

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. FINALITÀ DEL DOCUMENTO</b>	<b>3</b>
<b>3. GLOSSARIO</b>	<b>4</b>
<b>4. MATERIALI E LORO LAVORAZIONE</b>	<b>5</b>
<b>4.1. TERRA</b>	<b>5</b>
<b>4.2. ADOBE</b>	<b>5</b>
<b>4.3. MALTE</b>	<b>6</b>
<b>4.4. REQUISITI E TRATTAMENTI</b>	<b>7</b>
<b>5. COSTRUZIONE</b>	<b>8</b>
<b>6. PROVE DI CONTROLLO DELLA QUALITÀ DEI MATERIALI</b>	<b>11</b>
<b>6.1. SCHEDA A - PROVA DI COMPRESSIONE</b>	<b>11</b>
<b>6.2. SCHEDA B - PROVA DI ASSORBIMENTO</b>	<b>11</b>
<b>6.3. SCHEDA C - PROVA DI EROSIONE</b>	<b>12</b>
<b>6.4. SCHEDA D - PROVA DI GEELONG</b>	<b>12</b>
<b>6.5. SCHEDA E - PROVA DI RITIRO</b>	<b>13</b>
<b>6.6. SCHEDA F - PROVA DI RESISTENZA ALL'URTO</b>	<b>13</b>
<b>7. ELENCO NORMATIVE / LINEE GUIDA / STANDARD DI RIFERIMENTO</b>	<b>14</b>
<b>8. DETTAGLI COSTRUTTIVI</b>	<b>16</b>

## **1. Premessa**

Il presente documento costituisce uno stralcio del “Manuale tematico della terra cruda” redatto a cura di Maddalena Achenza e Ulrico Sanna. I manuali del recupero sono frutto di alcune iniziative della Regione Sardegna e dell’Assessorato all’Urbanistica, rivolte a fornire strumenti sempre più approfonditi in fase di attuativa della pianificazione paesaggistica. I manuali sono progettati per supportare gli Enti Locali nel passaggio ad una gestione “di qualità” degli interventi sul patrimonio edilizio storico, in termini di manutenzione, restauro e riqualificazione.

I Manuali sono dunque ispirati ad una filosofia di affiancamento e servizio, che presuppone che ciascun Comune li utilizzi per costruire i necessari approfondimenti e sviluppi in sede locale, in ragione delle specificità dei caratteri spaziali e costruttivi del proprio patrimonio edilizio e urbano storico.

## **2. Finalità del documento**

Definire dei requisiti di riferimento di materiali a base di terra cruda (adobe, malte e intonaci) e alla loro messa in opera per l'edificazione di murature portanti e di tamponamento. Qualunque materiale contenga una percentuale di terra inferiore al 90% non è oggetto del seguente documento.

### 3. Glossario

- Acqua: aggiunta all'impasto nella misura non superiore al 10% per consentirne una sufficiente compattazione.
- Adobe: nelle varianti dialettiche locali indicato con i nomi ladiri, ladrini, lardini, ladri, ladini. Elemento parallelepipedo formato a mano, o con l'ausilio di stampi in legno, con un impasto di terra, acqua ed eventuali additivi stabilizzanti, di grandezza variabile ma più comunemente prodotto in Sardegna di dimensioni 20x40x10 cm.
- Adobe stabilizzato: adobe a cui è stato aggiunto un componente al fine di migliorarne le prestazioni fisico-meccaniche.
- Argilla: frazione più fina della terra (diametro inferiore 0,002 mm). Rappresenta nell'impasto il legante naturale, grazie alle sue proprietà reattive al contatto con l'acqua.
- Calce: laddove non altrimenti specificato si intende la calce idrata o il grassello di calce.
- Ghiaia: inerti di diametro maggiore di 2 mm.
- Inerte: frazione della terra che comprende ghiaie, sabbie e limi, di diametro superiore a 2  $\mu$  (0,002 mm). Al contrario dell'argilla, non reagisce al contatto con acqua o altri componenti.
- Limo: frazione della terra di granulometria compresa tra 0,06 e 0,002 mm. Non distinguibile ad occhio nudo dalle argille se ne differenzia per l'incapacità a divenire elemento legante.
- Malta: si intende il materiale utilizzato per l'allettamento degli adobe. Può essere costituito da terra, paglia e inerte, eventualmente stabilizzata con altri materiali.
- Mattone crudo: vedi la voce adobe.
- Muratura: intesa normalmente messa in opera con adobe disposti a due teste.
- Paglia: steli essiccati del grano mietuto. Viene utilizzata con lunghezze variabili sia per la produzione di adobe e intonaci che, più raramente, nelle malte d'allettamento.
- Peso specifico: è definito come il peso di un campione di materiale diviso per il suo volume.
- Plasticità: definisce la proprietà della terra a subire deformazioni, ovvero la sua capacità di essere modellata.
- Sabbia: nell'impasto rappresenta la frazione di inerte; ha granulometria di diametro compreso fra 0,2 e 2 mm.
- Stabilizzante: additivo come la calce, il cemento Portland, ceneri, ecc, che viene aggiunto allo stato secco all'impasto in percentuale riferita al peso totale.
- Stabilizzazione: si intende portare una terra non qualificata ad uno stato di accettabilità attraverso la miscela con terre diverse o altri additivi.
- Terra: si intende ogni tipo di suolo, o miscela di suoli, privo di componenti organici, che, impastato con acqua fino a raggiungere stato plastico ed essiccato in forma di adobe, perviene ad una resistenza a compressione minima di 20 kg/cm<sup>2</sup> e un modulo di rottura di 3,5 kg/cm<sup>2</sup>.

## 4. Materiali e loro lavorazione

### 4.1. Terra

La terra utilizzata per la produzione di mattoni crudi e malte contiene argilla, limo e inerti di diversa dimensione. La proporzione tra questi variabile e dipende fundamentalmente dalla natura dei minerali che hanno generato la terra e dalla trasformazione che se ne intende fare. In generale la terra non dovrà contenere meno del 25% e più del 40% di passanti al vaglio a maglia quadrata AFNOR. 11-501 mm. (CRATerre)<sup>1</sup>.

