



Fig. 6.26, 6.27, la realizzazione di un secondo piano abitato crea la necessità di nuove aperture.

climi freddi. In origine la protezione dai venti freddi, la famiglia numerosa, gli spazi abitativi contenuti, riscaldati con stufe a legna, il forte legame con l'attività agricola, l'uso degli spazi tampone destinati allo stoccaggio dei cereali e all'alloggio del bestiame e le aperture verso l'esterno contenute e ridotte per dimensioni costituivano un sistema di variabili eterogenee in grado di fornire nel suo complesso una prestazione termica adeguata. Oggi molte di queste condizioni sono scomparse e la trasformazione degli spazi tampone in volumi abitativi ha introdotto la necessità di nuove aperture. Ma se nell'architettura in terra cruda contemporanea uno degli aspetti di maggior interesse è proprio lo sfruttamento di ampie superfici vetrate esposte generalmente a sud, per captare quanta più luce solare diretta possibile durante l'arco della giornata, in modo da attivare la forte capacità termica delle masse murarie, a parte poche eccezioni, non si può dire che gli interventi sui casi studio analizzati vadano in questa direzione. D'altro canto è vero che la logica strutturale con cui sono concepiti questi edifici necessita di mantenere precisi rapporti di pieni e vuoti (Bollini 2013, Houben - Guillaud 1994).

6.2.5 CONCLUSIONI

All'epoca in cui gli edifici visitati sono stati realizzati erano concepiti come organismi fortemente legati alle abitudini di vita degli abitanti e in armonia con l'ambiente circostante. Oggi, a seguito dei drastici cambiamenti nello stile e nelle abitudini di vita, il rapporto con l'ambiente è spesso forzato e il legame con la terra e l'attività agricola spezzato; le famiglie si spopolano velocemente e di conseguenza anche le abitazioni, pensate per un numero più consistente di abitanti, diventano di dimensioni sproporzionate per una coppia sola. Inoltre, con la perdita del legame con la dimensione agricola e la conseguente trasformazione degli spazi, nasce la necessità di realizzare nuove aperture verso l'esterno.



Fig. 6.28, 6.29, In questo caso invece un volume esposto ad est, aggettante dal corpo dell'abitazione è stato sfruttato per realizzare una veranda.

L'impressione avuta dall'analisi delle inchieste realizzate è che con le nuove concezioni dell'abitare e le conseguenti trasformazioni del territorio e dello spazio abitativo il sistema termo-igrometrico dell'edificio che aveva il suo equilibrio con l'ambiente e la vita rurale di queste regioni è stato scomposto. All'alterazione di questo equilibrio, diminuzione del numero di abitanti, aumento dei volumi da riscaldare, soppressione di spazi che facevano da cuscinetto termico, difficilmente corrisponde un nuovo sistema in grado di adattarsi alle mutate condizioni.

All'epoca in cui sono state realizzate molte delle operazioni di recupero,

la tecnica costruttiva del pisé era ormai in disuso, le buone pratiche di intervento e le tecniche di realizzazione dimenticate; le modalità di intervento venivano spesso decise attraverso consigli e passaparola tra il vicinato. Inoltre la giusta esigenza di non alterare in modo eccessivo l'aspetto, il ritmo, la tipologia e il funzionamento strutturale degli edifici, anche in un'ottica di rispetto della cultura del territorio e del paesaggio, ha reso a volte più complessa la progettazione di un sistema termicamente funzionale. Sembra che i risultati migliori nella limitazione dei consumi energetici siano stati raggiunti da chi è riuscito ad intervenire sull'intera superficie esposta alle temperature esterne, muraria, di copertura e in rari casi del solaio contro terra, limitando in questo modo i ponti termici.

Il rapporto volume abitativo/abitanti resta una delle questioni di maggior peso nella nuova configurazione dell'abitare e dovrebbe essere preso seriamente in considerazione al momento della progettazione dei lavori di ristrutturazione.

È chiaro che il progetto di ricerca risponde ai requisiti di un'indagine esplorativa, che mirano principalmente a stabilire le condizioni dello stato dell'arte sul territorio di inchiesta, e non può ancora produrre risposte certe in materia di strategie di intervento nell'ottica di un'ottimizzazione dei consumi energetici per le abitazioni in pisé sul territorio. Ma i risultati raggiunti riesaminano le ipotesi e il metodo di indagine, introducendo nuovi parametri di ricerca e spostato l'attenzione dalla sola prestazione termica del materiale da costruzione terra battuta, a contenuti più complessi che riguardano la cultura dell'abitare nel suo insieme e in particolar modo la trasformazione degli spazi abitativi.

6.3 COMPORTAMENTO TERMICO DI EDIFICI IN TERRA BATTUTA: MONITORAGGIO DI UNA CASCINA A NOVI LIGURE (AL)

Per valutare più approfonditamente gli aspetti legati al comportamento termico delle costruzioni in pisé in climi temperati-freddi, è stato realizzato il monitoraggio termico di un'abitazione in terra battuta recentemente ristrutturata, situata nei pressi di Novi Ligure (AL).

6.3.1 L'EDIFICIO E GLI INTERVENTI DI RECUPERO

L'edificio monitorato, la cascina Giacobbe, è realizzato in muratura portante in terra battuta di due piani fuori terra e sottotetto, a pianta quadrata con



Fig. 6.30, Cascina Giacobbe, dal viale d'ingresso a Nord-Est.



Fig. 6.31, Cascina Giacobbe, facciata Sud-Est; si nota la porzione di parete in terra battuta, a chiusura del portico, lasciata a vista.

distribuzioni degli ambienti su entrambi i piani intorno al corpo scale centrale.

Il manufatto può essere classificato tipologicamente come “cascinotto”, con cantina e stalla al piano terra e abitazione al piano superiore, con una scala interna a fare da collegamento ed elemento di distribuzione degli spazi. Tale tipologia è piuttosto inconsueta nella regione di Novi Ligure, dove invece è maggiormente diffusa quella del cascinale a pianta rettangolare o, eccezionalmente, del “palazzotto”, più diffuso in aree urbane (Bollini 2013).

La struttura portante è costituita dai muri perimetrali e dai tre muri di spina, tutti interamente in terra battuta di circa 50 cm di spessore; piccole parti in cotto sono presenti in corrispondenza dei capichiave delle volte per impedire alle chiavi di penetrare all’interno del muro una volta messe sotto sforzo (Bollini 2013). Il basamento di fondazione su cui sono impostate le pareti portanti è realizzato in ciottoli e laterizi. La copertura è realizzata con struttura in legno a due falde, su cui sono posati coppi in laterizio.

I solai di copertura di tutti gli ambienti della casa presentano volta a padiglione; il fienile è situato al piano superiore, era raggiungibile solo dall’esterno attraverso un foro oggi chiuso, accessibile presumibilmente da una scala a pioli.

Fig. 6.32, 6.33, Planimetrie del piano terra e del piano primo della cascina Giacobbe; sono evidenziati in colore le pareti in terra battuta. (adattamento da Bollini)



Sul fronte SE, in epoca successiva al caseggiato, è stato realizzato un portico, chiuso poi parzialmente con tamponamenti in terra battuta a vista.

I proprietari precedenti avevano inoltre già fatto realizzare alcuni lavori di ristrutturazione dell’edificio, in particolare al piano terra, rivedendo la distribuzione originale degli ambienti e realizzando nuove aperture, a

partire da fori già esistenti nella muratura (Bollini 2013).

Segni di manutenzione erano visibili sulle murature, di cui alcune realizzate impropriamente con prodotti a base cementizia, prima dell'intervento di recupero realizzato dall'arch. Bollini.

Principali interventi di recupero realizzati sull'edificio dall'arch. G. Bollini

Una descrizione complessiva degli interventi di recupero realizzati sull'edificio si trova in Bollini (Bollini 2013 pp. 198): sistemazioni interne, recupero degli ambienti rustici a scopo abitativo, recupero di alcuni degradi e dissesti, rifacimento dell'intonaco, della copertura e dell'area esterna all'edificio. Vengono di seguito riportati esclusivamente gli interventi eseguiti per il miglioramento del comfort termico sulle zone dell'abitazione monitorate.

