

---

# STUDIO DEL COMPORTAMENTO DI MALTE DI GESSO CON L'ADDIZIONE DI FIBRE DA SALVIETTE UMIDIFICATE

---

POLITECNICO DI TORINO  
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

**Laurea Magistrale in Ingegneria Edile**

Tesi Laurea Magistrale



**Relatori:**

prof. Marco Zerbinatti

.....

**Correlatori:**

ing. Arch. Sara Fasana

.....

prof. María Isabel Prieto Barrio

.....

prof. David Caballol Bertolomé

.....

**Candidato:**

Simone Feroldi

Marzo 2020

## RIASSUNTO:

Il gesso è uno dei materiali più antichi impiegati nell'edilizia grazie al suo basso costo di approvvigionamento e alla sua facile lavorabilità. Per altro verso, in luoghi come la Spagna, le salviette umidificate costituiscono un grande problema ambientale a causa di una loro elevata presenza nei sistemi fognari. L'obiettivo di questa ricerca è conoscere il comportamento meccanico, termico e acustico di miscele di gesso con aggiunta di fibre di salviette in diverse percentuali, al fine di studiarne la fattibilità di riutilizzo come materiale costruttivo in edilizia e, allo stesso tempo, favorire la risoluzione di un problema ambientale.

Per raggiungere questo obiettivo, sono stati realizzati provini di diverse forme e dimensioni in funzione delle prove effettuate. Sono state studiate le seguenti percentuali di aggiunta di fibre di salviette in rapporto con il peso di gesso: 0,10 %, 0,20 %, 0,30%, 0,40%, 0,50%, 0,60%, 0,70%, 1,00 %, 1,50% e 2,00 %, poiché oltre questa percentuale di aggiunta la lavorabilità si è rivelata fortemente ridotta.

L'aggiunta di fibre, all'aumentare della percentuale di salviette, ha ridotto la densità del materiale e la sua durezza superficiale. Anche le sollecitazioni massime a flessione e compressione si riducono con la presenza di fibre, però fanno in modo che diminuisca l'effetto di distacco in caso di rottura. Inoltre, anche nel caso più sfavorevole per le resistenze meccaniche, con la maggiore percentuale di fibre testata, il gesso soddisfa i requisiti minimi stabiliti dalla normativa europea a livello di resistenza compressione e flessione.

Altri parametri studiati dimostrano che il maggior assorbimento per capillarità avviene per una percentuale di aggiunta del 1,00 % di fibre e che la maggiore resistenza alla diffusione del vapore dell'acqua avviene per un'aggiunta del 2,00 % di salviettine. L'aderenza della pasta di gesso e la conducibilità termica diminuiscono con l'aggiunta di fibre, mentre l'assorbimento acustico non è influenzato dall'aggiunta di queste ultime, salvo lievemente per le basse frequenze. Tutti i parametri studiati sui diversi gessi si trovano dentro i limiti stabiliti dalle vigenti normative nel settore del gesso e leganti a base di gesso. Studi condotti sopra il comportamento a flessione su provini normalizzati a forma di piastre dimostrano un miglioramento del comportamento dei provini rispetto a quelli di gesso senza aggiunta di fibre, in particolare con il contenuto di 1,00 %.

Dopo aver analizzato tutte le variabili messe in campo, come conclusione si può indicare che l'aggiunta di fibre di salviette in percentuale del 2,00 % in rapporto al peso del gesso porta ad avere impasti che sono una buona alternativa ai gessi tradizionali, in quanto sono soddisfatti i requisiti necessari per questo tipo di materiale da costruzione nell'edilizia e contribuiscono alla parziale soluzione di un problema ambientale.

## ABSTRACT:

Gypsum is one of the oldest materials used in building due to its low cost of production and its easy workability. On the other hand, wipes represent a major environmental problem, due to their presence in the sewers, in places like Spain. The objective of this research is to get to know the mechanical, thermal and acoustic behaviour of gypsum with the addition of towel fibres in different percentages, in order to study its feasibility as a construction material in building, while promoting the conservation of the environment.

To achieve this objective, test pieces of different shapes and sizes have been made according to the tests carried out. The following percentages of addition of wipes by weight of gypsum have been studied: 0,10 %, 0,20 %, 0,30%, 0,40%, 0,50%, 0,60%, 0,70%, 1,00 %, 1,50% e 2,00 %, since this additional percentage greatly reduced the workability.

The addition of wipes reduced the density of the material, as well as the surface hardness, as the percentage of wipes increased. The maximum flexion and compression voltages are also reduced by the presence of fibres, but this reduces the detachment effect in case of breakage. In addition, even in the most unfavourable case, with a higher percentage of wipes, the gypsum meets the minimum requirements established by the national regulations at the level of strength.

Other parameters studied show that the highest capillary absorption occurs for a an additional one percent of 1,00% wipes and that the greatest resistance to the diffusion of water vapor occurs for an addition of 2,00% wipes. The adhesion of the gypsum paste and the thermal conductivity decrease with the addition of wipes, while the acoustic absorption is not affected by the addition, except slightly in low frequents. All the parameters investigated in the various gypsums are found in the parameters established by the corresponding european standards. Bending studies at the gypsum plate level show an improvement in its behaviour with regard to gypsum paste without wipes, particularly in the content of 1,00% of fibres.

After analyzing all the variables and as a final conclusion, it can be indicated that the addition of wipes in a percentage of 2,00% in weight of gypsum, is a good alternative to traditional gypsums, because by meeting the requirements for this type of construction material, it contributes to the possible solution of an environmental problem.

## Indice

CAPITOLO I	OBIETTIVI.....	1
1.1.	Introduzione.....	1
1.2.	Motivazione.....	1
1.3.	Obiettivi.....	3
1.3.1.	Obiettivo principale.....	4
1.3.2.	Obiettivo secondario.....	4
CAPITOLO II	.....	5
2.1.	Comportamento delle malte di gesso.....	5
2.1.1.	Storia del gesso.....	5
2.1.2.	Forni tradizionali per il gesso.....	6
2.1.3.	Il materiale gesso.....	7
2.1.4.	Fase di idratazione e indurimento del gesso.....	8
2.1.5.	Tipologie.....	8
2.1.6.	Geologia del gesso in Spagna.....	9
2.1.7.	Sviluppo cronologico delle malte a base di gesso in Spagna.....	10
2.1.8.	Geologia del gesso in Italia.....	10
2.1.9.	La cava “Monferrato” nel comune di Moncalvo (AT).....	11
2.1.10.	Evoluzione dei giacimenti di gesso Messinia (Monferrato, nord Italia).....	14
2.1.11.	Il gesso per le soluzioni acustiche.....	15
2.1.12.	Soluzioni acustiche e termiche in Spagna.....	17
2.1.13.	Soluzioni acustiche e termiche in Italia.....	19
2.1.14.	Isolamento acustico in Italia.....	20
2.2	Le salviette umidificate.....	21
2.2.1.	La fibra di cellulosa.....	22
2.2.2.	La cellulosa usata come isolante.....	22
2.3	Comportamento delle malte di gesso con fibre.....	23
2.3.1.	La fibra di cellulosa come rinforzo di malte.....	23
2.3.2.	Il rinforzo di malte con altre fibre.....	24
CAPITOLO III	PROCEDIMENTO SPERIMENTALE.....	27
3.1.	Materiali.....	27
3.2.	Contenuto difibre e loro nomenclatura.....	28
3.3.	Metodo di misura della fluidità della pasta.....	29

3.3.1. Apparecchiature.....	29
3.3.2. Procedimento.....	29
3.4 Determinazione di proprietà meccaniche.....	30
3.4.1 Attrezzature.....	30
3.4.1.2 Procedimento.....	32
3.4.2 Prova di impatto.....	33
3.4.2.1 Attrezzature.....	33
3.4.2.2 Procedimento.....	33
3.5 Prova di assorbimento acqua per capillarità.....	34
3.5.1 Procedimento.....	34
3.6 Prova di permeabilità al vapore acqueo.....	35
3.6.1 Attrezzature.....	35
3.6.2 Procedimento.....	35
3.7 Prova di aderenza.....	37
3.7.1 Attrezzature.....	37
3.7.2 Procedimento.....	38
3.8 Prova a flessione su piastra.....	39
3.8.1 Attrezzature.....	39
3.9 Prova di conduttività térmica.....	40
3.9.1 Procedimientio.....	40
3.10 Prova di assorbimento acustico.....	42
3.10.1 Procedimento.....	42
CAPITOLO IV    RISULTATI.....	45
4.1 Metodo di misura della fluidità della pasta.....	45
4.2 Densità apparente.....	46
4.3 Durezza superficiale.....	47
4.4 Comportamento a flessione.....	49
4.5 Comportamento a compressione.....	56
4.6 Impatto.....	64
4.7 Assorbimento per capillarità.....	65
4.8 Permeabilità al vapore acqueo.....	67
4.9 Aderenza.....	67
4.10 Flessione su piastra.....	68
4.11 Comportamento termico.....	69
4.12 Assorbimento acustico.....	69
CAPITOLO V    ANALISI E DISCUSSIONE.....	73

5.1 Densità apparente .....	73
5.2 Durezza superficiale .....	74
5.3 Comportamento a flessione .....	74
5.4 Comportamento a compressione .....	77
5.5 Prove di impatto .....	80
5.6 Assorbimento di acqua per capillarità .....	81
5.7 Permeabilità al vapore acqueo .....	82
5.8 Aderenza .....	82
5.9 Flessione su piastre .....	83
5.10 Comportamento termico .....	84
5.11 Assorbimento acustico .....	85
CAPITOLO VI CONCLUSIONI .....	87
CAPITOLO VII FUTURE LINEE DI RICERCA .....	88
CAPITOLO VIII RINGRAZIAMENTI .....	89
CAPITOLO IX RIFERIMENTI .....	90
9.1 Bibliografia .....	90





# CAPITOLO I      OBIETTIVI

## 1.1.    Introduzione

La storia della costruzione si sviluppa con un'evoluzione discontinua, si manifesta attraverso due periodi rivoluzionari distinti.

Con la rivoluzione del neolitico e l'emergere dell'agricoltura l'uomo abbandona il nomadismo e inizia una vita sedentaria, iniziando così a costruire. Questa tappa prende il nome di “artigianale”. Con l'avvento della rivoluzione industriale, le condizioni di produzione dei materiali e dei sistemi costruttivi cambiano drasticamente, passando ad una fase detta “industriale”. Oggi ci sono sintomi evidenti che fanno pensare a una nuova rivoluzione, che modificherà ancora una volta le condizioni della fase precedente, che d'ora in poi chiameremo fase “postindustriale”.

La fase artigianale era connotata da una produzione ridotta, disorganizzata e discontinua di materiali, una manodopera poco organizzata con mezzi accessori poco sviluppati. La fase industriale, per lo sviluppo della fabbricazione di materiali seriali. L'ultima tappa, quella postindustriale, è caratterizzata da una serie di progettazione dei materiali, con la capacità di rispondere alle problematiche degli edifici, creando sistemi costruttivi completamente prefabbricati, con una durabilità negli edifici migliore rispetto alle tappe precedenti.

Infine, le tecniche costruttive si sono sviluppate nel tempo, risolvendo problematiche sempre più difficili, interessando l'intero processo dell'edificazione. Questo sviluppo non è stato uniforme né a livello temporale né a livello di spazio, poiché si è verificato prima in determinate aree e poi in altre, permettendo così l'accorpamento di tappe diverse nello stesso periodo storico.

Un altro fattore molto importante è la presenza di determinate materie prime in determinate zone, che consente di sviluppare determinate tecniche costruttive, mentre altre tipologie costruttive richiedono la ricerca e la creazione di nuovi materiali. La possibilità di trovare un materiale in una determinata zona influisce sulle caratteristiche costruttive dello stesso, che si adattano alle proprietà di materiale più disponibili nella zona (VILLANUEVA, 2004).

## 1.2.    Motivazione

In un momento storico in cui proprietà come il comfort termico o acustico e la sostenibilità dei materiali cominciano a essere di grande importanza, è essenziale ricercare nuove soluzioni costruttive che rispondano a tali esigenze.

L'uso del gesso, grazie al suo basso costo di produzione, in quanto viene estratto direttamente dalla natura e non richiede quasi alcun trattamento, alla sua finitura estetica e alla sua gestione e messa in opera, diventa una delle risorse più utilizzate per finiture interne, rivestimenti e pareti in edifici. Da diversi anni si studia il comportamento di questo materiale con l'aggiunta di fibre, sia naturali che artificiali.

Le salviette umidificate sono considerate uno dei più grandi problemi delle fogne, poiché causano danni alla rete fognaria e agli impianti di depurazione quando queste vengono gettate negli scarichi.

Questo prodotto ha iniziato a diffondersi da tempo, inizialmente con l'uso esclusivo per i neonati, poi si è esteso a molti altri usi. Per risolvere questo problema, le imprese di depurazione delle acque hanno creato *team* di tecnici specifici nel problema, come per esempio "Agua del Huesna" che serve 18 comuni nella provincia di Siviglia; lo scorso anno questo *team* ha ricevuto 700 segnalazioni di problemi di malfunzionamento della rete dove il 41% di questi è stato causato da salviette umidificate. Gli inconvenienti si riscontrano anche nelle pompe che portano l'acqua di scarico ai depuratori, che vengono bloccate, causando danni fino alle stazioni di depurazione. Il danno maggiore è a livello ambientale, quando queste salviettine arrivano nei fiumi e infine nel mare (PLANNELLES, 2015).

Questi prodotti diventano una vera e propria calamità per le fogne delle grandi città, hanno intasato i collettori di New York, Londra, Madrid e molte altre metropoli. A Valencia la mole di rifiuti supera i 3 km di lunghezza creando una spesa per la città di 8.000.000 euro per lo smaltimento di 5.000 tonnellate di questa poltiglia (VÁZQUEZ, 2019).

La stessa problematica si trova nella città di San Sebastián, dove uno dei tre collettori è stato otturato in passato e, mentre si riparava la rete fognaria, le acque sporche arrivavano al mar Cantabrico senza essere depurate, creando così danni ambientali ritenuti "inevitabili" non avendo altre soluzioni di depurazione (ORMAZABAL, 2017).

Lo stesso problema si trova nella città di Cádiz, dove l'estrazione e la pulizia delle fogne intasate dalle salviette rappresenta la sfida principale per la Società municipale Aguas de Cádiz; su un totale di 635,6 tonnellate di rifiuti solidi nelle reti fognarie il 65% è costituito da residui di salviette (L.V., 2019).

Il trattamento e la depurazione delle acque reflue, reso più complicato da queste salviette (come si può vedere nella Fig. 1.1), sono un obbligo legale e morale che diventa una grande problematica per la Spagna. La Commissione europea ha avviato un'azione penale spiegando che "*un numero molto significativo di agglomerati urbani viola gli obblighi fondamentali della direttiva in materia di raccolta, trattamento e monitoraggio*".

Il giornalista José Luis Gallego propone una soluzione a questa problematica: "*chiedere ai produttori un messaggio sulla confezione chiaro e specifico: NON GETTARE NEL WC*". Questa sarebbe una possibile soluzione ambientale con risparmio economico per una migliore qualità della vita per tutti (REJÓN, 2017).



Fig. 1.1: Un "mostro di salviette" di 350 chili trovato nel collettore di San Javier (REJÓN, 2017)

Mentre la Spagna e altri Paesi europei soffrono di problemi dovuti alle salviette, in Australia questo problema è combattuto. L'esempio è una curiosa invenzione creata in questo Paese, come si può vedere nella Fig. 1.2: delle enormi maglie che sono collocate nelle bocche delle fogne e delle

condutture le cui acque si riversano nei fiumi e nei mari. L'obiettivo è quello di creare una barriera contro la plastica, le salviette e altri rifiuti inquinanti evitando che contaminano gli oceani vicini (POCERÍA, 2019).



Fig. 1.2: Foto di una bocca di una fogna in Australia (POCERÍA, 2019)

In Gran Bretagna le salviette umidificate rappresentano la nuova frontiera di lotta per la protezione dell'ambiente. Il ministro dell'Ambiente avverte che vieterà questo prodotto non biodegradabile nel suo Paese.

Il problema principale delle salviette umidificate è che sono fatte di fibre di cellulosa unite con resine plastiche, come il propilene e il poliestere, che non sono biodegradabili e rimangono nell'ambiente. Il governo britannico sta ipotizzando delle tasse per rendere meno conveniente l'uso di tutti i tipi di contenitori di plastica, per bloccare la produzione di oggetti inquinanti alla fonte, colpendo direttamente le industrie che li producono (BELLONI, 2018).

In Italia, può sembrare strano, ma ancora oggi ci sono 40 comuni (la maggior parte in Sicilia), dove non esiste un sistema di fognature. Ciò significa che scaricano direttamente le acque residuali nei canali, nei fiumi o in mare. Ci sono anche altri problemi come la mancanza di qualsiasi servizio di purificazione in 342 comuni (di cui 75 in Sicilia, 57 in Calabria e 55 in Campania). La maggior parte dei problemi si riscontra principalmente nel Sud Italia: nella provincia di Bolzano solo lo 0,3% degli scarichi civili non è trattato, mentre in Sicilia la percentuale supera il 56% del totale, in Calabria il 54% e anche nelle Marche e Veneto va oltre il 50%. La media nazionale è del 40,4%, grazie alla situazione generale sotto controllo in territori come il Piemonte (solo 30,3% non trattati), l'Umbria (31,3%) e la Puglia (31,7%). Il meccanismo sanzionatorio di Bruxelles si è attivato a riguardo di queste problematiche, solo in relazione alla prima denuncia presentata contro l'Italia. Nel maggio del 2018, l'Italia è stata multata per 25 milioni di euro, più 30 milioni di euro per ogni ritardo di sei mesi, fino alla piena applicazione delle norme inerenti il problema (DELL'OLIO, 2018).

### 1.3. Obiettivi

Lo scopo della presente ricerca è conoscere il comportamento meccanico, termico e acustico del gesso con aggiunta di fibre di salviette, per l'eventuale applicazione in edilizia, al fine di trovare un nuovo materiale che favorisca anche la conservazione dell'ambiente.

### 1.3.1. Obiettivo principale

L'obiettivo principale di questo lavoro è capire il comportamento della pasta di gesso con aggiunta di fibre di salviette, in funzione della quantità di queste.

### 1.3.2 Obiettivo secondario

- Confrontare il comportamento allo stato fresco del gesso tradizionale rispetto al gesso con l'aggiunta di fibre di salviette;
- Conoscere e confrontare diverse caratteristiche del gesso allo stato indurito con il gesso con aggiunta di fibre di salviette;
- Confrontare il comportamento meccanico del gesso tradizionale rispetto al gesso con fibre di salviette, in termini di compressione, flessione e impatto;
- Confrontare il comportamento acustico del gesso tradizionale rispetto al gesso con fibre di salviette;
- Confrontare il comportamento termico del gesso tradizionale rispetto al gesso con fibre di salviette.

## CAPITOLO II

### 2.1. Comportamento delle malte di gesso

#### 2.1.1. Storia del gesso

Grazie al suo basso costo di approvvigionamento, alla sua finitura estetica e alla sua facile lavorabilità e messa in opera, il gesso diventa una delle risorse più utilizzate per finiture interne, per rivestimenti e pareti in edifici.

##### *2.1.1.1. Il gesso artigianale*

Dopo una prima fase arcaica, nella quale erano utilizzati principalmente materiali naturali di facile reperibilità, con la rivoluzione del Neolitico i sistemi costruttivi si avvicinano a una fase artigianale, dovuta alla preparazione dei mestieri di cava, carpenteria e muratura. È necessario un legante adatto per il rivestimento dei paramenti e l'unione dei pezzi. Così, il gesso grazie alla sua facilità di disidratazione parziale a basse temperature, diventa il primo materiale artificiale.

La differenza tra il gesso e l'argilla è che il primo ha bisogno di una cottura anticipata rispetto al momento dell'impasto con acqua e una volta impastato indurisce. L'argilla ha bisogno di una cottura posteriore al suo impasto con acqua, e dopo questo si trasforma in ceramica. Questa caratteristica del gesso ha permesso di produrre pezzi prefabbricati sin dall'antichità.

Il gesso fu impiegato in molte costruzioni importanti del passato, come nella piramide di Cheope (2800 a.C.), utilizzato come pasta di giunzioni tra i blocchi o nel palazzo di Knossos a Creta, utilizzato come rivestimento di pavimenti e pareti, con costruzioni e ristrutturazioni tra 2200 e 1600 a.C. (VILLANUEVA, 2004).

Gli Egizi sembrano siano stati i primi a utilizzare il gesso come legante nel periodo tra il 4000 al 2000 a.C. durante il quale l'utilizzo di materiali come la calce era scarso. Questo scarso uso della calce può essere motivato dal fatto che era necessaria una quantità maggiore di combustibile per la sua calcinazione, il quale era difficilmente reperibile (GORDILLO, 2005).

Durante l'Impero Romano il gesso era utilizzato principalmente in quelle Province dove abbondava, ma si trova anche l'uso di gesso originario della Grecia, che indica la presenza di un trasporto marittimo a lunga distanza.

In Europa vi sono esempi di utilizzo del gesso nel Medioevo, in particolare nella regione di Parigi nel 1292 dove era utilizzato principalmente in rivestimenti.

Durante il periodo del Rinascimento e del Barocco, il gesso fu impiegato anche nelle decorazioni di interni.

### *2.1.1.2. Il gesso industriale*

Nel XVIII secolo cominciarono gli studi scientifici sul gesso. Il primo fu Lavoiser, che nel 1768 studiò come si articolava la preparazione del gesso e i relativi fenomeni. In un secondo momento Van't Hoff e Le Chatelier trovarono una definizione scientifica riguardo la disidratazione. Seguirono altri studi che portarono a una conoscenza sempre maggiore su questo materiale.

Nello stesso secolo iniziò il processo di industrializzazione, ove l'intero processo di fabbricazione fu messo sotto controllo, uniformando la produzione e la serialità.

Generalmente nella fabbricazione industriale, i gessi utilizzati sono di tipo mono-fasico (come ad esempio la scagliola) o bi-fasico, ma c'è anche la presenza di gessi multifase tipici della fase artigianale antecedente.

### *2.1.1.3. Il gesso di terza generazione*

Nel periodo seguente alla II Guerra Mondiale, le modificazioni apportate alle caratteristiche del gesso (grazie ad additivi e aggiunte) furono studiate con più attenzione.

In particolare, in Gran Bretagna si cominciarono ad utilizzare gessi alleggeriti per la ricostruzione degli edifici distrutti durante la guerra. Questi gessi contenevano additivi come perlite e vermiculite, con la capacità di bloccare l'aria all'interno e migliorare l'isolamento termico.

Questo processo di aggiunta di additivi aumenta anche la resistenza superficiale portando alla creazione di gessi di elevata durezza (VILLANUEVA, 2004).

### *2.1.2. Forni tradizionali per il gesso*

Nei sistemi più antichi, la costruzione di forni veniva fatta con le stesse pietre di gesso, che erano cotte creando una sorta di cupola con un accesso per l'inserimento del combustibile.

La cottura durava un giorno e mezzo con alimentazione continua di combustibile. Generalmente i forni si trovavano in prossimità di strade, appoggiati sui pendii di terreno per controllare il più possibile il vento e sfruttare l'inerzia termica.

Questi forni potevano essere di forma rotonda o quadrata. Le estensioni variavano a seconda dell'importanza del forno o della città in cui era ubicato.

Come si può vedere nella Fig. 2.1, attualmente questi forni sono riprodotti per la cottura di gesso per il recupero di opere specialmente in ambiente protetto o di valore paesaggistico.



Fig. 2.1: Forno per gesso a 4 bocche in Teruel (ARAUZ D. S., 2014)

In un secondo momento queste costruzioni hanno avuto una struttura fissa, formata con pietre che sopportano bene il calore della cottura, che sostenevano le pietre di gesso (ARAUZ D. S., 2014).

I giacimenti di gesso a Madrid erano abbondanti, per questo motivo questo materiale è stato utilizzato fin dall'età più antica, sviluppando forni a vasca circolare con diametro tra 2 e 3,5 m e altezze da 3 a 4 m. La cottura durava una media di 9 ore, e il “momento” in cui la pietra era cotta, si riconosceva grazie al colore del fumo che fuoriusciva dal forno.

Questi forni hanno funzionato fino ai giorni d'oggi ed erano collocati nelle vicinanze dei centri urbani storici. In passato esistevano più di cento forni in città, mentre ora ne sono rimasti pochi. Questa abbondanza di forni era dovuta al fatto che, per opere concrete, si apriva un cantiere e si costruiva il forno specifico a supporto del cantiere (PUCHE RIART O. M., 1999).

Tra le varie gesserie storiche che si riconoscevano la provincia di Madrid, quella di Los Tarrollas de Valverde de Alcalá rappresenta una delle più importanti, per i suoi cinque forni che sono conservati in perfetto stato. Queste gesserie avevano funzionato per molto tempo, per questo è importante conservare gli elementi più significativi, dato che negli ultimi anni la maggior parte di queste sono state chiuse (PUCHE RIART O. M., 2005).

### 2.1.3. Il materiale gesso

Il gesso è una pietra naturale con formula chimica  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  (solfato di calcio biidrato), che trattato a temperature comprese tra 120 °C e 1000 °C perde l'acqua di cristallizzazione modificando la composizione e la formula chimica,  $\text{CaSO}_4 \times 1/2\text{H}_2\text{O}$ . Le diverse tipologie di gesso si producono trattando il materiale estratto a diverse temperature e si possono osservare nella Tabella 2.1.

FASE	FORMULA CHIMICA	TEMPERATURA DI COTTURA °C
Gesso biidrato	$\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	stato naturale
Gesso Semidrato	$\text{CaSO}_4 \times 1/2\text{H}_2\text{O}$	120-180
Gesso Semidrato	$\text{CaSO}_4 \times 1/2\text{H}_2\text{O}$	100-120 in autoclave
Anidrite III - solubile	$\text{CaSO}_4$	220-380
Anidrite II - insolubile	$\text{CaSO}_5$	380-1200
Anidrite I	$\text{CaSO}_6$	1200-1350
Gesso idraulico	$\text{CaO}$ y $\text{SO}_3$	>1350

Tabella 2.1: Composizione chimica del gesso (DOMENE, 2006)

#### 2.1.4. Fase di idratazione e indurimento del gesso

Il gesso è un materiale che a contatto con l'acqua cambia il suo comportamento. Si possono distinguere due fasi principali:

- La fase di idratazione: quando il gesso entra a contatto con l'acqua, torna a formarsi il solfato di calcio bi-idrato ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ). In questa fase il gesso viene aggiunto gradualmente nell'acqua, fino a quando la miscela arriva a saturazione. La quantità di acqua nella fase di idratazione condiziona il comportamento meccanico del prodotto che generalmente con una maggiore quantità di acqua riduce la sua resistenza.

- La fase di indurimento: in questa fase il materiale si indurisce perdendo la sua plasticità e formando una struttura coagulata tridimensionale dove i cristalli di Diberot sono uniti da deboli forze di Van del Waals di coesione molecolare.

#### 2.1.5. Tipologie

Generalmente esistono 3 tipologie principali di gesso, come indicato nella Fig. 2.2:

- Il gesso nero, che è un gesso più grezzo, di colore nero, derivato da calcinazione di pietre di gesso impure, oltre a contenere residui e macchie di gas di combustione per essere stato prodotto in forni rudimentali. Contiene il 50-60 % in peso di emiidrato ed è accompagnato da anidro. Ora questo gesso non viene più commercializzato, ma è stato utilizzato nel passato;
- Il gesso bianco è realizzato con pietre più pure, con un contenuto minimo di 66 % di emiidrato. Questo gesso non setacciato ha una tonalità bianca.
- Il gesso fine, detto scagliola, è un gesso contenente almeno l'80 % in peso di emiidrato. È ottenuto mediante cottura in forni che non permettono ai gas di entrare in contatto con la materia. Il suo utilizzo nei restauri è identificabile a partire dal XVIII secolo (Domene, 2006).

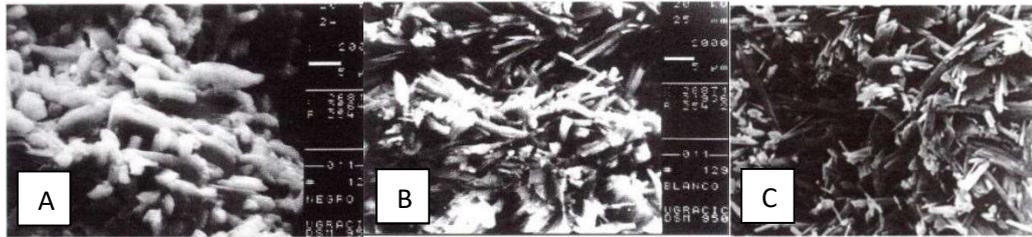


Fig. 2.2: Cristalli di gesso al microscopio

A: gesso nero; B: gesso bianco; C: gesso fine o escaiola; (DOMENE, 2006)

### 2.1.6. Geologia del gesso in Spagna

I depositi in gesso in Spagna hanno una superficie di circa 35.500 km<sup>2</sup>, l'equivalente del 7,2% della superficie totale spagnola. In questi luoghi la costruzione tradizionale utilizzava il gesso come materiale principale in tutte le sue applicazioni. È stato usato come malta per esterni, giunzione di mattoni e rivestimenti. Il maggior impiego di malte di gesso si trova tra il XVIII e la prima metà del XX secolo. Nell'età del Triassico si trovano le prime formazioni gessifere e saline della Spagna. Queste sono molto facili da riconoscere, per il loro aspetto di colore rossastro e variegato molto caratteristico. Ci sono due tipi di sedimentazioni triassiche, una a predominanza continentale, chiamata faccia germanica, l'altra a carattere marino, dove il gesso si trova con minore abbondanza. La sedimentazione di gessi all'epoca del Terziario fu dovuta alla vaporizzazione di acque saline che occupavano il fondo di bacini, creando così lagune e giacimenti di acqua, con lamine d'acqua di piccolo spessore, con un regime endoresinico (senza sbocco sul mare), in un clima generalmente arido. Queste due sedimentazioni si possono osservare nella Fig. 2.3. (ARAUZ D. D., 2009).

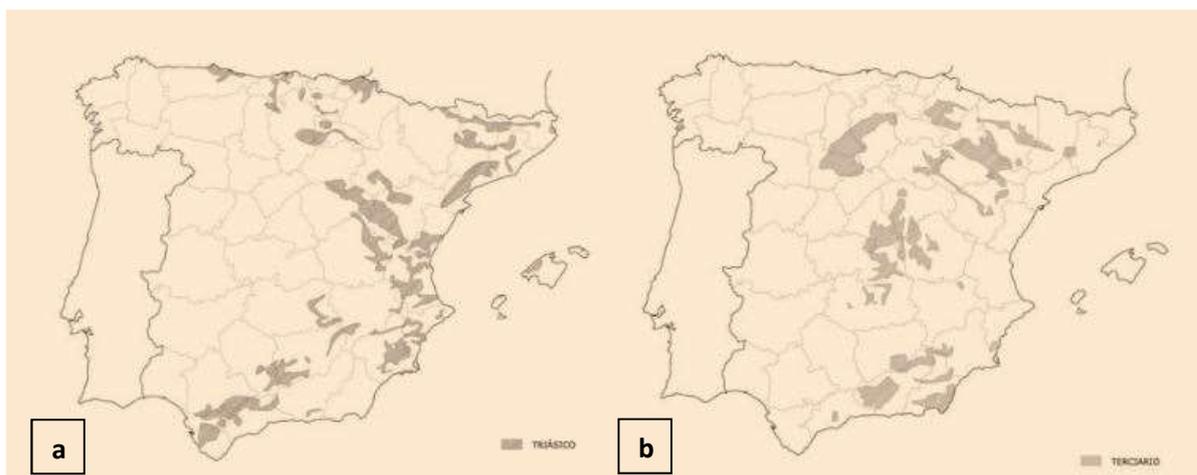


Fig. 2.3: Sedimentazioni in Spagna nei periodi del triassico e del terziario

a) gesso del triassico

b) gesso del terziario

(ARAUZ D. D., 2009).

### 2.1.7. Sviluppo cronologico delle malte a base di gesso in Spagna

Durante l'epoca romana, si scoprì a Segobriga un giacimento di *lapis specularis*, un gesso di alta qualità che veniva trasportato a Roma per la sua qualità superiore rispetto al gesso siciliano.

Durante il periodo arabo si sviluppò l'utilizzo di gesso nelle regioni gessifere sia come uso interno che come esterno. Con la riunificazione dei regni musulmani nacque un movimento di artisti e artigiani che arrivò fino al Nord Africa, portando le tecniche decorative col gesso fino a città come Trecemen, Fez, Marrakesh e Algeri.

Nell'età medievale cristiana sono stati trovati resti di gesso utilizzato come finitura esterna, un tipico esempio sono le mura della città di Cuenca, la cui composizione è in gesso con anidrite e un contenuto elevato di argilla e silice.