Dovrà contenere sufficiente quantità di argilla da garantire un corretto legame delle particelle e non dovrà contenere più dello 0,2% di sali solubili.

Non è consentito utilizzare:

- terre che contengono elementi organici che possano avviare processi di putrescenza o il germoglio di essenze di qualunque genere;
- terre che contengano sali solubili in quantità che possano compromettere la durabilità del materiale;
- terre che contengano elementi lapidei di dimensioni che possano compromettere la sicurezza statica dell'edificio ovvero che non permettano prestazioni strutturali omogenee.

Riferito ai soli adobe:

- Inerti: sono costituiti da grani del diametro variabile tra 200 e 0,002 mm. Comprendono le ghiaie (200-2 mm), le sabbie (2-0,05 mm) e i limi (0,02-0,002). Sono caratterizzati dall'assoluta mancanza di capacità coesiva.
- Argille: sono costituite da grani composti prevalentemente da silicati di alluminio di diametro inferiore a 2  $\mu$  (0,002 mm). Si caratterizzano per il loro potere legante.
- Acqua: l'acqua utilizzata per costruzioni di terra è preferibilmente potabile.

### 4.2. Adobe

- *Adobe tradizionali*: Possono avere pianta quadrata o rettangolare. Pezzi speciali possono presentare angoli diversi dai 90°. Le dimensioni rispettano di norma le regole:
  - per adobe rettangolari la lunghezza è pari a metà della larghezza;
  - la relazione tra altezza e lunghezza è 4:1;
  - possibilmente l'altezza non deve essere inferiore a 8 cm. (NTE-E.080)<sup>2</sup>.
- *Adobe stabilizzati*: sono gli adobe a cui vengono aggiunti altri componenti (vd. stabilizzanti) per migliorarne normalmente la resistenza all'acqua, eccezionalmente la resistenza meccanica.
- *Stabilizzanti*: è consentito l'uso dei seguenti stabilizzanti: calce aerea, idrata e, in alcuni casi, idraulica (non pozzolanica). L'uso di altri stabilizzanti (olii vegetali, cemento, bitume, caseina, ecc.) dovrà essere valutato dal progettista caso per caso, al fine di garantire le qualità di base dei singoli elementi. L'aggiunta di stabilizzanti deve essere fatta solo in caso di effettiva necessità per controllare eventuali effetti di "instabilità" delle particelle di argilla, e per migliorare le prestazioni meccaniche e di resistenza all'acqua della muratura. (CRATerre)<sup>3</sup>. È utile ricordare che solo in alcuni casi caratteristiche come la resistenza a compressione e la compattezza del materiale vengono potenziate.
- *Contenuto d'acqua*: il ruolo delle argille e in minima parte dei limi contenuti nella terra è di legare il composto. Il potere legante di questi componenti varia a seconda

<sup>1</sup> (CRATerre): Houben H., Guillaud H., *Traité de construction en terre*, ed. Parenthese, Marseille 1989;

<sup>2</sup> (NTE – E.080): *Norma tecnica de edificacion NTE E.080*, Adobe, Lima Peru 2000

<sup>3</sup> Cfr. nota 1

del contenuto di umidità e del potere di espansione dell'argilla stessa. L'acqua contenuta nell'impasto deve essere sufficiente a garantire una corretta idratazione di tutti i suoi componenti. I tempi di idratazione dovranno essere valutati in base alle capacità di reazione delle argille contenute. A completa essiccazione la quantità d'acqua contenuta non supera in peso il 4%. (NMBC).

### 4.3. Malte

La consistenza delle malte è di fondamentale importanza per una buona riuscita della muratura. Potenzialmente anche una buona terra può avere una pessima riuscita, se mescolata male. Tutte le miscele dovranno essere opportunamente controllate affinché la massa appaia omogenea, priva di grumi, opportunamente umidificata.

- *Composizione e mescola:* le malte dovranno essere a base di terra, eventualmente potranno essere stabilizzate con calce aerea (o debolmente idraulica) al fine di migliorarne le prestazioni in ambiente umido. Non dovranno contenere inerti con diametro superiore alla metà della dimensione minima del giunto che si vorrà realizzare. Le malte stabilizzate avranno un contenuto in calce non superiore al 5% del peso secco totale. Una maggiore quantità di stabilizzante non solo non ne migliorerebbe le prestazioni, ma ne indebolirebbe la resistenza meccanica. La calce dovrà essere disciolta in acqua prima di venire aggiunta all'impasto.
- *Requisiti:* la malta a base di terra:
  - deve avere resistenza meccanica adeguata a sostenere la muratura;
  - non deve presentare una permeabilità all'acqua tale da compromettere la stabilità della muratura;
  - deve avere uno strato di allettamento non inferiore a 1 cm;
  - non deve presentare fessurazioni;
  - deve aderire perfettamente agli adobe, ovvero lo strato superficiale dell'adobe deve risultare amalgamato con la malta di allettamento;
  - deve contenere una buona quantità di componenti fini, ma anche sufficienti sabbie che assicurano una buona lavorabilità;
  - se la composizione della terra utilizzata per le malte è identica a quella degli adobe da mettere in opera, non sarà necessario effettuare alcun test di verifica eccetto quello di ritiro; la vagliatura del materiale con diametro superiore ai 3 mm non è considerata in grado di cambiare la composizione della terra;
  - se presentano un contenuto eccessivo di argilla, le malte di sola terra potrebbero necessitare di aggiunte di sabbia e/o paglia, al fine di contenere il fenomeno di fessurazione superficiale in fase di essiccazione;
  - al contrario, una malta poco coesiva può essere ulteriormente vagliata, allo scopo di aumentare la percentuale di argilla nell'impasto; questa procedura risulta assai difficoltosa per i non esperti, tanto da consigliare la presa in considerazione dell'uso di una terra più appropriata;
  - se la malta viene preparata manualmente è consigliato mescolarla con 24 ore di anticipo, per assicurare adeguata e completa idratazione; al momento della messa in opera sarà possibile aggiungere l'acqua appena necessaria a rendere lavorabile l'impasto;
  - se la malta viene preparata meccanicamente non sarà necessario attendere per la sua messa in opera, in quanto l'opportuna idratazione verrà comunque assicurata dallo stesso procedimento;
  - le malte conterranno una quantità d'acqua appena sufficiente a rendere l'impasto "lavorabile"; dovranno inoltre avere una consistenza tale da permettere il sostegno dell'adobe da allettare, che verrà pressato nella sua

posizione finale; a tale pressione, nessuna fuoriuscita di fango o acqua dovrà essere notata.

