



Ricerca di Sistema elettrico

Tamponature con accumulo elettrico integrato: prima validazione in simulazione

M. Artioli, S. Beozzo, A. Marzo, C. Tripepi

TAMPONATURE CON ACCUMULO ELETTRICO INTEGRATO: PRIMA VALIDAZIONE IN SIMULAZIONE

M. Artioli,, S. Beozzo
A. Marzo, C. Tripepi

Dicembre 2019

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *3 - Componenti e impianti innovativi per incrementare l'efficienza energetica e l'uso delle fonti rinnovabili negli edifici*

Linea di attività: *LA3.16 - Tamponature con accumulo elettrico integrato: validazione in simulazione*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi

Responsabile del Work package: Biagio Di Pietra

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	8
2.1 SIMULAZIONE STRUTTURALE.....	10
2.1.1 <i>Geometria del sistema e Materiali</i>	10
2.1.2 <i>Analisi FEM</i>	13
2.2 SIMULAZIONE TERMO-IGROMETRICA.....	16
2.2.1 <i>Definizione del pacchetto parete</i>	16
2.2.2 <i>Definizione delle condizioni al contorno</i>	18
2.2.3 <i>Modelli analizzati</i>	19
2.2.4 <i>Confronto tra i risultati</i>	19
2.3 RICOGNIZIONE NORMATIVA.....	21
3 CONCLUSIONI.....	22
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	22

Sommario

Con riferimento all'utilizzo di energia elettrica da fonte rinnovabile, si presenta spesso il problema (tipico ed acuto per quella solare ed eolica) che tale fonte sia disponibile quando non c'è necessità di utilizzo, e viceversa. Una soluzione, parziale (e impossibile nel caso di funzionamento ad isola), può essere riversare in rete tale energia e sperare che altri utilizzatori possano beneficiarne e/o che altri generatori possano essere modulati per evitare sprechi di produzione. Altra soluzione consiste nello stoccaggio del surplus di energia tramite riconversione (come ripompaggio in quota nei bacini idroelettrici, rotazione di volani, produzione di idrogeno ecc.) o dispositivi di accumulo (come batterie e condensatori elettrici). In campo residenziale, questi ultimi generalmente vengono proposti secondo il modello di "elettrodomestico", cioè dispositivi collegati ma a sé stanti, da collocare all'interno o all'esterno dell'unità abitativa.

Nel seguito si riferisce di un'attività preparatoria necessaria alla progettazione di massima di una tamponatura per edifici dotata di accumulo elettrico integrato, che possa ovviare almeno in parte ai problemi sopra citati.

Dopo una ricognizione sullo stato dell'arte e sul quadro normativo di riferimento, sull'ipotesi di una configurazione geometrica semplificata standard e su una scelta plausibile di materiali costitutivi sono state condotte delle simulazioni strutturali e termo-igrometriche che non hanno evidenziato particolari criticità.

In effetti, per quanto riguarda il comportamento strutturale, in entrambi i casi esaminati (pannelli esterni in Fibra di Legno e pannelli esterni in Fibra di Canapa) si riscontra un livello di sollecitazione lontano dalla crisi del materiale.

Per quanto riguarda il comportamento termo-igrometrico, alla luce delle simulazioni numeriche eseguite si può constatare che le tipologie di parete analizzate hanno prestazioni equivalenti. Pertanto la scelta dei materiali con i quali realizzare il prototipo sarà dettata da altre esigenze prestazionali quali per esempio la leggerezza, la facilità realizzativa e di messa in opera.

Per questa configurazione, detta "a mattone", risulta pertanto possibile, eventualmente anche reiterando le simulazioni, iniziare la progettazione di un prototipo. Qualora il manufatto voglia essere impiegato in applicazioni reali, dovrà essere tale da consentire al progettista di rispettare la normativa nel suo complesso.

1 Introduzione

Con riferimento all'utilizzo di energia elettrica da fonte rinnovabile, si presenta spesso il problema (tipico ed acuto per quella solare ed eolica) che tale fonte sia disponibile quando non c'è necessità di utilizzo, e viceversa. Una soluzione, parziale (e impossibile nel caso di funzionamento ad isola), può essere riversare in rete tale energia e sperare che altri utilizzatori possano beneficiarne e/o che altri generatori possano essere modulati per evitare sprechi di produzione. Altra soluzione consiste nello stoccaggio del surplus di energia tramite riconversione (come ripompaggio in quota nei bacini idroelettrici, rotazione di volani, produzione di idrogeno ecc.) o dispositivi di accumulo (come batterie e condensatori elettrici). In campo residenziale, questi ultimi generalmente vengono proposti secondo il modello di "elettrodomestico", cioè dispositivi collegati ma a sé stanti, da collocare all'interno o all'esterno dell'unità abitativa. Esempi commerciali possono essere PowerWall di Tesla (Fig. 1) o PowerVault (Fig. 2):



Fig. 1: PowerWall montato in giardino o in terrazzo.



Fig. 2: PowerVault affiancato alla lavatrice.

Nel caso di soluzioni combinate, si evidenzia SolPad (Fig. 3), ovviamente solo per esterni.



Fig. 3: Pannello con batteria integrata SolPad

In tutte queste soluzioni è necessario un compromesso tra capacità di accumulo, ingombro, peso, ciclo di vita e costo. In Fig. 4 è riportata la densità di energia per alcune tecnologie e per diversi materiali: le batterie hanno accettabile, seppur bassa, densità energetica sia volumetrica sia gravimetrica, ma soffrono di un rapido degrado delle prestazioni nel tempo. I condensatori invece hanno ancora minore densità energetica, ma non soffrono o soffrono meno (a seconda della tecnologia) del degrado delle prestazioni in rapporto al tempo di vita dell'applicazione. In Fig. 5 è riportato un confronto tra varie tipologie di

accumulatori, da cui risultano promettenti i supercapacitori, che avendo però un costo molto elevato, non possono ancora candidarsi per uso domestico. Anche le batterie con tecnologia particolarmente inquinante (come quelle al piombo) o con limitati cicli di carica-scarica (come quelle al metal-idruro o cadmio) non si prestano ad essere utilizzate nello scenario in esame. Tra i condensatori convenzionali, quelli elettrolitici sono di maggiore capacità specifica ma possono presentare problemi di sicurezza legati a perdite chimiche o infiammabilità, mentre quelli a film, di minore capacità specifica, godono della stabilità dei materiali e della relativa semplicità di produzione anche in grande taglia.

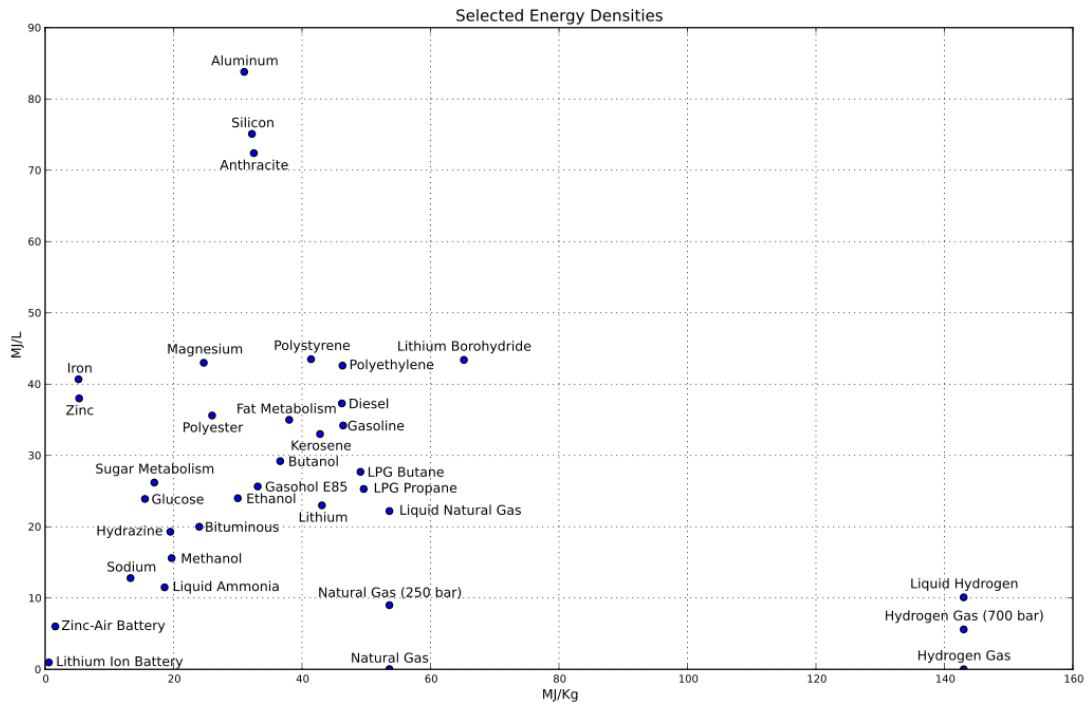


Fig. 4: Densità di energia per alcune tecnologie e alcuni materiali.

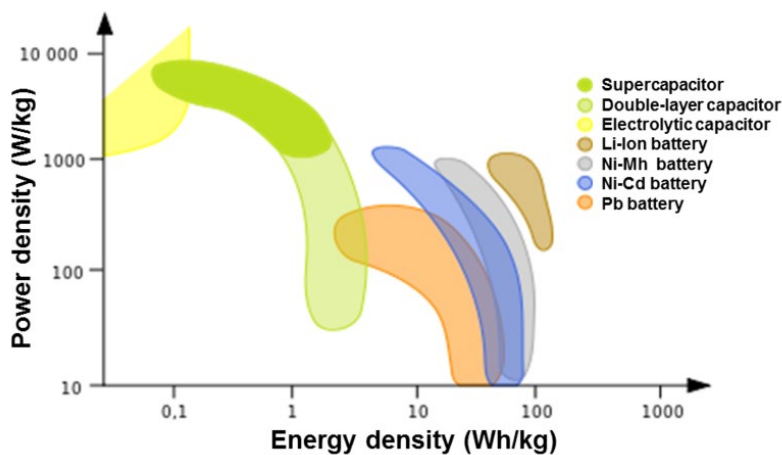
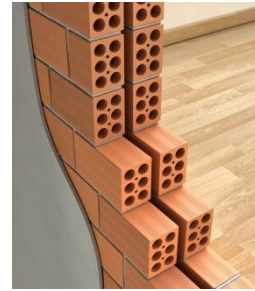


Fig. 5: Densità di energia e potenza degli accumulatori.