Durante il tempo del Rinascimento e del Barocco si osservò in Spagna una notevole influenza dovuta all'Italia. Con la scoperta in questo Paese degli stucchi, iniziò una nuova tappa per le decorazioni dovuta all'utilizzo di gesso e calce, a partire dagli utilizzi nelle opere di Bramante e dei suoi successori in Vaticano, in edifici civili a Roma e Firenze fino al diffondersi nel resto d'Europa.

Il Barocco entrò completamente in Spagna durante la seconda metà del XVII secolo, per mano della Famiglia Churriguera, che realizzò stucchi nella Cattedrale di Salamanca, nella Sacrestia della Certosa di Granada e nella chiesa dell'Incarnazione di Madrid, mentre a Siviglia fu utilizzato principalmente in forma decorativa, trovando esempi di utilizzo di Leonardo da Figueroa.

Nel corso del XVIII secolo, l'utilizzo dello stucco continua parallelo alle decorazioni in marmo, passando dal suo utilizzo nella scultura al suo utilizzo in rivestimenti. Troviamo così esempi di pavimenti continui con l'intento di imitare marmi con miscele di gesso e aggregati.

La composizione di questi gessi era solitamente fatta con aggiunte organiche come colle e gomma arabica, con l'obiettivo di indurire lo stucco, ritardare l'indurimento e permettere una maggior lucidatura (ARAUZ D. D., 2009).

A Madrid si conservano facciate in gesso del XX secolo, dove il loro uso principale era per il rivestimento dei cortili interni. Il suo impiego fu dovuto alla sua abbondanza nel territorio, e in particolare alle sue caratteristiche di protezione dall'acqua sugli elementi strutturali in legno. A differenza degli attuali gessi, la loro composizione era più eterogenea, con presenza di diverse fasi nella miscela e la loro granulometria era più spessa di quella usata nell'attualità (BUSTAMANTE MONTORO, 2005).

### 2.1.8. Geologia del gesso in Italia

Come si può osservare nella Fig. 2.4, i maggiori giacimenti di gesso sono quelli della Sicilia, con una superficie totale di oltre 1.000 km<sup>2</sup> e la presenza di 200 cave. A seguire, in Emilia-Romagna ci sono affioramenti che totalizzano poco più di 100 km<sup>2</sup> con la presenza di 500 scavi nella regione. Nelle Alpi la zona più conosciuta con presenza di gesso è quella di Colle del Piccolo Moncenisio, con una estensione di diversi chilometri quadrati. Al contrario, gli "affioramenti" di gesso più estesi si trovano all'interno dei "depositi chiusi" sub-marini nel nord del Mediterraneo, ma i dettagli della loro geomorfologia sono poco conosciuti.

La più distintiva, e la più grande morfo-struttura all'interno della penisola italiana si trova nella "Vena del gesso", che si estende attraverso gli Appennini del Nord tra Bologna e il Mare Adriatico, e il suo settore principale raggiunge i 25 km di lunghezza.

In Sicilia ci sono molte morfo-strutture di tipo grande e medio, alcune mostrano le caratteristiche degli altipiani tettonici a cuneo, o di altipiani tabulari o creste (FORTI, 1996).

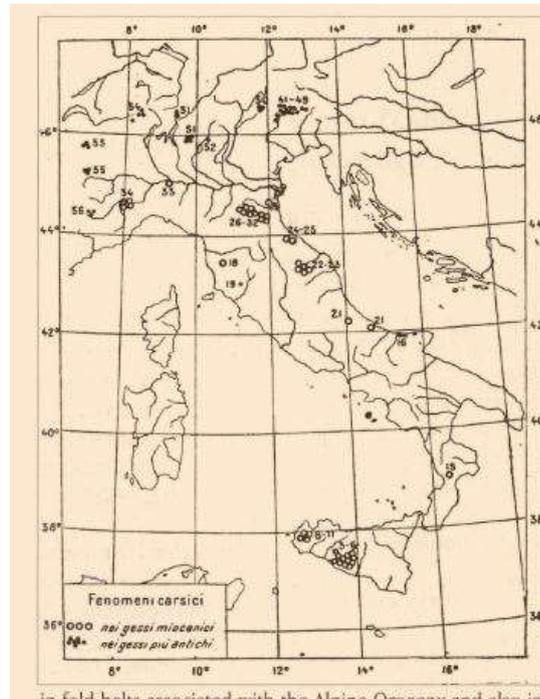


Fig. 2.4: Cave di gesso in Italia (FORTI, 1996)

#### 2.1.9. La cava "Monferrato" nel comune di Moncalvo (AT)

La cava conosciuta come cava del Monferrato, è gestita da Fassa S.p.A. (impresa che opera in Italia e in Europa con 13 impianti di produzione di gesso premiscelato e altri materiali per l'edilizia e 16 centri di estrazione di materie prime come gesso e pietre calcaree). Questa cava è in funzione dall'inizio degli anni '90 e il minerale di gesso estratto è utilizzato per la produzione di gessi premiscelati nell'impianto adiacente, la cui produzione è destinata ai mercati dell'edificazione, nel raggio massimo di 500-600 Km.

La cava si trova nel territorio del comune di Moncalvo (AT), vicino alla frazione "Gessi". La zona è caratterizzata da rilievi montagnosi con altitudini che vanno da circa 190 a 230 m sul livello del mare e pendenze relativamente collinari.

Gli studi effettuati negli ultimi anni hanno portato a una nuova definizione e caratterizzazione stratigrafica delle formazioni di affioramento nella zona considerata e hanno evidenziato il fatto che, nella zona di Monferrato, i depositi evaporitici sono costituiti da un insieme di sedimenti, sotto forma di blocchi di cemento di composizione e dimensioni diverse, integrati in una matrice di natura argillosa non ben definita, in cui è difficilmente visibile.

La successione di depositi evaporitici mostra un carattere ciclico, caratterizzato dalla ripetizione verticale di numerosi banchi selenitici, separati da altrettanti livelli pelitici; ogni ciclo è costituito da un episodio terrigeno, associato alle condizioni di massimo approfondimento del bacino e di minima salinità delle acque del medesimo, cui segue un banco di gesso selenitici che testimonia invece la vera e propria fase di "ipersalinità", con precipitazione del solfato di calcio da acque soprassature.

La classificazione geologico-strutturale del luogo può essere vista nella Fig. 2.5, e si mostra nella Fig.2.6 un estratto della carta geologica italiana del sito studiato.

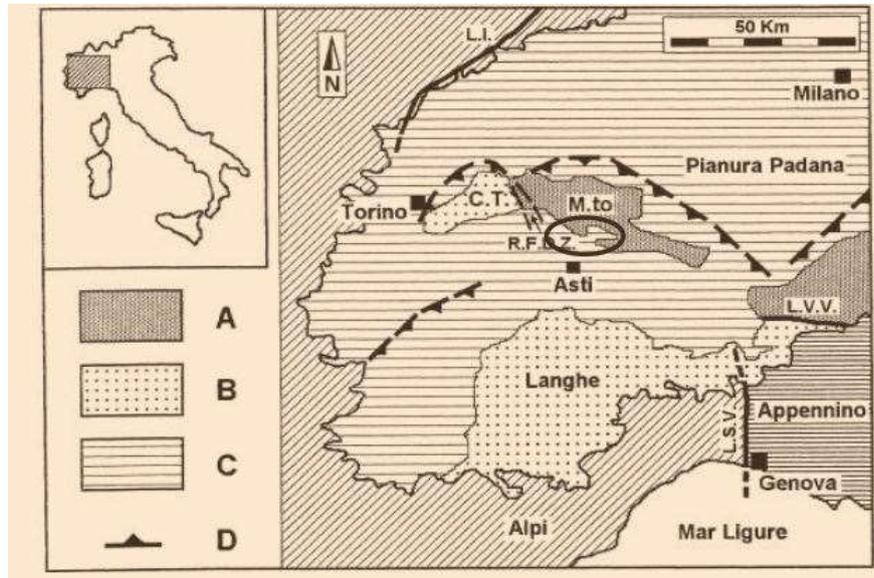


Fig. 2.5: Classificazione geologica-strutturale del sito studiato

A= bacini montuosi rilevanti dell'Appennino; B= bacini alpini rilevanti; C= bacini collinari quaternari;  
D= bacini interrati; (S. AMALBERTO, 2008).

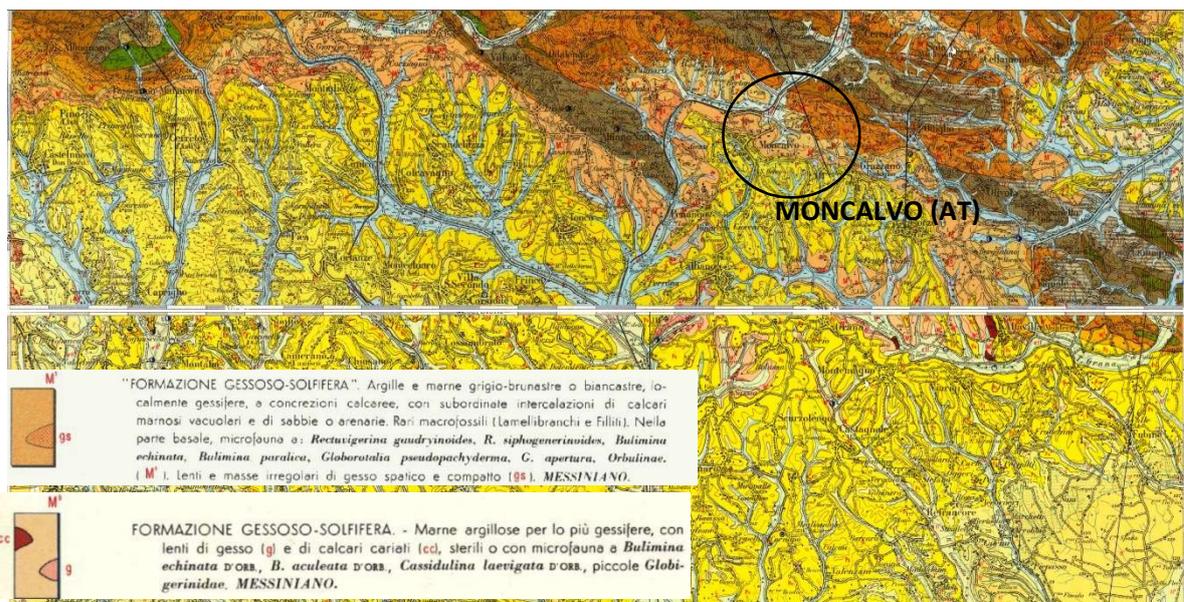


Fig. 2.6: ISPRA, Carta geologica d'Italia, Foglio 69, Asti, scala 1:100.000

### 2.1.9.1 Stratigrafia mineraria

Dal letto del deposito è possibile riconoscere 5 diversi strati di gesso: i primi 3 strati utili del deposito sono costituiti da "facies" di gesso definito "gesso macrocristallino", che è la varietà di gesso più preziosa per fini minerari; verso l'alto le dimensioni dei cristalli diminuiscono e sono infatti indicati con il termine informale "gesso microcristallino", dove delle due bancate, quella superiore presenta minore interesse estrattivo per effetto della presenza di una matrice argillosa e per la più ridotta continuità laterale dello strato. Si mostra la stratigrafia mineraria nella Fig.2.7.

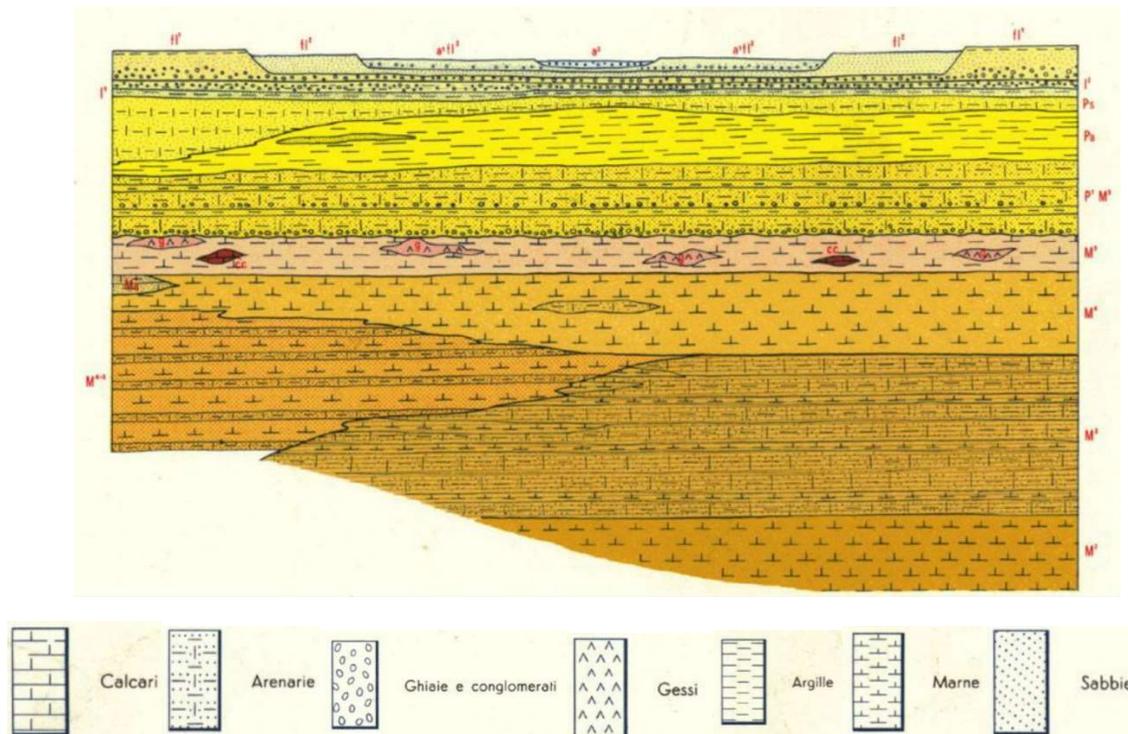


Fig. 2.7: Schema dei rapporti stratigrafici del bacino terziario piemontese (ISPRA, *Carta geologica d'Italia*, Foglio 69, Asti, scala 1:100.000)

### 2.1.9.2. Riutilizzo dei vuoti minerali

La cava "Monferrato", si differenzia per il suo lavoro fatto esclusivamente sottoterra, così non ci sono operazioni di scavo all'aperto e, di conseguenza, non sono necessarie nuove opere di recupero ambientale oltre a quelle già realizzate negli ultimi anni e relative ai lavori e alle infrastrutture all'aperto, situate in prossimità dell'entrata delle gallerie della cava. Per quanto riguarda l'intenzione di riutilizzare i vuoti al termine dell'attività estrattiva, è stato proposto un modo di riutilizzo di questi che sia economicamente vantaggioso per le imprese, però è evidentemente molto difficile poiché è necessario proporre un'attività che può essere realizzata in un lungo periodo, al termine reale dell'attività di estrazione nella cava. I costi di gestione sono legati non solo al mantenimento delle condizioni statiche di sicurezza dei vuoti minerari, ma anche alla ventilazione, alla corretta illuminazione del sotterraneo e all'estrazione dell'acqua. Non risulta possibile per un'azienda mineraria del tipo in questione, sostenere queste spese, se non utilizzando forme di conversione in grado di generare entrate in termini di denaro. Detto questo, l'esame delle

varie alternative possibili ha dimostrato che si può proporre economicamente un riutilizzo integrato della parte secca del sistema di tunnel come luogo per coltivare funghi sottoterra, e l'altra parte, una volta che la coltivazione è effettivamente cessata, anche in considerazione del grado generale di impermeabilizzazione delle formazioni presenti, i vuoti sotterranei tenderanno a essere riempiti naturalmente dall'acqua piovana, con l'obiettivo di utilizzarla come serbatoio per lo stoccaggio di acqua per l'irrigazione (S. AMALBERTO, 2008).

#### 2.1.10. Evoluzione dei giacimenti di gesso Messina (Monferrato, nord Italia)

La karstificazione dei sedimenti di gesso sembra aver avuto luogo in due periodi distinti (Fig. 2.8), il primo ai tempi Messiniani e il secondo durante il Quaternario. La sequenza di evaporazione è attualmente confinata tra densi sedimenti argillosi a bassa permeabilità al di sotto e al di sopra. Ciò indica che solo in situazioni di forte erosione o fenomeni di deformazione la circolazione d'acqua può raggiungere i letti di gesso. C'è tuttavia, un letto di calcare sottile alla base della sequenza e fratture che sicuramente permettono la ricarica d'acqua nella sequenza di gesso dal basso. Ci sono alcune zone nelle unità di confinamento che potrebbero avere cristalli di una dimensione granulometrica più grande e quindi offrire maggiore permeabilità permettendo la ricarica sia dal basso che dall'alto. Tuttavia, la superficie di erosione intra-messinica, sembra aver svolto un ruolo importante poiché ha esposto il gesso per diverse decine di migliaia di anni, favorendo sia la superficie compatta che lo sviluppo carsico sotterraneo.

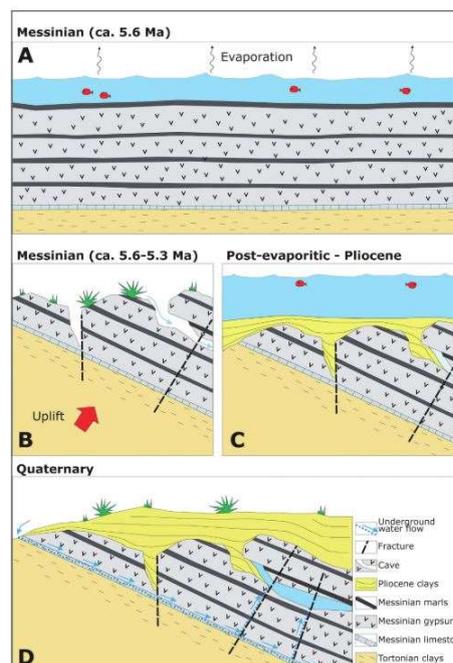


Fig. 2.8: Illustrazione della possibile evoluzione dei giacimenti del Monferrato (VIGNA, 2010).

La scoperta di una rete carsica terrestre e sotterranea ben sviluppata in queste cave di gesso, ha messo in discussione il modello di una speleologia carsica esclusivamente quaternaria. La superficie di erosione ha influenzato la superficie e lo sviluppo carsico sotterraneo delle rocce di gesso, che per diverse decine di migliaia di anni, prima di essere ricoperte dai sedimenti sovrastanti, sono state esposte alle acque superficiali. È molto probabile che in questo periodo si siano sviluppate grandi grotte di gesso epigenico. Con la successiva deposizione di diverse centinaia di metri di sedimenti

di natura argillosa durante l'Alto Messianico e il Pliocene, questi sistemi carsici sono stati completamente isolati dalle acque di infiltrazione diretta, con conseguente interruzione o decelerazione sullo sviluppo della cava. Le grotte potrebbero aver continuato ad ampliarsi per dissoluzione in un ambiente carsico, con acque che si innalzavano dal letto calcareo inferiore e che fungevano da falde acquifere per l'alimentazione basale. Solo dopo le successive fasi di erosione quaternaria, i letti di gesso sono tornati in superficie con la rapida riattivazione dei processi carsici epigenici in luoghi dove si è verificata l'infiltrazione diretta. Ci sono luoghi del Monferrato dove la sequenza è ancora coperta dai sedimenti classici e attualmente è scavata in cave sotterranee, dove in corso di costruzione potrebbero essere intercettati altri importanti vuoti d'acqua. (VIGNA, 2010).

## 2.1.11. Il gesso per le soluzioni acustiche

### 2.1.11.1. Assorbimento acustico

Come spiegato da González y Ruiz Martínez (2014) i materiali più utilizzati per migliorare le condizioni acustiche negli edifici storici sono le malte da rivestimento.

Il parametro principale per la determinazione acustica di un elemento è il tempo di riverberazione, che dipende da due fattori principali:

- Il volume dell'ambiente;
- L'assorbimento acustico dei materiali superficiali;

Gli edifici storici sono generalmente costruiti con materiali poco assorbenti, questo genera luoghi altamente riverberanti, soprattutto in edifici di culto come chiese e cattedrali.

Uno studio sulle malte più comuni negli edifici storici (quella a base di calce, gesso, misti calce-gesso e misti con pozzolane) ha ricavato alcuni dati utili per la definizione delle variabili per il calcolo acustico. Sono state studiate le caratteristiche, i dosaggi di leganti, acqua, aggregati, processi di stagionatura e carbonatazione, che possono influenzare l'assorbimento acustico.

Questo studio è stato realizzato nella Cattedrale di Toledo, uno spazio acusticamente complesso, dove ci sono "zone acustiche" molto diverse. La soluzione più utilizzata è il materiale poroso a struttura rigida granulare. Esistono però diverse soluzioni utilizzate, come la struttura rigida granulare, bassa porosità, doppia scala di porosità, multistrato, ecc.

Per ottenere le espressioni di calcolo, si determinano generalmente cinque variabili principali:

- Resistenza al flusso ( $Ns/m^4$ ): esprime il ritardo per attrito, cioè la resistenza al flusso d'aria quasi statico attraverso i pori del materiale;
- Porosità aperta (%): è la frazione di volume di materiale occupata dall'aria. La trasmissione e l'assorbimento (soprattutto a medie e alte frequenze) crescono in modo non lineare con la porosità. Influenzano solo i pori più grandi nel cammino libero dell'aria ( $0,07 \mu m$ ). Generalmente i diametri utili sono compresi tra  $0,5$  e  $10 \mu m$  e si devono considerare anche la macro-porosità, le fessurazioni, il degrado, ecc.. I diametri maggiori possono essere utili per altri usi, come per esempio nei risonatori;

- Tortuosità (adimensionale): è una misura geometrica della deviazione tra la strada seguita dall'onda acustica e la strada diretta (spessore). Essa influenza la velocità del suono e influenza l'assorbimento e la trasmissione;

- Lunghezza viscosa caratteristica (m): è la dimensione macroscopica media delle celle in relazione alle perdite viscosive o il raggio medio dei pori più piccoli del materiale. Un valore basso di questa aumenta la trasmissione a medie e alte frequenze e un valore elevato aumenta l'assorbimento a medie e alte, diminuendo per le basse;

- Lunghezza termica caratteristica (m): è la dimensione macroscopica media delle celle in relazione alle perdite termiche o al raggio medio dei pori più grandi del materiale. Non influisce molto l'assorbimento, ma con valori molto bassi aumenta la trasmissione ad alte frequenze.

Altri parametri intervengono nella caratterizzazione acustica, come la densità del fluido, lo spessore materiale in relazione alla lunghezza d'onda, il contenuto d'acqua, ecc.

L'autore Ruiz Martínez (2014) spiega le cinque variabili principali che dipendono dalle caratteristiche e dai rapporti dei componenti che compongono la malta. Queste sono:

- Legante: il gesso e la calce possono presentare strutture di diversa qualità. L'intervallo dimensionale più comune è compreso tra 1 e 10  $\mu\text{m}$ , mentre in assenza di aggregati il diametro si avvicina a valori compresi tra 0,5 e 1  $\mu\text{m}$ . La più porosa è la calce spenta, con diametri maggiori di 1  $\mu\text{m}$ ;

- Acqua/legante: la presenza di acqua nel legante è quella che crea i pori, a causa della sua evaporazione. La presenza di più acqua non modifica la forma della curva di porosità, ma la sposta verso diametri maggiori, aumentando il volume dei vuoti;

- Aggregati: la presenza di più aggregati comporta generalmente meno porosità (se questi non sono molto porosi) e cambia la distribuzione dei pori. Il tipo di aggregati può modificare il comportamento della malta, ad esempio gli aggregati calcarei riducono i pori più piccoli e aumentano i pori medi e grandi, mentre i silicei hanno l'effetto opposto;

- Additivi e trattamenti: Nelle malte storiche sono molto frequenti la presenza di gusci di cereali, peli animali, fibre vegetali e cose generalmente rare come zucchero, sangue, birra e anche urine. Questi sono stati utilizzati per la loro capacità di apportare modifiche al comportamento fisico del materiale.

- Carbonatazione: Le malte di calce e gesso si distinguono dai prodotti di cemento principalmente per il processo di essiccazione e carbonatazione, dove il tempo produce cambiamenti importanti nelle proprietà della malta. Nel processo di carbonatazione ci sono diverse fasi, dove la porosità è diversa da una fase all'altra.

#### 2.1.11.2. Isolamento acustico

Come detto da Venero (2003), attualmente nell'edilizia il problema dell'isolamento acustico si presenta più grande rispetto al passato, principalmente per due motivi:

- le fonti di rumore sono sempre più numerose ed emettono livelli di rumore più elevati;

- le esigenze di *comfort* acustico del cittadino sono aumentate;

Le attività ludiche e industriali generano un alto rumore a basse frequenze e questo sta portando alla ricerca di soluzioni specifiche per questa gamma di frequenze. L'obiettivo principale delle ricerche è quello di sfruttare al massimo il livello di isolamento di una data configurazione, cercando di contenere il più possibile i costi. Queste ricerche devono chiaramente tenere conto anche del comportamento termico, cercando di trovare una soluzione che migliora contemporaneamente queste due caratteristiche.

Attualmente, a livello acustico ci sono molti prodotti in gesso e di altri materiali, come il poliestere, che è uno dei materiali contenuti nelle salviette che creano danni all'ambiente per la loro difficile rimozione. La combinazione di entrambi i materiali ha come risultato un dispositivo eccellente e versatile per ridurre la trasmissione del rumore aereo su un'ampia gamma di frequenze. Il poliestere in queste composizioni è utilizzato sotto forma di "strato", che è un materiale innocuo, non tossico e riciclabile, che aumenta l'efficienza della lamina dissipando l'energia acustica in energia termica, grazie alla sua struttura porosa. Nelle varie combinazioni dei prodotti, si possono trovare uno o più strati di poliestere che aderiscono termicamente ad una lamina viscoelastica ad alta densità.

Le principali applicazioni di questi prodotti si trovano nel rafforzamento dell'isolamento acustico dei materiali da costruzione tradizionali, in pannelli di piccolo spessore, nelle pareti verticali e orizzontali o in fase di costruzione a complemento dell'isolamento in costruzioni a pareti asciutte (pannelli di gesso laminato), sia in partizioni verticali che in controsoffitti.

#### 2.1.12. Soluzioni acustiche e termiche in Spagna

Come detto da Esteban (2001) le soluzioni costruttive più comuni in Spagna per le partizioni interne sono costituite da mattoni cavi semplici rivestiti di gesso o scagliola che presentano un isolamento acustico testato in laboratorio tra 33 e 38 dBA.

Nella separazione di diverse proprietà gli elementi costruttivi solitamente utilizzati come pareti sono partizioni a due strati di mattoni cavi doppi di diversi spessori, doppi strati di blocchi di cemento (in entrambi i casi con isolanti termici all'interno) con un isolamento di 50 dBA, o in casi più eccezionali, muri di cemento massiccio (nel caso di pareti di carico) che nelle prove di laboratorio raggiungono un isolamento superiore a 70 dBA.

La normativa del passato in Spagna, la Norma Fondamentale dell'Edificazione NBE-CA-88, stabiliva i valori di isolamento acustico minimi che dovevano avere gli elementi costruttivi come partizioni, soffitti e facciate. Questi valori sono spiegati come indici globali ponderati di riduzione acustica (RA) per il rumore aereo. Questo indice è ottenuto in laboratorio, che è generalmente un valore più alto rispetto a quelli in sito.

Quando tale normativa era applicata in un progetto di architettura, le trasmissioni indirette non erano prese in considerazione, ma erano stabiliti valori indicativi che sono:

- 5 dB quando l'elemento di separazione e gli elementi adiacenti sono della stessa massa (costruzioni omogenee);
- > 5 dB quando l'elemento di separazione ha una massa significativamente superiore a quella delle costruzioni adiacenti (costruzioni non omogenee);
- Sono trascurabili di fronte all'entità della trasmissione diretta, in costruzioni non omogenee, quando l'elemento di separazione è leggero rispetto a quello contiguo.

In sostituzione della NBE-CA-88 ora c'è il documento di base DB-HR all'interno del nuovo codice tecnico CTE, che introduce modifiche significative.

Per quanto riguarda il rumore aereo, si utilizza l'indice  $D_{nt,A}$ , che è la differenza ponderata tra i livelli standardizzati. Nel caso di rumore da impatto si utilizza l'indice  $L'_{nt,w}$  che è il livello globale di pressione di rumore impatti standardizzati tra ambienti.

Nello studio fatto da Carrascal García (2005) sono studiate le prestazioni acustiche degli elementi costruttivi abituali nell'edificio spagnolo, sia in sito che in laboratorio.

Raggruppando per tipo di elemento, si osserva che le differenze tra l'isolamento acustico ottenuto in sito e quello stimato in laboratorio sono:

- da 5 a 6 dBA per gli elementi costituiti da due strati di separazione verticali di mattoni;
- da 6,5 a 11 dBA per gli elementi di separazione verticale di mattoni con pannelli di gesso laminato su entrambi i lati;
- 8 dBA nel caso di pareti doppie di gesso.

Questa perdita di isolamento acustico nell'edificio è dovuta alle trasmissioni indirette prodotte quando gli elementi di separazione trasmettono le vibrazioni agli elementi a contatto con essi. Altre giustificazioni possibili sono i difetti di esecuzione o la presenza di ponti acustici.

L'analisi statistica redatta da Del Yeso (2017), analizza mediante alcune prove in sito in relazione all'isolamento acustico in edifici spagnoli costruiti secondo le esigenze del DB-HR. Sono testate 84 partizioni verticali tra unità d'uso, 115 facciate, 23 solai a rumore aereo e 57 partizioni orizzontali a rumore d'impatto.

I risultati ottenuti mostrano come il 40% delle partizioni verticali non raggiunge l'isolamento minimo di 47 dBA. La soluzione costruttiva che ottiene più isolamento sono i sistemi di gesso laminato, ottenendo nell'83% dei casi un isolamento medio di 51 dBA.

Le facciate raggiungono gli isolamenti richiesti nel 100% dei campioni e per quanto riguarda le partizioni orizzontali, il 96% raggiungono i requisiti di isolamento da rumore aereo e l'88% raggiungono i requisiti di isolamento da rumore da impatto.

Nello studio di Kurtz (2015) è effettuata una diagnosi dell'obsolescenza fisica dell'involucro termico e acustico di 21 insiemi urbani di interesse di Saragoza, del dopoguerra spagnolo vulnerabili, definendo sistematicamente le soluzioni costruttive impiegate e confrontando il loro comportamento energetico e acustico con gli standard attuali. Si osserva che il sistema di involucro semitrasparente è debole sia acusticamente che termicamente e che il sistema di involucro opaco presenta gravi carenze a livello energetico, in particolare per le coperture.

Energeticamente, la maggior parte delle abitazioni presenta un orientamento favorevole e possibilità di ventilazione incrociata. La parte opaca dell'involucro non è conforme agli standard attuali, dove in alcuni casi si trova una trasmittanza da 3 a 7 volte superiore agli standard attuali. Per quanto riguarda le finestre, quelle doppie sono conformi alla normativa e quelle semplici no.

Acusticamente la parte cieca delle facciate con mattoni forati (che è la soluzione più usata) presenta un'alta capacità isolante, mentre le facciate in mattoni cavi non sono sempre sufficienti (a seconda del loro spessore). La parte semitrasparente delle facciate è la più debole, dove le finestre semplici (che rappresentano l'82% delle finestre) non soddisfano gli standard attuali.

### 2.1.13. Soluzioni acustiche e termiche in Italia

In Italia è stata condotta una ricerca sulle tecnologie costruttive più utilizzate nel periodo tra il 1949 e il 2009, come partizioni interne verticali (Fig. 2.9).

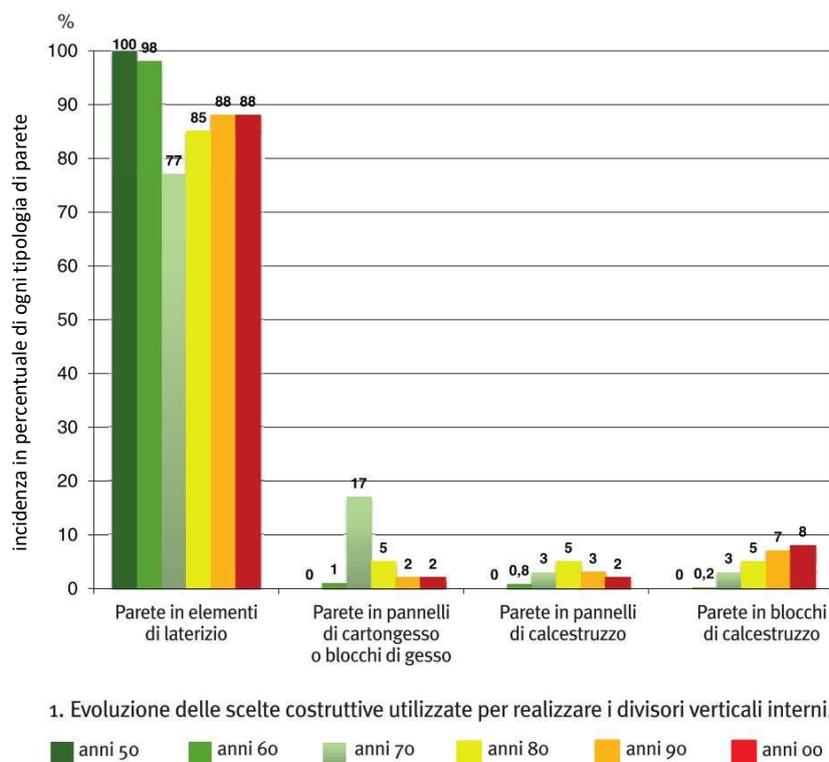


Fig. 2.9: Tipologie costruttive delle pareti verticali in Italia (NANNIPIERI, 2014).