#### **4.4. Requisiti e trattamenti**

- *Fessurazioni:* sono ammesse fessurazioni di minima entità a patto che non compromettano l'integrità strutturale degli adobe. Non dovrebbero essere di regola presenti più di 3 fessurazioni, ciascuna di queste di lunghezza inferiore a 7,5 cm e profondità massima di 3 mm. (NMAC)<sup>4</sup>
- *Cura ed essiccazione degli adobe:* gli adobe dovranno essere accuratamente curati ed essiccati prima della loro messa in opera. La cura è riferita ai soli adobe stabilizzati con calce, per i quali sarà necessario un periodo di stoccaggio preventivo di 3 settimane allo stato umido e chiusi nel cellophane, lontano da irraggiamento solare e pioggia diretta, prima dell'essiccazione all'aria. L'essiccazione all'aria degli adobe non dovrà essere inferiore ai 28 giorni, a temperature non inferiori ai 5 °C, in ambiente protetto da vento e pioggia. (NZS 4298)<sup>5</sup>
- *Stoccaggio dei materiali:* i materiali dovranno essere stoccati in maniera da evitare contaminazioni o possibilità di reazioni chimiche involontarie, lontani da umidità.

---

<sup>4</sup> (NMAC): *New Mexico State Building Code*, Section 2405 - Amendment, 1982

<sup>5</sup> (NZ 4298): *Standards New Zealand – NZ 4298 Materials and workmanship for earth buildings*, 1998

## 5. Costruzione

- *Utilizzo degli adobe:*
  - Nessun adobe potrà essere messo in opera senza aver subito un tempo di essiccazione di almeno 4 settimane. (NMAC)<sup>6</sup>
  - Ciascun elemento dovrà essere opportunamente bagnato prima della posa in opera in modo da favorire una corretta adesione della malta.
  - *Superficie coperta:* la superficie coperta non deve superare i 600 m<sup>2</sup> per edifici ad 1 piano, 300 m<sup>2</sup> per edifici a due piani fuori terra. (NZ 4299)<sup>7</sup>
- *Fondazioni:*
  - Non è consentito utilizzare adobe per la realizzazione di fondazioni. (NMAC)<sup>8</sup>
  - Tutte le murature in adobe, portanti e non, dovranno avere fondazione continua in calcestruzzo, o pietrame e malta di calce, larga non meno della muratura soprastante maggiorata di 5 cm. su ciascun lato. (NMAC)<sup>9</sup>
  - La fondazione dovrà inoltre avere uno zoccolo rialzato rispetto al piano di campagna di almeno 50 cm. Questa distanza dovrà essere necessariamente incrementata nel caso in cui l'edificio sorga su area depressa, nel qual caso la zoccolatura potrà raggiungere il metro di altezza.
  - Non è mai consigliabile poggiare gli adobe, seppure stabilizzati, direttamente sulla fondazione.
- *Dimensioni delle murature in adobe (NMAC)<sup>10</sup>:*
  - Le murature potranno essere realizzate con adobe stabilizzati o non stabilizzati. – La muratura portante al piano terra non potrà in nessun modo avere uno spessore inferiore a 35 cm, mentre al piano superiore sarà consentito uno spessore di 25 cm.
  - La larghezza della muratura considerata è quella della lunghezza dell'adobe, al netto degli intonaci.
  - La larghezza delle murature non portanti non dovrà essere inferiore a 20 cm.
  - La lunghezza di una parete non controventata non potrà essere superiore a 6 m.
  - La muratura in adobe non dovrà essere utilizzata per edifici con più di due piani fuori terra.
  - L'altezza delle murature scariche non potrà essere superiore a 10 volte lo spessore del muro.
  - Le altezze consentite sono quelle indicate nella tabella seguente. Esse sono definite dalla distanza tra la superficie della fondazione (o dello zoccolo) e l'attacco della copertura, ovvero l'appoggio del cordolo, se esistente.

<b>Spessore della muratura</b>	<b>Altezza massima consentita</b>
30	325
35	360
40	360
45	360
60	360

- *Cordoli:*

<sup>6</sup> Cfr. nota 5

<sup>7</sup> (NZ 4299): *Standards New Zealand – NZ 4299 Earth buildings not requiring specific design*, 1998