Le tamponature, che assolvono invece principalmente le funzioni di tenuta agli agenti atmosferici (vento, neve e pioggia) e di isolamento termico e acustico, devono risultare impermeabili ad aria ed acqua, rimanendo nel contempo traspiranti e garantendo una adeguata resistenza al fuoco. Benché non si tratti di elementi strutturali, esse devono comunque garantire funzione autoportante, rispetto ai carichi statici, e non subire o causare danneggiamenti in caso di eventi sismici.



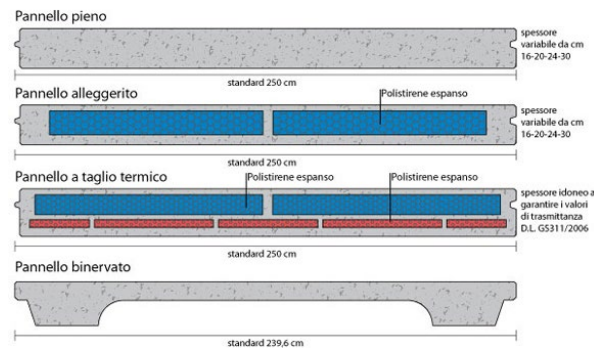
a)



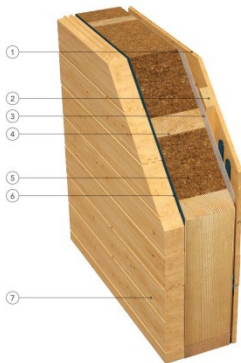
b)



c)



d)



- ① Pannello monostrato in abete piallato 18 mm
- ② Intercapedine di installazione, spessore 40 mm
- ③ Freno vapore
- ④ Listelli di assetamento, spessore 100 - 220 mm
- ⑤ Isolamento in fibra di legno tra i listelli, spessore 100 - 220 mm
- ⑥ Tessuto traspirante
- ⑦ Parete SCHWEIZ in abete trilaterale, spessore 120 mm

e)



f)



g)



h)

Fig. 6: Tipologia di pareti: a) blocchi alveolati in cemento; b) blocchi forati in laterizio; c) pareti in pannelli prefabbricati per abitazioni; d) pannelli per pareti di capannoni industriali; e) pareti in legno sistema Blockhaus della Rubner; f) pareti in calcecanapa® gettate in opera o pareti in blocchi; g) pareti in profili sottili di acciaio; h) esempi di sagomature di profili sottili di acciaio

Inoltre, per motivi di semplicità di messa in opera, per una migliore interazione con la struttura nella quale sono inserite e per non rappresentare un elemento oneroso in termini di manutenzione, le tamponature devono anche rispettare requisiti di leggerezza e di durezza.

In funzione della tecnica realizzativa (semi artigianale o industrializzata con moduli prefabbricati) si distinguono:

- tamponature propriamente dette, se gli spazi vuoti verticali del graticcio che costituisce il telaio portante vengono riempiti sovrapponendo e legando con malta i blocchi che possono essere in cemento alveolati, in mattoni forati, ecc. (vedi Fig. 6a, b);
- pannelli di tamponamento prefabbricati, se la chiusura degli spazi vuoti del telaio si effettua con pannelli preconfezionati in fabbrica, in materiale cementizio (Fig. 6c, d), a base di legno (Fig. 6e, f) o in profili sottili di acciaio (Fig. 6g, h). Le pareti in profili sottili di acciaio sono particolarmente leggere, avendo questi ultimi spessori dell'ordine del decimo di millimetro, inoltre la sagomatura conferisce loro elevata rigidità. Nel caso di pannelli prefabbricati il telaio presenta degli agganci pre-organizzati, su cui si innestano apposite staffe di collegamento, oppure una guida metallica cui viene bullonata, chiodata o rivettata la pannellatura. Negli ultimi anni il tema del risparmio energetico sta occupando un ruolo fondamentale anche in ambito edilizio, essendo maturata la consapevolezza che le soluzioni costruttive di oggi segneranno inevitabilmente la strada dell'efficienza per i decenni a venire. Si sta pertanto diffondendo e specializzando, con tecnologie sempre più avanzate, l'utilizzo di materiali da costruzione a bassa trasmittanza termica e l'acquisizione di energia da fonti alternative.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Le attività sono orientate a realizzare un modulo di tamponatura che includa al suo interno un elemento di accumulo per l'energia elettrica a film sottile.

Lo "scheletro" portante del modulo è costituito da profili sottili in acciaio, sagomati a freddo, collegati (meccanicamente o per incollaggio) a dei pannelli di chiusura in materiale resistente a trazione ma non metallico (per esempio ligneo) disposti lungo le 6 facce a costituire una scatola chiusa all'interno della quale si colloca il condensatore.

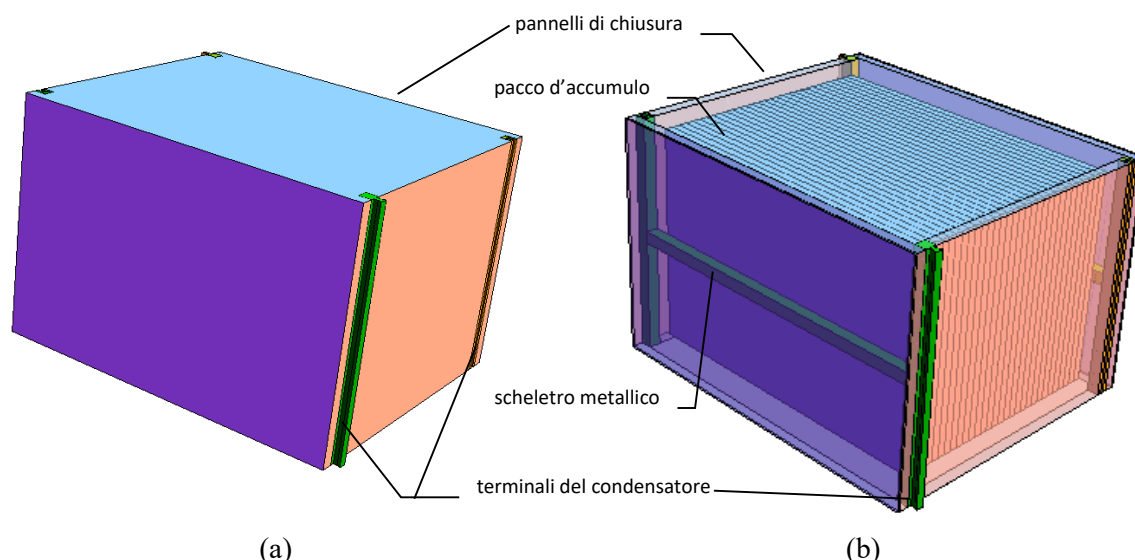


Fig. 7: Blocco accumulatore (a), con guscio in trasparenza per evidenziare il pacco di accumulo e la struttura metallica di contenimento (b).

L'idea è stata sviluppata tenendo in conto 3 aspetti fondamentali:

- la leggerezza, per contenere le masse sismiche;
- la bassa trasmittanza termica, per rispondere ai requisiti di efficienza energetica;
- la semplicità di trasporto e posa in opera, perché sia garantita la fattibilità costruttiva.

Il modulo così concepito consente di trasformare una semplice parete di tamponatura in una “parete di accumulo” antisismica termicamente e acusticamente isolante, integrando materiali e tecnologie ordinari.

La soluzione proposta, in funzione delle particolari esigenze costruttive, può essere costituita da:

- mattoni-accumulatore singolarmente prefabbricati , di dimensione e peso specifico assimilabili a quello di un comune blocco in laterizio (soluzione A, Fig. 7a e b), da comporre per formare la parete la cui configurazione in opera è mostrata in Figura 8;
- parete modulare di accumulo (soluzione B, Fig. 9a e b) totalmente prefabbricata.

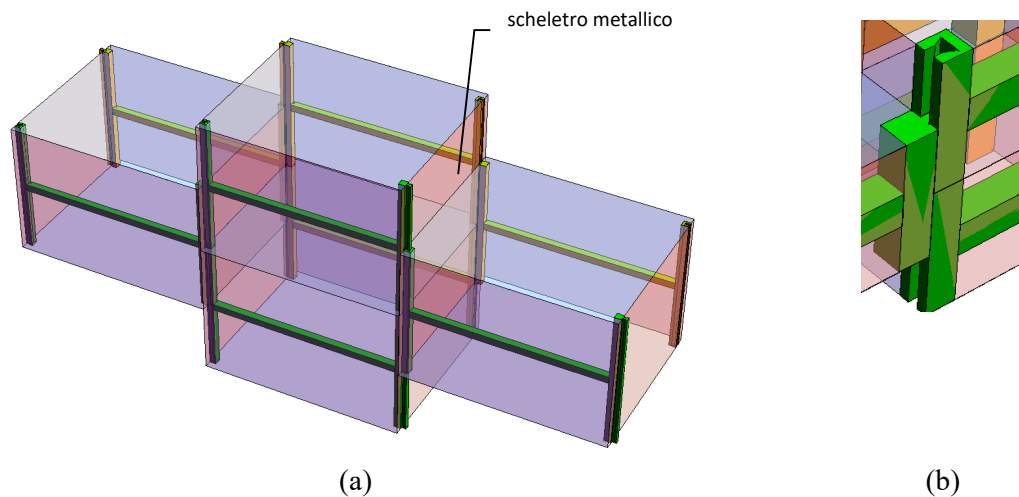


Fig. 8: Serie di blocchi-accumulatore incastrati e collegati (a), con particolare ingrandito di un possibile meccanismo di aggancio e bloccaggio (b).

