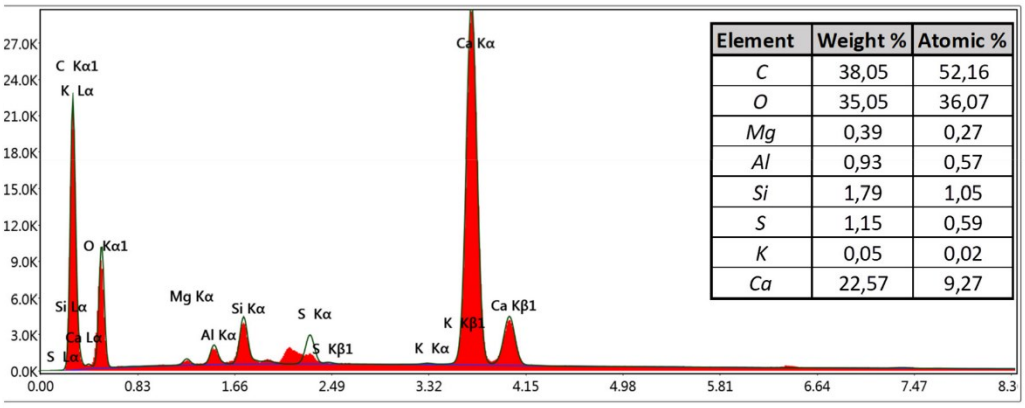
Spettro riferito allo Spot 1

kv: 30 Mag: 130 Takeoff:31,9 *Live time (s): 100* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128



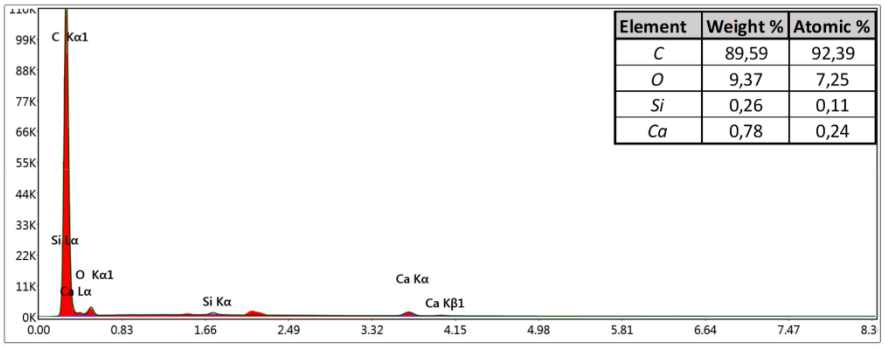
Element	Weight %	Atomic %
C	6,22	11,47
O	43,06	59,58
Mg	0,44	0,4
Al	0,98	0,8
Si	2,16	1,7
K	0,5	0,28
Ca	46,64	25,76

Spettro riferito all'area rettangolare



Element	Weight %	Atomic %
C	38,05	52,16
O	35,05	36,07
Mg	0,39	0,27
Al	0,93	0,57
Si	1,79	1,05
S	1,15	0,59
K	0,05	0,02
Ca	22,57	9,27

Spettro riferito allo Spot 2

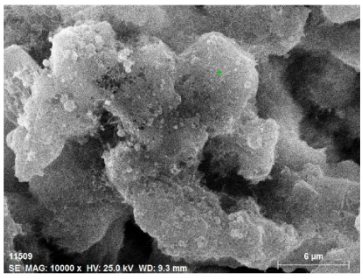


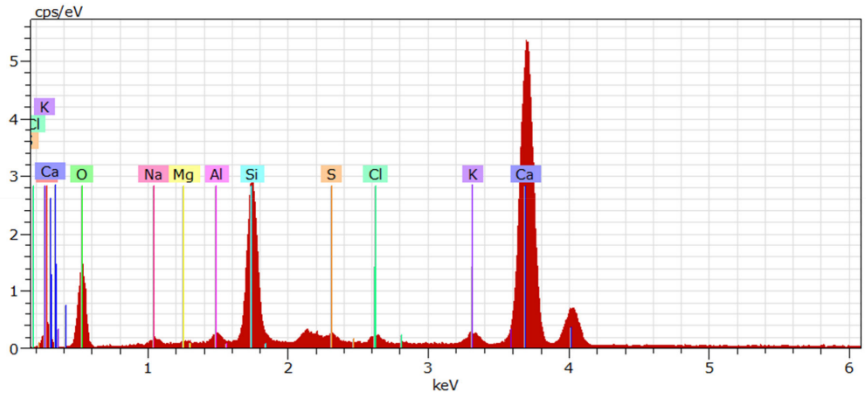
Element	Weight %	Atomic %
C	89,59	92,39
O	9,37	7,25
Si	0,26	0,11
Ca	0,78	0,24

Zeiss

Spectrum: Acquisition

Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Carbon	K-series	12.82	12.35	20.15	2.54
Oxygen	K-series	48.83	47.03	57.63	7.20
Calcium	K-series	30.31	29.19	14.28	0.92
Silicon	K-series	7.70	7.42	5.18	0.37
Aluminium	K-series	0.71	0.68	0.49	0.07
Magnesium	K-series	0.31	0.30	0.24	0.05
Sulfur	K-series	0.63	0.61	0.37	0.06
Chlorine	K-series	0.57	0.54	0.30	0.05
Potassium	K-series	0.75	0.72	0.36	0.06
Sodium	K-series	1.20	1.16	0.99	0.13
	Total:	103.83	100.00	100.00	