I divisori in mattoni sono i più utilizzati nel territorio, rispetto alle altre tecnologie costruttive. I divisori con pannelli di gesso o in blocchi di gesso hanno la maggiore diffusione negli anni '70, mentre le pareti in pannelli prefabbricati di cemento sono aumentate tra gli ultimi anni del '70 e i primi anni del '80. In fine i divisori in blocchi di cemento alleggerito si diffusero nel tempo, anche se il loro uso è minore rispetto alle altre tecnologie. Nel corso degli anni, grazie alla maggiore sensibilità al *comfort* termico e acustico, è stato utilizzato l'uso di pareti a doppio strato con vuoto isolato.

I cambiamenti nelle tecniche di costruzione che si sono verificati negli ultimi anni e il miglioramento della normativa e della legislazione vigente in materia hanno avuto importanti conseguenze sulla qualità acustica degli edifici realizzati in Italia.

Tra gli anni '50 e '60 si osserva un deterioramento delle prestazioni acustiche delle partizioni verticali, dovuto principalmente all'uso di pareti più leggere rispetto agli anni precedenti.

Per limitare la trasmissione del rumore in ambienti interni, sono state individuate alcune soluzioni tecnologiche applicate alle pareti divisorie esistenti. I sistemi proposti offrono un miglioramento dell'isolamento acustico sfruttando diverse caratteristiche come l'inerzia della parete o il

disaccoppiamento strutturale degli strati dei componenti. Alcune delle tecnologie costruttive più conosciute per migliorare le prestazioni acustiche delle partizioni verticali in mattoni sono:

- rivestimenti di pannelli di gesso laminato: sono rivestimenti montati su una struttura metallica e permettono di aumentare significativamente la potenza di isolamento acustico di una parete esistente;
- Il rivestimento resistente "a pelle": è costituito da materiale fonoassorbente applicato ai pannelli di gesso direttamente montati sulla struttura di base;
- La parete in muratura (realizzata in pietra): caratterizzata da un'alta massa superficiale e da un materiale fonoassorbente collocato nella cavità, permette di creare una parete a doppio strato a partire da un solo strato, l'inserimento di materiale isolante all'interno del vano di una parete a doppio strato permette di creare un sistema che combina componenti rigidi e alta massa (i due divisori) un materiale ammortizzante e fonoassorbente.

L'evoluzione tecnologica dei prodotti da costruzione consente oggi di scegliere tra una vasta gamma di soluzioni per garantire il *comfort* acustico interno. Purtroppo, non tutte le soluzioni sono applicabili a un edificio esistente e in caso di ristrutturazione, al fine di migliorare la qualità acustica di un edificio, è necessario valutare l'intervento più economico e soprattutto meno invasivo tra quelli presenti nella pratica edilizia. La nuova norma relativa alla classificazione acustica degli edifici potrebbe stimolare la qualificazione di quella esistente creando un rapporto di trasparenza con l'utente, oltre ad allineare l'Italia agli altri paesi europei. Migliorare il *comfort* interno degli edifici garantirebbe un maggiore benessere della popolazione (NANNIPIERI, 2014).

#### 2.1.14. Isolamento acustico in Italia

La norma italiana UNI 11367 sulla la classificazione acustica delle abitazioni, offre l'opportunità per chi vuole costruire un nuovo edificio, di ottenere le classi acustiche migliori grazie alla scelta di sistemi costruttivi e alla loro progettazione. Inoltre, le misure legislative sui noti incentivi fiscali del 55% hanno attivato un grande mercato di interventi con l'obiettivo di migliorare il rendimento energetico degli edifici e, di conseguenza, le prestazioni acustiche.

Se in fase di recupero, l'obiettivo è migliorare l'isolamento acustico dal rumore aereo o ridurre la trasmittanza termica di una partizione esistente, intervenendo dall'interno dell'edificio, la soluzione tecnologica più utilizzata consiste nella posa di falsi muri o controsoffitti in strati adiacenti accoppiati a materiale isolante nel vuoto interno. Sul mercato ci sono vari tipi di piastre e materiali isolanti. Le finte pareti possono essere autoportanti, per esempio montate su una struttura metallica separata, o direttamente applicate al divisorio con colla o accoppiamenti anti-vibrazione.

Questo tipo di tecnologia permette di ottenere con spessori sostanzialmente ridotti (circa 4 cm) aumenti significativi nell'isolamento, sia termico che acustico.

Per quanto riguarda il controllo del rumore, il miglioramento dipende dal tipo di sistema di parete utilizzato, dalle caratteristiche del divisorio esistente, l'incidenza delle trasmissioni laterali e dall'eliminazione dei ponti acustici dovuti alla corretta installazione della struttura. Tali interventi possono provocare aumenti apprezzabili di isolamento del suono, anche superiori a 10 dB. I materiali isolanti eccessivamente rigidi che non assorbono il suono o che non sono installati correttamente possono anche causare un deterioramento dell'isolamento acustico della struttura.

Per quanto riguarda la resa di isolamento termico, il risultato finale è principalmente dovuto al tipo e allo spessore del materiale isolante utilizzato nella soluzione costruttiva. Nel caso di falsi muri o soffitti isolanti su pareti a contatto con l'esterno, è necessario un precedente studio della parete, per determinare il rischio di condensazione interstiziale e l'opportunità di includere una barriera al vapore nella stratigrafia. I materiali ad alta permeabilità al vapore possono comportare un elevato rischio di condensazione interstiziale.

Uno dei principali problemi nei lavori di riabilitazione fatto dall'interno è che un contromuro riduce lo spazio abitabile dell'ambiente e gli interventi più efficaci, che di solito richiedono spessori più elevati, non sempre possono essere adottati. In particolare, non possono essere utilizzati se l'altezza del sito è già al limite dei valori fissati dalla legge. Al meglio, gli edifici costruiti negli anni '60 e '70, che sono caratterizzati da spazi interni e volume superiori rispetto ai valori minimi della legge attuale sono anche quelli che necessitano di maggiori interventi di bonifica. Questo permette la scelta tra molte soluzioni, che in altri edifici non si potrebbero attuare (BORGHI, 2010).

## 2.2 Le salviette umidificate

Le salviette sono principalmente costituite da cellulosa, unite con resine plastiche, come il propilene e il poliestere. Generalmente la cellulosa non ha problemi di inquinamento e riciclaggio, ma le resine plastiche che sono contenute sono un grande problema per l'ambiente, a causa del loro difficile smaltimento.

Allo scopo di dare una risposta forte al problema degli ingorghi nelle fogne, l'Associazione spagnola di normalizzazione (UNE) ha pubblicato la norma UNE 149002:201 sui prodotti usa e getta nel water.

La presente norma stabilisce le regole che i produttori di salviettine umidificate devono effettuare, con 5 prove, che certifichino la composizione, la dispersione, la sedimentazione, la biodegradazione e la disintegrazione, limitando così la presenza nella composizione di materiali sintetici (Fig. 2.10). (I produttori di salviettine umidificate assumono come obbligo la norma UNE sui prodotti usa e getta, 2019).



Fig. 2.10: Salviette gettabili o no nel WC (I produttori di salviettine umidificate assumono come obbligo la norma UNE sui prodotti usa e getta, 2019).

### 2.2.1. La fibra di cellulosa

La cellulosa è una fibra vegetale che fa parte delle pareti delle cellule, struttura e dei tessuti che sostengono le piante. Queste fibre rappresentano tra il 40 e il 50 % della costituzione fisica dell'albero e rafforzano le cellule, conferendo loro consistenza e rigidità.

La maggior parte di queste fibre possono essere recuperate e riciclate, quindi queste fibre già utilizzate per una carta, possono essere riutilizzate per produrne altra. Questo processo di riciclaggio non può essere riprodotto all'infinito, perché la resistenza delle fibre si riduce ogni volta che si ripete il processo. È inevitabile allora aggiungere fibre vergini a questo processo per non perdere troppa resistenza.

Come tutti i materiali, la cellulosa ha i suoi vantaggi:

- È un materiale ecologico e riciclabile al 100%;
- È un materiale isolante per quanto riguarda il rumore, il vento, la trasmissione di calore, l'incendio e l'umidità;
- Contiene sali borici che impediscono la propagazione del fuoco e l'annidamento di insetti e roditori;

E i suoi svantaggi:

- Alta dispersione delle proprietà in funzione del clima e del metodo di ottenimento;
- Elevato assorbimento d'acqua, che produce notevoli variazioni di peso e di volume, influenzandone la resistenza meccanica e la durabilità;
- Scarsa durata in ambiente alcalino;
- Modulo di elasticità statico basso.

Attualmente l'uso della cellulosa per l'isolamento rappresenta circa l'1% del mercato mondiale, grazie alla sua competitività sul mercato a livello economico e tecnico, grazie dell'abbondanza della materia prima e al suo prezzo relativamente economico (MUÑOZ, 2019).

### 2.2.2. La cellulosa usata come isolante

I pannelli isolanti in cellulosa si utilizzavano già 20 anni fa nell'edilizia di molti paesi. Questi pannelli sono composti per il 75-85 % da fibre di cellulosa riciclate, generalmente da carta di giornale. Tra le sue caratteristiche fisiche e meccaniche elencate in precedenza, la cellulosa è anche priva di odore e sapore, non tossica per l'uomo o per gli animali domestici (a meno che non ci sia la presenza di inchiostri), non emette gas e permette di bilanciare l'umidità all'interno dei siti senza consentire la comparsa di funghi (BERMÚDEZ MEDINA, 2018).

L'uso di materiali biologici ottenuti da risorse locali come la cellulosa, usata per i composti polimerici, aumenta la consapevolezza ambientale e riduce il consumo insostenibile di materiali sintetici, così come il costo di fibra naturale è ridotto rispetto ad altri materiali sintetici. Con l'applicazione di trattamenti chimici appropriati sulle fibre naturali è possibile ottenere migliori caratteristiche superficiali che permettono di ridurre la tendenza idrofila e permettono di

migliorare la compatibilità tra le fibre e la matrice del materiale. Ciò portò alla scoperta di trattamenti chimici e superficiali che possano migliorare le proprietà fisiche, meccaniche e termochimiche delle fibre naturali. Un metodo appropriato di trattamento su fibre naturali permette di creare un nuovo materiale sostenibile e composto, dedicato per usi industriali (SANJAY M.R., 2019).

Nello studio realizzato da Restrepo (2007) è studiato l'isolamento delle microfibre di cellulosa dai rifiuti agroindustriali come il rachide di banano. Per isolare queste microfibre, viene immerso il campione di fascio fibroso di rachide del banano in una soluzione contenente il 5% di KOH (idrossido di potassio), dopo di che viene agitato per 14 ore a temperatura ambiente. Il residuo non disciolto viene filtrato e pulito con acqua distillata fino a pH neutro. Trattato poi con una soluzione di NaClO<sub>2</sub> (cloridio di sodio) per 1 ora a 70 °C viene poi lasciato raffreddare e lavato nuovamente con acqua. In fine viene trattato una seconda volta con KOH e successivamente trattato con acido cloridrico a 80 °C per 2 ore.

Nello studio il diametro medio delle microfibre è di 5-10 µm e il trattamento con KOH 5% migliora la stabilità termica dei campioni permettendo un aumento della temperatura a cui inizia la degradazione. Per i nano compositi elaborati si ottiene un aumento fino al 20% del modulo elastico.

## 2.3 Comportamento delle malte di gesso con fibre

Di seguito è descritto il comportamento di malte di gesso con addizione di differenti tipi di fibre, sia naturali che artificiali.

### 2.3.1. La fibra di cellulosa come rinforzo di malte

Le fibre cellulosiche naturali sono considerate molto importanti grazie a una serie di impieghi dovuti ai loro vantaggi ecosostenibili inerenti dagli ultimi anni. Queste fibre sono in fase di studio per la possibile sostituzione delle fibre sintetiche.

Infatti, l'uso di fibre naturali come rinforzo di composti si sta rapidamente diffondendo in sostituzione di materiali ceramici o di metalli, non solo nell'edilizia, ma anche in altri settori di produzione come aerospaziale, automotive, marittime ecc.

I principali vantaggi di queste fibre nei composti polimerici sono la riciclabilità, la facilità d'uso e la notevole flessibilità e durezza derivate dal loro utilizzo (VIJAY KUMAR THAKUR, 2014).

Studiando l'influenza dell'uso di queste nano fibre di cellulosa derivate da piante come rinforzo di malte ad alte prestazioni, con gli effetti di diverse dosi di CNF (nano fibre di cellulosa), cioè 0,05%, 0,1% e 0,15% in peso di leganti (cemento premiscelato e fumi di silice) con rapporto costante di acqua al legante di 0,15, la resistenza a compressione e a flessione sono state valutate il settimo giorno dopo la stagionatura a vapore. Rispetto alla malta semplice, l'aggiunta di 0,05% di CNF ha portato a un miglioramento della resistenza alla compressione dopo sette giorni, arrivando al valore di 184 Mpa, circa 8% più alta della malta di riferimento e circa 4% e 8% più alta dello 0,1% e 0,15% CNF, rispettivamente. Tuttavia, l'aumento percentuale della frazione volumetrica dei CNF tende a ridurre la resistenza alla compressione. Ciò può essere dovuto a reazioni tra i gruppi idrossile e carbossilico in molecole di cellulosa con Ca<sub>2+</sub> che possono ritardare il periodo di induzione dell'idratazione e il tempo di regolazione, anche la porosità e la agglomerazione dei CNF che

indeboliscono le interfacce di collegamento e promuovono la concentrazione dello stress (SUPIT, 2019).

### 2.3.2. Il rinforzo di malte con altre fibre

Le fibre utilizzate possono essere suddivise in due macro-categorie: le fibre di origine naturale e le fibre di origine sintetica o artificiale.

Nella ricerca sviluppata da Alvarez Dorado Manuel (2019) è studiato il rinforzo del gesso con diverse fibre naturali e artificiali come paglia, legno, basalto, vetro e polipropilene e si è osservato che le fibre naturali hanno ottenuto un risultato migliore in termini di resistenza termica, mentre la fibra di vetro ha ottenuto i migliori risultati in termini di resistenza meccanica. L'aderenza è notevolmente peggiorata con le fibre naturali, meno con quelle sintetiche, ma comunque tutte presentano risultati peggiori rispetto ai provini di riferimento senza fibre.

Oltre al contenuto di fibre, il contenuto di acqua svolge un ruolo molto importante nel comportamento delle malte. Per spiegare l'influenza del contenuto di acqua sulla forza non confinata e modulo di elasticità, campioni di roccia di gesso sono stati testati in condizioni asciutte e sature di acqua. L'aumento del contenuto d'acqua provoca una notevole perdita della forza del gesso (questo vale per tutte le rocce naturali anche non sedimentarie ma magmatiche). I risultati mostrano che la forza non confinata e modulo di elasticità di gesso sono stati ridotti dall'immersione di acqua e che la forza del gesso è molto sensibile al contenuto d'acqua della malta (YILMAZ, 2010).

#### 2.3.2.1. Fibre naturali

Di seguito è descritto il comportamento delle malte di gesso con vari tipi di fibre naturali.

Nel caso di malte da cemento, con gesso e ceneri volanti, l'analisi del pH e della conduttività elettrica mostra che il contenuto di cemento per miscele di cemento-gesso-ceneri volanti colpisce fortemente la tendenza di tutti i campioni. Se non si utilizza cenere volante macinata fino a 45 giorni, non si osserva alcuna differenza significativa per il pH e la conduttività elettrica è indipendente dalla miscela. La riduzione del contenuto di cemento di Portland, la macinazione di ceneri volanti e la stagionatura a temperature più elevate migliorano il pH e la riduzione della conduttività elettrica, rendendo possibile l'uso di fibre vegetali come rinforzo meccanico, anche con la presenza di gesso. Inoltre, non vengono mostrati effetti dannosi riguardo l'espansione. Al contrario, i fenomeni di espansione contribuirebbero solo a migliorare l'interfaccia fibra-matrice.

Dall'analisi effettuata risulta che la riduzione di  $\text{Ca(OH)}_2$  induce migliori prestazioni meccaniche. Migliori prestazioni meccaniche dopo l'invecchiamento sono associate all'utilizzo di matrici a bassa alcalinità, conservando la maggior parte delle proprietà meccaniche, mentre i campioni contenenti il 100% di cemento presentano caratteristiche fortemente ridotte. Questo suggerisce che questo tipo di materiale conserva in modo efficiente le fibre di cellulosa e potrebbe essere utilizzato in elementi costruttivi esposti ad ambienti a bassa umidità (GONZALO MÁRMOL, 2016).

In una investigazione fatta da Iucolano (2018) viene studiato il comportamento a flessione su provini prismatici ( $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ ) di gesso senza aggiunta di fibre di canapa (dimensioni 10 mm e diametro 20-40  $\mu\text{m}$ ) con una percentuale dell'1% in peso di legante e con un rapporto

acqua/gesso=0,7 in condizioni di temperatura elevata. I provini sono stati quindi sottoposti ad alte temperature (150 °C e 250 °C) per 20 e 40 minuti per ciascuna temperatura elencata in precedenza e si osserva in tutti i casi una riduzione della resistenza all'aumento della temperatura, ma si osserva anche che l'effetto delle fibre rimane evidente ad alte temperature, evitando il collasso fragile della matrice, inoltre le fibre apportano un buon contributo alla resistenza a flessione, soprattutto durante la prima fase del trattamento termico. Infatti, dopo 20 minuti a 150°C, i campioni di riferimento hanno mostrato una riduzione della forza di flessione del 65%, mentre per i campioni rinforzati con fibra, questa riduzione della forza di flessione è stata del 38%.

#### *2.3.2.2. Fibre artificiali*

In un articolo di Herrera García A. (2018) è stato studiato il rinforzo del gesso con altri materiali di origine non naturale, come il PET (materiale che si utilizza per la produzione di bottiglie di plastica). Questi filamenti di PET aggiunti nella lavorazione dei nuovi materiali devono essere di piccole dimensioni e non superare i 2 cm di lunghezza. Per le prove, i provini di malta di gesso sono stati elaborati con l'aggiunta del 0,75 % e 1 % in peso di PET. Quanto più il materiale plastico viene aggiunto ai provini, tanto più diminuisce il peso e la densità con la presenza nel miscuglio di meno gesso. Rispetto al campione (0% di aggiunta) la resistenza alla flessione diminuisce, contrariamente alle aspettative. Solo nella resistenza a compressione si osserva un miglioramento.

Per quanto riguarda l'assorbimento acustico la presenza di PET riduce l'assorbimento acustico rispetto al provino di controllo senza aggiunta di PET.

Esistono anche studi sull'uso di polimeri sintetici come rinforzo di malta di gesso. Nonostante l'elevato impatto ambientale di questi materiali sintetici, Santos A. G. (1988) osservò le seguenti caratteristiche:

- L'aggiunta di fibre polimeriche con una percentuale pari o superiore al 2% cambia il tipo di rottura del materiale, che si trasforma da una rottura fragile a una rottura duttile;
- La combinazione di aggiunta di fibre di polipropilene con dispersione di policondensato di melaminaformaldeide è considerata la più idonea per il rinforzo del gesso, per un assorbimento ottimale delle tensioni interne generate da urti o urti prodotti sulla sua superficie;
- C'è una buona aderenza tra il gesso e le fibre di polipropilene;

In un altro studio fatto dallo stesso autore Santos A. G. (2009), sempre sull'utilizzo di materiali sintetici come rinforzo di malte, utilizzando gesso E-30 con rapporto acqua/gesso = 0,7 e con aggiunta di fibre di polipropilene (2%) e granulato di polistirene espanso (2%), sono emerse tre considerazioni principali:

- Assenza di rottura fragile;
- Aumento della resistenza alla flessione del 22,77% rispetto al valore di riferimento senza aggiunte;
- Diminuzione di peso del 50,88% rispetto al gesso senza aggiunta.



## CAPITOLO III PROCEDIMENTO SPERIMENTALE

I materiali, i dosaggi e le prove effettuate nel presente lavoro di ricerca sono descritti di seguito.

### 3.1. Materiali

I materiali utilizzati nella seguente ricerca sono:

- Gesso: Iberplast YG dell'impresa "Placo SAINT GOBAIN" (Fig. 3.1), le cui caratteristiche tecniche si possono vedere nella Tabella 3.1;
- Acqua potabile, fornita dal Canale di Isabel II di Madrid;
- Salviettine umidificate: queste sono essiccate e tagliate in fibre di circa  $0,3 \times 3 \text{ cm}^2$ , come illustrato nella Fig. 3.2.



Fig. 3.1: Iberplast YG Saint Gobain

IBERPLAST YG			
Coefficiente conduttività termica $\lambda$	0,3 (W/mK)	Resistenza a flessione	> 2 (N/mm <sup>2</sup> )
Fattore di resistenza al vapore acqueo $\mu$	6 (/)	Resistenza a compressione	> 2 (N/mm <sup>2</sup> )
Indice di purezza %	> 75%	Durezza superficiale	> 45 (Shore C)
Granulometria (mm)	0-2 mm	Aderenza	> 0,1 (N/mm <sup>2</sup> )
Relazione acqua/gesso	1-1,2 (litri/kg)	PH	> 6 (/)

Tabella 3.1: Scheda tecnica Iberplast YG Saint Gobain



Fig. 3.2: Fibre di salviette tagliate a mano con l'uso di forbici

Queste salviette hanno il tessuto a base di cellulosa e gli altri ingredienti (in ordine di concentrazione) sono:

- Acqua (96,3%);
- Glicole di propilene;
- Succo di foglie di aloe barbadensis;
- Camomilla recutita
- Estratto di Fiore glicerina;
- Glicole dipropilenico;
- Acido Lattico;
- Caprylyl Glycol;
- Glicerile Caprilato;
- Coco-glucoside;
- Levulinato di sodio;
- Idrossido di sodio.

### 3.2. Contenuto difibre e loro nomenclatura

La scelta del dosaggio è iniziata con la percentuale dello 0,1% in peso di fibre di salviette. Questo contenuto aumenta di 0,1% in rapporto alla miscela precedente e studia il comportamento a flessione e compressione. Arrivando alla percentuale dello 0,7% si osserva che le proprietà meccaniche cominciano a modificarsi particolarmente aggiungendo più fibre; è stato scelto quindi di utilizzare percentuali con più contenuto, cercando di produrre provini con 1%, 1,5%, 2% e 3%. Sempre prima della preparazione dei provini, è stato scelto il rapporto acqua/gesso con il metodo della fluidità della pasta, spiegato nel Paragrafo 3.3. Con l'uso di questo metodo è stato trovato il limite di lavorabilità, che si riscontra con la miscela contenente il 2% di fibre. Il provino del 3% non è stato possibile prepararlo e il comportamento meccanico è stato studiato fino alla percentuale del 2%. Le percentuali di fibre che sono poi state usate per le altre prove sono dello 0%, 0,5%, 1%, 1,5% e 2%, scelte in base allo studio meccanico fatto in precedenza. La Tabella 3.2 indica la nomenclatura scelta in relazione alla percentuale di fibre di salviettine.

<b>GEDSO IBERPLAST YG</b>	
	<b>% fibre di salviette</b>
YG-REF	0,00%
YG-0,1	0,10%
YG-0,2	0,20%
YG-0,3	0,30%
YG-0,4	0,40%
YG-0,5	0,50%
YG-0,6	0,60%
YG-0,7	0,70%
YG-1,0	1,00%
YG-1,5	1,50%
YG-2,0	2,00%

Tabella 3.2: Nomenclatura provini

### 3.3. Metodo di misura della fluidità della pasta

Questa prova è stata fatta per determinare il rapporto acqua/gesso che sarà utilizzato nel nostro lavoro ed è stato fatto seguendo la norma AENOR, *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción, métodos de ensayo*, (2014).

Questo metodo è utilizzato per i gessi da costruzione e i leganti a base di gesso per lo studio della consistenza fluida, determinando il diametro di scorrimento che si ottiene quando lo stampo pieno viene sollevato con tale impasto. Determinazione della massa di gesso o di conglomerato di gesso (in grammi) per ottenere una miscela di una data consistenza.

#### 3.3.1. Apparecchiature

Le apparecchiature utilizzate per questa prova sono:

- Recipiente di impasto e spatola realizzato con materiali non reattivi;
- Forma di gomma dura di 40 mm di altezza, di 65 mm di diametro interno superiore e 75 mm di diametro interno inferiore;
- Lastra piana di vetro: la lastra deve essere liscia, pulita e asciutta;
- Cronometro;
- Calibro, righello.

#### 3.3.2. Procedimento

Per eseguire la prova si seguono le indicazioni della stessa norma, che indica:

- Aggiungere la quantità di gesso necessaria, determinata mediante prove preliminari, per ottenere un diametro di scorrimento di circa 150 mm a 210 mm, in un recipiente di impastatura contenente 500 g di acqua. Il cronometro viene attivato all'inizio dell'aggiunta del gesso all'acqua. La miscela deve essere preparata come segue:
- Si cospargere il gesso nel recipiente con l'acqua per 30 secondi, dopo di che si lascia riposare per 60 secondi la miscela, successivamente si mescola per 30 secondi compiendo movimenti a forma di otto, si lascia riposare altri 30 secondi e in conclusione si mescola per altri 30 secondi sempre compiendo movimenti a forma di otto.
- Lo stampo viene posto sulla lastra di vetro e riempito con la pasta di gesso. La pasta in eccesso viene eliminata. Lo stampo viene sollevato in posizione verticale dopo 3 minuti e 15 secondi dall'inizio del processo di miscelazione, in modo che la pasta si espande sulla lastra di vetro.
- Misurare il diametro della massa formato in due posizioni perpendicolari e calcolare il valore medio come indicato nella Fig. 3.3. Se questo valore è al di fuori dell'intervallo da 150 mm a 210 mm, la prova viene ripetuta dall'inizio utilizzando una quantità maggiore o minore di gesso, a

seconda del caso. Se la quantità di gesso utilizzata dà una massa che si espande con diametro compreso tra 150 mm e 210 mm, viene registrata la quantità in grammi della massa  $m_2$ .



Fig. 3.3: Misura del diametro della forma della miscela di Iberplast YG con rapporto acqua/gesso=0,65 e % fibre in peso=0,3

### 3.4 Determinazione di proprietà meccaniche

#### 3.4.1 Attrezzature

Le apparecchiature necessarie per queste prove sono:

- Impastatrice e paletta;
- Spatola;
- Stampi con base, di dimensioni  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  (Fig. 3.4 a);
- Raschiatore;
- Essiccatore;
- Pressa a compressione: in grado di fornire velocità di carico di  $1 \text{ N/mm}^2$  al secondo (Fig. 3.4 b);
- Dispositivo di flessione e di compressione (Fig. 3.5);
- Dispositivo di misura della durezza (Fig. 3.6).

Nella Fig. 3.7 si mostra una foto dei primi provini realizzati.



Fig. 3.4: Stampi per provini meccanici di dimensioni  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  (a) macchina per prove meccaniche a flessione e compressione (b)

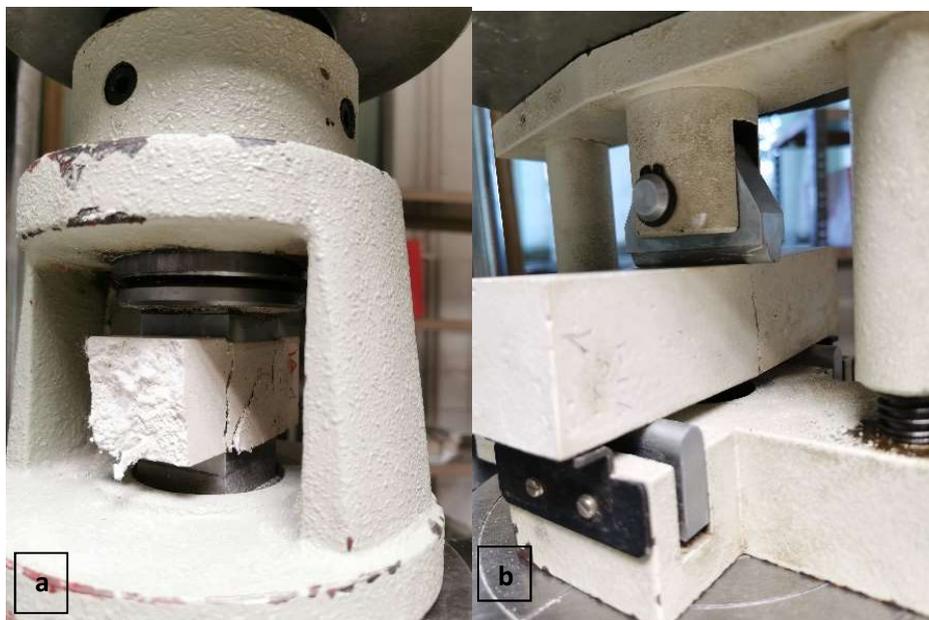


Fig. 3.5: Dispositivo a compressione (a) e flessione a tre punti (b) posti nella macchina



Fig. 3.6: Dispositivo misura durezza superficiale in SHORE C

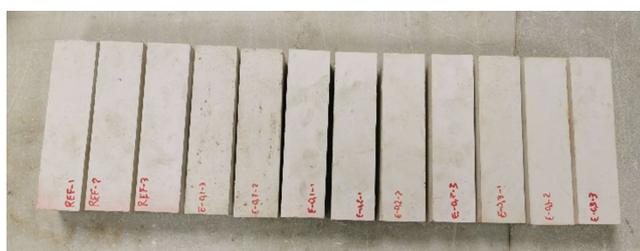


Fig. 3.7: Alcuni provini per le prove meccaniche

### 3.4.1.2 Procedimento

Seguendo sempre la stessa regola, si procede come indicato:

Il gesso da sottoporre a prova deve essere impastato secondo la procedura di cui al punto precedente (3.2.2) con il rapporto acqua/gesso determinato secondo le procedure descritte nello stesso paragrafo, a seconda del tipo di gesso.

Subito dopo la preparazione, con l'aiuto di una spatola per riempire le cavità e gli angoli, la pasta di gesso deve essere posta negli stampi precedentemente lubrificati. Per eliminare la comparsa di bolle d'aria, lo stampo deve essere sollevato di 10 mm dall'estremità superiore e lasciato cadere.

Questa operazione deve essere ripetuta 5 volte. L'intero processo di riempimento degli stampi non deve superare i 10 minuti dall'inizio dell'impastatura e la loro superficie non deve essere lisciata. Quando la pasta è stata posta, il materiale rimanente deve essere rimosso con una regola metallica o un coltello mediante un movimento di sega. Devono essere preparati almeno tre provini.

Quando la pasta ha raggiunto il grado di resistenza adeguato, i provini devono essere rimossi dagli stampi identificandoli e mantenendoli nell'atmosfera di laboratorio per sette giorni. Successivamente, essicarli ad una temperatura di  $(40 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  per 24 ore. Dopo l'essiccazione, i provini devono essere posti nuovamente alla temperatura di laboratorio.

Quando i provini sono pronti, si inizia con la prova di durezza superficiale, misurando 5 punti su un lato e 5 sul lato opposto, quindi si ottiene la media tra le misure effettuate.

Per determinare la densità apparente dei provini è sufficiente pesarle dopo essiccazione e conoscendo il volume di queste ( $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ ) si può ricavare la densità con la Formula [3.1]

$$d = \frac{m}{V} \quad [3.1]$$

Dopo questi passaggi, ciascun provino viene sottoposto alla prova a flessione e, successivamente, sono sottoposti a prova a compressione le 2 parti di provini rotti nella prova antecedente.

### 3.4.2 Prova di impatto

La prova é stata svolta seguendo la norma AENOR, *Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayos*, (2010).

#### 3.4.2.1 Attrezzature

Le apparecchiature utilizzate per questa prova sono:

- Stampi per provini  $20 \times 20 \times 1,5 \text{ cm}^3$  (Fig. 3.8);
- Pallina di metallo con diametro di 3 cm e peso di 110 g (Fig. 3.9);
- Supporto con altezza 40 cm (Fig. 3.9);
- Calibro per misurare il diametro.

