



Ricerca di Sistema elettrico

Test e prove in cantiere per la valutazione del
comportamento termoigrometrico dei blocchi murari
realizzati con fibre di canapa.
Componenti edili a base naturale per edifici nZEB

Luprano Vincenza Anna Maria, Aversa Patrizia, Concetta Tripepi, Marzo Anna

TEST IN CANTIERE PER LA VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO TERMOIGROMETRICO DEI BLOCCHI MURARI REALIZZATI IN CALCECANAPULO

Luprano Vincenza Anna Maria, Aversa Patrizia, Tripepi Concetta, Marzo Anna (ENEA)

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici.

Progetto D.2.1 Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici (scuole, ospedali, uffici della PA centrale e locale) mirata a conseguire il raggiungimento della definizione di edifici a energia quasi zero (nZEB).

Obiettivo): Test in cantiere per la valutazione del comportamento termoigrometrico dei blocchi murari realizzati in calcecanapulo

Responsabile del Progetto: Ing. Domenico Iatauro, ENEA

Responsabile scientifico dell'attività: Dr.ssa Vincenza Anna Maria Luprano

Si ringraziano per la disponibilità e la collaborazione tecnica gli architetti Antonio e Francesco Terrana dello studio FRONTINITERRANA Architects, il geometra Stefano Valbusa, l'Arch. Pedone della Pedone Working s.r.l., la Famiglia Salomone e la Famiglia Oliosio per la collaborazione durante la sperimentazione.

Indice

SOMMARIO	4
1. INTRODUZIONE	5
2. INDAGINI IN SITU	7
2.1 CANTIERE IN SICILIA	7
2.1.1 <i>Descrizione dell'edificio e delle misure effettuate</i>	8
<i>Norme di riferimento</i>	14
2.1.2 <i>Risultati sperimentali</i>	15
2.1.3 <i>Analisi numeriche</i>	16
2.1.4 <i>Confronto tra simulazioni numeriche e dati sperimentali</i>	16
2.2 CANTIERE IN VENETO	18
2.2.1 <i>Descrizione dell'edificio e delle misure effettuate</i>	18
3. CONCLUSIONI.....	25
4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	26

Sommario

I materiali biocompositi di *calcecanapulo* hanno buone proprietà di traspirabilità e regolazione igrometrica e sono utilizzabili per applicazioni edili in ambienti a clima mediterraneo. Alla luce del recente sviluppo, in ambito italiano, di prodotti, aziende e cantieristiche rivolte ai materiali innovativi in *calcecanapulo*, questa ricerca ha la finalità di costituire le basi di un necessario supporto tecnico-scientifico per professionisti e imprese che vogliano confrontarsi con questo tipo di prodotto. Partendo dalla valutazione, precedentemente effettuata nel report COMPONENTI EDILI CON PRESTAZIONI ENERGETICHE OTTIMIZZATE PER I CLIMI MEDITERRANEI E BASATI SU MISCELE DI CALCECANAPULO sempre nell'ambito del PAR2017, delle prestazioni ambientali delle tecnologie in *calcecanapulo*, mediante l'analisi del ciclo di vita (LCA), al fine di valorizzare la sostenibilità di questo materiale in campo edile, in questo report sono state approfondite le metodologie di misura e i loro campi applicativi in situ per definire i limiti prestazionali di questa tipologia di materiali innovativi.

L'oggetto di studio sono stati i blocchi in *calcecanapulo*, per la realizzazione di murature di tamponatura rifinite con rasatura superficiale.

Allo scopo di studiare la funzionalità in opera di questi materiali, è stata messa a punto una metodologia di misura verificata prima attraverso prove di laboratorio (prestazioni termoigrometriche e termoflussimetriche) in camera climatica su una parete di 1 m² (report COMPONENTI EDILI CON PRESTAZIONI ENERGETICHE OTTIMIZZATE PER I CLIMI MEDITERRANEI E BASATI SU MISCELE DI CALCECANAPULO), e poi confrontata con quella applicata in opera in due cantieri, uno in Sicilia e uno in Veneto in cui era stata utilizzata la stessa tipologia di blocchi in *calcecanapulo* per costruire le abitazioni. La campagna di misure è stata pianificata ed effettuata prestando particolare attenzione alla funzionalità di questi materiali quando sono soggetti a climi caldo temperati.

1. Introduzione

Nel recente Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 riguardante l'aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» pubblicato sulla GU serie Generale n.42 del 20-02-2018 – Supplemento ordinario n.8, nel cap. 2 nei principi fondamentali, si richiede che *'Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.'* Inoltre si richiede che queste nuove costruzioni rispettino un alto livello di durabilità, che può essere garantito progettando la costruzione, e la specifica manutenzione, in modo tale che il degrado della struttura, che si dovesse verificare durante la sua vita nominale di progetto, non riduca le prestazioni della costruzione al di sotto del livello previsto. Tale requisito può essere soddisfatto attraverso l'adozione di appropriati provvedimenti stabiliti tenendo conto delle previste condizioni ambientali e di manutenzione ed in base alle peculiarità del singolo progetto, tra cui: a) scelta opportuna dei materiali; ...h) adozione di sistemi di controllo, passivi o attivi, adatti alle azioni e ai fenomeni ai quali l'opera può essere sottoposta. Le condizioni ambientali devono essere identificate in fase di progetto in modo da valutarne la rilevanza nei confronti della durabilità. Tenendo conto dei punti sopra identificati del DM, il presente studio si focalizza sull'analisi e l'approfondimento di nuovi materiali che facciano un uso sostenibile delle risorse naturali e sullo sviluppo di metodologie di misura che possano fornire informazioni sul comportamento di questi materiali nelle condizioni ambientali di esercizio.

Tra le soluzioni innovative e sostenibili per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'edilizia dei paesi a clima caldo-temperato con materiali naturali derivanti da sottoprodotti agricoli, la canapa ha un suo ruolo importante, in questo periodo storico, per la nascita di nuove filiere, incentivate anche da Leggi nazionali. In particolare, i materiali biocompositi di *calcecanapulo* hanno buone proprietà di traspirabilità e regolazione igrometrica e sono utilizzabili per applicazioni edili in ambienti a clima mediterraneo. Alla luce del recente sviluppo, in ambito italiano, di prodotti, aziende e cantieristiche rivolte ai materiali innovativi in calcecanapulo, questa ricerca ha la finalità di costituire le basi di un necessario supporto tecnico-scientifico per professionisti e imprese che vogliano confrontarsi con questo tipo di prodotto.

Per il mercato italiano della produzione di materiali da costruzione, l'introduzione delle normative in ambito energetico (Cfr. Direttive EPBD ed EPBD Recast con i relativi recepimenti a livello nazionale che sono confluiti nell'attuale D.M. 26/06/2015, comunemente detto "Decreto requisiti Minimi") ha rappresentato un forte stimolo ad innovare materiali e componenti edilizi per garantire prestazioni più elevate in linea con i nuovi standard. Tale processo ha, inoltre, stimolato la ricerca di nuove soluzioni tecnico-costruttive e lo sviluppo di prodotti innovativi ad alte prestazioni in grado di dare risposte efficienti ed efficaci alle differenti specificità climatiche nazionali. L'Italia, com'è noto, essendo un Paese a clima mediterraneo, si caratterizza per un elevato fabbisogno di energia in regime estivo (raffrescamento) con conseguente diffusione di sistemi di climatizzazione. Le soluzioni costruttive di involucro, pertanto, vanno alla ricerca di materiali che garantiscano una maggiore resistenza termica (minore trasmittanza) e al contempo un miglior comportamento per i climi mediterranei, ottimizzando le condizioni di benessere termo-igrometrico indoor. Il tutto, naturalmente, con la garanzia di durabilità. Sviluppare questa tipologia di nuovi prodotti non può che essere a vantaggio anche delle condizioni di comfort (sia invernale che estivo) ambientale.