<sup>8</sup> Cfr. nota 5

<sup>9</sup> Ibidem

<sup>10</sup> Ibidem

- a) *Cordoli in cemento armato*. Il cordolo in cemento armato è un elemento facilmente realizzabile al di sopra di una muratura in adobe. È tuttavia necessario che la sua messa in opera non comprometta la qualità della costruzione, creando ad esempio ponti termici o discontinuità di materiale sulla superficie della muratura che potrebbe compromettere la buona riuscita della posa degli intonaci. Dovrà avere uno spessore massimo pari ad 2/3 della muratura, e centrato in modo da lasciare spazio ad un tamponamento in adobe (dimensionati ad hoc). I cordoli in cemento verranno opportunamente armati, in accordo con le correnti pratiche edilizie. (NMAC)<sup>11</sup>
- b) *Cordoli in legno*. Il cordolo in legno è maggiormente consigliato rispetto a quello in calcestruzzo, soprattutto per la maggiore compatibilità tra i due materiali a contatto, che presentano un comportamento elastico assai comparabile. Le travi avranno uno spessore minimo di 15 cm, e dovranno essere opportunamente collegate e irrigidite agli angoli della scatola muraria. (NMAC)<sup>12</sup>
- *Malte*:
    - Le malte verranno utilizzate per giunti orizzontali e verticali. I giunti verticali potranno non essere realizzati, come avveniva nella tradizione locale.
    - Gli allettamenti dovranno essere realizzati con cura, senza discontinuità di sorta.
    - Le superfici di posa dovranno essere abbondantemente bagnate, di modo da favorire la coesione tra gli elementi e limitare fenomeni fessurativi. Porre attenzione al fatto che un contenuto eccessivo di acqua crea l'effetto contrario (riduce la coesione ed aumenta le fessurazioni).
  - *Intonaci*:
    - Tutte le murature esterne dovranno essere intonacate, con intonaci possibilmente a base di terra e calce aerea, mai con cemento o calci idrauliche. È consigliabile posare tre strati successivi, il primo di sola terra e paglia, il secondo di terra e calce, il terzo, di finitura di sola calce. È tuttavia consentita la realizzazione di un intonaco tutto in calce da posare in due strati, uno di aggrappo e rettifica della muratura, il secondo di finitura. Il primo strato potrà avere spessore fino a 15 mm, i successivi dovrebbero essere il più sottile possibile, per garantire una buona riuscita; comunque di spessore non inferiore ai 5 mm.
    - Si consiglia l'uso di tinteggiature tradizionali a base di latte di calce e pigmenti naturali inorganici (terre). Evitare l'uso di tinteggiature sintetiche.
    - È possibile l'utilizzo di un'intonacatrice meccanica.
  - *Aperture*:
    - Aperture di porte e finestre dovranno essere collocate a non meno di 45 cm. di distanza da ciascun angolo dell'edificio. (NMAC)<sup>13</sup>
    - Dovranno avere un architrave in metallo, c.a. o legno dello stesso spessore del muro e altezza adeguata al materiale che la compone, lunga almeno 30 cm. in più dell'apertura stessa su entrambi i lati. (NMAC)<sup>14</sup>
    - Dovranno essere opportunamente fissate alla muratura anche con l'ausilio di pezzi speciali in legno e/o metallo. È bene osservare che è notevolmente più

---

<sup>11</sup> Ibidem

<sup>12</sup> Ibidem

<sup>13</sup> Ibidem

<sup>14</sup> Ibidem

semplice inserire il telaio durante la messa in opera della muratura che fissarlo a posteriori. (NMAC)<sup>15</sup>

- La larghezza dell'apertura non dovrebbe essere superiore a 1,20 m e non più di 1/3 dell'altezza del muro.
- La distanza minima tra due aperture non dovrebbe mai essere inferiore ad 1 m.
- *Solai intermedi e coperture:*
  - La scelta di solai e coperture dipenderà da considerazioni legate alle scelte progettuali, ai costi e la reperibilità dei materiali.
  - Potranno essere realizzate sia coperture piane che a falde inclinate, anche se queste ultime sono maggiormente consigliate.
  - Le coperture potranno essere realizzate con qualunque materiale di uso corrente, seppure, per motivi di migliore compatibilità tra materiali, sia fortemente consigliato l'uso di elementi in legno.
  - Sia i solai intermedi che le coperture dovranno poggiare su elementi di ripartizione dei carichi (cordoli o dormienti).
- *Canalizzazioni, installazioni elettriche, ecc.:*
  - Come regola generale è consigliato mettere in opera gli impianti contestualmente alla realizzazione della muratura. Le tubature dell'acqua dovranno preferibilmente essere realizzate sotto pavimento e alloggiate nella muratura all'interno di appositi alloggiamenti (in laterizio o plastica). Ciò permetterà, in caso di perdite, una minore possibilità di contatto tra acqua e muratura. Ogni inserimento nella muratura non dovrà eccedere in profondità la misura pari a 1/3 dello spessore del muro.

---

<sup>15</sup> Ibidem

## 6. Prove di controllo della qualità dei materiali

Per un controllo diretto della qualità dei materiali e dei prodotti utilizzati è possibile effettuare in cantiere dei facili test, la cui affidabilità è oramai comprovata. I test indicati di seguito sono consigliati al fine di dimostrare la buona qualità dei materiali utilizzati, la quale dovrà soddisfare i requisiti minimi.

I test dovranno essere effettuati nel cantiere di costruzione sotto il controllo del direttore dei lavori. È bene che ciascun risultato sia annotato volta per volta in modo da poter risalire con facilità all'identificazione dei materiali utilizzati.

Test	Scheda di riferimento	Frequenza		Requisiti minimi
		Prima della messa in opera	Durante la costruzione	
Compressione e o modulo di rottura	A	5 campioni della stessa fornitura	5 campioni ogni 5000 messi in opera	3 N/mm <sup>2</sup> (compressione) 0.4 N/mm <sup>2</sup> (flessione)
Assorbimento	B	3 campioni della stessa fornitura	Richiesto solo per forniture differenziate di materiale	Risultato positivo, secondo scheda di riferimento
Durabilità	C-D	1 test a spruzzo 2 test Geelong	Richiesto solo per forniture differenziate di materiale	Risultato positivo, secondo scheda di riferimento
Ritiro	E	3 campioni della stessa fornitura	5 campioni ogni 5000 messi in opera	Valori compresi fra 0 e 5%
Rottura	F	2 per fornitura	5 campioni ogni 5000 messi utilizzati	Risultato positivo, secondo scheda di riferimento

### 6.1. Scheda A - Prova di Compressione

- Scopo della prova

La prova ha come obiettivo la determinazione della resistenza a flessione degli adobe, dalla quale dedurre quella a compressione.