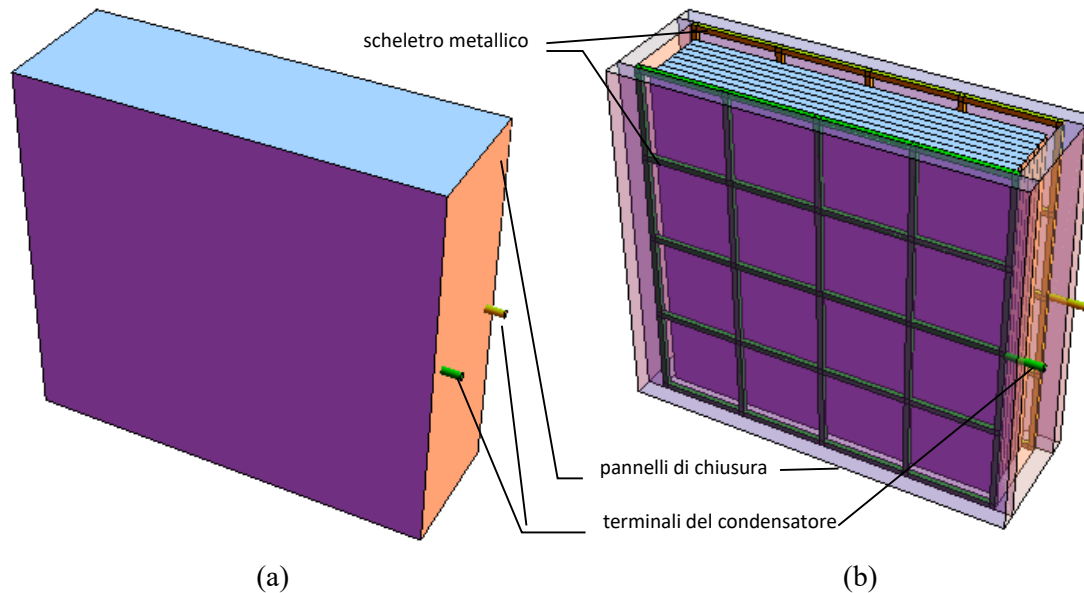


Fig. 9: Parete modulare di accumulo (a), con guscio in trasparenza per evidenziare il pacco di accumulo e la struttura metallica di contenimento (b).

Lo scheletro metallico svolge la duplice funzione di circuito elettrico e di elemento di rinforzo antisismico. Infatti, poiché un accumulatore necessita di almeno due capi di collegamento, mai in cortocircuito fra loro, le due facce non in contatto (in verde e in giallo in Figura 7b) forniranno il collegamento completo (in parallelo) di tutti gli accumulatori presenti nei blocchi, senza conduttori aggiuntivi. D'altra parte la sagomatura dei profili, consentendo di realizzare incastrati del tipo maschio/femmina, permetterà il montaggio dei moduli a secco aumentando nel contempo la resistenza della parete nel piano e, se opportunamente collegati alla struttura portante, la resistenza fuori del piano.

Per quanto riguarda invece il componente d'accumulo, esso è realizzato con un condensatore a film sottile, una cui schematizzazione è riportata nelle Fig. 10 e 11 dove si evidenzia come sia costituito da uno o più pacchi di sottili fogli di materiale generalmente plastico metallizzato. Questa scelta consente di realizzare componenti di accumulo molto economici, durevoli e affidabili nel tempo. L'idea di sfruttare la disponibilità di volumi all'interno delle pareti di tamponatura rimedia alla più bassa densità energetica di questa tecnologia rispetto ad altre emergenti. Inoltre, l'inserimento del pacco con i fogli paralleli alla struttura di contenimento offre una maggiore resistenza alla conduzione termica e alle vibrazioni acustiche in senso normale. In questo modo anche il condensatore svolge duplice funzione: da una parte quella di accumulo energetico e dall'altra di isolamento termico e acustico.

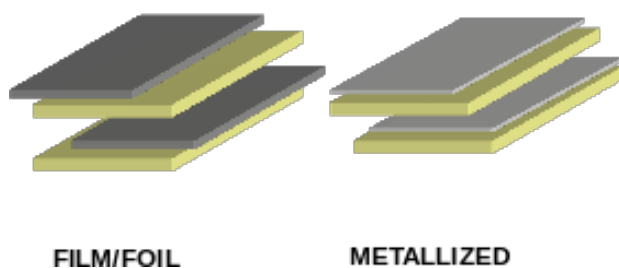


Fig. 10: Fogli dielettrici impilati alternati a metallo.

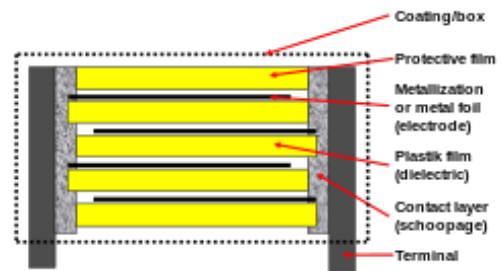


Fig. 11: Condensatore elettrico a film sottile.

Le attività sono focalizzate sulle tamponature realizzate a mattone o a blocchi, pertanto il primo passo è stato quello di ipotizzare una configurazione geometrica rassomigliante un mattone comune e simularne alcune caratteristiche fondamentali, tra cui il comportamento strutturale e termo-igrometrico, in funzione di una particolare scelta di materiali con cui realizzarlo.

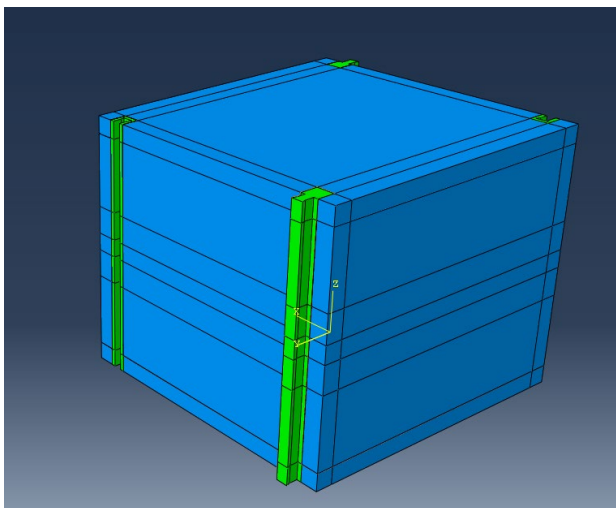
A questo si è affiancato una ricognizione sugli aspetti normativi riguardanti le tamponature.

2.1 Simulazione strutturale

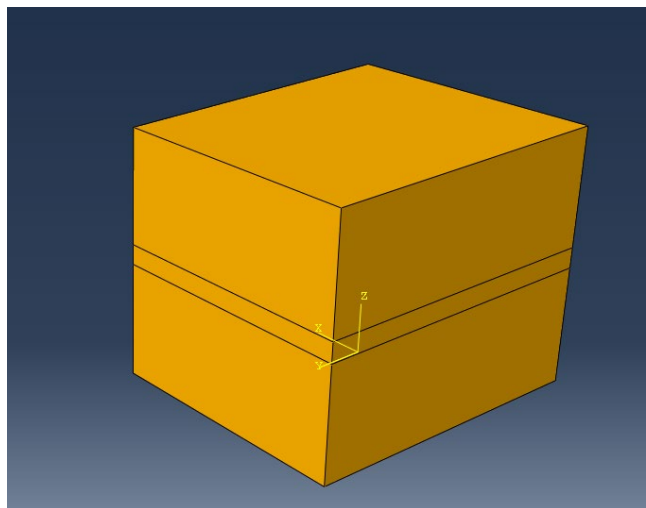
2.1.1 Geometria del sistema e Materiali

Il sistema oggetto di studio è costituito da 3 tipologie di elementi (Fig. 12):

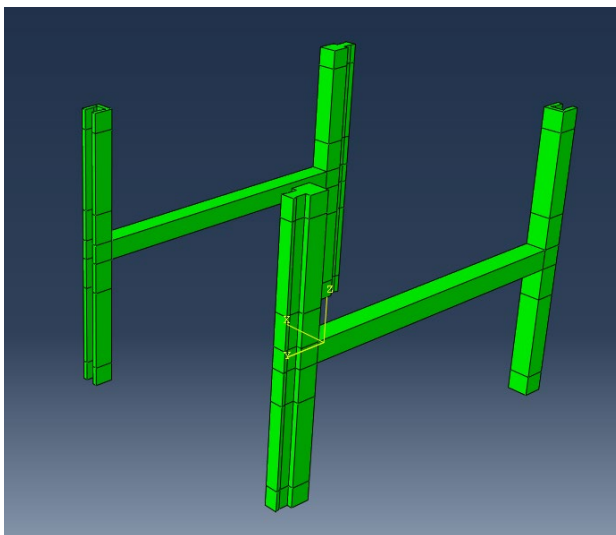
- 1 condensatore;
- 2 maglie di materiale metallico (per es. in acciaio);
- 6 pannelli isolanti (per es. in legno o in canapa) di chiusura, di cui 4 perimetrali verticali e 2 orizzontali.



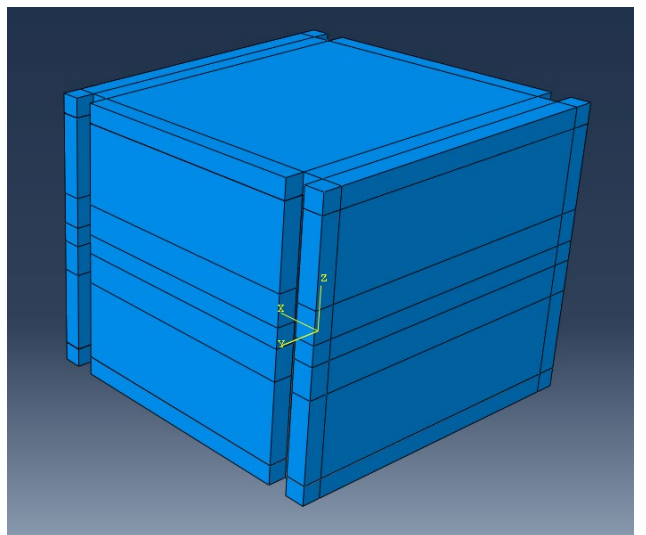
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 12: (a) sistema completo; (b) condensatore; (c) maglie in materiale metallico; (d) pannelli perimetrali.

