

Il piano dell'Opera

- 0** L'Atlante delle culture costruttive della Sardegna
- I.1** Architettura in terra cruda dei Campidani, del Cixerri e del Sarrabus
- I.2** Il Manuale tematico della terra cruda
- II.1** Architettura in pietra delle Barbagie, dell'Ogliastra, del Nuorese e delle Baronie
- II.2** Il Manuale tematico della pietra
- III** Il Sulcis e l'Iglesiente, l'edilizia diffusa e i paesi
- IV** Architetture delle colline e degli altipiani centro-meridionali
- V** Architetture delle colline e degli altipiani settentrionali

Testi collegati

- ▶ **I Manuali del recupero dei centri storici della Sardegna: ARCHITETTURA IN TERRA CRUDA** dei Campidani, del Cixerri e del Sarrabus *con CD Rom* a cura di A. Sanna, C. Atzeni
 - ▶ **I Manuali del recupero dei centri storici della Sardegna: ARCHITETTURA IN PIETRA** delle Barbagie, dell'Ogliastra, del Nuorese e delle Baronie *con CD Rom* a cura di A. Sanna, F. Cuboni
 - ▶ **I Manuali del recupero dei centri storici della Sardegna: IL SULCIS E L'IGLESIENTE** l'edilizia diffusa e i paesi *con CD Rom* a cura di A. Sanna
 - ▶ **Manuale del recupero dei centri storici della Marmilla del Sarcidano dell'Arci e del Grighine** *con CD Rom* a cura di C. Atzeni, M. Manias
 - ▶ **Manuale del recupero del Comune di Roma** Ufficio Speciale per gli interventi sul Centro Storico del Comune di Roma
 - ▶ **Manuale del recupero della Regione Abruzzo** *con CD Rom* S. Ranellucci
 - ▶ **Manuale del recupero di Genova antica** *con CD Rom* a cura di G. Mor, G. V. Galliani
 - ▶ **Manuale del recupero del Comune di Città di Castello** a cura di F. Giovanetti
 - ▶ **Manuale del recupero urbano della città di Jesi** a cura di M. Agostinelli, P. Diotallevi, M.M. Scoccianti
 - ▶ **Linee guida per il Recupero architettonico** *con CD Rom* S. Franceschi, L. Germani
 - ▶ **Manuale per la riabilitazione e ricostruzione postsismica degli edifici** *con CD Rom* Regione Umbria
- per informazioni www.build.it

Il contenuto

▶ Il **Manuale Tematico della terra cruda** integra il **Manuale del Recupero delle architetture in terra cruda** nel senso che, se il primo esamina e illustra il quadro territoriale delle architetture in terra cruda, questo secondo si occupa dei caratteri specifici - chimico fisici e costruttivi - del materiale terra e cerca di ricostruirne e riattualizzarne il modo di produzione. Il Manuale tematico della terra cruda si colloca nel contesto di una cultura costruttiva che ha vissuto una stagione di profonda emarginazione, che ha rischiato di farla uscire dal novero delle pratiche edilizie correnti e di relegarla in un passato da rimuovere. Questo declino, soprattutto culturale e di valori, è stato scongiurato da un recente risveglio di interesse nei confronti di questo materiale "sensibile", intrinsecamente ecologico e perciò di estremo interesse anche contemporaneo. La costruzione storica in terra cruda è stata rivalutata e sottoposta a processi di recupero - dei quali questo volume documenta molte "buone pratiche" - ed è ripresa la pratica della produzione dei mattoni di terra e della loro messa in opera. Questo Manuale Tematico tratta un insieme di argomenti che convergono tutti sull'obiettivo della maggiore comprensione del comportamento e dell'uso del materiale-terra e del suo reingresso nel quadro delle pratiche edilizie correnti:

- il profilo internazionale delle architetture in terra cruda, i loro caratteri costanti e variabili
- la caratterizzazione chimico fisica e le prestazioni del materiale terra
- indagini e prove sul materiale terra
- le linee guida per una normativa sull'uso della terra cruda in edilizia
- le "buone pratiche" del recupero: alcuni casi di intervento.

Il Manuale Tematico della terra cruda ha, in quanto tale, ben pochi precedenti; tuttavia, esso si inserisce (e si riconosce) in un grande filone internazionale di ricerche, studi ed esperienze di intervento che vede istituzioni quali l'ICCROM, il CRATerre di Grenoble, l'Associazione Nazionale delle Città della Terra cruda e molte sedi universitarie protagoniste di un grande sforzo di cooperazione rivolto alla salvaguardia del patrimonio mondiale delle architetture in terra, del quale la Sardegna è parte integrante.

Nel Cd Rom

Il volume in formato .pdf

REQUISITI TECNICI
WIN 9x/2000/XP oltre al pacchetto Microsoft Office (Word/Excel)

I volume 2

il manuale tematico della terra cruda

I MANUALI DEL RECUPERO DEI CENTRI STORICI DELLA SARDEGNA

il manuale tematico della terra cruda

a cura di
Maddalena Achenza
Ulrico Sanna



L'Opera

I MANUALI DEL RECUPERO DEI CENTRI STORICI DELLA SARDEGNA sono anzitutto un nuovo tassello di quel mosaico di strumenti consimili che ha il suo prototipo nel Manuale del Recupero di Roma, pubblicato proprio vent'anni fa, e che sta potentemente contribuendo a rendere sempre più consapevole e adeguato l'intervento sui tessuti edilizi pre moderni.

I nuovi Manuali della Sardegna costituiscono un contributo di conoscenza e uno stimolo, oltre che uno strumento operativo, che la Regione Autonoma della Sardegna e le Università sarde vogliono offrire alle comunità locali ed agli operatori per dare gambe e corpo ad un progetto di sviluppo centrato sull'identità dello spazio di vita e sulle culture materiali delle comunità stesse. Questo nuovo ruolo dei centri storici è sancito dal Piano Paesaggistico Regionale: il paese, con i suoi vicoli, i muri in pietra o in terra, è un Bene paesaggistico esattamente come un nuraghe o una chiesa romanica, e con essi dialoga per costituire la trama portante dell'identità e dell'autoriconoscimento della Sardegna.

Nello stesso tempo, questi Manuali dialogano con gli omologhi di altre regioni e città e attivano un confronto e un'apertura estremamente stimolanti.

I Manuali vengono pubblicati come volumi di una collana che copre per ora tutta la Sardegna "rurale" - che costituisce peraltro gran parte dell'insediamento regionale, in quanto soltanto sette centri su poco meno di quattrocento hanno lo statuto di città.

Si è quindi diviso il territorio dell'isola in grandi "regioni" dotate di una cultura costruttiva (relativamente) omogenea: cinque macroambiti per ciascuno dei quali un Manuale dedicato analizza e disegna:

- il quadro ed i processi territoriali di formazione e trasformazione del patrimonio storico
- le "culture abitative", ovvero l'articolazione spaziale della casa storica
- le "culture costruttive", ovvero i caratteri e gli elementi della fabbrica edilizia
- le linee guida per un recupero possibile delle diverse forme di degrado in atto.

Questi Manuali "territoriali" sono integrati da Manuali "tematici", che analizzano in maniera specialistica alcuni caratteri peculiari delle costruzioni storiche della Sardegna, quali ad esempio il vasto e problematico campo delle architetture fatte di mattoni di terra cruda.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



PRESIDENTE DELLA REGIONE

UGO CAPPELLACCI

ASSESSORE DEGLI ENTI LOCALI,
FINANZE ED URBANISTICA

GABRIELE ASUNIS

DIRETTORE GENERALE
DELLA PIANIFICAZIONE URBANISTICA

MARCO MELIS



Università degli Studi di Cagliari
D'arch - Dipartimento di Architettura



Università degli Studi di Sassari
Dipartimento di Architettura e Pianificazione

Pubblicazione e diffusione a cura di

ITACA
Interventi di Trasferimento di Attività e Competenze Ambientali

FSE – Fondo Sociale Europeo
Por Sardegna 2000-2006 – Asse III Misura 3.9
Formazione specialistica sulla tutela del paesaggio adeguamento
delle competenze della pubblica amministrazione

Copyright © 2009

- Regione Autonoma della Sardegna - Assessorato degli Enti Locali, Finanza e Urbanistica
- Università degli Studi di Cagliari - Dipartimento di Architettura
- DEI Tipografia del Genio Civile

Finito di stampare nel mese di maggio 2009

I MANUALI DEL RECUPERO DEI CENTRI STORICI DELLA SARDEGNA

il manuale tematico della terra cruda

a cura di
Maddalena Achenza
Ulrico Sanna

I Manuali del Recupero nascono nel quadro delle iniziative della Regione Sardegna e del suo Assessorato all'Urbanistica dirette a fornire strumenti sempre più approfonditi nella fase attuativa della pianificazione paesaggistica regionale.

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 articolati in prima istanza secondo grandi aree geografiche caratterizzate da culture costruttive omogenee. Ciascuno di essi comprende un inquadramento del sistema insediativo, il profilo delle culture abitative e dei tipi edilizi, gli elementi di fabbrica ed i caratteri costruttivi, il degrado e il recupero, schede sulle buone pratiche di intervento.

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.

L'elaborazione dei Manuali è affidata al D'arch - Dipartimento di Architettura dell'Università di Cagliari, in collaborazione con il Dipartimento di Architettura e Pianificazione dell'Università di Sassari, e prevede la supervisione di un Comitato Scientifico coordinato dal prof. Antonello Sanna e composto dai proff. Giulio Angioni, Carlo Aymerich, Xavier Casanovas i Boixereu, Giancarlo Deplano, Francesco Giovanetti, Tatiana Kirova, Giovanni Maciocco, Stefano Musso, Gian Giacomo Ortu, Ulrico Sanna, Paolo Scarpellini.

Il Manuale tematico dalla Terra cruda è a cura di:

Maddalena Achenza

Ulrico Sanna.

I testi sono di **Ulrico Sanna** e **Cirillo Atzeni** (capitolo 1) **Maddalena Achenza** (capitolo 2, 4) **Silvia Mocci** (capitolo 3).

IL MANUALE TEMATICO DELLA TERRA CRUDA

Indice:

Capitolo 1

IL MATERIALE TERRA	1
1.1. Un materiale antico - Cenni storici e geologici.	3
1.2. Il materiale terra.	8
1.2.1. La formazione.	8
1.2.2. La composizione e la granulometria.	9
1.2.3. Il ruolo e le proprietà della componente argillosa.	10
1.2.4. Gli altri componenti della terra.	11
1.2.5. La plasticità e la reologia.	12
1.2.6. Le aggiunte di prodotti naturali e artificiali.	13
1.3. Proprietà fisico-meccaniche e durabilità dei mattoni in terra cruda.	14
1.3.1. L'essiccamento ed il ritiro dimensionale del sistema allo stato fresco.	14
1.3.2. La porosità ed il peso specifico.	15
1.3.3. La resistenza a compressione.	15
1.3.4. La conducibilità termica.	16
1.3.5. La presenza dell'acqua nella microstruttura e il degrado.	16
1.4. Gli aspetti conservativi: buone e cattive pratiche nell'uso dei materiali.	18
1.4.1. Le buone pratiche.	18
1.4.2. La riproposizione dell'intonaco a base di calce.	18
1.4.3. La riproposizione dell'intonaco a base di terra.	21
1.4.4. La riproposizione delle pitture alla calce.	22
1.4.5. Le cattive pratiche.	23
1.4.6. Gli intonaci a base cemento.	24
1.4.7. I trattamenti consolidanti o idrorepellenti.	25

Capitolo 2

LA QUALIFICAZIONE DEL MATERIALE	27
2.1. Le principali tecniche costruttive.	29
2.1.1. Le principali tecniche costruttive in terra cruda: Adobe, Pisè, Terra-paglia, Torchis, Blocchi compressi, Bauges.	29
2.1.2. Storia e diffusione dell'adobe nel mondo.	30
2.1.3. La classificazione del materiale.	38
2.1.3.1. Le analisi preliminari.	38
2.1.3.2. Le analisi approfondite.	41
2.1.3.3. Analisi di laboratorio.	44
2.1.4. L'adobe tecniche di produzione.	47
2.1.5. Metodologie per il controllo in cantiere dei prodotti.	49
SCHEDA 1. MACCHINA PER LA PROVA DI ROTTURA PER FLESSIONE	55
SCHEDA 2. SU LADIRI DE SAMASSI	57

Capitolo 3

RECUPERO E RESTAURO DELLE ARCHITETTURE IN TERRA. LE BUONE PRATICHE **67**

3.1. La casa “Baldussi” di Settimo San Pietro.	68
3.2. La casa “Mancosu-Maccioni” a Serramanna.	74
3.3. La casa “Montis” a Vallermosa.	80
3.4. La casa “Fenu” a Villamassargia.	86
3.5. La casa “Pulselli” a Cabras.	92

GLI INTONACI SULLE MURATURE IN TERRA CRUDA **98**

Capitolo 4

MATERIALI PER LINEE GUIDA **103**

4.1. Finalità del documento	105
4.2. Definizioni	105
4.3. Materiali e loro lavorazione	106
4.3.1. Terra	106
4.3.2. Adobe	107
4.3.3. Malte	108
4.3.4. Requisiti e trattamenti	109
4.4. Costruzione	110
4.5. Test per il controllo della qualità delle terre e dei materiali da costruzione	113

SCHEDA A. PROVA DI COMPRESSIONE **114**

SCHEDA B. PROVA DI ASSORBIMENTO **115**

SCHEDA C. PROVA DI EROSIONE **116**

SCHEDA D. PROVA DI GEELONG **117**

SCHEDA E. RITIRO **118**

SCHEDA F. RESISTENZA ALL'URTO **119**

4.6. Caratteristiche tecniche di riferimento degli elementi da costruzione in terra cruda	120
---	-----

ELENCO NORMATIVE / LINEE GUIDA / STANDARD DI RIFERIMENTO **123**

Bibliografia	125
--------------	-----



Fig 1.1. Produzione di mattoni. Cantiere Mauro Coni.

1.1. UN MATERIALE ANTICO. CENNI STORICI E GEOLOGICI.

La terra cruda come materiale da costruzione può vantare in Sardegna una documentazione sia archeologica/non scritta che storica/scritta decisamente ampia ed a suo modo completa.

I maggiori Archeologi sardi sono concordi nell'individuare il ruolo della "terra" come antico materiale da costruzione.

A titolo di esempio si riportano alcuni brani da La Sardegna Preistorica e Nuragica di E. Contu (2006). L'uso della "terra" si riscontra anzitutto nella realizzazione delle più tipiche costruzioni in pietra, i nuraghi:

*"...la tecnica muraria delle costruzioni è quella che, al modo greco, si usa chiamare «ciclopica». Essa è costituita da blocchi poligonali, poco o nulla lavorati e con notevole uso di zeppe; le quali in qualche caso, come all'interno dei nuraghi Su Nuraxi di Barumini-Cagliari e Palmavera di Alghero, possono essere fermate con malta di fango."*¹

Ma ampio e vario, in associazione ad altri materiali, compreso il sughero, ne è l'impiego nella realizzazione delle più comuni capanne; ad esempio:

"Il caso fortunato di S'Urbale-Teti-Nuoro ha permesso di osservare nelle reali murature non solo una miglior cura dei conci dentro il vano ma anche l'uso di molte zeppe, le quali, oltre che di pietra erano anche di sughero, con sovrapposto intonaco di argilla. Per una migliore protezione dall'umidità e dalle basse temperature anche il pavimento del vano poteva essere trattato in modo particolare.

*Sempre a S'Urbale infatti...piccole creste di roccia granitica vennero livellate sovrappponendo uno strato di sughero, un secondo strato di argilla e infine una stuoia fatta di larghe foglie intessute, poggiata sopra l'argilla ancora fresca, che ne ha conservato l'impronta. Un particolare della copertura con tetto conico in legname è ancora documentato, grazie agli effetti di un incendio, nella suddetta località... uniti con l'argilla travicelli e frasche... conseguentemente il fuoco, cuocendo questa argilla, conservò l'impronta della forma circolare originaria della capanna e della disposizione di tutti i suoi pali."*²

L'uso del *mattone di fango* nell'area del Campidano e nelle valli contigue è attestato archeologicamente fin dalla Prima Età del Ferro (IX-VIII secolo a. C.), ma probabilmente è più antico, e l'ulteriore sviluppo della ricerca archeologica potrà meglio documentarlo in un prossimo futuro.

Una serie di frammenti di ladiri (uno dei termini che nella lingua sarda identifica il mattone di terra) sono stati recuperati nello scavo del "santuario nuragico" a Sardara; le dimensioni medie sono state stimate a 6.2x22x28 cm. Altri reperti dello stesso tipo e della stessa epoca sono stati individuati in siti archeologici di Monastir e di San Sperate.^{3 4}

Le Figure 1.2a, 1.2b mostrano un frammento sagomato di terra

cruda che potrebbe essere parte di un ladiri di spessore 7-8 cm, proveniente dal sito della Prima Età del Ferro di Bagodinas, in comune di Gonnostramatza ⁵, nella valle alla confluenza del Riu Mannu e del Riu de Forru, mentre la Figura 1.3 mostra due reperti della stessa natura dal villaggio nuragico La Prisgiona, in comune di Arzachena ⁶. Di epoca Punica, da Tharros, sono invece alcuni filari di mattoni in terra cruda, di dimensioni a vista di 8x34 cm.

È quindi chiaro che quanto scritto da Vitruvio nel suo notissimo Trattato di 2000 anni fa, se conserva certamente il fascino degli antichi documenti scritti, deve essere considerato solo come il riflesso di una pratica e di un saggio saper fare che la documentazione archeologica locale (a prescindere cioè dalle universalmente note utilizzazioni in Mesopotamia ed Egitto) documenta largamente. Scrive Vitruvio:

“Parlerò anzitutto dei mattoni, con quale terra convenga che essi siano formati. Poiché non debbono essere formati con argilla sabbiosa né ghiaiosa né da sabbia, poiché se sono formati da questi tipi di terra in primo luogo divengono pesanti, poi, quando nei muri sono bagnati dalle piogge, si rovinano e si sciolgono e le paglie in questi non aderiscono a cagione della non purezza dell’argilla. Invece debbono essere apprestati con terra chiara cretosa ovvero con terra rossa ...

Figg. 1.2a, 1.2b. Parte di un mattone in terra della Prima Età del Ferro, Bagodinas-Gonnostramatza.

Fig. 1.3. Frammenti di mattoni in terra della Prima Età del Ferro, La Prisgiona-Arachena



È inoltre opportuno che vengano formati durante la stagione primaverile o quella autunnale, affinché si seccino uniformemente. Poiché quelli prodotti in periodo solstiziale divengono difettosi poiché il sole essicando rapidamente lo strato corticale, lo fa diventare arido, mentre l'interno non si è ancora seccato. E quando poi seccandosi si contrae, dà luogo a delle crepe nelle parti che erano già consolidate. Così i mattoni divenuti pieni di fessure sono privi di resistenza.

Ma saranno di gran lunghi più utili, se siano stati formati anteriormente agli ultimi due anni. E infatti prima non possono seccarsi del tutto. Pertanto quando sono stati messi in opera freschi e non asciutti, mentre l'intonaco è steso per rivestimento ed essi solidificati inflessibilmente si mantengono, questi stessi assestandosi non possono mantenere la medesima altezza dell'intonaco, e mossi dalla loro contrazione non aderiscono ad esso, ma si staccano dalla congiunzione con esso. Pertanto gli intonaci disgiunti dalla struttura per la loro sottigliezza non possono reggersi da se stessi ma si rompono, e gli stessi muri assestandosi in forme casuali si guastano.

Certo però gli Uticensi utilizzano un mattone in strutture parietali solo se sia asciutto e formato prima dell'ultimo quinquennio, a condizione che ciò sia stato veramente riconosciuto per decisione del magistrato.”⁷

Dei “viaggiatori” e degli studiosi dell'Ottocento che hanno lasciato importanti memorie scritte sulla Sardegna un posto particolarmente importante è notoriamente attribuibile al Della Marmora. Questo attento esploratore della realtà dell'Isola si sofferma ripetutamente nel suo Itinerario sull'impiego della terra cruda nella tecnica edificatoria del tempo. Ad esempio:

“Le case di Uras son fabbricate come quelle di molti altri villaggi della pianura non con vera pisea, ma con grossi mattoni non cotti fatti con terra e paglia sminuzzata che si dice ladiri, e si collocano per strati gli uni sopra gli altri; si bagna perciò la superficie dello strato inferiore ogni volta che se ne aggiunge uno, cioè fa le veci di cemento. Questi mattoni così si collegano in qualche modo gli uni cogli altri, ed è quello che dà a questi muri una gran solidità: ma si fanno antecedenemente, sino all'altezza di un metro, le fondamenta delle abitazioni con grossi ciottoli legati con argilla stemprata. Ciò però non ha impedito molte catastrofi, tra le quali citerò quella del 1827 in cui un uragano inondò tutta questa regione. Io vidi in allora la maggior parte di queste case disciogliersi come lo zucchero in mezzo dell'acqua. Era un tristo spettacolo quello di vedere questo villaggio ridotto in pochi minuti in un ammasso in forma di argilla mescolata di mobili, di tanta legna e di tegole, in mezzo di cui si agitavano gl'infelici abitanti, occupati a riconoscere le loro disfatte dimore, ed a salvare dalla parte fangosa la loro lingerie, ed i loro mobili i più preziosi.”⁸

E naturalmente prosegue anche l'impiego della terra/argilla in associazione alle costruzioni in pietra, dove è alternativa alla calce che risultava non economicamente disponibile nelle aree non-calcaree:

“Le case di Tempio sono tutte costrutte con lastroni, o piuttosto con parallelogrammi allungati di granito che si taglia regolarmente con zeppe di ferro; questi massi sono collocati uno sopra l'altro per mezzo d'un argilla tenace, e rarissimamente con calce, perché questa materia costa molto cara fino al presente, perché bisogna farla venire da lontano...”⁹

Dello stesso periodo e dello stesso tono sono le indicazioni reperibili sul Dizionario dell'Angius¹⁰. Si può quindi concludere questo breve excursus storico citando, per il secolo scorso, Le Lannou:

*“La case delle pianure alluvionali del quaternario, Campidano, corridoio del Cixerri, foce del Flumendosa, son fatte di mattoni d’argilla cruda, imbottiti di ciottoli o di crusca di paglia e seccati al sole. Muro di cinta e corpi dei fabbricati sono costruiti con questo materiale leggero e fragile che non potrebbe essere adatto ad un clima più umido. Solo la parte inferiore dei muri, particolarmente agli angoli, è fatta con pietre a secco: nel campidano settentrionale, in prossimità della costa, questa piattaforma è in blocchi di arenaria tirrenica (...), nella pianura del Cixerri in gres eocenico, ai bordi della pianura in pietre vulcaniche. La centinatura dei portali monumentali è ugualmente consolidata da belle pietre tagliate o da mattoni cotti (...). Ma se questi materiali più scelti appaiono come un lusso ricercato nella parte centrale delle pianure, il mattone crudo, al contrario, è ancora il materiale usuale nei cantoni ai margini, dove pure la pietra abbonda. A Siliqua, a Monastir, ai piedi delle colline trachitiche, le case sono tutte di mattoni crudi. A Narcao, su delle arenarie eoceniche e nelle immediate vicinanze degli scisti primari del Sulcis, se i pianterreni sono costruiti in pietra, è sempre il mattone che viene utilizzato per i piani superiori. Altrettanto accade nei villaggi del bordo orientale dei terreni miocenici del Sud. Molto più lontano del Campidano, nell’Arborea, attorno ad Ales, se i pianterreni della casa sono in pietra calcarea o in basalto, le appendici del cortile son sempre in mattoni crudi, così come il piccolo piano sopraelevato di qualche casa.”*¹¹

La relazione tra l’impiego della terra in edificazione e la geologia delle aree è quindi molto stretta. Nelle regioni costituite massicciamente dai sedimenti del Quaternario, e quindi in particolare nel Campidano e nelle valli limitrofe, la terra, sotto forma di mattone crudo è il materiale predominante e la pietra assolve compiti specifici particolari, ad esempio come basamento, mentre laddove è la pietra che prevale, particolarmente nelle regioni granitiche, basaltiche e “trachitiche” e degli scisti, è questo il materiale “di massa” mentre la terra dei piccoli bacini sedimentari locali è utilizzata come malta di allettamento/assestamento ed eventualmente da intonaco, nelle stucature o per battuti pavimentali. Nelle zone di “confine” si riscontra che il pianoterra è in pietra mentre il primo piano ed i vani accessori sono in mattoni di terra cruda.

La Figura 1.4 (Carmignani 2001)¹² riporta la localizzazione dei sedimenti quaternari dell’Isola. Essi sono in larga parte di facies continentale (non-marina), “1” indica le più recenti (epoca olocenica) e “2” le più antiche (epoca pliocenica- pleistocenica). Le indicazioni della Carta Geologica sono ben sovrapponibili a quelle della distribuzione delle costruzioni in mattone crudo e dell’impiego “accessorio” della terra cruda. La Figura 1.5 mostra il riempimento di deposito della fossa (graben) campidanese (Carmignani 2001)¹³; il deposito di sedimenti di origine continentale di epoca pliocenica raggiunge la potenza di circa 1000 metri e sovrapposto ad esso, non visibile alla scala della rappresentazione, è il sottile strato dei depositi recenti ai quali attinge comunemente l’edilizia in terra. La Figura 1.6 mostra alcuni dati desunti dalla Carta dei Suoli (Costantini 2004)¹⁴.

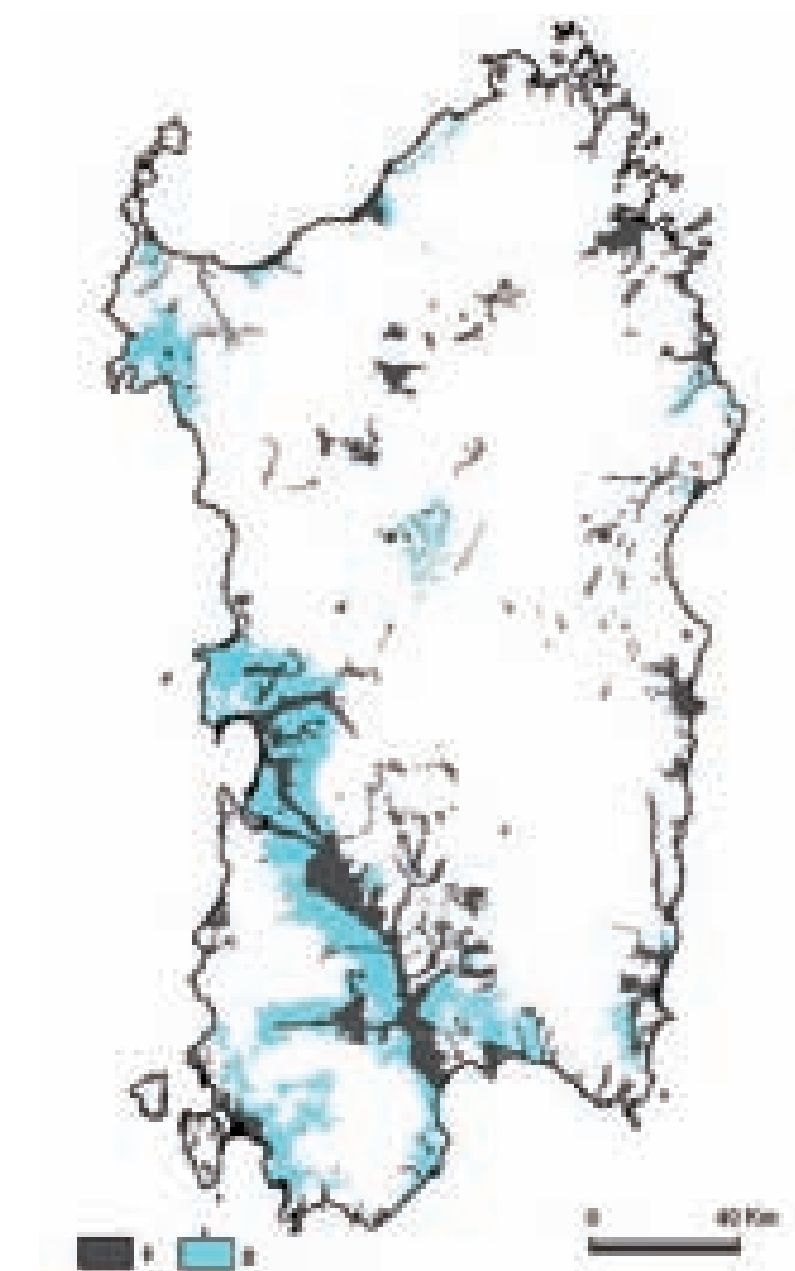
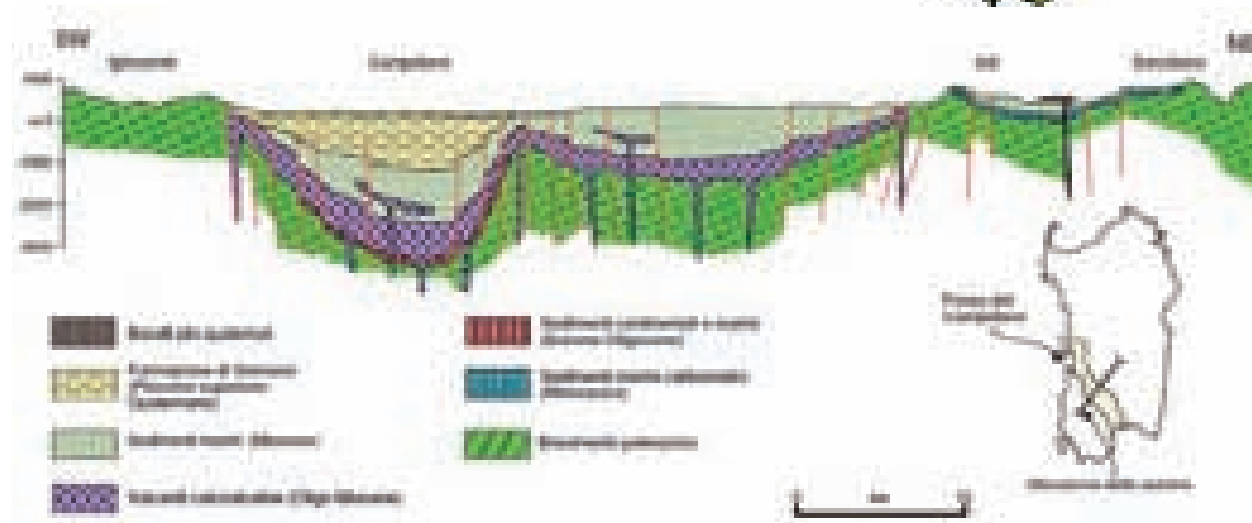


Fig. 1.4. Localizzazione dei sedimenti del Quaternario (1) ghiaie, sabbie e argille Oloceniche, (2) "Alluvioni antiche", "Panchina tirreniana" e Arenarie eoliche würmiane (da Carmignani 2001).

Fig. 1.5. Sezione della fossa del Campidano e delle aree limitrofe (da Carmignani 2001).

Fig. 1.6. Carta dei Suoli della Sardegna (da Costantini 2004). Per quanto concerne in particolare l'area del Campidano e la valle del Cixerri, l'indicazione "76.1" indica "Main soils: soils with clay accumulation along the profile and reorganization of carbonates (Calcic, Haplic and Gleyic Luvisols); soils rich in iron oxides (Haplic Nitisols); alluvial soils (Entric, Calcaric and Mollic Fluvisols); soils with shallow water table and salt accumulation (Gleyic Arenosols and Solonchaks); soils with vertic properties (Entric and Calcaric Vertisols); soils with organic matter accumulation on surface or hard limestone in depth (Mollic Leptosols; Petric Calcisols)."



1.2. IL MATERIALE TERRA.

1.2.1 La formazione

La terra è il prodotto finale di un complesso di fenomeni naturali, di cui conserva una piena memoria che si estrinseca poi nelle sue “proprietà tecniche”, che partono dalla disgregazione di rocce primarie (quali ad esempio graniti e basalti) esposte a particolari condizioni ambientali. I detriti risultanti sono stati spesso quindi soggetti a movimentazione ad opera dei corsi d’acqua, dei ghiacciai e dei venti, e contemporanea modificazione sia chimica che mineralogica, tessiturale e granulometrica ed infine a selezione gravitativa-granulometrica ed a deposizione nel bacino di sedimentazione dove è continuata l’evoluzione della terra, ad opera del clima e particolarmente delle acque percolanti e dell’attività biologica ed antropica.

La pedologia si occupa dello studio dei suoli (attuali, ma anche dei paleosuoli) ed individua in stratigrafia verticale una serie di cosiddetti “orizzonti” nei quali la terra ha caratteristiche granulometriche, mineralogiche e chimiche differenti ed in evoluzione con manifestazioni e cinetiche variabili a seconda delle regioni climatiche e del locale impatto delle attività umane, particolarmente di quelle recenti.

La Carta dei Suoli d’Italia (dell’Osservatorio Pedologico e per la Qualità dei Suoli, Figura 1.5) identifica i suoli attuali con le denominazioni (gruppi, orizzonti, qualificatori) adottate dalla F.A.O.

Da questi cenni sulla formazione ed il rinvenimento discendono alcune prime osservazioni sui punti di forza e di debolezza del materiale terra-cruda. Essendo il prodotto ultimo di lunghi e complessi fenomeni di adattamento all’ambiente è prevedibile che i costituenti mineralogici della terra siano caratterizzati da una notevole stabilità.

La terra utilizzabile veniva generalmente “cavata” al di sotto dello strato superficiale del terreno, in modo da evitare le parti più eterogenee, ricche di materiale organico scarsamente elaborato o di scarti di origine antropica.

Anche se i depositi sedimentari possono assumere dimensioni notevoli, difficilmente si potrà contare su una vera omogeneità del materiale, da qui la necessità di individuare alcuni metodi di controllo dell’adeguatezza del prodotto soprattutto se il suo impiego risulterà finalizzato alla preparazione diintonaci per i quali, almeno in termini di granulometria e di tenore e natura delle argille, sarà necessario una certa cura nella selezione dei materiali più adatti.

Peraltro se il suo impiego sarà finalizzato alla preparazione di mattoni crudi, allora quello che sembra essere un punto di debolezza, può viceversa considerarsi un punto di forza se si considera che l’estrema variabilità dei suoi componenti (compresi la qualità e la quantità delle argille presenti) non porta a significative differenze nelle prestazioni del prodotto finito.