- Isolamento nel sottotetto dell'estradosso delle volte: la struttura di copertura è sempre risultata uno dei principali punti deboli da un punto di vista termico, poiché non riesce ad eguagliare la prestazione delle murature in entrambe le stagioni dell'anno. Nel caso del cascino Giacobbe, il sottotetto occupa un volume importante, non riscaldato e non ermeticamente chiuso all'esterno; non sarebbe riuscito a fungere da cuscino termico in inverno, e sarebbe risultato insufficiente invece per evitare il surriscaldamento estivo. La scelta è quindi caduta sull'isolamento del solaio del sottotetto, portando prima a livello l'estradosso delle volte con un riempimento.

Stratigrafia dell'isolamento del sottotetto:

- Telo traspirante freno a vapore posato sul riempimento della volta.
 - Pannelli in fibra di legno da 12 cm; i pannelli sono posati in doppio strato sfalsato (ρ 160-180 kg/m³, μ ca. 5, λ 0,04-0,045 W/mK, C_p 2100 J/kgK).
 - Telo traspirante impermeabile all'acqua, ma permeabile al vapore, posato a secco sui pannelli.
- Rifacimento dell'intonaco: è stato realizzato con prodotti premiscelati coerenti con il supporto murario in modo da ridurre il costo di manodopera, già piuttosto incisivo per interventi su strutture in terra cruda di queste dimensioni.

Stratigrafia rifacimento intonaci:

Strato di rinforzo a calce idraulica e inerti, a spruzzo, da 0,5 cm ($\mu = 9$), arriccio (intonaco) di 4-5cm a pompa, rete porta-intonaco in fibra di vetro; l'intonaco è composto di una miscela di inerti, calce idraulica naturale e aerea di elevata traspirabilità ($\mu = 6$). Finitura in pasta silossanica ad alta traspirabilità.

- Rifacimento della copertura: la copertura non è stata isolata termicamente, poiché è stato ritenuto più efficace un intervento sul solaio sottotetto. Sul nuovo tavolato è stato posato un telo traspirante, ma impermeabile all'acqua. Le travi principali non sono state rimosse.

6.3.2 PROGETTO DI MONITORAGGIO: Obiettivi e Metodologia

Obiettivi del monitoraggio

Verificare il comportamento termico di un edificio in terra battuta ed in particolare:



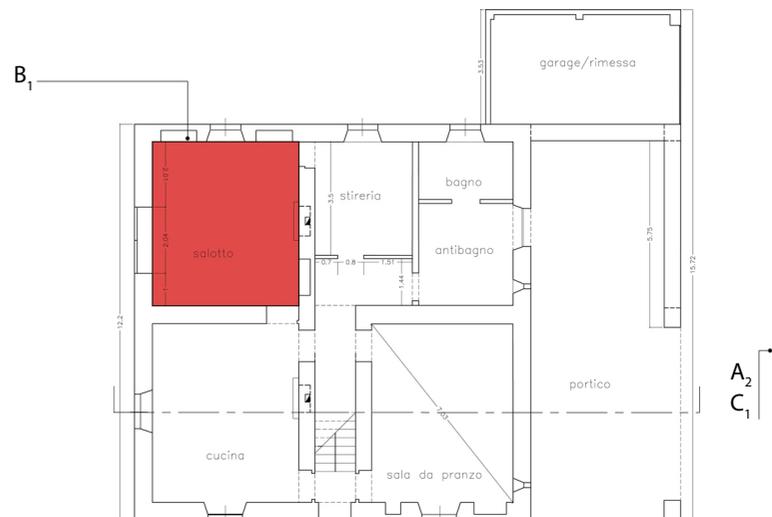
Fig. 6.34, 6.35, Il datalogger A è stato posizionato sotto una tettoia, al riparo da pioggia e da irraggiamento solare diretto.

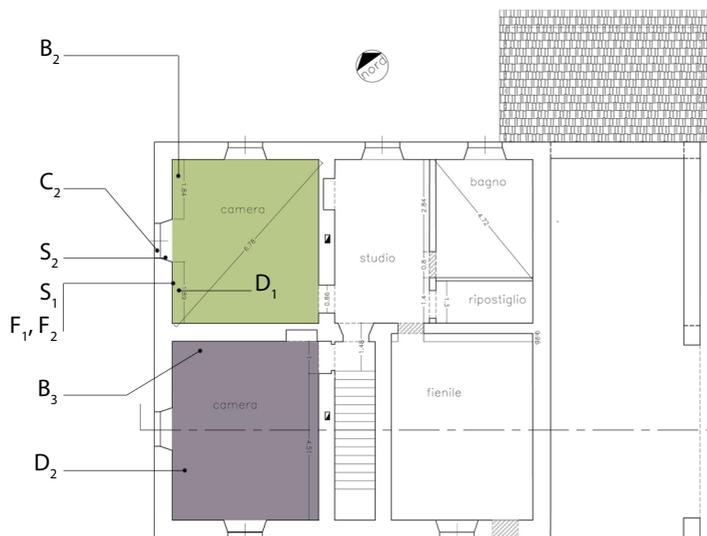
Fig. 6.36, Schema del posizionamento dell'attrezzatura per il rilevamento dati del monitoraggio estivo ed invernale, eseguito sulla cascina Giacobbe al piano terra.

- Verificare la capacità di trasferire il calore delle pareti in terra battuta, attraverso i valori di trasmittanza e conduttanza termica, durante il periodo invernale
- Verificare la l'andamento delle temperature negli ambienti interni della casa e la misura di attenuazione delle oscillazioni del flusso di calore trasmesso attraverso la parete, durante il periodo estivo.

Metodologia

Gli ambienti da monitorare sono stati scelti in base all'esposizione e in base alla destinazione d'uso. Abbiamo dato precedenza alle stanze esposte a nord o nord-ovest, in modo da evitare un'irradiazione solare diretta che avrebbe potuto influenzare i dati raccolti; le stanze esposte a nord sui due piani dell'abitazione sono un salone e una stanza utilizzata come studio. In seconda battuta si è scelto di monitorare anche una camera da letto, in cui sapevamo che le finestre sarebbero state aperte con una certa regolarità soltanto una - due volte al giorno; è stata scelta la stanza a sud-ovest, che tra le due possibili era quella che assicurava un'esposizione più vicina alle esigenze di misurazione.





Monitoraggio delle temperature estive:

Periodo di monitoraggio: Il monitoraggio delle temperature estive è stato eseguito per un periodo di circa tre mesi: dall' 11 Luglio al 21 Settembre 2014

Strumentazione utilizzata: per il rilevamento dei dati è stato utilizzato il sistema ST-1100

- A) 1 Data logger tipo TE131 per la rilevazione della temperatura dell'aria ambiente esterna
 - 1 Contenitore di protezione forato in modo da lasciar passare l'aria
- B) 3 Data Logger T231, per la rilevazione delle temperature degli ambienti interni:
 - B₁ corrisponde alla Temperatura T_{ai1} dell'ambiente Salotto al piano terra esposto a NO
 - B₂ corrisponde alla temperatura T_{ai2} dell'ambiente Studio al piano superiore, esposto a NO
 - B₃ corrisponde alla temperatura T_{ai3} dell'ambiente Camera da letto al piano superiore, esposto a SO

Fig. 6.37, Schema del posizionamento dell'attrezzatura per il rilevamento dati del monitoraggio estivo ed invernale, eseguito sugli ambienti della cascina Giacobbe al piano primo.



Fig. 6.38, 6.39, Posizionamento del Datalogger B, all'interno del salotto per il monitoraggio delle temperature interne estive.



Fig. 6.40, 6.41, Posizionamento dei termoflussimetri con pasta adesiva per la misurazione del flusso di calore passante attraverso la parete N-O dello studio al primo piano, durante il monitoraggio invernale.



Fig. 6.42, Posizionamento delle sonde sulla superficie esterna del muro N-O durante il monitoraggio invernale.