#### 3.4.2.2 Procedimento

Far cadere la palla dal supporto stabilizzato a un'altezza di 40 cm sui provini di gesso, successivamente si misura il diametro del segno dovuto all'impatto della palla. Si ripete 5 volte su ogni provino.



Fig. 3.8: Stampi per provini di impatto

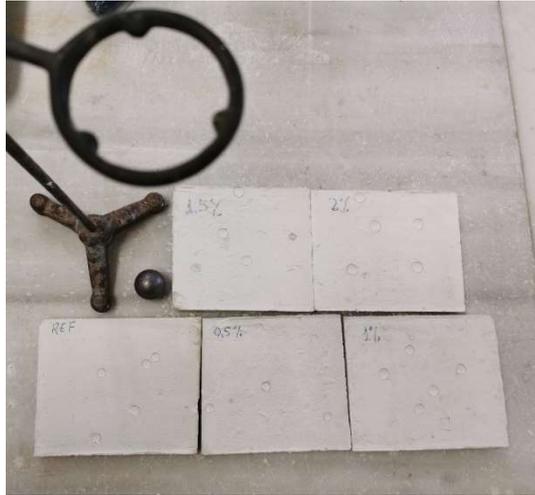


Fig. 3.9: Dispositivo per prova di impatto

### 3.5 Prova di assorbimento acqua per capillarità

#### 3.5.1 Procedimento

Per la determinazione di tale proprietà si procede seguendo la norma AENOR, *Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido, EN 1015-18, (2002)*.

I provini sono posti su un vassoio in verticale su supporti che non toccano il fondo del vassoio e immerse in acqua fino a un'altezza di 10 mm.

Nello stesso momento in cui vengono collocate i provini, si avvia il cronometro e si segna ogni minuto l'ascensione dell'umidità che risale il provino, concludendo la prova dopo 10 minuti.

I risultati devono essere espressi con l'altezza finale di ascensione dell'umidità e la quantità di acqua assorbita dal provino, calcolata come differenza di peso prima e dopo la prova. La prova in esecuzione è illustrata nella Fig. 3.10.

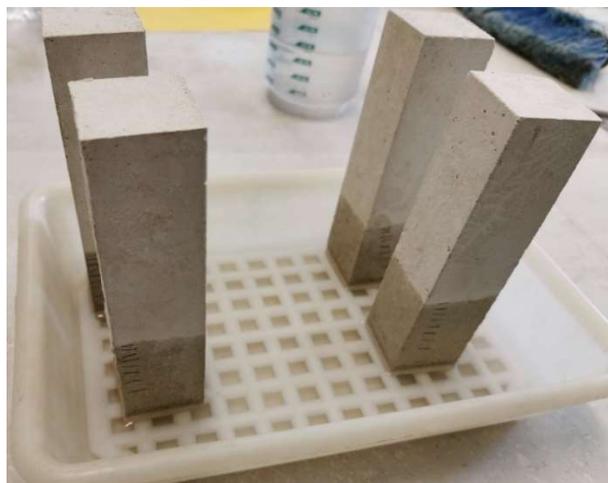


Fig. 3.10: Prova di capillarità in esecuzione

### 3.6 Prova di permeabilità al vapore acqueo

La prova è stata svolta seguendo la norma AENOR, *Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros de revoco y enlucido*, UNE-EN 1015-19, (1999).

#### 3.6.1 Attrezzature

Le apparecchiature utilizzate per questa prova sono:

- Recipiente di prova circolare, di materiale resistente alla corrosione, con un'imboccatura di circa 0,02 m<sup>2</sup> su cui è sigillato il provino;
- Bilancia con capacità di 2 kg e precisione di 1 mg;
- Giunzione di tenuta adeguata, impermeabile e con massa costante per tutta la durata della prova;
- Soluzione satura di nitrato di potassio (KNO<sub>3</sub>) NOTA — Questa soluzione fornisce un'umidità relativa del 93,2%, ad una temperatura di 20 °C;
- Camere di conservazione in grado di mantenere una temperatura di 20 °C ± 2 °C e un'umidità relativa sotto controllo.

#### 3.6.2 Procedimento

Una volta che i provini sono pronti ed essiccati come nella Fig. 3.11, si prepara la soluzione di KNO<sub>3</sub> con un dosaggio di 277,5 g di KNO<sub>3</sub> per litro d'acqua.

Si pone la soluzione nel recipiente e si chiude con il provino sigillando i bordi con il silicone, facendo sì che rimanga uno strato d'aria tra la soluzione e il provino come si può osservare nella Fig. 3.12.

Si pesano i recipienti di prova ad intervalli appropriati tenendo in conto l'umidità relativa e la temperatura del laboratorio.



Fig. 3.11: Provini per la prova di permeabilità al vapore acqueo

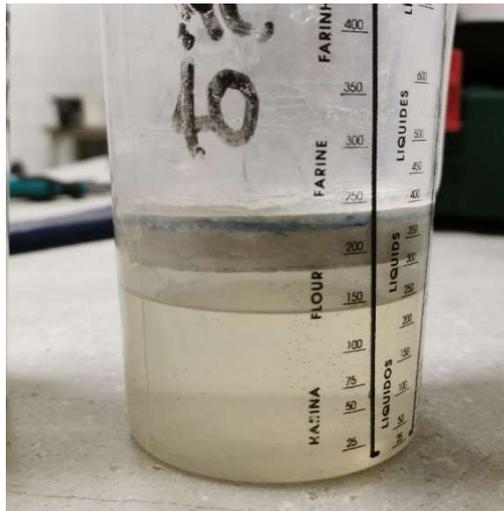


Fig. 3.12: Prova di permeabilità al vapore acqueo

Una volta ottenuti i dati dalla prova, si determinano i seguenti valori che saranno necessari per calcolare la permeabilità al vapore acqueo dei distinti provini.

Per prima cosa si calcola il cambio di massa complessivo della prova  $G_{1,2}$  con la Formula [3.2]:

$$G_{1,2} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \quad [3.2]$$

Dove:

- $m_1$  è la massa al tempo  $t_1$ , espressa in milligrammi;
- $m_2$  è la massa al tempo  $t_2$ , espressa in milligrammi;
- $t_1$  e  $t_2$  sono i tempi successivi di ogni misura di peso, espressi in ore.

Si calcola  $G$  come la media di 5 determinazioni successive di  $G_{1,2}$  in milligrammi per ora, per ogni provino sottoposto alla prova.

In continuazione si calcola il coefficiente di trasmissione di vapore acqueo  $g$  utilizzando la Formula [3.3]:

$$g = \frac{G}{A} \quad [3.3]$$

Dove:

- $A$  è l'area esposta del provino (media aritmetica delle aree esposte inferiore e superiore), espressa in metri quadrati.

A seguire si calcola la permeanza al vapore acqueo  $W$  utilizzando la Formula [3.4]:

$$W = \frac{G}{A \times \Delta p} \quad [3.4]$$

Dove:

- $\Delta p$  è la differenza di pressione del vapore acqueo espresso in Pascal, e dipende dalle condizioni in cui è svolta la prova.

In questo caso le condizioni sono:

- 23°C – 50%/95% (umidità relativa)       $\Delta p=1210$  Pa

Successivamente si calcola la permeabilità al vapore acqueo con la Formula [3.5]:

$$\delta = W \times d \quad [3.5]$$

Dove:

- $d$  è lo spessore del provino, espresso in metri.

L'ultimo passo è calcolare la resistenza alla diffusione del vapore acqueo con la Formula [3.6]:

$$\mu = \frac{\delta_{\text{air}}}{\delta} \quad [3.6]$$

Dove:

- $\delta_{\text{air}}$  è la permeabilità dell'aria al vapore acqueo (che dipende dalla pressione barometrica media durante lo svolgimento della prova che nel nostro caso ha un valore di 0,7499 mg/Pamh).

### 3.7 Prova di aderenza

La prova è stata svolta seguendo la norma la norma AENOR, *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción, UNE-EN-13279-2*, (2014).

#### 3.7.1 Attrezzature

Le apparecchiature necessarie per queste prove sono:

- Stampi di 50 mm di diametro (Fig. 3.13);
- Dischi metallici di 50 mm di diametro e di spessore non inferiore a 10 mm, muniti di un dispositivo centrale per effettuare la trazione (Fig. 3.14);
- Adesivo a base di resina;
- Apparecchio per il "pull-off" che consente di applicare un carico di trazione sui dischi metallici senza che l'insieme sia sottoposto ad un carico di flessione. Il manometro di lettura della prova di

trazione deve avere una precisione di misurazione pari al 5% del carico massimo registrato (Fig. 3.15).

### 3.7.2 Procedimento

La superficie del supporto deve essere preparata secondo le indicazioni della buona pratica e conformemente alle norme di applicazione appropriate. Il gesso deve essere impastato con acqua e applicato sul supporto seguendo le raccomandazioni del fabbricante. Su questi provini, mediante l'adesivo, si incolla il disco di metallo centrato sul provino. Il carico è applicato perpendicolarmente alla superficie di prova mediante l'apparecchio corrispondente. Il carico deve essere applicato a una velocità costante compresa tra  $0,003 \text{ N/mm}^2$  e  $0,1 \text{ N/mm}^2$  al secondo.



Fig. 3.13: Provini per prova di aderenza



Fig. 3.14: Provino incollato al disco metallico per poterlo poi porre in trazione con la macchina



Fig. 3.15: Apparecchiatura utilizzata per la prova di aderenza

### 3.8 Prova a flessione su piastra

La prova é stata svolta seguendo la norma AENOR, *Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayos*, (2010).

#### 3.8.1 Attrezzature

Le apparecchiature necessarie per svolgere questa prova sono:

- Stampi per realizzare lastre con 1,5 cm di spessore (Fig. 3.16);
- Macchina a rottura con misura di forza (Fig. 3.17).



Fig. 3.16: Lastre da sottoporre a flessione

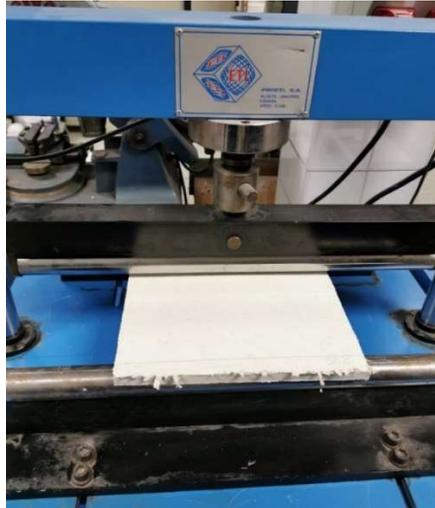


Fig. 3.17: Apparecchiatura per prova a flessione su lastre di gesso

### 3.9 Prova di conduttività térmica

La prova é stata svolta come indicato nella norma AENOR, *Materiales de construcción, Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor, UNE-EN 12664, (2001).*

#### 3.9.1 Procedimiento

La prova termica è stata effettuata per mezzo di una macchina in grado di effettuare 4 misurazioni di temperatura in vari intervalli di tempo:

- T1: temperatura interna della cassa;
- T2: temperatura della piastra sottoposta a prova nella parte interna della cassa;
- T3: temperatura della piastra sottoposta a prova nella parte esterna della cassa, a contatto con il polistirolo;
- T4: temperatura ambiente esterna.

Con questi dati è possibile quindi calcolare la conducibilità termica del materiale, utilizzando la Formula [3.7]:

$$\phi = \frac{Q}{t} = \frac{\lambda_1 \cdot S (T_1 - T_2)}{e_1} = \frac{\lambda_2 \cdot S (T_2 - T_3)}{e_2} \quad [3.7]$$

Si utilizza lo schema rappresentato nella Fig. 3.18, e conoscendo la conduttività termica del materiale posto a contatto con il nostro provino ( $\lambda_{poliespán} = 0,037 \text{ W}^\circ\text{K}^{-1}\text{m}^{-1}$ ) si può ricavare la conduttività termica del nostro materiale posto nella macchina.

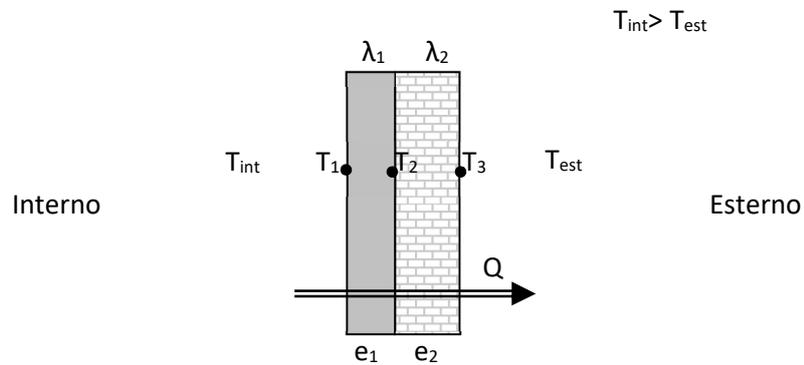


Fig. 3.18: Trasmissione del calore in un ambiente chiuso

Nella Fig. 3.19 si può vedere la lastra utilizzata per la prova e nelle Fig. 3.20 e Fig. 3.21 si può osservare il macchinario utilizzato.

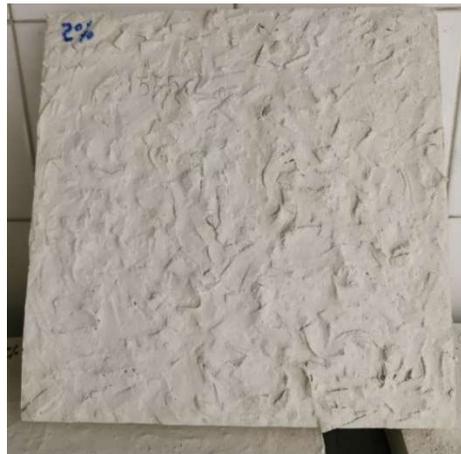


Fig. 3.19: Provino per la prova di conduttività termica

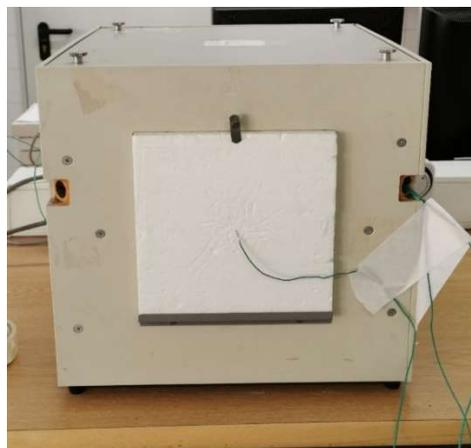


Fig. 3.20: Macchina per la prova di conduttività termica



Fig. 3.21: Sensori di misura di temperatura interni all' apparecchio

## 3.10 Prova di assorbimento acustico

### 3.10.1 Procedimento

Il metodo del tubo di impedenza è costituito da un tubo cavo con un supporto del campione a una estremità e da una fonte sonora all'altra. Lungo la parete del tubo si trovano dei buchi dove sono posizionati i microfoni che effettuano le misurazioni (Fig. 3.22). I provini utilizzati si possono vedere nella Fig. 3.23.

Un tubo di impedenza deve essere rettilineo, a sezione retta costante e con pareti rigide, lisce e non porose, senza fori o fessure che consentano l'entrata o l'uscita del suono. Si raccomandano tubi a sezione circolare o quadrata.

Il diametro, la lunghezza del tubo e la distanza tra i microfoni ne condizionano l'uso per una determinata gamma di frequenze. Altri fattori che condizionano la prova sono la temperatura e la pressione atmosferica.

I metodi di prova sono specificati nella norma AENOR, *Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia*, UNE-EN ISO 10534, (2002).

Il metodo specificato nella parte 2 (metodo della funzione di trasferimento) è il più utilizzato in quanto più veloce. In sintesi, la prova consiste nell'emissione di un'onda piana (stazionaria) dalle caratteristiche note, su un'estremità del tubo, che procede lungo esso e ritorna. Disponendo all'altra estremità del tubo il campione di materiale assorbente, l'onda si scontra con il materiale e viene attenuata a determinate frequenze.

La differenza delle caratteristiche di andata e ritorno dell'onda è misurata dai microfoni e dopo l'elaborazione del segnale si ottiene il coefficiente di assorbimento sonoro,  $\alpha_s$  per le diverse frequenze.

La fase più delicata di questo metodo di prova è la corretta preparazione e montaggio del provino: dopo che esso è stato posto nella apparecchiatura, ogni spazio deve essere sigillato mediante vaselina.

Il risultato viene indicato con il coefficiente di assorbimento acustico  $\alpha_s$  per ciascuna delle frequenze delle bande di terzi di ottava da 125 Hz a 5000 Hz;



Fig. 3.22: Tubo di impedenza



Fig. 3.23: Provini per il tubo di impedenza



## CAPITOLO IV    RISULTATI

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle prove eseguite sui provini.

### 4.1 Metodo di misura della fluidità della pasta

I risultati delle misurazioni della fluidità della pasta sono riportati nella Tabella 4.1.

GESSO IBERPLAST YG			
	% fibre di salviette	Rapporto acqua/gesso	Diametro medio della miscela (mm)
	0,00%	1,00	>210
	0,00%	0,80	>210
YG-REF	0,00%	0,60	194
YG-0,1	0,10%	0,60	175
YG-0,2	0,20%	0,60	171
YG-0,3	0,30%	0,65	188
YG-0,4	0,40%	0,65	196
YG-0,5	0,50%	0,65	194
YG-0,6	0,60%	0,65	182
YG-0,7	0,70%	0,65	176
YG-1,0	1,00%	0,80	187
YG-1,5	1,50%	0,80	170
YG-2,0	2,00%	0,90	168

Tabella 4.1: Risultati fluidità della pasta

Da questa prova si rileva che il rapporto acqua/gesso nel caso di Iberplast YG indicato nella sua scheda tecnica non rispetta la fluidità necessaria indicata nella norma di riferimento, dato che le relazioni indicate hanno prodotto risultati di fluidità troppo elevata, superando il diametro limite indicato nella norma, come illustrato nella Fig. 4.1, dove viene mostrata la miscela di riferimento con relazione acqua/gesso=1. Dunque, è stato deciso di abbassare questo rapporto fino a ottenere risultati accettabili.

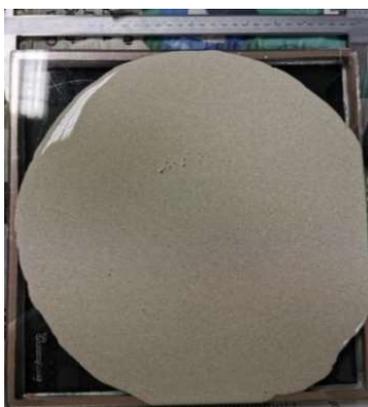


Fig. 4.1: Miscela di riferimento con rapporto acqua/gesso=1

## 4.2 Densità apparente

Nella Tabella 4.2 sono indicati i pesi dei provini alla rimozione dagli stampi e dopo 7 giorni, nel momento antecedente le prove meccaniche.

	<b>Peso alla rimozione dagli stampi (g)</b>	<b>peso provini secchi (g)</b>	<b>Peso residuale (%)</b>	<b>Densità apparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>YG-REF1</b>	414,7	298,3	71,93	1165,23
<b>YG-REF2</b>	419,1	300,9	71,80	1175,39
<b>YG-REF3</b>	420,3	302,7	72,02	1182,42
<b>YG-0,1-1</b>	406,8	290,1	71,31	1133,20
<b>YG-0,1-2</b>	410,2	292,4	71,28	1142,19
<b>YG-0,1-3</b>	405,6	289,5	71,38	1130,86
<b>YG-0,2-1</b>	404,6	289,7	71,60	1131,64
<b>YG-0,2-2</b>	399,3	285,8	71,58	1116,41
<b>YG-0,2-3</b>	415,1	298,5	71,91	1166,02
<b>YG-0,3-1</b>	498,3	276,9	55,57	1081,64
<b>YG-0,3-2</b>	411,9	288,4	70,02	1126,56
<b>YG-0,3-3</b>	406,1	281,9	69,42	1101,17
<b>YG-0,4-1</b>	405,5	282,7	69,72	1104,30
<b>YG-0,4-2</b>	406,8	282,7	69,49	1104,30
<b>YG-0,4-3</b>	406,6	283,2	69,65	1106,25
<b>YG-0,5-1</b>	412,1	287,7	69,81	1123,83
<b>YG-0,5-2</b>	411,0	286,7	69,76	1119,92
<b>YG-0,5-3</b>	413,5	288,4	69,75	1126,56
<b>YG-0,6-1</b>	419,5	292,8	69,80	1143,75
<b>YG-0,6-2</b>	417,2	289,7	69,44	1131,64
<b>YG-0,6-3</b>	415,7	287,6	69,18	1123,44
<b>YG-0,7-1</b>	415,1	289,9	69,84	1132,42
<b>Y-G0,7-2</b>	414,4	287,9	69,47	1124,61
<b>YG-0,7-3</b>	414,7	288,2	69,50	1125,78
<b>YG-1,0-1</b>	396,9	252,6	63,64	986,72
<b>YG-1,0-2</b>	391,2	248,0	63,39	968,75
<b>YG-1,0-3</b>	394,7	248,2	62,88	969,53
<b>YG-1,5-1</b>	398,9	253,4	63,52	989,84
<b>YG-1,5-2</b>	396,1	250,0	63,12	976,56
<b>YG-1,5-3</b>	398,3	254,0	63,77	992,19
<b>YG-2,0-1</b>	377,9	228,4	60,44	892,19
<b>YG-2,0-2</b>	382,2	228,7	59,84	893,36
<b>YG-2,0-3</b>	379,8	225,8	59,45	882,03

Tabella 4.2: Peso dei provini di gesso subito tolti dagli stampi e dopo 7 giorni

### 4.3 Durezza superficiale

La misura della durezza è espressa nell'unità di misura SHORE C, facendo 5 misure per ogni due facce opposte e calcolando la media tra le 10 misure fatte. I risultati sono riportati nella Tabella 4.3.

	DUREZZA SHORE C									
	Misura	Misura	Misura	Misura	Misura	Totale	Media			
	1	2	3	4	5					
<b>YG-REF1</b>	81	81	74	76	82	394	78,8	79,1	80,4	
	80	80	76	81	80	397	79,4			
<b>YG-REF2</b>	84	79	78	80	85	406	81,2	81,6		
	81	84	85	81	79	410	82,0			
<b>YG-REF3</b>	81	80	81	72	85	399	79,8	80,5		
	84	81	79	82	80	406	81,2			
<b>YG-0,1-1</b>	84	84	74	81	81	404	80,8	78,8		
	74	75	79	80	76	384	76,8			
<b>YG-0,1-2</b>	76	76	76	80	79	387	77,4	78,4		78,9
	70	83	83	80	81	397	79,4			
<b>YG-0,1-3</b>	76	81	79	79	81	396	79,2	79,4		
	78	76	80	83	81	398	79,6			
<b>YG-0,2-1</b>	78	76	80	83	81	398	79,6	79,3		
	76	75	80	82	82	395	79,0			
<b>YG-0,2-2</b>	76	80	82	85	79	402	80,4	79		78,4
	75	80	76	81	76	388	77,6			
<b>YG-0,2-3</b>	74	71	75	65	70	355	71,0	77		
	80	87	84	81	83	415	83,0			
<b>YG-0,3-1</b>	72	80	72	75	75	374	74,8	73,5		
	75	80	70	76	60	361	72,2			
<b>YG-0,3-2</b>	81	71	72	73	75	372	74,4	75,8	74,6	
	75	80	76	79	76	386	77,2			
<b>YG-0,3-3</b>	74	73	81	80	75	383	76,6	74,6		
	71	74	73	74	71	363	72,6			
<b>YG-0,4-1</b>	76	80	79	76	70	381	76,2	74,6		
	69	74	74	72	76	365	73,0			
<b>YG-0,4-2</b>	76	76	67	69	76	364	72,8	75,2	74,6	
	80	78	75	76	79	388	77,6			
<b>YG-0,4-3</b>	76	74	76	70	70	366	73,2	74		
	76	71	75	73	79	374	74,8			
<b>YG-0,5-1</b>	82	74	76	74	76	382	76,4	78,2		
	80	78	82	78	82	400	80,0			
<b>YG-0,5-2</b>	79	75	76	80	80	390	78,0	77,5	77,0	
	80	80	75	76	74	385	77,0			
<b>YG-0,5-3</b>	77	76	77	75	70	375	75,0	75,2		
	77	72	76	77	75	377	75,4			

<b>YG-0,6-1</b>	70	68	68	65	72	343	68,6	73,3	73,2
	80	80	80	80	70	390	78,0		
<b>YG-0,6-2</b>	76	74	70	75	76	371	74,2	73,5	
	69	75	76	65	79	364	72,8		
<b>YG-0,6-3</b>	72	64	74	74	73	357	71,4	72,7	
	75	74	76	71	74	370	74,0		
<b>YG-0,7-1</b>	79	75	76	82	83	395	79,0	82,5	
	86	85	87	86	86	430	86,0		
<b>YG-0,7-2</b>	76	74	76	77	78	381	76,2	76,7	80,1
	74	75	76	80	81	386	77,2		
<b>YG-0,7-3</b>	80	80	74	78	73	385	77,0	81,2	
	86	90	86	79	86	427	85,4		
<b>YG-1,0-1</b>	46	61	61	66	55	289	57,8	59,1	
	55	50	69	59	69	302	60,4		
<b>YG-1,0-2</b>	71	66	74	65	70	346	69,2	69,8	62,9
	68	71	71	71	71	352	70,4		
<b>YG-1,0-3</b>	45	45	76	65	64	295	59,0	59,7	
	71	61	66	54	50	302	60,4		
<b>YG-1,5-1</b>	55	67	55	60	76	313	62,6	62,2	
	50	52	66	76	65	309	61,8		
<b>YG-1,5-2</b>	50	55	50	53	69	277	55,4	56,0	61,7
	65	70	56	52	40	283	56,6		
<b>YG-1,5-3</b>	70	61	55	80	81	347	69,4	66,8	
	55	72	72	60	62	321	64,2		
<b>YG-2,0-1</b>	40	62	75	50	70	297	59,4	54,8	
	50	50	45	46	60	251	50,2		
<b>YG-2,0-2</b>	62	67	88	50	72	339	67,8	57,7	55,5
	45	42	51	50	50	238	47,6		
<b>YG-2,0-3</b>	48	72	45	50	55	270	54,0	53,9	
	45	55	48	57	64	269	53,8		

Tabella 4.3: Risultati durezza superficiale in SHORE C

#### 4.4 Comportamento a flessione

I seguenti grafici (dal 4.1 al 4.11) illustrano il comportamento di provini sottoposti alla prova a flessione. Su ogni grafico si pongono i risultati dei provini con lo stesso dosaggio di fibre di salviette. Poi i dati sono stati utilizzati per trovare il comportamento più rappresentativo del gruppo e confrontarlo con gli altri con diverse percentuali di fibre di salviette.

Nel Grafico 4.1 si può osservare che i provini privi di fibre hanno un comportamento simile tra loro, e un tipo di rottura fragile, ossia che una volta raggiunta la tensione massima, la tensione diminuisce bruscamente fino a zero e i campioni si rompono in due parti.

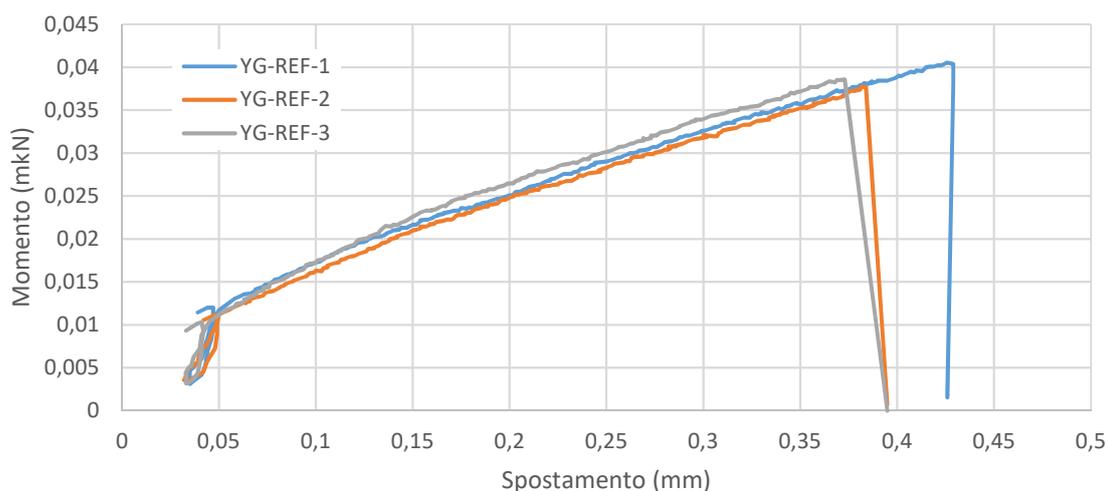


Grafico 4.1: Comportamento a flessione dei provini di riferimento

Il Grafico 4.2 illustra il comportamento dei campioni con lo 0,1% di fibre che, come quelli precedenti, presentano una rottura fragile e un comportamento simile tra loro. I risultati del terzo provino non sono mostrati, poiché la prova ha dato risultati errati.

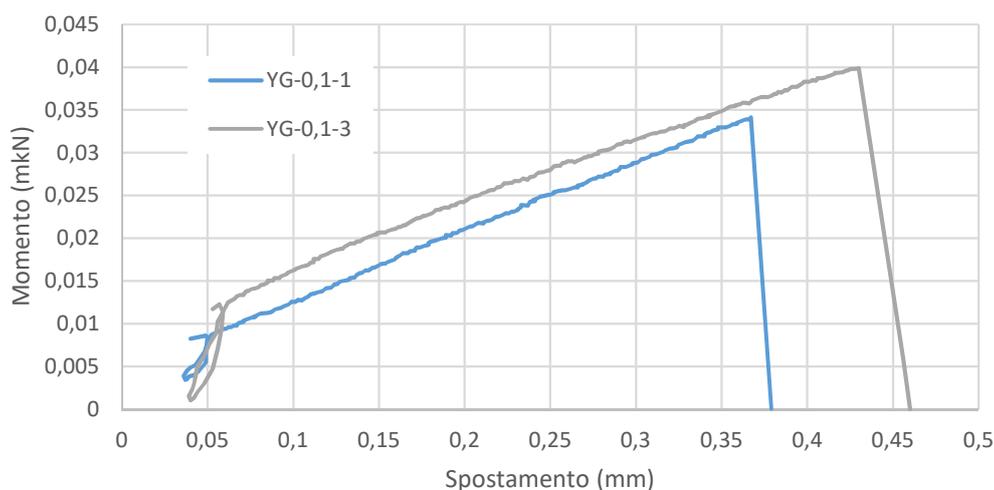


Grafico 4.2: Comportamento a flessione dei provini con 0,1% di fibre di salviette

Nel Grafico 4.3 si nota come con la presenza dello 0,2% di fibre, il comportamento comincia ad essere diverso. I 3 campioni presentano lo stesso comportamento tra loro e dopo la rottura continuano a mantenere una piccola resistenza grazie alla presenza delle fibre, che non permettono la rottura completa del provino.

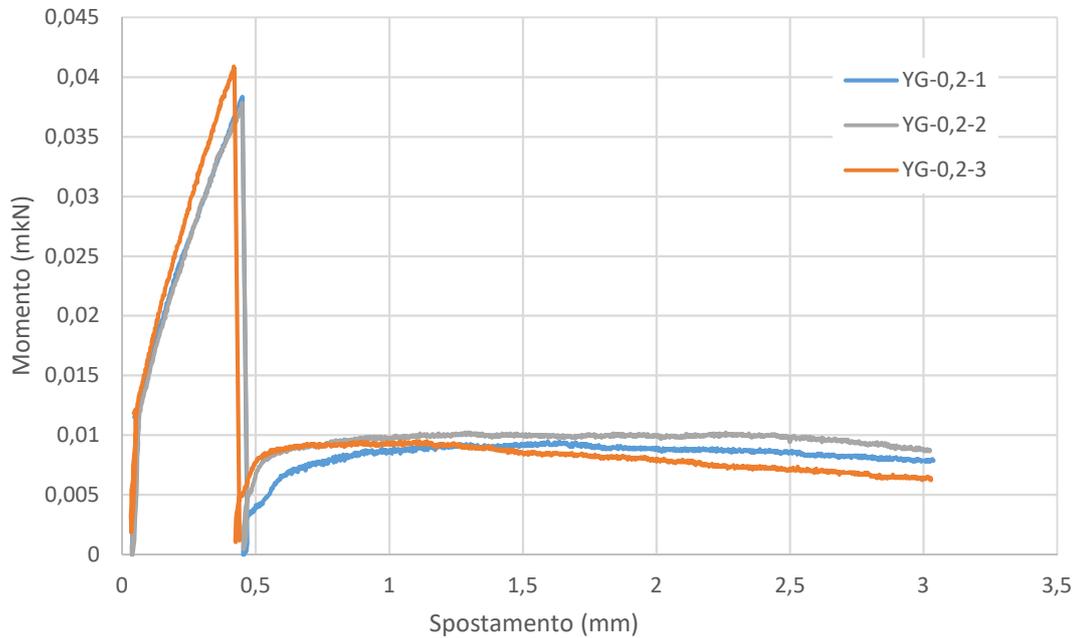


Grafico 4.3: Comportamento a flessione dei provini con 0,2% di fibre di salviette

Nel grafico 4.4 si può osservare che i provini con 0,3% di fibre hanno un comportamento simile fino alla rottura, recuperando parte della loro capacità resistente dopo la rottura grazie alla presenza di salviettine.