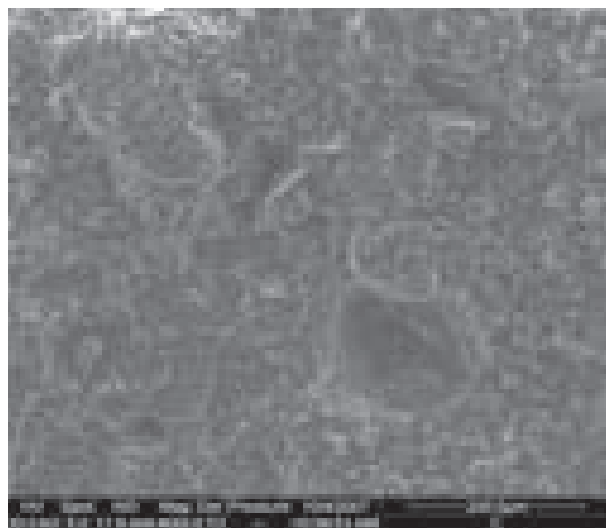
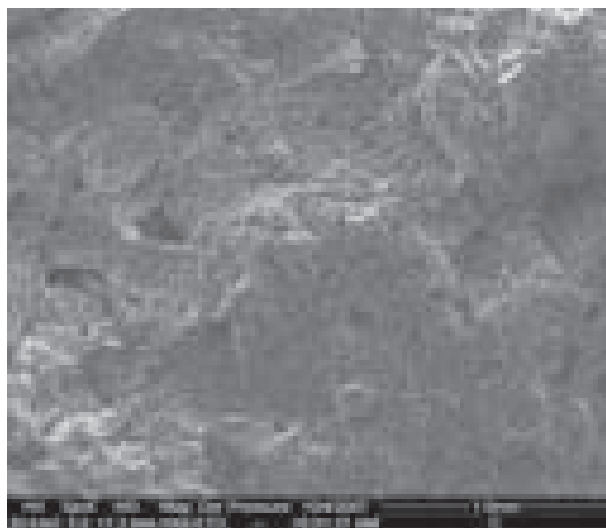
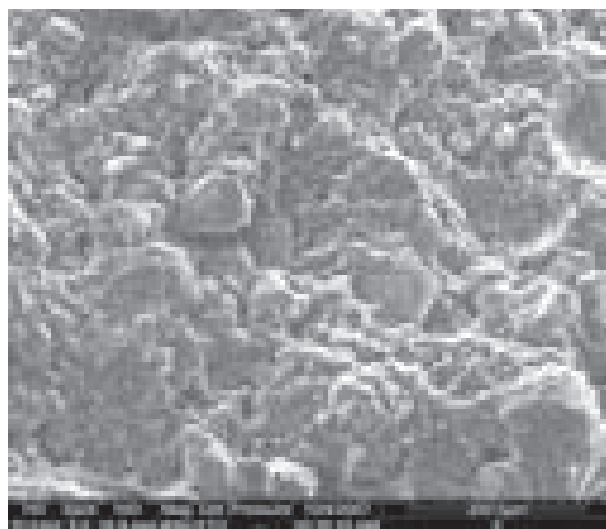
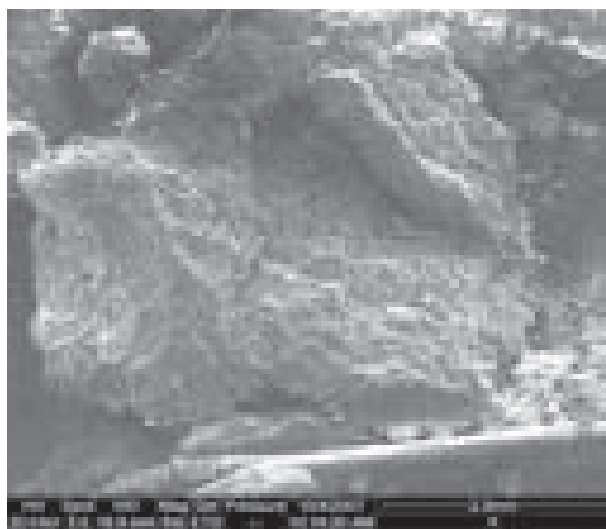
Le modificazioni indotte nel territorio nel corso dei secoli possono rendere oggi impossibile l'accesso alla fonti di terra utilizzate nel passato. In particolare in alcune aree la rapida urbanizzazione può avere occultato le tradizionali zone di prelievo. Fenomeni di bonifica e di intensa irrigazione o concimazione artificiale, incendi o disboscamenti possono alterare in modo sensibile la terra persino nell'arco di pochi decenni.

1.2.2 La composizione e la granulometria

Dal moderno punto di vista della scienza e della tecnologia dei materiali, la terra può considerarsi un materiale composito (Figure 1.7a, 1.7b, 1.8a, 1.8b). In essa possiamo anzitutto individuare una fase solida di natura inorganica, generalmente polimineralica, e con una granulometria che si estende, in modo più o meno continuo, dalle dimensioni della ghiaia (da pochi millimetri fino anche ad alcuni centimetri) a quello, circa diecimila volte più piccolo, delle argille (per definizione sotto i 2 o 4 μm , a seconda delle Norme). La frazione di dimensioni comprese tra 2-4 μm e 50-70 μm è definita limo o silt, quella più grande, fino a circa 2 mm, è denominata sabbia.

Figg. 1.7a, 1.7b. Immagini al microscopio elettronico a scansione (SEM) della sezione di frattura di un campione di ladiri.

Figg. 1.8a, 1.8b. Immagini al SEM di un campione di ladiri realizzato con terra ad alto tenore di caolino.



Se il prelievo è effettuato in prossimità della superficie saranno presenti con tutta probabilità anche materiali organici, derivanti dall'attività biologica (decomposizione di piante ed animali, scarti, apparati radicali, etc.). In particolare, il termine generico humus indica una miscela assai complessa di sostanze chimiche organiche di alto peso molecolare, a struttura amorfa, che conferisce alla terra un caratteristico colore bruno-nerastro e peculiare odore e plasticità.

La coesione tra le particelle solide è intrinsecamente debole; essa infatti nasce dall'incastro delle frazioni grossolane, che costituiscono lo scheletro del materiale non assoggettabile al ritiro/rigonfiamento dovuto alle variazioni igrometriche, dalla presenza di menischi d'acqua nei contatti tra i grani della dimensione del silt e degli aggregati di particelle argillose che fungono da pellicole coesive e dalle attrazioni elettrostatiche dovute alle valenze non saturate sulle superfici esterne delle frazioni più fini e particolarmente di quelle argillose. In quest'ultimo caso si tenga presente che lo stato di fine suddivisione porta ad altissimi valori di superficie specifica ($10\text{--}20\text{ m}^2/\text{g}$ nel caso dei caolini e addirittura $200\text{--}800\text{ m}^2/\text{g}$ nel caso delle montmorilloniti) per cui seppure tali legami siano individualmente deboli, il loro numero conferisce al sistema una certa efficacia globale.

Tra le particelle delle varie dimensioni resteranno comunque una certa entità di vuoti, che genericamente indichiamo col termine di porosità, caratterizzata da una frazione volumica, dalla loro distribuzione dimensionale e dalla loro connessione, che determinerà in modo fondamentale le prestazioni del materiale. In generale sarà inoltre presente un certo tenore di acqua allo stato liquido (senza considerare quella strutturale di alcuni componenti quali ad esempio le argille) non pura ma sotto forma di soluzione salina diluita, sia adsorbita sulle superfici che occupante parte dei pori, oltre ad aria e vapore acqueo nella parte restante dei pori.

1.2.3 Il ruolo e le proprietà della componente argillosa

L'argilla ha un ruolo determinate sulla possibilità di impiegare la terra come materiale da costruzione. È infatti questa frazione che esercita le proprietà leganti determinanti per le prestazioni sia allo stato fresco, in termini di fluidità, coesione e plasticità (che consente quindi l'impasto, l'omogeneizzazione e la formatura), che allo stato indurito (a secco) agendo da fase legante alla stregua di un cemento.

Il termine argilla è tuttavia generico e prevalentemente inteso in termini granulometrici. In realtà si deve parlare al plurale, argille, e per capirne il ruolo legante è necessario fornire alcune informazioni di base sulla loro composizione e conseguente struttura mineralogica.

Le argille sono estremamente comuni e largamente utilizzate fin dall'antichità più remota (basti pensare alla produzione ceramica sia vascolare che scultorea) ma la cui conoscenza scientifica si è rivelata assai ostica; è solo negli anni '30 del secolo scorso, in seguito allo sviluppo della tecnica di diffrazione dei raggi X ed al chiarimento delle regole che presiedono allo sviluppo dei legami chimici, che è iniziato il processo, che non può ancora dirsi concluso, di conoscenza di questa particolarissima classe di minerali.

Le argille sono dei silico-alluminati idrati i cui atomi costituenti sono aggregati in strutture prevalentemente cristalline con caratteristica geometria (abito) lamellare (fillosilicati). È proprio questa forma osservabile, almeno in taluni casi, tramite l'impiego della microscopia elettronica a decine di migliaia di ingrandimenti, che rende conto di proprietà quali la caratteristica plasticità in presenza di acqua.

La struttura cristallografica lamellare, e quindi il suo sviluppo planare è conseguenza dell'impilamento di strati/piani silicei (di tipo T, Tetraedrici, con il Silicio al centro del tetraedro e gli atomi di Ossigeno ai vertici) e di strati/piani alluminosi (di tipo O, Ottaedrici, con l'Alluminio al centro e atomi di ossigeno o gruppi OH^- ai vertici dell'ottaedro) denominati “foglietti”.

Le combinazioni possibili di questi strati/piani, in connessione a sostituzioni isomorfe degli atomi fondamentali in particolar modo del Si con Al e FeIII e dell'Al con FeII e Mg con il conseguente inserimento di ioni quali Na^+ , K^+ o Ca^{++} per ristabilire l'equilibrio elettrico) e dell'eventuale possibilità di inserzione di ioni e molecole di acqua tra gli strati, portano ad avere sistemi argillosi con composizione chimica estremamente differente.

Pur a fronte di una articolazione così diversificata dal punto di vista chimico, è possibile ricondurre la struttura delle argille (e quindi buona parte delle sue proprietà fisiche) ad una semplice classificazione che prevede le seguenti sequenze (“pacchetti”) tra le unità fondamentali O e T:

- unità base costituita da strati/piani O-T,
- unità base con successione T-O-T,
- unità base con successione T-O-T + O (raro tra le vere e proprie argille, ad esempio alcune illiti),
- a strati misti con “impilamento” delle varie unità sopra citate.

La struttura finale di questi materiali prende origine attraverso la sovrapposizione dei singoli “pacchetti” come tante pagine di un libro.

E' opportuno ricordare, a questo proposito, che è il sistema argilla/acqua a dare plasticità al “materiale” terra, con l'acqua che, interponendosi tra i “pacchetti” di argilla, consente la corretta lubrificazione del sistema e lo scorrimento degli strati lamellari gli uni sugli altri. attraverso l'applicazione di forze limitate mantenendo una deformazione permanente al cessare delle tensioni.

1.2.4 Gli altri componenti della terra

Gli altri componenti del sistema “terra” (carbonati, solfuri, solfati, quarzo, sostanze organiche etc.), considerati secondari, possono modificare, ciascuno per la propria parte, le proprietà della “terra”. Particolarmente importante può risultare la frazione sabbiosa capace di dare stabilità dimensionale ai manufatti di terra riducendo i potenzialmente pericolosi fenomeni di ritiro che si hanno in fase di essiccamento.

Un'attenzione particolare va rivolta ai sali solubili che possono an-

che essere presenti nella terra di provenienza in relazione con la genesi del bacino di sedimentazione. In climi caldi può essersi verificata stagionalmente la deposizione di sali congiuntamente o successivamente agli eventi sedimentari che hanno interessato la messa in posto dell'argilla/terra. I sali più comuni nei depositi sedimentari sono i cloruri ed i solfati dei metalli alcalini sodio e potassio (Na e K) o alcalino terrosi, calcio e magnesio (Ca, Mg); meno comuni sono i solfuri, i solfati ed i carbonati solubili. I sali possono derivare anche dalle acque utilizzate per gli impasti, particolarmente se attinte da pozzi in prossimità della costa, oppure dalla sabbia eventualmente utilizzata come smagrante.

Questi sali possono assumere, in alcuni casi, un ruolo influente sulla reologia, sulla resistenza meccanica e soprattutto sulla durezza dei manufatti, ove si verificassero, dopo la messa in opera dei mattoni, le condizioni per la loro mobilitazione da parte dell'acqua con manifestazioni quali efflorescenze (le tipiche macchie bianche antiestetiche che appaiono sulla superficie) o le più pericolose subflorescenze che possono portare a disaggregazioni dovute alla loro cristallizzazione nei pori conseguente all'evaporazione dell'acqua. Questi effetti possono risultare piuttosto pericolosi nel caso dei mattoni cotti o dei cementi che prevedono queste terre come materie prime per la loro preparazione, ma nel caso specifico del mattone in terra cruda bisogna osservare che l'eventuale contatto continuo con l'acqua circolante porterebbe al disfacimento del manufatto a prescindere dalle eventuali cristallizzazioni.

1.2.5 La plasticità e la reologia

Il contenuto d'acqua ottimale perché il materiale terra possa essere impastato, omogeneizzato e quindi foggato, applicato sulla forma in modo uniforme e compatto, scassato e maneggiato in modo veloce ed affidabile, è variabile in funzione della composizione ed in particolare della natura e della entità della fase argillosa. Terre con argille a maggiore superficie specifica richiederanno una maggiore quantità d'acqua.

La plasticità dell'argilla è strettamente associata alla forma plattiforme delle particelle ed alla estensione del velo d'acqua che può essere da loro adsorbito; per avere il massimo della plasticità il tenore complessivo d'acqua risulta generalmente compreso tra il 15 ed il 25% in peso. Gli spessori di questi veli strettamente vincolati sono stati stimati a 210–240 nm. L'acqua in eccesso rispetto a quella che porta alla massima plasticità è definita libera e migliora il flusso del materiale sotto sforzo, fungendo da fase lubrificante. La reologia definisce quelle che sono le capacità dei materiali a scorrere sotto tensioni. La valutazione "reologica" dell'impasto e del confezionamento del manufatto in terra cruda è stata sempre fatta dagli operatori in modo empirico. Nel caso delle dispersioni solido/acqua ad alto tenore di solido alle quali si può assimilare l'impasto per il confezionamento dei mattoni in terra cruda, mancano dati sperimentali diretti. Secondo una classificazione dovuta ad Atterberg (vedi Parte B), all'aumentare del tenore di acqua un terreno passa dallo stato "solido" a quello "semisolido" e quindi a "plastico" ed a "liquido". Si tratta di un approccio che è stato largamente utilizzato nella moderna riscoperta della terra cruda come ma-

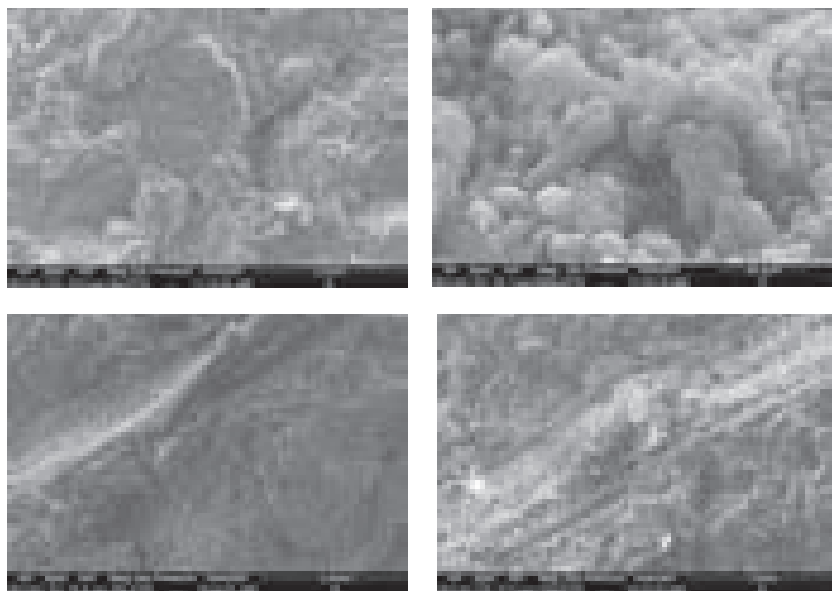
teriale da costruzione. Il tenore di acqua che caratterizza il passaggio solido–semisolido è detto limite del ritiro, mentre per la transizione tra semisolido e plastico si parla di limite plastico e per il passaggio tra plastico e liquido di limite liquido. Naturalmente questi valori limite sono variabili a seconda della composizione della terra ed in particolare della quantità e del tipo di componente argilloso. Al riguardo si definisce un Indice di Plasticità come differenza tra il limite liquido e quello plastico; la terra è definita, in funzione di tale indice come: non plastica (0–5), poco plastica (5–15), plastica (15–40) o molto plastica (> 40).

1.2.6 Le aggiunte di prodotti naturali e artificiali

I limiti di resistenza e di durezza del materiale terra sono sempre stati evidenti ai suoi utilizzatori. È pertanto difficile considerare qualcosa che, presente nell'ambiente naturale o derivato da elaborazioni di prodotti vegetali o animali, non sia stato perlomeno sperimentato come aggiunta purché disponibile in abbondanza ed a basso costo. Più recente risulta invece sperimentazione è stata l'aggiunta alla terra di materiali artificiali quali la calce o i cementi idraulici, questi ultimi da circa 50 anni diventati comunemente disponibili nel cantiere edile e capaci, insieme alla sabbia, di dare un contributo alla stabilità dimensionale del materiale (Figure 1.9a, 1.9b).

Ben poche sono però le sostanze che hanno trovato un ampio utilizzo, ma soprattutto nessuna di queste, tradizionali o moderne, può far fare alla terra un salto di qualità comparabile a quella che si può raggiungere con la cottura, attraverso la ceramizzazione, che segna veramente la differenza tra bassa ed alta resistenza, bassa ed alta durezza del materiale. Fra i tanti additivi utilizzati, la paglia è certamente stata l'aggiunta più funzionale e più comune al sistema terra-acqua (Figure 1.10a, 1.10b).

Il suo ruolo principale è quello di stabilizzare le forme allo stato fresco, di favorire il processo di essiccamento e di fungere da stabilizzante meccanico con particolare riferimento alla sollecitazioni di trazione che insorgono in questa fase e a quelle flessionali quando il materiale è in opera.



Figg. 1.9a, 1.9b. Immagini al SEM di un campione di terra additivata con il 10% di CEM I 52.5R.

Figg. 1.10a, 1.10b. Fibre di paglia in immagini al SEM della sezione di frattura di un campione di ladi.

1.3. PROPRIETÀ FISICO-MECCANICHE E DURABILITÀ DEI MATTONI IN TERRA CRUDA.

1.3.1 L'essiccamento ed il ritiro dimensionale del sistema allo stato fresco

L'essiccamento è una fase determinante della lavorazione del mattone. È noto che pressoché in tutte le epoche ed in tutti i luoghi i mattoni presentano una dimensione minima, o spessore, non superiore ai 15 cm, talvolta inferiore a 10 cm (mentre si possono riscontrare lunghezze anche superiori al metro). Questo garantisce che l'essiccamento possa completarsi in tempi ragionevoli (la dimensione massima è invece legata alla maneggevolezza).

L'allontanamento dell'acqua comporta sempre una contrazione del mattone. Le fasi attraverso le quali si manifesta l'essiccamento implicano infatti alcuni riassetamenti della microstruttura.

Nella prima fase il manufatto è saturo d'acqua e si ha l'allontanamento del velo liquido che copre la superficie e gli strati ad essa immediatamente adiacenti. L'acqua passa allo stato di vapore dalla superficie bagnata all'aria circostante, tanto più velocemente quanto maggiore è la temperatura dell'aria e la sua velocità (ventilazione) e quanto minore ne è l'umidità. Successivamente viene richiamata per capillarità l'acqua presente all'interno e l'evaporazione può svilupparsi anche sotto la superficie. Si instaura un gradiente di umidità che costituisce la forza motrice del processo.

In questa fase, dall'interno verso l'esterno si riscontra una regione nella quale i pori sono ancora riempiti d'acqua, una regione nella quale i pori sono sostanzialmente drenati, ma le cui pareti sono ancora coperte da vari strati di molecole d'acqua, il piano di evaporazione, e quindi la regione nella quale i pori si possono considerare vuoti, secchi. La presenza della paglia dà origine ad adeguati canalicoli che convogliano con regolarità il vapore verso l'esterno.

All'inizio del processo di essiccamento, le particelle solide costituenti la terra sono in parte reciprocamente separate da veli d'acqua di interposizione; e quindi quando questi sono progressivamente allontanati, esse sono sollecitate a muoversi, anche a riorientarsi e avvicinarsi con una conseguente riduzione delle dimensioni del manufatto. Se il fenomeno avviene con regolarità, senza ostacoli, senza sensibili differenze nelle varie parti, non insorgono tensioni di trazione pericolose, che portino a lesioni nel materiale. Ancora la presenza della paglia o di altro materiale fibroso contribuisce a regolarizzare, in questa fase, le tensioni nella massa.

L'entità del ritiro dimensionale dipende in maniera evidente dalla quantità d'acqua utilizzata per l'impasto, dalla frazione di ghiaia e sabbia presente (scheletro), da quella della paglia e può essere fortemente condizionato da particolari aggiunte di "additivi" come calce o cemento che agiscono, come detto precedentemente, da forti

stabilizzanti dimensionali pur a discapito della porosità finale del materiale allo stato secco (e delle conseguenti prestazioni meccaniche). I valori del ritiro dimensionale sono compresi generalmente nell'intervallo 0.5–2%.

1.3.2 La porosità ed il peso specifico del materiale essiccato

Quanto maggiore sarà la quantità di acqua utilizzata in fase di impasto e per il confezionamento tanto più grande sarà la porosità che caratterizza il materiale allo stato secco.

I valori di porosità sono generalmente compresi nell'intervallo 15–40 %, con un'ampia frazione di vuoti compresa tra 0.5 e 20 μm .

Ad alti valori di porosità corrispondono naturalmente bassi valori di peso specifico. Tuttavia questo parametro è largamente influenzato anche dal tenore di granulato di maggiore dimensione presente, che ordinariamente sarà costituito da rocce con peso specifico di 2.2–2.6 g/cm^3 (a meno che non si siano consapevolmente utilizzate rocce particolari tipo pomice) e dall'entità della paglia.

I valori di peso specifico risultano generalmente variabili tra 1.5 e 1.9 g/cm^3 .

1.3.3 La resistenza a compressione

La terra cruda è un materiale sul quale è prudente fare affidamento esclusivamente per carichi di compressione, ed a secco.

I valori assoluti della resistenza meccanica dipendono da molti fattori che vanno dalla qualità della manodopera, alla granulometria (frazione di fine e di grosso) ed alla forma degli inerti grossi (quelli angolari sono generalmente migliori); fondamentale è il tenore di acqua di impasto: minore è la quantità d'acqua e minori risulteranno i micropori e quindi tanto più alta la resistenza meccanica.

La moderna produzione di mattoni pressati porta ad un guadagno di resistenza migliorando appunto la compattezza.

La resistenza a compressione uniassiale determinata in laboratorio su mattoni in terra cruda, allo stato secco, fornisce generalmente valori compresi nell'intervallo tra 1 e 3 MPa.

Sono questi valori che impongono uno spessore minimo di circa 40 cm dei muri portanti con il limite ad un piano di elevazione, e l'adozione di tutti i dettagli costruttivi necessari ad impedire il contatto dell'acqua sulla struttura. La compattazione della terra con apposite presse, consentendo di lavorare impasti relativamente asciutti permette di guadagnare qualche MPa pur senza alterare la “classe” del materiale.

1.3.4 La conducibilità termica

Generalmente nella terra utilizzata in Sardegna non sono presenti componenti minerali caratterizzati da valori particolarmente bassi di conducibilità termica (non considerando l'intenzionale aggiunta di materiale pomiceo e simili). È quindi la microstruttura porosa della fase legante che determina l'ostacolo alla propagazione del calore per conduzione.

Il valore della conducibilità termica a secco è generalmente compreso nell'intervallo tra 0.8 e 0.9 W/m°C, associato a pesi specifici dell'ordine di 1.7–1.9 g/cm³; in presenza di umidità tale valore aumenta rapidamente fino a triplicare. Il confronto di questi dati con quelli di altri materiali, ci consente di concludere che di per sé la terra non ha una grande capacità di isolamento termico che, viceversa, si manifesta per via degli spessori murari notevoli e per le limitate aperture normalmente presenti nelle costruzioni.

1.3.5 La presenza dell'acqua nella microstruttura e il degrado

Si è detto in precedenza come i manufatti in terra siano caratterizzati da una grande porosità che può giocare un ruolo determinante sia nelle proprietà fisico-meccaniche che nella durevolezza.

Su sistemi così porosi e caratterizzati da deboli legami fra le particelle, la presenza di acqua sulla superficie interna del solido rappresenta certamente il maggior pericolo, comportando l'indebolimento del legame tra i grani ed una maggiore separazione tra gli stessi, inducendo a livello macroscopico sia la dilatazione che una riduzione sensibile della resistenza a compressione. Addirittura un contatto continuo può portare anche al totale disfacimento del materiale che perde rapidamente consistenza schiacciandosi sotto il proprio peso.

Pertanto in altri casi manifesta una durevolezza decisamente maggiore per cui talune strutture murarie, non più intonacate, riescono a mantenersi stabili per anni e anni a memoria d'uomo anche se esposte stagionalmente alle intemperie.

In effetti, le argille se costituenti strati senza significativa presenza di altre frazioni granulometriche, sono da considerarsi materiali sostanzialmente impervi alla circolazione dell'acqua. Questa loro caratteristica impermeabilità ha rilevanti implicazioni in molti settori della geologia e della tecnica.

La Tabella 1 riporta i valori di permeabilità dei sub-sistemi della terra.

È quindi importante distinguere tra la sensibilità all'acqua dei minerali argillosi e quella della terra, della quale l'argilla è solo una frazione (generalmente minoritaria per le applicazioni che ci interessano, 5-20% in peso). Dipenderà quindi dalla composizione della terra utilizzata come materiale da costruzione e dalle modalità di dispersione/impasto e confezionamento, lo sfruttare al meglio le potenzialità impermeabilizzanti della fase legante argillosa.

Una particolare citazione meritano le bentoniti, argille costituite in prevalenza da montmorillonite e quindi con una spiccata capacità

di rigonfiare/espandere per assorbimento d'acqua venendo a costituire strati di eccezionale impermeabilità (particolarmente quelle di tipo sodico vs. calcico) che trovano applicazioni in diversi settori della tecnica e recentemente anche nella realizzazione di coperture impermeabilizzanti proprio per la protezione di strutture in terra di interesse archeologico, ad esempio nella conservazione dei ruderi dell'insediamento dell'Età del Ferro di Gordion, in Anatolia. È questa un'esperienza che potrebbe essere condotta anche in alcuni problemi specifici di conservazione del costruito in terra cruda.

Connessi alla circolazione e alla permanenza dell'acqua sono i fenomeni della cristallizzazione salina e della gelività, che possono riscontrarsi però prevalentemente sugli intonaci o su altri componenti della costruzione quali mattoni cotti o le pietre mentre possono ritenersi di secondaria importanza nel caso della muratura in ladiri (come detto nel paragrafo 1.2.4) e che saranno oggetto di breve trattazione nel paragrafo 1.4.1.1.

Il persistere della presenza di acqua sulle superfici favorisce inoltre l'attività biotica (crescita di alghe, muschi, licheni, erbe e piante superiori) che può portare all'instaurarsi di condizioni di ulteriore degrado.

	DIAMETRO DELLE PARTICELLE	PERMEABILITÀ cm/s
<i>Argilla</i>	$< 3 \mu\text{m}$	$\leq 10^{-6}$
<i>Silt</i>	$3 \div 60 \mu\text{m}$	$10^{-5} \div 10^{-4}$
<i>Sabbia fine</i>	$60 \div 200 \mu\text{m}$	$10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-3}$
<i>Sabbia media</i>	$0,2 \div 0,6 \text{ mm}$	$10^{-3} \div 10^{-2}$
<i>Sabbia grossa</i>	$0,6 \div 2 \text{ mm}$	$0.1 \div 1$
<i>Ghiaia</i>	$> 2 \text{ mm}$	1

Tabella. 1. Valori di permeabilità dei subsistemi della terra.

1.4. GLI ASPETTI CONSERVATIVI: BUONE E CATTIVE PRATICHE NELL'USO DEI MATERIALI.

1.4.1 Le buone pratiche

Nel considerare le buone pratiche riguardanti la selezione dei materiali in un intervento conservativo, non si può non partire da quella “superficie di sacrificio” che è rappresentata dall'intonaco, componente e materiale assolutamente indispensabile per proteggere strutture così facilmente soggette al degrado.

Gli intonaci da utilizzarsi sono sostanzialmente di due tipi: il primo è quello che prevede come componente di base il più tradizionale dei leganti, la calce aerea, meglio se sotto forma di grassello, il secondo è rappresentato dalla stessa terra, sia tal quale che “stabilizzata” con la stessa calce.

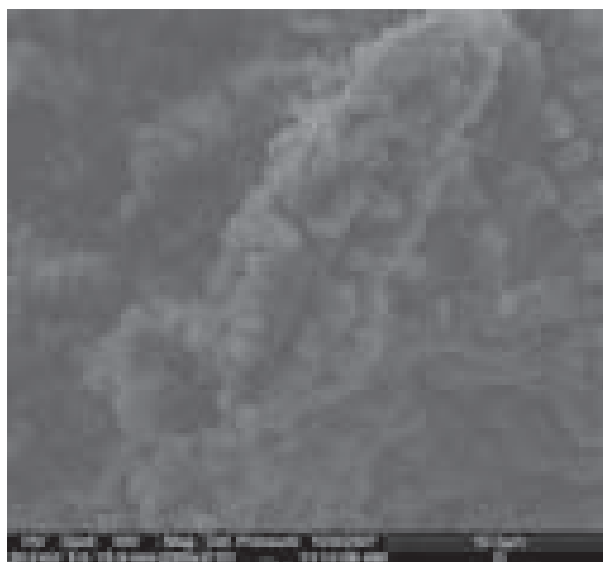
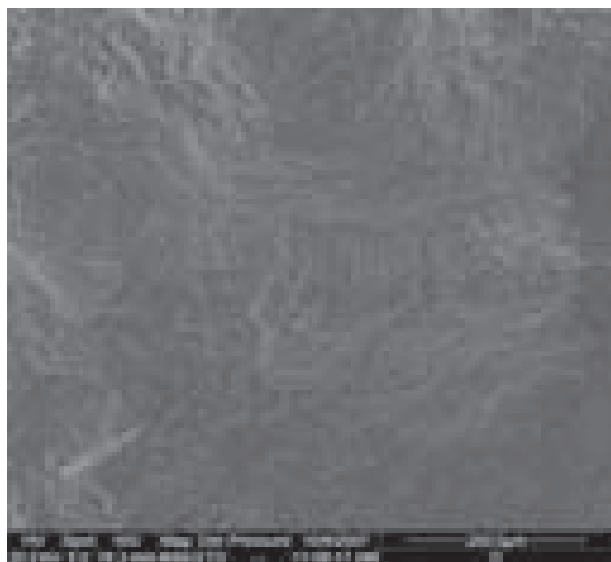
1.4.2 La riproposizione dell'intonaco a base di calce

L'intonaco che utilizza la calce come fase legante è certamente quello maggiormente affermato nella tradizione costruttiva in terra cruda. In effetti la sua stabilità è generalmente maggiore di quello di terra, mantenendo un alto grado di compatibilità fisica con la struttura muraria (moduli di variazione dimensionale termoigrometrici ed elastici, resistenze meccaniche, porosità, permeabilità, etc.).

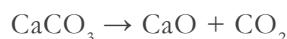
Per un peso specifico di circa 1.8 g/cm^3 un intonaco a base di calce presenta valori di conducibilità termica compresi tra 0.7 e $0.9 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, non dissimili, quindi, da quelli tipici del mattone in terra cruda.

Le Figure 1.11a, 1.11b riportano la microstruttura della terra additivata con idrossido di calcio.

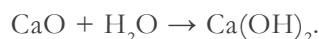
Figg. 1.11a, 1.11b. Immagine al SEM della microstruttura della terra additivata con calce.



La calce aerea è, chimicamente, idrossido di calcio. Essa deriva dalle operazioni di cottura/calcinazione dei calcari



e spegnimento della calce viva così ottenuta



Prende il nome di grassello la pasta con circa il 45-50% in peso di acqua. Prima dell'impiego, il grassello viene tradizionalmente lasciato stagionare/maturare in una fossa realizzata nel terreno per tempi più o meno lunghi; le modificazioni fisiche della dimensione e della forma dei cristalliti di idrossido nel corso del tempo (mesi o persino anni), portano al netto miglioramento della plasticità del prodotto e quindi delle sue prestazioni sia allo stato fresco che indurito.

La produzione della calce e la sua utilizzazione nelle costruzioni è molto antica, essendo archeologicamente documentata fin dal neolitico pre-ceramico del Vicino Oriente (X millennio a.C.).

La tecnologia si è mantenuta pressoché inalterata nei secoli.

Nelle diverse zone “calcaree” della Sardegna, fino al secondo dopoguerra, era piuttosto comune l'esistenza di piccoli forni “di paese”, poi abbandonati per lo sviluppo della produzione industriale localizzata in pochi centri le cui rovine possono ancora vedersi nelle campagne. Era prassi comprare la calce viva e procedere poi allo spegnimento ed alla maturazione in cantiere.

La composizione, in volume, degli intonaci ha in genere un rapporto sabbia/grassello compreso nell'intervallo 3/1–4/1.

Esso viene aggiustato dagli operatori in ragione della tipica plasticità e adesività/coesività riscontrabile nell'impasto e nella stesura in parete. L'adesione al paramento murario può essere resa più stabile con la tecnica della inserzione di cocci, ad esempio di tegole, o di scaglie di pietra, come basalto vescicolare (Figure 1.12a, 1.12b) tra le commessure dei mattoni.

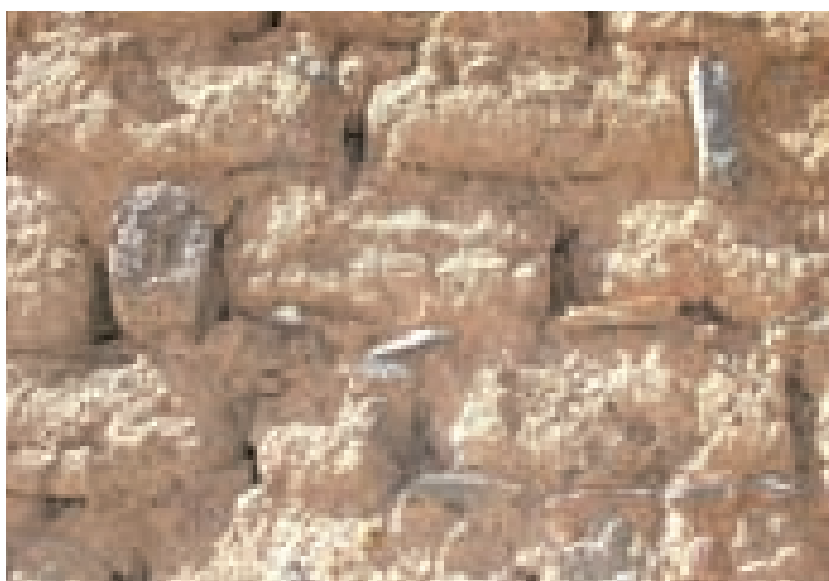
La presa/indurimento della calce, avviene attraverso la sua carbonatazione ad opera della CO_2 dell'aria secondo la reazione:



con ricostituzione, quindi della stessa specie chimica, carbonato di calcio, da cui si era partiti.

Gli intonaci a calce possono essere soggetti ad alterazioni di carattere fisico, chimico o all'insediamento di specie vegetali che possono portare anche al distacco dal paramento murario in terra o a disaggregazioni dovute alla cristallizzazione salina e alla gelività.

Figg. 1.12a, 1.12b. Scaglie di basalto per migliorare la tenuta dell'intonaco su muratura in terra elevata su basamento in roccia basaltica.



1.4.3 La riproposizione dell'intonaco a base di terra

Nelle zone dove l'approvvigionamento della calce non risultava facile data la distanza dai più vicini centri di produzione o quando le risorse comunque non ne consentivano l'acquisto, la stessa terra è stata utilizzata per intonacare la fabbrica in mattoni crudi.

La stessa tecnica può oggi essere riproposta curando in particolare la granulometria, separando le frazioni più grossolane e con una messa in opera che deve procedere per strati successivi progressivamente più fini. La lavorazione può prevedere una levigatura/compattazione finale della superficie.

Data l'alta superficie esposta all'evaporazione, il ritiro deve essere fronteggiato con un'adeguata presenza di fibre.

In un intervento di moderno ripristino si potrebbero impiegare, in alternativa a quelle naturali, anche fibre polimeriche, ad esempio di propilene (in particolare quelle di lunghezza di circa 5 mm e con spessore di qualche decina di micrometri).

Un ottimo compromesso che tenga conto degli aspetti filologici e che possa dare anche garanzie di stabilità nel tempo, può essere rappresentato dalla formulazione di una malta che veda la terra come materiale di base e l'aggiunta di piccole quantità di calce come stabilizzante sia dimensionale che rispetto all'azione erosiva dell'acqua (percentuali variabili tra il 5 e il 10 % sono in genere sufficienti) che permetterebbe una maggiore durevolezza dell'intonaco.

Le Figure 1.13a, 1.13b documentano il significativo guadagno di stabilità indotto dalla presenza della calce (circa il 6 % in peso) in una terra con componente argillosa di tipo illite + caolinite.