Monitoraggio invernale per la trasmittanza e conduttanza termica delle pareti:

Il monitoraggio invernale è stato eseguito sulla parete Nord-Ovest dell'ambiente studio al piano primo. La parete è stata scelta per ragioni di facilità di accesso e di montaggio dell'apparecchiatura necessaria alla lettura dei dati. Inoltre c'era l'opportunità di posizionare in una zona protetta dalla pioggia le sonde per la lettura della temperatura della superficie esterna della parete e il data logger per la lettura della temperatura dell'aria esterna in prossimità della parete stessa, sfruttando gli scuri della finestra. La prova è stata condotta seguendo la procedura indicata dalle norme EN 12494

Periodo di monitoraggio: Il monitoraggio invernale è stato eseguito per un periodo di 11 giorni, dal 28 Novembre al 9 Dicembre 2014

Strumentazione utilizzata:

- 2 Data Logger (C), per il rilevamento della temperatura dell'aria esterna
 - C_1 per il rilevamento della temperatura esterna dell'aria T_{ae}
 - C_2 per il rilevamento della temperatura esterna T_{ae1} dell'aria prossima alla parete NO dell'ambiente Studio.

In fase di elaborazione dati si è preferito utilizzare la temperatura $T_{ae'}$ rilevata con l'apparecchio A_1
- 2 Data Logger (D), per il rilevamento della temperatura dell'aria interna
 - D_1 per il rilevamento della temperatura interna T_{ai} dell'ambiente Studio in prossimità della parete esposta a NO
 - D_2 per il rilevamento della temperatura interna T_{ai} dell'ambiente Camera da letto. I dati rilevati dal data logger D_2 , sono serviti solo da verifica e non sono stati utilizzati per il calcolo dei valori di trasmittanza e conduttanza termica
- 8 Sonde (S) per la lettura della temperatura superficiale della parete SO dell'ambiente Studio
 - S_1 , 4 sonde per il rilevamento della temperatura del punto T_{p_pto1} sulla superficie interna della parete

- S_2 , 4 sonde per il rilevamento della temperatura del punto T_{p_pto2} sulla superficie esterna della parete
- 2 Termoflussimetri a piastra HFP01 Hukseflux, per la misurazione del flusso di calore passante attraverso la parete
 - F_1 per la misurazione del flusso di calore passante attraverso la parete nel punto 1, Flux_pto1
 - F_2 per la misurazione del flusso di calore passante attraverso la parete nel punto 2, Flux_pto2

Il flusso termico attraverso la parete viene misurato in due punti diversi in modo da verificare l'omogeneità della parete ed avere un riscontro sull'attendibilità dei dati rilevati.

- 1 modulo UK191 per l'acquisizione dei dati riferiti all'interno della parete
- 1 modulo UK291 per l'acquisizione dei dati riferiti all'esterno della parete
- 2 convertitori wireless CV181 interno e CV281 per l'esterno
- 1 PC portatile che utilizza il software ST - 1100 Lombard & Marozzini

Per il fissaggio in opera delle sonde e dei termoflussimetri è stata utilizzata una pasta termica in modo da assicurare la continuità di contatto tra la strumentazione e la parete e chiodini di sostegno alla base delle piastre.

Il Software è stato settato in modo da ottenere un rilevamento dei dati ogni 15 minuti.

I dati scaricati durante gli 11 giorni di monitoraggio sono stati elaborati applicando il calcolo delle medie progressive, ricavando in questo modo i valori di trasmittanza e conduttanza termica della parete monitorata. Per il calcolo della trasmittanza termica vengono utilizzati i valori di flusso termico registrati nei punti 1 e 2 e i valori di temperatura superficiale interna T_{ai} e superficiale esterna T_{ae} , della parete, secondo la relazione:

$$U = \frac{q}{(T_{ai} - T_{ae})} \quad \frac{[W/m^2]}{[^\circ C]}$$

Il calcolo viene effettuato per ogni rilevamento ottenuto dalle sonde; successivamente viene applicato il calcolo della media mobile in modo da ottenere il valore medio di trasmittanza termica tra quelli calcolati rispetto ad ogni rilevamento.



Fig. 6.43, Posizionamento del Datalogger per la misurazione dell'aria dell'ambiente interno, adiacente alla parete N-O monitorata durante l'inverno; sono visibili anche le sonde posizionate sulla faccia interna della parete.

6.3.3 RISULTATI DEL MONITORAGGIO

Monitoraggio estivo:

Il periodo di monitoraggio presenta temperature ambiente dell'aria esterna piuttosto basse, atipiche rispetto alla norma, va infatti da un minimo di 15°C a un massimo di quasi 33°C, raggiunti però solamente nel caso di una giornata particolare. L'andamento delle temperature ambiente interne risulta costante e non risente della variazione di temperature esterne, se non a causa dell'apertura periodica di finestre, i cui picchi corrispondenti sono ben riconoscibili nei grafici. Nell'arco dei tre mesi le temperature ambiente interne non raggiungono mai i 27 °C e scendono appena sotto i 21°C solo in occasione di un periodo di tre giornate (19-22 settembre) di temperature esterne particolarmente fredde, costantemente intorno ai 17°C.

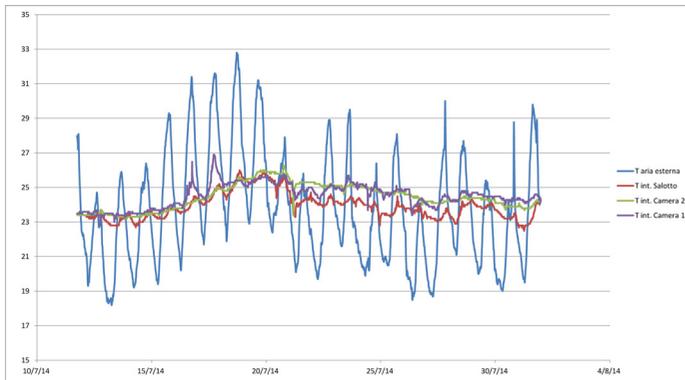


Fig. 6.44, Grafico dell'andamento delle temperature del mese di Luglio.

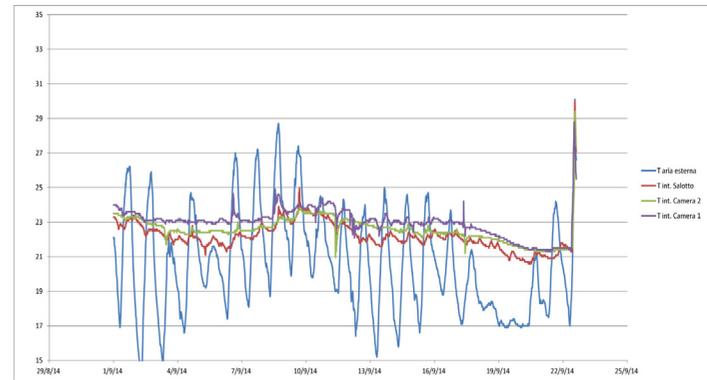


Fig. 6.45, Grafico dell'andamento delle temperature, mese di Settembre,

Dalla lettura del grafico sembrerebbe che l'ambiente salone al piano terra sia maggiormente influenzato dall'oscillazione delle temperature esterne, tuttavia, analizzando la differenza media di temperatura tra l'ambiente esterno e ciascuna delle stanze monitorate (ΔT), si legge una difformità molto limitata: tutti gli ambienti monitorati hanno una differenza di temperatura rispetto all'esterno molto simile.

| Temperatura media (°C) | | | | DeltaT medio (°C) | | |
|------------------------|--------|--------|-------|-------------------|-------------------|------------------|
| Esterno | Salone | Studio | Letto | ΔT Salone | ΔT Studio | ΔT Letto |
| 22,5 | 23,2 | 23,8 | 24 | 2,3 | 2,5 | 2,6 |

Tabella 6.1, Temperature dell'aria medie degli ambienti interni e Differenza di temperatura media con l'aria ambiente esterna.

Le temperature medie degli ambienti interni si attestano tra i 23°C e i 24°C circa, ma il dato più interessante è la costanza delle temperature degli ambienti interni rispetto alle oscillazioni di temperatura esterna sia nell'arco della singola giornata, che per tutto il periodo di monitoraggio.