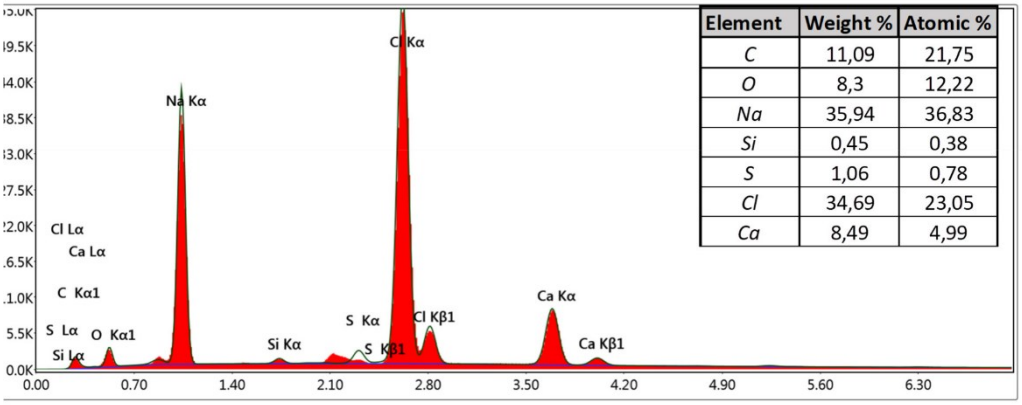




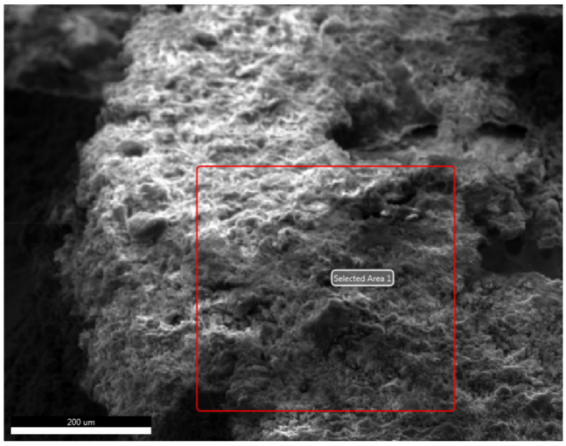
ALLEGATO B1

Campione *LIME-EPS*

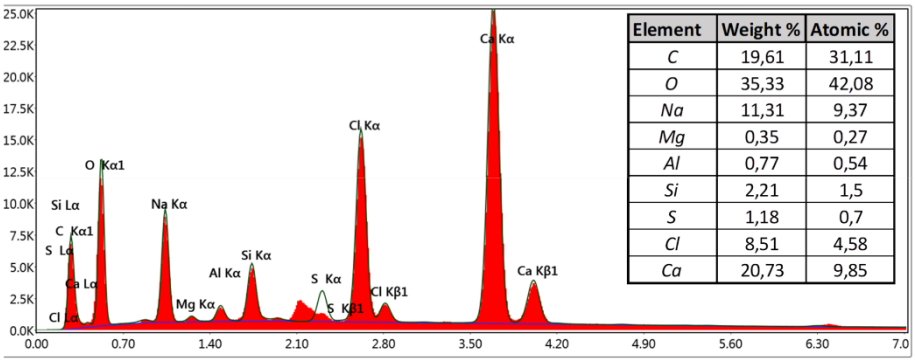
kv: 25 Mag: 854 Takeoff:33,7 *Live time (s): 88,1* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128



Element	Weight %	Atomic %
C	11,09	21,75
O	8,3	12,22
Na	35,94	36,83
Si	0,45	0,38
S	1,06	0,78
Cl	34,69	23,05
Ca	8,49	4,99



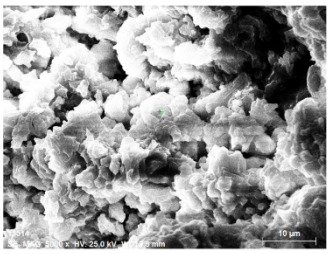
kv: 25 Mag: 339 Takeoff:33,7 *Live time (s): 79,5* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128

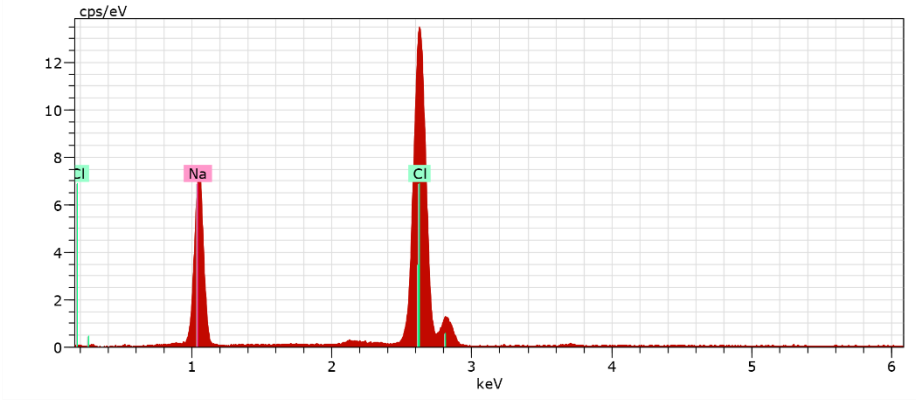


Element	Weight %	Atomic %
C	19,61	31,11
O	35,33	42,08
Na	11,31	9,37
Mg	0,35	0,27
Al	0,77	0,54
Si	2,21	1,5
S	1,18	0,7
Cl	8,51	4,58
Ca	20,73	9,85

Zeiss

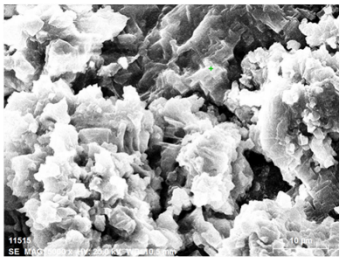
```
Spectrum: Acquisition

Element    Series  unn. C norm. C Atom. C Error (1 Sigma)
                   [wt.%]  [wt.%]  [at.%]          [wt.%]
-------------------------------------------------------
Chlorine K-series  53.90   67.91   57.84            1.88
Sodium   K-series  25.48   32.09   42.16            1.75
-------------------------------------------------------
           Total:  79.38  100.00  100.00
```