Attualmente l'aggiunta di calce (compresa quella "viva", cioè il CaO, in funzione anche di essiccante/riduttore di umidità), al materiale terra è una pratica abbastanza comune negli interventi di consolidamento/stabilizzazione dei terreni interessati, ad esempio, nella realizzazione di infrastrutture.

I risultati tecnici ed economici conseguiti in queste particolari applicazioni sono generalmente positivi; il tenore di aggiunta, spesso associata anche al cemento idraulico, è correntemente intorno al 5% in peso.

Figg. 1.13a, 1.13b. Assorbimento capillare e stabilità all'acqua, dopo 30 minuti e 24 ore di contatto. Il campione non additivato con calce crolla sotto il proprio peso.



1.4.4 La riproposizione delle pitture alla calce

La pittura copre l'intonaco con finalità in massima parte decorative ma indirettamente, se adeguatamente formulata, anche protettive. Esso è costituito/formulato con tre componenti base: il legante, il pigmento e la fase disperdente.

Il legante tradizionalmente impiegato e maggiormente affine al tipo di intonaci considerati è ancora l'idrossido di calcio.

Il processo di carbonatazione che si svilupperà sulla superficie a contatto con l'anidride carbonica e l'umidità dell'aria, trasformerà la calce in carbonato di calcio (calcite), che sarà in grado di legare a se i pigmenti e di legarsi all'intonaco.

La calce può anche contribuire all'igiene degli ambienti interni in quanto la sua forte alcalinità iniziale le conferisce effetti antisettici.

I pigmenti sono delle finissime polveri inorganiche, generalmente costituite da varietà di ossidi di ferro; sono disponibili terre/ocre nelle quali gli ossidi di ferro, a differente numero di ossidazione, eventualmente variamente idratati, presentano colori che vanno dal rosso al bruno, dal giallo al nero.

Il liquido che funge da disperdente e consente l'omogeneizzazione e la stesura in parete del sistema legante e pigmento è naturalmente l'acqua. La dispersione ad altissimo tenore di calce in acqua è denominata "latte di calce".

La solubilità dell'idrossido di calcio in acqua è, a 20°C, di circa 1.6 g/l; oltre questo valore le particelle di idrossido non si sciolgono.

Il tenore di idrossido nel latte di calce può variare entro ampi limiti, in funzione del ruolo che si vuole far assumere alla pittura.

Per rapporti in volume pari a 1:1 a 1:3 la dispersione è abbastanza carica da potersi impiegare come pittura bianca ed è in grado anche di fungere da sigillante delle piccole lesioni che possono essere insorte nell'intonaco.

Il tenore di pigmento necessario per avere la saturazione del colore può variare dal 10 al 25% (rispetto alla calce) se si usano terre/ocre o dal 5 al 15% se si usano ossidi puri.

Le dispersioni con rapporti calce/acqua da 1:5 a 1:20 possono ancora essere usate per pitture, ma per avere una accettabile saturazione del colore occorre portare il tenore di pigmento a valori decisamente più alti di quelli precedentemente indicati.

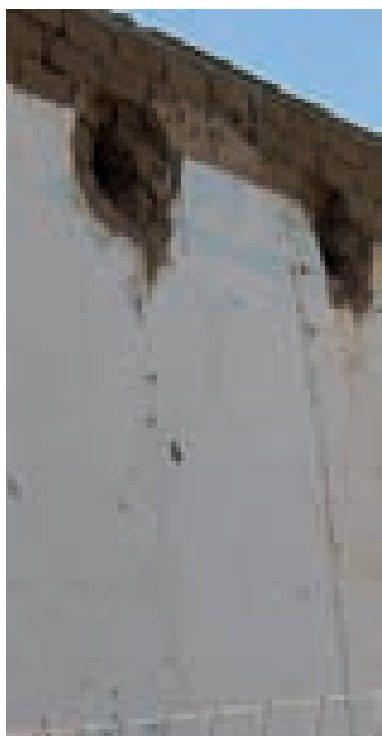
L'operazione di pitturazione può essere condotta sia "a fresco", cioè sull'intonaco applicato di recente, a carbonatazione del legante ancora in corso, che a secco; in quest'ultimo caso comunque l'intonaco deve preventivamente essere inumidito.

Naturalmente è possibile dare "pittura sulla pittura", per avere maggiori effetti coprenti e negli interventi manutentivi.

Generalmente la pittura a calce va riproposta ad intervalli tra i cinque ed i dieci anni. Altre pitture a legante inorganico eventualmente utilizzabili seppure non rientranti tra quelle tradizionalmente impiegate sono quelle ai silicati alcalini solubili.

Da sconsigliare quelle moderne utilizzanti polimeri organici come leganti, anche se commercialmente qualificate come traspiranti (Figura 1.14).

Fig. 1.14. Sovrapposizione di strati pittorici incompatibili con l'originaria pittura a calce che invece permane ben aderente all'intonaco di calce dato su un paramento in ladini.



1.4.5 Le cattive pratiche

Fra le cattive pratiche spesso utilizzate nel passato e nel presente sono da annoverarsi gli intonaci cementizi e il troppo ricorrente uso del blocchetto di cemento negli interventi di “ripristino” o di ampliamento (Figura 1.15).

Date le sue dimensioni e la sua regolarità, il blocchetto di cemento è certamente molto facile da mettere in opera e può considerarsi il materiale più economico in circolazione, ma è sicuramente in questi casi fuori contesto culturale e decisamente antiestetico quando lasciato a vista come purtroppo troppo spesso succede.



Figg. 1.15a, 1.15b. Commistioni e superfetazioni in costruzioni in terra cruda.

1.4.6 Gli intonaci a base cemento

Il legante cementizio si è affermato nella tecnica delle costruzioni contestualmente al disuso della calce e della tecnica costruttiva in terra e degli altri materiali tradizionali.

La maggiore resistenza meccanica, i ridotti tempi di indurimento, la possibilità di un'efficace accoppiamento all'acciaio ed alla pietra (calcestruzzi, cementi armati), la fluidità congiunta alla stabilità allo stato fresco, la possibilità di produrlo con materie prime naturali comunemente disponibili e oggi utilizzando in parte anche scarti industriali, il controllo di qualità e la normativa, consentono prestazioni tecniche, economiche ed architettoniche alle quali nessun altro materiale nel secolo scorso, e anche nel prevedibile futuro, sarà in grado di sfidare.

Tuttavia proprio queste sue caratteristiche lo rendono generalmente inadatto negli interventi di restauro e quindi nell'affiancamento a materiali tradizionali di intrinsecamente debole struttura.

Questo vale in modo particolare per le costruzioni realizzate in terra cruda. L'intonaco a base cementizia è sostanzialmente incompatibile perché caratterizzato da modulo elastico e coefficienti di variazione dimensionale termoigrometrici e di permeabilità, radicalmente differenti rispetto alla terra.

Difficilmente l'intonaco cementizio entra in simbiosi con la muratura in ladiri; più comunemente esso costituisce una "lamina" autoconsistente ma propensa a cadere su ampie estensioni di superficie, come mostrato nella Figura 1.15.

Oltre alla incompatibilità fisica, gli intonaci a base cementizia sono di per sé soggetti ad inconvenienti di natura chimica.

I cementi sono attualmente ottenuti esclusivamente con tecnologia "a secco" e per rispondere alle esigenze di protezione ambientale gli impianti attuano un notevole ricircolo della fase gassosa dei forni; questo fatto ha comportato l'aumento del tenore di sali (volatili a caldo e solubili in acqua) nel prodotto, con gli evidenti ulteriori inconvenienti connessi nel caso di utilizzo in formulazioni particolarmente porose e quindi in strutture esposte alla circolazione dell'acqua, con le conseguenti formazioni di efflorescenze e cripto-efflorescenze di sali quali cloruri, nitrati o solfati (tra i quali sono particolarmente

Figg. 1.16a, 1.16b. Distacchi di intonaco con legante costituito dal moderno cemento.



pericolosi l'ettringite e la thaumasite).

La conseguenze, inevitabili, portano quindi a fenomeni di polverizzazione, desquamazione della superficie o al distacco di parti più o meno importanti.

Peraltro, l'aggiunta di piccole quantità di cemento alla terra (5-10% in peso) consentirebbe di ottenere un materiale che si rivela assai stabile dimensionalmente in fase di maturazione e resistente all'azione disaggregante dell'acqua, come visto anche nel caso della calce (il cemento idraulico "produce" idrossido di calcio durante le prime fasi della sua reazione con l'acqua).

La stabilità dimensionale è però, ovviamente, conseguita a spese di una maggiore porosità (rispetto a quella del solo sistema terra, che di per sé è libero di autocompattarsi per contrazione in fase di essiccamento).

Attualmente sono normalizzate una trentina di tipi di cementi (UNI EN 197-2001); nell'eventuale impiego in aggiunta alla terra andranno preferiti i tipi a maggiore contenuto di clinker, che sviluppano in tempi rapidi abbondanti neoformazioni costituite da idrossido di calcio e da silicati di calcio idrati.

L'utilizzo delle malte oggi commercialmente definite "pronte" o "speciali", corrispondenti a formulazioni sviluppate in laboratorio e prodotte industrialmente (più o meno riservate, ma spesso a base di cemento), dovrebbe essere considerato solo occasionalmente, ad esempio per interventi di deumidificazione (intonaci "macroporosi") che potrebbero effettivamente essere utili solo per affrontare situazioni speciali.

1.4.7 I trattamenti consolidanti o idrorepellenti

Come estensione di una pratica talvolta adottata nei cantieri archeologici si riscontra l'impiego di consolidanti e di idrofobizzanti di moderna formulazione, sotto forma di soluzioni impregnanti.

E' però anche questa un'operazione che dovrebbe essere evitata sul costruito in terra cruda di carattere storico. L'utilizzo di questi moderni materiali deve infatti considerarsi decisamente fuori contesto, sia culturale che materico: la durevolezza può e deve essere promossa attraverso il ripristino degli strati erosi, degli intonaci, delle coperture, etc. con gli opportuni materiali tradizionali e venire garantita nel tempo attraverso una regolare, ordinaria, manutenzione dei fabbricati.

La gran parte di questi polimeri non sono stati prodotti dall'Industria Chimica per lo specifico settore del restauro, essendo questo non abbastanza significativo economicamente per le loro attività.

In ambito archeologico sono stati spesso sperimentati, con funzione essenzialmente consolidante, il Paraloid B72 e il tetraetilortosilicato, TEOS. Il primo è un polimero che si deposita sulle superfici dei micropori per evaporazione del solvente mentre il secondo reagisce con le molecole di acqua adsorbite sulle superfici della microstruttura depositando silice in forma di gel.

La Figura 1.17 mostra alcune microstrutture di materiali trattati con queste sostanze.

La loro applicazione costituisce un significativo aggravio del costo dei trattamenti del restauro che li rendono praticamente non convenienti per il settore oggetto di questa trattazione oltrechè spesso inefficaci se non addirittura dannosi.

NOTE

¹ E. Contu, *La Sardegna preistorica e nuragica* - vol. II, Carlo Delfino Editore, Sassari 2006, vol. 2, pag. 477.

² E. Contu, *Op. Cit.*, pagg. 545-547.

³ G. Ugas, L. Usai, *Nuovi scavi nel Santuario di S. Anastasia di Sardara, Atti del II Convegno: La Sardegna nel Mediterraneo tra il Secondo ed il Primo Millennio a.C.*, Selargius 1986, STEF, Cagliari, pagg. 167-211.

⁴ G. Ugas, *L'Alba dei Nuraghi*, Fabula, Cagliari 2005, pag. 15.

⁵ U. Badas, *comunicazione personale*.

⁶ A. Antona, C. Atzeni, R. Porcu, U. Sanna, N. Spanu, *Terra dal passato, terra per il futuro. Innovazione nell'uso di un materiale naturale nella conservazione, Atti del Convegno ALAR: Innovazioni Tecnologiche per i Beni Culturali in Italia*, Caserta 2005, a cura di C. D'Amico, Patron Editore, Bologna 2006, pagg. 445-454.

⁷ Vitruvio, *De Architettura*, a cura di P. Gros, Giulio Einaudi Editore, Torino 1997, Libro II, cap. III, pag. 127.

⁸ A. de La Marmora, *Itinerario dell'Isola di Sardegna*, tradotto e compendiato dal Can. G. Spano, vol. I, edizione anastatica sui tipi di A. Alagna, Cagliari 1868, Edizioni Trois, Cagliari 1971, pagg. 262-263.

⁹ A. de La Marmora, *Itinerario dell'Isola di Sardegna*, tradotto e compendiato dal Can. G. Spano, vol. I, edizione anastatica sui tipi di A. Alagna, Cagliari 1868, Edizioni Trois, Cagliari 1971, pag. 677.

¹⁰ V. Angius, *Citta e Villaggi della Sardegna dell'Ottocento* (Pabillonis-Zuri), riedizione a cura di L. Carta, Ilisso Edizioni, Nuoro 2006, pag. 1253.

¹¹ M. Le Lannou, *Pastori e Contadini di Sardegna*, tradotto e presentato da Manlio Brigaglia, Edizione della Torre, Cagliari 2006, pag. 315.

¹² L. Carmignani (coordinatore), *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, vol. LX, *Geologia della Sardegna*, nota illustrativa della Carta Geologica della Sardegna a scala 1:200.000, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma 2001, pag. 235.

¹³ L. Carmignani (coordinatore), *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, volume LX, *Geologia della Sardegna*, nota illustrativa della Carta Geologica della Sardegna a scala 1:200.000, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma 2001, pag. 208.

¹⁴ E. Costantini, F. Urbano, *Soil Regions of Italy*, <http://www.soilmaps.it/>.

Figg. 1.17a, 1.17b. Immagini al SEM di microstrutture impregnate con Paraloid B72 (a sinistra) e con TEOS (a destra).

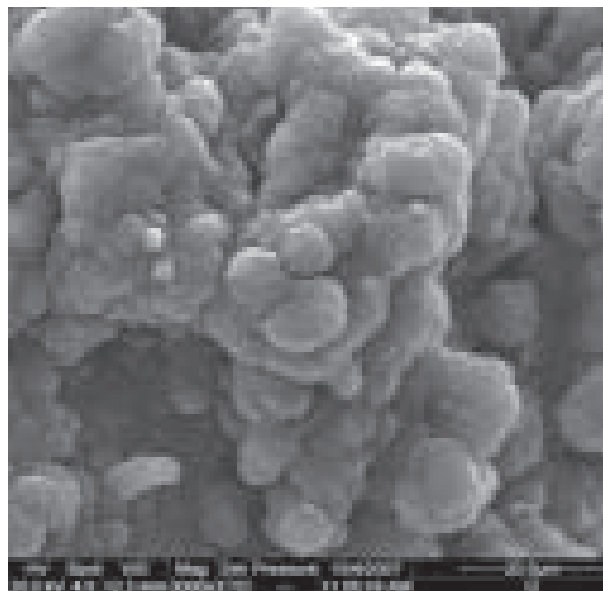
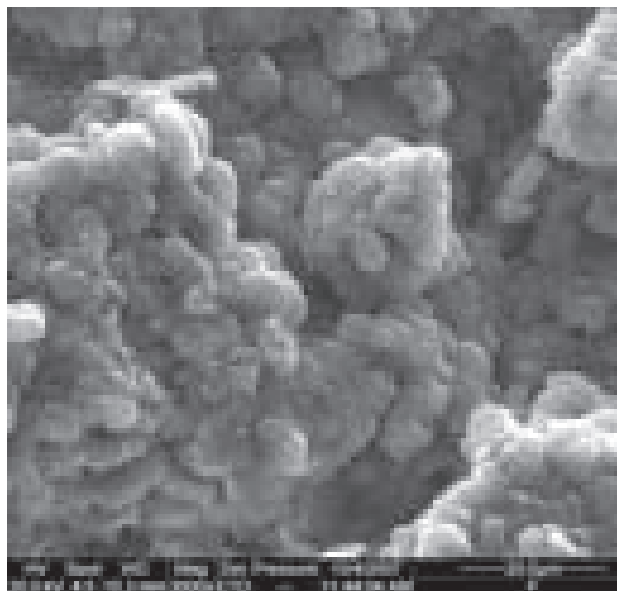




Fig 2.1. Cantiere Mauro Coni, Ales. Preparazione dell'impasto.

2.1. LE PRINCIPALI TECNICHE COSTRUTTIVE

2.1.1 Le principali tecniche costruttive in terra cruda: Adobe, Pisè, Terra-paglia, Torchis, Blocchi compressi, Bauges

Le tecniche di utilizzo della terra cruda come materiale da costruzione sono tantissime e caratterizzano la produzione edilizia di ciascuna zona nel mondo in cui il materiale è impiegato.

Tuttavia tutte sono riconducibili a 6 tecniche principali ¹:

- *Adobe*: Il termine deriva dall'arabo *al-tub* (il mattone); in Sardegna varia secondo le zone: principalmente è *làdiri*, nel Campidano centrale, anche se in altre zone abbiamo le varianti *làdini*, *làrdini*, *làdrini*, derivanti tutte dal latino *later* ².

Mattoni creati con uno stampo, a partire da un impasto di terra e paglia di consistenza tale da essere modellabile, lasciati essiccare all'aria aperta. La produzione può essere manuale ma anche completamente meccanizzata.

La messa in opera è la stessa di un muro in mattoni cotti, con ricorsi in malta di terra o di calce.

- *Pisè*: la terra viene compattata con dei pestelli entro casseforme, tradizionalmente realizzate in legno, oggi anche metalliche.

La terra, utilizzata ad uno stato tra il secco e l'umido, si versa in strati di circa 20÷30 cm alla volta, che vengono compattati manualmente con pestelli in legno o con compressori meccanici.

Estremamente diffusa in tutto il mondo, è la tecnica più utilizzata insieme all'adobe.

- *Terra-paglia*: da un impasto di terra e acqua dotato di buona coesione si ottiene una massa di consistenza fluida, che si versa sulla paglia fino ad avvolgere ogni stelo.

Il prodotto viene messo in opera con un getto tra due casseri e pestato fino a renderlo compatto.

All'essiccazione si ottengono pannelli o blocchi la cui tessitura è essenzialmente quella della paglia, dotati di forti capacità termoregolatrici, ma privi di funzione portante.

- *Torchis*: questa tecnica si realizza su un supporto costituito da una griglia, metallica o di legno, e incannucciato, ancorata ad una struttura portante.

Questa viene ricoperta da uno o più strati di terra e paglia, allo stato plastico, a creare le pareti della costruzione.

- *Blocchi compressi*: mattoni ottenuti per compattazione della terra leggermente umida in presse meccaniche o manuali. Possono anche essere stabilizzati con l'aggiunta di cemento o calce.

Le presse, inizialmente prodotte nel nord Europa (Belgio), si sono velocemente diffuse soprattutto nei Paesi Terzi per la loro praticità d'uso. Largamente utilizzati oggi, permettono di ottenere degli elementi di ottima fattura su cui è possibile effettuare un controllo di qualità costante.

- *Bauges*: Si realizza con un impasto piuttosto duro di terra e paglia, modellato a mano senza l'ausilio di casseri e impilato per realizzare la muratura. E' anche questa una tecnica largamente utilizzata, conosciuta nell'Italia centrale col nome di *massone*.

Ognuna di queste tecniche necessita preferibilmente di un particolare tipo di terra, sia a riguardo della composizione granulometrica che della lavorabilità ³.

Ogni luogo nel mondo ha dunque non proprio casualmente sviluppato una tecnica piuttosto che un'altra, per poter al meglio sfruttare le caratteristiche del materiale locale, immediatamente disponibile.

2.1.2 Storia e diffusione dell'adobe nel mondo

La terra è il materiale da costruzione più diffuso in tutte le regioni caratterizzate da un clima subtropicale, caldo-secco o moderato. Da più di diecimila anni che l'uomo costruisce città, la terra cruda, e

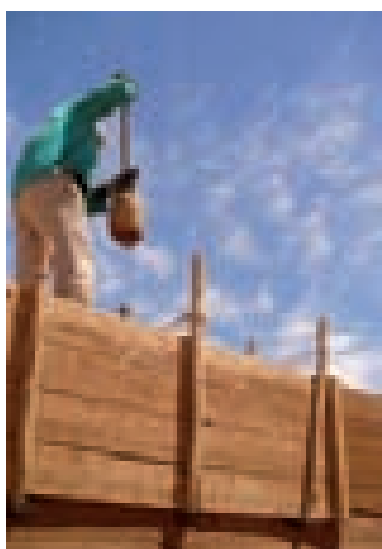


Fig. 2.2a, Messa in opera manuale di muratura in pisè. Marocco. (foto Mariana Correia)



Fig. 2.2b, Messa in opera meccanizzata di muratura in pisè. Francia. (foto Hubert Guillaud - CRATerre)



Fig. 2.3a, 2.3b. Produzione manuale e meccanizzata dell'adobe. Fig. 2.3c, 2.3d. Produzione industriale dell'adobe. (foto Maddalena Achenza)

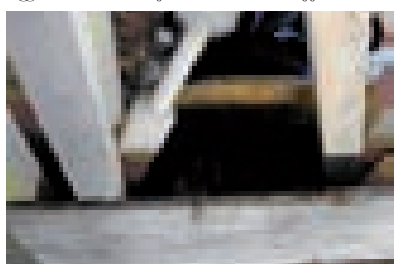


Fig. 2.4a, 2.4b. Modulo realizzato in terra paglia. (foto Maddalena Achenza)

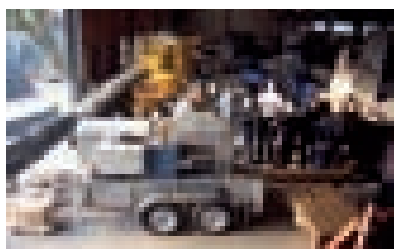
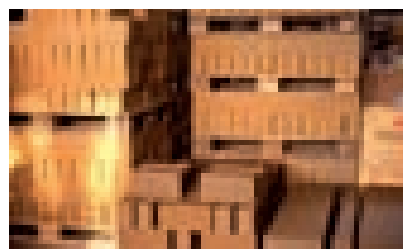


Fig. 2.5a, 2.5b. Produzione industriale di BTC della ditta OSKAM a Lekkerkerk, in Olanda. (foto Maddalena Achenza)



l'adobe in particolare, è stato il materiale da costruzione più largamente utilizzato. Lo dimostra il fatto che, secondo una recente stima dell'UNESCO all'incirca metà della popolazione mondiale vive oggi in case costruite con la terra.

Già nell'antichità è stato fatto uso abbondante di questo materiale, in Mesopotamia come nell'Egitto dei faraoni, in tutta Europa, in Africa ed in Medio Oriente; le civiltà romane, come poi quelle musulmane, ed in Asia quelle indiane, come anche quelle buddiste o quelle dell'impero cinese, costruivano in terra. Lo stesso accadeva nell'Europa medievale e simultaneamente presso gli Indiani Americani, gli Aztechi nel Messico e i Mochica nelle Ande. E' in terra cruda che le più antiche civiltà hanno edificato le loro città, di cui in tutto il mondo ci restano vestigia archeologiche eloquenti; da Gerico alla più antica città della storia, Çatal Höyük in Turchia; da Harappa e Mohenjodaro in Pakistan a Akhet-Aton in Egitto; da Chan Chan in Perù alla celebre Babilonia in Iraq; da Medinat-Al-Zahra alle porte di Cordova in Spagna, a Khirrokifia a Creta⁴. Su queste basi antiche sono state edificate città moderne in cui resta presente l'uso della terra.

Diverse città moderne hanno mantenuto l'uso ancestrale della terra: Santa Fe, capitale del Nuovo Messico negli Stati Uniti, come pure il centro di Bogotá, capitale della Colombia. E dall'Africa al Medio Oriente è un continuo susseguirsi di insediamenti in adobe: Kano in Nigeria, Agades sul Niger, Djenné in Mali, Oualata in Mauritania, Marrakech in Marocco, Adrar in Algeria, Ghadames in Libia, Sana'a nello Yemen del nord, Shibam nello Yemen del sud, Yazd in Iran.

Paradossalmente però, conosciamo meglio l'immagine dei villaggi in terra dell'Asia, dell'Africa, del Medio Oriente, o dell'America Latina, piuttosto che quelli occidentali a noi più vicini: dalle regioni aride

Fig. 2.6. Chan Chan, Perù. (foto H. Guillaud, T. Joffroy - CRA Terre)



della Spagna a quelle più piovose della Germania e dell'Inghilterra, della Danimarca e della Svezia. In Italia, alcune Regioni come il Piemonte, la Calabria, la Toscana, oltre alla Sardegna, presentano una forte tradizione costruttiva in adobe.⁵

Europa

I più antichi insediamenti in terra rinvenuti in Europa sono datati 6000 anni. Gli insediamenti primitivi sul Mar Egeo, in Tessaglia (Argissa, Nicomedia, Sesclo) presentano costruzioni miste in terra e legno. Nel mondo Egeo, sotto la pressione delle invasioni doriche, alla fine del Periodo del Bronzo, si moltiplicarono le fortificazioni. L'apparenza ciclopica della pietra rimpiazza il mattone crudo riservato alle costruzioni protette dall'Acropoli (Tirinto). In questo periodo particolare il contesto insulare cretese favorisce lo sviluppo armonioso della civiltà minoica. I superbi palazzi di Cnosso e Festo associano la terra cruda al tufo, al gesso, al marmo e al legno.

Smirne mostra un insediamento protetto da uno spesso muro in mattoni crudi. Verso la fine del III secolo ad Atene, ai piedi dell'Acropoli di Fidria, si stende la città costruita con fitte abitazioni in adobe. L'uso del mattone pentadron e tetradron (penta- o quadrangolare) si protrae al primo secolo, come conferma Vitruvio: "i muri del Tempio di Giove e le Cappelle di Ercole, la Casa di Creso a Sardi e il Palazzo di Alicarnasso, sono costruiti con mattoni di terra cruda"⁶. Gli scavi recenti nella Siria Occidentale sembrano precisare un'influenza delle culture limitrofe (Gerico), che svilupparono l'utilizzo dell'adobe. A Roma le abitazioni a capanna in legno e terra costruite fin dalla fondazione della città, lasciano a poco a poco spazio per nuove costruzioni rettangolari in mattoni crudi. Questo materiale viene anche usato per i primi edifici religiosi e pubblici della Repubblica (IV e III secolo), ma sarà presto rimpiazzato dal tufo, dal marmo e dal travertino, che diventerà successivamente il materiale di prestigio della Roma Imperiale. Il mattone crudo (ludio) sarà il materiale più usato per la costruzione di edifici di modesta importanza e per le abitazioni popolari fino all'epoca Augustea.

Nella Gallia Mediterranea le influenze elleniche e cartaginesi introdussero il mattone crudo, come confermano gli scavi nei siti di La Lagaste e di Entremont, e Vitruvio nelle sue osservazioni a Massaia (Marsiglia). Prima della diffusione del mattone crudo la Gallia Cisalpina fece un grande impiego della terra cruda nelle costruzioni rurali ed anche urbane: gli scavi della collina di Fourvière a Lione (Francia), restituiscono una muratura rustica con l'ossatura in legno, mattoni crudi e torchis⁷.

In Europa, la costruzione in terra si mantiene fino agli anni '50, anni in cui viene particolarmente rivalutata a causa dei danni della Seconda Guerra Mondiale. In questo periodo, infatti, oltre alla mancanza quasi totale di materiali da costruzione industriali, si ha l'urgente necessità di dare alloggio alle popolazioni sinistrate. Proprio in questo periodo la Germania ha sviluppato sistematicamente tutte le tecniche in terra cruda creando dei veri e propri centri di formazione; migliaia di abitazioni furono costruite in terra.

Oggi, in questi Paesi i costi energetici obbligano a riproporre nuove ricerche e applicazioni sulle costruzioni in terra.

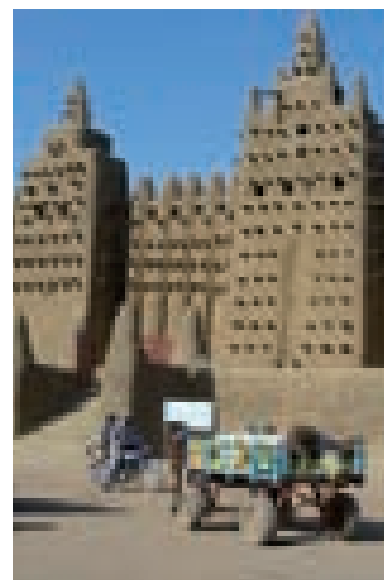
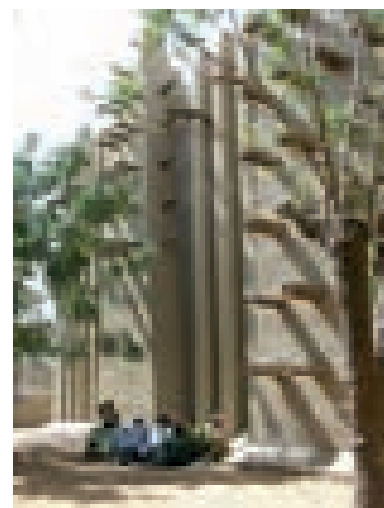
Africa

In Africa sono moltissimi i Paesi in cui l'adobe ha dato il meglio di sé. Tra le più significative civiltà spicca quella egiziana, sviluppata nel corso di tre millenni. Ai primi insediamenti umani dei siti di Merimde e di Fayum (delta del Nilo), datati al V millennio a.C., corrispondono abitazioni a graticci di canna e di piccoli rami ricoperti d'argilla o riempiti di zolle di terra. La valle del Nilo fornisce il materiale costruttivo di base: i limi e le argille che vengono poi mescolati con la sabbia del deserto e con la paglia derivata dai cereali coltivati.

Le forme e le tecniche sono diverse: le regioni settentrionali, influenzate dalle civiltà Mediterranee successive contribuirono alla diffusione dell'adobe. L'Africa dell'Est invece venne influenzata dai popoli arrivati dall'Oceano Indiano, che utilizzavano principalmente la tecnica del torchis. Molto più importante fu l'influenza dell'Islam, a partire dal VI secolo, che modificò profondamente l'aspetto delle antiche città africane introducendo l'architettura delle moschee. Tra gli esempi più significativi le moschee di San, Djenne e Mopti (Mali), che sono state modelli per le popolazioni limitrofe (Nigeria, Burkina Faso).

Fig. 2.7. Mura della Medina di Marrakech, Marocco. (foto Maddalena Achenza)

Figg. 2.8, 2.9 Moschee di Mopti e Djenne, Mali. (foto Maddalena Achenza)





Vicino e Medio Oriente

Nel Vicino Oriente gli scavi ci danno numerose informazioni sulle costruzioni in terra a partire dal Neolitico⁸. A Gerico le abitazioni più antiche (8000 a.C.) sono a pianta circolare: delle fondazioni in pietra fanno da appoggio a murature in mattoni crudi modellati a mano. A Muraybet, in Siria, i livelli superiori mostrano pianta quadrangolare con muratura realizzata in adobe.

Il periodo che va dal 5000 al 3200 a.C. dà l'avvio ad un'architettura di terra di tipo monumentale che si ritroverà nelle future città-tempio del periodo Uruk (3200-2800 a.C.). I primi santuari di culto eretti nel corso del terzo millennio (tempio di Eanna a Uruk e tempio di Enki a Eridu) sono in mattoni posti in opera ancora freschi, senza malta. Ad Ur le case sono del tipo a corte a due livelli. A Mari (Siria) l'architettura dei palazzi del periodo Isin-Larsa (2015-1560 a.C.) presenta delle murature in terra cruda con mattoni in aggetto.

Babilonia (Iraq) perpetuò la tradizione: la celebre porta di Ishtar ornata con rilievi smaltati apre un percorso che porta al santuario di Marduk dove dominava dai suoi 90 metri d'altezza la celebre torre. I babilonesi furono i precursori della terra armata: torciglioni di canne spessi come un braccio si intersecano nella muratura in mattoni delle ziggourat.

Una menzione particolare merita la cultura Persiana. A Persepoli tutte le costruzioni dispongono di alti spazi colonnati affiancati da gallerie e vestiboli a porticato. L'arte dei Persiani raggiunge il suo apice con l'uso della volta e delle cupole. Le volte non furono riservate all'architettura monumentale, ma si diffusero nelle costruzioni civili in tutte le epoche, fino ad oggi.

Nella pagina accanto, dall'alto verso il basso:

Fig. 2.10. Yemen. (foto H. Guillaud, T. Joffroy - CRATerre)

Fig. 2.11. Bam, Iran. (foto H. S. Mebrdad)

Sotto:

Fig. 2.12. Villaggio fortificato nel Fujang, Cina. (foto di Claudio Greco)



Fig. 2.13. Taos, Nuovo Messico - U.S.A. (foto Madalena Achenza)

Estremo Oriente

In India, in un periodo contemporaneo allo splendore di Ur e Babilonia, numerose città prosperarono sulle sponde dell'Indo. Sappiamo anche che in questo periodo si sviluppa il concetto di città murata interamente costruita in adobe (Kalibangan). Sui 250 insediamenti rilevati che testimoniano questa civiltà (2500-1800 a.C.), due sono particolarmente importanti: Mohendjo-Daro e Harappa, due metropoli che si estendevano per circa 850.000 mq

Il carattere urbano di Mohendjo-Daro è unico: due colline di cui una è occupata da edifici costruiti all'interno di mura fortificate, su una piattaforma di terra battuta e mattoni crudi. Sulla collina ad est si trovano delle case a corte disposte lungo strade larghe realizzate in mattoni crudi e rivestite in laterizio.

In Cina nella regione del Fujian si trovano delle abitazioni a pianta circolare o quadrangolare, o agglomerati di queste, che sono delle vere e proprie cittadelle fortificate. La vita si svolge nella grande piazza centrale, dove si svolge il mercato. Una sola porta dà l'accesso all'interno della cittadella, dove le abitazioni sono addossate allo spesso muro perimetrale e si affacciano con ballatoi continui all'interno.



America

Nell'America centrale nel periodo compreso tra il 1200 e il 1300 a.C. numerose civiltà sviluppano dei centri urbani intorno a centri di culto. Il complesso abitativo era concepito come un sistema di piccole case quadrangolari in terra e legno, con coperture di palma. L'impiego del mattone crudo appare per la prima volta tra il 500 a.C. ed il 600 d.C., periodo in cui la pietra è usata solo come rivestimento dei santuari. Nel XII secolo gli Aztechi occupano gli isolotti del lago Texcoco (Messico), dove edificano la loro capitale Tenochtitlan. I suoi quartieri residenziali si estendevano su circa 1000 ettari, con case ad un piano in adobe. La pietra era riservata ai palazzi, agli edifici di culto e alle opere di difesa.

Nell'America andina, l'impiego della terra si sviluppò in modo particolare con la civiltà dei Mochicas (II-III sec. d.C.) i quali costruivano dei canali d'irrigazione che sono delle vere e proprie dighe-acquedotto in terra battuta e adobe.

Nel VI secolo la capitale dell'impero Chimù in Perù, Chan Chan, è interamente costruita in mattoni crudi. Questo complesso, circondato da un'enorme muraglia anch'essa in terra cruda, occupa un territorio di circa 20 kmq.

Nel nord america, lungo il Rio Grande le terre argillo-sabbiose forniscono un materiale pressoché pronto all'uso. L'architettura dei pueblos testimonia una totale padronanza della tecnica costruttiva in adobe. A Taos le abitazioni costruite una sull'altra si presentano in forma piramidale a gradoni. Le murature sono intonacate con terra mescolata a paglia tritata finemente spalmata a mano. Le coperture a vigas (travi di legno a sezione circolare) sono ricoperte con uno strato di rami ed uno successivo di terra. Oggi l'adobe è associato ad un forte sviluppo dell'architettura solare e bioclimatica in queste regioni.

Dalle regioni più fredde e umide a quelle più calde e secche, dalla Scandinavia all'Equatore, gli uomini hanno adattato le costruzioni in terra alle situazioni climatiche più diverse. Nell'era moderna l'architettura in terra ha conosciuto delle sorti assai differenti a seconda dell'evoluzione economica e demografica delle diverse aree mondiali. Nei Paesi sottosviluppati del Terzo Mondo tali architetture continuano ad essere spontaneamente utilizzate, laddove esistono per tradizione, poiché la povertà non permette un'alternativa altrettanto efficace, economica e a portata di mano. Così pure nelle zone in cui l'isolamento delle popolazioni rurali è ancora forte e l'espansione del numero degli abitanti considerevole, si impone il ricorso all'autocostruzione con materiali locali immediatamente disponibili. In questi Paesi dunque, seppure la pratica costruttiva in terra sia generalmente stimata in regressione, la si può considerare in termini quantitativi stazionaria. Non è questo il caso dei Paesi e regioni in rapido sviluppo economico: qui la tradizione della costruzione in terra va scomparire in favore di stereotipi importati dai Paesi Industrializzati.