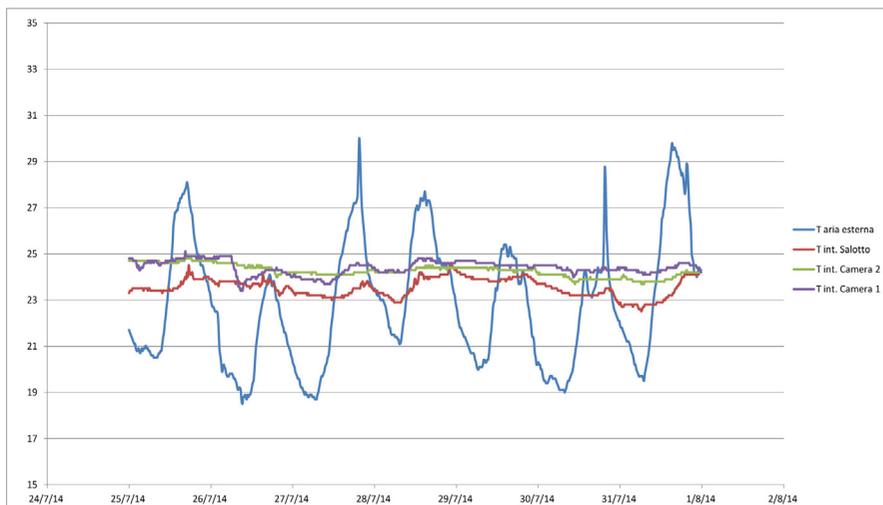


Fig. 6.46, Grafico dell'andamento delle temperature 25 - 31 Luglio.

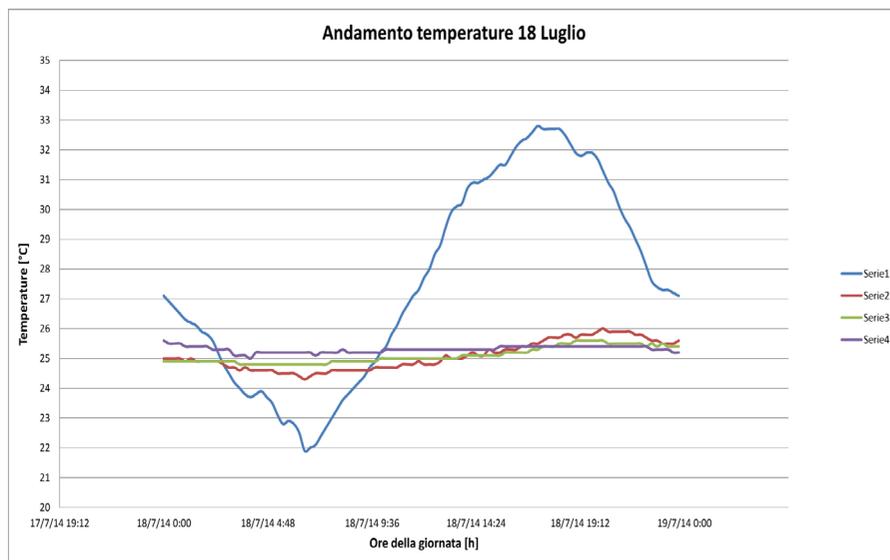


Fig. 6.47, Grafico dell'andamento delle temperature del 18 Luglio.

I dati confermano la capacità delle pareti in terra battuta di smorzare drasticamente le oscillazioni di temperatura dell'ambiente esterno, durante il periodo estivo.

Monitoraggio invernale:

Dai dati rilevati attraverso la strumentazione sopra descritta, sono stati calcolati i valori di trasmittanza e conduttanza termica con il metodo della media mobile.

| Media Mobile Trasmittanza Termica | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| flux_pto 1 [W/m ²] | flux_pto 2 [W/m ²] | Ta,i [°C] | Ta,e [°C] | U (pto 1) [W/m ² K] | U (pto 2) [W/m ² K] |
| 10,4 | 10,6 | 17,5 | 9,1 | 1,2 | 1,2 |

Tabella 6.2, Valori di trasmittanza termica della parete, ottenuti mediante il calcolo con la media mobile dei dati rilevati.

| Media Mobile Conduttanza Termica | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Flux (pto 1) [W/m ²] | Flux (pto 2) [W/m ²] | Tp(pto 1) [°C] | Tp (pto 2) [°C] | C (pto 1) [W/m ² K] | C (pto 2) [W/m ² K] |
| 10,4 | 10,6 | 17,1 | 10,7 | 1,6 | 1,6 |

Tabella 6.3, valori di Conduttanza termica della parete, ottenuti mediante media mobile dei dati rilevati.

Le misure calcolate sui due punti della parete considerati sono uguali, confermando l'omogeneità della parete e la validità del test; inoltre i valori ottenuti dal calcolo sono perfettamente in linea con quelli riscontrabili in letteratura per murature in terra battuta (Röhlen - Ziegert 2011).

6.3.4 CONCLUSIONI

Il monitoraggio dell'andatura delle temperature estive evidenzia le proprietà delle pareti in terra battuta di mantenere in equilibrio le condizioni climatiche degli ambienti interni durante i periodi estivi e, in genere, in climi caldi, grazie alle caratteristiche di inerzia termica del materiale. Le temperature interne medie si attestano tra i 23°C e 24°C per i tre ambienti della casa monitorati; rimangono inoltre comprese tra i 21°C e meno di 27°C per tutto il periodo dei tre mesi di monitoraggio a fronte di temperature esterne comprese invece tra i 15°C e i 33°C.

I valori di Trasmittanza e Conduttanza termica calcolati sulla base dei dati raccolti durante il monitoraggio invernale sono molto vicini a quelli riscontrati in letteratura, ed evidenziano come la terra battuta non sia un materiale con particolari caratteristiche isolanti. Il suo comportamento termico risulta comunque interessante se considerato su ciclo annuale, viste le caratteristiche termiche esibite durante il periodo estivo, che permettono di abbassare notevolmente le oscillazioni delle temperature ambiente esterne, ritardandone la trasmissione agli ambienti interni di un numero cospicuo di ore.

6.4 ISOLARE LA TERRA BATTUTA: È NECESSARIO?

L'uso di materiali isolanti accoppiati a pareti in terra cruda non è cosa scontata e studi a riguardo sono ancora in corso. La maggior parte dei dubbi riguarda la compatibilità degli isolanti con il naturale sistema di regolazione termigrometrica del materiale terra cruda. Come visto nella parte introduttiva di questo capitolo, il comportamento termico della terra cruda è fortemente influenzato dal contenuto di umidità e dai passaggi di fase dell'acqua al suo interno. Studi in regime dinamico che permettano di tenere conto dei movimenti di massa e vapore uniti a quelli di calore non sono ancora stati realizzati. L'analisi della relazione tra il livello di saturazione di pareti in terra battuta e caratteristiche termiche proprie del regime dinamico, quali ammettenza termica, fattore di attenuazione e sfasamento termico, ha dato risultati di tipo non lineare (Hall - Allinson 2008). Tuttavia, non essendo ancora riusciti a calcolare in termini quantitativi gli apporti dei diversi fenomeni che regolano il comportamento termo-igrometrico della terra battuta, è difficile avere certezze riguardo l'opportunità di isolare questo tipo di pareti (Chabriac-Morel-Hamard).

L'inchiesta realizzata nella Communauté de communes Chalaronne-Centre ha restituito risultati interessanti sui consumi energetici e sui parametri da tenere in considerazione nell'affrontare il tema del comfort termico di edifici in terra battuta, ma non permette una valutazione concreta sul miglioramento del comfort termico degli ambienti interni o sull'eventuale risparmio sui consumi energetici a seguito degli interventi di isolamento delle pareti in terra battuta. Tra i casi presi in considerazione infatti, troppo pochi sono i casi di uso di materiali che si possano considerare effettivamente isolanti, in parete. Inoltre, una maggiore efficienza energetica si riscontra nei casi in cui si è intervenuto allo stesso tempo su murature, solaio contro terra e strutture di copertura; è molto difficile in questo contesto stabilire il peso dell'intervento sul singolo elemento costruttivo, considerando anche la varietà di scelte operate sulle tecniche e i materiali per l'isolamento, registrata durante l'inchiesta.