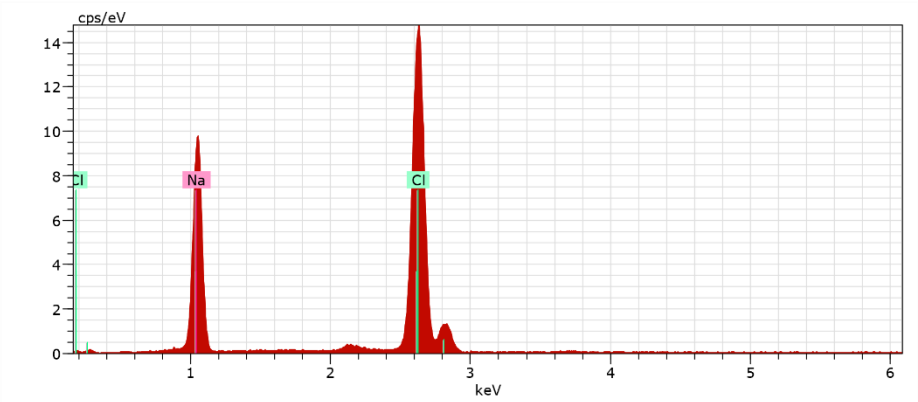




Spectrum: Acquisition

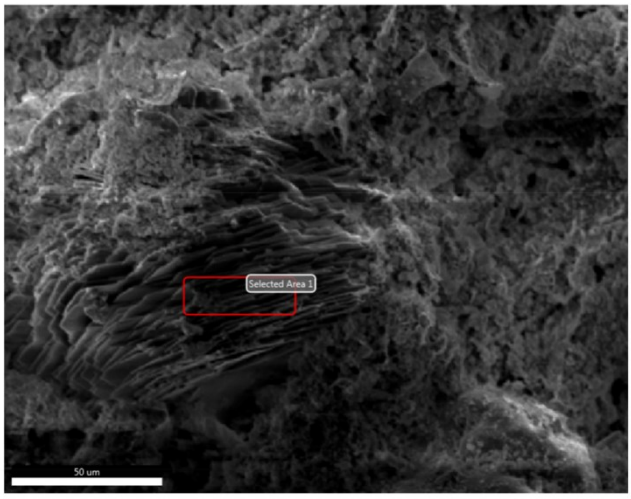
Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Chlorine	K-series	57.75	66.40	56.16	2.00
Sodium	K-series	29.23	33.60	43.84	1.98
	Total:	86.97	100.00	100.00	



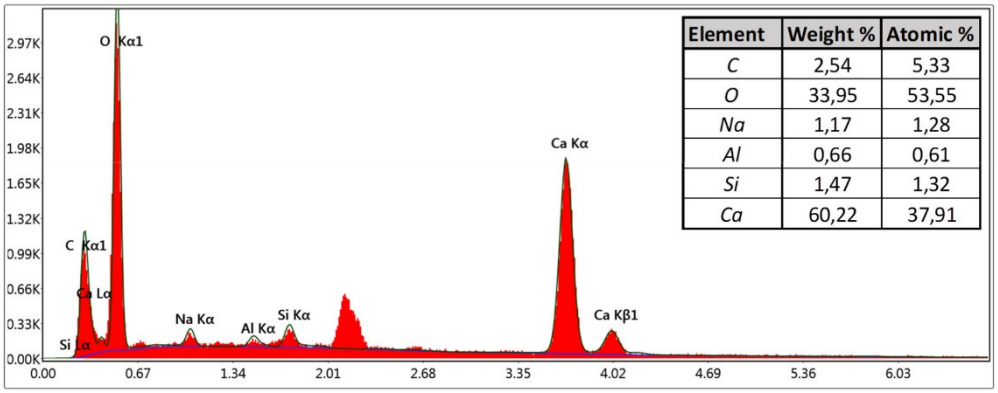


ALLEGATO C

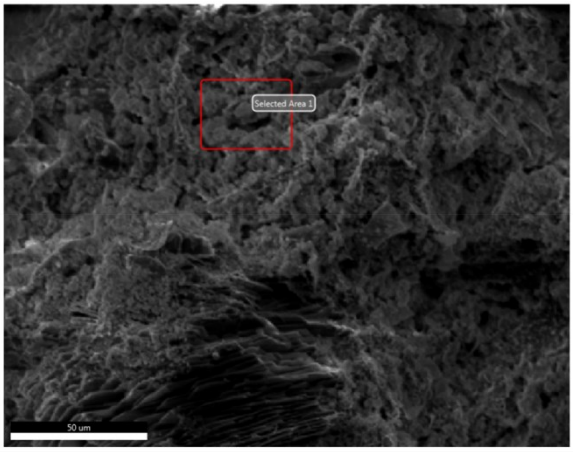
Campione *NHL-CORK*



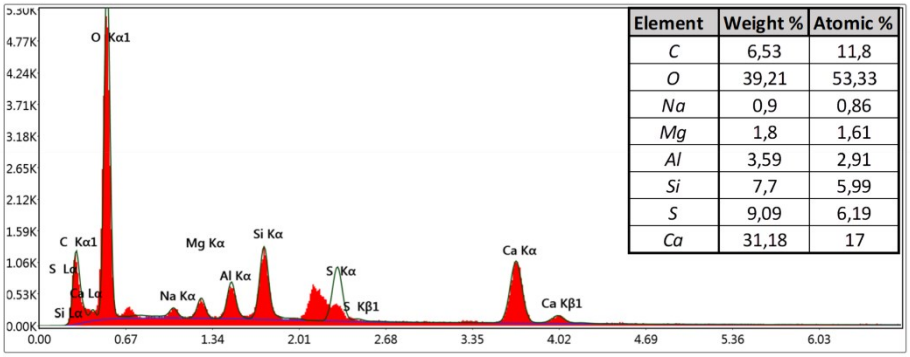
kv: 10 Mag: 1303 Takeoff:33,7 *Live time (s): 100* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128