Negli Stati Uniti le tradizioni costruttive indiane e spagnole si sono conservate tenacemente in California, Nuovo Messico e negli Stati vicini durante tutto il secolo scorso. A più riprese fino alla metà del '900 questi procedimenti hanno dato luogo a dei revival stilistici

che hanno assicurato una relativa continuità fino alla crisi energetica del 1973 quando si è andata diffondendo una vera e propria rinascita dell'architettura di terra in tutto lo Stato del Nuovo Messico.

In Europa la pratica tradizionale della costruzione in terra in alcune città (come per esempio a Lione in Francia o a Weilburg in Germania) si è mantenuta fino alla metà del XX secolo sia per le classi più povere che per la borghesia. Nelle campagne l'uso della terra si è prolungato diffusamente fino alla Seconda Guerra Mondiale.

La stessa tradizione è stata esportata dagli Europei in Australia e Nuova Zelanda, dove oggi l'uso del pisé e dell'adobe stanno vivendo un periodo di importante sviluppo.

2.1.3 La classificazione del materiale ⁹

Per poter essere certi dell'adeguatezza di una terra ad essere impiegata in edilizia è necessario conoscerne approfonditamente le caratteristiche fondamentali. A tal fine è possibile utilizzare una grande quantità di analisi, effettuabili sia nel sito d'estrazione della terra che in laboratorio. In realtà anche pochi test, ma accuratamente scelti e compiuti, sono sufficienti a fornire una adeguata gamma di elementi utili ad una corretta classificazione. Distinguiamo in primo luogo gli esami da effettuare in laboratorio e quelli effettuabili nel luogo di estrazione. Entrambi sono necessari, tuttavia i secondi, per quanto empirici, ci possono fornire una prima indicazione sulla necessità di procedere ad ulteriori analisi di laboratorio, le quali sono evidentemente più sofisticate, più lunghe da eseguirsi e, soprattutto, molto più costose.

L'eterogeneità delle terre rende abbastanza difficoltoso il riconoscimento in loco, anche se con una certa esperienza ed un corretto confronto dei singoli dati è possibile ottenere delle informazioni paragonabili ai corrispondenti test di laboratorio. È consigliabile sfruttare le competenze locali e l'esperienza tradizionale, come anche procedure di altre discipline (geologia, agronomia, pedologia), che possono fornire ulteriori indicazioni utili ad una corretta interpretazione.

E' assolutamente necessario tuttavia essere certi dei risultati ottenuti prima di procedere all'utilizzo di una qualsiasi terra in edilizia, prima di tutto per garantire la necessaria sicurezza e, non di meno importanza, ottenere un certo controllo sui tempi e i costi di produzione degli elementi costruttivi e della loro messa in opera.

Non esiste una procedura definita; esistono invece una serie di controlli, che danno risultati i quali, se osservati e confrontati tra loro, danno una interpretazione completa delle proprietà fisico-chimiche del materiale analizzato. In generale si passerà gradatamente da esami preliminari, visivi o manuali, a più complessi esami da effettuare in laboratorio, nel caso in cui i primi siano discordanti o addirittura contraddittori.

2.1.3.1 Le analisi preliminari

Nella prima fase della scelta del materiale da impiegare per costruire è possibile effettuare una serie di semplici esami direttamente nel

luogo di estrazione. Questo ci offre la possibilità, in tempi brevissimi, di attuare una scelta tra le diverse possibilità che ci vengono offerte. Si tratta di esami approssimativi che tuttavia possono, con una certa esperienza, fornire elementi sufficienti ad una prima valutazione di idoneità di quel terreno ad essere impiegato in edilizia.

Al termine di queste prove si sa se la terra contiene molta o poca ghiaia, molti o pochi elementi fini. È possibile valutare la qualità degli elementi fini, distinguendone i limi dalle argille e constatare la presenza di materie organiche. Si tratta di saggi di terreno effettuati con mezzi di fortuna che possono mancare di precisione, ma che risultano essere molto utili quando si lavora in condizioni difficili ed lontani da un laboratorio. Nondimeno questi saggi, applicando un certo rigore e sistematicità, permetteranno di dare delle stime assai precise sulla qualità della terra che si prevede di impiegare in edilizia.

a. Prova al tatto

Si prende un poco di terra nel palmo della mano e con le dita dell'altra si frantumano eventuali agglomerati. La sensazione di abrasione sulla pelle è indice di presenza di sabbia: le frazioni più fini rappresentate dai limi e dalle argille, infatti, sono pressoché impalpabili. La presenza di agglomerati più o meno resistenti alla pressione tra le dita è indice di presenza di elementi collanti (argille), soprattutto quando questi oppongono una certa resistenza alla pressione. Se umidificata, la terra sabbiosa diventa mediamente plastica e poco coesa, quella argillosa diventa plastica e colloso.

b. Esame visivo

Si esamina la terra secca ad occhio nudo e si valuta la differenza nella sua granulometria. Si osserverà la presenza di ghiaie, sabbie ed un'altra frazione, difficilmente distinguibile ad occhio nudo, costituita da elementi di diametro inferiore a 0,08 mm. Si tratta della frazione delle sabbie fini, dei limi e delle argille. In generale, nell'effettuare la prove è necessario notare che la terra deve avere granulometria variabile, deve contenere cioè sia elementi grossi (anche fino a 2 cm di diametro), sia elementi fini e argille. E' bene ricordare che il colore della terra non è indice di nessuna particolare qualità della terra stessa: è solo il frutto della predominanza di un determinato componente (ferro, zolfo, ecc.) che non necessariamente influisce sulle prestazioni meccaniche della terra.

c. Prova olfattiva

Questa prova ci permette di valutare la presenza di elementi organici nella terra. Se umidificata o riscaldata, infatti, una terra organica presenterà un marcato odore di humus o muffa, se proveniente da uno strato sedimentale sufficientemente profondo, risulterà priva di particolari odori.



Fig. 2.14. Prova di lavaggio.

d. Prova di lavaggio

Questa prova ci dà la possibilità di valutare la presenza di argille nella terra. Si effettua eliminando dalla terra gli elementi più grossi (ciottoli o ghiaie) e impastandola con acqua fino a raggiungere lo stato plastico. A questo punto si lavano le mani: la terra è sabbiosa se il lavaggio risulta facile e i grani si staccano da soli dalla pelle; è argillosa se il lavaggio risulta difficile o addirittura impossibile senza l'aiuto dell'altra mano.

E' importante che le argille siano presenti in quantità sufficiente (min. 10 % in peso) a garantire la necessaria coesione.

e. Prova di aderenza

Si prende una massa di terra umida, ma che non si incolli alle dita, e vi si affonda una spatola od un coltello.

La terra è molto argillosa se la spatola affonda difficilmente e se la terra vi aderisce quando la si estrae. La terra è mediamente argillosa se la spatola penetra senza grande difficoltà e se la terra vi aderisce quando la si estrae. La terra è poco argillosa se si affonda e si estrae la spatola senza sforzo anche se essa rimane sporca quando la si estrae.

f. Sedimentazione

Le prove descritte precedentemente ci danno una discreta valutazione della tessitura della terra e delle quantità delle diverse frazioni. Tuttavia una diagnosi fatta soltanto con queste prove risulterebbe piuttosto grossolana.

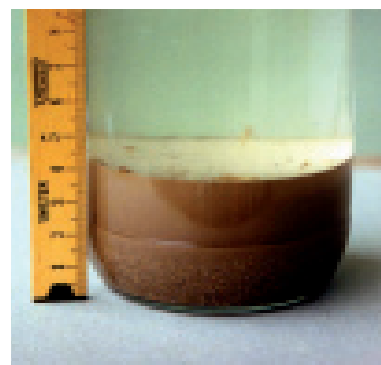
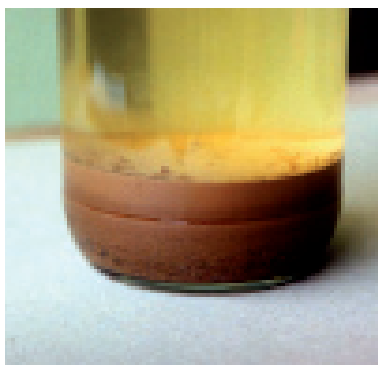
Una prova ulteriore, definibile di sedimentazione semplificata, ci consente di perfezionare ulteriormente il quadro.

La prova si effettua con l'aiuto di pochi strumenti: un flacone di vetro trasparente, cilindrico, a fondo piatto, di capacità minima di un litro, richiudibile.

Si riempie il flacone con della terra fino ad un quarto della sua altezza, se ne completa i tre quarti del volume con dell'acqua pura e si lascia riposare per permettere un buon imbibimento di tutte le particelle.

Si agita bene il contenitore e lo si lascia decantare per almeno un'ora. Si ripete l'operazione ancora una o due volte, poi si attendono almeno 8 ore affinché tutto il materiale si depositi sul

Figg. 2.15. Prove di sedimentazione.



fondo. A questo punto si procede alla misurazione delle altezze dei diversi strati. Occorre fare attenzione al fatto che la percentuale delle frazioni più fini può essere falsato dal fatto che risultano leggermente dilatate e dunque un po' più importante che nella realtà. Risulta anche piuttosto difficile riconoscere le argille dai limi, ma normalmente, incrociando i dati ottenuti con le prove precedenti, si riesce ad ottenere delle letture veritiere.

g. Ritiro

Il test di ritiro lineare, o test di Alcock, è realizzato con l'aiuto di una stecca in legno di 60 cm di lunghezza, 4 cm di larghezza e 4 cm di profondità, a cui su una faccia viene eseguita una scanalatura profonda un centimetro.

La prova si effettua ingrassando bene le facce interne con vaselina o altro grasso, di modo da evitare spaccature dell'impasto in fase di essiccazione. Successivamente si riempie la scanalatura con un impasto di terra da cui sono stati eliminati gli elementi più grossi. Si attende quindi che l'impasto si essicchi completamente (tre giorni almeno, in ambiente asciutto), si spinge la massa di terra secca e indurita verso una delle estremità della scanalatura e si misura il ritiro totale della terra nell'altra estremità. Questo sarà più importante quanto più la terra è argillosa; quasi nullo se la terra è prevalentemente sabbiosa.



Figg. 2.16a, 2.16b. Prova di Ritiro.

2.1.3.2 Analisi approfondite

E' possibile che le prove descritte precedentemente, soprattutto ad una persona poco esperta, non bastino a dare un quadro sufficientemente chiaro del tipo di terra a disposizioni.

E' possibile tuttavia approfondire le indagini senza dover necessariamente ricorrere a costosi ed impegnativi test di laboratorio.

Si tratta ancora una volta di verifiche basate sull'osservazione della tessitura, della capacità di coesione e della plasticità della terra in esame. Gli strumenti necessari sono di uso comune, recipienti, cucchiaini, un tubo di gomma.

a. Decantazione

La procedura consiste nell'agitare in acqua una certa quantità di terra di cui si sia determinato preventivamente il peso secco, nel lasciare sedimentare la sospensione per un tempo prestabi-

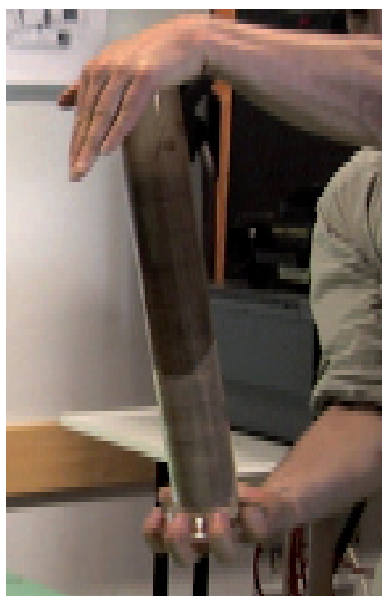


Fig. 2.17. Preparazione della prova di Decantazione.

lito e nel decantare l'acqua di lavaggio. A questo punto l'acqua e i materiali in sospensione vengono prelevati con l'aiuto di un tubo flessibile, ripetendo l'operazione fino a che questa non risulti limpida. Infine si essicca il materiale lavato e si determina la perdita in peso subita, espressa come percentuale del peso iniziale. La norma richiede che i pietrischi, i pietrischi e le gragniglie non subiscano perdita maggiore dell'1 % e le sabbie una perdita maggiore dei 2%.

b. Test di resistenza (a secco)

Si preparano due o tre biscotti di terra allo stato plastico (diametro di circa 8 cm, spessore 1 cm). Le si mettono al sole o in forno fino a quando non si sono completamente essiccate. Si spezzano a metà e si prova a ridurle in polvere tra il pollice e l'indice. Per finire, si valuta e si interpreta la loro resistenza.

- se la pastiglia è molto difficile da rompere e si sbriciola con un colpo secco, come un biscotto; oppure se non si riesce a sbriciolare la terra tra il pollice e l'indice, ma solo a frantumarla senza ridurla in polvere: si tratta di un'argilla pressoché pura.
- se la pastiglia non è troppo difficile da rompere e si arriva a ridurla in polvere tra il pollice e l'indice con qualche sforzo, si tratta di un'argilla ricca di limi o sabbia.
- se la pastiglia si rompe facilmente e si riduce in polvere tra il pollice e l'indice senza alcuna difficoltà siamo in presenza di sabbie, o sabbie fini, e poca argilla.

Figg. 2.18a, 2.18b, 2.18c. Test di resistenza a secco.



c. *Test di trasudamento*

Si prepara una pallina di malta di terra fine (ϕ dei grani inferiore a 5 mm) allo stato plastico di 2 o 3 cm di diametro.

La si appiattisce leggermente sul palmo della mano e la si batte per far fuoriuscire l'acqua. L'aspetto della terra può essere liscio, brillante o ruvido. Si pressa la terra appiattita tra il pollice e l'indice, se ne osservano le reazioni e le si interpretano.

La reazione è considerata rapida se bastano pochi colpetti per far emergere l'acqua sulla superficie e se comprimendo l'impasto l'acqua sparisce e la pallina si sgretola con facilità: si tratta di una terra a prevalenza di sabbie molto fini e/o limi.

La reazione è lenta se sono necessari almeno 20-30 colpetti per far fuoriuscire l'acqua contenuta nell'impasto e se alla pressione la pallina non si fessura né si sgretola, ma si appiattisce: si tratta di una terra a prevalenza di limi leggermente plastici o di argille limose. Nell'ultimo caso, non vi è alcuna reazione di trasudamento in superficie e alla pressione la terra rimane brillante; la reazione in questo caso di definisce molto lenta o nulla: si tratta di una terra argillosa.

d. *Test di consistenza*

Si prepara una pallina di 2 o 3 cm di diametro con un impasto di terra fine. La si bagna per poterla modellare, senza che questa diventi però collosa. Si lavora la terra su un piano in modo da formare un lungo cordone. Se il cordone si spezza prima che raggiunga i 3 mm di diametro, la terra è troppo secca e bisogna aggiungere un po' d'acqua. Il cordone deve iniziare a frazionarsi quando il suo diametro è uguale a 3 mm.

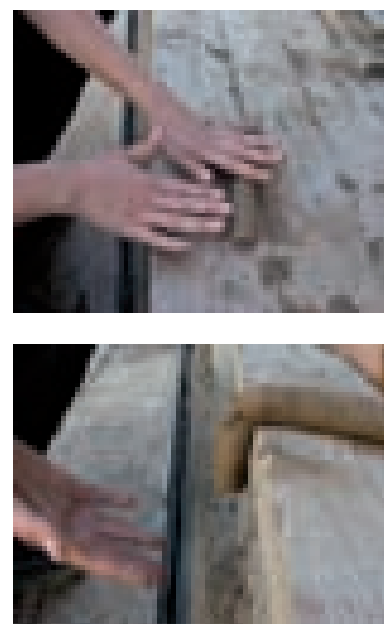
Frazionato il cordone, si forma con un po' della terra una piccola sfera e la si schiaccia tra il pollice e l'indice, quindi si interpretano i risultati. Se la sfera formata si schiaccia difficilmente, non si fessura né si sbriciola significa che la terra contiene molta argilla. Se la sfera formata si fessura e si sbriciola, la terra contiene poca argilla. Nel caso in cui il cilindro e le sfere formate siano molli o porose saremo in presenza di terre organiche.

e. *Test di coesione*

Si prepara un cilindro di terra della forma di un sigaro di circa 12 mm di diametro. L'impasto non dovrebbe risultare collosa di modo che possa ulteriormente modellato in un rotolo continuo di 3 mm di diametro. Il cordone viene messo nel palmo della mano, poi lo si appiattisce tra il pollice e l'indice a cominciare da una delle due estremità fino ad ottenere un nastro da 3 a 6 mm. di larghezza (maneggiare con precauzione) di lunghezza più grande possibile. A questo punto si misura la lunghezza ottenuta prima che il nastro si spezzi: se la lunghezza raggiunge i 25-30 centimetri la terra contiene molta argilla, da 5-10 cm ottenuti con difficoltà la terra contiene una debbole quantità di argilla, se non si riesce a modellare alcun nastro, la terra non contiene una quantità di argilla apprezzabile.

Lo stesso procedimento si può effettuare facendo scorrere il rotolo formato in precedenza lungo il bordo di un piano e verificando la lunghezza del moncone staccatosi.

Figg. 2.19a, 2.19b. Test di coesione.



2.1.3.3. Analisi di laboratorio

Queste analisi non sono di solito strettamente necessarie, a meno che non si voglia avviare una produzione permanente di elementi in terra cruda (adobe o premiscelati per malte e intonaci, ad esempio), per cui è necessario, soprattutto in termini di economicità, un controllo perfetto della quantità dei vari componenti la miscela.

In questo modo saremo certi della composizione granulometrica della terra a disposizione, del loro contenuto in argilla, della natura e della qualità della stessa, del tenore ottimale dell'acqua. Di seguito sono riportate le descrizioni di alcuni dei test consigliati.

a. Analisi granulometrica

Questo test si effettua in due fasi: la prima permette di quantificare le frazioni più grosse della terra, la seconda quelle più fini. Si tratta di procedure effettuabili solo da laboratori specializzati dotati di strumentazioni ad alta precisione.

1. Setacciatura. Consiste nel setacciare la terra, allo stato secco o umido, attraverso una serie di vagli standardizzati sovrapposti in ordine decrescente (i più fini in basso) e nel determinare la quantità in peso delle frazioni dei grani trattenuti da ciascun vaglio.

L'analisi per setacciatura si effettua sulla frazione di grani di diametro superiore a 0,08 mm (misura più piccola possibile dei vagli) e ci dà la possibilità di tracciare una curva, la curva granulometrica appunto, che ci fornisce l'opportunità di valutare a colpo d'occhio le percentuali di ciascuna frazione contenuta nella terra.

2. Sedimentometria. L'analisi granulometrica che si ottiene per setacciatura è incompleta: se può ritenersi sufficiente per la maggior parte delle applicazioni nel campo dei lavori stradali, essa è insufficiente per le costruzioni in terra che esigono un'analisi della tessitura degli elementi fini con un diametro inferiore a 0,08 mm, ovvero delle argille. Questa analisi viene fatta per sedimentometria, procedimento che utilizza la differenza di velocità di caduta delle particelle di una terra in sospensione nell'acqua. I risultati vanno a completare la curva granulometrica fino alla frazione di diametro di 0,001 mm.

b. Prova di coesione

La prova di coesione, chiamata anche prova a trazione umida, o, ancora, prova dell'8 per via della forma del campione testato, è stato messo a punto dal tedesco Richard Niemeyer¹⁰. Fu presentato per la prima volta nel 1944 e definitivamente adottato dalla normativa tedesca DIN¹¹ nel 1956. Si tratta di una vera e propria prova di trazione effettuata su materiale allo stato umido, posizionato all'interno di una piccola forma in legno a

forma di 8 (da cui il nome) divisa in mezzeria. Si calcola la coesione del materiale sottoponendolo ad uno sforzo di trazione con un peso applicato alla base del campione. Più alto sarà il valore del peso sopportato, più la terra sarà ricca di argille.

c. Definizione della plasticità

Una terra può avere differenti stati di consistenza: può essere liquida, plastica o solida. Il ricercatore svedese Atterberg ha definito questi diversi stati idrici e i confini che le separano attraverso limiti e indici espressi in % ponderale di tenore d'acqua. E' possibile determinare cinque limiti: il limite di liquidità, di plasticità, di ritiro, di assorbimento e di aderenza.

La determinazione dei limiti di Atterberg viene praticata sulla frazione "malte fini" della terra che passa cioè attraverso il setaccio da 0,4 mm, poiché queste sono i soli elementi sui quali l'acqua agisce senza modificarne la struttura.

I primi due limiti sono i più importanti perché ci permettono di ottenere l'indice di plasticità, che è il valore che caratterizza la plasticità della terra. Questo si ricava, infatti, dalla differenza tra il limite di liquidità (che definisce il passaggio dallo stato plastico allo stato liquido) ed il limite di plasticità (che definisce il passaggio dallo stato plastico a quello solido con ritiro).

Più l'indice di plasticità è elevato, più il rigonfiamento per umidificazione della terra ed il suo ritiro per essiccazione saranno importanti. L'indice di plasticità precisa dunque i rischi di deformazione del materiale.

d. Prove di compressione ¹²

Le prove di compressione vengono effettuate in laboratorio con gli stessi macchinari usati per analoghe indagini su altri materiali.

Sarà opportuno, tuttavia, da parte dei tecnici servirsi di presse a bassa velocità di carico e tarate per carichi inferiori a 5000 kg/cm².

Se testati con le stesse metodologie utilizzate per il laterizio o, peggio, per il calcestruzzo, i risultati risulterebbero infatti fortemente falsati, a causa della bassa resistenza a compressione del materiale testato.

Per quanto riguarda le malte e gli intonaci a base di terra le indagini verranno condotte come per tutte le malte.

Per quanto riguarda invece gli adobe occorre osservare che questi non possono essere testati con gli stessi metodi utilizzati per altri materiali da muratura (cementi o laterizi), ma necessitano di qualche accorgimento particolare. Innanzitutto verranno preparati dei provini con due metà adobe sovrapposti (20 X 20 X 20 cm), allettati con malta dello stesso impasto utilizzato per gli adobe.

Le due facce, superiore e inferiore, dovranno essere preventivamente ricoperte di uno strato di scagliola, al fine di renderle lisce e perfettamente orizzontali. Il posizionamento nella pressa dovrà prevedere il posizionamento su ogni faccia di un foglio

di teflon da 1,5 mm. ed uno di neoprene da 4 mm. Il tutto per evitare falsi risultati dovuti alla disomogeneità delle superfici e agli attriti tra le facce a contatto.

e. Stabilizzazione

Stabilizzare una terra significa essenzialmente modificare le proprietà di un sistema terra-acqua-aria per migliorarne, anche considerevolmente, le caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche.

E' un processo che esiste da sempre nella tradizione costruttiva in terra cruda, con aggiunte di fibre vegetali o animali (paglia, crine di cavallo), di sostanze collanti (caseina, sangue, sterco animale, albume d'uovo) di cementi, calce o bitumi. Tuttavia, sebbene sia largamente praticata, la stabilizzazione non è una scienza esatta e non si conosce ancora uno stabilizzante "miracoloso" che risponda a tutte le problematiche.

f. Principi

Costruire in terra in un determinato sito implica una scelta fra tre possibilità principali:

- impiegare la terra disponibile in loco ed adattare al meglio il progetto alla qualità di quella terra;
- impiegare un'altra terra, portata nel luogo di costruzione che meglio risponde alle esigenze del progetto;
- modificare la terra locale per meglio adattarla alle esigenze del progetto.

É questa terza possibilità che viene chiamata stabilizzazione e che definisce l'insieme dei procedimenti che permettono un miglioramento delle caratteristiche della terra al fine di:

- ottenere dei miglioramenti delle caratteristiche meccaniche: aumentare la resistenza a compressione secca e umida, la resistenza a trazione e al taglio;
- ottenere una migliore coesione;
- ridurre la porosità e le variazioni di volume: agire sul rigonfiamento/ritiro all'acqua;
- migliorare la resistenza all'erosione del vento e della pioggia: ridurre l'abrasione di superficie e impermeabilizzare.

Si contano tre procedimenti di stabilizzazione:

1. Stabilizzazione meccanica, che si ottiene attraverso il compattamento della terra, azione che ne modifica la densità, la resistenza meccanica, la comprimibilità, la permeabilità e la porosità.
2. Stabilizzazione fisica ottenuta per mezzo di interventi sulla tessitura: si può ottenere una miscela controllata delle diverse frazioni granulometriche attraverso l'eliminazione

per setacciatura o, viceversa, aggiunta di inerti più o meno grossi.

3. Stabilizzazione chimica, che si ottiene aggiungendo altri materiali o prodotti chimici che ne modificano le proprietà, sia grazie ad una reazione fisico-chimica tra particelle e materiale o prodotto aggiunto, sia anche creando una matrice che legghi o involuppi le particelle. La reazione fisico-chimica può causare la formazione di un nuovo materiale: composti pozzolanici risultanti da una reazione tra argilla e calce, per esempio.

La stabilizzazione non è un obbligo. In genere, soprattutto per edifici di dimensioni contenute, se ne può benissimo fare a meno. Eppure si rileva una tendenza attuale che raccomanda un ricorso fin troppo sistematico alla stabilizzazione. Questa attitudine è spesso sconsigliata poiché la stabilizzazione può essere all'origine di un sovrapprezzo notevole: dal 30 a 50% del prezzo di costo del materiale. Né si può sottovalutare il fatto che la stabilizzazione complica la produzione edilizia: per esempio si allungano notevolmente i tempi da dedicare agli studi preliminari sul comportamento del materiale.

Conviene dunque insistere sul fatto che il ricorso alla stabilizzazione non deve essere consigliato se non in quei casi di assoluta necessità e che deve essere comunque evitato in un contesto di costruzione in economia.

Se si prendono in considerazione i rischi di una esposizione del materiale all'acqua, si potrà dire che:

- non è necessario stabilizzare quando il materiale non è esposto all'acqua come nel caso di murature protette, murature intonacate, murature interne, architetture ben concepite in funzione della logica del materiale terra.
- occorre stabilizzare quando il materiale è esposto a degrado: nel caso di architetture mal concepite, che trascurano le regole dell'arte del costruire in terra o costrette dal loro stesso impianto, ad esempio a causa di contatto con terreni umidi, o nel caso di murature esposte alla pioggia battente; per migliorare la resistenza a compressione degli elementi costruttivi; per densificare il materiale o, al contrario, alleggerirlo.

In ogni caso è bene tener presente che un'eccessiva stabilizzazione, ovvero un dosaggio improprio di qualunque stabilizzante, può comportare un indebolimento notevole del materiale.

2.1.4 L'adobe: tecniche di produzione

La tecnica costruttiva mattone di terra cruda essiccato al sole è, tra le tecniche costruttive che adoperano la terra cruda come materiale di base, quella maggiormente diffusa nel mondo. Gran parte dell'edilizia dell'Europa, degli Stati Uniti, ma anche dell'Africa, dell'Estremo Oriente e dell'America Latina è realizzata con questa tecnica.

Il mattone crudo è più frequentemente indicato con la parola spagnola *adobe*, la cui origine deve essere ricercata nel termine arabo *tub* e dall'egiziano *thobe*, da parte sua il dizionario Castigliano recita: “*adobe, mattone di fango crudo, dall'arabo tub (al-tub): mattone, prima attestazione 1157. In portoghese adobe, portoghese dialettale adobo, Catalano (valencia) tova, Aragona adova, Murcia atoba, , 'mattone'*”. Il mondo scientifico ha accettato oramai universalmente la parola *adobe*.

La produzione dell'adobe rappresenta uno dei più semplici processi produttivi di materiali da costruzione. La storia, la geografia, e le tecniche di produzione dell'adobe mostrano un gran registro di varianti: l'adobe infatti può essere prodotto a partire da una terra allo stato liquido o plastico, con o senza stampi di dimensioni e forme diverse. Lo stato plastico prevede anche una produzione per estrusione. Gli adobe possono essere sostanzialmente raggruppati in tre distinte categorie:

- adobe plasmati a mano, senza stampo, in forme coniche, cilindriche, piriformi o cubiche.
- adobe prodotti manualmente o meccanicamente con l'ausilio di stampi di legno o di metallo. In questo caso la loro forma sarà più regolare e la produzione più omogenea.
- adobe prodotti per estrusione con le stesse metodologie utilizzate nelle filiera del mattone cotto. Le dimensioni in generale, quale che sia il metodo di produzione, sono contenute tra i 20 e i 60 cm di lunghezza.

In generale l'adobe è prodotto con un impasto di terra, acqua e paglia, mescolati in proporzioni che dipendono sostanzialmente dalle caratteristiche chimico-fisiche della terra utilizzata. La terra deve essere innanzi tutto una terra derivata da scavi a profondità normalmente superiori ai 50-80 cm, al di sotto cioè dello strato di terra contenente elementi organici. La presenza di tali elementi potrebbe infatti condurre a pericolosi fenomeni di marcescenza e imputridimento di porzioni dell'adobe, causando patologie anche gravi nelle murature con essi realizzate.

L'aggiunta della paglia alla terra serve per creare una struttura fibrosa pluridirezionale, che contribuisce a ridurre il ritiro e la fessurazione da esso indotta. Le fibre inoltre permettono di accelerare il processo di essiccazione perché consentono un miglior drenaggio dell'umidità verso l'esterno attraverso i loro canali, alleggeriscono il materiale ed esaltano le sue proprietà termoisolanti. Al posto della paglia si possono adoperare fibre sintetiche o animali (crine).

La terra per la preparazione degli adobe non deve contenere materiali organici, per cui va prelevata almeno 30÷50 cm al di sotto del piano di campagna. La composizione granulometrica deve essere tale da poter ottenere degli adobe sufficientemente compatti e resistenti, mentre la consistenza deve conferire all'impasto un'adeguata lavorabilità. La terra dev'essere conservata avendo cura di evitare che si mescoli con terreno organico e con la vegetazione. Indicazioni di massima sulla granulometria sono le seguenti:

- argilla 12÷18%
- limo 10÷35%
- ghiaia-sabbia 55÷75%

Queste percentuali possono variare in quanto le caratteristiche della terra non sono uniformi in una stessa zona di estrazione.

La paglia, tagliata in steli lunghi non più della misura più piccola dei lati dell'adobe prodotto (10 cm, in generale), si aggiunge in percentuale variabile sino al 3% in peso.

La prima fase della produzione dell'impasto è l'umidificazione della terra per ottenere la giusta plasticità: la quantità d'acqua da aggiungere è variabile in funzione del grado di lavorabilità che si desidera ottenere e del tipo di terra a disposizione (quantità e tipo di argilla). Dopo l'umidificazione si aggiunge la paglia e si mescola per ottenere un impasto uniforme. Raggiunto il desiderato grado di omogeneità si passa alla produzione dei blocchi: l'area interessata dev'essere spianata (in alternativa si può adoperare un semplice basamento in legno) e ricoperta con uno strato sottile di sabbia, per evitare che l'adobe ancora umido aderisca al terreno.

Lo stampo può essere singolo o multiplo, in legno o in acciaio, privo o munito di fondo. Le sue dimensioni sono variabili a seconda della tradizione locale, anche se a ciò si affianca l'esigenza di realizzare adobe di dimensioni o forme differenti (ad esempio per le soluzioni d'angolo e per le volte dei forni).

Per evitare che l'adobe aderisca alle pareti dello stampo, queste vengono immerse in acqua prima di ogni sformatura.

La forma dei blocchi avviene riempiendo lo stampo e comprimendo l'impasto contro le sue pareti per formare gli spigoli ed eliminare le cavità che si possono formare tra uno strato e l'altro; si livella la superficie per eliminare il materiale in eccesso, si sfila lo stampo e si lascia essiccare l'adobe.

Dopo qualche giorno, quando è possibile maneggiarlo senza che si deformi, esso verrà voltato e poggiato di taglio per completare l'essiccazione in modo uniforme su tutte le facce.

Non appena l'adobe si è indurito e non corre il pericolo di lesionarsi nel trasporto, anche se non ha completato il processo di essiccazione si trasferisce in un'altra area, dove viene accatastato con gli altri adobe disposti di taglio e distanziati fra loro per consentire la ventilazione.

Quando l'essiccazione è terminata gli adobe vengono impilati in attesa di essere trasferiti al cantiere edile.

2.1.5 Metodologie per il controllo in cantiere dei prodotti

Il settore della terra cruda ha oramai a disposizione numerosi risultati di studi e ricerche condotti negli ultimi 20 anni, basti pensare alle recenti normative del Perù, della Nuova Zelanda e dell'Australia, della Germania. Ma è anche possibile, in assenza di una normativa ufficiale di riferi-

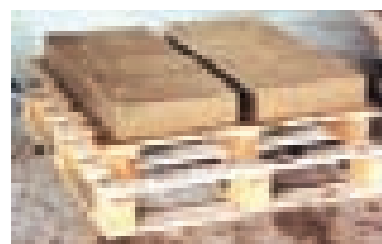
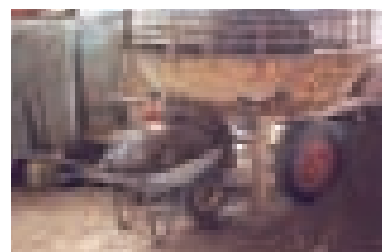
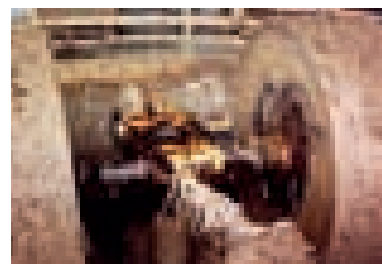
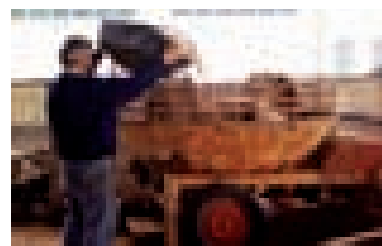
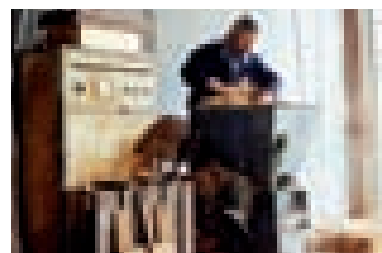


Fig. 2.20. Produzione dell'adobe presso il cantiere della Cooperativa "Terra" di San Sperate, Cagliari.

mento, come avviene in Italia, effettuare dei semplici test di controllo, oramai sufficientemente verificati da una lunga esperienza.

Questi consentono ai produttori una continua conoscenza e costante verifica della qualità dei prodotti con ciascuna partita di terra; agli acquirenti danno l'opportunità di poter effettuare una scelta tra diverse opzioni d'acquisto, anche in assenza di schede tecniche dei prodotti.

a. Analisi visiva.

Si analizzano le superfici di tutti gli adobe per rilevare la presenza di eventuali fessurazioni, che vengono poi contate e misurate.

L'adobe non deve presentare più di tre fessurazioni, la cui lunghezza deve essere non superiore a 60 mm e la cui larghezza deve essere non superiore a 3 mm.

b. Analisi al tatto

Il primo controllo da effettuare consiste in uno sfregamento delle superfici con il palmo della mano. La quantità e la composizione della terra così asportata ci consentono di avere un'indicazione di massima sulla granulometria.

Per quanto attiene l'integrità degli spigoli, negli adobe di qualità scadente anche una leggera pressione delle dita è sufficiente per determinare il distacco di quantità considerevoli di materiale.