Sulla base della metodologia e del set up sperimentale messo a punto in laboratorio per la valutazione del comportamento termo-igrometrico su muro realizzato in blocchi di calcecanapulo a 23° e a 35° riportato nella relazione dal titolo COMPONENTI EDILI CON PRESTAZIONI ENERGETICHE OTTIMIZZATE PER I CLIMI MEDITERRANEI E BASATI SU MISCELE DI CALCECANAPULO effettuata sempre nell'ambito del PAR2017, sono state effettuate da ENEA misure in situ su abitazioni residenziali per la valutazione del comportamento termoigrometrico di edifici in clima mediterraneo. In particolare, sono state effettuate misure su un edificio

situato in Sicilia, al fine di provare a comprendere al meglio il comportamento di questi materiali esposti agli eventi climatici caratteristici del nostro territorio. Inoltre, le stesse misure sono state effettuate su un'abitazione situata in Veneto.

2. Indagini in situ

Nella relazione COMPONENTI EDILI CON PRESTAZIONI ENERGETICHE OTTIMIZZATE PER I CLIMI MEDITERRANEI E BASATI SU MISCELE DI CALCECANAPULO, effettuata sempre nell'ambito del PAR2017, è stato studiato il comportamento di una muratura di 1 m² in blocchi di calcecanapulo al variare dei parametri termici e igrometrici tipici del clima mediterraneo in camera climatica presso il Politecnico di Milano. In particolare, per quanto attiene alle misure termoigrometriche, per tenere conto delle condizioni ambientali esterne relative al Sud Italia, sono stati definiti ed eseguiti due cicli a temperatura fissa (23° e di 35°C) al variare dell'umidità relativa.

Partendo dalla messa a punto del set up sperimentale, con la stessa metodologia utilizzata in laboratorio, Enea ha effettuato misure in situ su due abitazioni residenziali per la valutazione del comportamento termoigrometrico di edifici in cui sono stati utilizzati blocchi in calcecanapulo. In particolare, sono state effettuate misure su una casa unifamiliare situata in Sicilia e su una in Veneto, al fine di provare a comprendere al meglio il comportamento di questi materiali soggetti agli eventi climatici caratteristici del nostro territorio. Nello studio in Sicilia particolare attenzione è stata data alle pareti esposte ad SUD OVEST e SUD EST nonché alla parete Nord Ovest, in un arco temporale compreso tra Luglio e Agosto, mentre in Veneto lo studio è stato condotto sull'unica parete rispondente ai nostri requisiti di misura ossia sulla parete con esposizione Ovest, nei mesi tra Novembre e Dicembre.

2.1 Cantiere in Sicilia

INFORMAZIONI GENERALI

Luogo del cantiere: SERRADIFALCO (CL)

Gradi giorno: 1426

Zona climatica: D

Tipologia dell'edificio: CASA UNIFAMILIARE ISOLATA, di seguito è riportata una foto della casa in fase di costruzione



2.1.1 Descrizione dell'edificio e delle misure effettuate

DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO

Il manufatto oggetto di studio è una casa unifamiliare isolata che si sviluppa su due livelli. Le pareti, scelte in funzione dell'esposizione solare, sono state oggetto di misure per lo studio del comportamento termoigrometrico attraverso l'installazione di una rete di sensori progettati ad hoc. Di seguito le planimetrie dell'edificio e le relative indicazioni sulla posa in opera dei sensori sulle murature (Fig. 1)



Figura 1

Le camere con esposizione a Nord ovest e Nord Est sono state inoltre indagate in relazione ai parametri ambientali interni.

DESCRIZIONE DELLA PARETE



Figura 2

LEGENDA Figura 2

- 1 intonaco 20 mm posato complanare posato e schiacciato (intonaco premiscelato a base di calce idraulica NHL 5, premiscelato ICN)
- 2 360 mm biomattone A4, posato con malta di allettamento 400 (1 parte di canapulo + 3 parti di legante dolomitico naturale LDN)
- 3 malta di allettamento 400 (1 parte di canapulo + 3 parti di legante dolomitico naturale LDN)

CALCOLO DELLA TRASMITTANZA

Il calcolo della trasmittanza è stato effettuato numericamente secondo la normativa *UNI EN ISO 6946/2005 Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo*, tenendo anche in considerazione che la parete di 1m² analizzata in laboratorio era costituita dallo stesso biomattone utilizzato in cantiere come riportato nel report COMPONENTI EDILI CON PRESTAZIONI ENERGETICHE OTTIMIZZATE PER I CLIMI MEDITERRANEI E BASATI SU MISCELE DI CALCECANAPULO.

Scheda tecnica biomattone A4

Dati tecnici validi da aprile 2015.

Spessore in cm	8	12	15	25	30	36	40
Densità in kg/m ³	330	330	330	330	330	330	330
λ Conduttività termica in W/(mK)	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
U Trasmittanza termica in W/(m ² K)	0,76	0,53	0,43	0,27	0,22	0,19	0,17
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo (μ)	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Calore specifico (J/kgK)	1870	1870	1870	1870	1870	1870	1870
Coefficiente di assorbimento acustico	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Indice di attenuazione acustica Rw (dB) con intonaco 1,5 cm x lato	24,37	36,55	37,51	40,11	41,17	42,29	42,96
Reazione al fuoco con intonaco	Ignifugo	Ignifugo	Ignifugo	Ignifugo	Ignifugo	Ignifugo	Ignifugo
Sfasamento senza intonaco	3h09'	5h53'	7h58'	14h48'	18h13'	22h19'	25h04'

Descrizione struttura

1	Int.	Intonaco
2	Int.	Biomattone
3	Int.	Intonaco

	s_i [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg°C]	μ [s]	λ [W/m°C]	α [m ² /s]	R [m ² °C/W]	R_{se} [m ² °C/W]	α [m ² /s]
1	0.020	1350	0.470	0.000	0.0	0.0	0.04	0.18	0.542
2	0.020	1350	0.470	0.000	0.0	0.0	0.04	0.18	0.542
3	0.020	1350	0.470	0.000	0.0	0.0	0.04	0.18	0.542

Elementi caratteristici

- s Spessore
- ρ Densità
- c Capacità termica
- μ Fattore di resistenza al vapore
- λ Conduttività termica
- α Coefficiente di assorbimento
- R Resistenza termica
- R_{se} Resistenza termica esterna
- α Coefficiente di assorbimento

Parametri dinamici

- Spessore totale: 0.060 m
- Massa superficiale: 172.8 kg/m²
- Massa superficiale intonaco (mattone): 118.8 kg/m²
- Resistenza: 0.12 m²°C/W
- Trasmissione (U): 0.19 W/m²°C