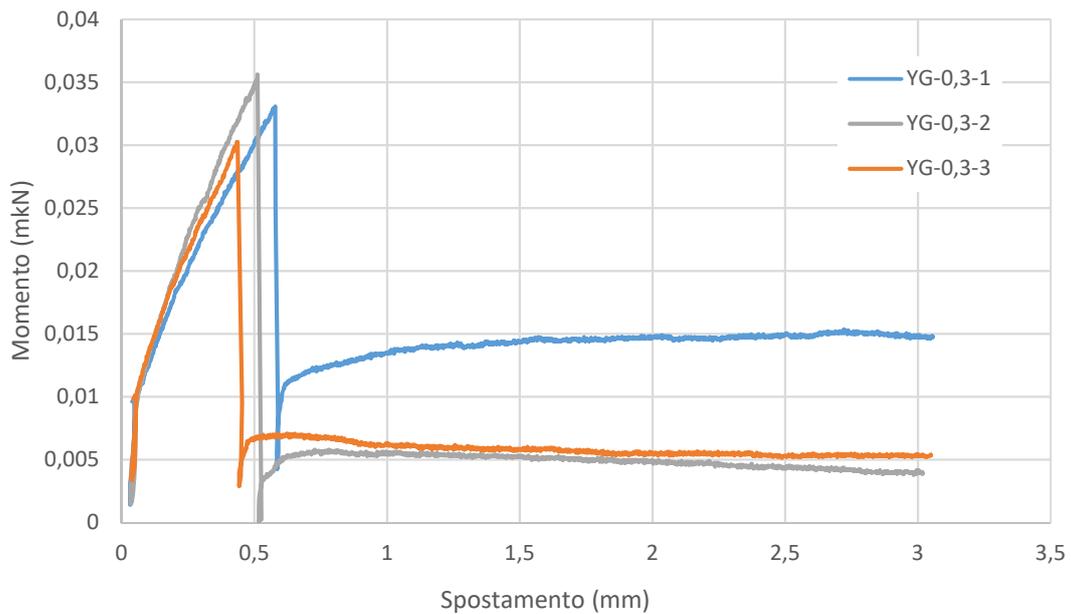


Grafico 4.4: Comportamento a flessione dei provini con 0,3% di fibre di salviette

Nel Grafico 4.5 si osserva un comportamento simile tra i provini con 0,4% di fibre sottoposti alla prova a flessione; anche questi, come i precedenti provini, recuperano parte della loro capacità resistente dopo la rottura, grazie alla presenza di salviettine.

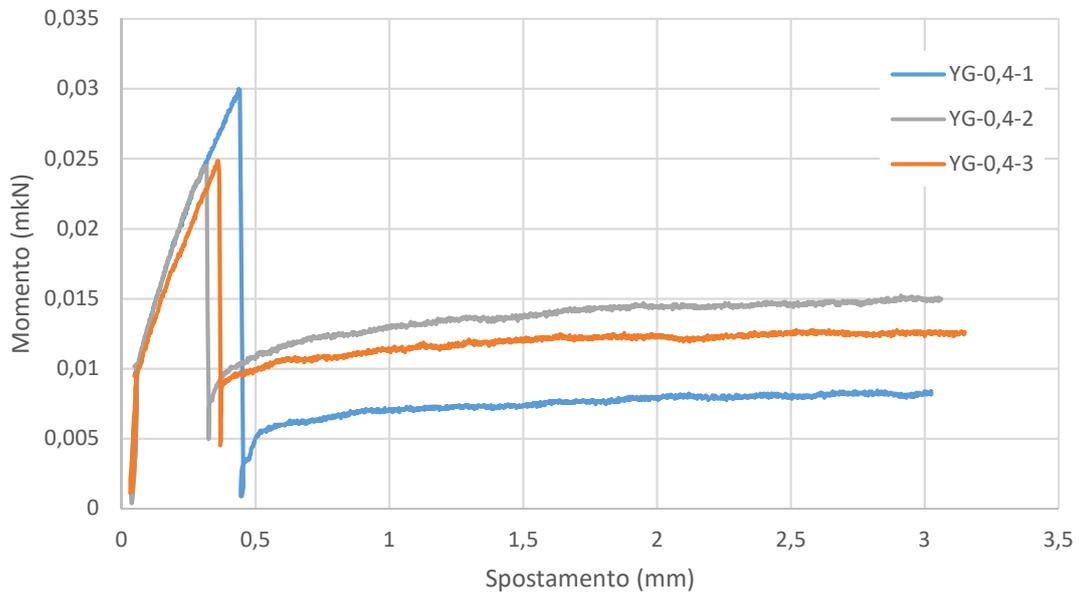


Grafico 4.5: Comportamento a flessione dei provini con 0,4% di fibre di salviette

Il Grafico 4.6 mostra come i provini con lo 0,5% di fibre hanno un comportamento molto simile tra di loro e che in seguito alla rottura mantengono un momento resistente grazie alla presenza di fibre.

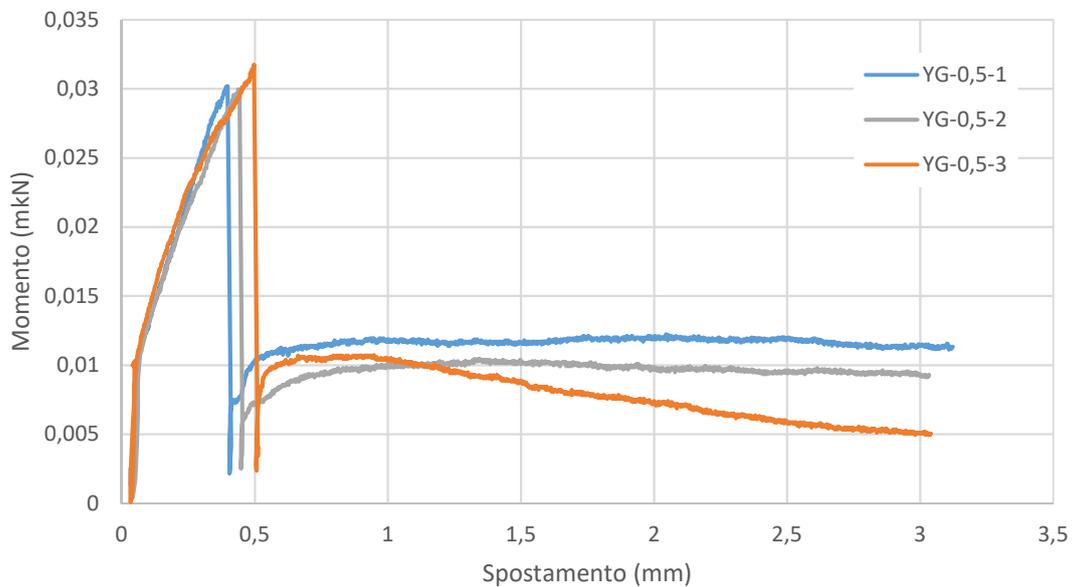


Grafico 4.6: Comportamento a flessione dei provini con 0,5% di fibre di salviette

Il Grafico 4.7 indica il comportamento dei provini con 0,6% di fibre, questi hanno un comportamento piuttosto simile tra loro. Dopo la rottura, continuano a resistere a un determinato momento grazie alla presenza di fibre.

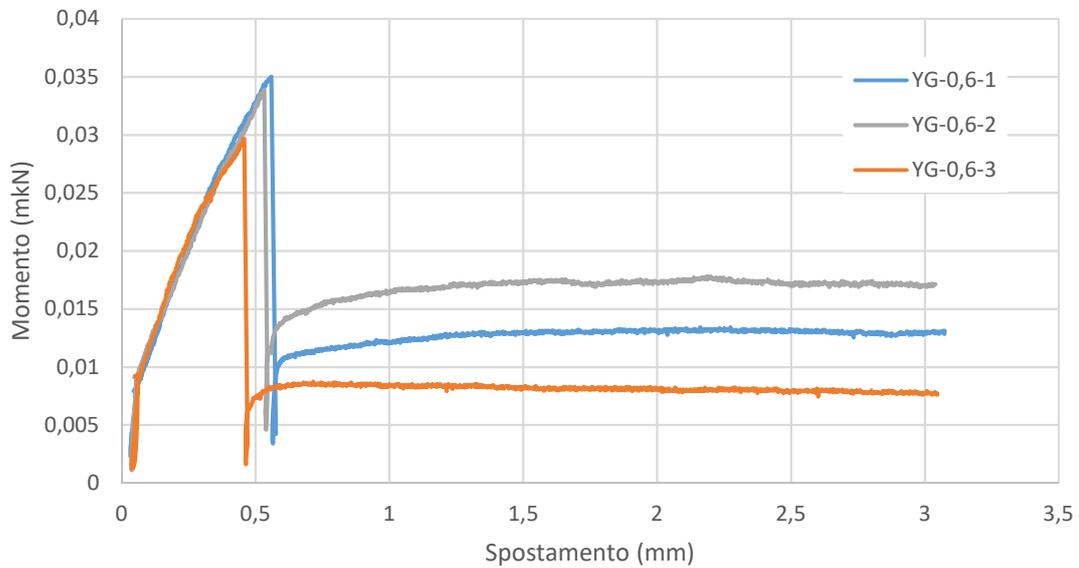


Grafico 4.7: Comportamento a flessione dei provini con 0,6% di fibre di salviette

Nel grafico 4.8 si osserva che il comportamento a flessione dei campioni con 0,7% di fibre è simile tra loro. Dopo la rottura del gesso, le fibre fanno sì che i provini mantengano una certa resistenza, che diminuisce con l'aumentare della deformazione.

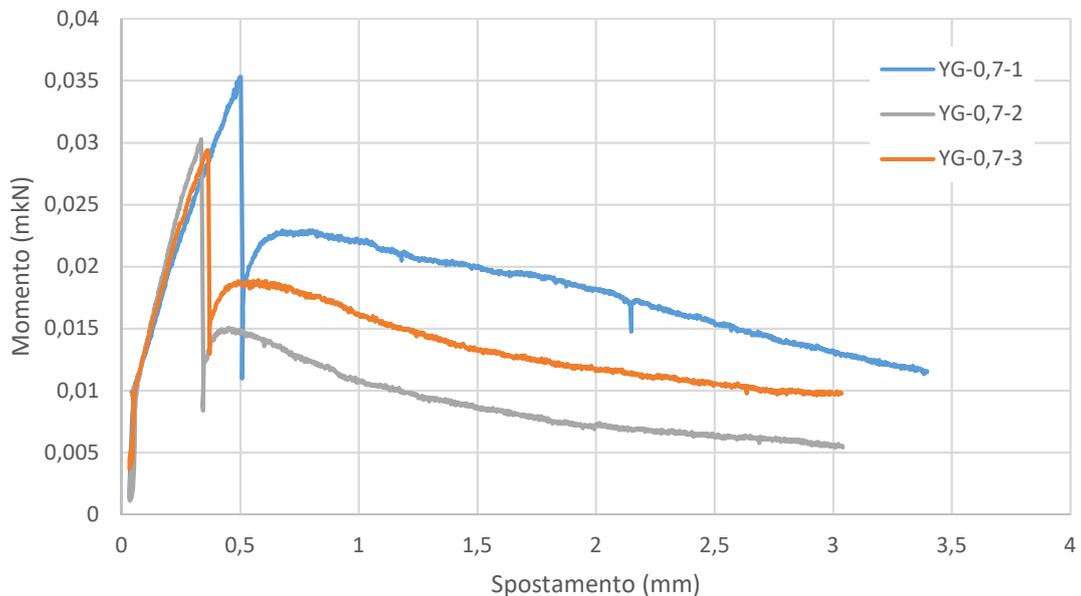


Grafico 4.8: Comportamento a flessione dei provini con 0,7% di fibre di salviette

Nel Grafico 4.9 si nota che i provini con 1,0% di fibre cambiano di comportamento rispetto a quelli con una minore presenza di fibre. La presenza di questa quantità di fibre rende meno importante il salto di resistenza quando si raggiunge la rottura, mantenendo una resistenza residua quasi costante per tutta la durata della prova.

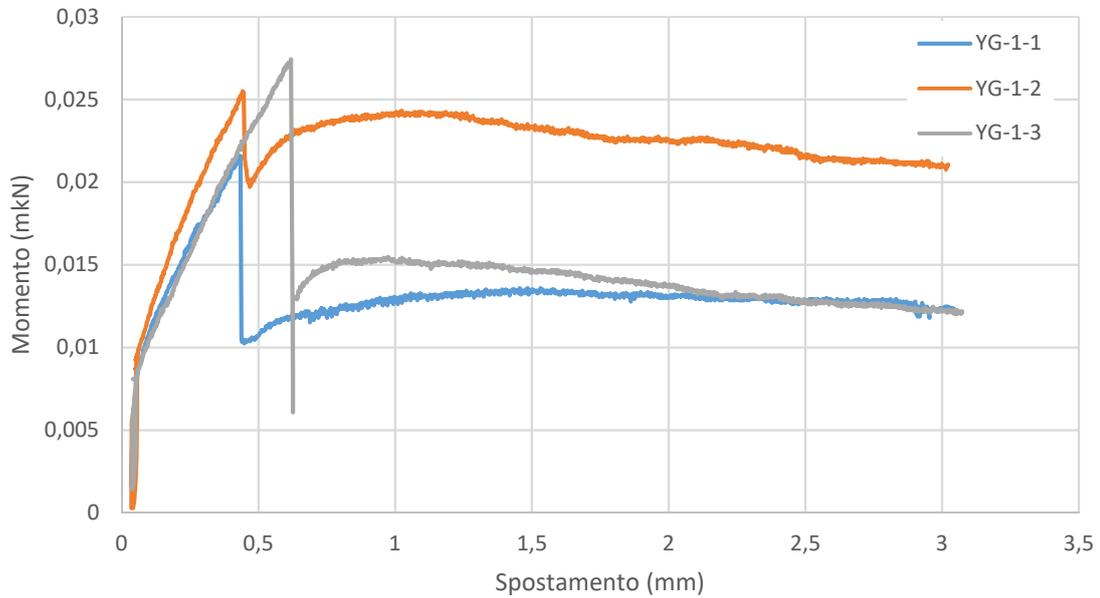


Grafico 4.9: Comportamento a flessione dei provini con 1,0% di fibre di salviette

Il comportamento dei provini con 1,5% di fibre è illustrato nel Grafico 4.10, dove si osserva che in tutti e tre i provini il salto di resistenza dopo la rottura è di piccole dimensioni rispetto ai provini precedenti.

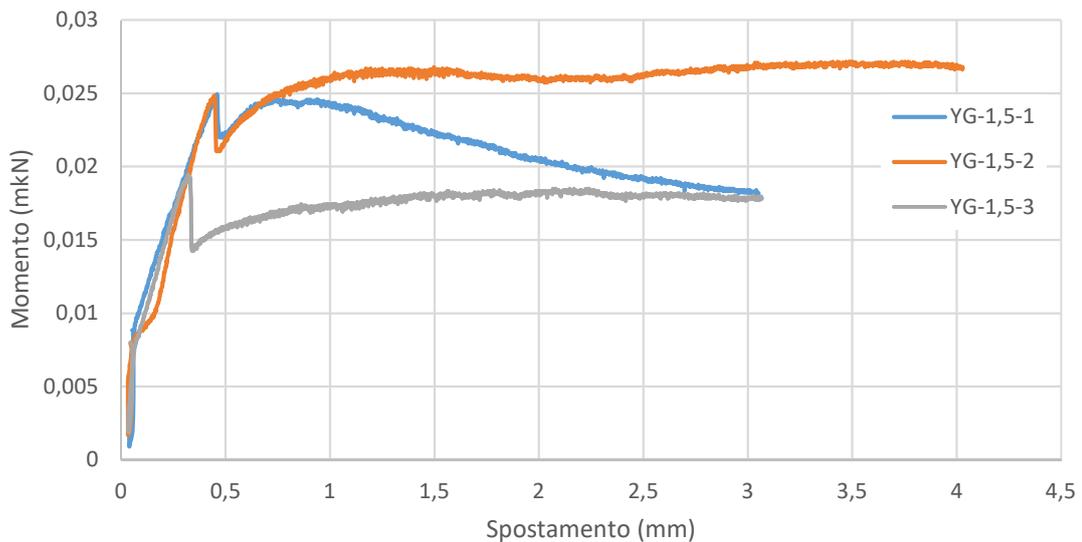


Grafico 4.10: Comportamento a flessione dei provini con 1,5% di fibre di salviette

Nel Grafico 4.11 si osserva che il comportamento dei provini con 2,0% di fibre è simile tra loro, con una lieve diminuzione del momento di rottura rispetto ai provini precedenti. Una volta avvenuto questo salto di resistenza i provini recuperano la capacità di resistenza raggiungendo, anche in questo caso, valori superiori a quelli di rottura.

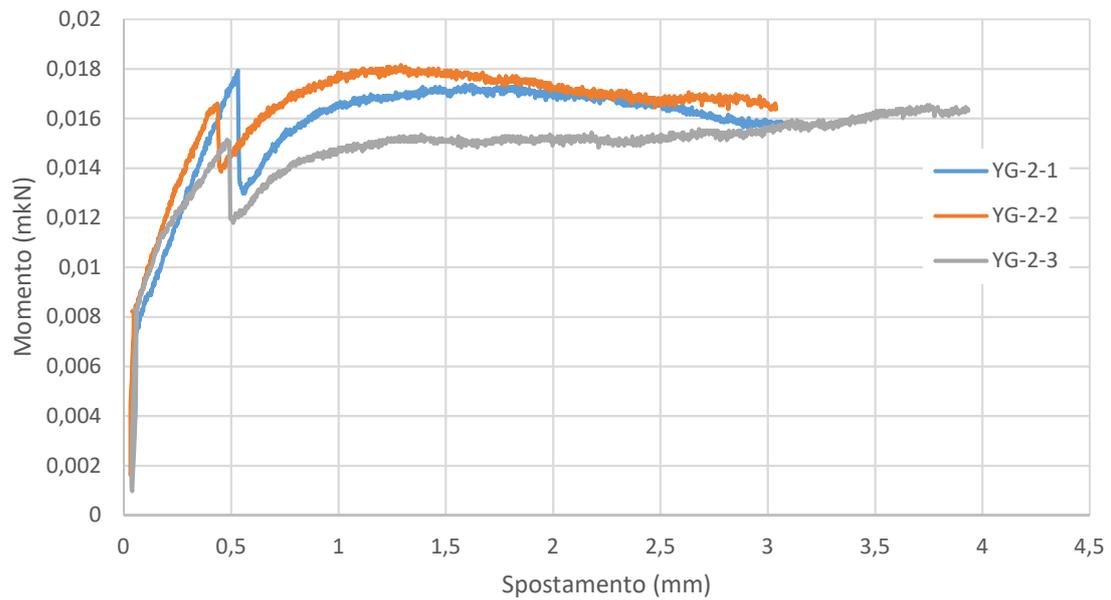


Grafico 4.11: Comportamento a flessione dei provini con 2,0% di fibre di salviette

Nella Tabella 4.4 sono indicati i valori numerici dei momenti massimi raggiunti nella prova dai vari provini.

		<b>Momento massimo (mkN)</b>	<b>Momento massimo medio (mkN)</b>	<b>Resistenza a flessione (N/mm<sup>2</sup>)</b>
RIFERIMENTO	Y-REF1	0,041	0,039	3,653
	Y-REF2	0,038		
	Y-REF3	0,039		
YG-0,1	Y-0,1-1	0,034	0,037	3,471
	Y-0,1-2	0,000		
	Y-0,1-3	0,040		
YG-0,2	Y-0,2-1	0,038	0,039	3,659
	Y-0,2-2	0,038		
	Y-0,2-3	0,041		
YG-0,3	Y-0,3-1	0,033	0,033	3,093
	Y-0,3-2	0,036		
	Y-0,3-3	0,030		
YG-0,4	Y-0,4-1	0,030	0,026	2,479
	Y-0,4-2	0,024		
	Y-0,4-3	0,025		
YG-0,5	Y-0,5-1	0,030	0,031	2,873
	Y-0,5-2	0,030		
	Y-0,5-3	0,032		
YG-0,6	Y-0,6-1	0,035	0,033	3,081
	Y-0,6-2	0,034		
	Y-0,6-3	0,030		
YG-0,7	Y-0,7-1	0,035	0,032	2,969
	Y-0,7-2	0,030		
	Y-0,7-3	0,029		
YG-1,0	Y-1,0-1	0,022	0,025	2,330
	Y-1,0-2	0,026		
	Y-1,0-3	0,027		
YG-1,5	Y-1,5-1	0,025	0,024	2,235
	Y-1,5-2	0,027		
	Y-1,5-3	0,019		
YG-2,0	Y-2,0-1	0,018	0,018	1,645
	Y-2,0-2	0,018		
	Y-2,0-3	0,017		

Tabella 4.4: Momento massimo e momento medio ricavato dalla prova in flessione

## 4.5 Comportamento a compressione

I seguenti Grafici dal 4.12 al 4.22 illustrano il comportamento a compressione dei provini. Su ogni grafico sono indicati i comportamenti dei provini con lo stesso dosaggio di fibre di salviette. Saranno poi utilizzati per indicare il comportamento più rappresentativo del gruppo e confrontarlo con gli altri contenenti differenti percentuali di fibre.

Il Grafico 4.12 illustra come il comportamento tra i provini di riferimento sia simile tra loro. Dopo la rottura, che avviene quando la tensione è di circa 8 N/mm<sup>2</sup>, la resistenza diminuisce in relazione alla deformazione.

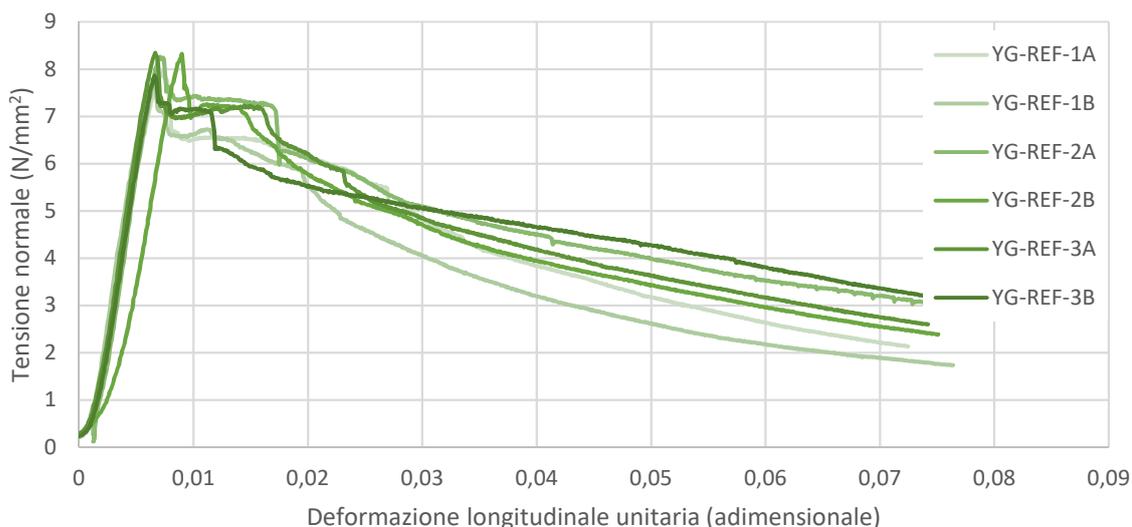


Grafico 4.12: Comportamento a compressione dei provini di riferimento

Il Grafico 4.13 illustra il comportamento a compressione dei provini con 0,1% di fibre, osservando un comportamento molto simile tra loro.

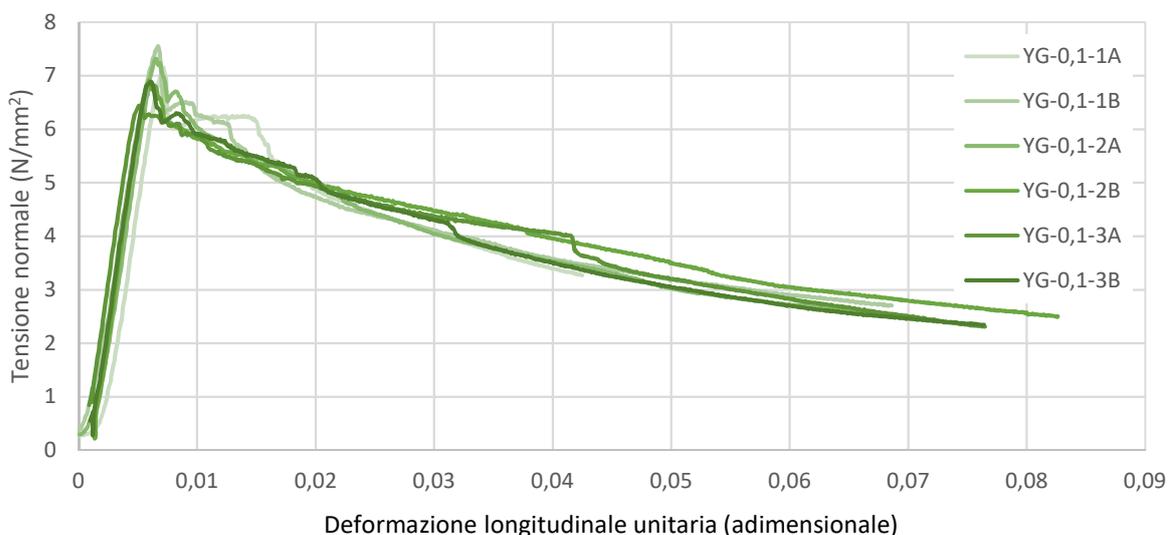


Grafico 4.13: comportamento a compressione provini con 0,1% di salviettine aggiunte

Nel Grafico 4.14 si osserva come il comportamento dei provini con 0,2% di fibre sia abbastanza simile tra loro e con i provini antecedenti.

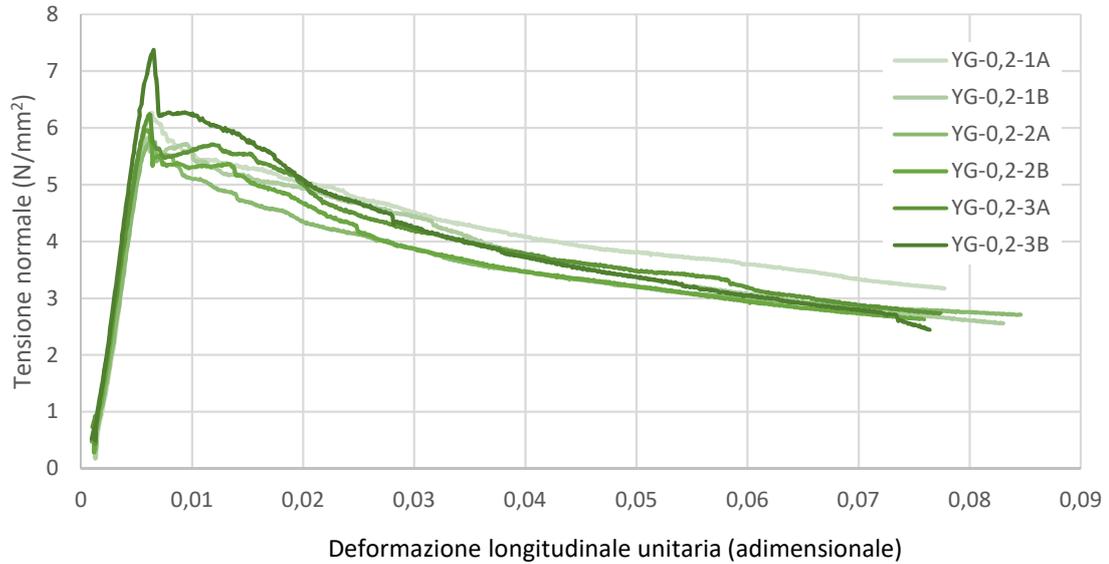


Grafico 4.14: Comportamento a compressione provini con 0,2% di salviettine aggiunte

Il Grafico 4.15 indica il comportamento dei provini con lo 0,3% di fibre, che mostrano un comportamento simile tra loro e ai provini antecedenti.

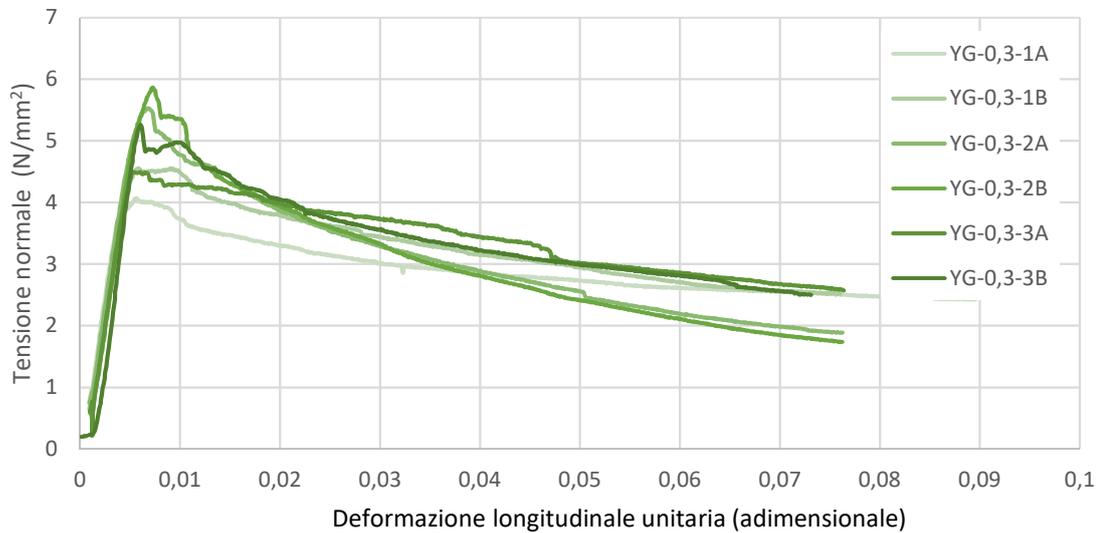


Grafico 4.15: Comportamento a compressione provini con 0,3% di salviettine aggiunte

Il Grafico 4.16 indica il comportamento dei provini con lo 0,4% di fibre, che si comportano similmente fra di loro e con i provini antecedenti. Si osserva che con l'aumento delle fibre, la resistenza massima diminuisce, in questo caso raggiunge un valore massimo di 5 N/mm<sup>2</sup>.

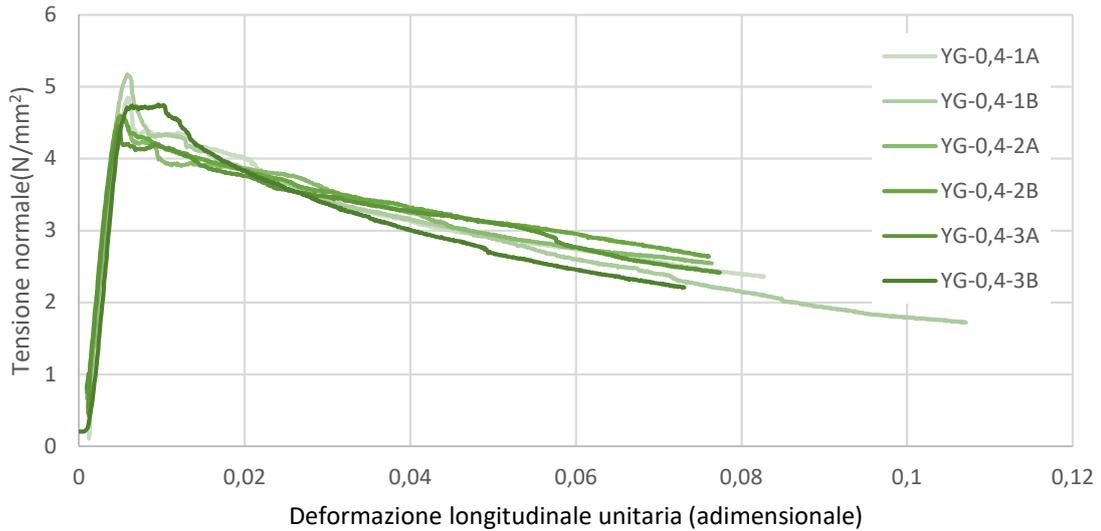


Grafico 4.16: Comportamento a compressione provini con 0,4% di salviettine aggiunte

Il Grafico 4.17 illustra il comportamento a compressione dei provini con 0,5% di fibre. Il comportamento è simile tra loro, la resistenza massima diminuisce in comparazione con i provini antecedenti, raggiungendo resistenze massime inferiori a 5 N/mm<sup>2</sup>, come nel caso precedente.