Lo schema di funzionamento prevede che le due maglie metalliche siano gli elementi portanti preposti al trasferimento dei carichi (dovuti al condensatore e ai pannelli) al telaio strutturale. Il condensatore è collegato ad esse lungo i correnti orizzontali, mentre i pannelli perimetrali sono collegati lungo gli elementi verticali come mostrato in Fig. 13.

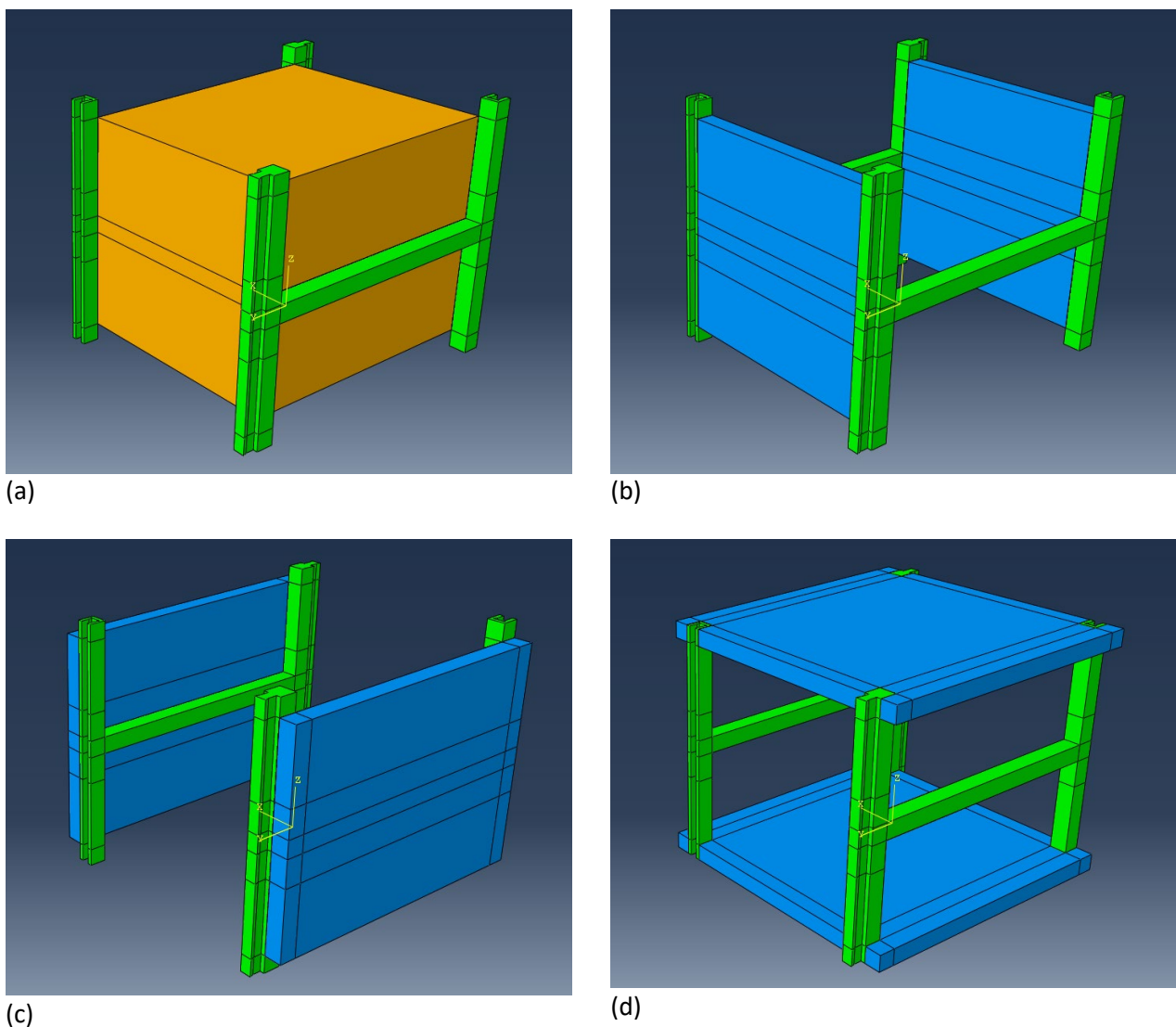


Fig. 13: Connessione (a) condensatore-maglie metalliche, (b) maglie-facce laterali, (c) maglie-facce frontali, (d) maglie-facce superiore e inferiore.

In Fig. 14 sono riportate alcune sezioni rappresentative.

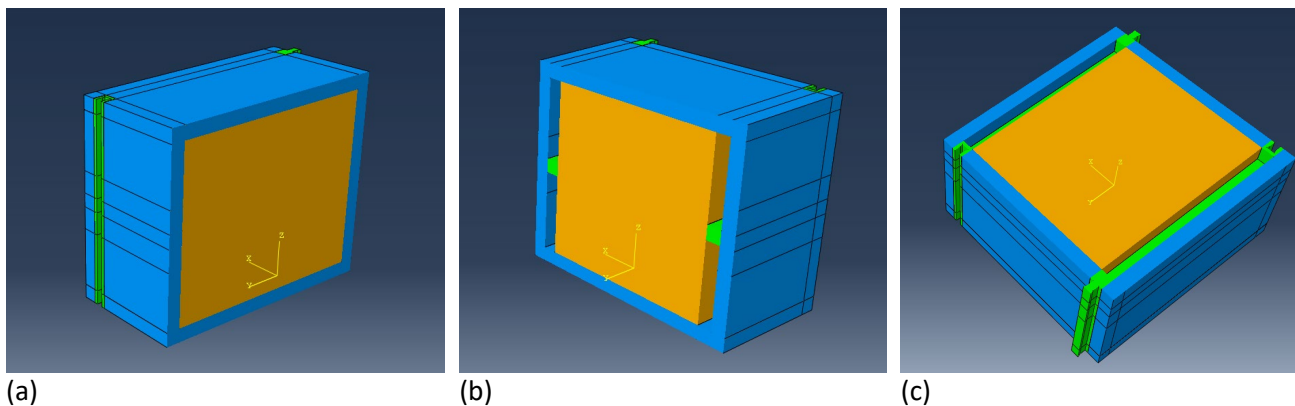


Fig. 14: (a) Sezione verticale 1; (b) Sezione verticale 2; (c) Sezione orizzontale.

Sulle dimensioni e sui materiali, in questa fase preliminare di calcolo, sono state fatte le assunzioni riportate in Tabella 1.

Tabella 1: Assunzioni sulle dimensioni degli elementi e sui materiali utilizzati.

Elemento	Materiale	Densità	Modulo di Young	Coefficiente di Poisson	Geometria
Condensatore	PET	1.35gcm ⁻³	3.0E03MPa	0.4	30cmX25cmX25cm
Maglie metalliche	Acciaio	8gcm ⁻³	2.1E05Mpa	0.3	Profilati di ingombro massimo in sezione 4cmx2cm e spessore massimo 0.5cm
Pannelli perimetrali	Fibra di Legno	0.565gcm ⁻³	1.6E03MPa	0.4	34cmX25cmX2cm 25cmX25cmX2cm
	Fibra di Canapa	0.7gcm ⁻³	4.42E02MPa	0.4	34cmX25cmX2cm 25cmX25cmX2cm

2.1.2 Analisi FEM

E' stato studiato, mediante analisi FEM, il comportamento della maglie metalliche (alle quali è assegnata la funzione portante) al crescere dei carichi verticali agenti, rappresentati da pannelli esterni e condensatore, per simulare la colonna di mattoni soprastanti. In Fig. 15 è riportato lo schema statico utilizzato per le analisi.

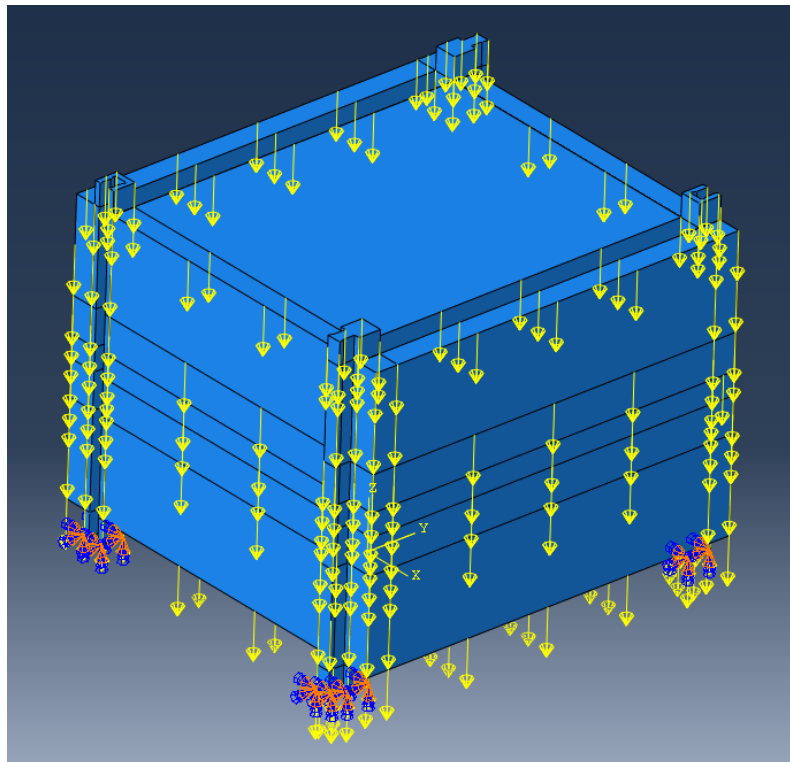


Fig. 15: Schema statico utilizzato nelle analisi FEM.