Parametri dinamici

Trasmissione periodica (Y _p):	0.02 W/m ² °C	Aperti attenti	0.02 W/m ² °C
Fattore di attenuazione:	0.02		0.02
Fattore di attenuazione:	0.02		0.02
Capacità termica:	0.02 J/m ² °C		0.02 J/m ² °C
Capacità termica:	0.02 J/m ² °C		0.02 J/m ² °C
Capacità termica:	0.02 J/m ² °C		0.02 J/m ² °C
Capacità termica:	0.02 J/m ² °C		0.02 J/m ² °C
Capacità termica:	0.02 J/m ² °C		0.02 J/m ² °C
Capacità termica:	0.02 J/m ² °C		0.02 J/m ² °C

Verifica trasmittanza

Procedura: CALTA/ISO/ITA

Calcoli eseguiti con il software RPA 2.0

Calcolo dei parametri termici dinamici e della prestazione igrotermica dei componenti edilizi secondo le norme UNI EN ISO 13786 2008 e UNI EN ISO 13786 2003, disponibile in rete.

Tipo di componente		Classifica verticale						
Stratigrafia	s	ρ	μ	c	λ	R	q _{tr}	
(int-est)	[cm]	[kg/m ³]	[-]	[J/kg°C]	[W/m°C]	[m ² °C/W]	$\lambda \rightarrow R$	$R \rightarrow \lambda$
Strato limitare interno							0.13	
I INTONACO	2.0	1350	8	850	0.470			
II BIOMATTONI	36.0	330	4.5	1670	0.070			
III INTONACO	2.0	1350	8	850	0.470			
IV								
V								
VI								
VII								
VIII								
IX								
X								
Strato limitare esterno							0.04	
Parametro		Modulo		Sfasamento		LEGENDA		
Ammettenza termica interna (Y _p)		2.464 W/(m ² °C)		3.11 h		s = spessore		
Ammettenza termica esterna (Y _{se})		2.854 W/(m ² °C)		3.63 h		ρ = massa volumica		
Trasmittanza termica periodica (Y _p)		0.004 W/(m ² °C)		0.23 h		μ = fattore di resistenza al vapore		
Capacità termica interna (C _i)		33.9 kJ/(m ² °C)				c = calore specifico		
Capacità termica esterna (C _e)		39.2 kJ/(m ² °C)				λ = conducibilità termica		
Resistenza termica (R)		5.396 (m ² °C/W)				R = resistenza termica		
Trasmissione termica (U)		0.185 W/(m ² °C)						
Fattore di attenuazione (F)		0.021						
Spessore (s)		40.0 cm						
Massa superficiale (m)		172 kg/m ²						
Sfasamento (g)		23.77 h						

CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le misurazioni, sono state condotte, con l'ausilio della seguente strumentazione:

- stazione meteorologica Capetti;
- termocamera FLIR T 620;
- sensori Capetti per la misura della temperatura PT1000;
- sensori Capetti per la misura della temperatura ambiente;
- sensori Capetti per la misura di temperatura e umidità superficiale;
- distanziometro laser Bosch;
- anemometro a filo caldo TROTEC.

STRUMENTO	CARATTERISTICHE
Stazione meteorologica	Intervallo di misura della temperatura -40-80 °c risoluzione 0,2 °c, Intervallo di misura del vento 0,5-70 m/s risoluzione 0,1 m/s Intervallo di misura della direzione 0°-360°risoluzione $\leq 1^\circ$ Intervallo di misura della radiazione solare 0-2000 w/m2 risoluzione 3 um
Termocamera FLIR T 620	Intervallo di misura della temperatura da -40 °C a 650 °C; sensibilità termica (N.E.D) da <0,04 °C a 30 °C; zoom 4x; messa a fuoco automatico(singolo scatto) o manuale;
Sensori di temperatura e umidità superficiale Capetti	Sensore NTC 10K Range di misura -10°C ÷ +60°C Precisione di misura $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Sensore Umidità: Tecnologia CMOSens® in case plastico Range di misura 0% ÷ 100% Precisione di misura $\pm 2,5\%$ da 0 a 90% Da 90% a 100% varia da $\pm 2,5\%$ a $\pm 3,5\%$ Precisioni garantite nel range 0°C ÷ 50
Sensori a parete Capetti	PT1000 classe A a francobollo per rilevamento della temperatura della parete, intervallo di misurazione da -20°C a 60°C, risoluzione 0,01°C, precisione 0,1°C, intervallo per umidità relativa da 10 al 90%
Distanziometro laser Bosch	GLM 80 Professional, campo di misura 0,05 – 80,00, Diodo laser 635 nm, < 1 mW, Peso, ca. 0,14 kg;
Anemometro a filo caldo TROTEC 3000	TS 430 SDI, campo di misurazione da 0,0°C fino a +50,0°C, precisione +1,0°C adatto per rilievi fino a 2m/s.
Termocamera FLIR 620	intervallo di misura della temperatura da -40 °C a 650 °C; sensibilità termica (N.E.T.D) da <0,04 °C a 30 °C; zoom 4X, continuo; messa a fuoco automatico (singolo scatto) o manuale;/s.

RILIEVO STRUMENTALE - IMMAGINI TERMOGRAFICHE

I rilievi termografici sono stati effettuati per la verifica di assenza di eventuali ponti termici, per rilevare il valore della temperatura superficiale esterna della intera parete a Nord Ovest non del tutto accessibile per i rilievi strumentali. Vengono riportati di seguito alcuni rilievi effettuati in modo particolare sulla parete Sud Est (Fig 3) e Nord Ovest (Fig 4).

Le termografie hanno mostrato uniformità e continuità delle temperature sulle pareti indagate.



Figura 3

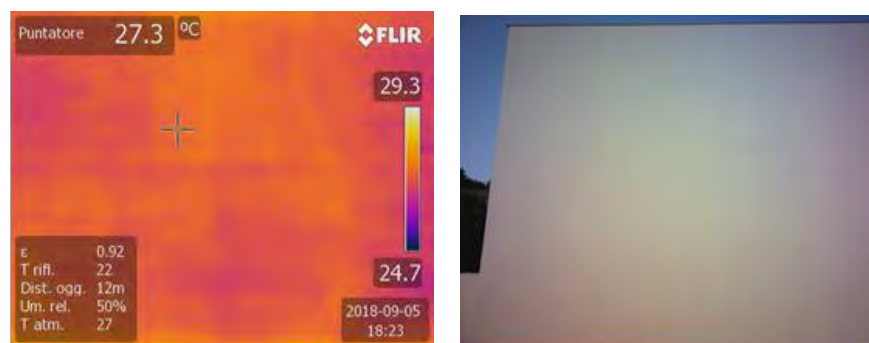


Figura 4

DESCRIZIONE DELLA POSA IN OPERA DEI SENSORI

- posa della stazione meteorologica (Figura 5);
- posa dei sensori ambiente nella zona pranzo (Figura 6) nella cameretta (Figura 7) e, poste a piano terra, per la misurazione ambientali interni : temperatura , Umidità e CO_2 ;
- posa dei sensori a parete interno cameretta del piano terra_ Figura 7_ 8, Figura 9 terrazzo primo piano, per la misurazione della temperatura e dell'umidità superficiale;
- posa dei sensori a parete zona tv piano terra Figura 10 in esterno, zona tv piano terra interno_ Figura 11 per la misurazione della temperatura e dell'umidità superficiale;
- posa dei sensori a parete per la misurazione delle temperature superficiali interna ed esterna nella camera doppia al primo piano (Figura 12 e 13)
- tutti i sensori sono stati posati con l'impiego di una gommina adesiva non invasiva.