Se, come auspicabile, questa indagine preliminare è superata, si può provare a percuotere gli spigoli dell'adobe con il manico di un cacciavite. Questi ultimi due test devono essere condotti sui vertici dell'adobe e in più punti per ciascuno spigolo, per poter formulare un giudizio che non risulti legato ad eventuali anomalie locali.

c. Prova di abrasione

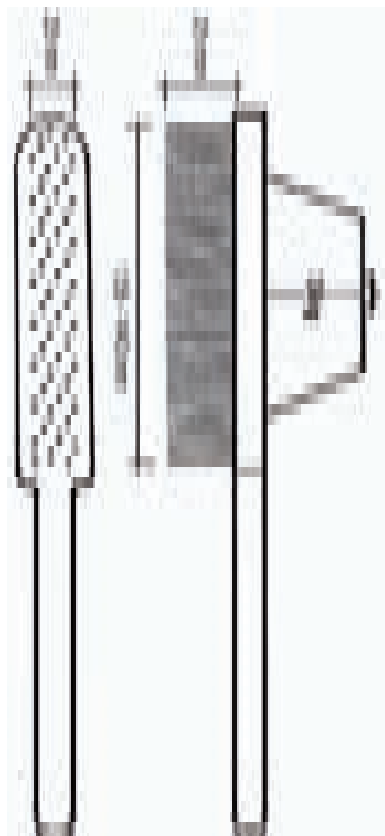
La prova di abrasione¹³ viene condotta con l'ausilio di una spazzola con setole metalliche avente le dimensioni indicate in figura 2.6; una zavorra di 3 kg.

Si procede come segue:

si misura la massa prima della prova; si esegue l'abrasione; si misura la massa al termine della prova; si determina per differenza la quantità di materiale abraso; si misura l'area della superficie abrasa. L'azione abrasiva dura un minuto al ritmo di un ciclo di andata e ritorno al secondo. La faccia dell'adobe da testare è quella esposta all'ambiente esterno.

Fig. 2.21. Spazzola con setole metalliche utilizzata per la prova di abrasione.

Figg. 2.22a, 2.22b. Prove di Abrasione. (foto A. Pistuddi, B. Salvan)



d. Prova di assorbimento

È una prova di durabilità 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.

Per la prova si utilizzano un contenitore per l'acqua, una riga graduata al mm.

La prova di assorbimento viene effettuata su campioni interi, per ciascuno dei quali si procede come segue:

- si dispone l'adobe sul fondo di un contenitore che viene riempito d'acqua in modo tale che esso risulti immerso per un'altezza di 3 cm;
- 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.



Figg. 2.23, 2.24. Prove di Assorbimento. (foto A. Pistuddi, B. Salvai)

e. Prova di erosione

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. Per la prova si utilizza 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.

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 dev'essere eseguita in un luogo all'aperto riparato dal vento e dall'irraggiamento diretto.

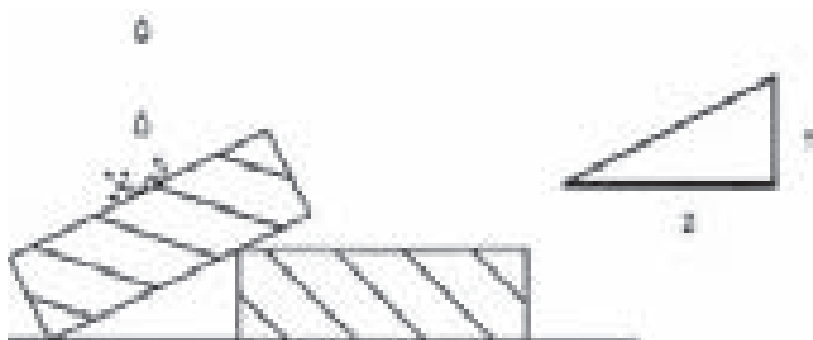


Fig. 2.25. Prova di erosione.

Il gocciolamento deve avvenire da un'altezza di 400 mm dalla superficie dell'adobe, che andrà disposta inclinata come indicato in figura. 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 almeno 3 campioni interi per ciascuna serie di adobe. L'accettabilità di un adobe è vincolata alla profondità del foro (D, in mm) prodotto dal gocciolamento e si basa sull'attribuzione di un indice di erosione I da assegnare seguendo le indicazioni riportate nella tabella seguente:

PROPRIETA'	CRITERI	INDICE DI EROSIONE
<i>Profondità del foro D (in mm)</i>	$0 < D < 5$	2
	$5 \leq D < 10$	3
	$10 \leq D < 15$	4
	$D \geq 15$	5 (non accettato)
<i>Profondità di penetrazione U</i> <i>Se il campione è più spesso di 120 mm</i>	< 120	accettato
	≥ 120	non accettato

Figg. 2.26a, 2.26b. Prove di Erosione. (foto A. Pistuddi, B. Salvan)



f. Prova di resistenza all'urto

La prova ha come obiettivo la valutazione qualitativa della resistenza all'urto dell'adobe, in particolare quella dei suoi spigoli. Per l'esecuzione della prova sono necessari una riga graduata al mm e un filo a piombo. La prova si esegue su due adobe di ogni serie; l'impatto deve avvenire su uno spigolo come descritto nella normativa della Nuova Zelanda¹⁴. 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. I requisiti di accettazione sono i seguenti:

- l'adobe non deve rompersi in pezzi di dimensioni approssimativamente uguali;
- gli spigoli della parte restante dopo l'urto non devono presentare perdite superiori ai 10 cm.

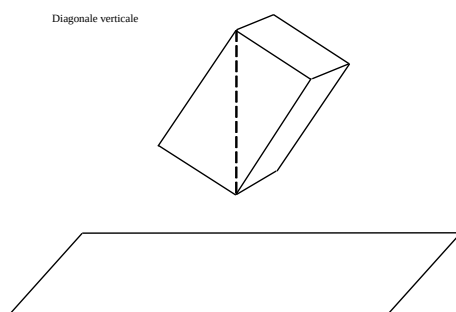


Fig. 2.27. Prova di resistenza all'urto.

g. Sedimentometria

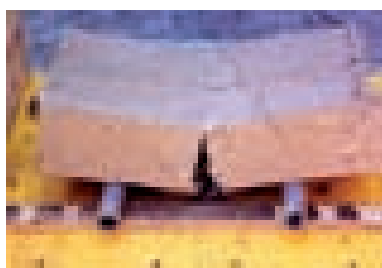
Si adopera un procedimento semplificato che fornirà informazioni approssimative ma attendibili sulla composizione granulometrica del campione di terra nel suo complesso.

A rigore infatti questa analisi andrebbe condotta in laboratorio con un densimetro, essendo applicabile agli elementi fini per i quali non è possibile effettuare l'analisi granulometrica tramite setacciatura. Sono necessari per la prova un setaccio a maglie quadrate di lato pari a 4 mm, un contenitore, una riga graduata al mm e un flacone cilindrico di vetro a fondo piatto.

Il confezionamento di ciascun provino a partire da campioni di terra si articola nel seguente modo: si frantuma accuratamente il provino, si setaccia la terra (unicamente per eliminare la paglia, le maglie del setaccio infatti hanno dimensioni che non corrispondono a nessuno dei limiti AGI o ASTM); si aggiunge al passante il resto del trattenuto; si rimescola la massa di terra per poterla omogeneizzare. A parte si pesa la paglia per calcolare la sua percentuale nel campione di terra. Per quanto riguarda la sedimentometria, per ciascun provino si procede come segue: si riempie il flacone con la terra per $1/4$ della sua altezza e si completano i restanti $3/4$ in altezza con acqua; si lascia riposare per 15 minuti per permettere all'acqua di impregnare la terra; si chiude il flacone e si agita vigorosamente; si lascia decantare per un'ora la miscela su una superficie orizzontale e si ripete l'operazione. Dopo 24 ore si misurano le altezze dei vari strati precipitati e l'altezza complessiva, senza tener conto dello strato d'acqua sovrastante.

b. Prova di penetrazione

La prova è indicativa della resistenza della superficie esterna dell'adobe. Essa è qualitativa più che quantitativa, perché non prevede la valutazione numerica dei risultati, quindi il giudizio risulterà essere legato all'obiettività dell'operatore. Si utilizza un cacciavite a stella o un qualunque strumento simile. La prova di penetrazione viene condotta su metà di campioni ottenute dall'esecuzione della prova di rottura a flessione. Si fa penetrare nella superficie da testare (quella esposta) la punta del cacciavite, partendo da una distanza di 5-10 cm circa. In funzione della forza adoperata per far penetrare la punta del cacciavite e della profondità raggiunta si esprime un giudizio sulla resistenza alla penetrazione del materiale.



i. Prova di resistenza a flessione e compressione

La prova ha come obiettivo la determinazione della resistenza a flessione degli adobe, dalla quale dedurre quella a compressione. Per l'esecuzione di questa prova viene adoperata una macchina elaborata dal gruppo CRATerre.¹⁵ 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 almeno 5 adobe per ogni serie.

- **Elaborazioni e calcoli.**¹⁶ Alla rottura di ciascun adobe, misuriamo il carico di rottura P_{fi} , da cui si deduce la resistenza a flessione σ_{fi} tramite la formula di Navier:

$$\sigma_{fi} = M y_{max} / J = 1,5 \times (P_{fi} d) / (l h^2)$$

nella quale:

$$M = P_{fi} d / 4 \quad \text{momento flettente in mezzzeria}$$

$$y_{max} = h / 2 \quad \text{posizione dell'asse neutro}$$

$$J = l h^3 / 12 \quad \text{momento d'inerzia baricentrico della sezione}$$

per cui sostituendo si ottiene:

$$\sigma_{fi} = 1,5 \times (P_{fi} d) / (l h^2)$$

dove:

$$P_{fi} \quad \text{carico di rottura in N}$$

$$d \quad \text{distanza tra gli appoggi in mm}$$

$$l \quad \text{larghezza dell'adobe in mm}$$

$$h \quad \text{altezza dell'adobe in mm}$$

Dal valore σ_{fi} così ottenuto si estrapola la resistenza a compressione σ_{ci} tramite la formula

$$\sigma_{ci} = k \sigma_{fi}$$

dove $k = 8$ è un coefficiente il cui valore è stato proposto dall'EN-TPE (Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat de Lyon). A partire dai valori di σ_{fi} e di σ_{ci} si deducono i valori medi di resistenza a flessione σ_f e a compressione σ_c per le due serie di adobe.

Fig. 2.28. Prova di resistenza a flessione e compressione.

Scheda 1 Macchina per la prova di rottura per flessione

La macchina si compone di un braccio mobile dotato di piattaforma di carico e di una base d'appoggio. Il movimento del braccio avviene per mezzo di un perno metallico inserito in appositi fori praticati nel braccio stesso e nei due sostegni sulla base. Gli unici elementi non in legno sono:

- il perno metallico del braccio mobile, avente un diametro di 12 mm ed una lunghezza di 25 cm;
- il tondino metallico di carico dell'adobe, avente un diametro di 27 mm ed una lunghezza di 30 cm;
- i due tondini metallici d'appoggio dell'adobe, aventi un diametro di 27 mm ed una lunghezza di 30 cm.

Sull'elemento principale, un tavolone di dimensioni 150 x 15 x 2,5 cm, è fissata la piattaforma d'appoggio, realizzata mediante due tavole di dimensioni 45 x 35 x 2,5 cm.

Il tavolone poggia direttamente sul terreno; per rendere più stabile l'appoggio e collegare ancora meglio le due tavole della piattaforma d'appoggio, sul fondo possono essere posti due correnti di dimensioni 70 x 7 x 2,5 cm, fissati con viti alla superficie sovrastante. Al di sopra della piattaforma sono fissati due listelli di dimensioni 50 x 3 x 1,5 cm, dotati di apposite scanalature sulle quali posizionare ortogonalmente i due tondini che costituiscono gli appoggi dell'adobe. La distanza fra gli assi longitudinali dei due listelli è di 23 cm.

La distanza fra gli assi dei tondini, quando questi sono in posizione standard, è di 20 cm. Prevedendo tuttavia la possibilità di dover analizzare degli adobe che non rispettino le classiche dimensioni, possono essere realizzate anche altre scanalature, per poter disporre i tondini a distanze di 30 cm o di 40 cm.

Sulla piattaforma, inoltre, viene fissato un ulteriore elemento di dimensioni 45 x 16 x 8 cm destinato a fungere da fine corsa per il braccio mobile quando l'adobe giunge a rottura.

Sempre sull'elemento principale ma all'estremità opposta a quella occupata dalla piattaforma, sono stati fissati i due sostegni del braccio mobile più un elemento di irrigidimento. I due sostegni sono costituiti da due tavole di dimensioni 33 x 15 x 2,5 cm, mentre l'elemento irrigidente ha dimensioni 40 x 8 x 8 cm.

Due ulteriori elementi di dimensioni 15 x 2,5 x 2,5 cm, sono stati fissati sui sostegni del braccio mobile per consentire di serrare correttamente i bulloni del perno.

Sull'elemento principale, una trave di sezione quadrata di dimensioni 150 x 8 x 8 cm, è stata fissata la piattaforma di carico, realizzata mediante due tavole di dimensioni 45 x 35 x 2,5 cm e due correnti di dimensioni 70 x 8 x 4 cm che servono per collegare meglio le due tavole.

Sulle basi inferiori dell'elemento principale e dei due correnti della piattaforma, è stata fissata una tavola di dimensioni 50 x 45 x 2,5 cm; essa ospita le due basi d'appoggio del tondino di carico (foto 28).

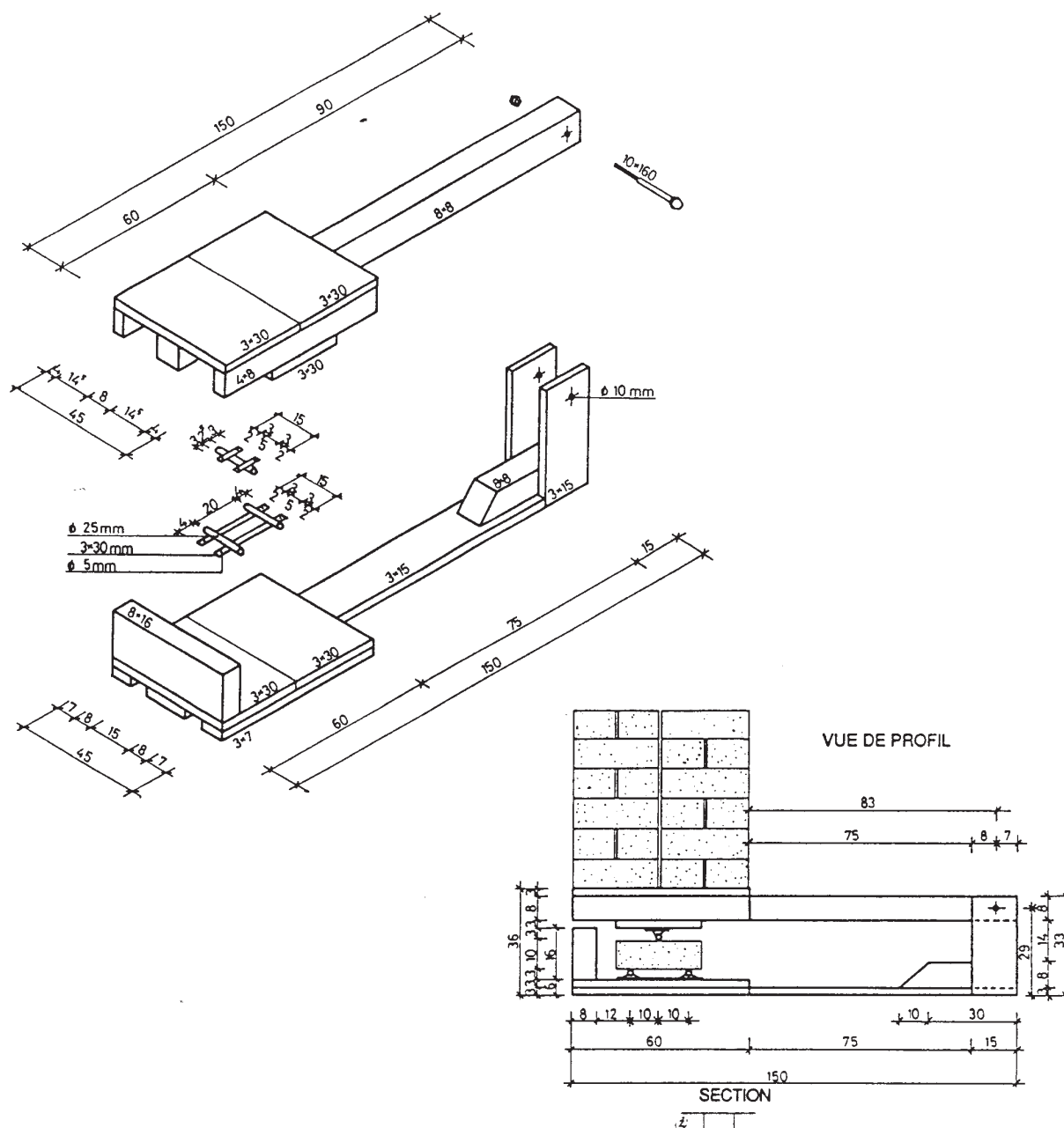
Dette basi sono costituite da due listelli di legno di dimensioni

Figg. 2.29. Modello di Cass-Bloc. Disegno tratto da: V. Rigassi, CRATerre- EAG, "Blocs de terre comprimée, Volume I, Manual de production.

10 x 3 x 1,5 cm dotati di apposite scanalature destinate ad ospitare il tondino di carico. La distanza fra gli assi longitudinali dei due listelli è di 23 cm.

I due sostegni del braccio mobile posti sulla piattaforma d'appoggio e la trave che costituisce il braccio mobile sono stati forati. Nelle forature allineate si è inserito un perno metallico filettato che permette al braccio mobile di ruotare attorno ad esso.

Due ulteriori elementi di dimensioni 15 x 2,5 x 2,5 cm, sono stati fissati sui sostegni del braccio mobile per consentire di serrare correttamente i bulloni del perno.



Il processo tradizionale di fabbricazione del mattone crudo in un'area del campidano centro-meridionale

di Giannetto Cossu¹⁷, a cura di Maddalena Achenza

Voluto dal S.C.I. (Servizio Civile Internazionale) della Sardegna e della locale Amministrazione Comunale, si è tenuto a Samassi dal 14 al 27 luglio '91 un Campo di Lavoro Internazionale che aveva come scopo il restauro di un'antica casa in làdiri da adibire a centro di prima accoglienza.

L'iniziativa prevedeva un vero e proprio corso teorico-pratico sulle tecniche di preparazione de su làdiri de Samassi, relative ai suoi due formati canonici: su làdiri propriamente detto e su ladireddu e le loro dimostrative messe in opera con la sostituzione dello stipite di un ingresso del vano servizi nell'area prevista per il restauro e la realizzazione di un forno emisferico su un basamento predisposto.

Hanno dato vita a questa singolare esperienza 12 giovani, tra i 18 e i 36 anni, provenienti rispettivamente da: Inghilterra, Geof; Danimarca, Sirka, Rikke, Laurei, Sandra; Germania, Michaela; Belgio, Lue; Spagna, Juan Jose; Svezia, Meriel; Italia, Giovanna e Andrea (Venezia) e Giannetto (Bonorva - SS).

L'informatore tecnico-pratico - relativo alle due fasi di preparazione e messa in opera de su làdiri - è stato Efisio Vacca, 66 anni, muratore di Samassi e profondo conoscitore dell'intero processo di fabbricazione del tipico mattone crudo e, per anni, preciso e solerte costruttore di case con questo materiale.

Le fasi della fabbricazione de su làdiri de Samassi, riportate qui di seguito, rispecchiano fedelmente il dettato della tradizione, consolidata negli anni della lunga esperienza di Mastr'Efisiu, del quale sono unanimemente riconosciute nel paese la serietà e la scrupolosità del suo impegno, doti indispensabili per l'attendibilità di questa ricerca.

La preparazione

Le terre maggiormente utilizzate a Samassi per la fabbricazione *de su làdiri* erano - in ordine di resa - quelle estratte presso le località di Guventu e Axrobas (rosse e mediamente argillose, con pietrisco 1-2 cm) e di Pobàziu (rosse e più argillose delle prime, con pietrisco della stessa pezzatura).

Non potendo, oggi, accedere alle zone comprese nei toponimi di Guventu e Axrobas ormai interamente inglobate nel tessuto urbano del paese - si è optato per le terre di Pobàziu, disponibili in abbondanza ed ugualmente di buona qualità.

L'impasto

Lo si faceva generalmente in prossimità della costruzione da realizzare, in uno spiazzo diviso idealmente in due aree: quella destinata a *sa scioffa*, l'impasto vero e proprio, e quella riservata alla fabbricazione ed alla essiccazione dei conci.

L'operazione aveva inizio il pomeriggio tra le 17 e le 18.

La terra si stendeva nell'apposita area in uno strato di 20-30 cm e, con l'ausilio de *sa ciappa*, la *marra* e de *sa pàbia*, il badile, la si impastava utilizzando la copiosa quantità d'acqua citata.

Le terre molto argillose, come si è già detto, richiedevano molta più acqua e naturalmente più paglia, contrariamente a quelle più sabbiose che raggiungevano l'ideale consistenza con percentuali minori dei tre componenti base. La giusta densità fra i tre elementi terra, acqua e paglia, doveva soddisfare una regola pratica, verificabile col badile, durante le operazioni d'impasto.

Quando, cioè, una badilata d'impasto prelevata da *sa scioffa* scivolava agevolmente giù, ma non troppo, il giusto grado di amalgamazione era ottenuto.

Un'altra prova in situ successiva a quest'ultima era quella di verificare lo scorrimento delle pareti interne de *su sestu* (il modello parallelepipedo in legno, senza fondo, il cui volume interno era destinato a contenere volta per volta unu *ladiri* all'atto del sollevamento dello stesso per liberare la forma fresca). Questa consistenza ideale, raggiungibile giocando, a parità di terra, sulle percentuali d'acqua e di paglia (possibilmente di grano, la cui canna, indipendentemente dallo spessore, avrebbe dovuto aver una lunghezza media intorno ai 10 cm) è stata da noi quantificata, fissando le percentuali, il volume ed il peso dei tre componenti.

Raggiunto, infine, l'optimum desiderato, tutto l'impasto veniva composto in una sorta di ciambellone cilindrico, *sa scioffa de su ludu*, dell'altezza media di circa 30 cm. Su *ludu*, la mota, così disposta, si lasciava riposare tutta la notte, da 8 a 12 ore - a seconda della temperatura e del grado di umidità dell'ambiente - *a ammoddai*, ad ammorbidirsi cioè e a "fermentare", consentendo all'acqua di penetrare meglio le particelle minerali e le fibre vegetali.

La fabbricazione

La “fermentazione” poteva anche ridursi a 6 ore e non di rado si iniziava, a *pesai su làdiri*, a fabbricarne, cioè, le forme *cun su sestu*, anche alle 2 del mattino, al fresco, tre ore prima dell'alba.

Durante *sa pesadura de su làdiri*, nel riempire *su sestu* d'impasto, *su ludu s'accracangiaiat beni in is orus, la mota*, cioè, si comprimeva con forza contro le pareti e soprattutto contro gli spigoli, affinché gli stessi risultassero ben nitidi e vivi nel concio in *làdiri*.

In seguito l'operatore chinandosi in avanti, afferrava con le mani le due *anse de su sestu, is manigas de linna o de peddi*, di legno o pelle e, sollevando il modello con delicatezza, lasciava che le pareti della sua superficie laterale liberassero un'altro concio fresco di stampa. L'area sulla quale si agiva, disponendo: uno accanto all'altro i conci *de làdiri*, era un battuto di terra, preparato in precedenza con una livellatura non sempre accettabile.

È chiaro che la bontà dei piani di essiccazione andasse a tutto vantaggio della superficie *de su sèttiu*, il piano d'appoggio *de su làdiri*, restituendo più regolarità a tutto il concio. Prima della sistemazione delle forme, veniva steso sul battuto un sottile velo di paglia per evitare che *su ludu* aderisse al battuto stesso.

Una volta riempito d'impasto *su sestu*, la superficie superiore di questo veniva pareggiata *a rasu*, a livello, *arrasendidda beni cun is manus isciustas*, livellandola bene con le mani bagnate, prima di liberare *su làdiri* dal modello.

- *Su ludu pò ghattai làdiri*

Lo stesso tipo di terra utilizzato per la fabbricazione *de su làdiri* grigliata *cun d'unu cibiru*, un setaccio, con maglia non superiore al centimetro e, impastato *in situ*, costituiva *su ludu pò ghattai làdiri*, cioè, la malta utilizzata per legare i conci delle costruzioni in mattoni crudi.

- *L'intonaco*

Era realizzato soprattutto all'interno e serviva a regolarizzare le imperfezioni *de su làdiri* uniformandone le superfici. La terra si grigliava con lo stesso setaccio utilizzato per le terre che costituivano la malta e si impastava - per usi immediati - poco prima della messa in opera, oppure, dopo averla messa a bagno 6 o 7 ore prima dell'impiego - affinché questa acquistasse la voluta morbidezza - la si impastava utilizzando le canne più sottili della stessa paglia prevista *pò su làdiri*.

Come nella realizzazione degli intonaci d'oggi, con questa malta si predisponavano le fasce direzionali livellatrici, ricoprendo l'intera superficie con uno strato piuttosto grezzo, *a grussu*, per poter far meglio aderire ad esso *sa terra cun anè*, la pastina.

Dopo circa 3 giorni, quando l'intonaco grezzo era già asciutto, si inumidivano i muri con spruzzi d'acqua, preparando così la superficie per la stesura della pastina gli strati dell'intonaco grezzo, la pastina e alcune mani di calce.

- *Sa terra cun anè*

Altrove, ma poco lontano (a S. Gavino, CA) detta terra *cun arè* (etimologicamente più riconoscibile, dove *arè* è la forma apocopata di *arena*, *sabbia*, mentre in *anè* si è in presenza di una dissimilazione di -r- intervocalica in -n- dovuta ad esigenze foniche). La terra utilizzata doveva esser molto argillosa, come quella *de Sa 'ia de S. Ingin*, grigliata due volte, con grana intorno al millimetro. La sabbia era quella che si estraeva da *Frummi Abe'* (Frùmini Alleni, dove *Frummi* ha incorporato l'ultima sillaba -ni nasalizzandola ed *Abe'* presenta l'apocope di -ni e la labializzazione lenita di -/- intervocalica in b). Le percentuali dei due materiali erano: 50% di terra e 50% di sabbia.

L'impasto - abbastanza sottile - si stendeva con la cazzuola, *sa palitta*, per uno spessore medio di 2-3 mm.

Dopo circa un'ora, ancora a fresco, la superficie veniva regolarizzata con un tampone di tela di sacco, che permetteva maggior celerità e maneggevolezza del frattazzo, che -in ogni caso - veniva utilizzato in prossimità degli spigoli. Ad essiccazione avvenuta, si dava una leggera mano di calce, stendendola delicatamente per non sciogliere la pastina e non alterarne la superficie. Era questo il sottile fondo protettivo che fungeva da base alle successive mani di calce.

“Su ladiri” e “is sestus”

- *“Su làdiri”*

Su làdiri (l'unico continuatore, in tutta la area romanza, del Iatino Later Lateris, in origine mattone crudo ed in seguito semplicemente mattone) era il tipico concio da costruzione di buona parte dei Campidani di Cagliari e di Oristano (foneticamente presente anche nelle forme *làdrini*, *ladri*, *làrdini*, *lardi*, *làdini*).

Le sue misure, molto versatili, permettevano la realizzazione - variando la disposizione ed il numero dei conci - di tramezzi da 10 e 20 cm e muri a partire da 40 fino a 60 cm ed oltre, con geniali orditure ed incastri.

Le sue misure standard più o meno comuni a tutte le aree del Campidano interessate da questo tipo di laterizio - erano: 10X20X40 cm. Come si può notare, una misura era doppia dell'altra, per favorire l'opposizione intero/due metà negli incastri orizzontali e verticali, a tutto vantaggio della plasticità e della solidità delle strutture.

- *“Su ladireddu”*

È il classico concio a tronco di piramide, utilizzato in Sardegna per le coperture emisferiche dei forni a legna.

Forse, con queste sue caratteristiche, è presente solo nell'isola; la sua base maggiore è di cm 18 x 10.5, la minore di cm 12 x 8.5 e l'altezza di cm 20. È usato, ancor oggi, per la realizzazione di forni domestici, is forrus, a pianta circolare o a ferro di cavallo.

La costruzione della cupola è eseguita senza l'ausilio di centine ed i conci restano in equilibrio per effetto del mutuo contrasto orizzontale dei conci dello stesso livello, della malta e del peso proprio.

- **“Is sestus”**

I modelli, *is sestus*, per la fabbricazione de *su làdiri* e *de su ladireddu* erano realizzati in legno, con assi dello spessore di 2-3 cm. Erano costituiti da un parallelepipedo privo delle due basi, la cui superficie laterale poggiata sul piano del battuto - delimitava il volume dei conci. Alle mezzerie delle superfici esterne delle facce minori erano disposte due anse, in pelle o legno, *is mànigas*, necessario ad afferrare su sestu e sollevarlo, a rasatura ultimata. *Is sestus* venivano ben risciacquati dopo l'ultima utilizzazione e prima di ogni altra, favorendo così un più agevole scivolamento delle pareti della superficie laterale interna all'atto del sollevamento da terra.

- **“Is ainas”**

Gli strumenti utilizzati nella fabbricazione de *su làdiri*, *is ainas*, erano *sa ciappa*, *sa pàbia*, *su piccu*, *sa pudaꝛꝛa*, *su marteddu a tallanti*, *sa seguri*.

- **“Sa ciappa”**

Il fonema della sillaba iniziale di questa parola /t/ è, probabilmente, la palatalizzazione dell'affricata dentale sorda del logudorese /nuorese zappu / zappa[tsappu / tsappa].

È la comune marra, che a Samassi è detta *sa ciappa*, la cui lama ha la superficie di un segmento circolare, con la corda di cm 33, l'altezza di cm 13 e l'occhio, a sezione rettangolare - nel quale si innesta un manico di m. 1,20- che misura cm 3x4.

Era utilissima, unita a *sa pàbia*, nelle fasi di stesura della terra e di realizzazione dell'impasto. La sua ampia lama permetteva di controllare e dirigere meglio l'acqua, distribuendola con movimenti più naturali, esterno /interno, per chi operava, a piedi nudi, all'interno de *sa scioffa*.

- **“Sa pàbia”**

Foneticamente la -l- intervocalica originaria è resa con la bilabiale lenita -b- [â]. Completava i lavori di stesura e impasto effettuati anche *cun sa ciappa* ed era utilissima nelle fasi di carico e scarico delle terre e *de su ludu* verso l'area di fabbricazione de *su làdiri*.

- **“Su piccu”**

Il piccone, *su piccu*, serviva nelle operazioni di sterro de *sa terra da làdiri* e nella fase de *sa sprantadura*, durante l'elevamento di strutture in crudo, consistente nel pareggiare *su sèttiu dei conci*, la loro superficie di posa, preparando le stesse a meglio ricevere il successivo strato di mattoni.

Nella costruzione in crudo, infatti, il concio veniva messo in ope-

ra rovesciato rispetto allo stato di posa della fase de sa pesadura, e su sèttiu occupava la parte superiore, mentre alla malta aderivano le superfici che erano state pareggiate a rasu.

- **“Sa pudazza”**

É un attrezzo agricolo ancor oggi usato nella potatura delle viti, consistente in un piccolo falcetto o roncoletta, con un manico in legno di circa 10 cm ed una lama lunga cm 15 e larga 10.

Era usata soprattutto nella fase di smussatura degli spigoli dopo l'essiccazione, s'arrasigadura, per eliminare i filamenti di paglia e le imperfezioni degli spigoli, dovuti al contatto delle superfici dei conci col battuto.

- **“Su marteddu a tallanti”**

É una scure ed un martello insieme. L'altezza del ferro, dal colmo della lama alla base del martello, è di cm 18, di cui 4 spettano all'occhio (nel quale si innesta un manico di 40 cm) 6 cm al martello (che ha una base di cm 2.7 x 2.7) e 8 cm alla scure, che ha una proiezione di fiamma di cm 9.

Su marteddu serviva ad assestare su làdiri, una volta sistemalo e rettificato lo stesso sulla malta de su sèttiu.

Col filo della sua lama si pareggiava la malta della stilatura dei giunti, si ritoccavano gli spigoli e le superfici imperfette e si tagliavano a misura le porzioni de làdiri di cui si aveva bisogno nel gioco degli incastri nelle varie fasi costruttive. Per il taglio si procedeva in questo modo:

- si segnava sul làdiri la misura richiesta;
- si incidevano con la lama i 4 segmenti dei lati del concio;
- si batteva cun su marteddu sulla porzione de làdiri non impugnata fino a dividere in due il concio;
- si pareggiavano con la lama le eventuali bugnature e filamenti.

- **“Sa seguri”**

La scure, sa seguri, sostituiva sa pudazza nella fase de s'arrasigadura e su marteddu a tallanti ed il piccone nelle fasi de sa sprantadura e del taglio.

L'essiccazione

Su làdiri, ben ordinato sul battuto, si lasciava per due giorni all'aperto. Il terzo giorno i conci si rimuovevano dalla superficie di posa, sistemandoli strantaxus, in piedi, per far meglio asciugare la superficie de su settiu, che si trovava a contatto col piano del battuto.

- **“S'arrasigadura”**

Dopo un altro giorno di esposizione all'aria ed al sole, su làdiri era pronto per la successiva operazione de s'arrasigadura.

Cun sa pudazza e cun sa sèguri si smussavano gli spigoli dei

conci, eliminando i filamenti della paglia e pareggiando le grossolane imperfezioni della superficie de su settiu, ancora morbide e rimovibili.

- ***“S’abbigadura”***

Su làdiri ben ripulito e regolarizzato, era pronto per l'accatastamento, s'abbigadura. possibilmente al coperto per evitare che improvvisi rovesci ne avessero potuto compromettere la stagionatura.

Era questa l'ultima operazione e l'ultima fase di essiccazione de su làdiri che, dopo altri due giorni, era idoneo alla costruzione.

Cun s'abbigadura i conci venivano disposti a coltello, de azza, in file alternate - di lungo e di traverso - di tre mattoni ciascuna, a formare una serie di pile sistemate una accanto all'altra.

All'interno, cioè, di un quadrato di 40 x 40 cm si disponevano, de azza, tre conci; al di sopra di questi se ne collocavano altri tre. a 90° rispetto ai primi, e così via a costituire pile ad altezza d'uomo. Gli spazi tra concio e concio, di circa 5 cm favorivano una buona aereazione dell'intera catasta ed una conseguente uniformità di essiccazione.

La quantificazione

- ***L'impasto***

Le quantità sono riferite alla terra della località di Pobaxiu a Samassi (CA).

Per m³ 1,000 di terra de làdiri occorrono:

- m³ 1,000 di terra di Pobaxiu;
- m³ 1,000 d'acqua;
- m³ 0,230 di paglia di grano sminuzzata equivalente a kg 47,5 (peso e volume sono riferiti a balle di paglia delle dimensioni di m 0,45x0,32x1,10 e del peso di kg 57).

- ***“Su làdiri”***

Da m³ 1,000 d'impasto, con le caratteristiche descritte al punto 2.3.7.1, è possibile ricavare:

- 125 làdiris delle dimensioni di cm 10x20x40;
- 342 ladireddus del volume di m³ 0,0024;

- ***Il ritiro***

La percentuale di ritiro, dopo una settimana di essiccazione (nella seconda metà del mese di luglio 1991, con una temperatura media giornaliera di 27°C, con massimi di 35°C e minimi di 22°C) è stata del 16% ottenuta per differenza dei volumi, al momento della fabbricazione e dopo 7 gg di essiccazione.

Prove di laboratorio

Tutte le prove di laboratorio, sia sulle terre, che sui campioni *de is làdiris beccius* 1 e 2 (relativi a conci di oltre 50 anni, provenienti dalla demolizione dello stipite pericolante del vano-servizi citato e poi ricostruito) e *de su làdiri nou* (su làdiri e su ladireddu fabbricati nel campo S.C.I. a Samassì) effettuate presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria Chimica e Materiali dell'Università di Cagliari, sono:

- *L'esame diffrattometrico*

Con l'esame diffrattometrico ai raggi x, effettuato l'1 agosto 1991 su campioni di terra di Pobaziu, si è constatato che i componenti minerali presenti in essa, in ordine approssimato d'abbondanza, sono: Quarzo (SiO_2); Calcite (CaCO_3); Feldspato alcalino; Argilla di tipo montmorillonitico.