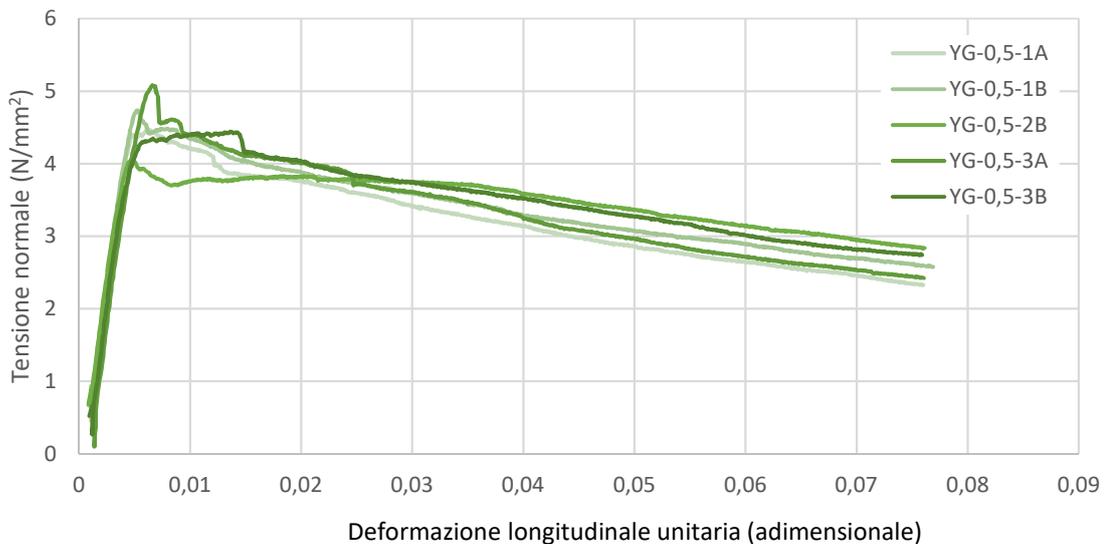


Grafico 4.17: Comportamento a compressione provini con 0,5% di salviettine aggiunte

Il Grafico 4.18 illustra il comportamento a compressione dei provini con 0,6% di fibre. Il comportamento è abbastanza simile tra loro e la resistenza massima continua a diminuire abbassandosi in questo caso fino a 4 N/mm<sup>2</sup>.

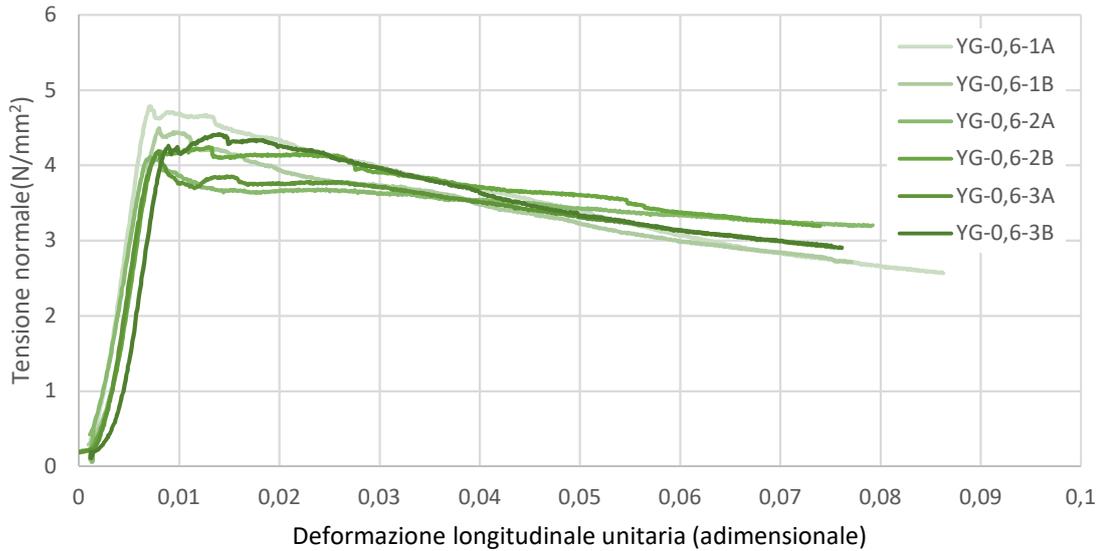


Grafico 4.18: Comportamento a compressione provini con 0,6% di salviettine aggiunte

Il Grafico 4.19 illustra il comportamento a compressione dei provini con 0,7% di fibre. Il comportamento di tutti i provini è abbastanza simile tra loro, si osserva una pendenza minore nel grafico, dopo la rottura del materiale.

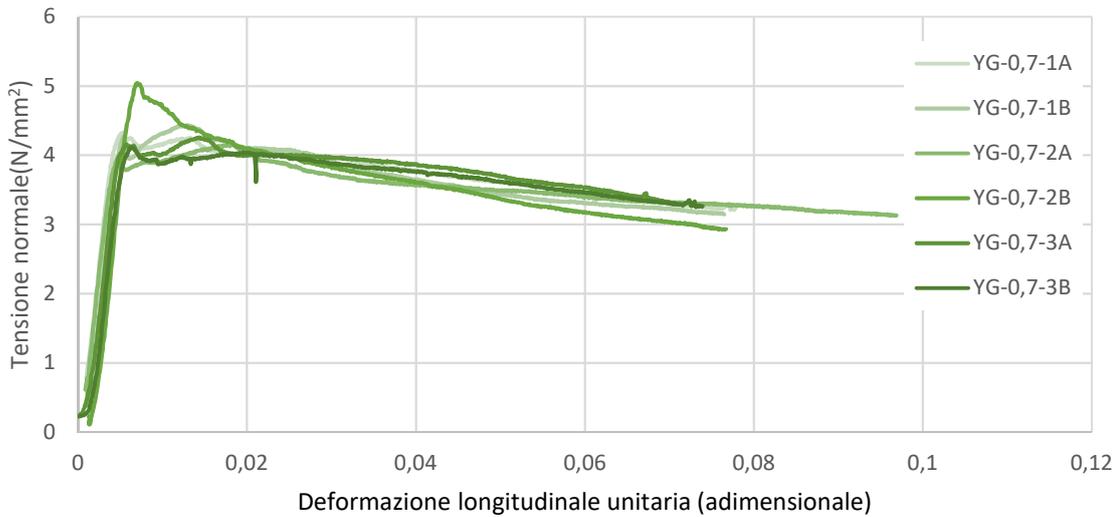


Grafico 4.19: Comportamento a compressione provini con 0,7% di salviettine aggiunte

Il Grafico 4.20 illustra il comportamento a compressione dei provini con 1,0% di fibre. Il comportamento è abbastanza simile tra i provini sottoposti a prova, ma si nota come, a differenza dei precedenti, dopo la rottura la tensione tende a mantenersi costante con l'aumentare della deformazione.

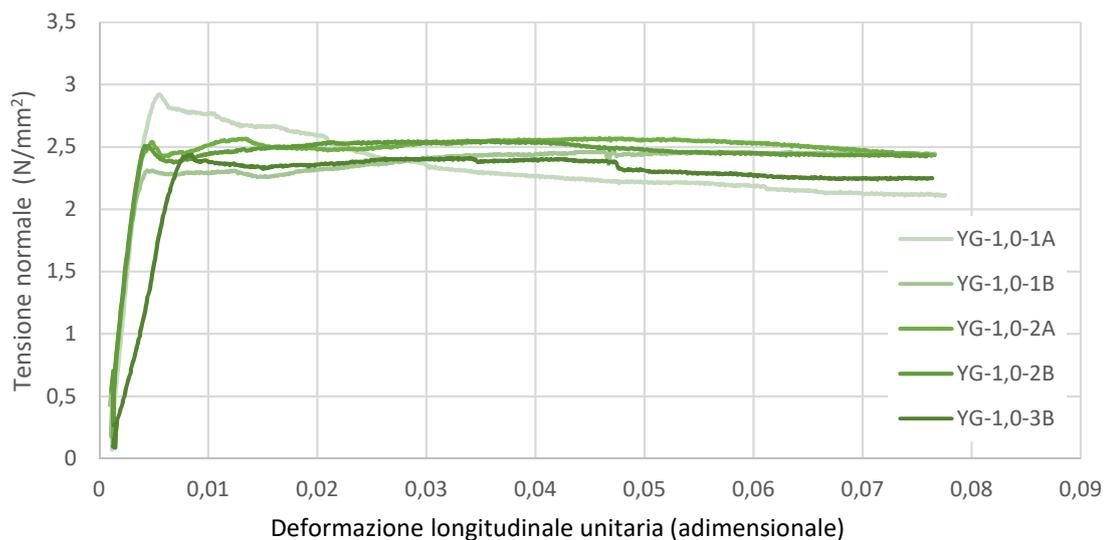


Grafico 4.20: Comportamento a compressione provini con 1,0% di salviettine aggiunte

Il comportamento a compressione dei provini contenenti 1,5% di fibre è illustrato nel Grafico 4.21. Questo comportamento è abbastanza simile tra loro e in questo caso si nota come con questa percentuale di fibre, dopo la rottura, la resistenza cominci a crescere leggermente con l'aumentare della deformazione.

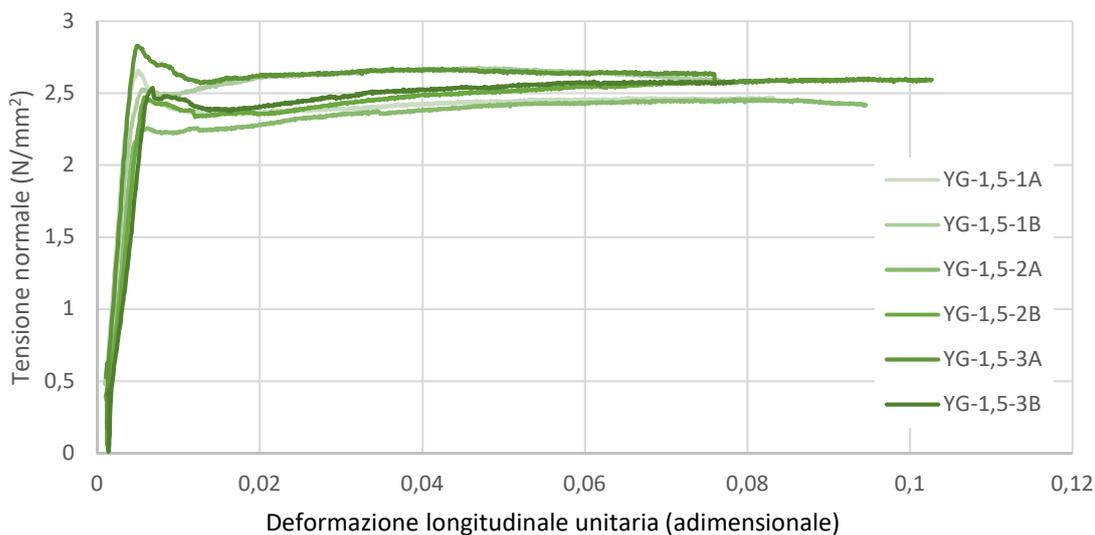


Grafico 4.21: Comportamento a compressione provini con 1,5% di salviettine aggiunte

Il Grafico 4.22 illustra il comportamento a compressione dei provini con 2,0% di fibre. Il comportamento tra di loro è leggermente diverso, ma in tutti questi si nota che dopo la rottura. La tensione normale segue in modo crescente con l'aumentare della deformazione.

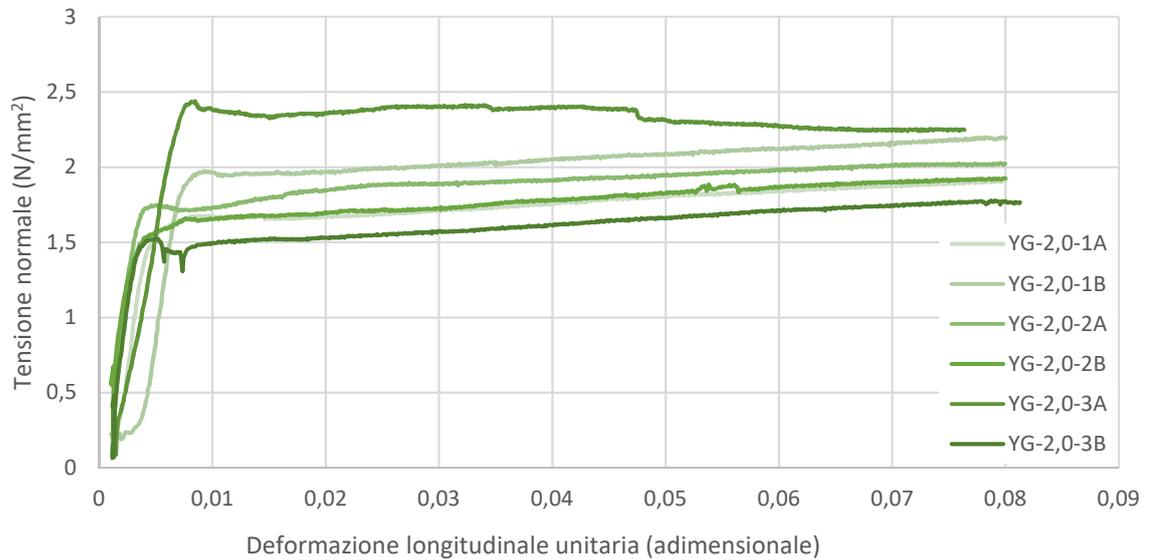


Grafico 4.22: Comportamento a compressione provini con 2,0% di salviettine aggiunte

Nella Tabella 4.5 sono riportati i risultati delle prove svolte di compressione.

		$\sigma_{\max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{\max, \text{medio}}$ (N/mm <sup>2</sup> )
<b>RIFERIMENTO</b>	YG-REF-1A	7,94	8,09
	YG-REF-1B	7,78	
	YG-REF-2A	8,26	
	YG-REF-2B	8,32	
	YG-REF-3A	8,35	
	YG-REF-3B	7,87	
<b>YG-0,1</b>	YG-0,1-1A	7,16	7,04
	YG-0,1-1B	7,55	
	YG-0,1-2A	7,32	
	YG-0,1-2B	6,91	
	YG-0,1-3A	6,44	
	YG-0,1-3B	6,89	
<b>YG-0,2</b>	YG-0,2-1A	6,27	6,24
	YG-0,2-1B	5,82	
	YG-0,2-2A	5,77	
	YG-0,2-2B	5,96	
	YG-0,2-3A	6,24	
	YG-0,2-3B	7,37	
<b>YG-0,3</b>	YG-0,3-1A	4,07	4,96
	YG-0,3-1B	4,56	
	YG-0,3-2A	5,53	
	YG-0,3-2B	5,87	
	YG-0,3-3A	4,50	
	YG-0,3-3B	5,26	
<b>YG-0,4</b>	YG-0,4-1A	4,85	4,73
	YG-0,4-1B	5,17	
	YG-0,4-2A	4,58	
	YG-0,4-2B	4,60	
	YG-0,4-3A	4,45	
	YG-0,4-3B	4,75	
<b>YG-0,5</b>	YG-0,5-1A	4,47	4,56
	YG-0,5-1B	4,73	
	YG-0,5-2A	0,00	
	YG-0,5-2B	4,08	
	YG-0,5-3A	5,08	
	YG-0,5-3B	4,44	

YG-0,6	YG-0,6-1A	4,79	4,37
	YG-0,6-1B	4,49	
	YG-0,6-2A	4,11	
	YG-0,6-2B	4,24	
	YG-0,6-3A	4,19	
	YG-0,6-3B	4,41	
YG-0,7	YG-0,7-1A	4,33	4,39
	YG-0,7-1B	4,44	
	YG-0,7-2A	4,16	
	YG-0,7-2B	5,04	
	YG-0,7-3A	4,26	
	YG-0,7-3B	4,12	
YG-1,0	YG-1,0-1A	2,92	2,59
	YG-1,0-1B	2,46	
	YG-1,0-2A	2,57	
	YG-1,0-2B	2,55	
	YG-1,0-3A	0,00	
	YG-1,0-3B	2,44	
YG-1,5	YG-1,5-1A	2,66	2,63
	YG-1,5-1B	2,68	
	YG-1,5-2A	2,46	
	YG-1,5-2B	2,60	
	YG-1,5-3A	2,83	
	YG-1,5-3B	2,58	
YG-2,0	YG-2,0-1A	2,03	2,10
	YG-2,0-1B	2,28	
	YG-2,0-2A	2,09	
	YG-2,0-2B	1,99	
	YG2,0-3A	2,44	
	YG2,0-3B	1,78	

Tabella 4.5: Risultati tensione normale massima, deformazione unitaria e modulo Young ricavati dalla prova di compressione

## 4.6 Impatto

La Tabella 4.6 illustra i risultati della prova di impatto.

	<b>Peso (g)</b>	<b>Diametro (mm)</b>	<b>Altezza caduta (cm)</b>
<b>Pallina di metallo</b>	110	30	40

<b>RIFERIMENTO</b>					
<b>Diametro (mm)</b>	8	8,5	8,5	8,5	8,5
	8,4				
<b>YG-0,5</b>					
<b>Diametro (mm)</b>	8	8	8	7	7
	7,6				
<b>YG-1,0</b>					
<b>Diametro (mm)</b>	10	9	10	10	10
	9,8				
<b>YG-1,5</b>					
<b>Diametro (mm)</b>	10	11	10	9	10
	10,0				
<b>YG-2,0</b>					
<b>Diametro (mm)</b>	11	12	11	11	11
	11,2				

Tabella 4.6: Risultati della prova di impatto

#### 4.7 Assorbimento per capillarità

I risultati delle prove di assorbimento di acqua per capillarità sono riportati di seguito nella Tabella 4.7.

	<b>RIFERIMENTO</b>		
<b>Tempo (min)</b>	P1	P2	P3
1	1,1	1	1
2	0,5	0,5	0,7
3	0,6	0,3	0,3
4	0,4	0,4	0,4
5	0,3	0,3	0,3
6	0,3	0,2	0,2
7	0,3	0,3	0,2
8	0,2	0,2	0,2
9	0,3	0,2	0,2
10	0,2	0,1	0,2
<b>Somma (cm)</b>	4,2	3,5	3,7
<b>Somma (mm)</b>	38		
<b>Assorbimento di acqua (g)</b>	30,4	32,3	29,6
	30,8		
	<b>YG-0,5</b>		
<b>Tempo (min)</b>	P1	P2	P3
1	1	0,8	1
2	0,7	0,7	0,7
3	0,5	0,3	0,5
4	0,5	0,5	0,5
5	0,5	0,4	0,5
6	0,2	0,4	0,2
7	0,3	0,4	0,3
8	0,3	0,3	0,3
9	0,3	0,2	0,3
10	0,3	0,2	0,3
<b>Somma (cm)</b>	4,6	4,2	4,6
<b>Somma (mm)</b>	44		
<b>Assorbimento di acqua (g)</b>	32,2	32,2	32,1
	32,2		

<b>YG-1,0</b>			
<b>Tempo (min)</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
1	1,2	1,6	1,2
2	0,7	0,8	0,7
3	0,7	0,6	0,7
4	0,5	0,5	0,5
5	0,5	0,4	0,5
6	0,4	0,3	0,4
7	0,4	0,4	0,4
8	0,4	0,4	0,4
9	0,3	0,3	0,3
10	0,2	0,4	0,2
<b>Somma (cm)</b>	5,3	5,7	5,3
<b>Somma (mm)</b>	55		
<b>Assorbimento di acqua (g)</b>	43	41,8	44,5
	43,1		
<b>YG-1,5</b>			
<b>Tempo (min)</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
1	1	1,4	1
2	0,5	0,9	0,5
3	0,4	0,8	0,4
4	0,5	0,4	0,5
5	0,4	0,4	0,4
6	0,4	0,3	0,4
7	0,5	0,5	0,5
8	0,4	0,3	0,4
9	0,4	0,2	0,4
10	0,3	0,2	0,3
<b>Somma (cm)</b>	4,8	5,4	4,8
<b>Somma (mm)</b>	51		
<b>Assorbimento di acqua (g)</b>	38,2	40	36,5
	38,2		
<b>YG-2,0</b>			
<b>Tempo (min)</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
1	1,1	1,3	1,1
2	0,6	0,7	0,7
3	0,7	0,6	0,6
4	0,4	0,6	0,4
5	0,4	0,4	0,5
6	0,5	0,5	0,5
7	0,5	0,5	0,4
8	0,4	0,3	0,4
9	0,4	0,2	0,4
10	0,3	0,3	0,2
<b>Somma (cm)</b>	5,3	5,4	5,2
<b>Somma (mm)</b>	53		
<b>Assorbimento di acqua (g)</b>	41	42,5	40,9
	41,5		

Tabella 4.7: Risultati della prova di assorbimento di acqua per capillarità

## 4.8 Permeabilità al vapore acqueo

Nella tabella 4.8 sono indicate le caratteristiche geometriche dei provini e i dati di peso ottenuti durante la prova di permeabilità al vapore acqueo.

	Peso (g)				
	08/01/2020	15/01/2020	22/01/2020	29/01/2020	05/02/2020
<b>RIFERIMENTO</b>	425,82	420,83	413,74	409,34	404,93
<b>YG-0,5</b>	406,41	399,81	391,43	386,13	381,02
<b>YG-1,0</b>	393,12	386,43	376,82	370,62	364,45
<b>YG-1,5</b>	398,34	391,73	382,91	377,41	372,03
<b>YG-2,0</b>	398,91	391,71	387,84	385,55	382,82
	<b>Φsup (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Φinf (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Φmedio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>spessore (m)</b>	<b>area (m<sup>2</sup>)</b>
<b>RIFERIMENTO</b>	0,088	0,082	0,085	0,016	0,0057
<b>YG-0,5</b>	0,086	0,082	0,084	0,014	0,0055
<b>YG-1,0</b>	0,087	0,081	0,084	0,014	0,0055
<b>YG-1,5</b>	0,087	0,082	0,0845	0,014	0,0056
<b>YG-2,0</b>	0,086	0,082	0,084	0,014	0,0055
	<b>Gmedio</b>	<b>g (mg/m<sup>2</sup>*h)</b>	<b>W (mg/m<sup>2</sup>*h*Pa)</b>	<b>δ (mg/m<sup>2</sup>*h*Pa)</b>	<b>μ (/)</b>
<b>RIFERIMENTO</b>	7,43	5481,02	3,92	0,07	10,35
<b>YG-0,5</b>	9,82	6821,27	4,87	0,08	9,50
<b>YG-1,0</b>	9,96	7702,47	5,50	0,09	8,42
<b>YG-1,5</b>	9,84	6985,03	4,99	0,08	9,28
<b>YG-2,0</b>	5,76	4322,73	3,09	0,05	15,00

Tabella 4.8: Dati della prova di permeabilità al vapore acqueo e caratteristiche dei provini

## 4.9 Aderenza

I risultati delle prove di aderenza sono riportati nella Tabella 4.9.

	RIFERIMENTO				
<b>kN</b>	0,80	0,60	0,82	0,70	0,70
<b>kN media</b>	0,72				
<b>Mpa</b>	0,37				

YG-0,5					
<b>kN</b>	0,40	0,62	0,40	0,40	0,60
<b>kN media</b>	0,48				
<b>Mpa</b>	0,25				
YG-1,0					
<b>kN</b>	0,50	0,45	0,32	0,45	0,45
<b>Kn media</b>	0,43				
<b>Mpa</b>	0,22				
YG-1,5					
<b>kN</b>	0,70	0,50	0,82	0,50	0,70
<b>kN media</b>	0,64				
<b>Mpa</b>	0,33				
YG-2,0					
<b>kN</b>	0,60	0,60	0,60	0,45	0,50
<b>kN media</b>	0,55				
<b>Mpa</b>	0,28				

Tabella 4.9: Risultati della prova di aderenza

#### 4.10 Flessione su piastra

Nella Tabella 4.10 sono riportati i risultati della prova di flessione su lastra. Si osserva che la presenza di fibre non peggiora la resistenza alla flessione delle piastre, e in particolare si nota un miglioramento della piastra con l'1% di fibre, dove la resistenza arriva quasi a 3 kNm rispetto al valore di riferimento con una resistenza di circa 2 kNm.

	<b>Fuerza rotura (kN)</b>	<b>Momento resistente (kNm)</b>
<b>RIFERIMENTO</b>	12	2,10
<b>YG-0,5%</b>	13	2,27
<b>YG-1%</b>	17	2,97
<b>YG-1,5%</b>	12	2,10
<b>YG-2%</b>	12	2,10

Tabella 4.10: Risultati della prova a flessione sulle piastre

#### 4.11 Comportamento termico

Nella Tabella 4.11 sono indicati i risultati delle prove termiche. Le temperature indicate sono la media aritmetica delle misure della temperatura rilevate ogni 30 secondi per un tempo totale di mezz'ora.

	$\lambda$ (W/m°C)	T <sub>int, media</sub>	T <sub>2,media</sub>	T <sub>3,media</sub>	T <sub>4,media</sub>
<b>RIFERIMENTO</b>	0,2646	58,28	55,20	49,54	22,55
<b>YG-0,5%</b>	0,2390	58,58	56,06	49,87	23,18
<b>YG-1%</b>	0,2015	59,421	56,611	49,431	23,367
<b>YG-1,5%</b>	0,2012	61,03	58,38	50,68	22,77
<b>YG-2%</b>	0,1954	60,85	58,17	50,32	22,68

Tabella 4.11: Risultati della prova termica

#### 4.12 Assorbimento acustico

Nella Tabella 4.12 sono riportati i risultati delle prove acustiche, che si possono vedere dal Grafico 4.23, al Grafico 4.27.

Hz	RIFERIMENTO	YG-0,5	YG-1	YG-1,5	YG-2
<b>100</b>	0,143	0,093	0,085	0,070	0,110
<b>125</b>	0,116	0,114	0,117	0,092	0,151
<b>160</b>	0,164	0,156	0,141	0,102	0,144
<b>200</b>	0,062	0,066	0,039	0,036	0,053
<b>250</b>	0,016	0,015	0,000	0,002	0,006
<b>315</b>	0,011	0,008	0,000	0,000	0,001
<b>400</b>	0,083	0,069	0,025	0,025	0,039
<b>500</b>	0,120	0,091	0,046	0,038	0,059
<b>630</b>	0,116	0,066	0,020	0,021	0,034
<b>800</b>	0,099	0,047	0,014	0,015	0,026
<b>1000</b>	0,094	0,058	0,031	0,026	0,043
<b>1250</b>	0,073	0,052	0,034	0,026	0,044
<b>1600</b>	0,056	0,046	0,030	0,026	0,046
<b>2000</b>	0,047	0,043	0,026	0,025	0,047
<b>2500</b>	0,055	0,056	0,037	0,034	0,057
<b>3150</b>	0,088	0,087	0,076	0,057	0,093
<b>4000</b>	0,095	0,094	0,090	0,063	0,102
<b>5000</b>	0,083	0,079	0,075	0,053	0,089

Tabella 4.12: Risultati della prova di assorbimento acustico

Nel Grafico 4.23 è illustrato il comportamento rispetto all'assorbimento acustico dei provini senza contenuto di fibre. Si nota come nessuna frequenza raggiunga un assorbimento che arrivi a 0,1, avendo un assorbimento maggiore alle medie e alte frequenze però, in ogni caso, con una differenza molto piccola (quasi irrilevante).

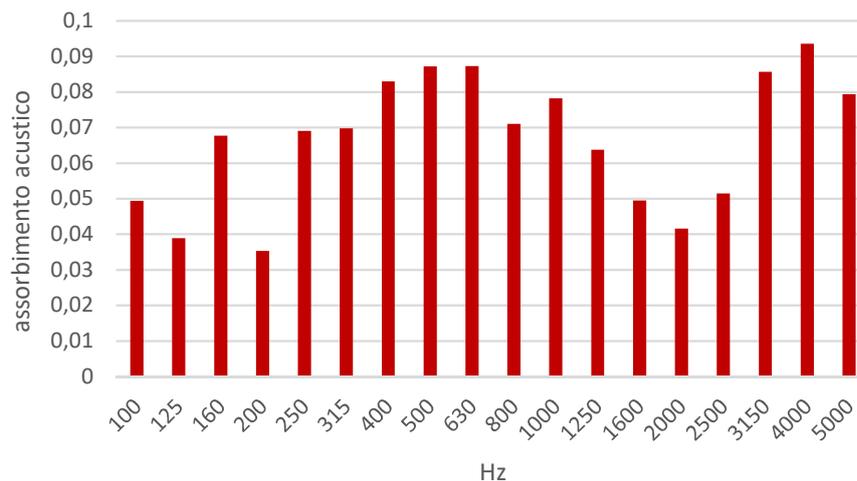


Grafico 4.23: Assorbimento acustico medio dei provini di riferimento senza fibre

Nel Grafico 4.24 è illustrato il comportamento rispetto all'assorbimento acustico dei provini con contenuto di fibre del 0,5%. Si osserva che anche in questo caso l'assorbimento è poco rilevante quasi a tutte le frequenze, non arrivando a 0,1, fatta eccezione per le basse frequenze dove si supera leggermente questo valore.

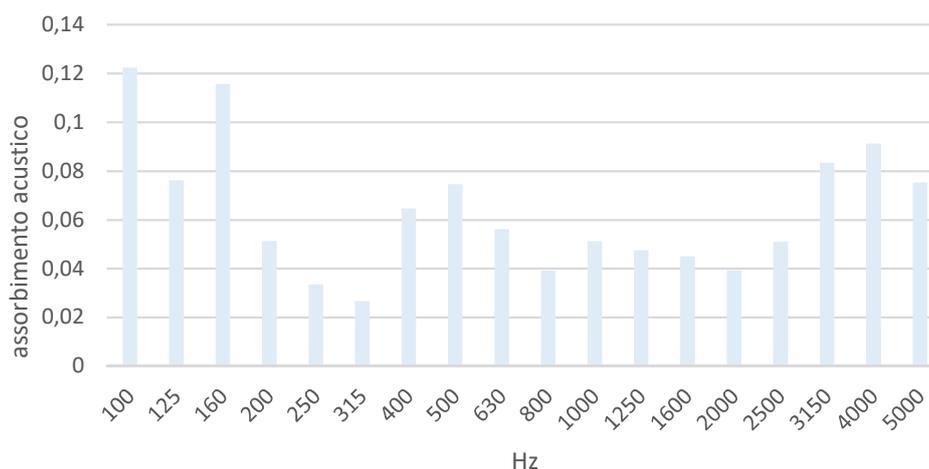


Grafico 4.24: Assorbimento acustico medio dei provini di con 0,5% in peso di fibre

Nel Grafico 4.25 è illustrato il comportamento rispetto all'assorbimento acustico dei provini con contenuto di fibre del 1%. Si osserva che anche in questo caso l'assorbimento è irrilevante quasi a tutte le frequenze, non arrivando a 0,1, fatta eccezione per le basse frequenze dove si supera leggermente questo valore. Si nota che alle frequenze di 250 e 315 Hz, il coefficiente di assorbimento è pari a zero.

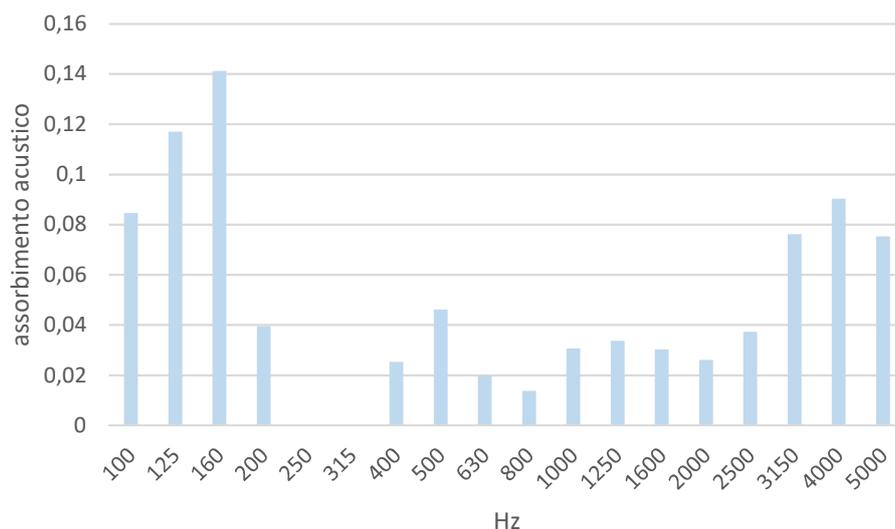


Grafico 4.25: Assorbimento acustico medio dei provini di con 1% in peso di fibre

Nel Grafico 4.26 si illustra il comportamento rispetto all'assorbimento acustico dei provini con contenuto di fibre del 1,5%. Si osserva che anche in questo caso l'assorbimento è irrilevante quasi a tutte le frequenze, non arrivando a 0,1, fatta eccezione per le basse frequenze dove si supera leggermente questo valore.