Figura 5 (codici sensori 25AB 29D)



Figura 6 (codice sensore 79BE)

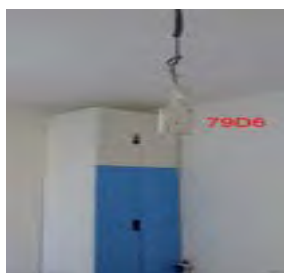


Figura 7 (codice sensore 79D6)

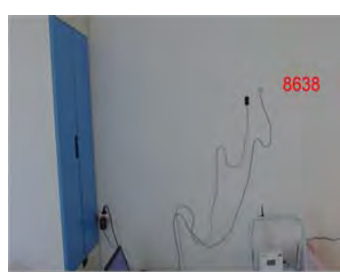


Figura 8 (codice sensore 8638)



Figura 9 (codice sensore 8637)

NO



Figura 10 (codice sensore 8645)



Figura 11 (codice sensore 8636)

SO

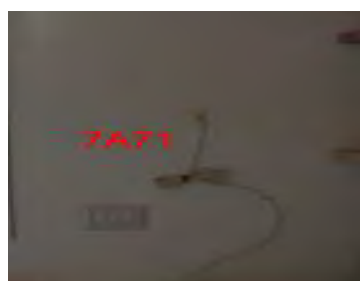


Figura 12 (codice sensore 7A71)



Figura 13 (codice sensore 3069)

SE

DESCRIZIONE DEL METODO DI MISURA

I sensori sono stati posati in opera seguendo lo stesso set up sperimentale utilizzato nelle misure in laboratori e descritto nella relazione COMPONENTI EDILI CON PRESTAZIONI ENERGETICHE OTTIMIZZATE PER I CLIMI MEDITERRANEI E BASATI SU MISCELE DI CALCECANAPULO di cui si riportano le norme di riferimento e le foto in Figura 14.

Norme di riferimento

- UNI EN 15026: 2008 - Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio - Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica.

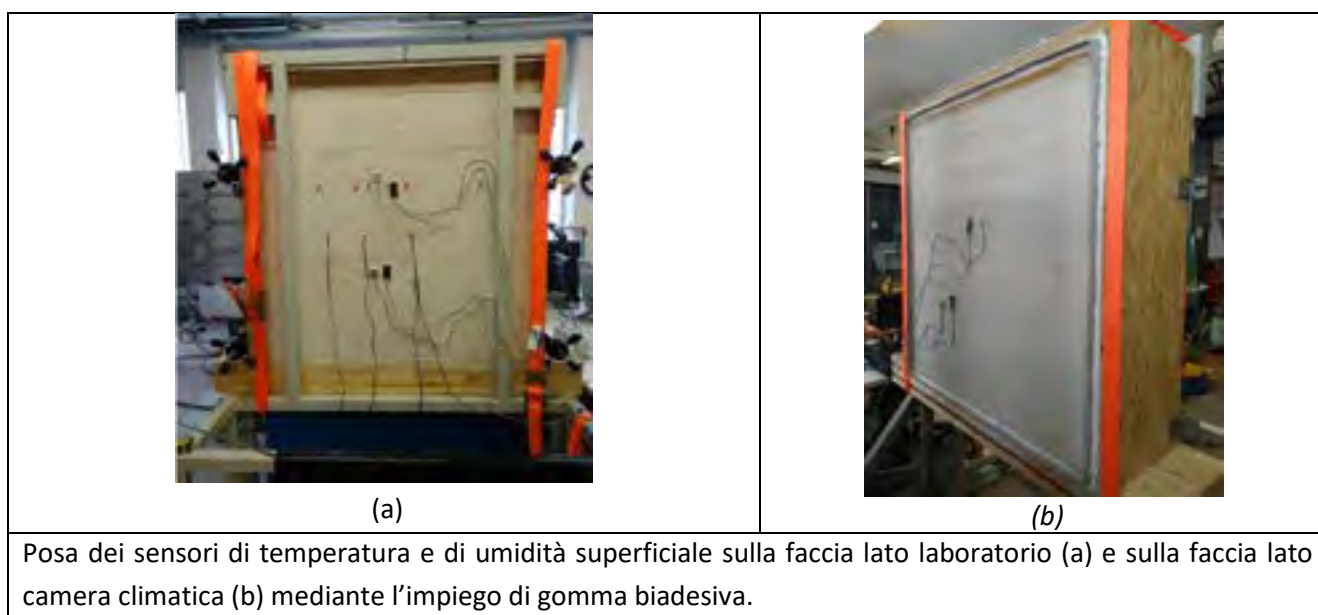


Figura 14: Set up sperimentale per misure termoigrometriche

I sensori sono stati utilizzati per i rilievi dei parametri di temperatura ed umidità superficiale esterni ed interni delle murature, mentre all'esterno con la centralina meteo sono state rilevate le condizioni meteorologiche. I monitoraggi hanno avuto la durata di circa 1 mese, ma ai fini della sperimentazione sono stati utilizzati i dati registrati in assenza dei proprietari per studiare la risposta della muratura, escludendo così il contributo relativo all'eventuale utilizzo degli impianti di condizionamento. Le verifiche termoigrometriche sono state effettuate seguendo il riferimento normativo *'UNI EN ISO 13788 Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo'*

Come nel metodo sperimentale descritto precedentemente, le misure in situ sono state analizzate seguendo un approccio integrato mediante il confronto tra le misure sperimentali e le simulazioni numeriche.

Di seguito vengono riportate le prime valutazioni dello studio ed in particolar modo sulla parete con esposizione Nord Ovest.

2.1.2 Risultati sperimentali

Si riportano in questo paragrafo le prime valutazioni numerico - sperimentale effettuate sulla parete interna con esposizione Nord Ovest valutate in relazione alle condizioni ambientali esterne.

In analogia a quanto fatto per la caratterizzazione in laboratorio, i risultati ottenuti in cantiere sono stati analizzati seguendo un approccio integrato mediante il confronto tra misure sperimentali e simulazioni numeriche, in figura 15 viene riportato il comportamento misurato sperimentalmente della parete interna ed esterna in relazione ai parametri di Umidità e Temperatura per il periodo compreso tra il 18 Agosto ed il 30 Agosto.