La montmorillonite è un'argilla altamente idrofila in grado di assorbire, rigonfiandosi, elevati tenori d'acqua.

È questo il comportamento delle terre in questione, che hanno richiesto - nella fase di preparazione dell'impasto *de su làdiri* - una quantità d'acqua pari al suo stesso volume,

- *Il peso specifico*

Il peso specifico *de su làdiri becciu* (medio tra i conci 1 e 2) è risultato di $1,43 + 0,15 \text{ g/cm}^3$ mentre il p.s. relativo a *su làdiri nou*, realizzato nel luglio '91, è stato di $1,55 + 0,18 \text{ g/cm}^3$.

Anche in questo caso la similitudine dei dati è sorprendente. Unu *làdiri nou* ha pesato, in media, kg. 12,400 contro i Kg. 11,440 de unu *làdiri becciu*; infine, il peso de unu *ladireddu* è stato, in media, di Kg. 3,720.

- *La porosità*

I risultati dell'analisi porosimetrica, per intrusione forzata di mercurio, (esclusi i macro-pori: difetti di compattazione etc.) sono riportati nelle fig. 13, 14 e 15. La similitudine delle distribuzioni dimensionali attesta che si è partiti da terre quasi identiche quanto al granulato iniziale e che si sono utilizzate tecniche di fabbricazione equivalenti. La minore frazione volumica dei vuoti (espressa con $\bar{\alpha}$, uguale al rapporto tra il volume dei vuoti e quello del campione) rilevata in *su làdiri nou*, trova riscontro nel maggior valore del peso specifico di quest'ultimo concio.

- ¹ Hugo Houben, Hubert Guillaud, CRATerre-EAG, *Traité de construction en terre*, Parenthèses, Marsiglia 2006, pagg. 196-233; Barbara Narici, “Tecniche di costruzione in Terra Cruda”, in *Costruzione e uso della terra*, Rimini 2001, pagg.46-85.
- ² Giannetto Cossu, “*Su làdiri de Samassi (il mattone crudo di Samassi)*”, in Beni (notiziario della Soprintendenza BAAAS delle provincie di Cagliari e Oristano), Cagliari, numero unico, Dicembre 1991, pag. 16; Alessandro Baldussi, Fernando Mura, “*La terra cruda (làdiri) in Sardegna. Problematiche e bibliografia ragionata*”, in Quaderni bolotanesi, Bolotana, XXI, 1995, pag. 403, vedi paragrafo 2.3.
- ³ Hugo Houben, Hubert Guillaud, CRATerre-EAG, *Traité de construction en terre*, op. cit., pagg. 116-121.
- ⁴ AA.VV., *Architectures de terre*, ed. Centre Gorge Pompidou, Paris 1986.
- ⁵ Eugenio Galdieri, *Le meraviglie dell’architettura in terra cruda*, ed. Laterza, Bari 1982.
- ⁶ Vitruvio, *De Architectura*, libro 2, cap. 3.
- ⁷ Il torchis è una tecnica che impiega un impasto di terra su graticci in legno a formare pareti di tamponamento.
- ⁸ Eugenio Galdieri, op. cit., Bari 1982.
- ⁹ Le prove descritte derivano dai procedimenti di riconoscimento delle terre adottati al CRATerre (Centre de Recherche sur l’Architecture de Terre) di Grenoble, la cui validità è comprovata da almeno 3 decenni di esperienze sul campo.
- ¹⁰ Cfr. Richard Niemeyer, “*Der Lehm- und seine praktische Anwendung*”, ristampa dall’originale del 1946, Ökobuch Verlag, Grebenstein 1982.
- ¹¹ DIN-Norm 18951 “*Reichsgesetzliche Regelung des Lehm- und seiner Anwendung*”.
- ¹² Le metodologie suggerite di seguito derivano da procedure elaborate dall’ENTPE Ecole Nationale des Travaux Publics de l’Etat di Lione (Francia) per test su blocchi di terra compressa. Sono stati anche adottati dal Laboratorio di prove su materiali a base di terra cruda del Politecnico di Torino sotto la guida dei proff. Roberto Mattone e Gloria Pasero.
- ¹³ I dati e le immagini riportati si riferiscono alla Tesi di Laurea di A. Pistudi e B Salvau: “Un contributo alla standardizzazione del controllo di qualità della produzione del mattone crudo”, Relatori B. De Nicolò, A. Sanna, Correlatore M. Achenza, a.a. 2002.
- ¹⁴ Standards New Zealand Committee BD/83 Earth Building. NZS 4298 Materials and workmanship for earth buildings, Marzo 1998, p.58.
- ¹⁵ vedi scheda 1 “*Macchina per la prova di rottura per flessione*”.
- ¹⁶ Vincent Rigassi, CRATerre-EAG, *Blocs de terre comprimée. Volume I. Manuel de production*, op. cit., pag.79; Hugo Houben, Hubert Guillaud, CRATerre-EAG, *Traité de construction en terre*, op. cit., pag. 139; Gaia Bollini, Viviana Bonato, “*Normativa tecnica per la costruzione in terra cruda (làdiri) in Sardegna: prime ipotesi*”, in *Abitare la terra*, op. cit., pagg. 80-81.
- ¹⁷ Giannetto Cossu, prematuramente scomparso nel gennaio del 1993, è stato uno dei più accurati e profondi conoscitori della cultura delle costruzioni in terra cruda della Sardegna. La sua lunga attività nel settore si è svolta soprattutto nell’ambito della Soprintendenza B.A.A.A.S. per le provincie di Cagliari e Oristano, di cui era dipendente, con l’incarico di curare questo importante patrimonio storico-culturale della sua regione.

capitolo 3

RECUPERO E RESTAURO DELLE ARCHITETTURE IN TERRA LE BUONE PRATICHE

3.1. LA CASA BALDUSSI A SETTIMO SAN PIETRO

Progettista: Alessandro Baldussi

La casa Baldussi è sita nel centro storico di Settimo San Pietro. È un edificio a palazzetto con grande corte antistante e occupa un lotto d'angolo derivante da una divisione ereditaria di un lotto più grande, come si evince dalla presenza del piccolo slargo su cui si affaccia il portale principale d'ingresso della casa e dalla presenza del vicolo adiacente su cui si aprono questa e altre corti.

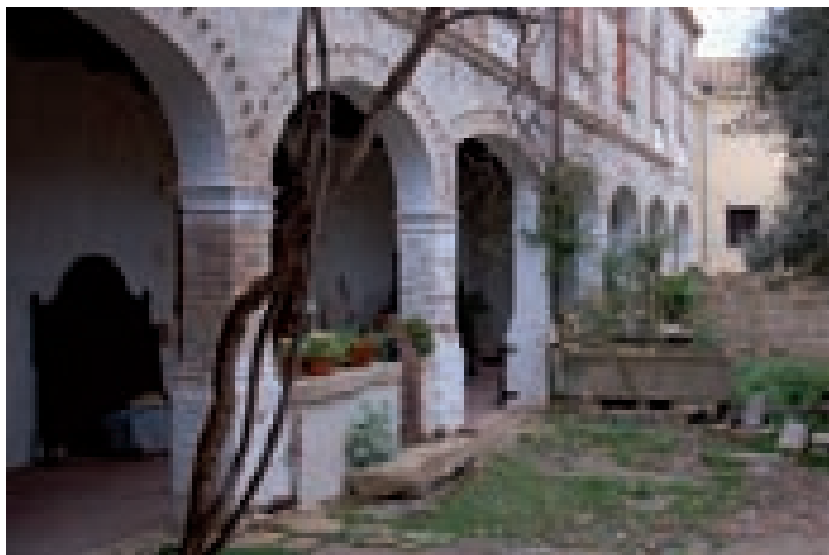
Lo stato di abbandono in cui versava il complesso prima degli interventi di recupero, risalenti a circa 15 anni fa, ha fatto sì che l'impianto originario restasse intatto senza alcuna sostituzione o superfetazione attribuibile a tecniche e materiali moderni incompatibili.

Il fabbricato principale adibito ad abitazione è addossato sul confine del lotto nella parte nord e si affaccia sulla corte attraverso un loggiato esposto a sud, a est vi era un locale agricolo a due livelli e a ovest la corte era occupata da un magazzino e da un portico che corre lungo tutto il perimetro.

La casa è costruita con tecnica mista in pietra e terra. Al momento dell'intervento, le condizioni strutturali complessive erano buone, soprattutto quelle legate alle fondazioni e alle murature, solo la mancanza di manutenzione aveva provocato il deterioramento di alcune parti del tetto dando luogo a un concatenarsi di effetti e problematiche: penetrazione dell'acqua, presenza di umidità e conseguente dilavamento delle pareti.

L'aspetto peculiare di questo intervento di recupero risiede nella ferma volontà del progettista/proprietario della casa di utilizzare esclusivamente materiali tradizionali e naturali, come la terra, le fibre vegetali e la calce di produzione locale, di intervenire invece con tecnologie moderne laddove queste risultassero più appropriate. Altro aspetto interessante è stato la

Figg. 3.1, 3.2. Vista del portale d'accesso e del loggiato del corpo principale.



possibilità di agire per parti, per micro-interventi di ristrutturazione e manutenzione, dato il generale buono stato di conservazione.

Le coperture sono state in parte ricostruite con tetto ventilato senza alcun uso di sostanze tossiche; dove possibile sono state recuperate le originarie strutture portanti lignee; le travi sono state trattate con impregnanti naturali a base di oli vegetali per far risaltare e nutrire le fibre del legno, con sali di boro per proteggere le essenze da muffe e funghi; i travicelli di orditura secondaria in cattivo stato sono stati sostituiti con travicelli di castagno.

La ventilazione è stata ottenuta con distanziatori e doppio tavolato con interposto un doppio strato di pannelli in fibra di legno o sughero posati a secco senza l'ausilio di alcuna colla; inoltre, un'ulteriore ventilazione sottotegola è stata ottenuta posando le tavole dello strato superiore distanziate di 1 cm le une dalle altre.

Un interessante intervento di recupero sulle strutture lignee delle coperture a padiglione è stato effettuato con il consolidamento delle travi attraverso stampelle laterali in corrispondenza delle testate. Queste, ammalorate dall'acqua di infiltrazione, necessitavano di un rinforzo e di un aumento della sezione lignea (attraverso una mensola) in corrispondenza dell'appoggio. Nello stesso punto la muratura in terra cruda è stata completamente ricostruita con la tecnica del cuci e scuci, dato il degrado dovuto al dilavamento dell'acqua.

Al fine di proteggere i legni nel loro alloggio nella muratura, le testate delle travi dei solai e dei sottotetti sono state avvolte con feltro di iuta, che unisce i vantaggi di una buona aerazione a quelli propri del materiale di resistenza all'umidità e ai parassiti.

Il solaio e la copertura del corpo comprendente il loggiato e il lungo corridoio, sono stati in parte ricostruiti e in parte rinforzati con l'uso di materiali di recupero e nuovi: l'orditura semplice dei travicelli in ginepro della copertura a falda unica è stata sostenuta con l'ausilio di rompitratta poggiati su nuove travi in castagno, l'incannucciato è stato ripristinato con tecniche di costruzione tradizionali; il solaio intermedio invece è stato rinforzato con la sovrapposizione, su quello esistente, di un altro tavolato, disposto in diagonale rispetto all'assito esistente.

Nella facciata principale, il canale di gronda, posizionato dietro il muretto d'attico, è stato sostituito da un nuovo canale in rame posizionato sopra uno strato di feltro di iuta, con lo scopo di ottenere prestazioni migliori nel convogliamento dell'acqua meteorica; le altre gronde tradizionali ad aggetto semplice del coppo canale (portico rustico, parte della facciata su strada) sono state ripristinate e mantenute. Nel recupero delle coperture sono stati riutilizzati, dove possibile, i coppi originali, soprattutto per la stesura dei manti a falde più basse, perché più visibili dalla corte e dalla loggia del primo piano.

Il vecchio magazzino è stato recuperato e adibito ad uso abitativo; trattandosi di un volume a doppia altezza, all'interno dello stesso è stato possibile ricavare la scala per l'accesso al secondo livello del corpo principale, in corrispondenza del lungo corridoio che disimpegna le stanze. In questa parte dell'edificio, oltre al rifacimento della copertura, i problemi su cui intervenire erano legati soprattutto all'umidità del basamento controterra lungo il muro di confine, data la differenza di quota tra il pavimento del magazzino e il terreno della corte della proprietà vicina.

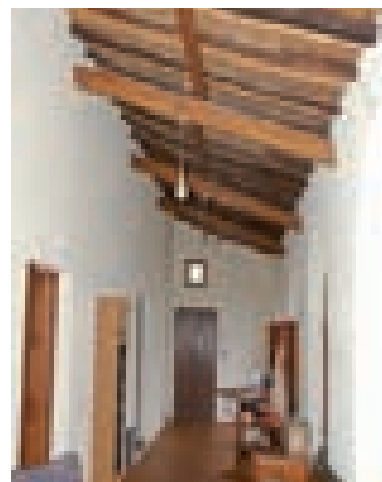


Fig. 3.3. Vista dalla copertura a unica falda, rinforzo con inserimento di rompitratta.



Fig. 3.4. Vista del solaio intermedio del loggiato del corpo principale.

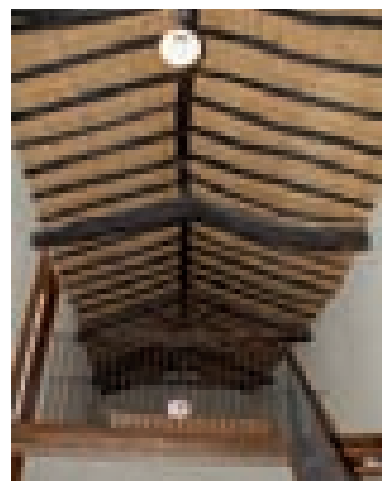


Fig. 3.5. Vista del vecchio magazzino ristrutturato.

Fig. 3.6. Vista del corpo principale, il rifacimento della copertura con tavolato ligneo e tetto ventilato.



Il problema dell'umidità è stato risolto con la costruzione di un sistema di drenaggio esterno laterale in prossimità del basamento, costituito da pietrame, da sabbia e da un tubo forato posato con una leggera pendenza a livello delle fondazioni.

All'interno, il piano di calpestio, che originariamente si posava direttamente sul terreno, è stato ricostruito con un massetto di calce idraulica su un vespaio di pietrisco e sabbia; per garantire una buona aerazione del vespaio è stato inserito tra il pietrisco un tubo per la ventilazione collegato verso l'esterno. Con la terra di scavo del vespaio sono stati confezionati i *ladiri* che sono stati poi utilizzati per realizzare un muro divisorio del grande ambiente; la stessa terra è stata utilizzata anche per il confezionamento dell'intonaco.

Negli interni è stato sperimentato l'uso di finiture diverse, con la matrice comune di impiego di materiali e colori naturali; per la finitura del nuovo bagno, ad esempio, è stato utilizzato uno stucco-marmorino a base di calce e colori naturali.

L'ambiente attrezzato a cucina è stato chiuso con una copertura a orditura lignea semplice in cui sono stati inseriti dei lucernari poiché, essendo confinante con un'altra proprietà, non vi era la possibilità di ospitare aperture nelle murature. Durante i lavori sono stati predisposti gli impianti elettrico e di riscaldamento. L'impianto elettrico è stato realizzato a pavimento, annegato nel massetto di calce poi rivestito con piastrelle in cotto tradizionali, che, dove possibile, sono state recuperate dal vecchio pavimento. Il sistema di riscaldamento invece è a parete, collegato a collettori solari posti sul tetto e alla caldaia.

Gli intonaci utilizzati per la finitura dei muri interni e esterni in *ladiri* sono a base di terra colorata naturale e calce idraulica.

Nei muri esterni, su strada, sono stati sperimentati due tipi differenti di intonaci. In parte è stato utilizzato un intonaco in terra stabilizzato con calce idraulica e trattato con cere naturali, in parte è stato stabilizzato con calce idraulica e latte, con funzione impermeabilizzante e fissante. Le parti esterne in cotto, come i pilastri e l'imbotte delle finestre, sono state rifinite con calce e sabbia fine data a pennello per lasciare a vista la tessitura del mattone e allo stesso tempo proteggerla.

IL SISTEMA DI COPERTURA



Fig. 3.7. Dettaglio del nuovo manto di copertura in coppi della falda del loggiato di accesso al corpo del vecchio magazzino.



Fig. 3.8. Particolare del nuovo canale di gronda: strato d'appoggio in feltro di iuta e nuova canaletta in rame.

CONSOLIDAMENTO DELLE TRAVI LIGNEE



Fig. 3.9. Dettaglio del consolidamento delle travi lignee in fase di cantiere.



Fig. 3.10. Sistema di consolidamento della trave lignea di copertura, rinforzi laterali e mensola d'appoggio; risanamento della muratura in terra cruda sottostante.

CONSOLIDAMENTO E FINITURA DELLE MURATURE



Fig. 3.11. Sistema di consolidamento della muratura con distacco d'angolo, utilizzo dei laterizi cotti per l'intervento di ricucitura.

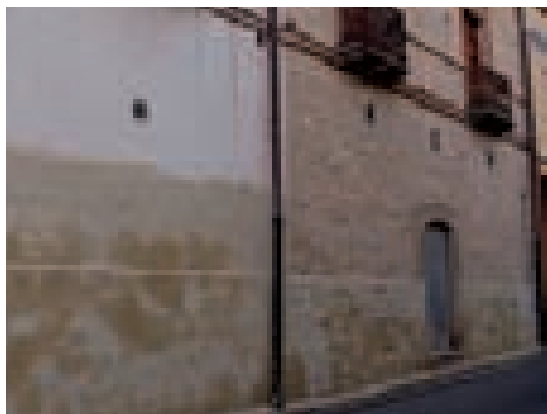
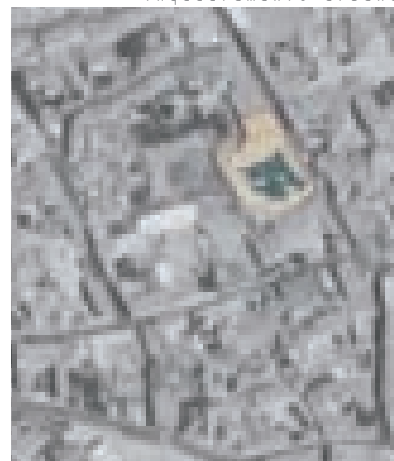


Fig. 3.12. Le differenti finiture degli esterni.



Settimo

CORTE ANTISTANTE



CASA BALDUSSI_ rilievo

Legenda

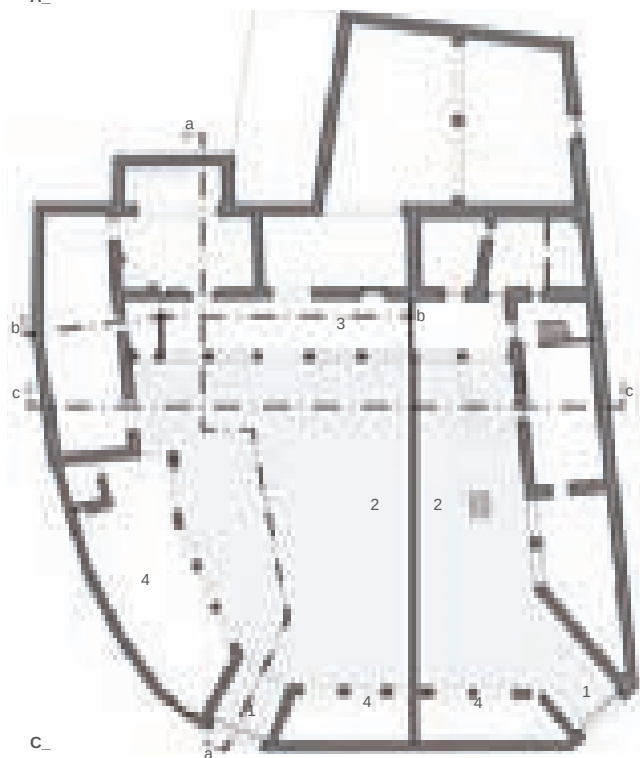
- 1_portale
- 2_corte antistante
- 3_loggiato (lolla)
- 4_loggiati rustici



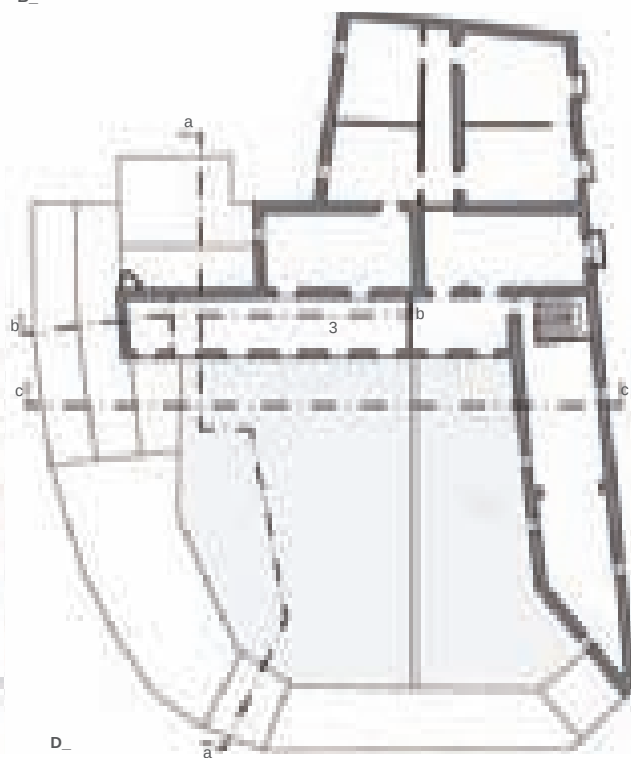
A_



B_



C_



D_

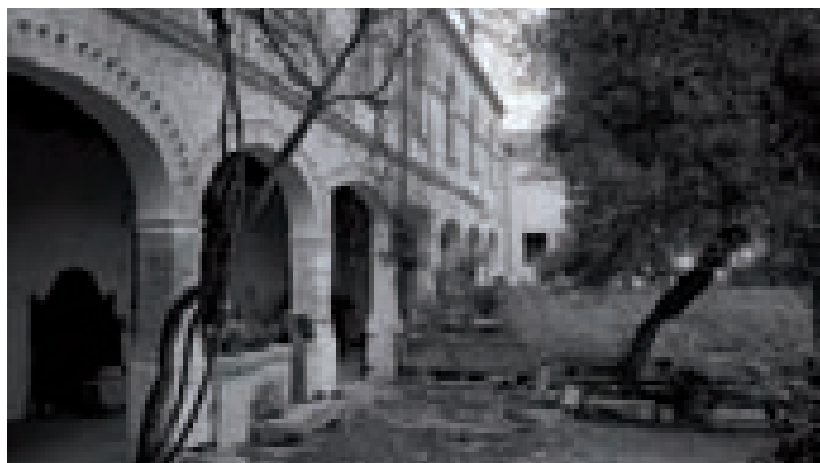
- A_ Sezione a-a
- B_ Sezione b-b
- C_ Pianta piano terra
- D_ Pianta primo piano
- E_ Sezione c-c



E_

0 4 8 12





Vista del loggiato e della corte antistante.

CASA BALDUCCI_ progetto

Legenda

- 1_portale
- 2_corte antistante
- 3_loggiato (lolla)
- 4_pranzo-cucina
- 5_soggiorno
- 6_camera
- 7_studio



A_



B_



C_



D_

- A_ Sezione b-b
- B_ Sezione a-a
- C_ Pianta piano terra
- D_ Pianta primo piano
- E_ Prospetto interno



E_

0 4 8 12



3.2. LA CASA MANCOSU-MACCIONI A SERRAMANNA

Progettisti: Lucio Ortu, Carlo Pillola

L'edificio è situato nel centro storico di Serramanna su un lotto prospiciente il piccolo slargo che la via Serra forma all'incrocio con la via Tripoli.

A questo spazio pubblico l'abitazione si affaccia con un portale ad arco a tutto sesto di mattoni in terra cruda, la cui ampiezza corrisponde, esattamente in quel punto, a quella del lotto.

Un primo cortile lungo circa quaranta metri si allarga all'approssimarsi del corpo di fabbrica principale. A ridosso del muro di recinzione a nord-ovest vi erano i ruderi di piccole stalle e del pagliaio, mentre a est sul fondo del cortile si accedeva al magazzino del vino addossato al corpo di fabbrica principale.

L'abitazione su due livelli si dispone ortogonalmente allo sviluppo longitudinale del cortile e si articola per giustapposizione di corpi di fabbrica: il loggiato composto da tre piccoli archi in mattoni cotti a sesto ribassato costruito intorno al 1920 e il corpo principale articolato su due stecche e collocato in posizione retrostante; la cantina ed alcune stalle si raggiungevano dal cortile posteriore.

L'edificio, ascrivibile al tipo edilizio con doppia corte, nella sua configurazione attuale è il residuo di un'antica successione di case agricole aggregate con affaccio su una grande corte antistante.

La costruzione è in mattoni di terra cruda, i solai in legno, il manto di copertura in coppi allettati con malta di calce e sabbia sull'incannicciato e l'orditura principale in vari tipi di legno. I pavimenti del piano terra, per



Fig. 3.13. Vista dei fabbricati residenziali dalla prima corte. Dettaglio degli archi a tre centri, realizzati in laterizi cotti, del loggiato.

lo più sostituiti intorno al 1920, erano di mattonelle cementizie a motivi decorativi; il pavimento del loggiato in cemento. Il cortile anteriore conserva ancora l'acciottolato; quello posteriore invece non era pavimentato.

L'intervento di recupero ha come programma il mantenimento della funzione abitativa come casa unifamiliare privata; questo ha consentito la conservazione dei caratteri di impianto e distributivi.

La costruzione prima dell'intervento si presentava in uno stato generale di fatiscenza. La parte posteriore era completamente crollata mentre il corpo comprendente il loggiato e le prime due stanze retrostanti si mostrava ancora integro nelle sue forme, nonostante presentasse degradi strutturali e materici.

E' stato possibile intervenire sull'edificio con un approccio di restauro conservativo limitatamente alle parti che non presentavano forti degradi di tipo statico, per le altre si è provveduto alla ricostruzione nel rispetto delle tecniche e dei materiali tradizionali con utilizzo di tecnologie innovative coerenti e compatibili.

Gli ingombri dei corpi strumentali della corte antistante sono stati mantenuti e recuperati come magazzino e parcheggi coperti, la corte posteriore invece è stata completamente liberata dai piccoli corpi strumentali che la intasavano per dar luce ad uno spazio aperto più ampio. Questo permette nell'area più intima della casa un più corretto equilibrio tra pieni e vuoti; il nuovo ambiente adibito a cucina-soggiorno gode di affacci privilegiati su una corte privata di grande qualità.

Il programma conservativo prevede il consolidamento delle opere murarie, delle chiusure orizzontali sia di base, col completo rifacimento del vespaio e delle pavimentazioni, che di copertura, con una soluzione a tetto ligneo ventilato.

Particolare interesse assume la soluzione adottata per il rifacimento del vespaio (vedi dettaglio costruttivo). Una serie di cunicoli di aerazione sono stati realizzati con la posa di blocchi in laterizio su un magrone in calcestruzzo continuo, previa stesura di guaina per evitare la risalita dell'acqua dal terreno. I blocchi di dimensione 15x25x30 cm sono opportunamente distanziati tra loro di uno o due centimetri per agevolare la ventilazione dei canali e la continuità tra questi e l'aria presente tra il pietrame.

I cunicoli convogliano sia su tubi di aerazione legati con l'esterno passanti attraverso i muri perimetrali dell'edificio, sia su tubi che risalgono a ridosso di un muro di spina verticale fino a raggiungere la sommità del tetto per essere esposti al calore e all'irraggiamento solare esterno. Questo sistema che fa uso dei principi della bio-architettura agevola il processo di ventilazione; infatti, la sommità del canale, soggetta a forte riscaldamento soprattutto nel periodo estivo favorisce l'aspirazione dal basso dell'aria del vespaio, assicurando e consentendo una continua ventilazione e aerazione della chiusura di base.

La copertura è stata completamente ricostruita con strutture in legno nuove e di recupero trattate con soluzioni di sali di boro, con funzione fungicida, antitarlo, antimuffa e ignifugante; la ventilazione è stata ottenuta con un doppio tavolato comprendente la coibentazione costituita da pannelli in fibra di legno e la protezione impermeabile e traspirante. Dalla linea definita dai coppi di colmo la fuoriuscita dell'aria è garantita da un elemento in laterizio cotto forato posato con calce.

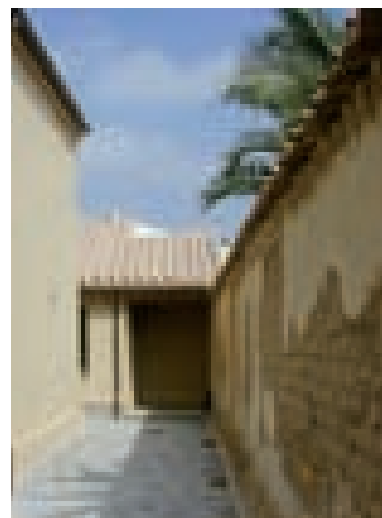
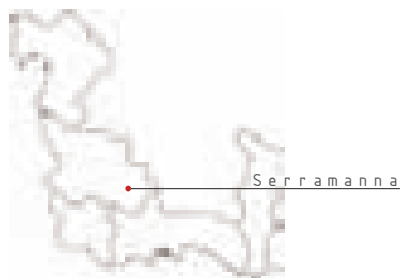


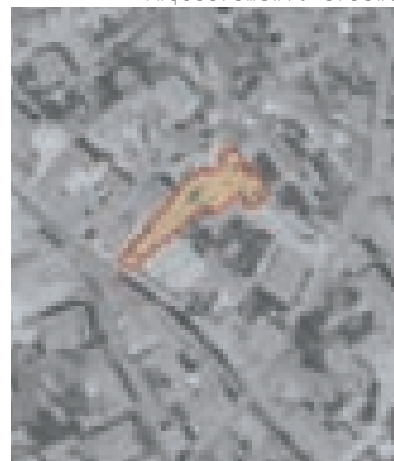
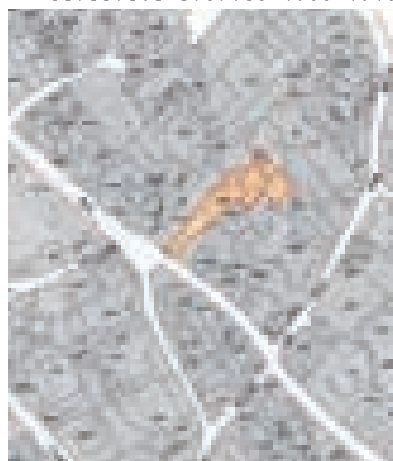
Fig. 3.14. Vista della corte retrostante.



Fig. 3.15. Vista dei corpi di fabbrica che si affacciano sulla corte posteriore.



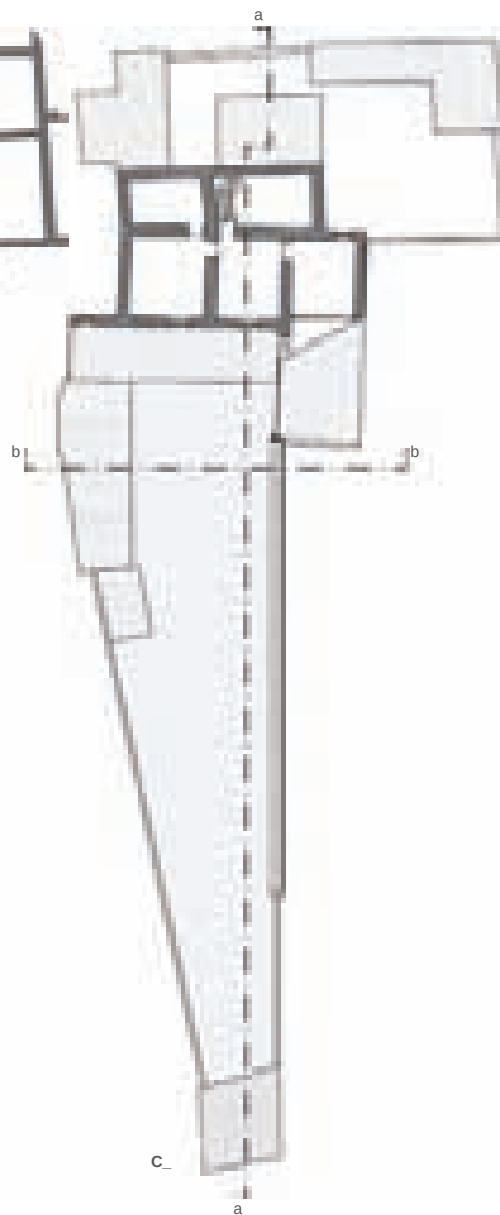
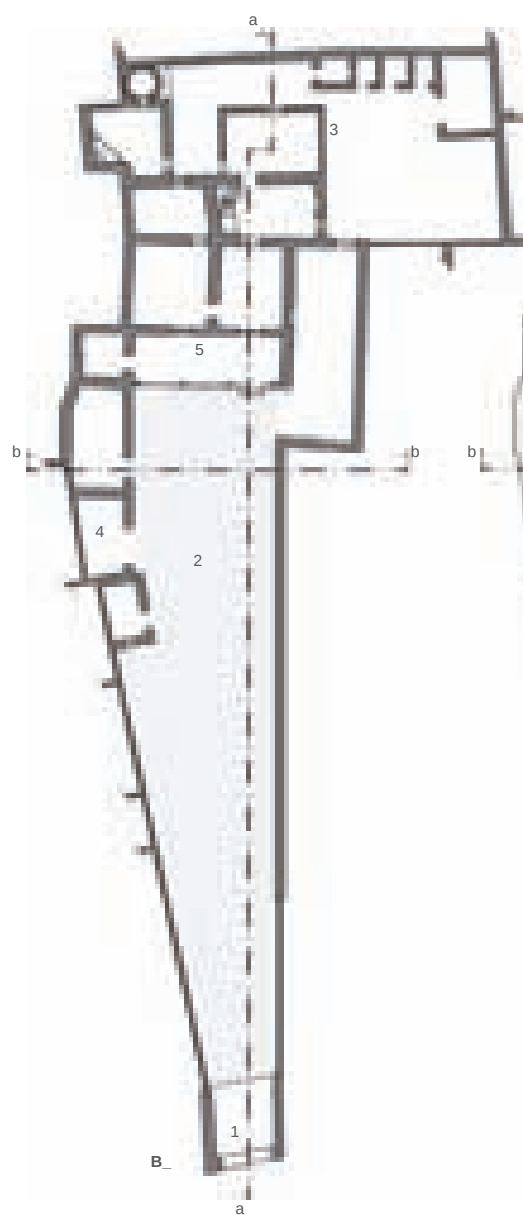
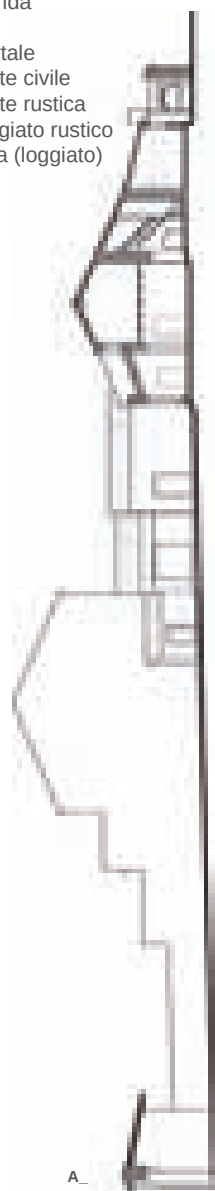
DOPPIA CORTE



CASA MACCIONI_ rilievo

Legenda

- 1_portale
- 2_corte civile
- 3_corte rustica
- 4_loggiato rustico
- 5_lolla (loggiato)



- A_ Sezione a-a
- B_ Pianta piano terra
- C_ Pianta primo piano
- D_ Sezione b-b



0 4 8 12



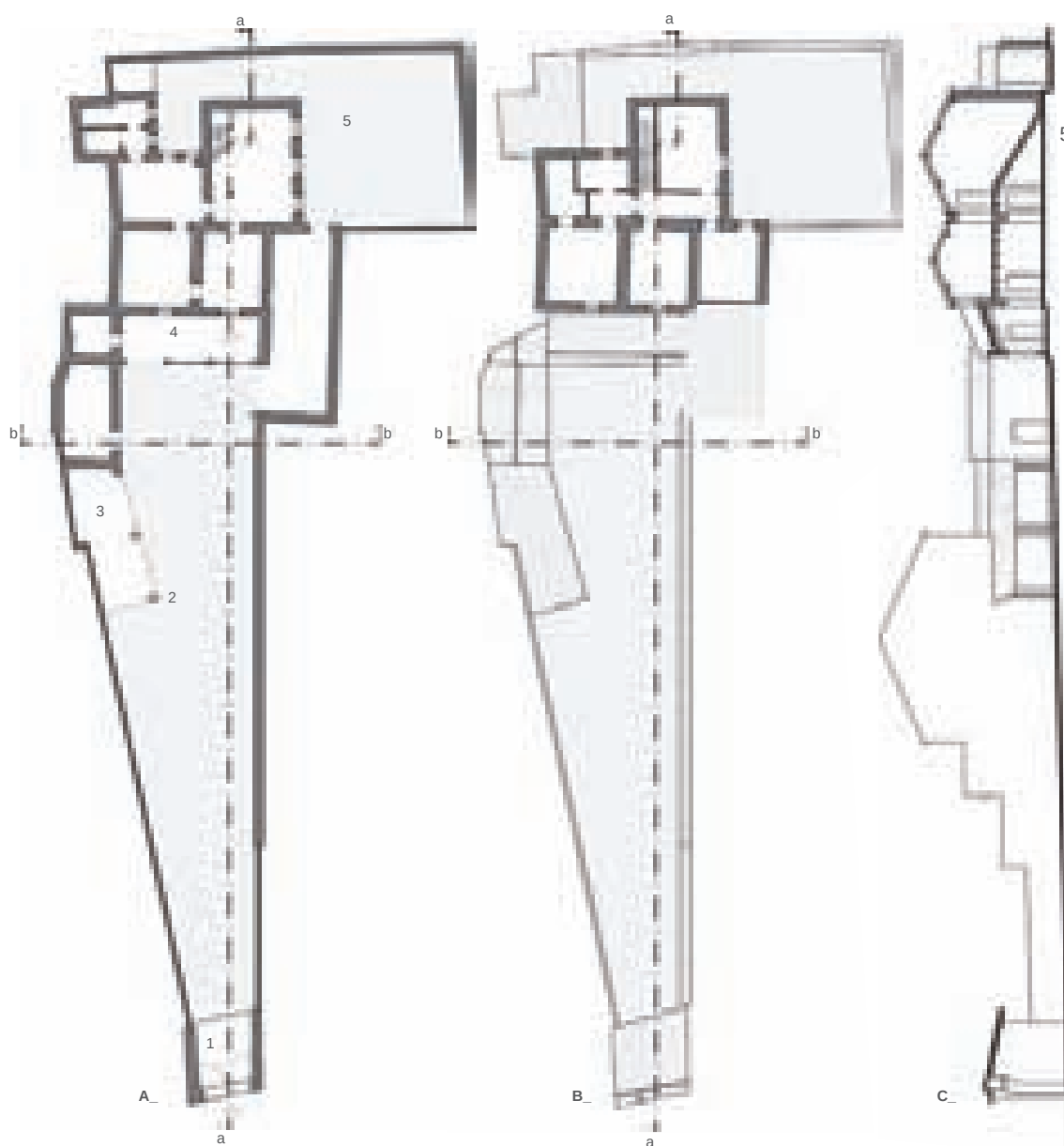


Vista del corpo abitativo.