Si riportano di seguito le tensioni equivalenti di Von Mises nelle maglie metalliche, ottenute simulando un carico rappresentativo di 10 mattoni (corrispondenti ad una parete alta 3m). I risultati in Fig. 16 si riferiscono al caso in cui i pannelli esterni siano in Fibra di Legno, quelli in Fig. 17 al caso in cui i pannelli

esterni siano in Fibra di Canapa. Poiché l'unità di misura utilizzata per le lunghezze è il cm e quella per le masse è il kg, le pressioni risultano espresse in $(\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{sec}^2)/\text{cm}^2$. Si ricorda che la tensione di snervamento di un acciaio S275 è pari a 275MPa, che corrisponde a $2.75\text{E}06 (\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{sec}^2)/\text{cm}^2$.

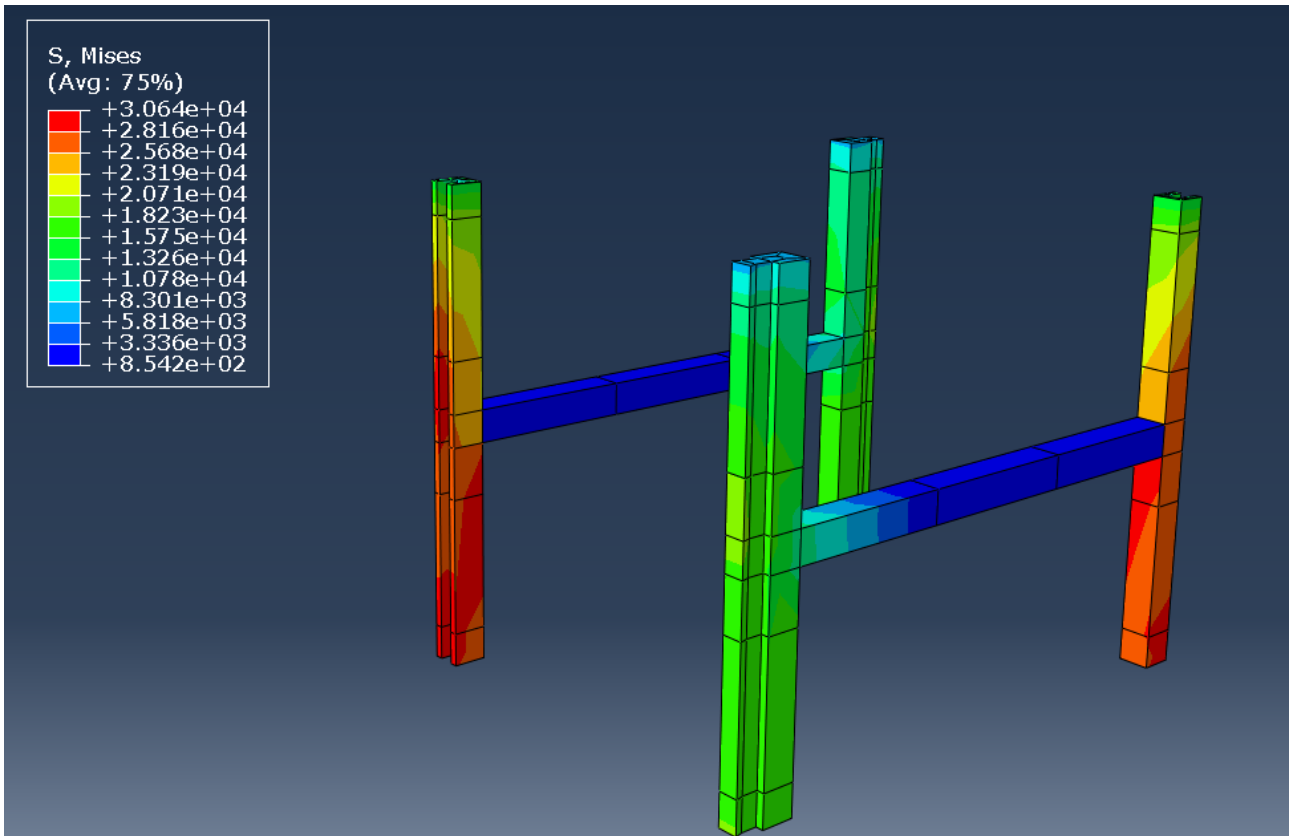
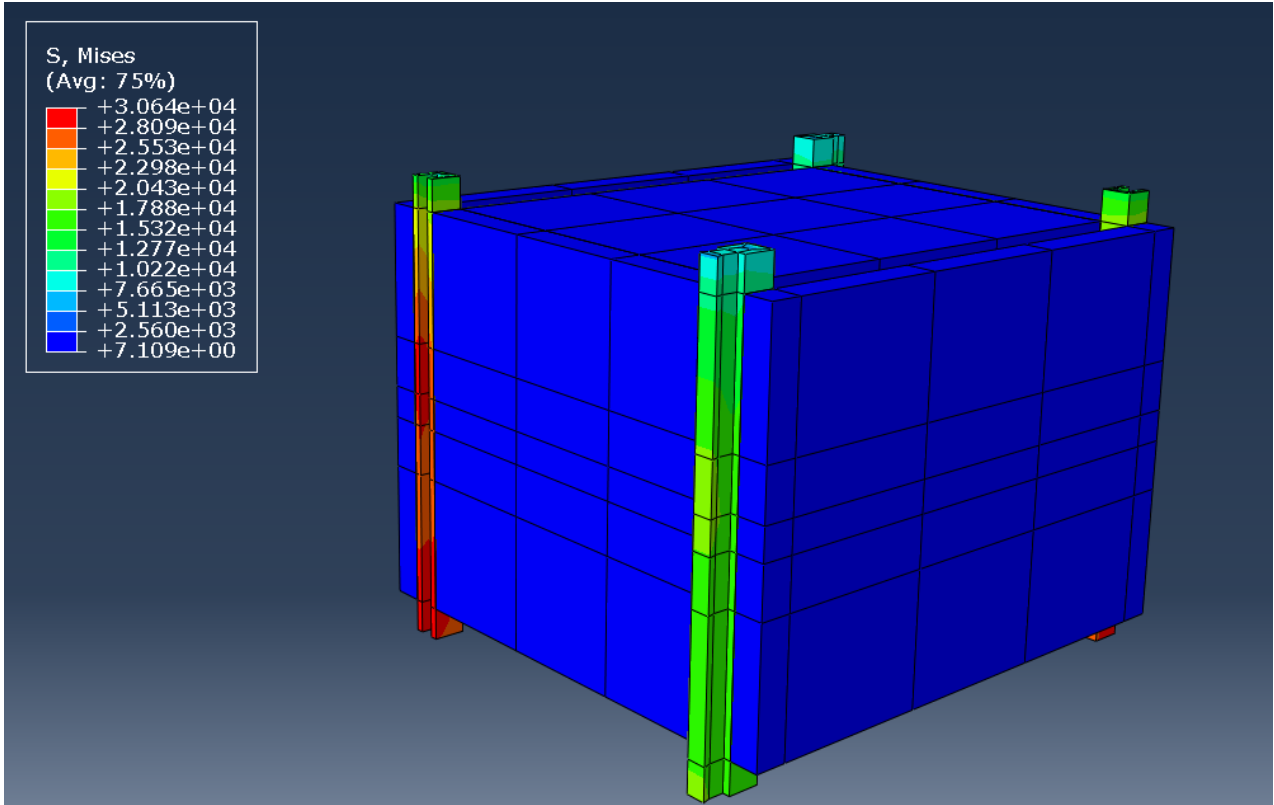


Fig. 16: Andamento delle tensioni di Von Mises nelle maglie portanti in acciaio per effetto del carico di una colonna di 10 mattoni (con Pannelli esterni in Fibra di Legno).