- Apparecchiature utilizzate

Per l'esecuzione di questa prova viene adoperata una macchina in legno, realizzata secondo il modello di CRATerre3. I carichi adoperati sono costituiti da blocchi forati di calcestruzzo e/o da adobe.

- Esecuzione della prova

Si posiziona la faccia inferiore dell'adobe da testare sui due appoggi e si procede al caricamento con i blocchi di calcestruzzo e con gli adobe preventivamente pesati, che verranno posizionati sulla piattaforma di carico. L'aumento del carico è progressivo ed ha termine alla rottura dell'adobe. La prova va ripetuta su 5 adobe per ogni serie.

### 6.2. Scheda B - Prova di Assorbimento

- Scopo della prova

È una prova che ha come obiettivo stabilire il comportamento dell'adobe nei confronti dei fenomeni di risalita capillare dell'acqua. Per questo motivo occorrono indicazioni attendibili circa la velocità di risalita dell'acqua, dunque si misurano le altezze di risalita ad intervalli di tempo prestabiliti nell'arco di 12 ore.

- Apparecchiature

Un contenitore per l'acqua, una riga graduata al mm.

- Metodo operativo

La prova di assorbimento viene effettuata su 5 campioni interi, per ciascuno dei quali si procede come segue: si dispone l'adobe sul fondo di un contenitore nel quale viene versata una quantità d'acqua in modo tale che esso risulti immerso per un'altezza di 3 cm; la faccia a contatto con l'acqua sarà quella più lunga; si misura l'altezza raggiunta dal liquido per risalita capillare ad intervalli di tempo così determinati: ogni 15 minuti per le prime tre ore, ogni 30 minuti per le tre ore successive, ogni ora per le sei ore successive; si misura l'altezza raggiunta dal liquido dopo dodici ore.

- Elaborazione dei dati

Si annotano in una tabella le altezze di risalita massima per ogni adobe testato e si calcola il valore medio di questi dati relativo a ciascuna serie di campioni.

### **6.3. Scheda C - Prova di Erosione**

- Scopo della prova

La finalità della prova è di verificare la capacità di resistenza all'acqua dei campioni testati. La prova consiste nel sottoporre una delle facce dell'adobe ad uno spruzzo costante d'acqua per un lasso di almeno 1 ora o fino a quando il campione non risulti perforato

- Apparecchiature

Una pompa con getto a pressione costante.

- Metodo operativo

Si applica perpendicolarmente alla faccia maggiore dell'adobe sottoposto a controllo un getto costante a pressione pari a 1,4 bar, ad una distanza di 20 cm, per un intervallo di tempo di 2 ore. Si consiglia un'interruzione ogni 15 minuti al fine di registrare dei dati intermedi.

### **6.4. Scheda D - Prova di Geelong**

- Scopo della prova

È una prova di durabilità che ha come obiettivo la determinazione della resistenza all'erosione della superficie dell'adobe. In condizioni di esercizio infatti l'adobe, in caso di dilavamento dell'intonaco esterno, può trovarsi esposto a pioggia battente.

- Apparecchiature

Un recipiente graduato da 750 ml con graduazione a 50 ml, un tubo flessibile in gomma del diametro interno di 4 mm munito di dispositivo atto a regolare la velocità del flusso, un martello, una scure, un cronometro, un calibro.

- Metodo operativo

Si riempie il contenitore con 600 ml d'acqua e si immerge un'estremità del tubo flessibile. L'acqua viene aspirata in modo da creare un flusso, la cui velocità è imposta col dispositivo di regolazione in modo che vengano erogati 100 ml d'acqua in un tempo compreso tra 20 e 60 minuti. Regolati questi parametri si dà inizio alla prova che deve essere eseguita in un luogo all'aperto riparato dal vento e dall'irraggiamento diretto. Il gocciolamento deve avvenire da un'altezza di 400 mm dalla superficie dell'adobe, che andrà disposta inclinata. La prova termina quando sull'adobe sono sgocciolati 100 ml d'acqua. Si misura con il calibro la profondità D del foro prodotto; si rompe il campione con il martello e la scure nel senso della lunghezza, attraverso il foro; si ispeziona la superficie di rottura per valutare la penetrazione U dell'umidità. D e U si esprimono in millimetri. La prova viene condotta su 3 campioni interi per ciascuna serie di adobe.

### **6.5. Scheda E - Prova di Ritiro**

- Scopo della prova

La prova ha come obiettivo la verifica della dimensione degli adobe. Un eccessivo ritiro infatti, è quasi sempre causa di alterazioni delle capacità meccaniche dell'elemento in terra cruda.

- Apparecchiature

Una riga graduata al mm.

- Metodo operativo

Si misurano le lunghezze di ogni lato dell'adobe e si annotano le differenze rispetto alle dimensioni dello stampo utilizzato.

### **6.6. Scheda F - Prova di Resistenza all'urto**

- Scopo della prova

La prova ha come obiettivo la valutazione qualitativa della resistenza all'urto dell'adobe, in particolare quella dei suoi spigoli.

- Apparecchiature

Una riga graduata al mm, un filo a piombo.

- Metodo operativo

La prova si esegue su due adobe di ogni serie; l'impatto deve avvenire su uno spigolo come descritto dalla normativa della Nuova Zelanda. Un requisito che essa richiede è che l'adobe abbia almeno 28 giorni, perché prende in considerazione sia gli adobe non stabilizzati che quelli stabilizzati. La prova ha inizio con la misurazione delle dimensioni: detta  $a$  la larghezza e  $b$  la lunghezza, occorre che  $a < b < 2a$ , diversamente l'adobe dovrà essere tagliato per farlo rientrare entro tale limite. I nostri adobe rientrano tutti nei limiti imposti. L'adobe, disposto come in figura con l'ausilio del filo a piombo, viene fatto cadere da un'altezza di 90 cm dalla superficie d'impatto; quest'ultima è costituita da una superficie orizzontale di terra dura.