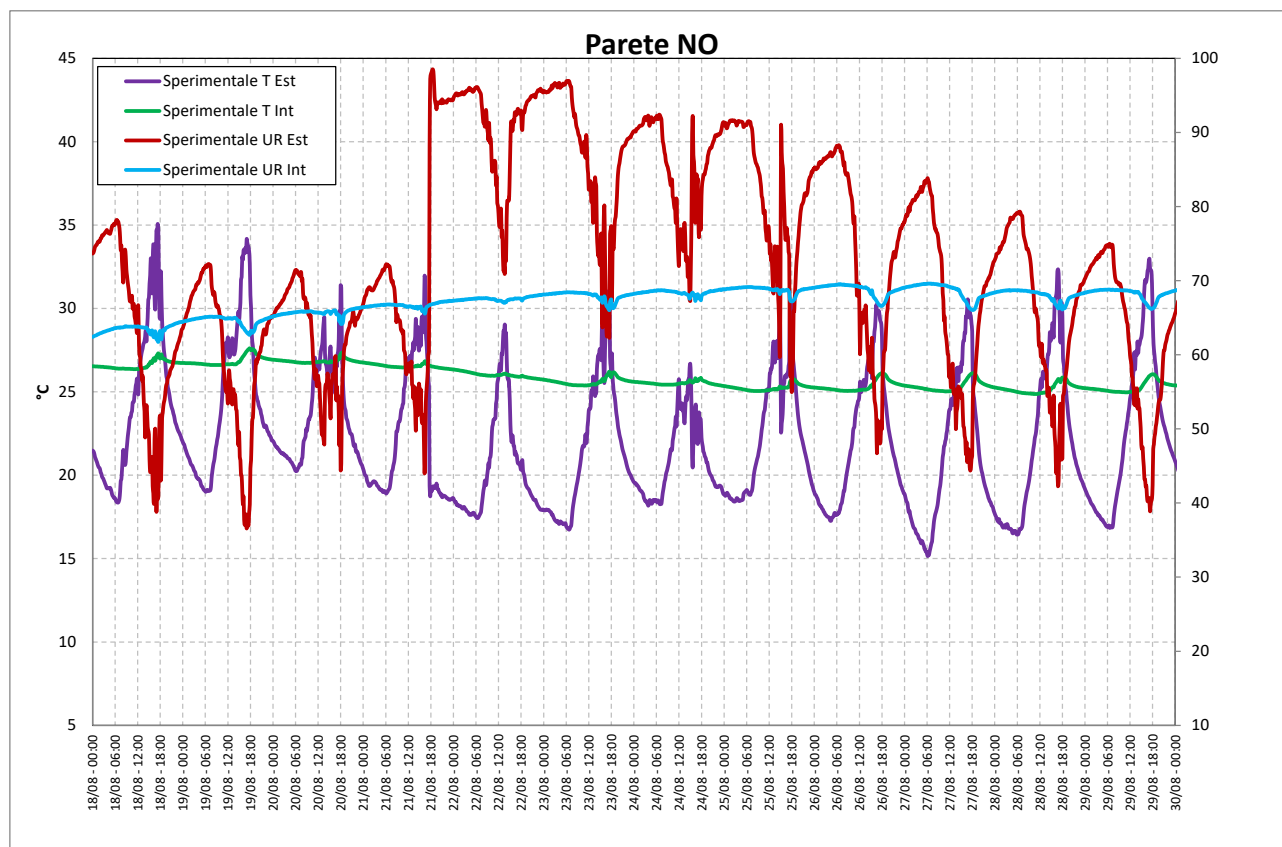


Figura 15

Per quanto riguarda l'analisi della umidità (UR%) sulla parete interna è stato registrato un comportamento pressoché costante con un valore intorno al 67-68%, rispetto alle oscillazioni esterne misurate comprese tra il 40 ed il 100%. La risposta della parete, in condizioni di particolare piovosità che si sono verificate, durante la sperimentazione, ha avuto quindi un buon comportamento misurabile con uno smorzamento superiore all'80%. Analogo discorso può essere riportato per la risposta termica, a fronte di oscillazioni di temperature esterne comprese tra i 15°C e 35°C, sulla parete interna si è registrata, nell'arco dell'intero periodo, un'oscillazione rispetto alla temperatura di 26°C di circa $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$, andando a garantire rispetto all'esterno uno smorzamento superiore all'80% senza l'uso dei condizionatori. Mentre per quanto riguarda lo sfasamento, le pareti Nord Ovest, mostrano un comportamento leggermente difforme rispetto a quando valutato nelle misure in laboratorio. In laboratorio, infatti, (par. 4.4.4.7. della relazione COMPONENTI EDILI CON PRESTAZIONI ENERGETICHE OTTIMIZZATE PER I CLIMI MEDITERRANEI E BASATI SU MISCELE DI CALCECANAPULO), analizzando il ciclo a 35°C, secondo quanto riscontrato sperimentalmente, si evince un'oscillazione nel valore della UR lato parete interna che poi si assesta intorno al 57-58% mentre dalle simulazioni numeriche si dedurrebbe una risalita finale solo fino a circa il 50%. Gli andamenti delle

temperature sperimentali e numeriche lato parete interna sono analoghi con circa 0,5°C di differenza nel valore finale (32,5°C sperimentale, 32°C numerico). Inoltre si è potuto osservare che lo sfasamento tra l'umidità interna ed esterna risulta di circa 8 ore sempre dai dati di laboratorio.

Per quanto riguarda le misure in situ invece lo sfasamento risulta attestarsi su un valore non superiore alle 6 ore rispetto al picco massimo della temperatura esterna, ma nonostante ciò la parete interna è stata in grado di mantenere un valore della temperatura di circa 26°C costanti, senza l'utilizzo dei condizionatori o di ventilazioni naturali per l'intero periodo.

2.1.3 Analisi numeriche

Nelle simulazioni numeriche è stato implementato lo stesso pacchetto parete messo in opera in cantiere. Ai fini dello svolgimento dell'analisi si è ritenuto opportuno utilizzare, per quanto riguarda i valori del clima esterno, i parametri climatici del Comune di Santo Pietro (CT), che è risultato il Comune più prossimo a quello di Serradifalco tra quelli disponibili nella libreria di WUFI.

In Figura 16 sono riportate le simulazioni svolte con WUFI sulla parete avente esposizione Nord Ovest (N-O).

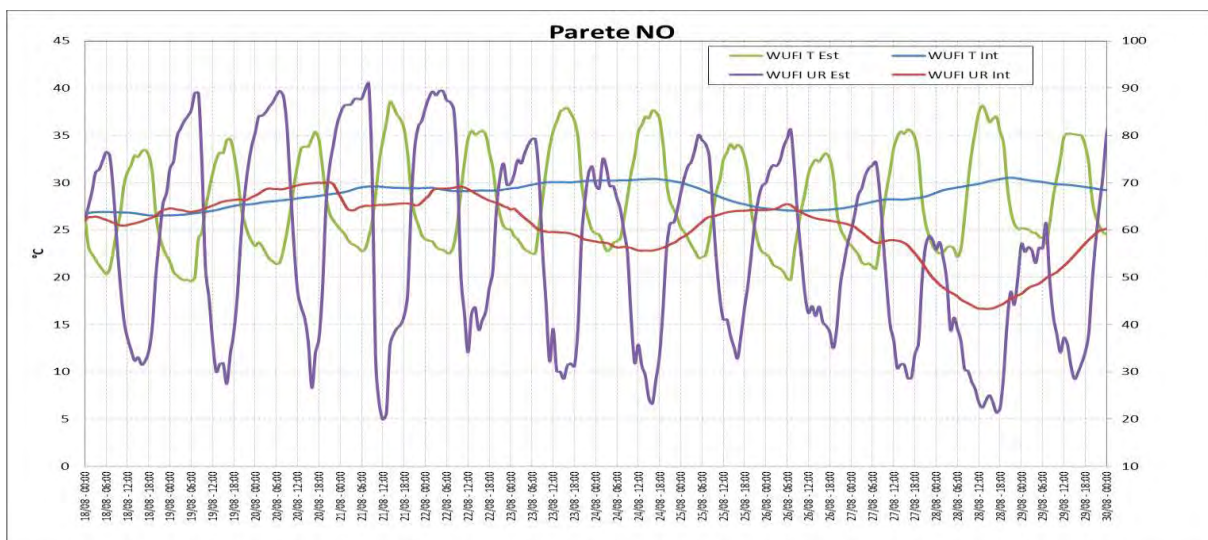


Figura 16: Confronto tra Umidità e le Temperature numeriche (Parete NO)