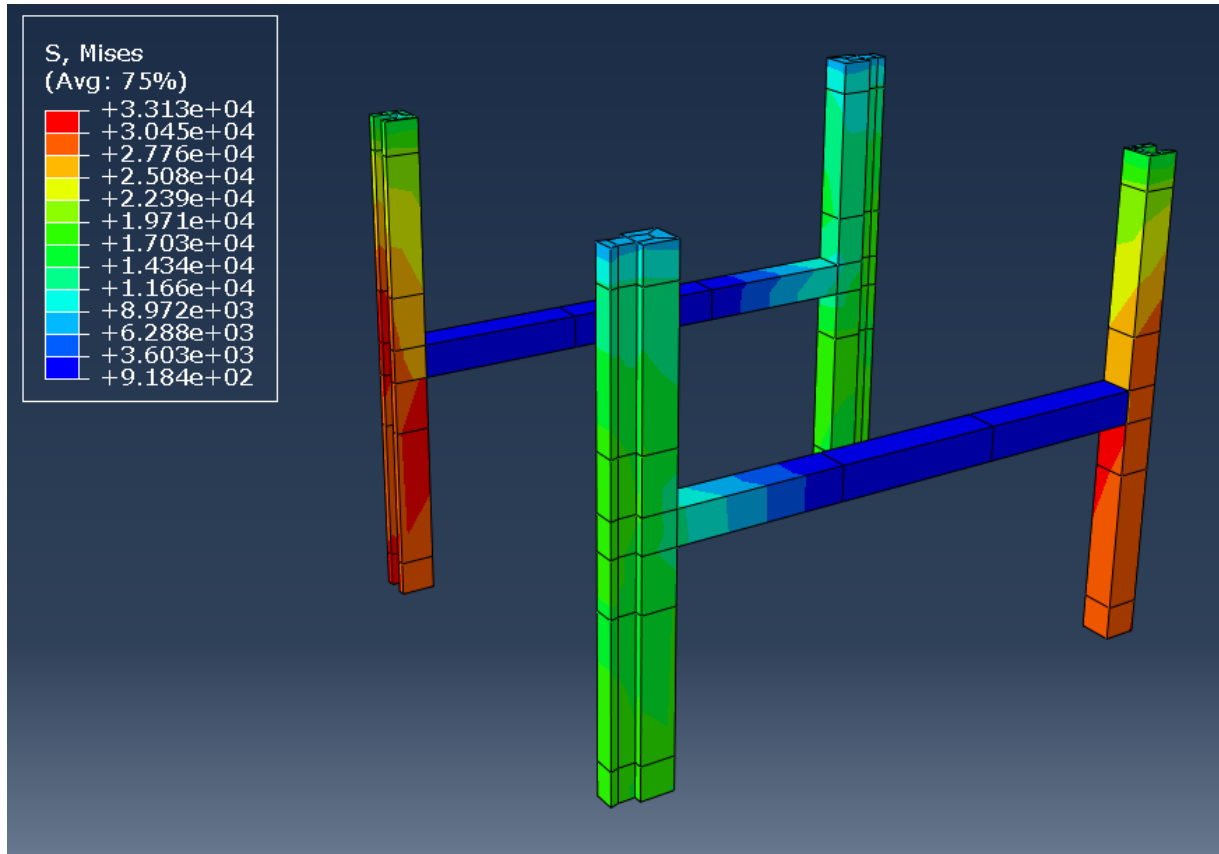
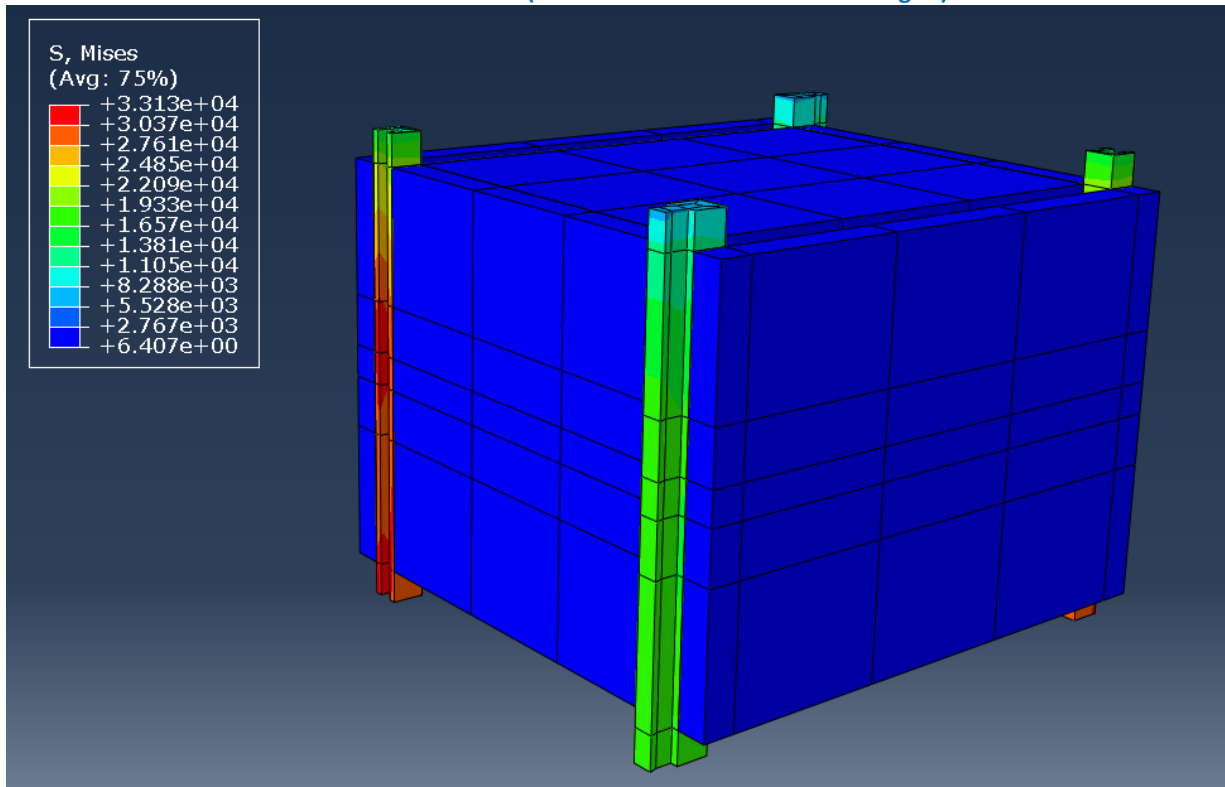


Fig. 17: Andamento delle tensioni di Von Mises nelle maglie portanti in acciaio per effetto del carico di una colonna di 10 mattoni (con Pannelli esterni in Fibra di Canapa).

2.2 Simulazione termo-igrometrica

2.2.1 Definizione del pacchetto parete

La prima fase di analisi numerica con il programma WUFI ha lo scopo di valutare le prestazioni termoigrometriche di pareti realizzate con il mattone condensatore oggetto della ricerca.

Ciascuna parete oggetto della simulazione ha le caratteristiche geometriche e fisiche elencate di seguito. In particolare, la parete è costituita da un “pacchetto” di tre differenti componenti (vedi Fig. 18): strato perimetrale esterno coibente (colore verde); secondo strato perimetrale occupato dalla struttura metallica (colore ciano); pacchetto condensatore intercluso centrale (di colore grigio).

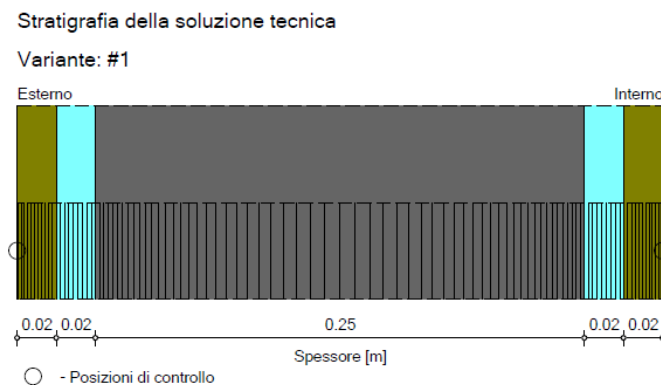


Fig. 18: Stratigrafia parete.

Per scegliere la soluzione più performante sono state modellate quattro tipologie di mattoni, modificando il materiale dello strato esterno coibente e il materiale della struttura metallica. I due materiali scelti per gli strati esterni sono un pannello rigido in fibra di legno (DWD PROTECT N+F) e un pannello in canapa (Canapalithos® Argilla 700). Per la struttura metallica di supporto invece sono state utilizzati acciaio e alluminio.

Le caratteristiche dei materiali dei pannelli coibenti esterni sono state ricavate dalle schede tecniche degli stessi reperita on line, mentre per lo strato interno coibente sono state ricavate da un sito specializzato [221].

Inoltre, siccome lo strato occupato dalla struttura metallica non è pieno, essendo quest’ultima costituita da profili metallici sottili di piccole dimensioni composti a formare una H, si studieranno due le condizioni estreme: strato di sola aria e strato di metallo.

Si riportano di seguito le tabelle di sintesi delle caratteristiche dei materiali inserite in WUFI ed esportate direttamente dal programma stesso.

Materiale: Pannello in legno (densità 565 kg/m³)

Proprietà	Unità	Valore
Densità apparente	[kg/m ³]	565
Porosità	[m ³ /m ³]	0.9
Capacità termica a secco	[J/(kg K)]	2100
Conducibilità termica a secco, 10°C	[W/(m K)]	0.09
Fattore di resistenza alla diffusione di vapore	[-]	11
Supplemento alla conducibilità termica, dip. umidità	[%/M.-%]	1.5
Supplemento conducibilità termica, temp. $\frac{t}{e}$	[W/(m K ²)]	0.0002

Si precisa che la scheda tecnica di questo materiale non conteneva il valore dalla porosità. Pertanto esso è stato ricavato dal database di WUFI, considerando un materiale in pannello di OSB di densità simile (OSB 595 kg/m³).

Materiale: Strato d'aria 20 mm

Proprietà	Unità	Valore
Densità apparente	[kg/m ³]	1.3
Porosità	[m ³ /m ³]	0.999
Capacità termica a secco	[J/(kg K)]	1000
Conducibilità termica a secco, 10°C	[W/(m K)]	0.13
Fattore di resistenza alla diffusione di vapore	[-]	0.56

Materiale: Stahl - con resistenza al vapore

Proprietà	Unità	Valore
Densità apparente	[kg/m ³]	7800
Porosità	[m ³ /m ³]	0
Capacità termica a secco	[J/(kg K)]	450
Conducibilità termica a secco, 10°C	[W/(m K)]	60
Fattore di resistenza alla diffusione di vapore	[-]	100000
Conducibilità termica di progetto	[W/(m K)]	60

Materiale: Aluminium

Proprietà	Unità	Valore
Densità apparente	[kg/m ³]	2700
Porosità	[m ³ /m ³]	0
Capacità termica a secco	[J/(kg K)]	900
Conducibilità termica a secco, 10°C	[W/(m K)]	200
Fattore di resistenza alla diffusione di vapore	[-]	100000
Conducibilità termica di progetto	[W/(m K)]	200

Il valore del fattore di resistenza alla diffusione di vapore si ottiene dal rapporto tra la permeabilità dell'aria e quella del prodotto. Il prodotto in questione è l'acciaio, che ha un valore di permeabilità nullo, quindi darebbe una forma indeterminata che porterebbe ad un valore infinito del prodotto. Il valore 10000 scelto è rappresentativo di questo e rappresenta l'elevata resistenza del materiale, paragonabile a quella delle barriere al vapore. Lo stesso dicasi per l'alluminio.

Materiale: Pacchetto condensatore

Proprietà	Unità	Valore
Densità apparente	[kg/m ³]	1280
Porosità	[m ³ /m ³]	0
Capacità termica a secco	[J/(kg K)]	1140
Conducibilità termica a secco, 10°C	[W/(m K)]	0.2
Fattore di resistenza alla diffusione di vapore	[-]	100000

Per il pacchetto condensatore in film sottile il valore di porosità non è fornito dalle tabelle del sito specializzato citato sopra. E' stato impostato un valore limite pari a zero, onde simulare la sua elevata compattezza, confrontabile con quella dell'acciaio.