Element	Weight %	Atomic %
C	2,54	5,33
O	33,95	53,55
Na	1,17	1,28
Al	0,66	0,61
Si	1,47	1,32
Ca	60,22	37,91



kv: 10 Mag: 1303 Takeoff:33,7 *Live time (s): 100* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128

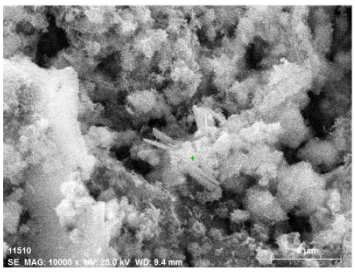


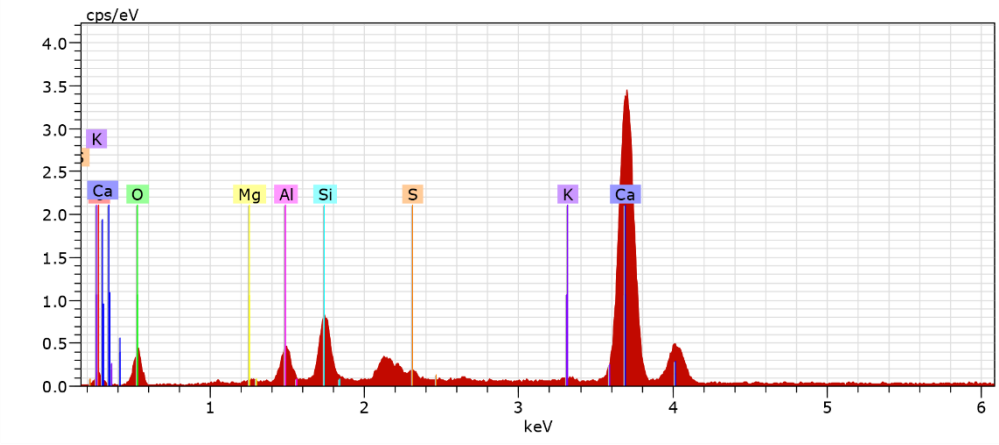
Element	Weight %	Atomic %
C	6,53	11,8
O	39,21	53,33
Na	0,9	0,86
Mg	1,8	1,61
Al	3,59	2,91
Si	7,7	5,99
S	9,09	6,19
Ca	31,18	17

Zeiss

Spectrum: Acquisition

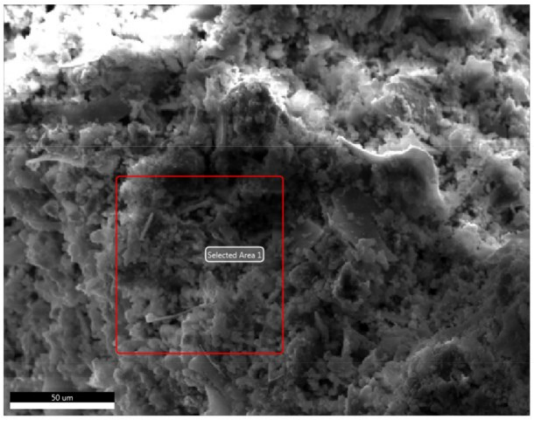
Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Carbon	K-series	6.06	8.18	15.00	1.70
Oxygen	K-series	29.07	39.23	53.99	5.51
Calcium	K-series	32.21	43.47	23.89	0.99
Silicon	K-series	3.30	4.46	3.49	0.18
Aluminium	K-series	2.47	3.34	2.73	0.17
Magnesium	K-series	0.10	0.13	0.12	0.04
Sulfur	K-series	0.69	0.93	0.64	0.06
Potassium	K-series	0.19	0.26	0.15	0.04
	Total:	74.09	100.00	100.00	