I dati ottenuti dal monitoraggio evidenziano nel periodo estivo, una notevole capacità delle pareti in terra cruda di attenuare le oscillazioni di temperatura esterne, permettendo di mantenere temperature miti e costanti negli ambienti interni. I risultati riguardo i valori di trasmittanza termica confermano però una scarsa attitudine delle strutture in terra battuta a moderare il trasferimento di calore dall'esterno durante i mesi invernali. Le informazioni raccolte risultano insufficienti a determinare l'opportunità o meno di isolare pareti in terra battuta per migliorarne la prestazione invernale. Ma la capacità di regolare il clima interno nel periodo estivo, in uno scenario ambientale in cui i consumi legati alla climatizzazione estiva degli edifici stanno diventando sempre più consistenti, è dato di grande interesse e va tenuto in debito conto; inoltre obbliga ad una certa cautela sul tema dell'isolamento, anche riguardo ad un possibile surriscaldamento estivo degli ambienti interni.

A questo proposito, ulteriori dati sono deducibili da studi sul comportamento termico di edifici residenziali in terra cruda realizzati in Australia, attraverso monitoraggi e modellazioni in regime dinamico. Sono state comparate le prestazioni termiche di due edifici in terra cruda nella stessa zona territoriale, di cui uno isolato (Soebarto 2009); le prestazioni sono risultate molto simili nel periodo estivo, mentre durante l'inverno l'abitazione non isolata risultava più fredda di circa 5°C, con temperature medie dell'aria esterna in inverno di 4,5°C - 13,4°C e 11°C - 25°C in estate. I dati ottenuti da modellazione da Soebarto sembrano escludere possibilità di surriscaldamento estivo, poiché simulando l'uso di un isolante anche nella casa che ne era sprovvista, le temperature dell'aria interna durante l'estate aumentavano solo di 1°C (Soebarto 2009).

Altri studi realizzati su un'abitazione in terra battuta stabilizzata a Sydney (Australia), disabitata, hanno riportato valori medi di temperature interne annuali tra i 18 °C e i 27 °C, con temperature esterne di 7 - 42 °C, dimostrando l'efficienza del materiale nel regolare la temperatura degli ambienti interni grazie alla sua massa termica (Hall - Allinson 2008)

Secondo gli studi di Hall e Allinson in climi non particolarmente miti l'uso di un isolante in parete può essere di aiuto a contenere gli scambi di calore con l'ambiente esterno; se si considerano le variazioni di temperatura esterna in modo ciclico, l'isolamento ha un impatto importante sulle proprietà termiche in regime stazionario e può incidere in modo significativo sulle proprietà termiche in regime dinamico della parete, ma si fa notare anche come le capacità di controllo passivo del clima negli ambienti interni della terra battuta attraverso l'inerzia termica andrebbero capitalizzate al massimo (Hall - Allinson 2008). Attraverso la comparazione di soluzioni con diverso posizionamento dell'isolante su parete in terra battuta stabilizzata, Hall e Allinson concludono che in climi freddi l'isolamento interno "potrebbe fornire la migliore soluzione, siccome la perdita di calore e variazioni di flusso di calore attraverso la parete sarebbero ancora soppresse dalla bassa ammettenza termica ed eviterebbero l'eccessivo surriscaldamento interno" (Hall - Allinson 2008). In climi particolarmente freddi viene ritenuto interessante l'uso di un doppio isolamento in esterno ed interno, mentre un isolante inserito nella cavità interna di un muro in terra battuta viene indicato per climi temperati, in virtù di una migliore ammettenza termica e ulteriore diminuzione delle variazioni di flusso di calore. L'uso di isolamento esterno in climi molto freddi viene caldeggiato anche in studi canadesi, considerando che permetterebbe allo stesso tempo di proteggere la parete dal gelo e lasciare una via d'uscita al vapore acqueo verso gli ambienti interni, attraverso la superficie scoperta (Fix - Richman 2009).

Gli studi di Hall e Allinson sono stati condotti con isolanti in polistirene, mentre altri studi realizzati recentemente in Francia sul recupero termo-igrometrico di murature in terra cruda, durante il programma Hygroba (AA. VV., Hygroba 2013), suggerirebbero l'uso di materiali altamente traspiranti e con resistenza alla diffusione del vapore simile a quella della terra battuta, ($\mu = 10$).

6.4.1 ISOLARE LA TERRA BATTUTA: Soluzioni tecnologiche e materiali

Soluzioni tecnologiche

Esistono varie soluzioni per l'isolamento di pareti in terra battuta, che sfruttano diverse tecnologie, in base al tipo di materiali che si desidera utilizzare per l'isolamento. Soluzioni che sfruttano materiali a base di terra ed aggregati fibrosi o di origine minerale sfusi e allo stato umido prevedono l'uso di strutture di supporto, in genere in legno, corredate da elementi che facciano da casseri, in modo da poter compattare il materiale sfuso al loro interno. Anche nel caso dell'utilizzo di pannelli isolanti spesso l'uso di una struttura di supporto viene preferito poiché offre una buona base per l'ancoraggio a mezzo di tasselli specifici, inoltre, in caso di isolamento esterno, permette di fissare più facilmente una struttura secondaria nel caso si voglia proteggere ulteriormente l'isolante con pannelli rigidi o tavolati in legno.

Soluzioni con isolamento a pannelli rigidi sono praticabili anche aggrappandoli direttamente alla parete in terra con tasselli o viti in legno, applicando una malta a base di terra sulla faccia di contatto tra i pannelli e il muro, a fare da collante, ma sono preferibili in interno dove non vi è particolare necessità di proteggere l'isolante dalle intemperie.

Altre soluzioni con sistemi di ancoraggio diretto alla parete fanno uso di blocchi compressi posati in opera a filari sfalsati con interposta malta a base di terra, ma che vengono ancorati alla parete originale in terra con elementi metallici posti tra i filari ed avvitati con particolari viti in legno (Röhlen - Ziegert 2011pp. 124).

Altri tipi di soluzioni d'isolamento più leggero fanno uso unicamente di termo-intonaci realizzati con miscele a base di terra, particolarmente ricche di fibre vegetali.

Da un punto di vista prestazionale, la soluzione che prevede l'uso di un isolante nella cavità interna tra due pareti in terra battuta (sirewall) è particolarmente interessante, poiché permette di abbassare la trasmittanza della parete e al tempo stesso di sfruttare le proprietà di inerzia termica del materiale terra in modo praticamente inalterato. Ad oggi, però, soluzioni di questo genere comportano alterazioni significative del sistema costruttivo in terra battuta; all'interno delle pareti, infatti, viene posizionata una maglia metallica di rinforzo che permette l'ancoraggio tra le due strutture mentre le miscele di terra con cui sono realizzati i muri contengono percentuali di cemento particolarmente alte, intorno al 10%, di molto superiori a quelle abitualmente utilizzate per pareti in terra battuta stabilizzata⁷.

Purtroppo la letteratura disponibile sui sistemi di isolamento per murature in terra battuta è piuttosto scarsa e frammentaria. Di seguito si propone uno schema di alcune tra le principali soluzioni tecnologiche disponibili con riferimenti riguardo la posa in opera e alcuni materiali utilizzabili per l'isolamento.



*Fig. 6.48, Isolamento con materiale sfuso a base di fibre e terra con struttura di supporto in legno e cassero a perdere realizzato con fascette in legno.
(Foto Le Paih, et aii, Rennes 2009)*

⁷ Una scheda tecnica che descriva questo sistema denominato SIREWALL (Stabilized Insulated Rammed Earth Wall) si trova al sito web: www.sirewall.com/



*Fig. 6.49, Isolamento con materiale sfuso a base di fibre e terra con struttura di supporto in legno e cassero a perdere realizzato con incannucciato.
(Foto Paccoud, St. Didier sur Chalaronne 2010)*

Posa in opera

A prescindere dalla soluzione tecnologica adottata, la parete in terra deve essere pulita e vanno eseguiti gli interventi di riparazione necessari ad appianare la superficie di contatto con l'isolante assicurandosi che rimanga asciutta.