2.2.2 Definizione delle condizioni al contorno

L'edificio oggetto di analisi si ipotizza ubicato a Modena, di volume pari a 500 metri cubi e con 4 camere da letto. La parete si considera rifinita esternamente con intonaco acrilico di colore chiaro e internamente con intonaco di gesso.

L'arco temporale dell'analisi va dal 01/10/2020 al 01/10/2021.

Il clima esterno quindi sarà quello di Modena che, in funzione dei dati contenuti nei database del programma, si verificherà nell'arco temporale di riferimento di 3 anni (vedi Fig. 19).

Il clima interno sarà condizionato dal solo riscaldamento d'inverno, con una temperatura di 21°C e uno scostamento di 2.8°C, una produzione di umidità standard legata alla Classe 3 (civili abitazioni).

La parete si considera esposta a Nord-Ovest.

Temperatura, UR (Posizione di controllo 1, 2)

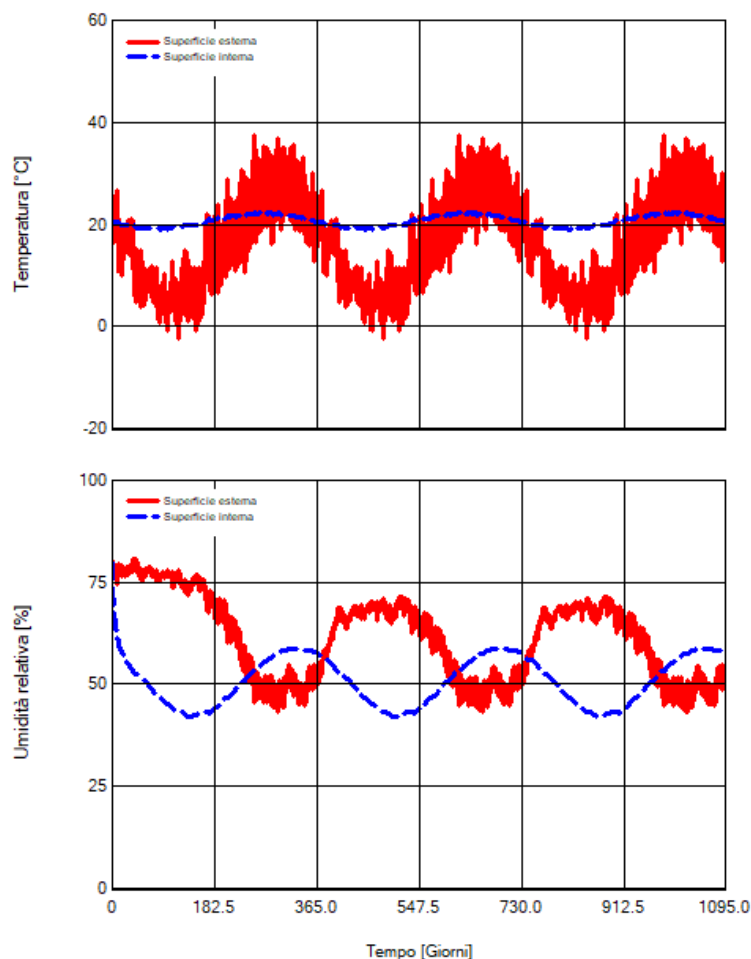


Fig. 19: Clima interno ed esterno.

2.2.3 Modelli analizzati

I modelli di parete analizzati con WUFI sono stati confrontati per valutare le performance termo-igrometriche e selezionare il pacchetto parete più performante da poter utilizzare per la fase di prototipazione.

In particolare i modelli analizzati hanno le seguenti stratigrafiche:

- Modello 1.1: la parete è costituita da uno strato coibente esterno realizzato da un pannello in fibre di legno, una intercapedine di aria, il pacchetto condensatore e poi simmetricamente uno strato d'aria e lo strato coibente di pannello di fibre di legno interno;
- Modello 1.2: la parete è costituita da uno strato coibente esterno realizzato da un pannello in fibre di legno, una intercapedine di acciaio, il pacchetto condensatore e poi simmetricamente uno strato di acciaio e lo strato coibente di pannello di fibre di legno interno;
- Modello 2.1: la parete è costituita da uno strato coibente esterno realizzato da un pannello in canapa, una intercapedine di aria, il pacchetto condensatore e poi simmetricamente uno strato d'aria e lo strato coibente di pannello in canapa interno;
- Modello 2.2: la parete è costituita da uno strato coibente esterno realizzato da un pannello in canapa, una intercapedine di acciaio, il pacchetto condensatore e poi simmetricamente uno strato di acciaio e lo strato coibente di pannello in canapa interno;
- Modello 3.1: la parete è costituita da uno strato coibente esterno realizzato da un pannello in fibra di legno, una intercapedine di alluminio, il pacchetto condensatore e poi simmetricamente uno strato di alluminio e lo strato coibente di pannello in fibra di legno interno;
- Modello 3.2: la parete è costituita da uno strato coibente esterno realizzato da un pannello in canapa, una intercapedine di alluminio, il pacchetto condensatore e poi simmetricamente uno strato di alluminio e lo strato coibente di pannello in canapa interno.

2.2.4 Confronto tra i risultati

I confronti sono stati fatti in termini di Temperatura e Umidità relativa, lette sulla parte esterna e interna della parete. Inoltre sono stati confrontati i valori del Contenuto di Umidità dell'intero pacchetto parete.

Dal grafico di confronto si evince che la temperatura misurata sulla faccia esterna (Fig. 20) della parete risulta pressoché uguale per tutti i modelli e segue naturalmente, nell'arco dell'anno analizzato, lo stesso andamento della temperatura dell'ambiente esterno riportato nella Fig. 19. La parete interna invece ha una variabilità della temperatura molto contenuta e significativamente inferiore a quella esterna. Il pacchetto parete svolge una buona funzione di isolamento termo-igrometrico.

Le temperature interne invece non risentono significativamente delle variazioni della temperatura esterna. Questo testimonia un ottimo comportamento della parete in termini di potere isolante.

In termini di umidità relativa (Fig. 21), si evidenzia pressoché la stessa performance da parte di tutte le tipologie di parete e, anche in questo caso, l'umidità relativa della parete segue quella l'andamento dell'umidità dell'ambiente esterno (vedi Fig. 19). L'abbattimento del contenuto di umidità dalla faccia esterna alla faccia interna è la dimostrazione della capacità della parete di "respirare", esprimendo quindi ancora una buona performance.

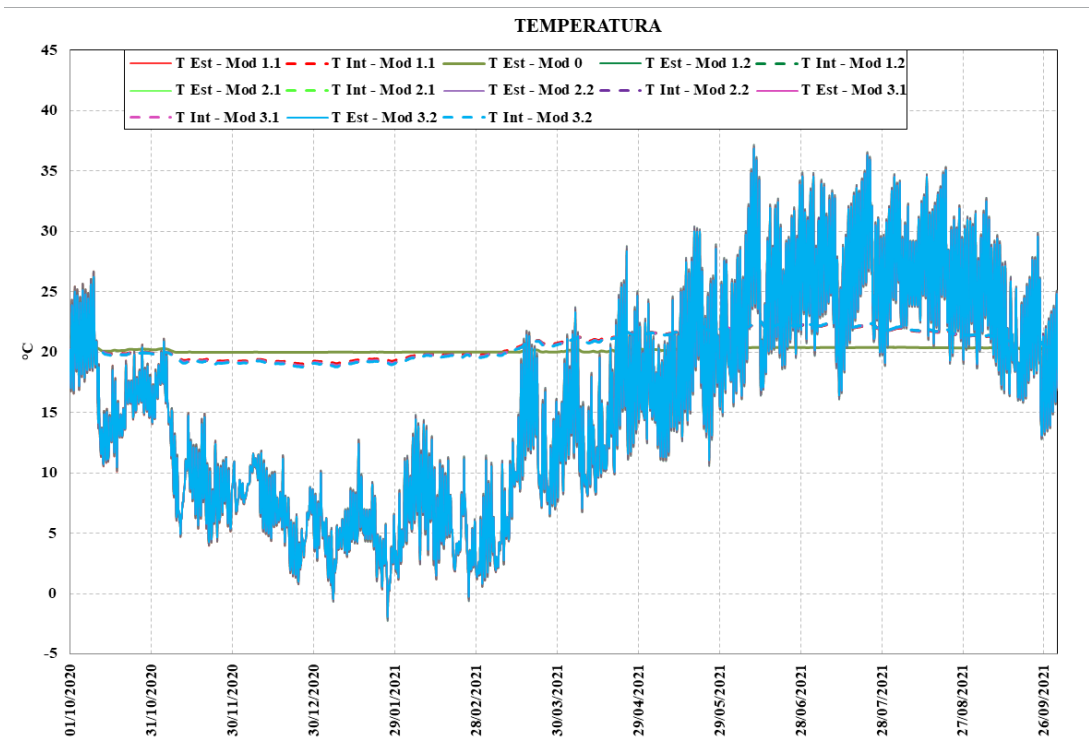


Fig. 20: Andamento della temperatura letta sulle due facce della parete, riferita ad un anno