Dall'analisi dei dati riportati in Figura 16, si può osservare come, secondo la simulazione numerica, i valori di umidità sulla parete esterna per la maggior parte dei casi non sono superiori all'80%, con ulteriore riduzione nell'ultimo periodo, mentre oscillazioni comprese tra il 55% ed il 65% vengono rilevate per il valore della umidità sulla parete interna. Per quanto riguarda le temperature, si può osservare che mentre sulla parete esterna si registrano picchi anche di 38°C, sulla parete interna la temperatura si assesta sui 28°C $\pm$ 2.

2.1.4 Confronto tra simulazioni numeriche e dati sperimentali

Dal confronto delle analisi tra dati sperimentali e simulazioni e numeriche, Figura 17, si può osservare che per quanto riguarda le temperature esterne, il monitoraggio rileva valori con picchi per più della metà dei casi non superiori ai 31 °C, mentre i dati riportati dalla simulazione registrano picchi più alti, con periodici valori anche di 38°C. Analogo discorso vale per le temperature interne. La simulazione numerica evidenzia un comportamento meno costante della temperatura interna con valori di circa 28°C $\pm$ 2 mantenendo però

un andamento più passivo, meno ricettivo. L'analisi strumentale sulla parete interna registra, nell'arco dell'intero periodo, un'oscillazione rispetto alla temperatura di 26°C di circa $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$.

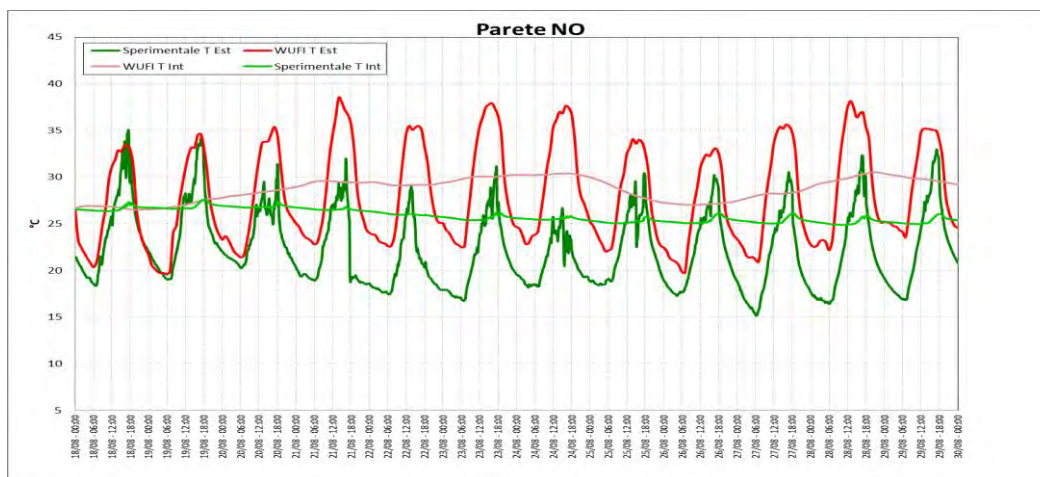


Figura 17: Confronto tra Umidità e Temperature numeriche e sperimentali (Parete NO)

2.2 Cantiere in Veneto

Per quanto riguarda l’abitazione in Veneto si ripota solo la descrizione dell’edificio, l’elenco e le modalità delle misure effettuate. Le misure saranno (poiché al momento della stesura della relazione alcune misure sono ancora in corso) analizzate seguendo un approccio integrato mediante il confronto tra le misure sperimentali e le simulazioni numeriche come nel caso del cantiere in Sicilia.

INFORMAZIONI GENERALI

Nome del progetto: Progetto di ampliamento dei locali di ristoro Agriturismo “Nonna Rosa”

Luogo del cantiere: Sona (VR)

Gradi giorno: 2571

Zona climatica: E

Tipologia dell’edificio: Abitazione – Recupero di un porticato aperto ad uso agricolo per ricavare una sala di ristorazione chiusa per agriturismo

2.2.1 Descrizione dell’edificio e delle misure effettuate

DESCRIZIONE DELL’EDIFICIO

Il manufatto oggetto dello studio è una sala da pranzo di un edificio residenziale monofamiliare in cui porticato aperto ad uso agricolo è stato recuperato per ricavare una sala di ristorazione chiusa aperta al pubblico. Le pareti della sala sono state ultimate in tempi differenti e con tipologia costruttiva differente ma performante su tutti i lati. La parete scelta per le misure termoigrometriche è quella esposta ad ovest, situata al piano terra, l’unica realizzata unicamente con biomattone A4.

Di seguito la descrizione della posa in opera dei sensori sulle murature e negli ambienti interni (Fig. 18)



Figura 18

La stanza è stata indagata anche in relazione ai parametri ambientali interni.

Descrizione della parete

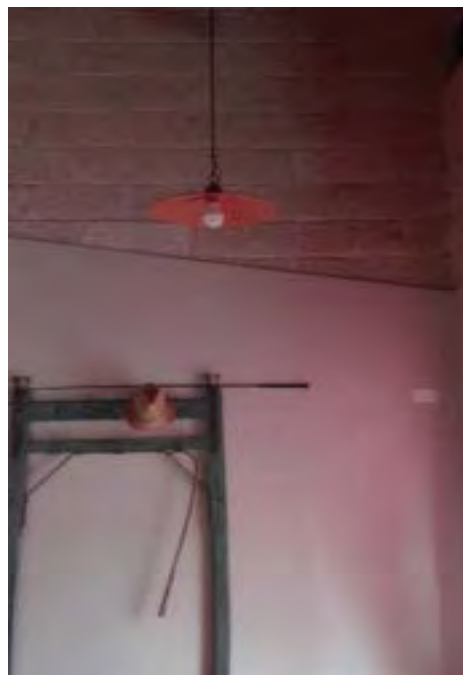


Figura 19

LEGENDA Figura 19

- 1 20 mm intonaco di calce idraulica naturale + finitura Spring Color NHL 3,5
- 2 30 mm biomattone A4
- 3 malta di allettamento Natural Binder (1 parte di canapulo + 3 parti di legante dolomitico naturale LDN)

CALCOLO DELLA TRASMITTANZA

Il calcolo della trasmittanza è stato effettuato numericamente secondo la normativa *UNI EN ISO 6946/2005 Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo*, tenendo anche in considerazione che la parete di 1m² analizzata in laboratorio era costituita dallo stesso biomattone utilizzato in cantiere come riportato nel report COMPONENTI EDILI CON PRESTAZIONI ENERGETICHE OTTIMIZZATE PER I CLIMI MEDITERRANEI E BASATI SU MISCELE DI CALCECANAPULO.