Strutture di supporto

Le soluzioni d'isolamento termico che prevedono l'uso di strutture di supporto in legno sono tra le più utilizzate, l'ancoraggio della struttura di supporto alla parete in terra non è sempre di facile soluzione. Cordoli di distribuzione dei carichi possono costituire un valido punto di ancoraggio; in mancanza di questi elementi è opportuno utilizzare tasselli adatti effettuando preventivamente prove a strappo sulla muratura in terra battuta per assicurare la solidità del sistema costruttivo.

Per soluzioni che prevedono la posa in opera del materiale isolante in umido, come nel caso dei composti in terra alleggerita sfusa, è necessario assicurarne l'essiccazione prima della posa di ulteriori strati di chiusura o protezione. In questo senso nella soluzione con casseforme a perdere ad incannucciato, queste devono essere dimensionate con rapporti pieni/vuoti non maggiori di 70 elementi pieni per metro lineare. Per evitare la formazione di vuoti all'interno del composto umido, il materiale va compattato leggermente per strati non superiori a 40 cm di altezza, anche nel caso di miscele pompabili. I tempi di essiccazione corretti sono di almeno 12 settimane per spessori di 15 cm in ambiente costantemente ventilato in modo da evitare la formazione di muffe (Röhlen - Ziegert 2011 pp.122)

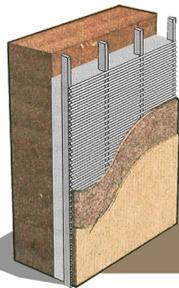
Per soluzioni di posa in opera a secco su struttura di supporto in legno è raccomandato l'uso di pannelli semirigidi, facilmente comprimibili all'interno della struttura, per il primo strato, mentre dal secondo i pannelli rigidi possono essere fissati ai battenti della struttura di supporto con più facilità per mezzo di viti o tasselli.

Strutture ancorate alla parete

Di questa categoria fanno parte anche strutture realizzate in filari di blocchi compressi, poiché dovendo assicurare la continuità strutturale con la parete in terra battuta di supporto ed evitare possibili scollamenti, i blocchi devono essere ancorati alla parete. Allo scopo è possibile usare piccoli profilati metallici avvitati alla parete e ai filari di blocchi con apposite "viti"

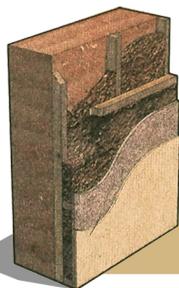
Strutture di supporto in legno

Posa ad umido



- Isolamento in materiale sfuso
- Struttura di sostegno verticale in legno
- Casseratura a perdere con incannucciato*
- Intonaco a base di terra
- Finitura intonaco

* La casseratura può essere realizzata anche con tavolato in legno rimovibile.



- Struttura verticale di supporto in legno
- Struttura secondaria di supporto in legno**
- Isolamento in materiale pompato o insufflato
- Pannello di chiusura in materiale rigido

** Struttura principale e secondaria del supporto in legno possono essere invertite.

Posa a secco



- Struttura verticale di supporto in legno
- Pannelli isolanti rigidi o semirigidi comprimibili, in strati successivi
- Pannello rigido di chiusura

Muri doppi



- Pannelli isolanti rigidi, semirigidi o materiale sfuso
- Parete in terra battuta di spessore ridotto

La parete di contenimento viene realizzata in spessori da 18-24 cm.

Le pareti in terra sono stabilizzate con percentuali di cemento intorno al 10% (Sirewall);

Posa in opera

- Realizzazione del supporto in legno verticale fissato ai due estremi al muro

- Montaggio 40 cm di incannucciato, densità max: ≤ 70 elementi per m

- Versamento composto isolante sfuso, e compattazione leggera

- Completamento incannucciato contestualmente al materiale isolante

- Posa intonaco

- Realizzazione del supporto in legno fissato alla struttura muraria di preferenza ad eventuali cordoli.

- Posa del materiale isolante mediante pompaggio o insufflaggio

- Posa del pannello rigido di contenimento, fissato alla struttura di supporto in legno.

- Realizzazione del supporto in legno fissato alla struttura muraria di preferenza ad eventuali cordoli.

- Posa pannelli isolanti compressi all'interno della struttura di supporto.

- Posa degli strati successivi di pannelli isolanti, fissati alla struttura di supporto a mezzo di appositi tasselli.

- Fissaggio pannello rigido di chiusura mediante chiodi o tasselli.

L'isolamento all'interno di un muro cavo in terra battuta prevede sistemi di posa in opera complessi, che utilizzano maglie metalliche di rinforzo all'interno dello stesso muro in terra.

Le pareti in terra sono stabilizzate con percentuali di cemento intorno al 10% (Sirewall);

La parete di contenimento viene realizzata in spessori da 18-24 cm.

Materiali appropriati per l'isolamento

- Terra alleggerita con:

- Fibre
- Materiali legnosi
- Materiali di origine minerale

- Ovatta di cellulosa

- Terra alleggerita con minerali:

- Argilla espansa
- Schiuma di vetro
- Lava espansa
- Perlite espansa
- Pomice

- Lana di Legno

- Fibre vegetali

- Lana alleggerita***

*** Le lane animali sono sconsigliate da accoppiare alla terra cruda poiché assorbono grosse quantità d'acqua

- Terra alleggerita con materiali di origine vegetale o minerale

- Lana di legno

- Pannelli in fibre vegetali

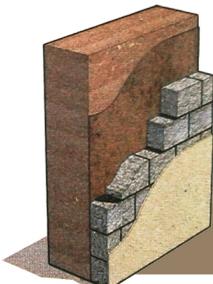
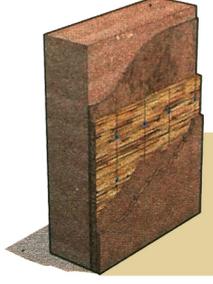
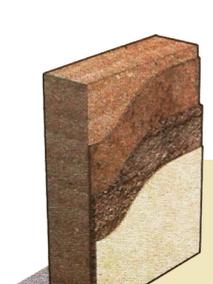
- Pannelli di sughero

- etc.

Stratigrafia sistema di isolamento

Posa in opera

Materiali appropriati per l'isolamento

| | | | | |
|--------------------------------|--------------------|--|--|--|
| Strutture ancorate alla parete | Blocchi |  <ul style="list-style-type: none"> - Strato di malta a base di terra o terra e calce - Blocchi leggeri - Intonaco o pannello rigido di chiusura | <ul style="list-style-type: none"> - Stesura della malta a base di terra (ρ 1000 - 1200 Kg/m³)* sul muro di supporto contestualmente alla posa di ogni fila di blocchi. - Posa dei blocchi alleggeriti - Fissaggio blocchi alla parete di sostegno a mezzo di ancoraggi o linguette metalliche fermati con viti in legno; min 5 punti per m². - Posa dell'intonaco a base di terra | <ul style="list-style-type: none"> - Blocchi di terra alleggerita con: <ul style="list-style-type: none"> - Fibre vegetali: paglia, canapa, etc. - Materiali legnosi: fibra di legno, - Materiali di origine minerale - Blocchi leggeri a base di fibre: <ul style="list-style-type: none"> - Calce e canapa, etc. |
| | Pannelli** |  <ul style="list-style-type: none"> - Strato di malta a base di terra - Pannelli isolanti rigidi - Strato di intonaco a base di terra o rivestimento con pannello rigido di chiusura <p>** La soluzione è da preferirsi in interno; per l'uso di pannelli in esterno è preferibile la soluzione con struttura di supporto in legno che permetta di proteggere l'isolante con pannelli rigidi più facilmente.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Stesura dello strato di malta a base di terra, spessore di 1-3 cm***, contestualmente alla posa dei pannelli isolanti e previamente, di eventuale malta di terra di livellamento. - Posa pannelli e fissaggio con viti lunghe e rondelle o tasselli****. - Posa dell'intonaco di finitura. | <ul style="list-style-type: none"> - Fibra di legno e altre fibre vegetali - Lana di legno - Lana leggera - Silicato di calcio - Composti minerali - Pannelli a base di terra alleggerita ? |
| | Incannucciato |  <ul style="list-style-type: none"> - Strato di malta a base di terra - Pannelli isolanti di canne - Intonaco a base di terra o terra e calce | <ul style="list-style-type: none"> - Stesura dello strato di malta a base di terra; spessore 1-3 cm.***** - Posa pannelli isolanti di canne*****, fissati mediante viti o tasselli e rondelle. - Stesura strato di intonaco grosso e di finitura. | <ul style="list-style-type: none"> - Canne palustri |
| | Elementi incollati | Termo-Intonaci |  <ul style="list-style-type: none"> - Malta a base di terra e fibre - Intonaco a base di terra e fibre - Intonaco di finitura | <ul style="list-style-type: none"> - Posa dello strato di malta grossa a base di terra e fibre. - Stesura strato di intonaco a base di terra e fibre, una volta asciutto lo strato precedente*****. - Posa dello strato di intonaco di finitura |