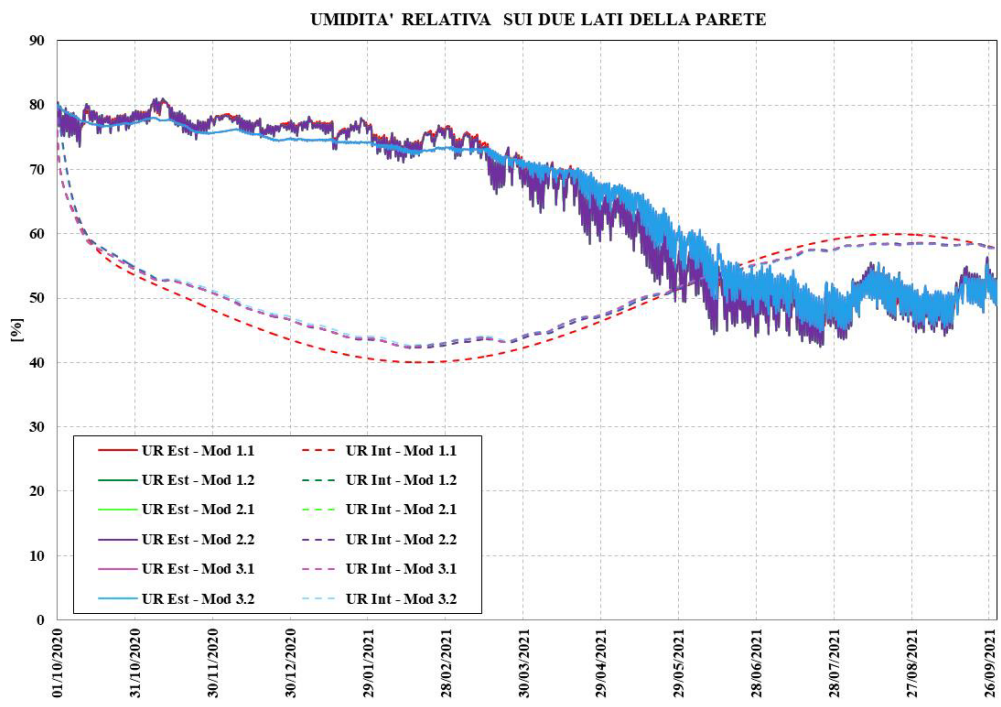


Fig. 21: Andamento dei valori di umidità relativa sulle due facce della parete, riferita ad un anno.

In termini di contenuto di umidità totale del pacchetto parete (Fig. 22), si evidenzia invece un comportamento migliore dal modello 3.2, ossia con pannelli in canapa e struttura di alluminio. Considerando però che non tutto lo strato occupato dalla struttura è pieno e che quindi va considerato un

comportamento intermedio tra il Mod. 3.2 ed il Mod. 2.1, si può affermare che, anche per questo aspetto, i modelli analizzati hanno prestazioni equivalenti.

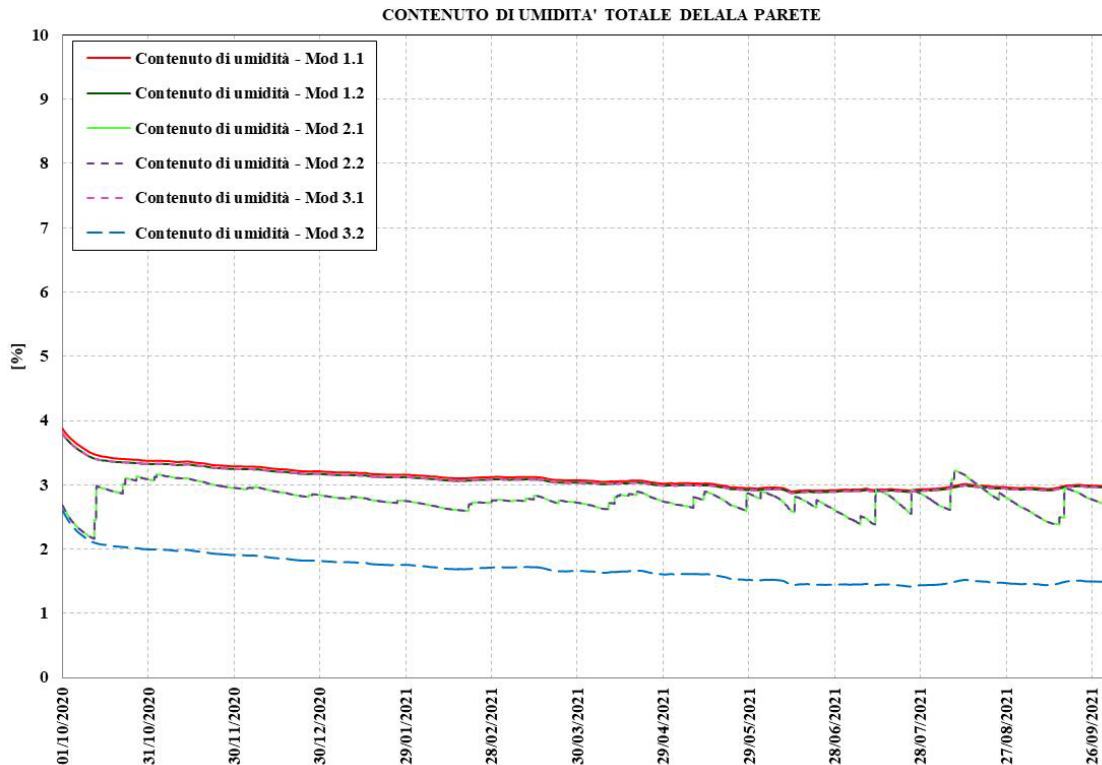


Fig. 22: Variazione del contenuto di umidità nel pacchetto parete riferito ad un anno.

2.3 Ricognizione normativa

Poiché l'elemento oggetto di studio è pensato come modulo elementare di una tamponatura, esso dovrà rispettare le prescrizioni normative riportate all'interno delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) [2] e le indicazioni fornite dalla relativa Circolare (21 Gennaio 2019, n.7) [3]. Entrambe esplicitano infatti i "Criteri di progettazione di elementi strutturali secondari ed elementi costruttivi non strutturali", definendo "Elementi secondari" gli elementi strutturali per i quali, nell'analisi della risposta sismica, la rigidezza e la resistenza alle azioni orizzontali possono essere trascurate ed "Elementi costruttivi non strutturali" quelli con rigidezza, resistenza e massa tali da influenzare in maniera significativa la risposta strutturale e quelli che, pur non influenzando la risposta strutturale, sono ugualmente significativi ai fini della sicurezza e/o dell'incolumità delle persone. Si ritiene che l'elemento oggetto di studio debba rientrare nella categoria degli "Elementi costruttivi non strutturali".

Per quanto riguarda le prestazioni termo-igrometriche occorre tenere presente che negli ultimi anni sono state emanate a livello europeo, nazionale e regionale varie leggi e norme relative al risparmio energetico che indicano i criteri per la progettazione di nuove costruzioni o per gli interventi di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente: infatti il risparmio energetico e il comfort degli ambienti vanno di pari passo. Esistono quindi dei criteri di progettazione e realizzazione (come indicato nei Criteri Ambientali Minimi del Decreto Ministeriale 11 Gennaio 2017 "Adozione dei criteri ambientali minimi per gli arredi per interni, per l'edilizia e per i prodotti tessili"), che riguardano però l'ambiente abitativo o l'edificio e non il singolo componente costruttivo, come il mattone del caso in esame [4].

L'accettabilità dei componenti viene quindi giudicata sulle prestazioni dell'edificio. Per ottenere il confort termo-igrometrico il tecnico progettista deve garantire condizioni conformi almeno alla classe B della UNI

EN ISO 7730 in termini di PMV e di PPD senza trascurare i requisiti previsti nella UNI EN 13788 (Decreto Ministeriale 26 Giugno 2015) sui ponti termici [5,6].

Tali considerazioni verranno effettuate qualora si pervenga alla realizzazione di un prototipo. Poiché la tamponatura in esame contiene elementi di un impianto elettrico, alle considerazioni precedenti si aggiungeranno quelle relative alle norme di sicurezza (individuate dal Decreto Ministeriale 22 Gennaio 2008 n. 37 e dal Decreto del Presidente della Repubblica 27 Aprile 1955 n. 547) [7,8] e compatibilità elettromagnetica (individuate del Decreto Legislativo 18 Maggio 2016 n. 80) [9], oggetto delle attività della II e III annualità.

3 Conclusioni

Per quanto riguarda il comportamento strutturale, in entrambi i casi esaminati (pannelli esterni in Fibra di Legno e pannelli esterni in Fibra di Canapa) si riscontra nelle maglie un livello di sollecitazione lontano dalla crisi del materiale, anche tenendo conto della forza che porta al collasso per carico di punta l'asta compressa. Per questa ragione una delle attività principali delle fasi successive del progetto consisterà nell'ottimizzazione della geometria di tali elementi portanti, al fine di ridurre quanto più possibile l'impiego di acciaio.

Per quanto riguarda il comportamento termo-igrometrico, alla luce delle simulazioni numeriche eseguite si può constatare che le tipologie di parete analizzate hanno prestazioni equivalenti. Pertanto la scelta dei materiali con i quali realizzare il prototipo sarà dettata da altre esigenze prestazionali quali per esempio la resistenza meccanica richiesta, la leggerezza, la facilità realizzativa e di messa in opera.

L'aspetto normativo non evidenzia criticità che possano ostacolare in principio la progettazione di un prototipo. Qualora il manufatto voglia essere impiegato in applicazioni reali, dovrà essere tale da consentire al progettista di rispettare la normativa sopra richiamata nel suo complesso.

4 Riferimenti bibliografici

1. MatWeb, <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=a696bdcdf6f41dd98f8eec3599eaa20&ckck=1>
2. "Aggiornamento delle <<Norme tecniche per le costruzioni>>", Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/02/20/18A00716/sg>.
3. "Istruzioni per l'applicazione dell' Aggiornamento delle <<Norme tecniche per le costruzioni>> di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018", Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Circolare 21 Gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP..
4. "Adozione dei criteri ambientali minimi per gli arredi per interni, per l'edilizia e per i prodotti tessili", Decreto Ministeriale 11 gennaio 2017, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2017/01/28/17A00506/sg>.
5. UNI EN ISO 7730, <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-iso-7730-2006>.
6. UNI EN ISO 13788, <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-iso-13788-2013>.
7. Decreto Ministeriale 22 Gennaio 2008 n. 37, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2008/03/12/008G0060/sg>.
8. Decreto del Presidente della Repubblica 27 Aprile 1955 n. 547, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1955/07/12/055U0547/sg>.
9. Decreto Legislativo 18 Maggio 2016 n. 80, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/05/25/16G00097/sg>.