Riferimenti normativi.

UNI EN ISO 6946/2005 Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo

Scheda tecnica biomattone A4

Spessore in cm	8	12	15	25	30	36	40
Densità in kg/m³	330	330	330	330	330	330	330
λ Conduttività termica in W/(mK)	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
U Trasmissione termica in W/(m²K)	0,76	0,53	0,43	0,27	0,22	0,19	0,17
Resistenza alle diffusioni del vapore acqueo (μ)	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Calore specifico (j/kgK)	1870	1870	1870	1870	1870	1870	1870
Coefficiente di assorbimento acustico	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Indice di attenuazione acustica Rw (dB) con intonaco 1,3 cm x lato	24,37	36,55	37,51	40,11	41,17	42,29	42,96
Reazione al fuoco con intonaco	Ignifugo	Ignifugo	Ignifugo	Ignifugo	Ignifugo	Ignifugo	Ignifugo
Sfasamento senza intonaco	3h09'	5h53'	7h58'	14h48'	18h13'	22h19'	25h04'

Calcolo dei parametri termici dinamici e della prestazione igrotermica dei componenti edilizi secondo le norme UNI EN ISO 13786 2008 e UNI EN ISO 13786 2003, disponibile in rete.

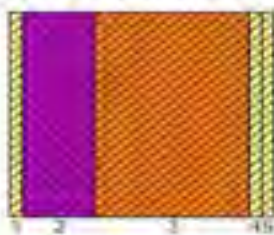
Tipo di componente		Chiusura verticale					
Stratigrafia (int-est)	s [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]	opz λ → R
Strato limitare interno							0,13
I INTONACHINO	2,0	1500	10	850	0,410	Area del tracciato	
II INTONACO	2,0	1500	10,0	850	0,410		
III BIOMATTONE	25,0	330	4,5	1870	0,070		
IV LATERIZIO	12,0	800	9	1000	0,800		
V INTONACO	2,0	1500	10	850	0,410		
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato limitare esterno							0,04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammortenza termica interna (Y _i)	3,355 W/(m²K)	2,81 h
Ammortenza termica esterna (Y _e)	5,828 W/(m²K)	2,83 h
Trasmittanza termica periodica (Y _p)	0,014 W/(m²K)	3,27 h
Capacità termica areica interna (c _i)	45,9 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (c _e)	80,0 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	4,038 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,248 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,055	

LEGENDA
s = spessore
ρ = massa volumica
μ = fattore di resistenza al vapore
c = calore specifico
λ = conduttività termica
R = resistenza termica

Spessore (s)	43,0 cm
Massa superficiale (m)	269 kg/m²
Sfasamento (φ)	29,73 h

Descrizione struttura



1	INT	Intonaco
2	VAR	Isolante
3	MUR	Bernellone
4	INT	Intonaco
5	INT	Intonaco

	s [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	μ [s]	M_s [kg/m ²]	R [m ² K/W]	S_e [m]	a [m ² /s]
1	0,020	1500,0	0,410	850,0	10,0	30,0	0,04	0,20	0,322
2	0,120	800,0	0,060	1000,0	9,0	96,0	0,15	1,08	1,000
3	0,250	230,0	0,070	1870,0	4,3	62,5	3,57	1,13	0,113
4	0,020	1500,0	0,410	850,0	10,0	30,0	0,05	0,20	0,322
5	0,020	1500,0	0,410	850,0	10,0	30,0	0,05	0,20	0,322
							0,13		

Elenco simboli

s	Spessore
ρ	Densità
λ	Conducibilità
c	Calore specifico
μ	Fattore di resistenza al vapore
M_s	Massa superficiale
R	Resistenza termica
S_e	Spessore equivalente d'aria
a	Diffusività

Parametri stazionari

Spessore totale	0,430 m
Massa superficiale	268,5 kg/m ²
Massa superficiale esclusi intonaci	178,5 kg/m ²
Resistenza	4,04 m ² K/W
Trasmittanza U	0,25 W/m ² K

Parametri dinamici

	Valori invernali	Valori estivi
Trasmittanza periodica V_{01}	0,01 W/m ² K	0,01 W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,08	0,08
Sfasamento	20h 43'	21h 7'
Capacità interna	45,9 kJ/m ² K	46,5 kJ/m ² K
Capacità esterna	80,0 kJ/m ² K	69,3 kJ/m ² K
Ammissanza interna	3,38 W/m ² K	3,40 W/m ² K
Ammissanza esterna	5,83 W/m ² K	5,05 W/m ² K

Calcoli eseguiti con il software PAN 7.0

CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le misurazioni, sono state condotte, con l'ausilio della seguente strumentazione:

- stazione meteorologica Capetti;
- termocamera FLIR T 620;
- sensori Capetti per la misura della temperatura PT1000;
- sensori Capetti per la misura della temperatura ambiente;
- sensori Capetti per la misura di temperatura e umidità superficiale;
- distanziometro laser Bosch;
- anemometro a filo caldo TROTEC.

STRUMENTO	CARATTERISTICHE
Stazione meteorologica	Intervallo di misura della temperatura -40-80 °c risoluzione 0,2 °c, Intervallo di misura del vento 0,5-70 m/s risoluzione 0,1 m/s Intervallo di misura della direzione 0°-360°risoluzione ≤1° Intervallo di misura della radiazione solare 0-2000 w/m2 risoluzione 3 um
Termocamera FLIR T 620	Intervallo di misura della temperatura da -40 °C a 650 °C; sensibilità termica (N.E.D) da <0,04 °C a 30 °C; zoom 4x; messa a fuoco automatico(singolo scatto) o manuale;
Sensori di temperatura e umidità superficiale Capetti	Sensore NTC 10K Range di misura -10°C ÷ +60°C Precisione di misura ±0,2°C . Sensore Umidità: Tecnologia CMOSens® in case plastico Range di misura 0% ÷ 100% Precisione di misura ±2,5% da 0 a 90% Da 90% a 100% varia da ±2,5% a ±3,5% Precisioni garantite nel range 0°C ÷ 50
Sensori a parete Capetti	PT1000 classe A a francobollo per rilevamento della temperatura della parete, intervallo di misurazione da -20°C a 60°C, risoluzione 0,01°C, precisione 0,1°C, intervallo per umidità relativa da 10 al 90%
Distanziometro laser Bosch	GLM 80 Professional, campo di misura 0,05 – 80,00, Diodo laser 635 nm, < 1 mW, Peso, ca. 0,14 kg;
Anemometro a filo caldo TROTEC 3000	TS 430 SDI, campo di misurazione da 0,0°C fino a +50,0°C, precisione +1,0°C adatto per rilievi fino a 2m/s.
Termocamera FLIR 620	intervallo di misura della temperatura da -40 °C a 650 °C;sensibilità termica (N.E.T.D) da <0,04 °C a 30 °C; zoom 4X, continuo; messa a fuoco automatico (singolo scatto) o manuale;/s.