## **7. Elenco normative / linee guida / standard di riferimento**

### **New Zealand building standards :**

- NZS 4297: 1998 Engineering Design of Earth Buildings.
- NZS 4298: 1998 Materials & Workmanship for Earth Buildings.
- NZS 4299: 1998 Earth Buildings not Requiring specific Designs.

### **New Mexico Building Codes :**

- TITLE 14 HOUSING AND CONSTRUCTION - CHAPTER 7 BUILDING CODES GENERAL PART 4, 2003 NEW MEXICO EARTHEN BUILDING MATERIALS CODE.
- New Mexico State Building Code, Section 2405 AMENDMENT 6: CHAPTER 24 - MASONRY.

### **Germania**

- Lehm bau Regeln - Dachverband Lehm e.V. - Volhard, Franz; Röhlen, Ulrich - Dachverband Lehm e.V., 1999.
- DIN 1035 Opere murarie.
- DIN 4022 Fondazioni e umidità del terreno; definizione e descrizione dei campioni; analisi degli strati del terreno.
- DIN 4102 Comportamento al fuoco dei materiali e degli elementi da costruzione.
- DIN 4108 Protezione della costruzione dal fuoco.
- DIN 4109 Isolamento acustico.
- DIN 18196 Caratteri generali delle costruzioni in terra; classificazione della terra secondo la tecnica costruttiva.
- DIN 18122 T1-T2 Caratteri generali; definizione della consistenza; definizione della coesività.
- DIN 18123 definizione delle granulometrie.
- DIN 18550 Intonaci, materiali e messa in opera.
- DIN 52611 definizione di isolamento degli elementi costruttivi.
- DIN 1169 Malte di terra per opere murarie e intonaci.
- DIN 18951 Foglio 1 Costruzioni in terra, prescrizioni per l'esecuzione.
- Prenorma DIN 18952 Foglio 1 Terre da costruzione, proprietà, classificazione.
- Prenorma DIN 18952 Foglio 2 Controllo delle terre da costruzione.
- Prenorma DIN 18953 Foglio 1 Utilizzo delle terre da costruzione.
- Prenorma DIN 18953 Foglio 2 Murature in terra.
- Prenorma DIN 18953 Foglio 3 Murature in pisè.
- Prenorma DIN 18953 Foglio 5 Murature in terra leggera messa in opera con casseforme.
- Prenorma DIN 18953 Foglio 6 Pavimenti in terra.
- Prenorma DIN 18954 Esecuzione di edifici in terra, criteri di massima.
- Prenorma DIN 18955 Elementi costruttivi; protezione dall'umidità.

- Prenorma DIN 18956 Intonaci su elementi in terra.
- Prenorma DIN 18957 Coperture in terra.

### **Perù**

- Reglamento Nacional de Construcciones - Norma Tècnica de edificacion NTE E.80 ADOBE - Lima - Peru, Marzo 2000.
- Seismic strength of adobe masonry - Ponticia Universidad Catolica del Peru - Julio Vargas Neumann, Juan Bariola Bernales, Marcial Blondet, Provindar K.Mehta - Research project Financed by the Agency for International Development (US/AID) - April 1984.
- Earthquake resistant rammed earth (tapial) buildings - Ponticia Universidad Catolica del Peru - Julio Vargas Neumann.

### **Francia**

- Blocs de terre comprimée : Procédures d'essais - (Guide Série Technologies No. 16). ENTPE : Mesbah A., Morel J.C., CRATerre-EAG : Houben H., Rigassi V. CDE, ENTPE, CRATerre-EAG, 2000.
- Blocs de terre comprimée : Vol. 1 : Manuel de production. - CRATerre-EAG: Rigassi V. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, Allemagne,1995.
- Blocs de terre comprimée : Vol. 2 : Manuel de conception et de construction - CRATerre-EAG : Guillaud H., Joffroy Th., Odul P. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, Allemagne, 1995.
- Mode opératoire pour la réalisation d'essais de résistance sur blocs de terre comprimée - M. Olivier, A. Mesbah, Z. El Gharbi, J.C. Morel – ENTPE Lyon - RILEM vol 30 nov. 1997 pagg. 515-17.

## 8. Dettagli costruttivi

1\_tavolato in legno di abete, spessore mm 25, trattato con impregnante antitarlo e antimuffa ai sali di boro.

2\_tavolato in legno di abete, spessore cm 3, larghezza cm 20, a spigolo vivo e incastro maschio-femmina, piallato su due facce e cartavestrato sulla faccia a vista, trattato con impregnante antitarlo e antimuffa ai sali di boro.

3\_listelli per la ventilazione sottotegola, interasse cm 80, dimensioni cm 6x4, fissati ai listelli sottostanti mediante chiodi o viti, trattati con impregnante antitarlo e antimuffa ai sali di boro.

4\_protezione impermeabile e traspirante tipo "ton-tyvek supra adesivo" disposta parallelamente alla linea di gronda, partendo dal basso con sovrapposizioni per cm 10

5\_manto di copertura a tetto ventilato in tegole (coppi) in laterizio, poste in opera con malta di calce, con stilatura laterale e frontale.

6\_listelli paralleli alla linea di gronda, di supporto per lo strato di colbente e per il fissaggio dei listelli di ventilazione, trattati con impregnante antitarlo e antimuffa ai sali di boro, i listelli sono fissati all'orditura secondaria della struttura portante mediante viti, il primo listello sarà fissato con malta di calce idraulica naturale e farà da linea di appoggio per lo strato colbente.

7\_canale di gronda in lamiera di rame, diametro 20 cm, fissata con clogne ai listelli.

8\_griglia anti passero e anti insetti.

9\_mattone cotti formato uni, dimensioni 25x12x5.5, posti di fascia lungo la linea di gronda, fissati con malta di calce idraulica naturale.

10\_barriera al vapore con fogli di cellulosa impregnata ai sali di boro e oli vegetali con sovrapposizioni per cm 10

11\_colbentazione termica, spessore variabile in funzione del materiale impiegato.