* Rholen - Ziegert 2011

*** Si suggerisce l'uso di una malta particolarmente viscosa; sono da evitare vuoti nell'interfaccia parete-pannelli
 **** Sono consigliabili minimo 5 punti per m²; per migliorare l'adesione è possibile posare uno strato di malta anche sulla faccia interna del pannello (Rholen - Ziegert 2011).

***** Valgono le indicazioni per la malta per pannelli.

***** Le canne sono parallele tra loro e legate mediante filo metallico perpendicolare al verso delle canne stesse, allacciato con altro filo posto nella direzione dello spessore del pannello.

***** Per favorire l'aderenza degli strati di intonaco al muro, possono essere inserite maglie in fibra vegetale o sintetiche, fissate alla parete con punti metallici.

in legno o piccoli tasselli (Röhlen - Ziegert 2011, pp.124). Metodi alternativi potrebbero prevedere l'uso di geo-maglie in fibre vegetali aggrappate ad un'ulteriore maglia disposta nell'interfaccia parete-malta adesiva, ma l'efficacia di queste tecniche in ambito di recupero del costruito non è ancora stata sufficientemente verificata.

Per soluzioni che prevedono l'uso di pannelli senza il supporto di strutture lignee è possibile utilizzare tasselli oppure viti lunghe corredate da apposito alloggiamento per l'ancoraggio alla parete previa posa dello strato di malta adesiva, ma è consigliabile eseguire prove a strappo sulla parete per verificare l'affidabilità del sistema scelto.

Le malte adesive devono essere compatibili con i materiali del sistema costruttivo; in genere vengono utilizzate malte a base di terra oppure miscele di terra e calce. Per il fissaggio dei pannelli è preferibile una malta di tipo particolarmente viscoso, ma posata in spessore limitato in modo da favorire la continuità nel trasferimento di vapore attraverso tutto il pacchetto murario; Röhlen e Ziegert consigliano spessori di 1cm (Röhlen - Ziegert 2011, pp. 126). Migliori risultati nell'adesione si ottengono posando uno strato di malta adesiva su entrambe le superfici di contatto, quella della parete e quella del pannello isolante.

In ogni caso, e in particolar modo in caso di isolamento interno, la malta deve assicurare la continuità di contatto sull'interfaccia parete-isolante, in modo da evitare che possa formarsi umidità dovuta alla condensazione del vapore tra i due strati della parete.

Materiali isolanti a base di terra e fibre

Nel recupero degli edifici in terra cruda, in passato si è spesso intervenuti in modo inappropriato, utilizzando materiali non traspiranti che bloccano lo scambio di vapore acqueo della parete con l'ambiente, compromettendo in questo modo anche la tenuta strutturale della stessa.

Tutti i manuali sulla terra cruda oggi ricordano come sia indispensabile l'uso di materiali traspiranti nell'accoppiamento di pareti di terra. Anche in materia di isolanti vale lo stesso principio: vanno scelti materiali compatibili con le caratteristiche fisiche della terra e con i cambiamenti di fase dell'acqua presente all'interno delle pareti per evitare di confinare il vapore all'interno della muratura col rischio di condensa. Allo stesso tempo, però, materiali troppo porosi, per temperature sotto il punto di rugiada, potrebbero assorbire acqua anche dal muro stesso e perdere le



*Fig. 6.50, Isolamento esterno con ovatta di cellulosa pompata con compressore su parete in terra battuta e struttura di supporto in legno.
(Foto Caracol)*



Fig. 6.51, Isolamento esterno con blocchi di calce e canapa. (Foto G. Paccoud)



Fig. 6.52, Isolamento con pannello di incannucciato a diversi strati. (Foto Caracol)



Fig. 6.53, Terra "proiettata" su struttura di supporto in legno: Entreprise PITANCE (Foto Gasnier)

proprie caratteristiche isolanti, nonché causare patologie alle pareti di supporto (Chabriac - Morel - Hamard).

Per queste ragioni i sistemi di isolamento per muri in Pisé vengono normalmente realizzati con materiali a base di terra, vegetali e/o minerali, che presentino caratteristiche traspiranti simili a quelle della parete su cui si deve intervenire; un materiale composto di questi elementi viene definito *terra alleggerita* se presenta densità fino a un massimo di 1200 Kg/m^3 (Volhard 1995). Nonostante non si possano classificare come veri e propri materiali isolanti, le terre alleggerite sono in grado di migliorare le prestazioni di isolamento termico della parete. Si tratta di materiali realizzati attraverso processi in umido, affogando in una *barbottina* di terra, utilizzata come legante, un materiale fibroso o di origine minerale. Non sono considerati veri e propri isolanti poiché i migliori valori di λ ottenuti con miscele a densità intorno ai $300 - 400 \text{ kg/m}^3$, sono dell'ordine di $0.1 - 0.12 \text{ W/mK}$. In caso di posa in opera direttamente in umido (ad esempio per soluzioni tecnologiche con ossatura in legno e riempimento versato sfuso in umido) possono avere spessori limitati, dovendo consentire il processo di essiccazione in tempi ragionevoli, senza rischio di danneggiare la parete di supporto. Contro muri in terra sono previsti al massimo 15cm di spessore, 20 cm per pareti con entrambe le facce esposte all'aria. I valori di conducibilità termica di prodotti in terra alleggerita sono dipendenti direttamente dalla densità a secco; in Volhard (Volhard 1995) sono indicati i valori di conducibilità attesi in funzione della densità.

Materiali pompabili

Le miscele di terra alleggerita con aggregati di origine minerale presentano il vantaggio di poter essere posate in opera mediante sistemi di pompaggio che riducono in modo sostanziale i tempi e i costi di lavoro rispetto a soluzioni con aggregati in fibre vegetali, minimizzando, inoltre, le difficoltà di lavorazione della miscela; per contro, in una valutazione complessiva sull'economicità di questa soluzione, si dovrà tenere conto dei costi aggiuntivi legati ai macchinari di pompaggio.

Per preparare questo tipo di composti è necessaria una miscela di terra particolarmente ricca di argilla, di granulometria più fine e maggiore forza di coesione; le densità raggiungibili a secco sono dell'ordine di $500 - 1.200 \text{ Kg/m}^3$, e in virtù di un minore contenuto di umidità, è possibile ottenere prestazioni termiche leggermente migliori di quelle raggiungibili con miscele alleggerite con fibre vegetali per densità sotto i 600 Kg/m^3 (Minke 2006 pp. 50). Assorbendo un quantitativo d'acqua relativamente basso

queste miscele sono in grado di essiccare con maggiore rapidità; questo si traduce anche in una resistenza al vapore superiore rispetto a quella della terra-fibra, che potrebbe ridurre ulteriormente i rischi di condensa.