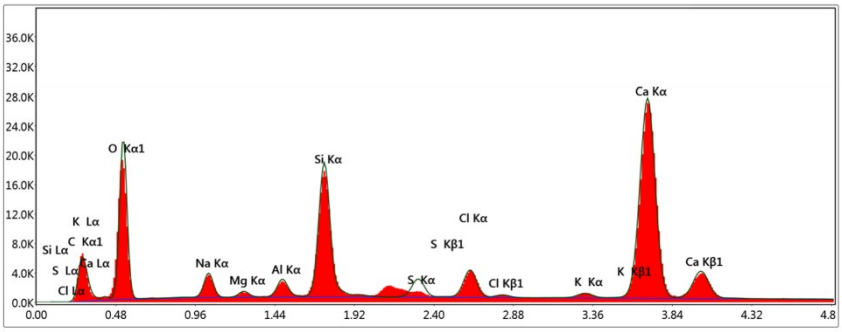


ALLEGATO C1

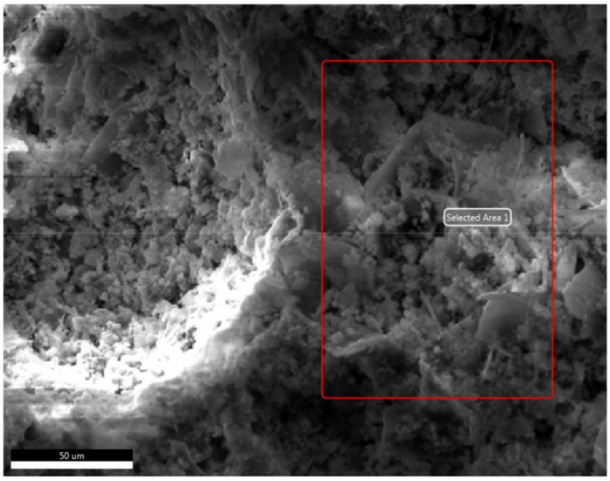
Campione *NHL-CORK*



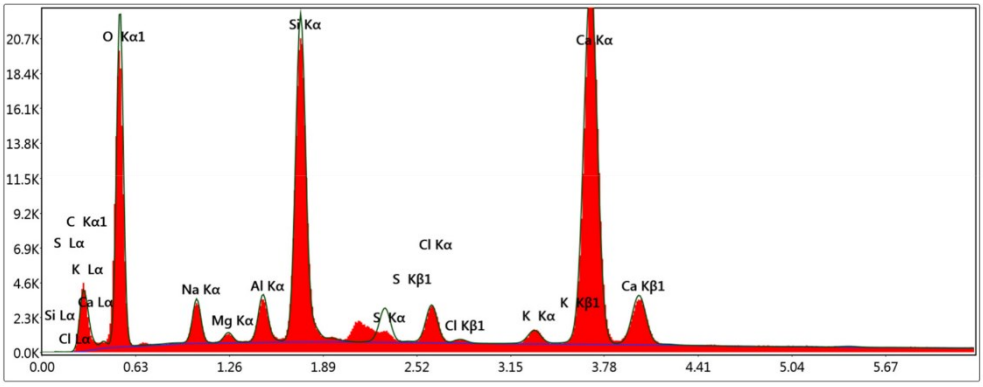
kv: 25 Mag: 1073 Takeoff:33,7 *Live time (s): 100* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128



Element	Weight %	Atomic %	Element	Weight %	Atomic %
C	14,1	22,21	*S*	1,22	0,72
O	46,95	55,52	*Cl*	2,07	1,1
Na	4,24	3,49	*K*	0,39	0,19
Mg	0,57	0,45	*Ca*	21,04	9,93
Al	1,33	0,93			
Si	8,1	5,46			



kv: 25 Mag: 1091 Takeoff:33,7 *Live time (s): 100* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128

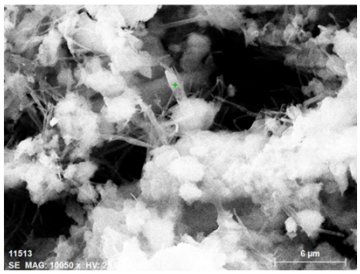


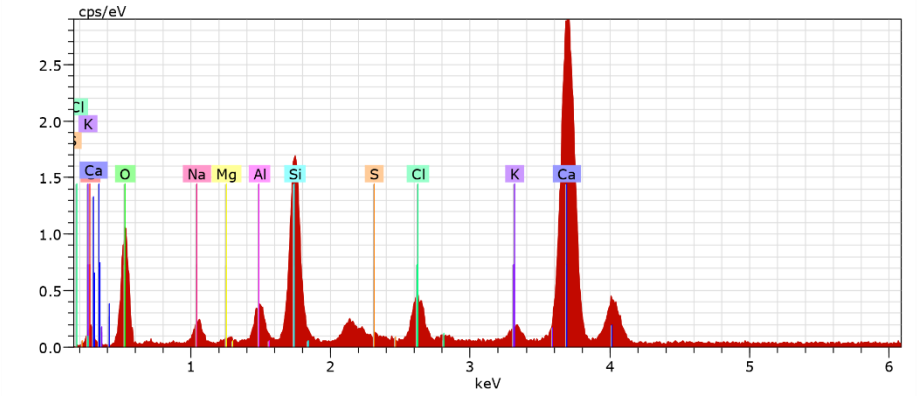
Element	Weight %	Atomic %	Element	Weight %	Atomic %
C	10,22	16,48	*S*	1,27	0,77
O	48,93	59,27	*Cl*	1,55	0,85
Na	4,06	3,42	*K*	0,61	0,3
Mg	0,52	0,42	*Ca*	20,43	9,88
Al	1,89	1,36			
Si	10,52	7,26			

Zeiss

Spectrum: Acquisition

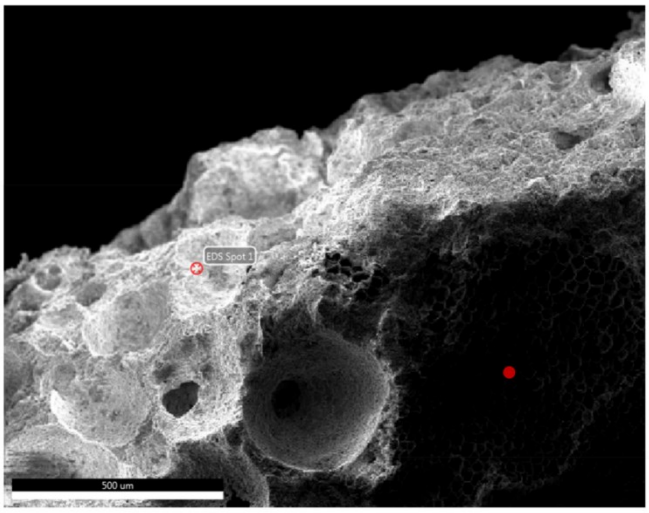
Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Carbon	K-series	7.98	8.58	14.22	2.07
Oxygen	K-series	45.81	49.28	61.29	7.18
Calcium	K-series	23.39	25.15	12.49	0.73
Silicon	K-series	7.14	7.68	5.44	0.35
Aluminium	K-series	2.16	2.32	1.71	0.15
Magnesium	K-series	0.27	0.29	0.23	0.05
Sulfur	K-series	0.36	0.39	0.24	0.05
Potassium	K-series	0.68	0.73	0.37	0.06
Chlorine	K-series	2.55	2.74	1.54	0.13
Sodium	K-series	2.64	2.84	2.46	0.24
	Total:	92.97	100.00	100.00	