12\_cunicolo di aerazione in mattone di laterizio, dimensioni cm 15x25x30, posato su un magrone di cis previa posa di una guaina bituminosa di protezione dall'umidità, i mattoni sono leggermente distanziati l'uno dall'altro (circa 1-2 cm) in modo da lasciar passare l'aria.

13\_gretonato in calcestruzzo di calce idraulica, spessore 5 cm.

14\_vespajo aerato.

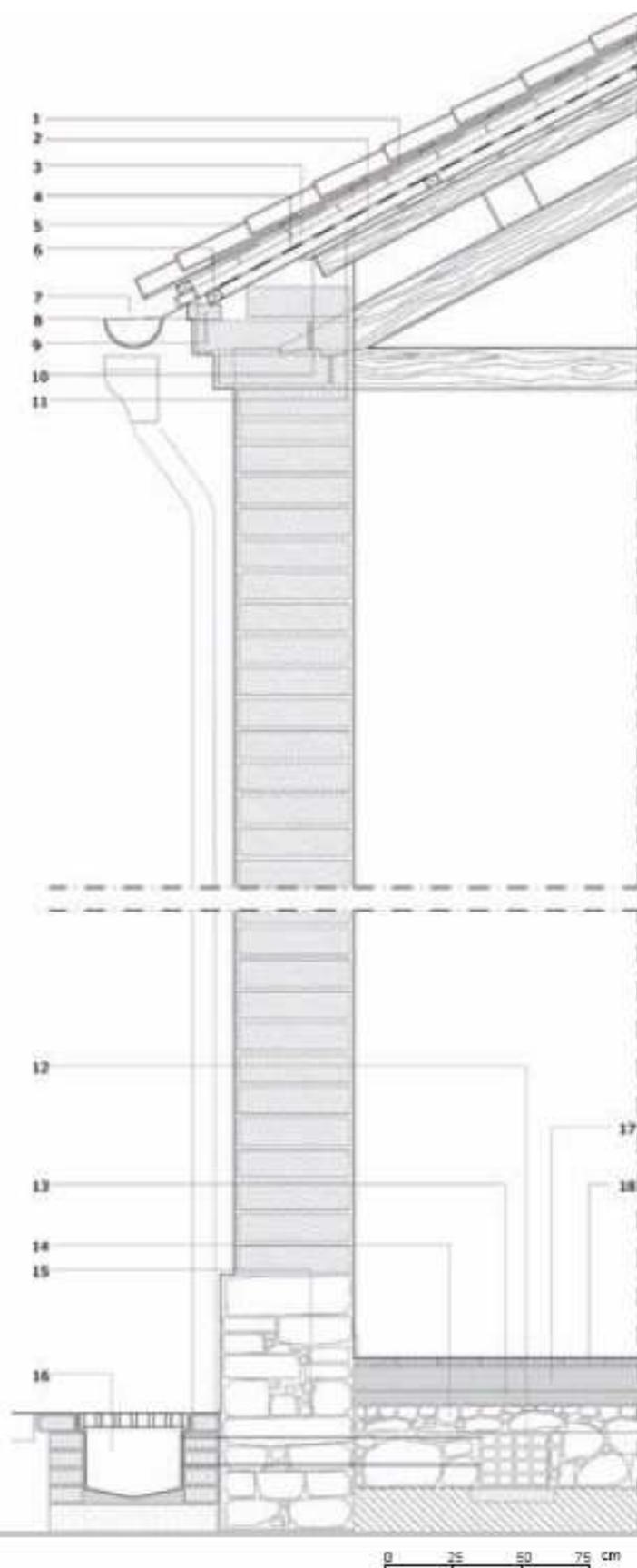
15\_fondazione in pietrame.

16\_canale di aerazione.

17\_massetto di calcestruzzo di calce idraulica per il passaggio degli impianti, spessore 6 cm.

18\_pavimentazione interna.

*Fig. 3.16. Dettaglio costruttivo dei paramenti di facciata e del rifacimento del vespajo.*



**Figura 1:** pagina 75 del “Manuale tematico della terra cruda” redatto a cura i Maddalena Achenza e Ulrico Sanna

IL SISTEMA DI COPERTURA

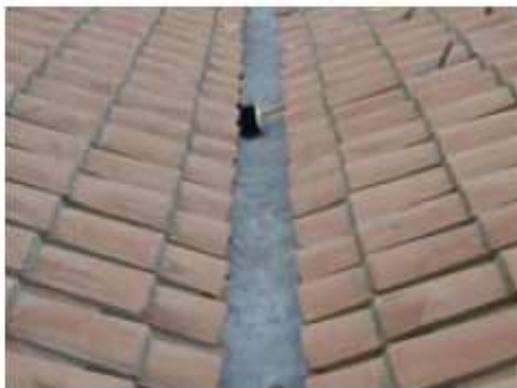


Fig. 3.17. Dettaglio del nuovo manto di copertura in coppi in prossimità del compluvio fra le falde.



Fig. 3.18. Particolare del dispositivo di aerazione del nuovo tetto ventilato disposto in prossimità del colmo.

AMMORSAMENTO DELLE MURATURE



Fig. 3.19. Sistema di ammorsamento della muratura in terra cruda esistente con nuovi stipiti in laterizio attraverso ancoraggi lignei inseriti nel corpo murario.



Fig. 3.20. Sistema di ammorsamento tra murature ortogonali realizzato con travi lignee disposte all'interno del corpo murario e ad esso vincolate con l'uso di болгони.