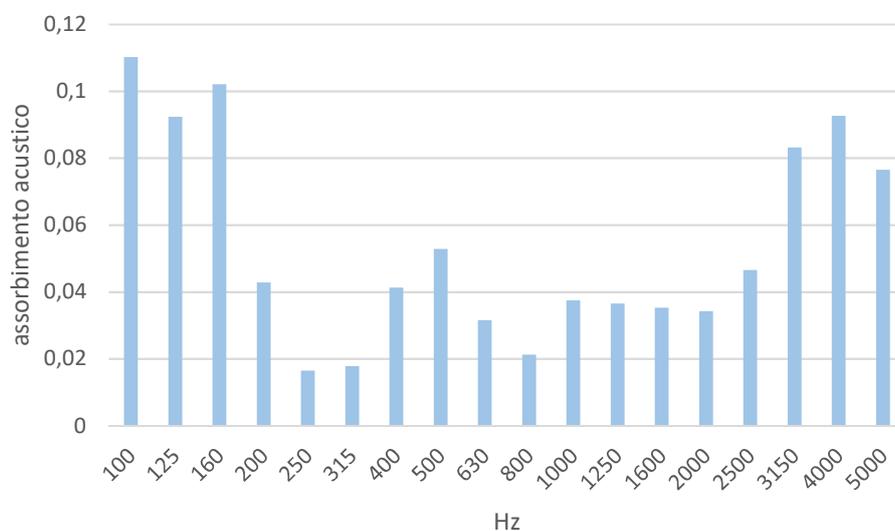


Grafico 4.26: Assorbimento acustico medio dei provini di con 1,5% in peso di fibre

Nel Grafico 4.27 si illustra il comportamento rispetto all'assorbimento acustico dei provini con contenuto di fibre del 2%. Si osserva che anche in questo caso l'assorbimento è irrilevante quasi a tutte le frequenze, non arrivando al valore 0,1, fatta eccezione per le basse frequenze dove si supera leggermente questo valore. Si nota che alle frequenze di 250 e 315 Hz, il coefficiente di assorbimento è prossimo a zero, come nei provini con l'1% di fibre. Con questa percentuale di fibre si nota un piccolo incremento di assorbimento a basse e alte frequenze rispetto agli altri provini.

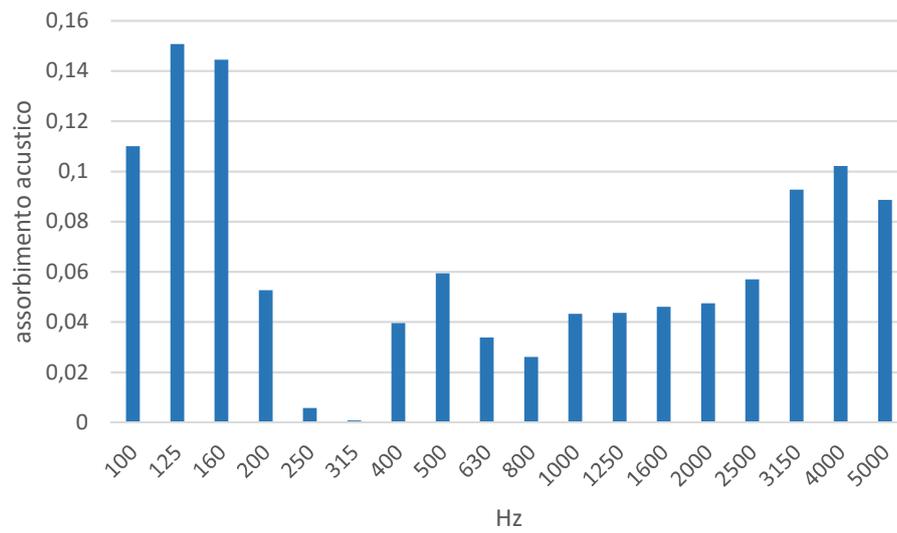


Grafico 4.27: Assorbimento acustico medio dei provini di con 2% in peso di fibre

5.1 Densità apparente

Il Grafico 5.1 riporta la percentuale di peso residuo dopo 7 giorni di essiccazione. Si osserva che, con un contenuto di fibre più elevato i provini conservano un minore peso dopo l'essiccazione. Questo è dovuto al fatto che le fibre di salviette assorbono più acqua al momento della miscelazione, e al momento dell'essiccazione quest'acqua evapora facendo perdere più peso rispetto ai provini privi di fibre.

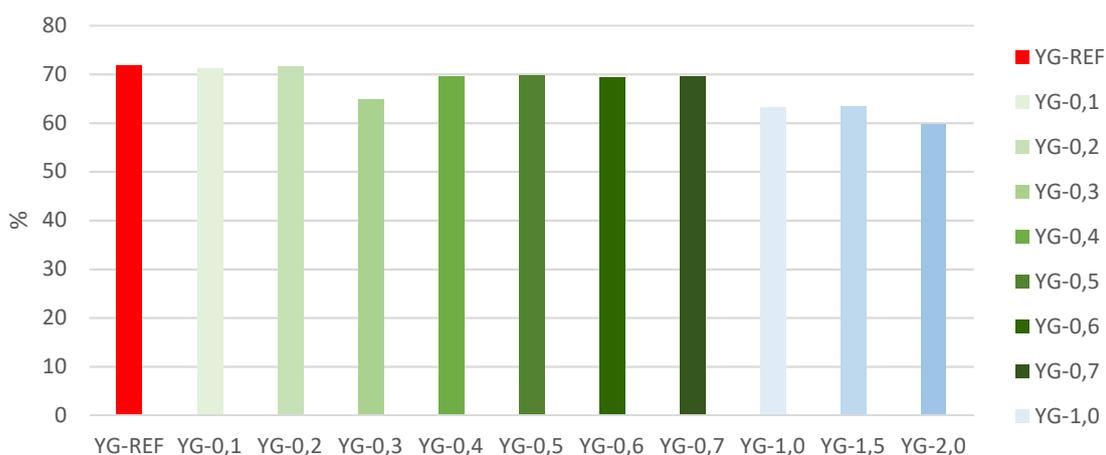


Grafico 5.1: % Peso residuo medio dei provini di gesso essiccati

La densità apparente media dei provini calcolata a 7 giorni dopo la rimozione dei provini è rappresentata nel Grafico 5.2. Si nota che la densità apparente diminuisce con l'aumento del contenuto di fibre. La loro diminuzione non è lineare, ma si può osservare che i provini con percentuale di fibre superiore a 1% hanno una densità apparente dell'ordine di 900-1000 kg/m<sup>3</sup>, inferiore a quella dei campioni di riferimento. È in qualche modo "atteso" che un provino contenente materiali "leggeri" abbia una massa volumica apparente minore rispetto a quelli senza materiali leggeri inclusi.

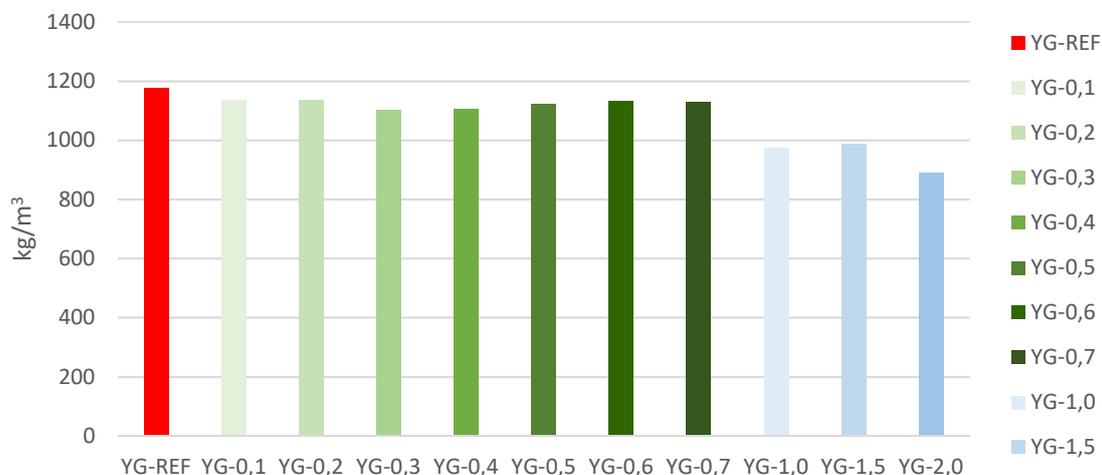


Grafico 5.2: Densità apparente dei provini di gesso

## 5.2 Durezza superficiale

Le durezze medie dei provini elaborati sono confrontate nel Grafico 5.3. Si osserva che la durezza superficiale diminuisce con l'aumento del contenuto di fibre, con eccezione della percentuale del 0,7%, dove la durezza superficiale rimane uguale ai provini di riferimento privi di fibre.

In confronto alla scheda tecnica del gesso utilizzato, dove si indica che la durezza superficiale è di 45 (Shore C), il nostro prodotto raggiunge questa durezza superficiale indipendentemente dalla percentuale di fibre aggiunte.

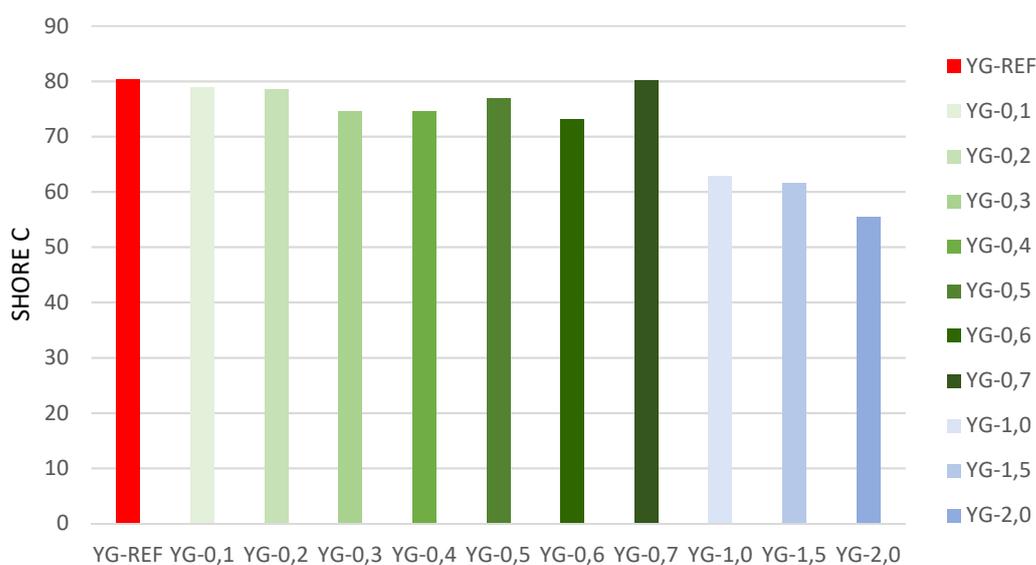


Grafico 5.3: Durezza superficiale media

## 5.3 Comportamento a flessione

Il Grafico 5.4 confronta il comportamento in flessione dei provini più rappresentativi, mentre il Grafico 5.5 confronta la resistenza a flessione media dei vari provini studiati.

Si nota dal primo grafico come il comportamento a flessione si modifica con la presenza di fibre. Queste permettono di sopportare ancora una resistenza dopo la rottura, che è maggiore a seconda del contenuto di fibre. C'è anche un salto di resistenza minore quando c'è più contenuto di fibre e la rottura fragile dei provini di riferimento si trasforma in duttile con l'aumentare del contenuto di fibre.

La resistenza a flessione diminuisce con l'aumentare del contenuto di fibre, diminuendo dell'ordine di 2,2 N/mm<sup>2</sup> per le percentuali di 1 e 1,5% di fibre e di 1,6 N/mm<sup>2</sup> per l'aggiunta del 2% di fibre. Non c'è quindi un rapporto lineare tra l'aumento della percentuale di fibre e la diminuzione della resistenza a flessione.

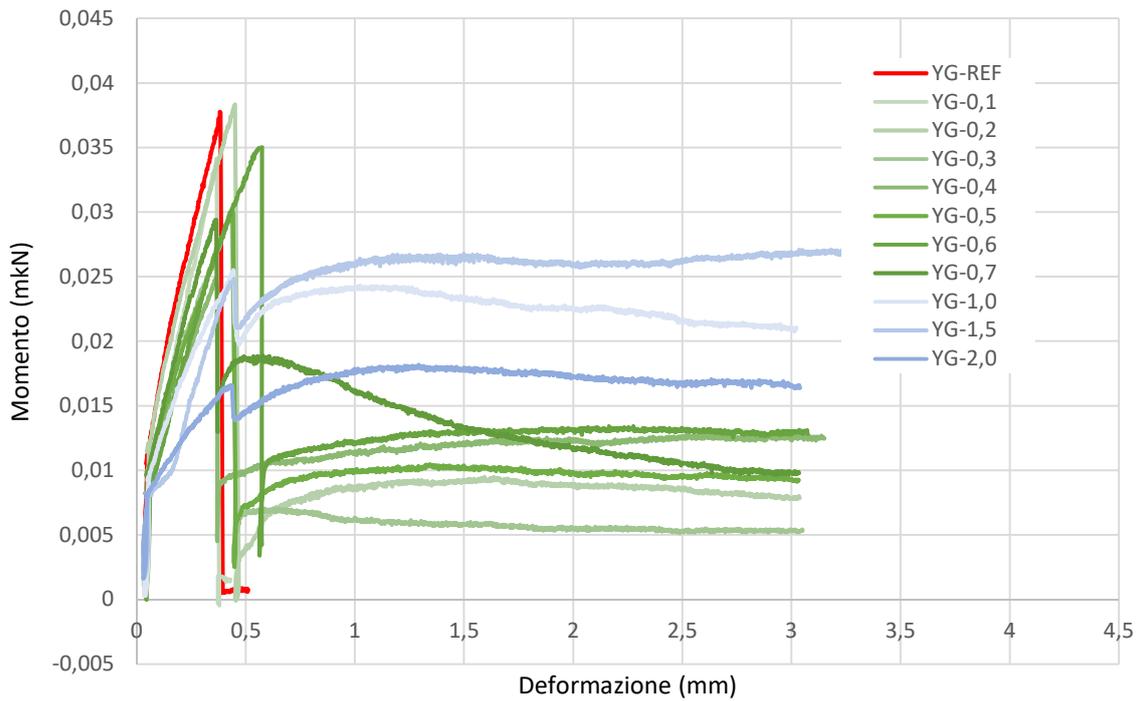


Grafico 5.4: Confronto del comportamento alla flessione dei provini più rappresentative

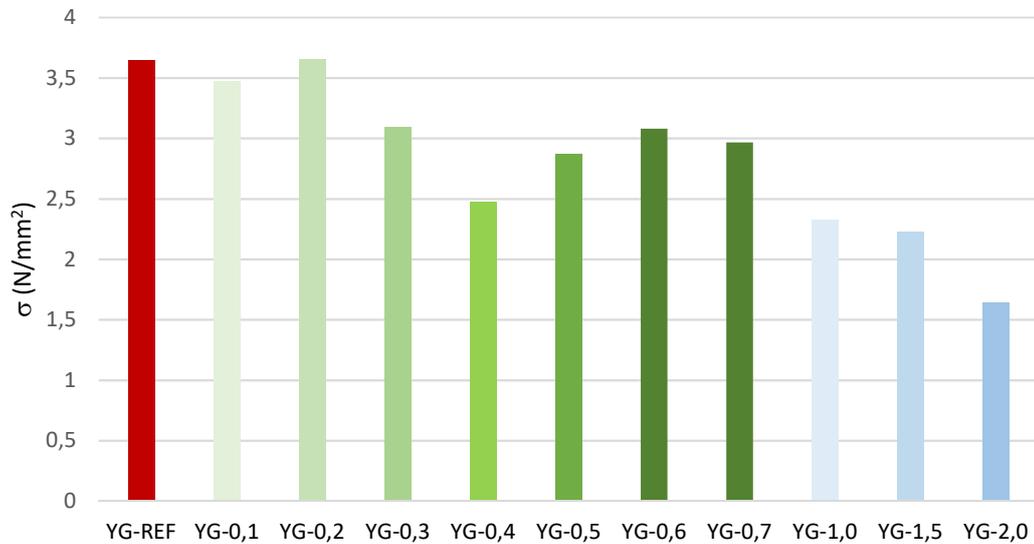


Grafico 5.5: Confronto della resistenza a flessione media dei provini

Nelle immagini seguenti si può osservare come le fibre di salviettine resistono dopo la rottura del gesso a flessione. Nella Fig. 5.1 si vede che durante la prova il provino mantiene una resistenza a flessione, a differenza dei provini di riferimento che si sono rotti in modalità fragile non mantenendo più alcuna resistenza dopo la rottura. Lo stesso si può dire per i provini con 0,1% di salviettine. Con percentuali più elevate il tipo di rottura e il comportamento dei provini a flessione si trasformano.



Fig. 5.1: Provino in flessione (1,5% di fibre di salviettine)

Nella Fig. 5.2 si può osservare come la presenza delle fibre renda possibile, dopo la prova a flessione dove si raggiunge una deformazione di 3 mm, il provino non si rompa completamente, mantenendo una certa resistenza.



Fig. 5.2: Il provino dopo prova in flessione (1,5% di fibre di salviettine)

La Fig. 5.3 illustra le fibre di salviettine che agiscono durante la prova di flessione. Il provino deve essere stato rotto a mano dopo la prova, in quanto la prova medesima non è risultata completamente distruttiva per il provino.

La norma AENOR, *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción, UNE-EN13279-1*, (2006) indica che la resistenza a flessione di una malta di gesso deve essere  $>1\text{N/mm}^2$ , e questo è rispettato nel prodotto con tutte le percentuali di fibre studiate.

La scheda tecnica del prodotto del gesso utilizzato indica che questo deve avere una resistenza a flessione  $>2\text{N/mm}^2$ . Questo valore è rispettato per tutte le percentuali di aggiunta di salviette, tranne per il 2%.



Fig. 5.3: Salviettine che resistono alla flessione nel mezzo della provetta, quindi alla rottura del gesso (1,5% di fibre di salviettine)

#### 5.4 Comportamento a compressione

Nel Grafico 5.6 è posto a confronto il comportamento a compressione dei provini più rappresentativi delle varie percentuali studiate, Nel Grafico 5.7 sono confrontate le tensioni medie massime normali dei provini più rappresentativi delle varie percentuali studiate.

Nelle prove di compressione si osserva principalmente il cambiamento di comportamento del gesso quando è raggiunta la tensione massima. Nei campioni privi di fibre, la tensione diminuisce con l'aumentare della deformazione, ma con l'aumentare della percentuale di fibre, superando l'1% di contenuto, la tensione si mantiene costante o aumenta leggermente rispetto a quella di rottura. È anche importante notare che la resistenza massima diminuisce con l'aumentare della percentuale di fibre, raggiungendo diminuzioni del l'ordine del 68% per percentuali di fibre del l'1 e del l'1,5% e del 75% per la percentuale del 2%.

In confronto con la scheda tecnica del prodotto e la norma AENOR, *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción, UNE-EN13279-1*, (2006) che indicano che la resistenza alla compressione di malte di gesso deve essere  $>2 \text{ N/mm}^2$ , il nostro prodotto la ottiene con qualsiasi percentuale studiata, raggiungendo il valore limite con la percentuale del 2% di fibre aggiunte.

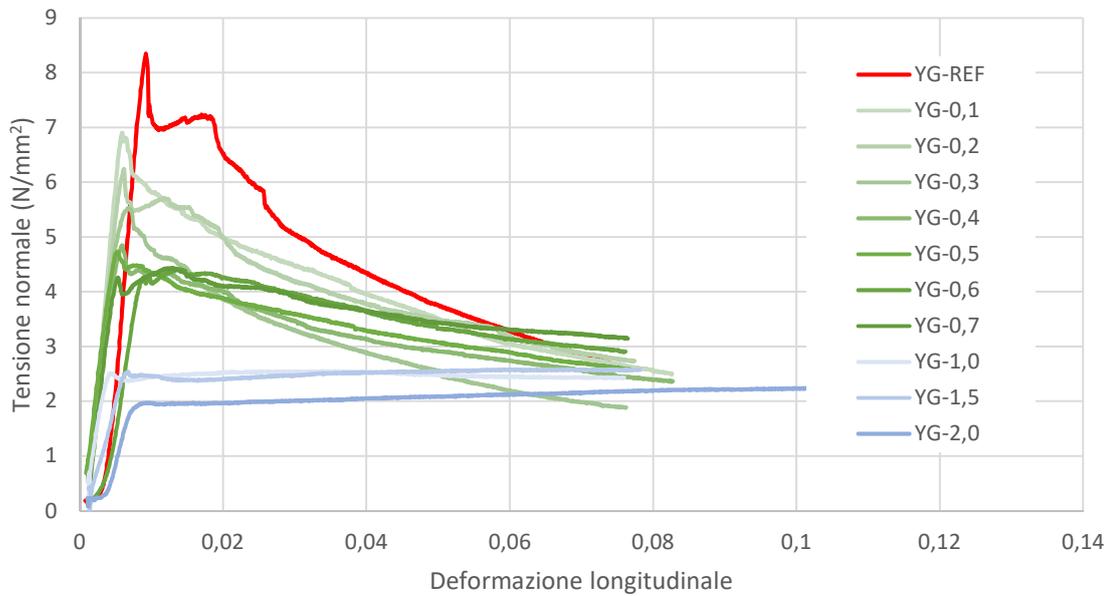


Grafico 5.6: Confronto del comportamento a compressione dei provini più rappresentative

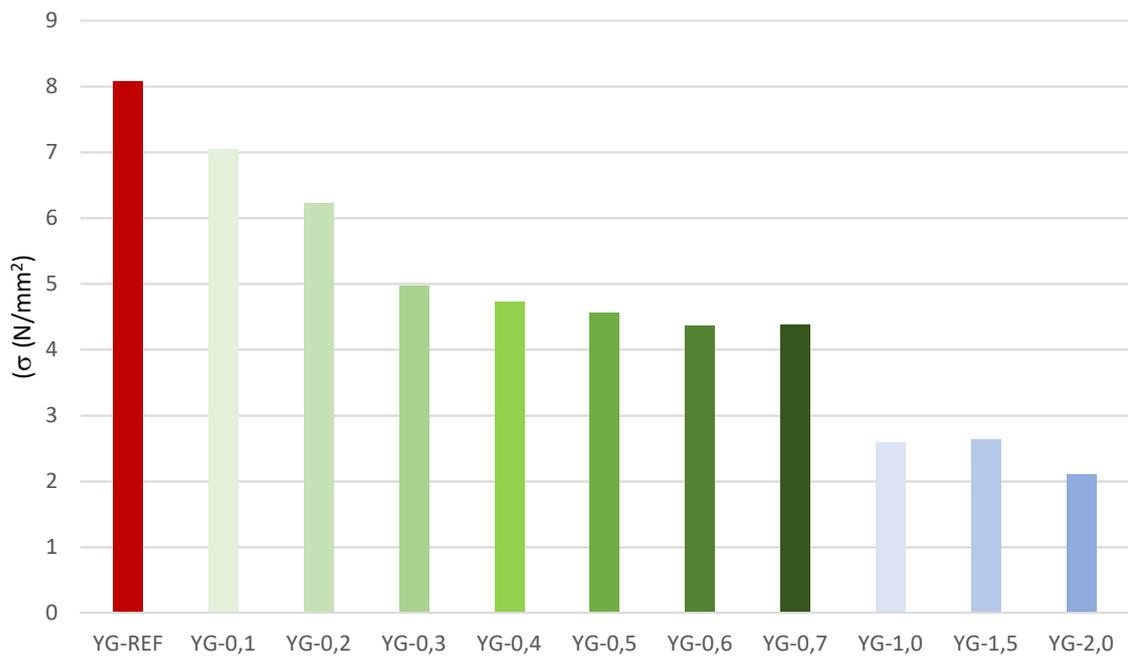


Grafico 5.7: Confronto tra la tensione media normale massima dei provini sottoposte a prova

La Fig. 5.4 illustra come alla fine della prova di compressione, grazie alla presenza delle fibre, la provetta non si è rotta completamente e continua a mantenere una propria resistenza; nei casi in cui la presenza di fibre di salviettine è pari o superiore all'1%, tale resistenza aumenta in rapporto alla deformazione applicata al provino.



Fig. 5.4: Provetta durante la prova di compressione (1,5% di fibre di salviettine)

La Fig. 5.5 mostra la condizione della provetta con 1,5% di fibre di salviettine dopo la prova. Si nota che non si è rotto completamente e questo risultato è legato alla quantità di fibre aggiunte. Mentre i provini senza fibre si sono completamente distrutti, questi hanno mantenuto sempre più una conformazione più vicina a quella iniziale a seconda di quante più fibre contenevano.



Fig. 5.5: Provetta dopo la prova di compressione (1,5% di fibre di salviettine)

La fig. 5.6 mostra le presenti nei provini elaborati per la prova di compressione e che permettono al materiale di non rompersi completamente mantenendo una propria resistenza. I provini fotografati sono stati rotti a mano per mostrare le fibre, ma di fatto la prova non ha ridotto i provini allo stato di frantumi



Fig. 5.6: Provini rotti a mano per poterne osservare delle fibre interne

## 5.5 Prove di impatto

Il Grafico 5.8 confronta i risultati ottenuti dalle prove di impatto. Si può osservare che con il provino contenente lo 0,5% di fibre di salviettine si ottiene un miglioramento della resistenza all'impatto, con una profondità inferiore al valore di riferimento. Si osserva che con una maggiore presenza di fibre di salviettine il comportamento all'impatto peggiora.

Si nota che il comportamento varia quasi in modo lineare in funzione della percentuale di fibre, fatta eccezione per il provino con 0,5% di fibre, che mostra una profondità di impatto minore di quella che ci si aspettava.

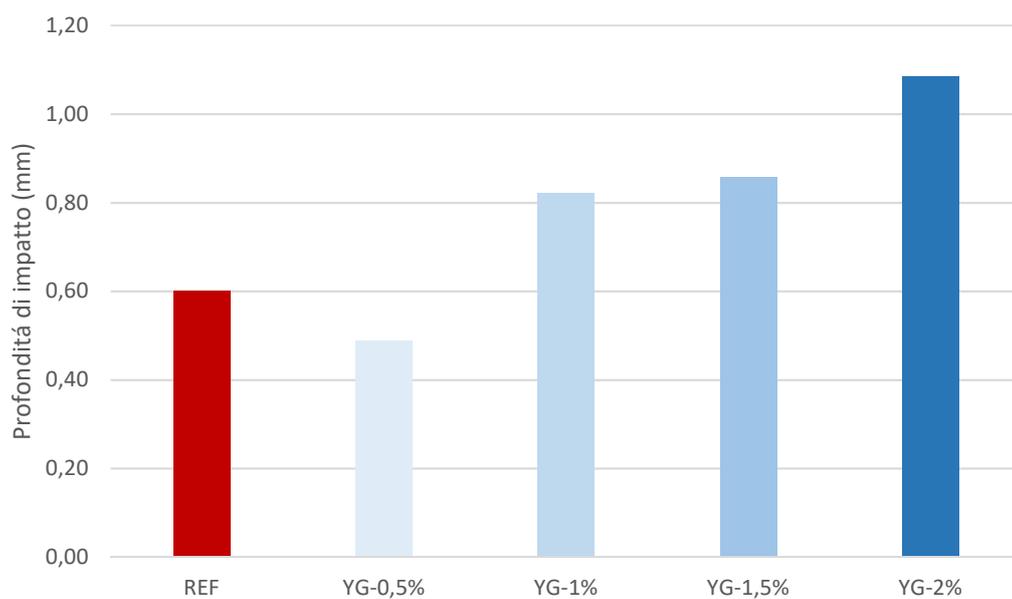


Grafico 5.8: Risultati profondità d'impatto

## 5.6 Assorbimento di acqua per capillarità

Sono messi a confronto i risultati di assorbimento per capillarità nei Grafici 5.9 e 5.10 dove si osserva che l'assorbimento cresce linearmente in funzione del contenuto di fibre, con eccezione del campione con 1% di fibre, dove l'assorbimento è maggiore rispetto agli altri provini studiati.

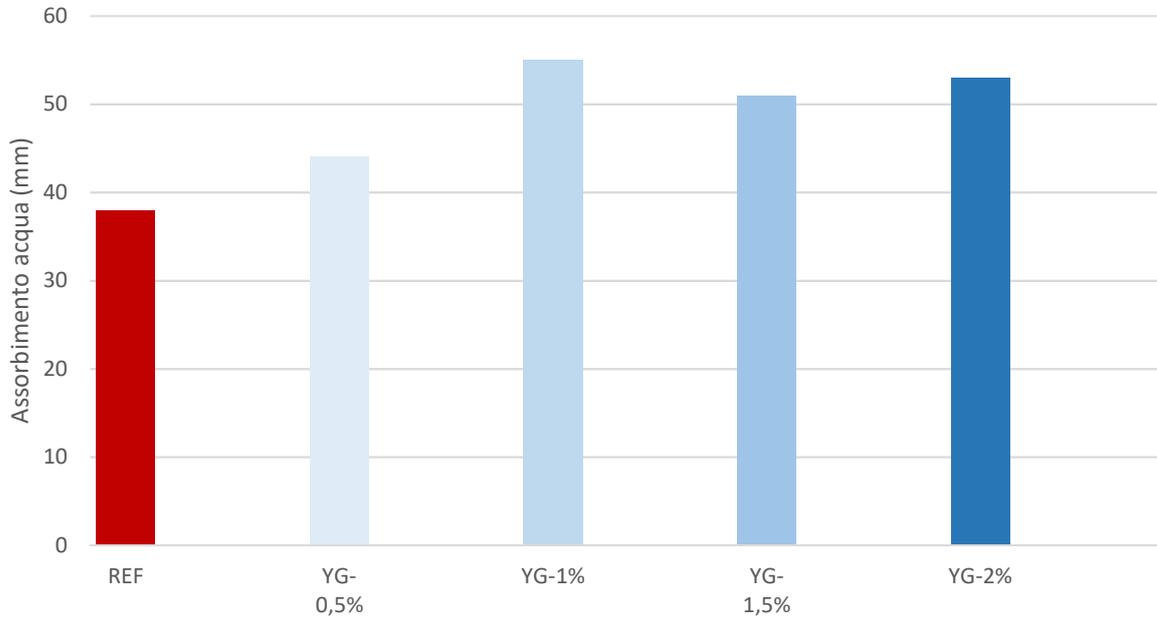


Grafico 5.9: Risultati dell'aumento medio dell'acqua per capillarità

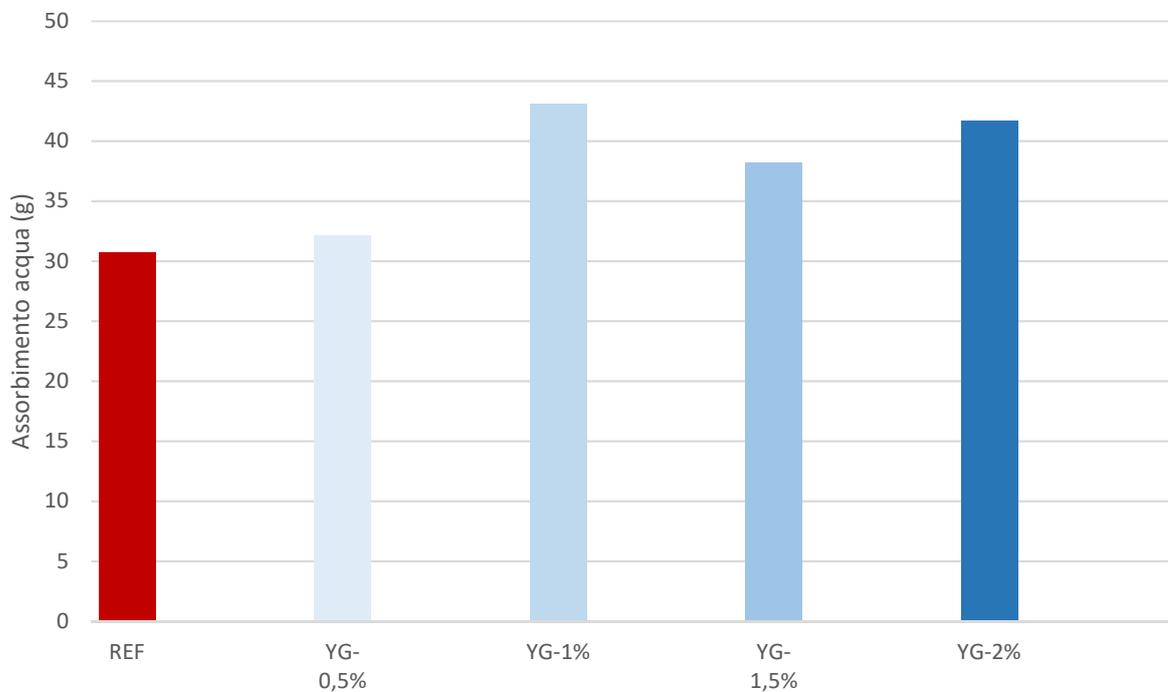


Grafico 5.10: Assorbimento d'acqua per capillarità in peso

## 5.7 Permeabilità al vapore acqueo

Nel seguente Grafico 5.11 sono comparati i fattori di resistenza alla diffusione del vapore acqueo. Si può osservare che questo fattore diminuisce fino alla percentuale dell'1%, poi con più contenuto di fibre questo valore aumenta.