L'utilizzo di materiali di origine biologica dovrebbe essere evitato per isolare le zone alla base del muro, poiché, essendo generalmente sensibili all'esposizione prolungata all'acqua, possono marcire se esposti alla risalita d'acqua capillare. In questi punti maggiormente delicati è più opportuno l'uso di materiali più resistenti all'acqua.

Di seguito viene proposta una tabella di alcuni dei materiali utilizzabili per l'isolamento termico di pareti in terra battuta, con indicati i valori di densità a secco, conducibilità termica e resistenza alla diffusione del vapore.

| Materiale per isolamento termico | Densità a secco ρ [Kg/m ³] | Conducibilità λ [W/mK] | μ |
|---|--|-----------------------------------|-------|
| Terra alleggerita con trucioli di legno e argilla espansa | 600 | 0.17 | 5/10 |
| Terra alleggerita con trucioli di legno e argilla espansa | 800 | 0.25 | 5/10 |
| Terra alleggerita con vetro espanso | 460 | 0.114 | 5/10 |
| Fiocchi di Ovatta di cellulosa | 30-65 | 0.038 | 1.2 |
| Blocchi in terra alleggerita con paglia | 600 | 0.17 | 2/5 |
| Blocchi in terra alleggerita con paglia | 700 | 0.21 | 2/5 |
| Blocchi alleggeriti in terra paglia | 900 | 0.3 | 3/5 |
| Blocchi alleggeriti in terra paglia | 1000 | 0.35 | 3/5 |
| Blocchi alleggeriti in terra paglia | 1200 | 0.47 | 3/5 |
| Pannelli di lana alleggerita | 360 | 0.09 | 2/5 |
| Pannelli in lana di legno | 400 | 0.09 | 2/5 |
| Pannelli in fibra di legno | 180 | 0.045 | 5 |
| Pannelli in sughero | 150-160 | 0.041 | 10 |
| Pannelli di canne | 140-160 | 0.065 | 1-3 |

Tabella 6.4, Caratteristiche termo-fisiche di alcuni materiali appropriati per l'isolamento di pareti in terra battuta; dati da Röhlen - Ziegert 2011 e produttori.

6.4.2 ISOLARE ALL'ESTERNO O DALL'INTERNO: vantaggi e svantaggi

Isolamento termico interno

L'uso di materiali termicamente isolanti sul lato interno di pareti esterne è generalmente consigliato da molti autori quando non è possibile intervenire sulla facciata esterna. Per l'adeguamento termico di edifici in terra battuta la necessità di conservare l'aspetto estetico delle pareti a vista può giocare un ruolo importante in questo senso anche a prescindere da eventuali vincoli storici o paesaggistici. Tecniche di isolamento interno vengono usate talvolta per isolare solo parti specifiche dell'edificio, oppure per dissociare la massa termica di una parete dal sistema di riscaldamento di un ambiente; in questo modo però la parete tende ad accumulare maggiori quantità di calore al suo interno durante il periodo estivo, con il rischio di surriscaldamento (Röhlen - Ziegert 2011). A causa dell'impossibilità di evitare ponti termici, l'isolamento interno di pareti esterne produce prestazioni chiaramente inferiori rispetto ad un intervento a cappotto dall'esterno, ma nelle costruzioni in terra battuta in climi non eccessivamente freddi, potrebbe non costituire un particolare svantaggio, grazie alla bassa ammettenza termica delle pareti in terra (Hall - Allinson 2008).

Da un punto di vista della posa in opera l'isolamento termico interno presenta chiari vantaggi poiché lavorando dall'interno non si è particolarmente soggetti alle condizioni climatiche ed i costi sono ridotti rispetto ad isolamenti a cappotto esterno.

È importante che il componente isolante lasci respirare il muro in terra battuta; andrebbero quindi utilizzati materiali isolanti a conduzione capillare con una buona capacità di assorbimento. Le tecniche adoperate per la messa in opera, inoltre, dovrebbero assicurare la continuità di contatto capillare tra i diversi materiali evitando vuoti o cavità d'aria. L'isolante deve essere a diretto contatto con la parete in modo da consentirle di espellere il vapore acqueo per capillarità; intercapedini d'aria potrebbero lasciare invece crescere muffe. È consigliabile quindi evitare materiali, come ad esempio le lane di origine minerale o animale, che potrebbero perdere le proprie capacità isolanti a contatto con l'acqua (Röhlen - Ziegert 2011). Materiali permeabili al vapore e capillari dovrebbero anche facilitare l'essiccazione del muro durante i periodi caldi dell'anno. L'uso di un isolante sulla faccia interna di pareti in terra battuta comporta inoltre una perdita delle caratteristiche di inerzia del materiale, da questo punto di vista la scelta di componenti a base di terra alleggerita potrebbe consentire un certo equilibrio.

Isolamento termico esterno

È generalmente poco utilizzato per l'adeguamento termico di edifici storici o di pregio ambientale o paesaggistico poiché è un tipo di intervento che produce una forte alterazione dell'aspetto esteriore delle facciate. Inoltre prevede costi particolarmente elevati di posa in opera e difficoltà di realizzazione dovute alla variabilità dei fattori climatici.

A fronte di questi svantaggi permette una migliore gestione dei ponti termici e allo stesso tempo di garantire, all'interno degli ambienti dell'edificio, le elevate prestazioni di inerzia termica caratteristiche dei muri in terra battuta. Occorre tenere conto comunque che l'accumulo di calore per irraggiamento solare è ridotto dalla presenza dell'isolante, per cui l'effetto di inerzia verrebbe comunque in parte diminuito. Secondo uno studio realizzato in Francia sul recupero delle

pareti di edifici antichi, l'isolamento esterno risulta preferibile a quello interno dal punto di vista termo-igrometrico poiché permette di preservare meglio l'inerzia della parete e di mantenere basso il rischio di condensa e il tenore d'acqua all'interno del muro; questo metodo permette inoltre una maggiore facilità di essiccazione spontanea del muro in caso di infiltrazioni d'acqua nella parete (AA.VV., Hygroba 2013).

Gli studi condotti da Hall e Allinson d'altro canto, consigliano l'uso di isolamento esterno solo in casi di climi particolarmente freddi, preferendo un intervento dall'interno in caso di climi freddo-temperati (Hall - Allinson 2008). Un ulteriore vantaggio da tenere in considerazione in climi con temperature invernali molto basse è la protezione della parete in terra da fenomeni di gelività evitando il rischio di distacco di materiale (Fix - Richmond 2009).

| | VANTAGGI | SVANTAGGI |
|---------------------------------|--|---|
| ISOLAMENTO ESTERNO | <ul style="list-style-type: none"> • Permette di eliminare i ponti termici • Permette di mantenere quasi invariate le proprietà di inerzia termica delle pareti • Maggiore facilità di essiccazione | <ul style="list-style-type: none"> • Modifica l'aspetto esteriore delle strutture murarie • Posa in opera più difficoltosa perché dipendente dai fattori climatici esterni • È spesso necessario realizzare strutture di supporto e di protezione. • Alti costi di realizzazione |
| ISOLAMENTO INTERNO | <ul style="list-style-type: none"> • Permette di conservare l'aspetto esteriore originale delle strutture murarie • Facilità di posa in opera, poiché non vincolata a fattori climatici e per la possibilità di appoggio dell'isolante direttamente sul pavimento • Permette di gestire più facilmente l'installazione di impianti. | <ul style="list-style-type: none"> • Non permette di risolvere i ponti termici • Perdita di inerzia termica delle pareti all'interno • Possibili rischi di condensa all'interno della parete • Limiti dello spessore dello strato isolante |
| ISOLAMENTO ALL'INTERNO DEL MURO | <ul style="list-style-type: none"> • Permette di conservare l'aspetto esteriore delle strutture murarie • Permette di mantenere invariate le proprietà di inerzia termica della parete | <ul style="list-style-type: none"> • Costi di realizzazione molto alti • Difficoltà di realizzazione in caso di intervento di recupero a causa degli elevati spessori necessari • Realizzazione complessa a causa delle particolari strutture di ancoraggio in metallo annegate nelle pareti |

Tabella 6.5, Adattamento da *Rénover & Construire en Pisé dans le Parc naturel régional Livradois 2011*.