RILIEVO STRUMENTALE_ IMMAGINI TERMOGRAFICHE

I rilievi termografici sono stati effettuati per la verifica di assenza di eventuali ponti termici Figura 19 e per rilevare il valore della temperatura superficiale esterna della parete esposta a Nord con caratteristiche costruttive differenti .

Le termografie per la parete oggetto della sperimentazione, figura 20, hanno mostrato uniformità e continuità delle temperature sulle pareti indagate, mentre lievi differenze di temperature si registravano sulle parti della muratura costruita con materiali differenti.

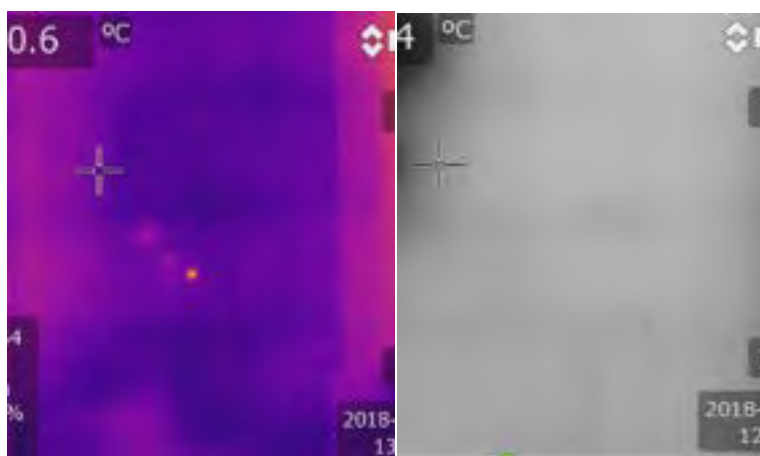


Figura 20

DESCRIZIONE DELLA POSA IN OPERA DEI SENSORI

- posa della stazione meteorologica (Figura 20);
- posa dei sensori ambiente, poste a piano terra, per la misurazione della temperatura interna , dell'umidità e della CO₂ (Figura 22);
- posa dei sensori a parete all'interno (Figura 23), per la misurazione della temperatura e dell'umidità superficiale;
- posa dei sensori a parete all'esterno (Figura 24) per la misurazione della temperatura e dell'umidità superficiale;
- tutti i sensori sono stati posati con l'impiego di una gommina adesiva non invasiva



Figura 21 (codici sensori 29DA , 25AB)



Figura 22 (codice sensore 79D6)



Figura 23 (codice sensore 8645)



Figura 24 (codice sensore 8637)

DESCRIZIONE DEL METODO DI MISURA

I sensori sono stati posati in opera come nel cantiere in Sicilia. I sensori sono stati utilizzati per i rilievi dei parametri di temperatura ed umidità superficiale esterni ed interni delle murature, mentre le condizioni meteorologiche venivano rilevate dalla centralina meteo. I monitoraggi hanno avuto la durata di circa 1 mese.

3. Conclusioni

Per la verifica del comportamento termoigrometrico dei biomattoni in calcecanapulo sono state effettuate prove in situ in un edificio situato in Sicilia sulla parete con esposizione Nord Ovest e su un edificio in Veneto. Nel presente report si riportano i risultati ottenuti sul cantiere in Sicilia, poiché in quello in Veneto, al momento dell'elaborazione del report, erano ancora in corso le misure. I risultati dei test sono stati analizzati seguendo un approccio integrato mediante il confronto tra misure sperimentali e simulazioni numeriche con lo scopo di definire e calibrare modelli matematici che siano in grado di riprodurre e prevedere il comportamento energetico e la risposta termoigrometrica di edifici in condizioni climatiche reali.

Si è potuto osservare come, da prime valutazione, i risultati sperimentali e quelli numerici non sono perfettamente concordanti, come avvenuto per le misure in laboratorio (riportate nella relazione COMPONENTI EDILI CON PRESTAZIONI ENERGETICHE OTTIMIZZATE PER I CLIMI MEDITERRANEI E BASATI SU MISCELE DI CALCECANAPULO effettuata sempre nell'ambito del PAR2017) dove l'esperimento è avvenuto in un regime controllato di Umidità e Temperatura. In ogni caso il dato sperimentale mostra una buona performance termoigrometrica della parete che, indipendentemente dalle oscillazione di umidità e temperatura esterne, si assesta su valori interni costanti.

In particolare, per quanto riguarda l'analisi della umidità (UR%) sulla parete interna del cantiere in Sicilia è stato registrato un comportamento pressoché costante con un valore intorno al 67-68%, rispetto alle oscillazioni esterne misurate comprese tra il 40 ed il 100%. La risposta della parete, in condizioni di particolare piovosità che si sono verificate durante la sperimentazione, ha avuto quindi un buon comportamento misurabile con uno smorzamento superiore all'80%. Analogo discorso può essere riportato per la risposta termica, a fronte di oscillazioni di temperature esterne comprese tra i 15°C e 35°C, sulla parete interna si è registrata, nell'arco dell'intero periodo, un'oscillazione rispetto alla temperatura di 26°C di circa $\pm 1,5^\circ\text{C}$, andando a garantire rispetto all'esterno uno smorzamento superiore all'80% senza l'uso dei condizionatori. Per quanto riguarda lo sfasamento risulta attestarsi su un valore non superiore alle 6 ore rispetto al picco massimo della temperatura esterna, ma nonostante ciò la parete interna è stata in grado di mantenere un valore della temperatura di circa 26°C costanti, senza l'utilizzo dei condizionatori o di ventilazioni naturali per l'intero periodo.

Dal confronto delle analisi tra dati sperimentali e simulazioni numeriche si può osservare che per quanto riguarda le temperature esterne, il monitoraggio rilevava valori con picchi per più della metà dei casi non superiori ai 31 °C, mentre i dati riportati dalla simulazione registrano picchi più alti, con periodici valori anche di 38°C. Analogo discorso vale per le temperature interne. La simulazione numerica evidenzia un comportamento meno costante della temperatura interna con valori di circa $28^\circ\text{C} \pm 2$ mantenendo però un andamento più passivo, meno ricettivo. L'analisi strumentale sulla parete interna registra, nell'arco dell'intero periodo, un'oscillazione rispetto alla temperatura di 26°C di circa $\pm 1,5^\circ\text{C}$.

Questa attitudine del materiale, posta la condizione di una buona posa in opera, potrebbe garantire un livello di comfort interno controllato. In ogni caso, si conferma la necessità di continuare gli studi in campo per valutare con maggiore accuratezza la risposta di questi materiali quando sono sottoposti a brusche variazioni meteorologiche, persistenti condizioni di elevata umidità, pioggia continua.

4. Riferimenti bibliografici

Aversa Patrizia, Donatelli Antonio, Piccoli Giuseppe, Luprano, V.A.M.. (2016). Improved Thermal Transmittance Measurement with HFM Technique on Building Envelopes in the Mediterranean Area. Selected Scientific Papers - Journal of Civil Engineering. 11. 10.1515/sspjce-2016-0017.