CHIUSURA DI BASE E FONDAZIONI



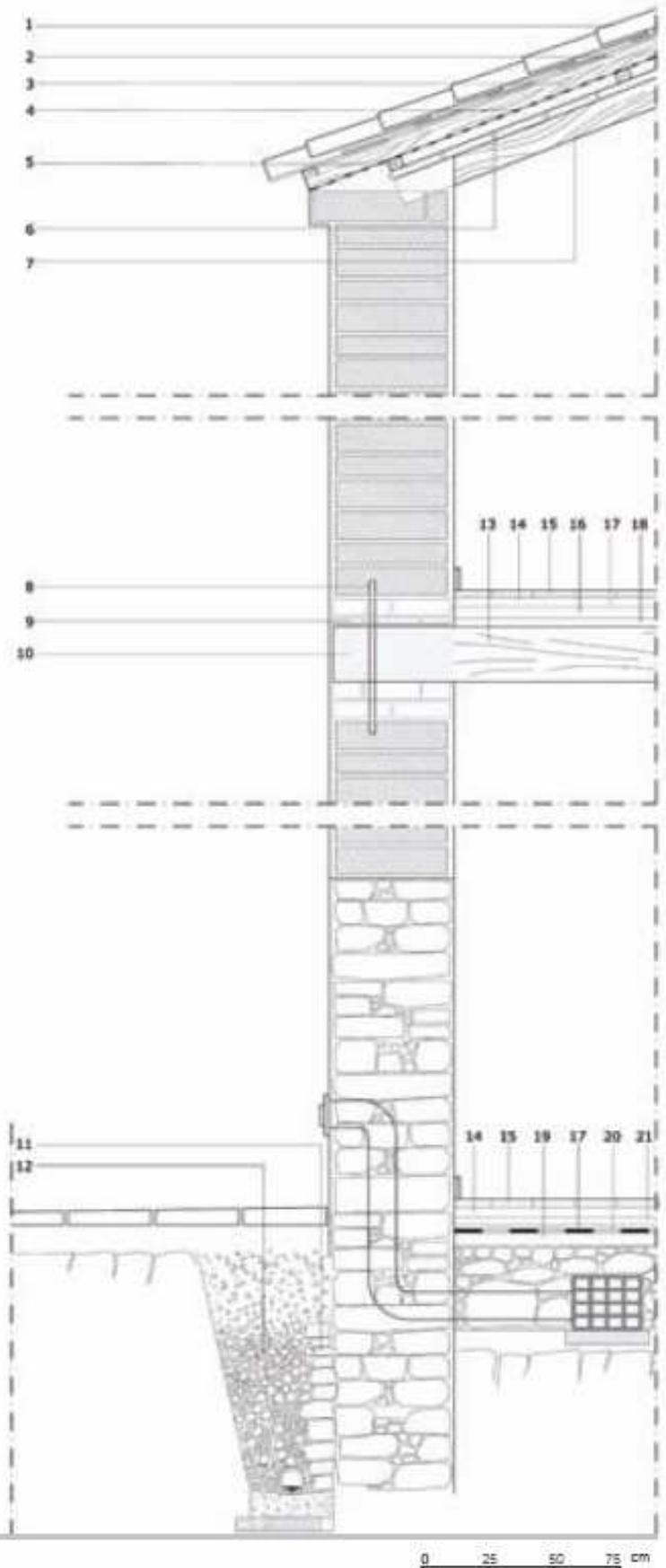
Fig. 3.21. Sistema di aerazione del vespaio: raccordo tra le canalizzazioni orizzontali e verticali viste dall'interno dell'edificio durante la realizzazione.



Fig. 3.22. Fasi di risanamento delle fondazioni, scavo di ispezione sino alla quota di posa del basamento.

**Figura 2:** pagina 79 del “Manuale tematico della terra cruda” redatto a cura i Maddalena Achenza e Ulrico Sanna

- 1\_manto di copertura a tetto ventilato in tegole (coppi) in laterizio, poste in opera con malta di calce, con stilatura laterale e frontale.
- 2\_tavolato in legno di abete, spessore mm 25, trattato con impregnante antitartaro e antimuffa ai sali di boro.
- 3\_listelli per la ventilazione sottotegola, interasse cm 80, dimensioni cm 6x4, fissati ai listelli sottostanti mediante chiodi o viti, trattati con impregnante antitartaro e antimuffa ai sali di boro.
- 4\_protezione impermeabile e traspirante tipo "ton-tyvek supra adesivo" disposta parallelamente alla linea di gronda, partendo dal basso con sovrapposizioni P cm 10
- 5\_listelli paralleli alla linea di gronda, di supporto per lo strato di colbente e per il fissaggio dei listelli di ventilazione, trattati con impregnante antitartaro e antimuffa ai sali di boro; i listelli sono fissati all'orditura secondaria della struttura portante mediante viti. Il primo listello è fissato con malta di calce idraulica naturale e costituisce la linea di appoggio per lo strato colbente.
- 6\_tavolato in legno di abete, spessore cm 3, larghezza cm 20, a spigolo vivo e Incastro maschio e femmina, piallato su due facce e cartavetrato sulla faccia a vista, trattato con impregnante antitartaro e antimuffa ai sali di boro.
- 7\_trave lignea
- 8\_paletto ligneo di ammorsamento
- 9\_laterizi cotti a protezione della trave
- 10\_strato protettivo bituminato o carbolineo
- 11\_strato di separazione tra il drenaggio e la fondazione in travanti lapidei, spessore minimo circa cm 15-20
- 12\_strato drenante in pietrame a granulometria variabile, profondità fino al piano di posa della fondazione
- 13\_trave lignea
- 14\_malta di alettamento/sottofondazione
- 15\_pavimentazione interna
- 16\_massetto di cemento alleggerito con sughero
- 17\_tessuto non tessuto
- 18\_tavolato fissato alla trave con chiodatura
- 19\_massetto di calcestruzzo armato con rete elettrosaldata f 6, spessore 5 cm
- 20\_strato impermeabile
- 21\_strato di livellamento e passaggio canalizzazione impianti



*Fig. 3.28. Dettaglio costruttivo dei paramenti di facciata e del rifacimento del vespaio.*

**Figura 3:** pagina 84 del “Manuale tematico della terra cruda” redatto a cura i Maddalena Achenza e Ulrico Sanna