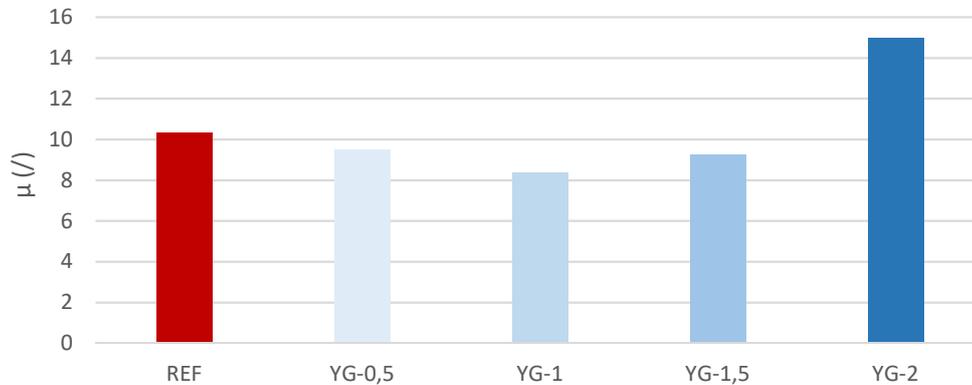


Grafico 5.11: Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo

La scheda tecnica del prodotto indica che la malta di gesso dovrebbe avere un valore minimo di  $\mu=6$  (adim.). I nostri campioni superano questi valori in tutte le percentuali studiate, arrivando a superare il doppio di quel valore nei provini con 2% di contenuto di fibre. Questo è un fattore positivo per il nostro studio, perché abbiamo trovato che con la percentuale del 2% di fibre il prodotto che ha una buona resistenza alla diffusione del vapore acqueo.

## 5.8 Aderenza

I risultati delle prove di aderenza sono confrontati nel Grafico 5.12, dove è evidente che la presenza di fibre di salviettine riduce la capacità di aderenza dei provini. Quello che si comporta meglio è quello che ha 1,5% di fibre, che comunque ha un'aderenza inferiore al provino di riferimento.

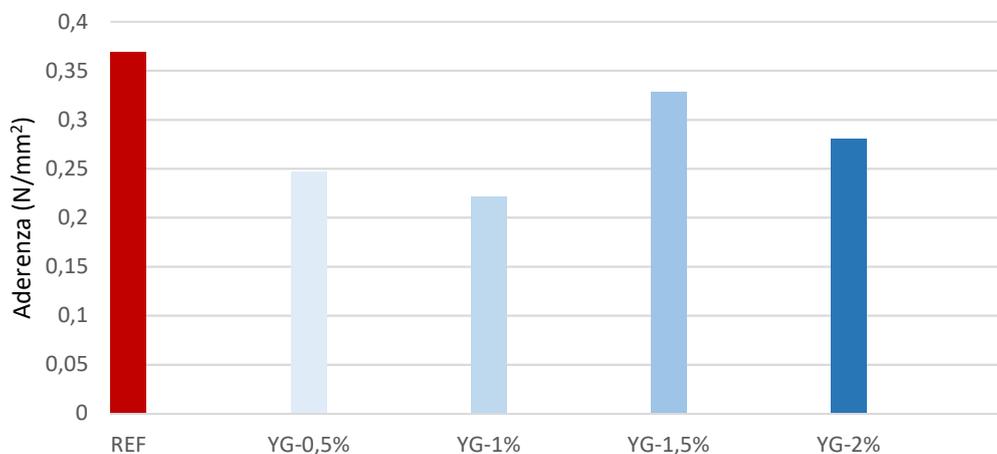


Grafico 5.12: Risultati prova di aderenza

In confronto con la scheda tecnica del prodotto e la norma AENOR, *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción, UNE-EN13279-1, (2006)* che indicano che la resistenza di aderenza della malta di gesso deve essere  $>0,1 \text{ N/mm}^2$ , il nostro prodotto lo ottiene con qualsiasi percentuale studiata.

## 5.9 Flessione su piastre

Il Grafico 5.13 confronta i risultati della prova a flessione su lastre. Si osserva che la presenza di fibre non peggiora la resistenza alla flessione delle piastre, ed in particolare si nota un miglioramento nella lastra con l'1% di fibre, dove la resistenza arriva quasi a 3 kNm. Si osserva un miglioramento fino al provino con 1%, con le successive modifiche di percentuali nella miscela di fibre la resistenza assume un andamento decrescente.

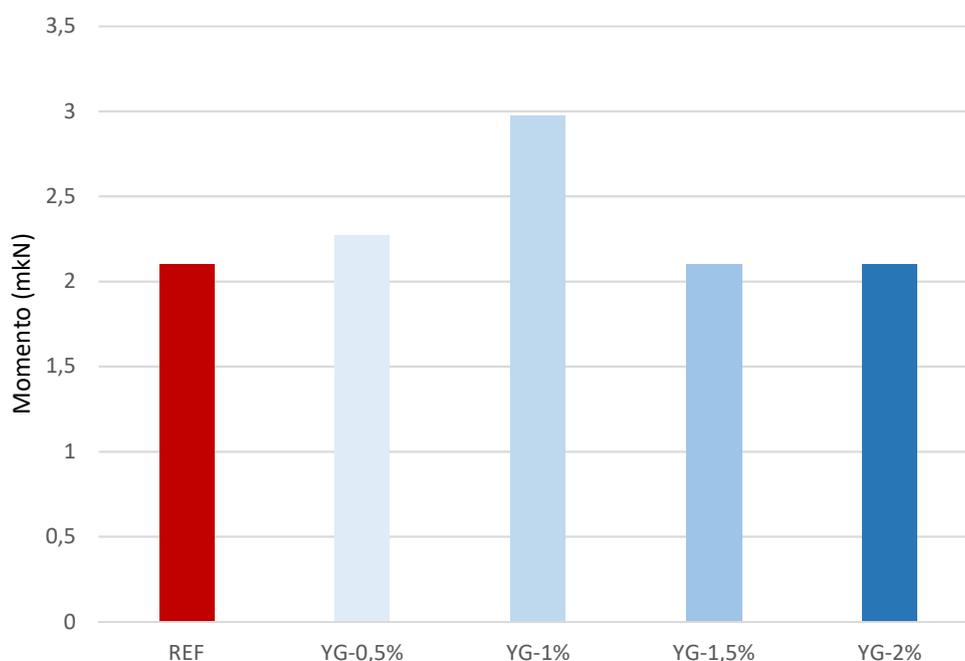


Grafico 5.13: Momento resistente sulle piastre

Come si può vedere nelle Fig. 5.7 e 5.8 (a) le piastre con fibre di salviettine non si rompono completamente, rimanendo insieme dopo la rottura del gesso. Nella Fig. 5.8 (b) si osserva come la piastra di riferimento priva di fibre si rompe completamente e viene separata in due pezzi. La presenza di salviettine fa sì, che si mantenga una resistenza che non permette la separazione del provino in due pezzi.



Fig. 5.7: Piastra spezzata con tamponi durante la prova

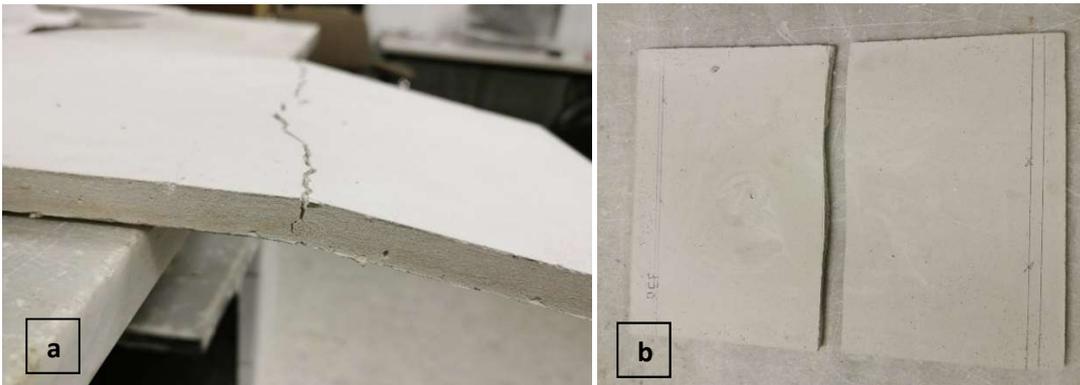


Fig. 5.8: Piastra con 1,5% di fibre dopo la prova (a) e piastra senza fibre dopo la prova (b)

### 5.10 Comportamento termico

Di seguito, nel Grafico 5.14 sono messe a confronto le conduttività termiche ottenute nelle prove. Si può osservare che la presenza di fibre riduce la conduttività e, di conseguenza, il flusso di calore che passa attraverso il materiale. Questo fattore è un risultato di rilevante importanza, che conferisce al nostro materiale un miglior isolamento termico rispetto al gesso senza fibre aggiunte. Dai provini sottoposti alla prova si può osservare che all'aumentare della presenza di fibre si produce una riduzione della conduttività termica e, di conseguenza un maggiore isolamento termico, arrivando a ottenere valori di conduttività inferiore a 0,2 (W/mK) nel provino con 2% di fibre.

Nella scheda tecnica del prodotto la conducibilità termica indicata è di 0,3 (W/mK) e si può osservare che in tutti i casi delle nostre prove la conducibilità è inferiore a questo valore, ottenendo così un isolamento termico migliore.

La norma AENOR, *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción, UNE-EN13279-1, (2006)* ci indica i valori di conducibilità termica che una malta di gesso dovrebbe avere in funzione della sua densità. Confrontando questi valori si osserva che il nostro prodotto ha una conducibilità inferiore al valore indicato nella norma, su tutti i campioni, rispettando così la loro conformità con quest'ultima.

Più precisamente i nostri prodotti hanno una densità che varia tra 1200 kg/m<sup>3</sup> per il riferimento e 800 kg/m<sup>3</sup> per la provetta con 2% di fibre, e i valori limite di conducibilità sono rispettivamente 0,43 e 0,26 (W/mK).

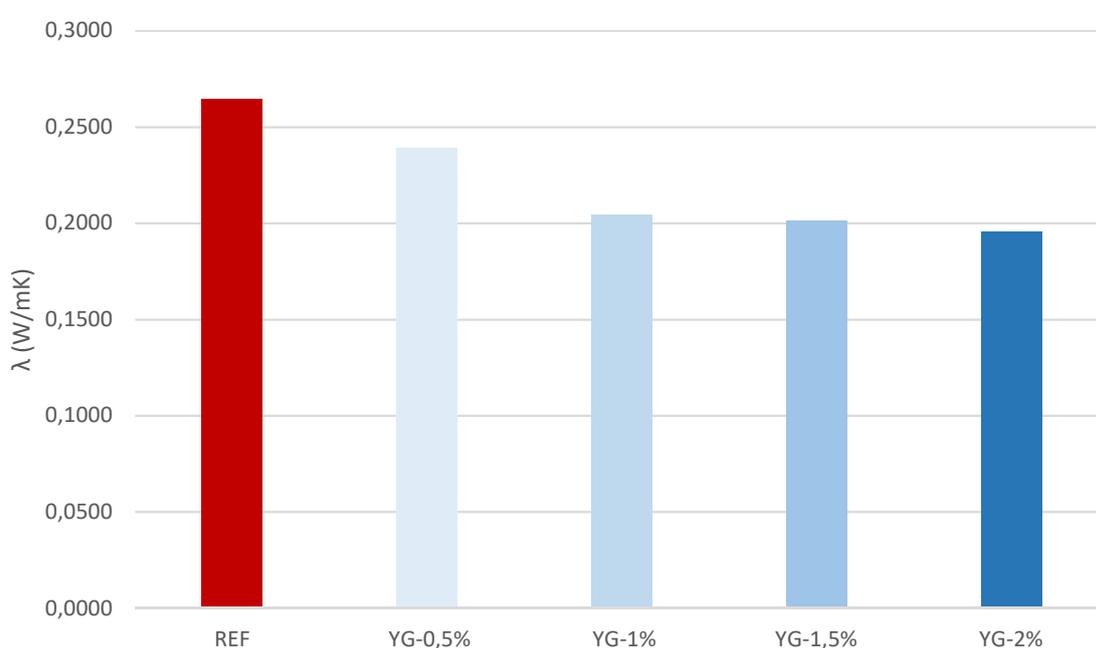


Grafico 5.14: Confronto delle conduttività termiche dei provini

### 5.11 Assorbimento acustico

Nel Grafico 5.15 sono confrontati l'assorbimento acustico di ciascun provino per frequenza e si può osservare che la presenza di fibre di salviettine migliora l'assorbimento a basse frequenze. Il dosaggio del 2% di salviettine è quello che meglio si comporta rispetto agli altri dosaggi di fibre, avendo un comportamento migliore del riferimento sia per basse che per alte frequenze. Per le medie frequenze la presenza di fibre di salviettine peggiora l'assorbimento acustico.

Tutti questi miglioramenti/peggioramenti sono trascurabili per l'assorbimento acustico complessivo del materiale studiato.

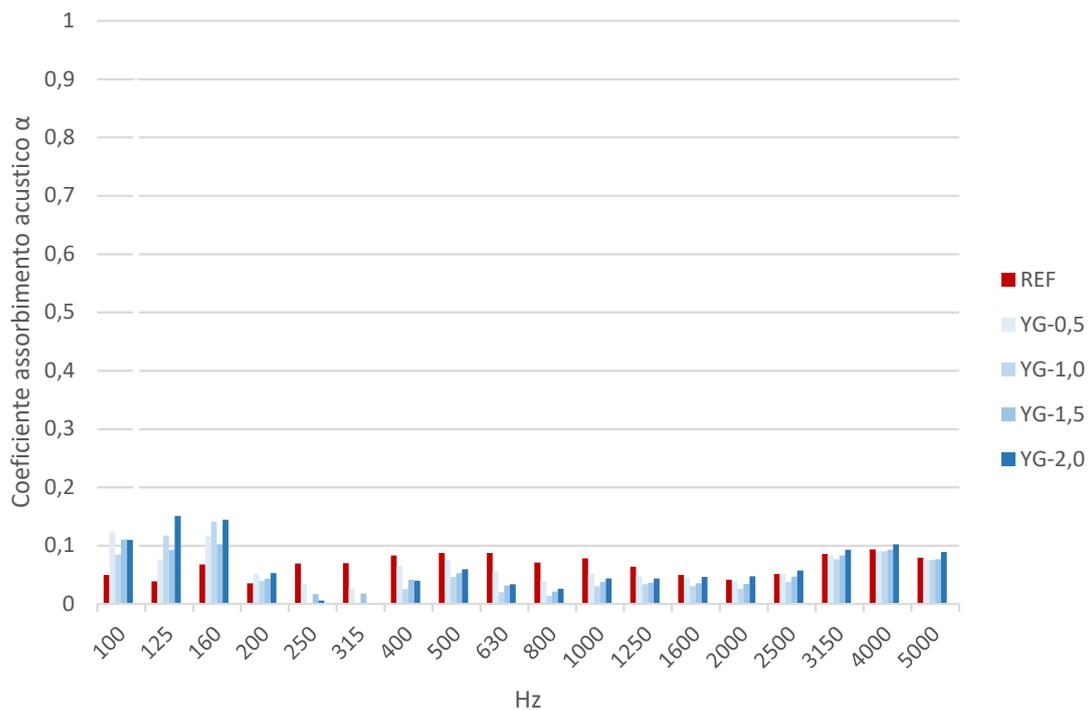


Grafico 5.15: confronto del l'assorbimento acustico medio dei provini

Il grafico è stato impostato in scala con il valore massimo di  $\alpha=1$ , che sarebbe il valore massimo di assorbimento acustico che si può raggiungere in un materiale. Con questa scala si risalta il fatto che l'assorbimento acustico del nostro materiale è relativamente basso a qualsiasi frequenza, e con ciò, si può affermare che questo prodotto non può essere considerato un buon assorbente acustico.

## CAPITOLO VI CONCLUSIONI

Una volta realizzata l'analisi dei risultati ottenuti nella presente ricerca, sono state delineate le seguenti conclusioni:

- L'aggiunta di fibre di salviette riduce la densità del gesso, raggiungendo una diminuzione del 25% in massa per una percentuale di salviettine del 2%, in comparazione con i provini senza contenuto di fibre.
- La durezza superficiale del gesso diminuisce con l'aumentare della percentuale di fibre, ma anche nel caso più sfavorevole rimane superiore a quanto indicato nella scheda tecnica del prodotto di riferimento.
- L'aggiunta di fibre riduce la resistenza a flessione nel gesso, ma anche con il 2% di salviettine, la resistenza è superiore a  $>1\text{N/mm}^2$ , limite stabilito dalla norma.
- La presenza di fibre fa del gesso un materiale più duttile nel quale si evita il distacco degli elementi al momento della rottura.
- La resistenza a compressione del gesso diminuisce con l'aumentare della percentuale di fibre, ma in tutti i casi la resistenza è pari o superiore a  $2\text{ N/mm}^2$ , limite stabilito dalla norma.
- Il gesso con una percentuale di fibre del 0,5% è quello che meglio si comporta all'impatto, diminuendo man mano che aumenta la percentuale di salviettine.
- L'assorbimento di acqua per capillarità del gesso aumenta con l'aumentare della percentuale di fibre, mentre il gesso con una percentuale dell'1% di fibre è quello che peggio si comporta.
- La resistenza alla diffusione del vapore acqueo raggiunge il suo valore più elevato per una percentuale di fibre del 2%.
- L'aderenza del gesso diminuisce con l'aumentare della percentuale di fibre, ma resta sempre al di sopra del limite fissato dalla norma. La percentuale di salviettine che si comporta meglio è quella dell'1,5%.
- Nella prova a flessione sulle lastre, la percentuale dell'1% di fibre è quella che ottiene la maggiore resistenza tra le percentuali studiate.
- A livello termico, la presenza di fibre migliora il comportamento del materiale, diminuendo la conducibilità termica con l'aumentare della quantità di fibre. Tutti i gessi con percentuali di fibre studiate si trovano dentro i limiti imposti dalla norma.
- Sotto il profilo acustico, non si osservano miglioramenti/peggioramenti evidenti, ma un piccolo assorbimento maggiore nelle basse frequenze, superando di poco il valore di  $\alpha=0,1$  per queste frequenze.
- In base alle conclusioni delineate in precedenza si può affermare che l'aggiunta di salviettine alla malta di gesso in una percentuale del 2%, è un'alternativa che, soddisfacendo i requisiti necessari per questo tipo di materiale edilizio, contribuisce al miglioramento di un problema ambientale.

## CAPITOLO VII FUTURE LINEE DI RICERCA

Per proseguire il lavoro fatto in questa Tesi di Laurea Magistrale, si potrebbero studiare comportamenti e variabili che non sono stati studiati fino a questo momento, per esempio:

- Studiare le percentuali di contenuti di fibra intermedie a quelli usati in questa ricerca (per esempio 0,25-0,75-1,25-1,75).
- Studiare la durabilità del materiale in condizioni normali e in condizioni particolari di laboratorio (temperatura, umidità, etc.).
- Studiare il comportamento di queste malte di gesso con diversi rapporti acqua/gesso.
- Studiare l'isolamento acustico del materiale ideato.

## CAPITOLO VIII RINGRAZIAMENTI

Vorrei ringraziare tutte le persone che mi sono state vicine in questi anni e mi hanno incoraggiato in questo corso di studi. In primo luogo, la professoressa Maria Isabel Prieto che mi ha seguito nello svolgimento intero della tesi insieme a Santiago Villa, tecnico del laboratorio di materiali nella Scuola Tecnica Superior de Edificación de Madrid, e al professore Marco Zerbinatti che a distanza, da Torino, ha dato il suo contributo nello svolgimento di questa tesi.

Ringrazio tutti i miei compagni di corso a Torino e Madrid, gli amici dell'erasmus, gli amici di Cirié, gli amici di infanzia e tutte le persone con cui ho trascorso questi ultimi 2 fantastici anni.

Ringrazio tutti i miei parenti, per aver creduto nel mio percorso, e in particolare alle nonne Angela e Luisa, che anche non essendoci piú, sarebbero orgogliose di questo obbiettivo raggiunto.

Un ringraziamento particolare va a mia mamma e mio papá, i quali mi hanno sempre supportato e incoraggiato nei momenti piú difficili, senza mai avermi fatto mancare nulla. A loro devo e dedico questo mio nuovo traguardo, con la speranza di rimanere, anche in futuro, capace di non deludere le loro aspettative.

## CAPITULO IX RIFERIMENTI

### 9.1 Bibliografia

- AENOR, *Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros de revoco y enlucido* UNE-EN 1015-19. España (1999).
- AENOR, *Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor* UNE EN 12664. España (2001).
- AENOR, *Materiales de construcción Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor Productos secos y húmedos de baja y media resistencia térmica.* EN12664. España (2001).
- AENOR, *Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia* UNE-EN ISO 10534. España (2002).
- AENOR, *Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido* EN1015-18. España (2002).
- AENOR, *Yesos de construcción y legantes a base de yeso para la construcción, UNE-EN13279-1.* España (2006).
- AENOR, *Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayos.* UNE-EN 520:2005+A1. España (2010).
- AENOR, *Yesos de construcción y legantes a base de yeso para la construcción UNE-EN-13279-2. métodos de ensayo.* España (2014).
- AENOR, *Yesos de construcción y legantes a base de yeso para la construcción, metodos de ensayo.* UNE-EN-13279-2. España (2014).
- ARAUZ, D. D., Evolución de los morteros históricos de yeso al exterior en la España Central. *in actas del sexto congreso nacional de historia de la construcción* (págs. 1329-1336). Valencia: Instituto Juan de Herrera (2009).
- ARAUZ, D. S., Hornos tradicionales de yeso para construcción. *Revista electrónica ReCoPaR*, 76-84, (2014).
- BELLONI., *Salviette umidificate, nuovo nemico dell'ambiente.* In UK progetto per bandirle, (27 giugno 2018) *Londra'Italia il giornale di Londra*, <http://www.londraitalia.com/cronaca/salviettine-umidificate-inquinamento-uk-regno-unito-20180627/>.
- BERMÚDEZ MEDINA, A. L., *Producción de paneles aislantes de celulosa con propiedades antifúngicas en la ciudad de Bucaramanga.* España: Bucaramanga : Universidad de Santander (2018).
- BORGHI, M., *interventi per risanare gli edifici esistenti per raggiungere classi acustiche e termiche piú elevate, criticità e opportunità,* (2010).
- BUSTAMANTE MONTORO, R. G., *Revestimientos Tradicionales de los Patios de Madrid.Soluciones Actuales y Alternativas. 1 jornadas de investigación en edificación,* pag. 191-198, (2005).

- CARRASCAL GARCÍA, M. T., *Caracterización acústica de elementos constructivos habituales en la edificación residencial española, mediante ensayos en obra y en laboratorio. 1 JORNADAS DE INVESTIGACIÓN EN CONSTRUCCIÓN*, pag. 1093-1103, (2005).
- ISPRA, *Carta geologica d'Italia*, Foglio 69, Asti, escala 1:100.000
- DEL YESO, *Problemas claves del confort acústico en España. Mediciones in situ realizadas en edificios construidos con las exigencias del DB-HR*. España: 48º Congreso Español de acústica, (2017).
- DELL'OLIO, L., *Non hanno fogne e depuratori la black list dei Comuni è lunga. La Repubblica*, (15 octubre 2018), [https://www.repubblica.it/economia/affari-e-finanza/focus/2018/10/15/news/non\\_hanno\\_fogne\\_e\\_depuratori\\_la\\_black\\_list\\_dei\\_comuni\\_lunga-208986828/?refresh\\_ce](https://www.repubblica.it/economia/affari-e-finanza/focus/2018/10/15/news/non_hanno_fogne_e_depuratori_la_black_list_dei_comuni_lunga-208986828/?refresh_ce).
- DOMENE, R. F., *El material de yeso: comportamiento y conservación. cuadernos de restauración*, pag. 57-68, (2006).
- DOO-YEOL YOO, M. J. K., *High energy absorbent ultra-high-performance concrete with hybrid steel and polyethylene fibers. Construction and Building Materials*, pag. 354-363, (2019).
- DORADO M. A., F. S., *Caracterización de yesos de elevado aislamiento térmico*. Madrid: CITE, (2019).
- ESTEBAN, A. C. (2001). *Análisis de la situación actual y futura sobre el confort acústico en los edificios. XXXII Congreso Nacional de Acústica, Tecniacústica*.
- F.S. KHALID, J. I., *Performance of plastic wastes in fiber-reinforced concrete beams. Construction and Building Materials*, pag. 451-464, (2018).
- FORTI, P. S., *The gypsum karst of Italy. international journal of speleology*, pag. 239-250, (1996).
- GONZÁLEZ, J., *Caracterización de propiedades intrínsecas acústicas de materiales porosos mediante métodos indirecto. 37º Congreso Nacional de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica-Tecniacústica*.
- GONZALO MÁRMOL, H. S., *Portland cement, gypsum and fly ash binder systems characterization for lignocellulosic fiber-cement,. Construction and Building Materials*, pag. 208-218, (2016).
- GORDILLO, J., *Morteros como elementos de estudio en arqueología-arqueometría medieval. Arqueometría y arqueología medieval*. Granada: pag. 171-192, (2005).
- HERRERA GARCÍA, A., *Incorporación de filamentos de PET reciclado a legantes de yeso y mortero, para crear paneles de yeso ecoeficientes, de aplicación en particiones interiores*, (2018).
- IUCOLANO, F. L., *Thermo-mechanical behaviour of hemp fibers-reinforced gypsum plasters. Construction and Building Materials*, pag. 256-263, (2018).
- JOSE GONCALVES, M. E.-B., *Cellulose nanofibres (CNF) for sulphate resistance in cement based systems. Cement and Concrete Composites*, pag. 100-111, (2019).
- KURTZ, F. L.-M., *Obsolescencia de la envolvente térmica y acústica de la vivienda social de la postguerra española en áreas urbanas vulnerables: El caso de Zaragoza. Informes de la Construcción 67*, pag. 1-17, (2015).
- L.V., *Las toallitas húmedas continúan colapsando el alcantarillado de Cádiz. La voz de Cadiz*, (27 de agosto de 2019), [https://www.lavozdigital.es/cadiz/lvdi-toallitas-humedas-continuan-colapsando-alcantarillado-cadiz-201908271045\\_noticia.html](https://www.lavozdigital.es/cadiz/lvdi-toallitas-humedas-continuan-colapsando-alcantarillado-cadiz-201908271045_noticia.html).

[https://www.lavozdigital.es/cadiz/lvdi-toallitas-humedas-continuan-colapsando-alcantarillado-cadiz-201908271045\\_noticia.html](https://www.lavozdigital.es/cadiz/lvdi-toallitas-humedas-continuan-colapsando-alcantarillado-cadiz-201908271045_noticia.html).

*Los fabricantes de toallitas húmedas asumen como obligatoria la norma UNE sobre productos desechables en el inodoro, Residuo profesional*, (26 de marzo de 2019), <https://www.residuosprofesional.com/fabricantes-toallitas-une-productos-desechables-inodoro/>.

MUÑOZ MUÑOZ, D. R., *Construcción sostenible a partir de paneles prefabricados utilizando yeso y celulosa reciclada*, Bachelor's thesis, Quito: UCE, (2019).

NANNIPIERI, E., *Qualità acustica di pareti in laterizio in edifici esistenti. Costruire in Laterizio*, pag. 56-61, (2014).

ORMAZABAL, M., *Las toallitas húmedas causan estragos en San Sebastián. El País*, (23 septiembre 2017), [https://elpais.com/politica/2017/09/20/diario\\_de\\_espana/1505931520\\_025191.html](https://elpais.com/politica/2017/09/20/diario_de_espana/1505931520_025191.html).

PLANNELLES, M., *el monstruo que atasca las cloacas. El País*, (28 de marzo de 2015), [https://elpais.com/politica/2015/03/28/actualidad/1427559908\\_539511.html](https://elpais.com/politica/2015/03/28/actualidad/1427559908_539511.html).

POCERÍA, S., *En España sufrimos las toallitas, en Australia las combaten. la ciudad bajo tu pies*, (16 de mayo de 2019), <https://www.serbis.es/serbis/blog/toallitas-alcantarillas-canarias-valencia-australia/>.

PUCHE RIART, O. M., *Hornos morunos de yeso de la Comunidad de Madrid. Minería y Metalurgia históricas en el Sudoeste Europeo*, pag. 543-549, (1999).

PUCHE RIART, O. M., *Yeserías y caleras de Valverde de Alcalá, De Re Metallica*, pag. 63-72, Madrid (2005).

REJÓN, R., *Las toallitas tiradas al inodoro son un problema ecológico que cuesta más de 200 millones al año en España*, (3 de diciembre de 2017), [eldiario.es](https://www.eldiario.es/sociedad/toallitas-tiradas-inodoro-depurar-millones_0_713929276.html), [https://www.eldiario.es/sociedad/toallitas-tiradas-inodoro-depurar-millones\\_0\\_713929276.html](https://www.eldiario.es/sociedad/toallitas-tiradas-inodoro-depurar-millones_0_713929276.html).

RESTREPO, A. Z., *Nano-composites reforzados con microfibrillas de celulosa aisladas de paredes celulares del raquis de banana. Scientia et Technica Año XIII, No 36, Septiembre 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701*, pag. 689-694, (2007).

RUIZ MARTÍNEZ, R., *Parámetros para la evaluación del impacto de los morteros de revestimiento en las condiciones acústicas de los espacios históricos*. Madrid: I congreso internacional sobre investigación en construcción y tecnología arquitectónicas CONSTECT, (2014).

S. AMALBERTO, A. G., *Coltivazione di gesso in sotterraneo e riutilizzo dei vuoti minerari: esperienze nel monferrato astigiano. vuoti minerari: risorsa o problema?*, Torino, (2008).

SANJAY M.R., S. S., *A comprehensive review of techniques for natural fibers as reinforcement in composites: Preparation, processing and characterization, Carbohydrate Polymers 207*, pag. 108-121, (2019).

SANTOS, A. G., *comportamiento mecánico de yeso reforzado con polímeros sintéticos. Informes de la Construcción, Vol 40, No 397*, pag. 67-89, (1988).

- SANTOS, A. G., *Escayola reforzada con fibras de polipropileno y aligerada con perlas de poliestireno expandido. Materiales de construcción*, pag. 105-124, (2009).
- SUPIT, S. W., *Compressive and Flexural Strength Behavior of Ultra-high Performance Mortar Reinforced with Cellulose Nano-fibers. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, pag. 365-372, (2019).
- VÁZQUEZ, C., *Valencia ya ha sacado 5.000 toneladas de toallitas que taponaban casi dos kilómetros de un colector. El País*, (27 de marzo de 2019),  
[https://elpais.com/sociedad/2019/03/27/actualidad/1553689180\\_116755.html](https://elpais.com/sociedad/2019/03/27/actualidad/1553689180_116755.html).
- VENERO, J. A., *Nuevos productos multicapa para el aislamiento acústico a ruido aéreo en la edificación*. Bilbao, España: TecniAcustica, (2003).
- VIGNA, B. F., *Evolucion of karst in messinian gypsum (Monferrato, northern Italy). geodinamica acta*, pag. 29-40, (2010).
- VIJAY KUMAR THAKUR, M. K., *Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites. arbohydrate Polymers*, pag. 102-117, (2014).
- VILLANUEVA, L., *Evolución histórica de la construcción con yeso. Informes de la Construcción*, pag. 5-11, (2004).
- YILMAZ, I.-I., *Influence of water content on the strength and deformability of gypsum. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 47, pag. 342-347, (2010).