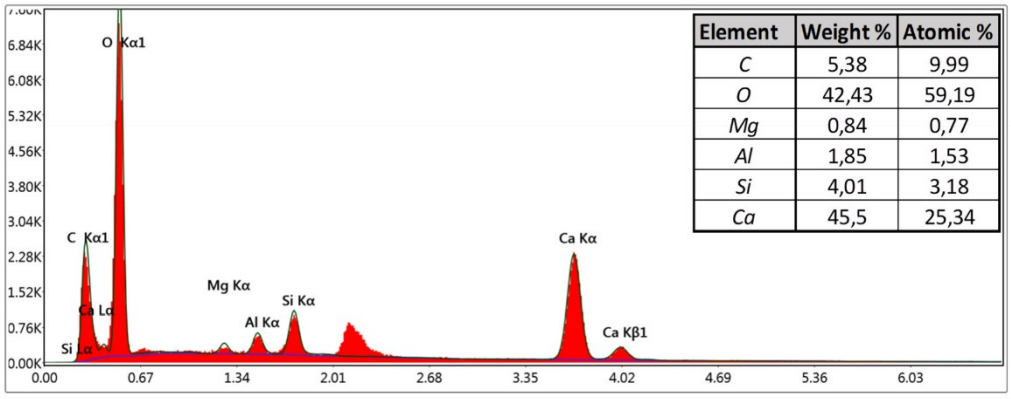
ALLEGATO D

Campione *NHL-CORK-DEUM*



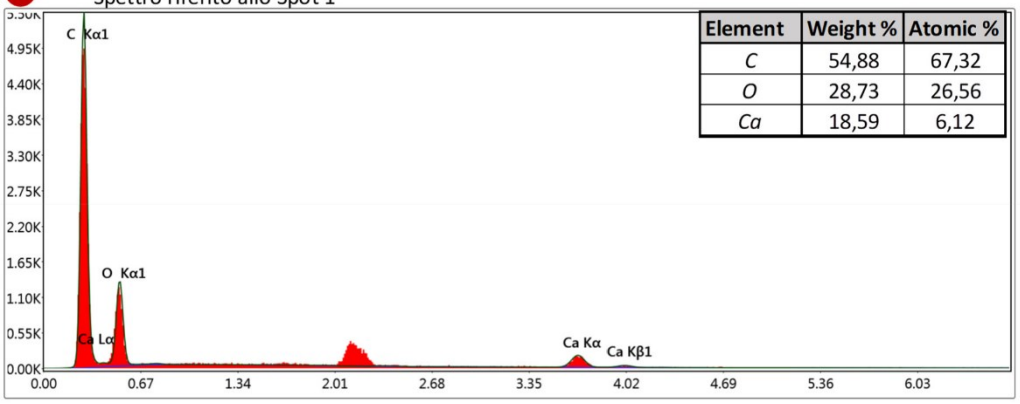
Spettro riferito allo Spot 1

kv: 10 Mag: 178 Takeoff:33,7 *Live time (s): 100* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128



Element	Weight %	Atomic %
C	5,38	9,99
O	42,43	59,19
Mg	0,84	0,77
Al	1,85	1,53
Si	4,01	3,18
Ca	45,5	25,34

Spettro riferito allo Spot 1

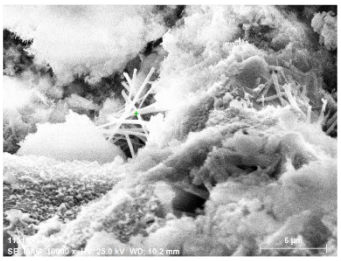


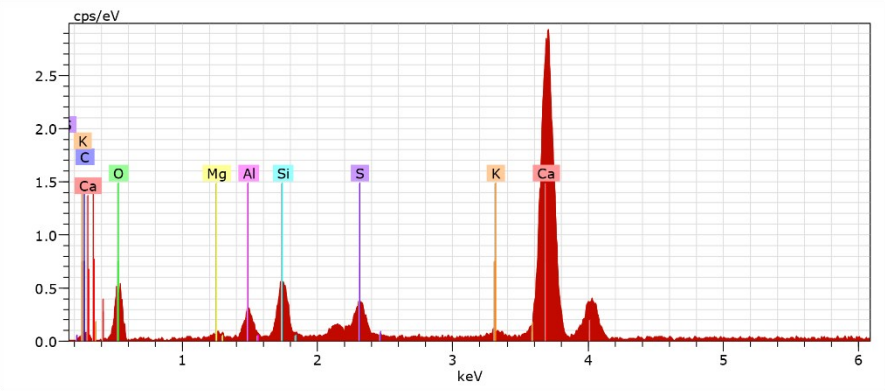
Element	Weight %	Atomic %
C	54,88	67,32
O	28,73	26,56
Ca	18,59	6,12

Zeiss

Spectrum: Acquisition

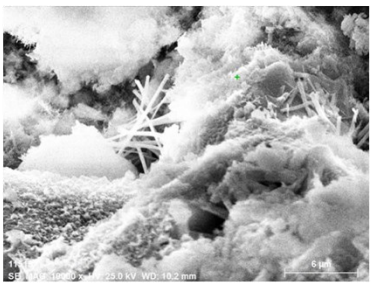
Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Calcium	K-series	36.94	36.44	19.42	1.15
Oxygen	K-series	48.28	47.61	63.57	9.65
Carbon	K-series	5.11	5.04	8.96	2.08
Silicon	K-series	3.89	3.83	2.91	0.23
Aluminium	K-series	2.73	2.69	2.13	0.21
Magnesium	K-series	0.69	0.68	0.60	0.10
Potassium	K-series	0.60	0.59	0.32	0.07
Sulfur	K-series	3.16	3.11	2.07	0.18
Total:		101.39	100.00	100.00	