CASA MACCIONI_ progetto

Legenda

- 1_portale
- 2_corte antistante
- 3_rimessa auto
- 4_lolla (loggiate)
- 5_corte retrostante



- A_ Pianta piano terra
- B_ Pianta primo piano
- C_ Sezione a-a
- D_ Sezione b-b

0 4 8 12



D_



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 cartavetrato 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 supro 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 coibente 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 coibente.

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

8_griglia anti passero e anti insetti.

9_mattoni 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 olii vegetali con sovrapposizioni per cm10

11_coibentazione termica, spessore variabile in funzione del materiale impiegato.

12_cunicolo di aerazione in mattone di laterizio, dimensioni cm 15x25x30, posato su un magrone di cls 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_vespaiato 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.

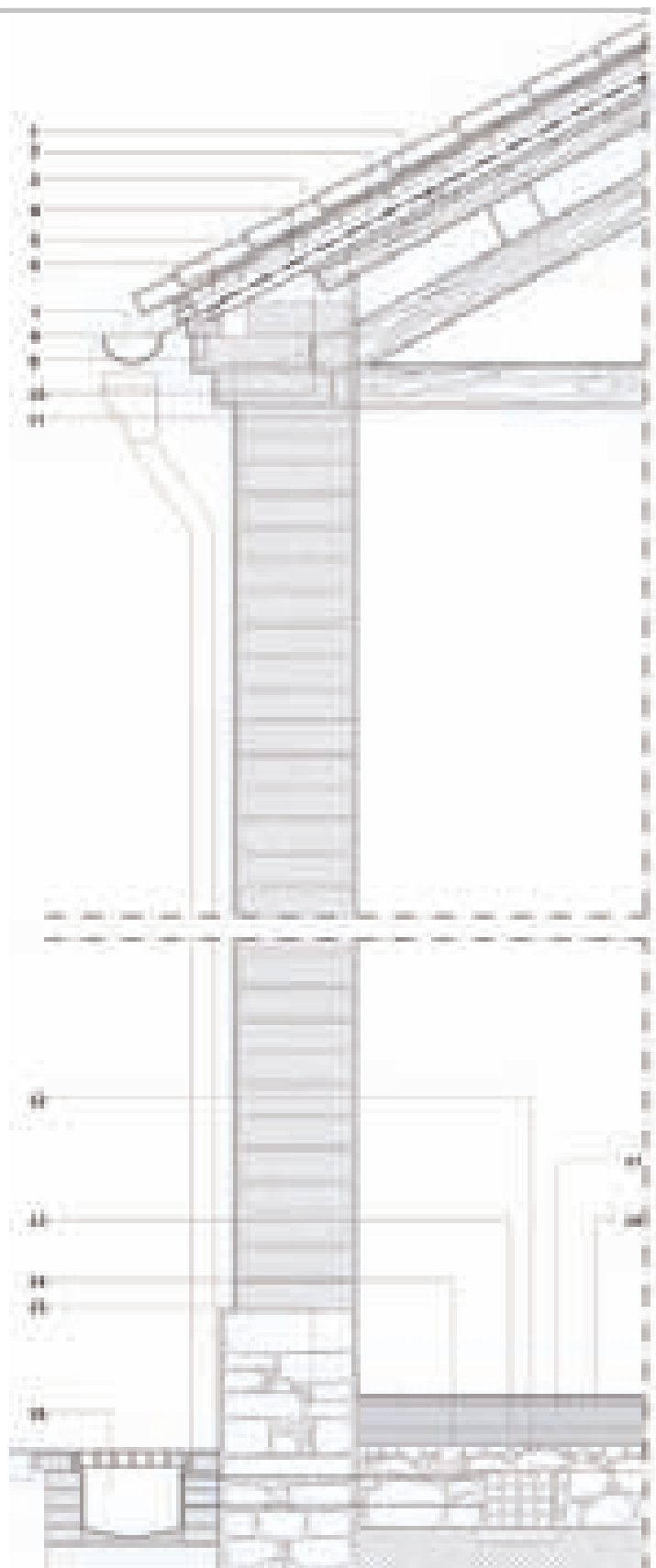


Fig. 3.16. Dettaglio costruttivo dei paramenti di facciata e del rifacimento del vespaiato.

0 25 50 75 cm

IL SISTEMA DI COPERTURA

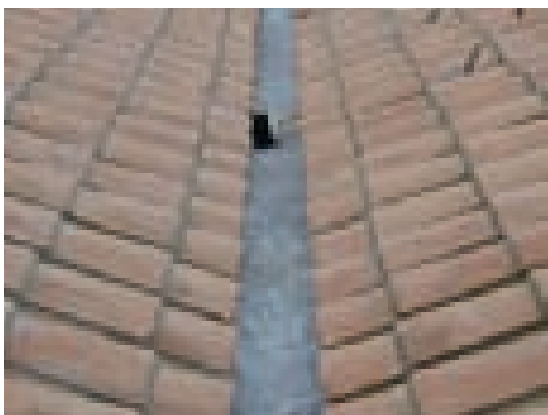


Fig. 3.17. Dettaglio del nuovo manto di copertura in coppi in prossimità del compluvio fra le falde.

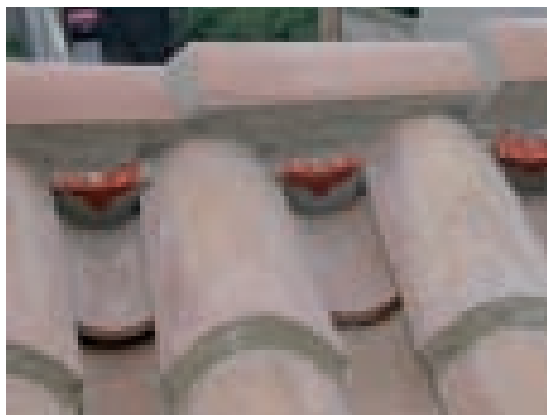


Fig. 3.18. Particolare del dispositivo di aerazione del nuovo tetto ventilato disposto in prossimità del colmo.

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.

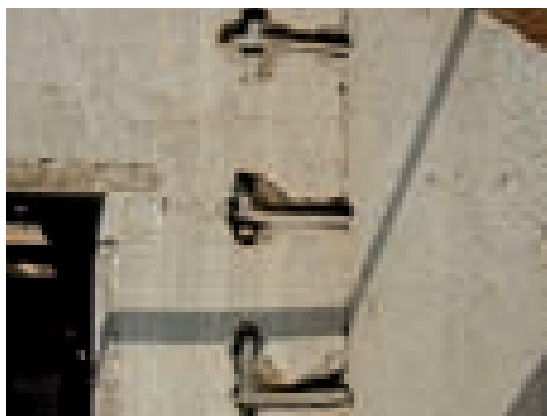


Fig. 3.20. Sistema di ammorsamento tra murature ortogonali realizzato con travi lignee disposte all'interno del corpo murario e ad esso vincolate con l'uso di bolzoni.

CHIUSURA DI BASE E FONDAMENTAZIONI



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.

3.3. LA CASA MONTIS A VALLERMOSA

Progettista: Costantino Manca

Questo intervento attiene al recupero di una tradizionale casa a corte in terra cruda nell'abitato di Vallermosa, nel Campidano centro-meridionale.

La casa è stata recuperata accogliendo nuove destinazioni d'uso e ospita oggi un centro socio-culturale polifunzionale. I locali del vecchio corpo di fabbrica abitativo sono stati adibiti a attività di carattere ricreativo, ludico e culturale, agli spazi dei corpi annessi sono state delegate le funzioni di contenitore di attività di gruppo, sala riunioni e auditorium. I servizi sono stati ricavati in un opportuno spazio nei corpi annessi.

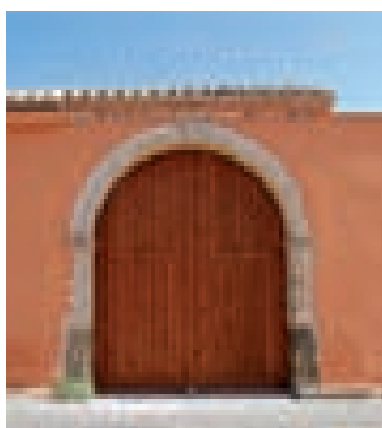
L'edificio nonostante il degrado in cui versava, conservava leggibili i caratteri tipologici della casa a corte padronale del Campidano meridionale. L'accesso attraverso il portale è a sud, il corpo principale, adibito oggi a emeroteca e spazi per uffici al piano terra e a sale multimediali al primo piano, si dispone lungo il lato ovest del lotto con il loggiato orientato, in modo canonico, verso sud; l'impianto volumetrico esattamente come nell'impostazione originaria è composto da quattro cellule su due livelli disposte "passanti" tutte con doppio riscontro d'aria e luce.

Il primo piano è stato riportato alla sua distribuzione originaria che era stata compromessa dalla costruzione di un balcone esterno di realizzazione più recente a cui si accedeva per mezzo di una scala, anch'essa esterna, in cls, che disimpegnava le quattro stanze.

Estremamente interessante è stata la sistemazione degli spazi delle corti. Quella antistante il corpo principale, la più grande, è stata concepita come un ampio piano libero realizzato con tozzetti e lastre in prossimità delle soglie d'accesso all'edificio; la corte retrostante, più piccola e intima per la sua chiusura e dimensione, è costituita anch'essa da un piano in tozzetti interrotto da alberature.

Il primo passo che è stato affrontato nell'intraprendere l'intervento di recupero è stato quello di liberare l'edificio tradizionale da superfetazioni e interventi impropri e invasivi che col tempo si erano succeduti; in particolare

Figg. 3.23, 3.24. L'esterno, vista del portale d'accesso; l'interno, la grande corte interna.



si è provveduto alla demolizione dei corpi di fabbrica che alteravano l'assetto tipologico dell'edificio, come la scala e il balcone che dava accesso al piano superiore.

Gli interventi più consistenti hanno riguardato il corpo principale comprendendo il consolidamento delle strutture murarie esistenti, il rifacimento della copertura e dei solai con il rispetto delle tecniche e l'utilizzo di materiali della tradizione costruttiva locale; particolare attenzione ha poi avuto la realizzazione degli intonaci.

I corpi di fabbrica che si distribuivano a sud e a ovest attorno alla corte principale sono stati demoliti perché fatiscenti e ricostruiti utilizzando come materiali i mattoni di terra cruda e il legno.

L'intervento sulle murature esistenti ha riguardato vari tipi di lavorazioni: la risarcitura superficiale delle parti mancanti di muratura in terra, con previa pulizia del fondo, consolidamento dello stesso mediante aggiunta di terra con caratteristiche simili a quelle del supporto e sabbia o inerte di granulometria opportuna; l'aggiunta poi di un ulteriore strato di malta di terra e, dove necessario, di cocciame di tegole per una regolarizzazione del fondo fino a costituire la superficie per l'aggrappo dei successivi strati di intonaco. Sulle parti di muratura particolarmente ammalorate si è provveduto con sostituzione del materiale con la tecnica del "cuci e scuci", comprendente la demolizione in breccia nella zona d'intervento, la ricostruzione con mattoni di terra cruda di nuova fattura o eventualmente di recupero, purché in ottimo stato. La *forzatura* della nuova muratura con la vecchia è stata ottenuta con l'inserimento di cunei di legno sostituiti, a ritiro avvenuto, con laterizi allettati con malta fluida. Allo stesso modo si è affrontato il risanamento dei distacchi fra murature d'angolo con la sostituzione del materiale con nuovi mattoni di terra cruda e il rifacimento degli ammorsamenti attraverso la posa corretta dei mattoni stessi o con l'ausilio di travicelli di ginepro di lunghezza minima di 80 cm e interasse 1 m, allettati con malta di calce idraulica.

La soluzione adottata per il rifacimento delle coperture è quella del tipo a tetto ventilato con strutture lignee e manto di copertura in coppi; la ventilazione è stata ottenuta con un doppio tavolato comprendente la coibentazione costituita da pannelli in sughero con spessore di 2 cm e la protezione impermeabile e traspirante. La formazione dei colmi è stata realizzata con l'inserimento di un portalistello in acciaio sul quale si è fissato il listello necessario all'appoggio del colmo in coppi; su questo un rivestimento isolante di polipropilene e rame, altamente permeabile all'aria ed idrorepellente.

Il vespaio è stato realizzato con un sistema di cunicoli di ventilazione ottenuti con la posa su un magrone in cls continuo di blocchi in laterizio di dimensione 15x25x30 distanziati tra loro di 1 o 2 cm per agevolare la ventilazione dei canali e la continuità tra questi stessi e l'aria presente tra il pietrame.

All'interno del corpo principale, per rispondere all'adeguamento funzionale e abbattere le barriere architettoniche, si è realizzato il collegamento verticale costituito da un ascensore e da una scala in acciaio, totalmente indipendente dal punto di vista strutturale dalla struttura muraria in terra cruda esistente.



Fig. 3.25. Vista dalla corte dei nuovi fabbricati ad uso polifunzionale.

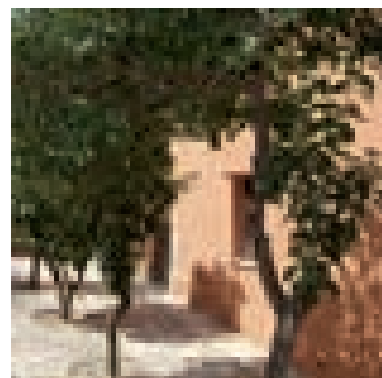


Fig. 3.26. Vista della corte retrostante.

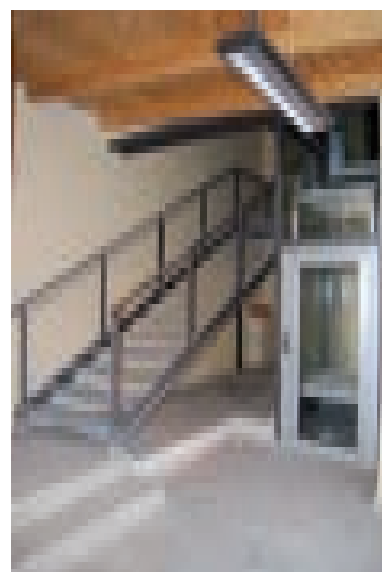


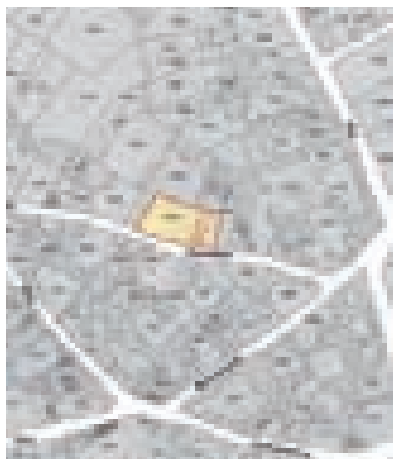
Fig. 3.27. Vista interna.



DOPPIA CORTE

CASA MONTIS_ rilievo

catastale storico 1900-1910

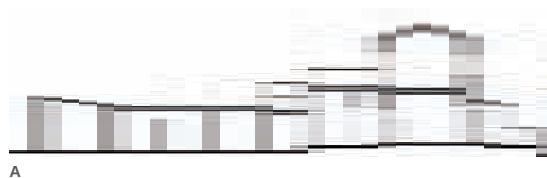


inquadramento urbano



Legenda

- 1_portale di ingresso
- 2_granaio
- 3_corte principale
- 4_rustici
- 5_camera
- 6_cucina



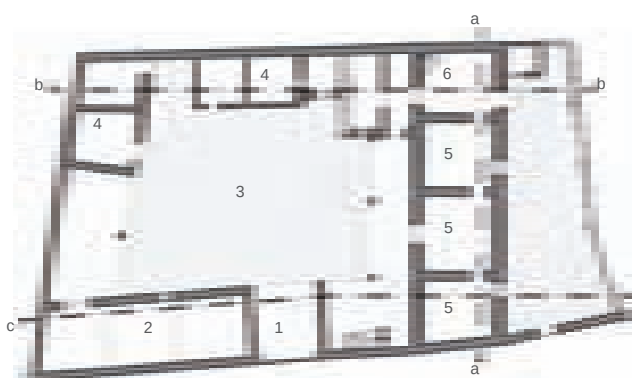
A_



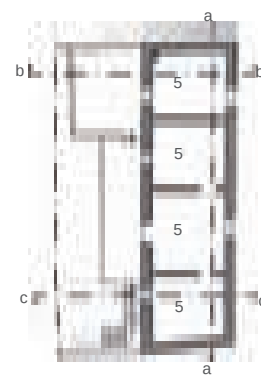
B_



C_



D_



E_



F_



G_

- A_ Sezione b-b
- B_ Prospetto sulla corte
- C_ Sezione a-a
- D_ Pianta piano terra
- E_ Pianta primo piano
- F_ Sezione c-c
- G_ Prospetto su strada

0 4 8 12





Vista della casa Montis dalla strada.

CASA MONTIS_ progetto

Legenda

- 1_portale d'ingresso
- 2_sala conferenze
- 3_sala polifunzionale
- 4_servizi
- 5_emeroteca
- 6_uffici
- 7_sala multimediale



A_



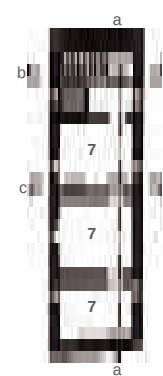
B_



C_



D_



E_



F_

- A_ Sezione b-b
- B_ Prospetto sulla corte
- C_ Sezione a-a
- D_ Pianta piano terra
- E_ Pianta primo piano
- F_ Sezione c-c

0 4 8 12



- 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 supro 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 coibente 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 coibente.
- 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 carbolino
- 11_strato di separazione tra il drenaggio e la fondazione in trovanti 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 allettamento/sottofondo pavimentazione
- 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

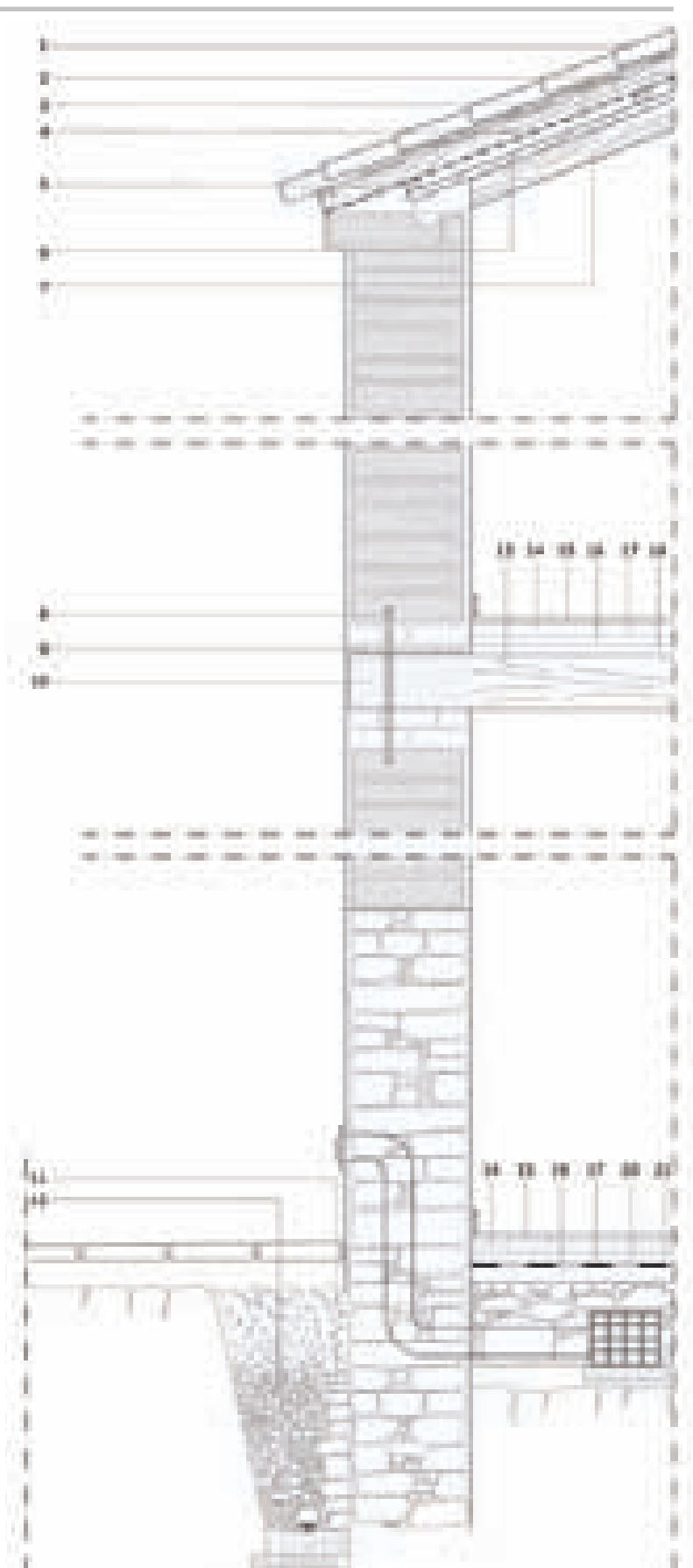


Fig. 3.28. Dettaglio costruttivo dei paramenti di facciata e del rifacimento del vespaio.

0 25 50 75 cm

IL SISTEMA DI COPERTURA



Fig. 3.29. Fasi di ricostruzione del sistema di copertura ventilato. Dettaglio del listello ligneo porta-colmo sorretto da profilati metallici.



Fig. 3.30. Fasi di ricostruzione del sistema di copertura ventilato. Dettaglio del foglio di rivestimento isolante di polipropilene e rame, permeabile all'aria ed idrorepellente.

AMMORSAMENTO DELLE MURATURE



Fig. 3.31. Sistema di ammorsamento della muratura in terra cruda esistente con ricostruzione dell'incrocio mediante nuovi mattoni di terra cruda.



Fig. 3.32. Sistema di ammorsamento della muratura in terra cruda esistente con ricostruzione dell'incrocio mediante nuovi mattoni di terra cruda e travicelli lignei.

CHIUSURA DI BASE E FONDAMENTAZIONI



Fig. 3.33. Sistema di aerazione del vespaio: canalizzazioni in laterizi forati viste dall'interno dell'edificio durante le fasi di realizzazione.

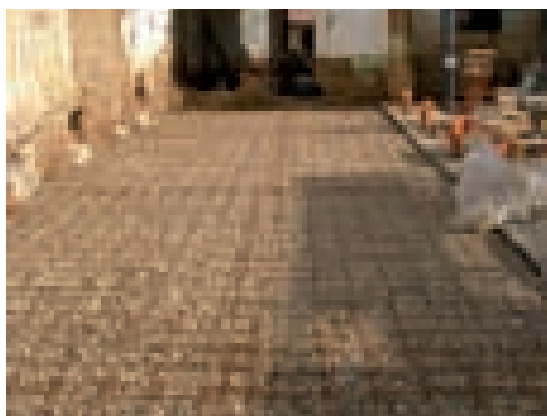


Fig. 3.34. Realizzazione della chiusura orizzontale, predisposizione dell'armatura metallica di ripartizione preliminare al getto del massetto resistente.

3.4. LA CASA FENU A VILLAMASSARGIA

Progettista: Ignazio Garau

La casa Fenu è una grande casa agricola a corte articolata in vari spazi originariamente destinati a residenza e ad attività produttive, nel centro storico di Villamassargia. La sua edificazione nella forma attuale è attribuibile ai primi anni del '900 per la parte costruita interamente in terra cruda; è probabilmente più recente (anni 50-60) la parte di casa realizzata con tecnica mista, in terra e in pietra.

La casa si sviluppa su tre corti: la prima, su cui si affaccia la casa padronale, è la corte domestica, la seconda e la terza sono quelle legate al mondo del lavoro agro-pastorale, destinate al ricovero del bestiame ed al deposito degli attrezzi.

Le tre corti, in successione l'una con l'altra, seguono una sorta di "percorso di iniziazione" a spazi attraverso cui il fruitore ha la possibilità, nell'attraversarli, di leggere e vivere l'effetto di questa complessa e allo stesso tempo suggestiva articolazione.

La casa Fenu sarà il fulcro dell'intero sistema eco-museale di Villamassargia. E' destinata ad accogliere alcune attività legate alle generali funzioni dell'eco-museo, ospiterà spazi per esposizioni della cultura materiale della Valle del Cixerri, in particolare dedicate alle arti e ai mestieri tradizionali, laboratori culturali, spazi per la formazione degli addetti al turismo ambientale. La grande corte interna, la corte boaria, originariamente area di lavoro agricolo e di custodia del bestiame, oggi acquista valore come spazio unitario aperto di socialità per le attività a cui la casa sarà destinata; accoglierà infatti le mostre temporanee dei prodotti locali, le degustazioni stagionali, gli eventi culturali.

L'intervento di recupero è concepito nel rispetto della struttura originaria, sia dal punto di vista dell'impianto tipologico e costruttivo che della materia. Introduce solo un livello molto contenuto di modificazioni legato alla nuova distribuzione degli ambienti necessaria agli adeguamenti funzionali, soprattutto quelli che garantiscono la fruibilità degli spazi: principalmente nuovi collegamenti verticali e nuovi spazi di servizio.

Elemento caratteristico della costruzione è l'uso del mattone in terra cruda. Il valore costruttivo dell'edificio dipende pertanto principalmente dalla

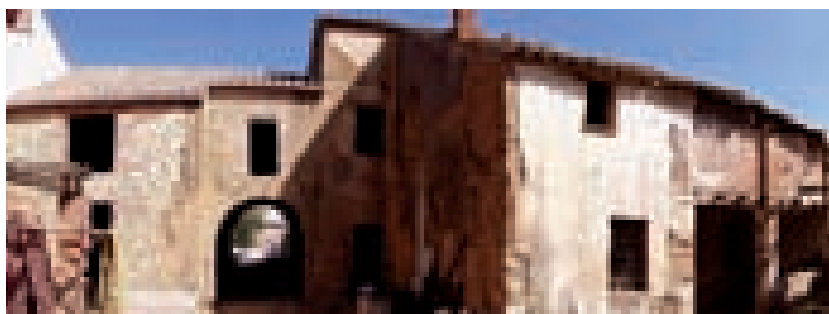


Fig. 3.35. Vista dei fabbricati residenziali dalla prima corte.

qualità di questo materiale, nella misura in cui la fatiscenza, la mancanza di manutenzione e le cattive pratiche di intervento protratte nel tempo, con materiali e tecniche incoerenti e improprie, gli hanno permesso di conservarsi fino a oggi.

Stesso valore è inoltre dato dalla buona finitura dei mattoni, dalla corretta messa in opera degli stessi anche in relazione agli altri elementi che compongono l'edificio quali basamenti, cornici, elementi cantonali, stipiti e architravi, intonaci e coperture.

Le strutture originarie sono state conservate attraverso un insieme di interventi di consolidamento e restauro; in particolare, per le parti in cui non è stata possibile la conservazione è stata prevista la ricostruzione con materiali originari e propri del luogo e della sua cultura costruttiva (mattoni crudi, malte e intonaci in argilla).

Assume un'importanza fondamentale la scelta dell'uso del materiale originario, la terra cruda appunto, anche per le parti del corpo di fabbrica parzialmente o completamente ricostruite. Questo deriva da una ferma volontà di dare valore all'uso del materiale e al suo modo di essere elaborato e messo in opera. Più che rendere leggibile l'intervento di recupero, con caratteri di riconoscibilità legati all'utilizzo di materiali e tecniche innovative e contemporanee, si è preferito verificare e dimostrare la possibilità di una continuità costruttiva, di una consuetudine comune fra le vecchie maestranze e i costruttori moderni.

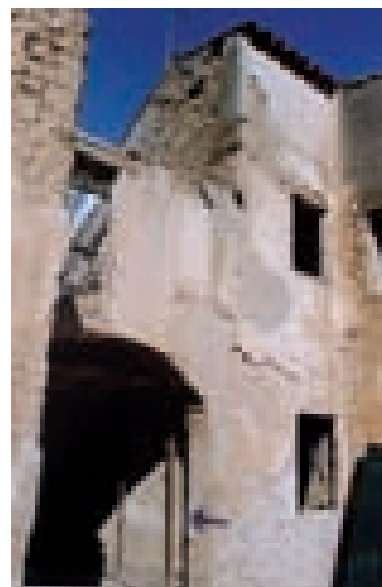
L'approccio progettuale al recupero di casa Fenu, perciò, è carico di un profondo carattere innovativo: l'utilizzo del materiale tradizionale infatti porta con sé un valore comunicativo che è dato dalla possibilità, attraverso il cantiere e la costruzione, di rientrare in contatto con la quotidianità, con la materialità del fare.

All'esame delle strutture murarie non si sono rilevati gravi dissesti statici dovuti all'insufficienza dei basamenti o a eccessive spinte degli elementi di copertura; è emerso solo un episodio circoscritto in una porzione della facciata principale su strada, in cui il degrado della muratura si configura come rotazione e distacco. Più grave invece il degrado derivato dall'eliminazione completa o parziale delle coperture, che ha provocato la riduzione delle sommità dei muri e talvolta la completa asportazione di parti erose per dilavamento; un degrado generalizzato è stato inoltre rilevato sugli strati di protezione comprendenti intonaci e tinteggiature.

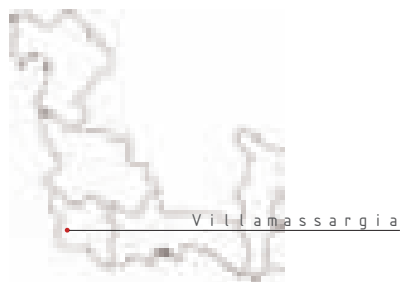
Nel consolidamento delle murature in terra cruda le operazioni di scuci e cucì hanno coinvolto tutte quelle parti di muratura danneggiate, comprese alcune in cui erano presenti lesioni o in cui era necessario ripristinare gli ammorsamenti con le murature trasversali.

Per quanto riguarda le porzioni mancanti si è proceduto alla completa reintegrazione con elementi di analoghe caratteristiche apparecchiati in modo perfettamente coerente con le parti esistenti.

Un aspetto a cui è stata data particolare importanza nelle opere di risanamento, consolidamento e reintegrazione è quello legato alla necessità di ripristinare l'unitarietà e l'omogeneità della muratura, per cui le opere di integrazione sono state effettuate con estrema cura delle connessioni con le parti esistenti. Come prima accennato i problemi relativi al degrado statico si sono rilevati in misura minima: si sono riscontrati solo alcuni distacchi nelle ammorsature, per la soluzione dei quali si è provveduto al montaggio di tiranti.

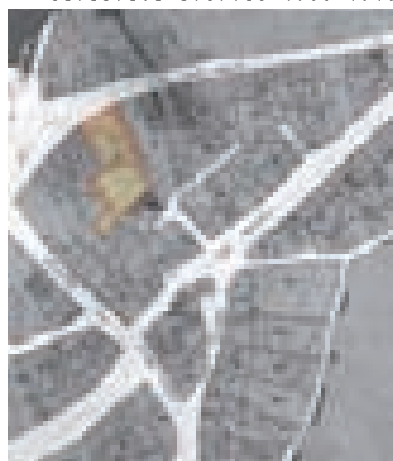


Figg. 3.36, 3.37. Vista dei fabbricati residenziali dalla prima corte, dettaglio del degrado delle murature e delle superfici intonacate.



Villamassargia

DOPPIA CORTE



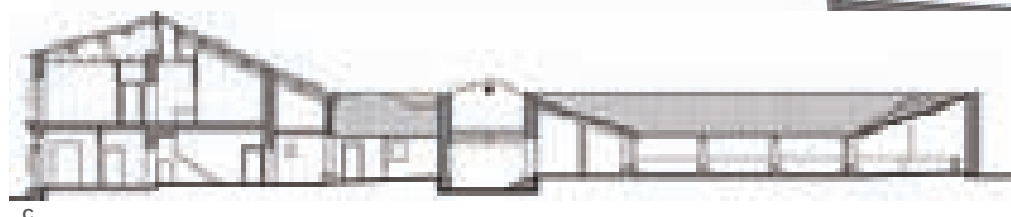
CASA FENU_ rilievo

Legenda

- 1_portale di ingresso
- 2_corte civile
- 3_corte rustica
- 4_loggiato rustico
- 5_portale
- 6_corte strumentale



- A_ Pianta piano terra
- B_ Prospetto su strada
- C_ Sezione a-a



0 4 8 12





Vista della casa Fenu dalla prima corte.