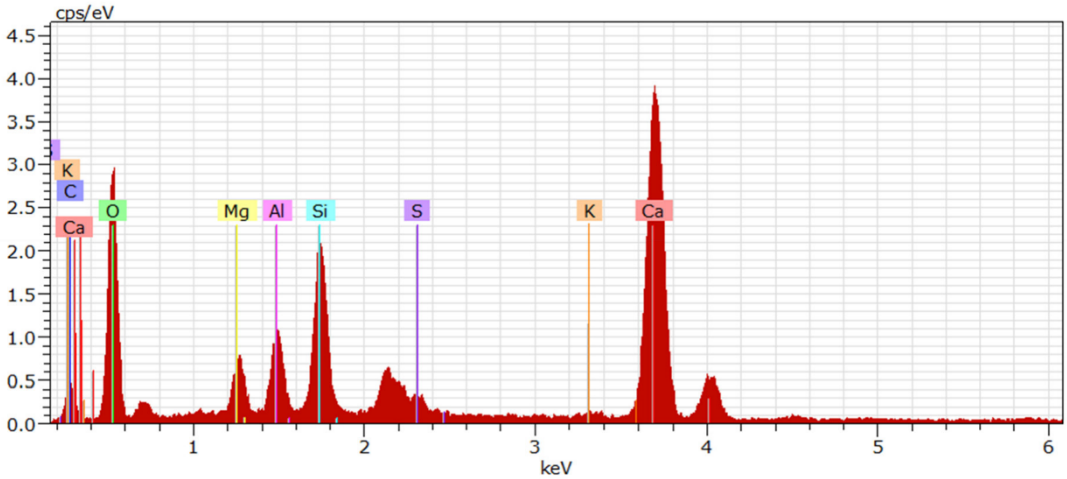




Spectrum: Acquisition

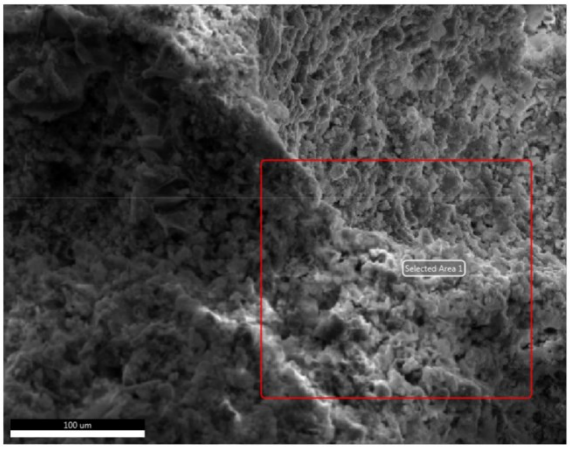
Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Calcium	K-series	20.15	22.76	10.55	0.64
Oxygen	K-series	53.57	60.51	70.26	7.97
Carbon	K-series	8.01	9.05	14.00	2.05
Silicon	K-series	2.90	3.27	2.16	0.16
Aluminium	K-series	1.77	2.00	1.38	0.13
Magnesium	K-series	1.33	1.50	1.15	0.12
Potassium	K-series	0.16	0.18	0.08	0.04
Sulfur	K-series	0.64	0.72	0.42	0.06
Total:		88.52	100.00	100.00	



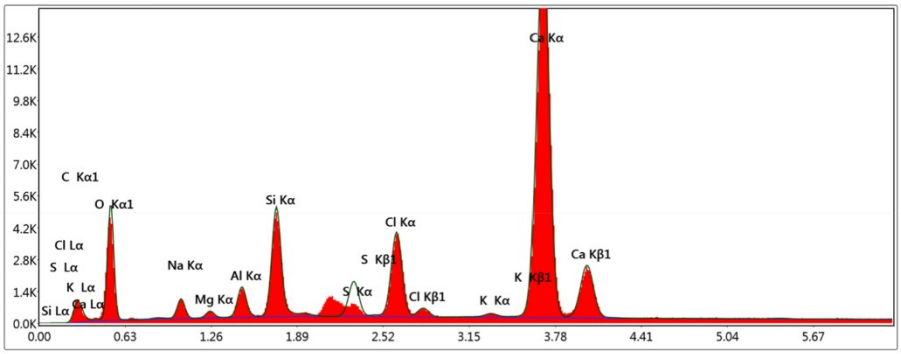


ALLEGATO D1

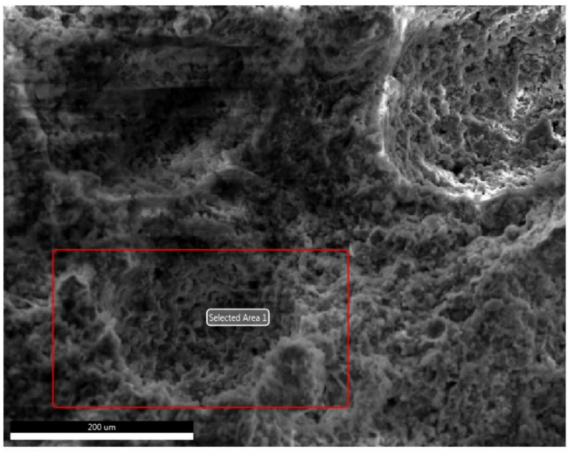
Campione ***NHL-CORK-DEUM***



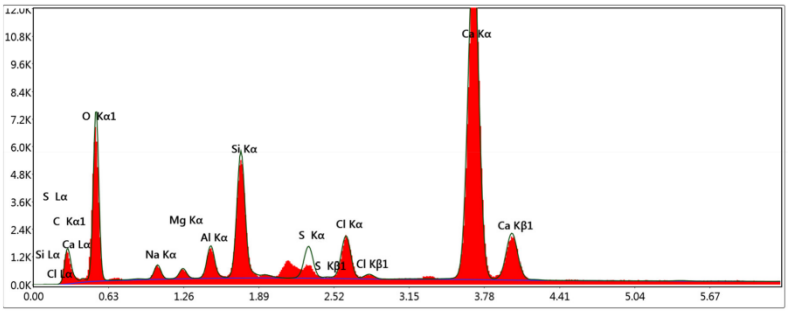
kv: 25 **Mag: 645 Takeoff:33,7** ***Live time (s): 100*** **Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128**



Element	Weight %	Atomic %	Element	Weight %	Atomic %
C	6,11	11,31	*S*	2,07	1,43
O	38,89	54,03	*Cl*	5,63	3,53
Na	3,15	3,04	*K*	0,25	0,14
Mg	0,59	0,54	*Ca*	35,34	19,6
Al	2,04	1,68			
Si	5,94	25,34			



kv: 25 Mag: 439 Takeoff:33,7 *Live time (s): 100* Amp Time (µs): 3,84 Resolution: (eV) 128

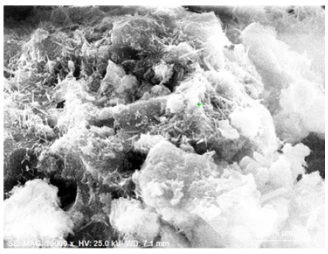


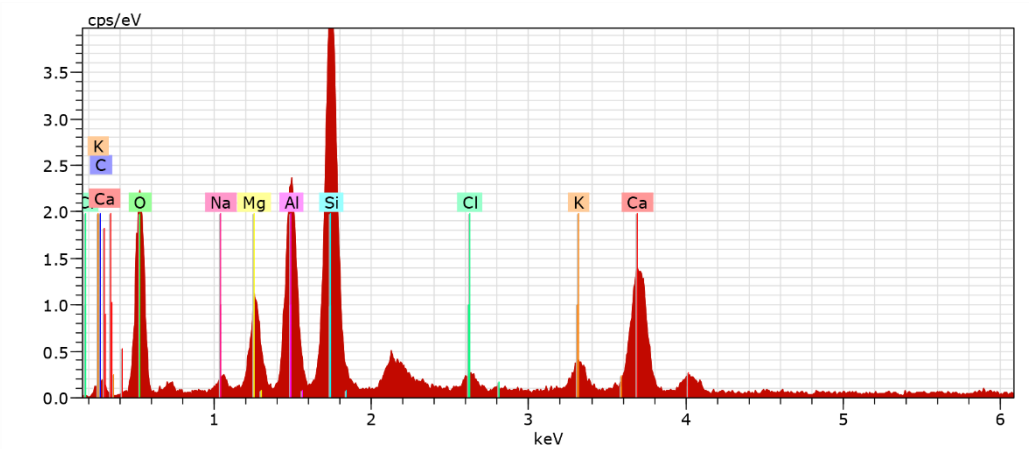
Element	Weight %	Atomic %	Element	Weight %	Atomic %
C	7,27	12,38	*S*	1,78	1,13
O	47,86	61,2	*Cl*	2,67	1,54
Na	2,26	2,02	*Ca*	28,58	14,59
Mg	0,88	0,74			
Al	2,1	1,59			
Si	6,61	4,82			

Zeiss

Spectrum: Acquisition

Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Chlorine	K-series	0.62	0.78	0.43	0.06
Sodium	K-series	0.99	1.26	1.07	0.12
Calcium	K-series	8.20	10.41	5.06	0.29
Oxygen	K-series	38.93	49.46	60.23	6.02
Carbon	K-series	5.39	6.85	11.11	1.85
Silicon	K-series	11.22	14.25	9.89	0.53
Aluminium	K-series	7.86	9.98	7.21	0.44
Magnesium	K-series	3.94	5.01	4.01	0.28
Potassium	K-series	1.57	1.99	0.99	0.09





Ringraziamenti

Ringrazio i miei genitori Marco e Mariateresa e i miei fratelli, Giulia e Riccardo per il sostegno e per aver sempre creduto in me. Grazie per essere la mia famiglia, la mia guida, il mio modello.

Ringrazio Cristian per il sostegno, la pazienza, per il bene, per non avermi mai fatto smettere di sognare e per sopportarmi ancora. Per il mio presente, per il nostro futuro.

Ringrazio Anna Maria, la mia nonna, la mia roccia.

Ringrazio i miei nonni, Costantino, Faustina e Riccardo. È merito anche loro se oggi sono la donna che sono diventata.

Ringrazio i miei zii, cugini e parenti vicini e lontani per le domeniche passate insieme. In particolare vorrei ringraziare Giovanna e Renato.

Ringrazio le mie amiche, le mie compagne di vita per aver condiviso con me la quotidianità, le risate, i pianti, i dubbi e le gioie. In particolare, vorrei ringraziare Silvia, Micaela, Stella, Alice, Benedetta e Sofia.

Ringrazio Matteo, Agostina e Giancarlo, per me siete come una famiglia.

Ringrazio i miei amici di sempre, quelli ritrovati e quelli nuovi per ogni parola, consiglio ed esperienza trascorsa insieme.

Ringrazio i miei compagni di corso per aver condiviso con me questi 5 bellissimi ma durissimi anni di studio. In particolare, ringrazio Cecilia e Marta.

Ringrazio la prof.ssa Francesca Stazi per la disponibilità, la costanza, per avermi dato la possibilità di crescere sia come persona sia come futuro ingegnere e per avermi fatto ampliare la capacità del problem solving.

Ringrazio il professore Costanzo Di Perna per la comprensione e l'interesse, per avermi dato la possibilità di svolgere tutta l'attività sperimentale all'interno del suo laboratorio.

Ringrazio la prof.ssa Francesca Tittarelli per la professionalità, la disponibilità, la precisione e la comprensione.

Ringrazio Giuseppe e Gabriele per avermi aiutato nella realizzazione della camera di nebbia salina ma soprattutto per aver creduto in me, per la fiducia, per la comprensione, per i consigli, per le risate e i sorrisi.

Ringrazio Ambra per il sostegno, la disponibilità e per avermi aiutata a realizzare i provini.

Ringrazio Ilaria e Ylenia per aver condiviso come me l'avventura della tesi sperimentale, per i confronti, le chiamate e gli infiniti giorni passati assieme nel laboratorio.

Infine, ringrazio ansia, gioia, rabbia, tristezza, soddisfazione, coraggio e determinazione.

"Mi sturni bsogna trej quand ch'i pasa"

Un nonno, un padre e uno straniero