CASA FENU_ progetto

Legenda

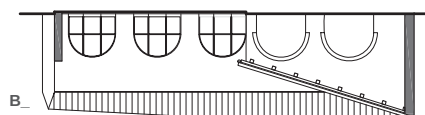
- 1_ prima corte
- 2_ biblioteca
- 3_ seconda corte
- 4_ terza corte
- 5_ laboratori
- 6_ sala conferenze



A_ Pianta piano terra

B_ Sezione b-b

C_ Sezione a-a



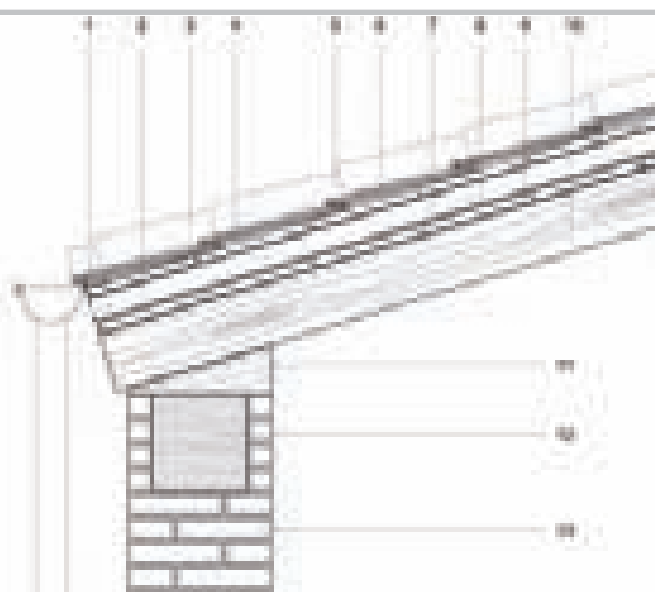
C_

0 4 8 12



- 1_griglia antipassero;
- 2_ventilazione sottomanto;
- 3_coppi sardi;
- 4_microventilazione sottotegola;
- 5_sottocoppo;
- 6_tavolato non continuo, spess 25 mm;
- 7_travicello 6x6 cm;
- 8_guaina impermeabile traspirante;
- 9_tavolato continuo, spess 25 mm;
- 10_falso puntone 10x15 cm;
- 11_cuneo in legno;
- 12_trave in legno lamellare 25x25 cm;
- 13_pilastro in mattoni pieni 5,5x12x25 cm, disposizione a tre teste.

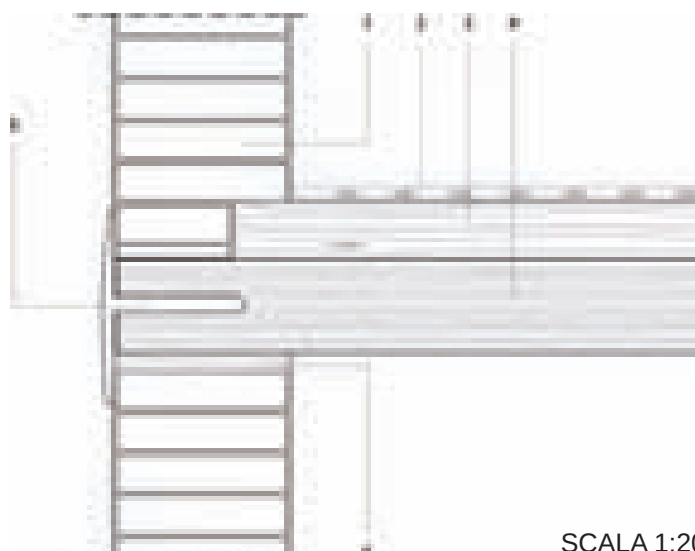
Fig. 3.38. Dettaglio costruttivo dell'integrazione e adeguamento della copertura.



SCALA 1:20

- 1_muratura in mattoni crudi, giacitura a due teste;
- 2_tavolato in legno, spessore 35 mm;
- 3_travetto in legno 10x15 cm;
- 4_trave in legno lamellare 25x25 cm;
- 5_capochiave in ferro;
- 6_dormiente in legno duro.

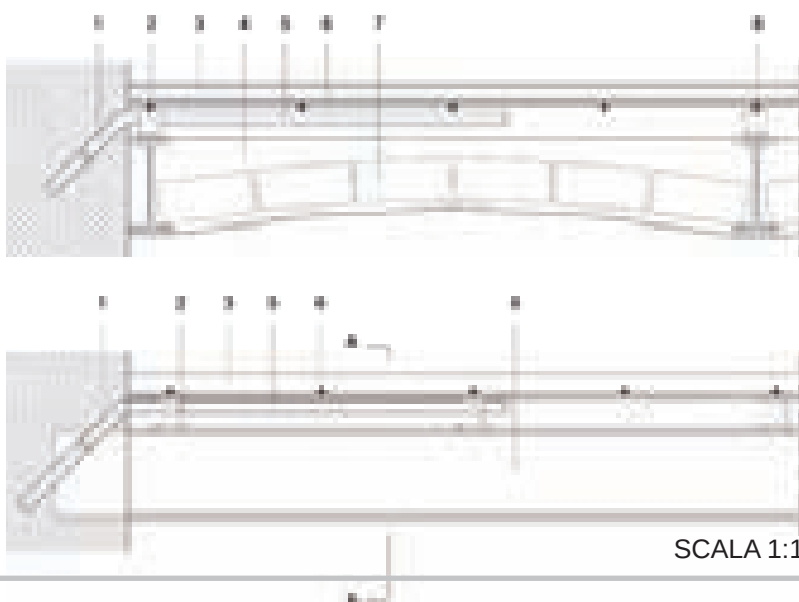
Fig. 3.39. Dettaglio costruttivo dell'integrazione e consolidamento dei solai intermedi.



SCALA 1:20

- 1_inghisaggio in foro riempito con malta cementizia;
- 2_profilo U40, lunghezza 30 mm, altezza 40 mm, saldato alla putrella esistente;
- 3_soletta in cls alleggerito, spessore 6 cm;
- 4_riempimento in cls esistente;
- 5_spezzoni armatura su 4 lati ogni 100 cm;
- 6_rete elettrosaldata, maglia 200x200 mm;
- 7_alleggerimento del solaio esistente;
- 8_putrella esistente.

Fig. 3.40. Dettaglio costruttivo del consolidamento dei solai intermedi.



SCALA 1:10

IL SISTEMA DI CHIUSURE
ORIZZONTALI



Fig. 3.41. Vista dall'estradosso del solaio intermedio in voltine in laterizi cotti e putrelle in ferro.



Fig. 3.42. Vista dall'intradosso del solaio intermedio in voltine in laterizi cotti e putrelle in ferro.

LE NUOVE MURATURE



Fig. 3.43. Preparazione dei basamenti delle murature con archi in terra cruda.



Fig. 3.44. Le murature con archi in terra cruda della nuova sala destinata a laboratori dell'Ecomuseo.

CHIUSURA DI BASE E FON-
DAZIONI



Fig. 3.45. Risanamento del basamento in pietra con integrazione di laterizi cotti pieni.

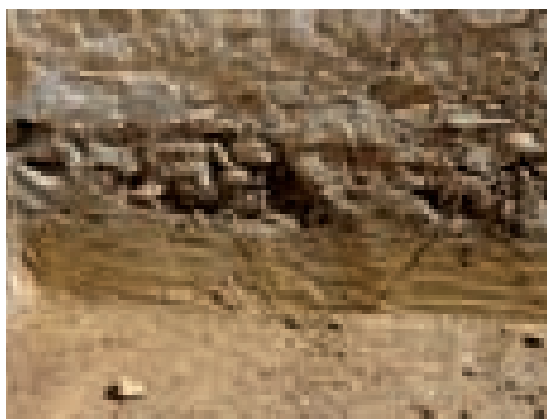


Fig. 3.46. Scavo per la realizzazione della chiusura orizzontale di base.

3.5. LA CASA PULSELLI A CABRAS

Progettista: Rossella Sanna

La casa Pulselli si trova a Cabras all'interno del centro insediativo di prima e antica formazione.

L'edificio è di particolare interesse in quanto - mai sottoposto ad interventi edilizi di ampliamento o ammodernamento - presenta integra la sua conformazione originaria di impianto pre-moderno. La casa è del tipo a corte retrostante. Una serie di cellule con raddoppio in profondità si sviluppa sul filo strada a un solo livello con l'eccezione di una piccola porzione del fronte strada, corrispondente a una cellula edilizia, raddoppiata in altezza. Lo sviluppo orizzontale si svolge seguendo l'andatura della strada adiacente sulla quale si aprono l'ingresso alla casa e l'accesso carraio che conduce direttamente alla corte. Questa è chiusa a est da vani strumentali adibiti un tempo a magazzini e collegati alla casa attraverso una tettoia, a ovest da un alto muro di confine costruito in mattoni in terra cruda.

La struttura è interamente costituita da muratura portante in mattoni di terra cruda, poggiata su fondazioni in pietrame. Il solaio intermedio è in legno ad orditura semplice, con sovrastante tavolato, mentre i solai di copertura, anche essi in legno, hanno l'intradosso costituito da un manto di canne schiacciate e intrecciate nei vani dell'abitazione e incannicciato nei vani a destinazione agricola. Il manto di copertura è in coppi sardi di produzione manuale.

Le finiture esterne presentano una interessante partitura del fronte

Fig. 3.47. Vista dei fabbricati residenziali su strada.



stradale con paraste che, dipartendosi dalla zoccolatura, terminano in una ricca cornice di coronamento. La muratura è finita con una semplice intonacatura in malta di calce sulla quale risaltano le cornici di alcune bucatore realizzate in arenaria con un doppio sottosquadro con fiamma catalana nell'architrave.

L'edificio, anteriormente al recupero (oggi in fase di ultimazione), si trovava in condizioni di degrado avanzato a causa dello stato di abbandono nel quale versava da circa 30 anni.

Il crollo di parte del manto di copertura aveva causato il dilavamento di interi tratti di muratura e il loro conseguente dissesto statico, in particolare nelle zone dove si leggevano ampliamenti succedutisi nel tempo; a ciò si sommava il problema dell'umidità di risalita, concentrato in alcuni punti. L'intervento di recupero della casa ha previsto in primo luogo l'eliminazione dell'intonaco, ove degradato, per verificare l'effettivo stato delle murature, delle fessurazioni e delle lesioni. Con operazioni di scuci – cucì si è provveduto al reintegro delle parti oltremodo degradate con l'inserimento di nuovi mattoni in terra cruda.

Anche il consolidamento delle lesioni è stato effettuato utilizzando il mattone in terra cruda, e solo in prossimità degli angoli si è fatto uso del mattone cotto pieno.

Un tratto di muratura fortemente spiombato è stato opportunamente puntellato, al fine di ottenerne il raddrizzamento, attraverso il graduale allungamento dei puntelli posti su una parete al quale corrisponde lo stesso graduale accorciamento dei puntelli contrastanti sulla parete opposta. Il nuovo assetto della muratura è stato in seguito consolidato con l'inserimento di opportune chiavi negli angoli, con il ripristino delle catene esistenti e, dove necessario, con la realizzazione di nuove catene del tutto simili alle vecchie.

Le coperture e i solai sono stati in gran parte ricostruiti con materiali di recupero. La copertura nuova è stata realizzata con struttura lignea e intradosso in "orriu" o in incanniccato come era in origine. Sopra questo è stato posato uno foglio anticondensa e la coibentazione, a seguire un manto impermeabile ardesiato sul quale sono stati posati i coppi di recupero.

Per quanto attiene il problema dell'umidità dovuta alla risalita capillare si è intervenuti realizzando in prossimità delle fondazioni, in tutti i prospetti sulla corte, un canale di drenaggio per il convoglio delle acque. All'interno dell'edificio si è realizzato il vespaio con canali collegati a prese d'aria esterne e al caminetto in modo che durante l'inverno, nel periodo di massima umidità, con l'accensione del camino si attivi una maggiore circolazione d'aria.

Gli intonaci interni e le parti mancanti sono state realizzate, previa la rincoccatura delle pareti, con arriccio di malta di terra e finitura in calce; gli intonaci esterni con sbruffatura, arriccio e finitura interamente in malta di calce, seguendo il partito decorativo originario della facciata.

Tutti gli interventi fin'ora effettuati sono stati eseguiti nel rispetto delle strutture esistenti sia dal punto di vista costruttivo che dei materiali utilizzati. Le modifiche interne, volte alla continuità d'uso dell'edificio come abitazione, sono state minime e realizzate nel rispetto dell'impianto murario, a cellule, della fabbrica edilizia originaria.



Fig. 3.48. Riasanamento della muratura in mattoni di terra cruda.

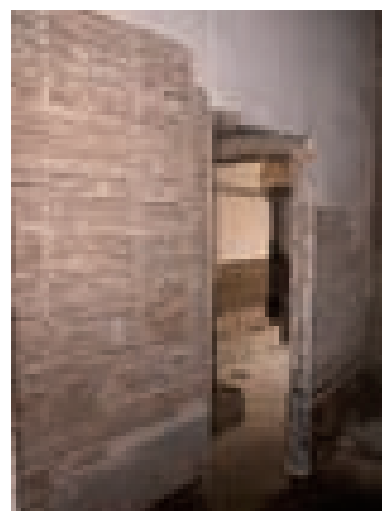


Fig. 3.49. Conservazione delle pareti divisorie degli ambienti interni costituite da un'armatura lignea e da fasce di chiusura in canne e finitura intonacata.

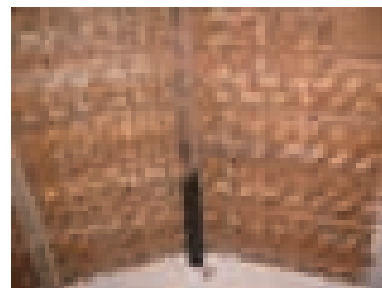
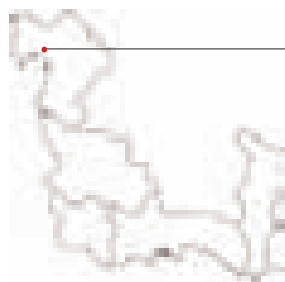


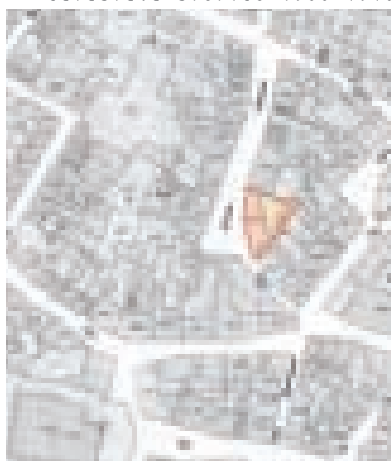
Fig. 3.50. Recupero e risanamento del tessuto di canne schiacciate utilizzato come rivestimento dell'intradosso di copertura.

Cabras

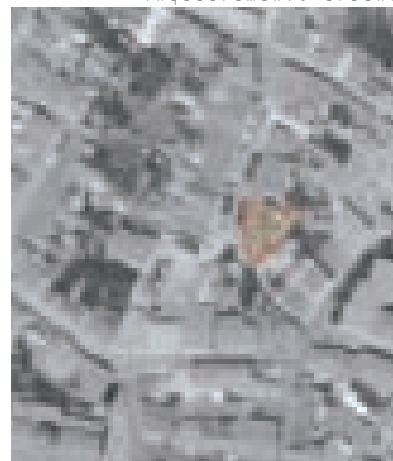


CORTE RETROSTANTE

catastale storico 1900-1910



inquadramento urbano



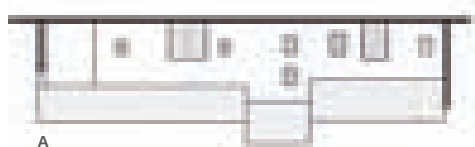
CASA PULSELLI_ rilievo

Legenda

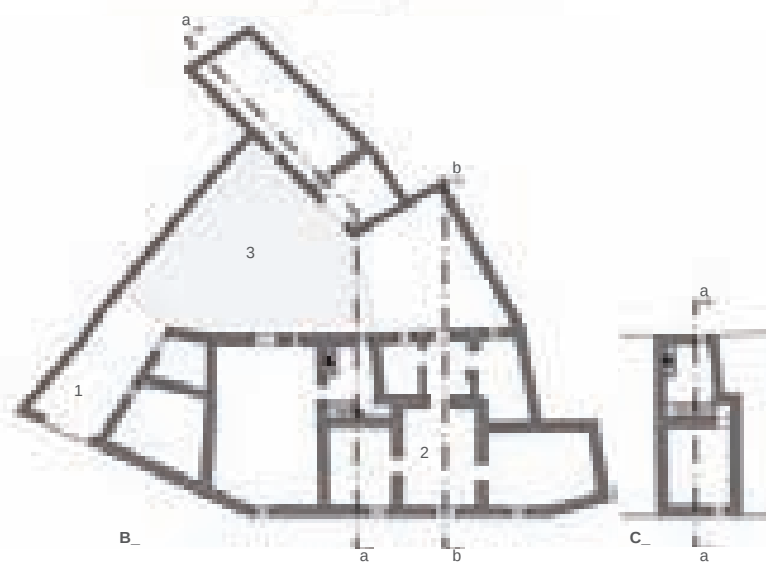
1_ portale di ingresso

2_sala

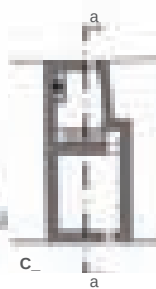
3_corte



A_



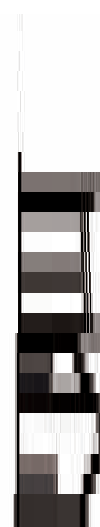
B_



C_



D_



E_



F_

A_ Prospetto sulla corte

B_ Pianta piano terra

C_ Pianta primo piano

D_ Sezione a-a

E_ Sezione b-b

F_ Prospetto sulla strada

0 4 8 12





Viste del corpo abitativo dalla strada e dalla corte.

CASA PULSELL I_ progetto

Legenda

- 1_portale di ingresso
- 2_ingresso-sala
- 3_corte
- 4_cucina
- 5_pranzo
- 6_soggiorno
- 7_camera
- 8_servizio
- 9_loggiato



- A_ Prospetto sulla corte
- B_ Pianta piano terra
- C_ Pianta primo piano
- D_ Sezione a-a

0 4 8 12



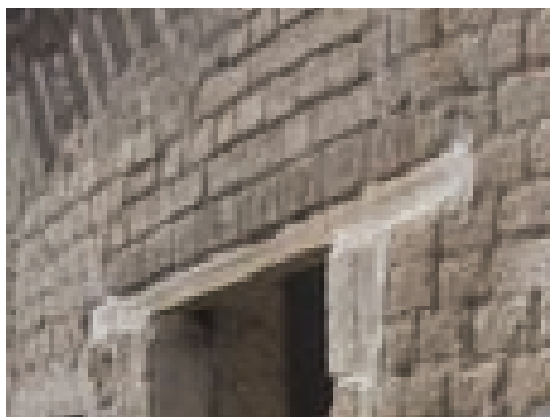
CONSOLIDAMENTO DELLE
MURATURE

Fig. 3.51. Risanamento della muratura in mattoni di terra cruda sovrastante l'architrave: opera di scuci - cucì e sostituzione dell'architrave ligneo.

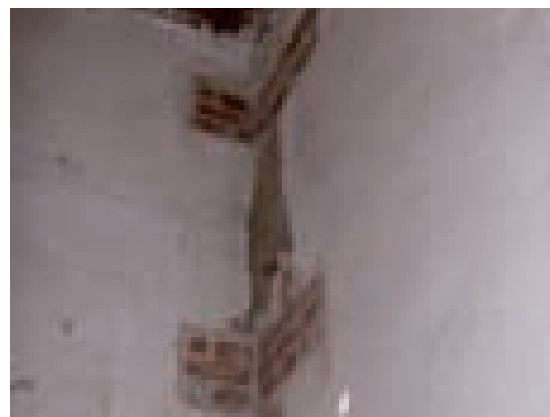


Fig. 3.52. Sistema di ammassamento della muratura in terra cruda esistente con ricostruzione dell'incrocio mediante ricuciture in mattoni laterizi.

IL SISTEMA DI ARCHITRAVI

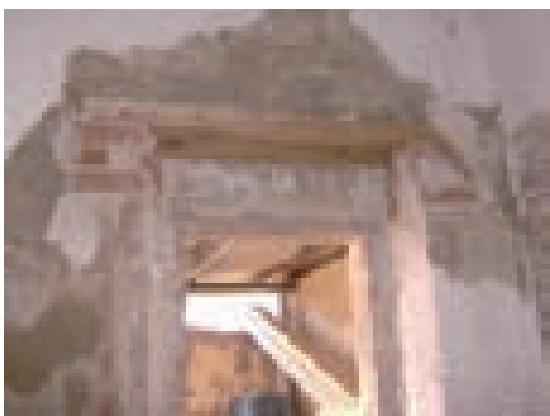


Fig. 3.53. Sostituzione dell'architrave ligneo e rifacimento delle imposte in mattoni laterizi.

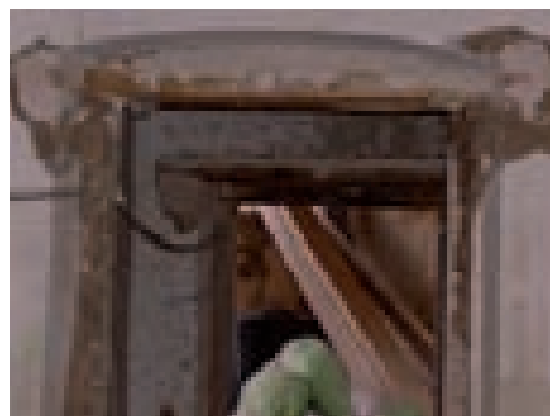


Fig. 3.54. Sostituzione dell'architrave ligneo e rifacimento delle imposte in mattoni laterizi.

INTONACI E FINITURE



Fig. 3.55. Dettaglio della finitura interna realizzata con intonaco di terra e calce.



Fig. 3.56. Dettaglio di un'apertura interna in corrispondenza dello stipite in mattoni di terra cruda. Finitura realizzata con intonaco di terra e calce.

IL SISTEMA DI COPERTURA



Fig. 3.57. Dettaglio dell'intradosso della copertura ricostruito secondo tecniche tradizionali. Struttura in legno di castagno e tessuto di canne schiacciate ("orriu").



Fig. 3.58. Dettaglio dell'intradosso della copertura ricostruito secondo tecniche tradizionali. Struttura lignea e incanniciato.

SMALTIMENTO DELLE ACQUE

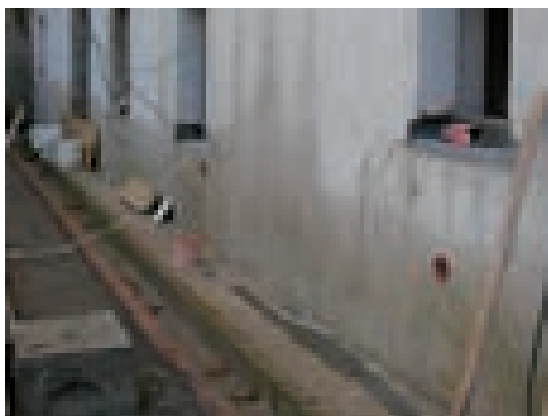


Fig. 3.59. Dettaglio della canaletta di raccolta delle acque nella corte interna.



Fig. 3.60. Dettaglio del sistema di gronda con tegole aggettanti su cornicione modanato ricostruito secondo il disegno originario.

INTONACI E FINITURE

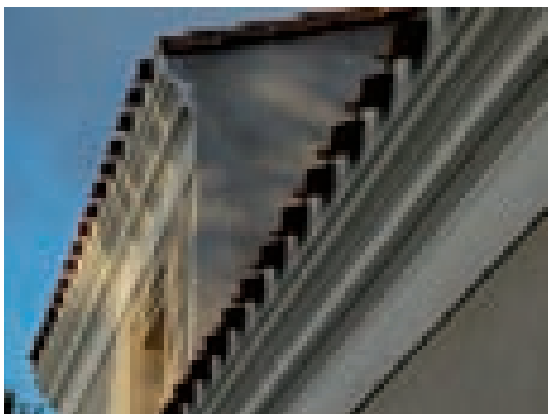


Fig. 3.61. Dettaglio di facciata. Ricostruzione del cornicione.



Fig. 3.62. Dettaglio di facciata. Rifacimento intonaci in terra e calce con restauro del decoro di facciata costituito da paraste in lieve rilievo.

GLI INTONACI SULLE MURATURE IN TERRA CRUDA.

Patologie, conservazione e recupero.

Le patologie degli intonaci su murature in terra cruda sono di tipologia ricorrente e tutte riconducibili in maniera più o meno diretta alla presenza di umidità nella muratura. Il rivestimento veniva realizzato storicamente in uno o due strati successivi di un impasto simile a quello dell'adobe sottostante, ed una finitura a base di calce. Il comportamento del rivestimento al variare della temperatura esterna e dell'umidità relativa risultava pertanto perfettamente sinergico a quello della muratura sottostante. Questo permetteva alla muratura un corretto scambio igrometrico tra interno ed esterno, una corretta essiccazione della parete dopo eventi atmosferici prolungati nel tempo, un comportamento fisico dei componenti i diversi strati di rivestimento generalmente coerente.

Negli interventi generalizzati di conservazione, recupero ed integrazione degli strati protettivi vale la regola generale che impone la *rimozione della causa primaria*. Occorrerà dunque individuare con precisione l'origine della patologia ed intervenire preventivamente su questa. Successivamente si procederà ad una valutazione dello stato degli intonaci ancora presenti e delle patologie presentate.

Si evidenziano di seguito le patologie più ricorrenti:

- a.* Rigonfiamenti, fessurazioni, distacchi dell'intonaco dovuti a procedure di messa in opera errate o poco curate, spesso causati dalla frapposizione di elementi metallici tra la muratura e l'intonaco.
- b.* Formazione di muffe e sali sulle superfici del rivestimento, distacchi di porzioni di intonaco per riduzione di traspirabilità dovuta all'utilizzo di tinteggiature acriliche.
- c.* Dilavamento, erosione superficiale e infiltrazioni legati all'azione concentrata del *ruscellamento* delle acque meteoriche causati da rottura delle gronde o da ripristini incongrui. Possono essere più o meno accentuati in rapporto alla consistenza ed alle caratteristiche fisico-chimiche dei materiali, alla consistenza del rivestimento ed alla sua adesione al supporto, alla protezione da parte della copertura e di eventuali cornici e aggetti.
- d.* Rottura e distacco della sottile pellicola di tinta, che prende il nome di sfogliatura della tinteggiatura, dovuta alla risalita di umidità per capillarità nonché ad eventuali sovrapposizioni di differenti tipi di tinta in tempi successivi.
- e.* Deterioramento per sostituzione di intonaci e malte con leganti cementizi poco traspiranti e di igroscopicità molto diversi da quella della muratura in terra cruda.

Per ripristinare i caratteri costruttivi originari in generale è necessario evitare sostituzioni integrali o parziali con elementi composti da materiali incompatibili e utilizzo di leganti cementizi ed idraulici nei rivestimenti e nei giunti al posto di malte di terra e calce più simili a quelle originali;

E' possibile migliorare le prestazioni fisico-meccaniche degli impasti (stabilizzare) con e calci aeree, al fine primario di idrofobizzarli parzialmente senza diminuirne la traspirabilità e di renderli più resistenti a sollecitazioni di compressione.

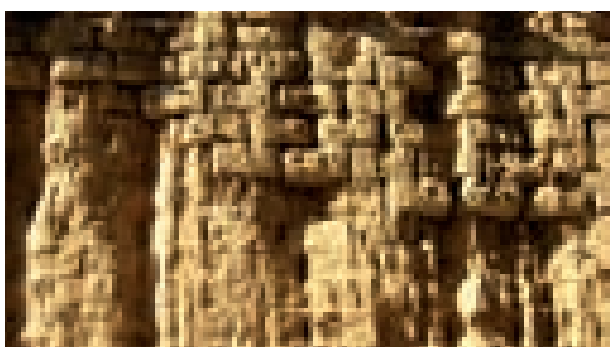
IL DEGRADO DEGLI INTONACI IN TERRA CRUDA



a Rigonfiamenti, fessurazioni, distacchi dell'intonaco



b Degrado causato dall'utilizzo di tinteggiature acriliche



c Degrado causato da ruscellamento



d Esfoliazione della tinteggiatura



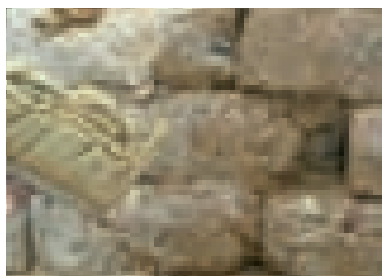
e Deterioramento per impiego di leganti cementizi

Recuperi e ripristini dei rivestimenti sono sufficienti quando si è avuta un'azione di dilavamento o erosione delle murature che non ne ha compromesso la portanza; in casi più gravi è invece necessario intervenire più radicalmente con sostituzioni di parti della muratura stessa, tenendo conto dei problemi di raccordo con quelle contigue (cuci e scuci).

In tutti i casi di intervento sono da preferire malte ottenute con calci aeree o debolmente idrauliche, mentre si escludono leganti cementizi che presentano caratteristiche di acidità, impermeabilità, e scarsa coibenza.

Procedure di conservazione e/o sostituzione.

Caso a



1. rimozione di tutti i rivestimenti realizzati con reti metalliche e/o materiali diversi da impasti a base di terra e calce (rimozione totale dell'intonaco esistente, nel caso di sostituzione)
2. rimozione totale delle parti distaccate/fessurate e di quelle immediatamente adiacenti
3. rimozione di eventuale strato di pittura su tutta la parete
4. rimozione con una spazzola morbida dei residui di terra su mattoni e corsi di malta
5. umidificazione della superficie (eseguibile anche con leggero getto d'acqua continuo o con una pennellessa) e pressatura accurata da effettuarsi con la punta di una cazzuola a punta arrotondata.
6. ripristino delle parti mancanti con rincoccatura fatta con impasto di terra e piccoli pezzi di terracotta (tegole o laterizi pieni) Eventuale sostituzione con metodo cuci-scuci degli adobe, se erosi per circa 1/6 della lunghezza (3 - 3,5 cm), con elementi stabilizzati con calce
7. Umidificazione leggera della superficie
8. prima stesura (arricciatura) di malta di terra con inerti di grana grossa ($< 0,3 - 0,5$ cm.), che assicurino un ancoraggio ottimale al supporto e paglia (lunghezza degli steli < 5 cm), dello spessore di 1,5 - 2 cm. È importante avere la massima attenzione al contatto con il rivestimento originario, zona che deve essere preventivamente inumidita e ben pressata onde evitare successivi fenomeni di fessurazione
9. a strato ancora leggermente umido provvedere ad effettuare dei fori di aggrappo per lo strato successivo
10. ripetere l'operazione più volte se è necessario recuperare spessore, con strati successivi quanto più sottili possibile, stesi dopo completa asciugatura del supporto

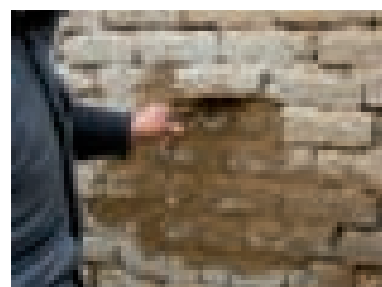
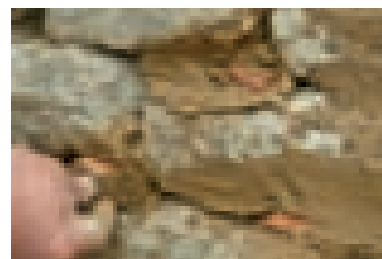
11. Stesura di uno strato successivo di spianamento steso con una rigHELLa con l'aiuto di guide (abbozzo) ed eseguito usando malta di terra ad inerti di grana media ($< 0,2$ cm.) per conferire più leggerezza e porosità allo strato e calce aerea o grassello in percentuale non superiore al 5% del peso totale a secco
12. Nel caso in cui i materiali sottostanti siano di diversa natura (fig), si procederà alla stesura dei primi strati di intonaco a base di terra solo sulle parti in adobe, procedendo sulle altre con gli strati successivi a base di calce
13. a strato ancora leggermente umido provvedere ad effettuare dei fori di aggrappo per lo strato successivo
14. strato finale eseguito con malta di calce aerea a sabbia fine a spessore molto limitato e finitura liscia. È possibile pigmentare questa malta con aggiunta di colori naturali o terre evitando così la successiva fase di tinteggiatura

Si consiglia l'uso di tinteggiature tradizionali a base di latte di calce e pigmenti naturali inorganici (terre). Mentre è assolutamente da evitare l'uso di tinteggiature sintetiche.

Caso b

La conservazione di elementi di finitura realizzati con prodotti acrilici e/o di scarsa traspirabilità non sono mai consigliati. E' tuttavia considerata ammissibile se si tratta di murature interne, di ambienti non di servizio, di ambienti localizzati ai piani superiori.

1. Rimozione di tutte le porzioni di rivestimento ammalorate e di quelle adiacenti e/o rimozione dello strato superficiale su tutta la parete su cui è manifesto il deterioramento e/o rimozione dello strato superficiale se realizzato con prodotti acrilici e/o di scarsa traspirabilità
2. Asportazione di eventuali residui di sali/muffe sulla muratura per mezzo di una spazzola semi-rigida
3. Eliminazione della porzione di intonaco intorno alla parte deteriorata per almeno 10 cm
4. Ripristino delle superfici sottostanti (vedi punto a 5-6)
5. Sostituzione con metodo cuci-scuci degli adobe, se erosi per circa 1/6 della lunghezza (3 - 3,5 cm), con elementi stabilizzati con calce
6. e segg. vedi precedente caso a



Caso *c*

In questo caso vale più che mai la regola generale che impone la rimozione della causa primaria. Procedere pertanto come nel caso *a* solo dopo avere accuratamente provveduto al ripristino della funzionalità di grondaie, aggetti e cornici

1. rimozione totale delle parti ammalorate e di quelle immediatamente adiacenti
2. eventuale sostituzione con metodo cuci-scuci degli adobe, se erosi per circa 1/6 della lunghezza (3 - 3,5 cm), con elementi stabilizzati con calce
3. e segg. vedi precedente caso *a*

Caso *d*

La conservazione è consigliata solo nei casi in cui siano presenti decori di pregio sulla superficie (affreschi ma anche decori a stencil). In ogni altro caso occorrerà tenere presente che la differenza di colore nelle parti aggiunte sarà, con molta probabilità, visibile.

1. rimozione delle porzioni ammalorate e/o rimozione della pellicola superficiale da effettuarsi su tutta la parete interessata.
2. realizzazione di un sottile strato di malta possibilmente identica alla preesistente di rettifica della superficie. Nel caso in cui si tratti di superfici in terra, provvedere ad un'accurata indagine sulle caratteristiche della finitura preesistente.
3. realizzazione di un sottile strato di malta di calce (grassello) di rettifica della superficie

La tinteggiatura finale può essere evitata se si utilizza per l'impasto dell'operazione precedente del pigmento naturale, altrimenti si consiglia l'uso di tinteggiature tradizionali a base di latte di calce e pigmenti naturali inorganici (terre). Evitare in ogni caso l'uso di tinte sintetiche

Caso *e*

E' da escludere a priori l'uso di rivestimenti cementizi per le loro caratteristiche di acidità, impermeabilità, e scarsa coibenza. La loro conservazione è dunque fortemente sconsigliata. In tutti i casi di intervento sono da preferire malte ottenute con calci aeree o debolmente idrauliche

Per la messa in opera vedi precedente caso *a*



Fig 4.1. Copertura della moschea di Djenne, Mali.

4.1 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.

4.2 Definizioni

- *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 μ (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/cm² e un modulo di rottura di 3,5 kg/cm².

4.3 Materiali e loro lavorazione

4.3.1 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 fondamentalmente 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 A.F.N.O.R. XII-501 mm. (CRATerre)¹. 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 di dimensioni superiori alla metà della dimensione del lato più piccolo;

- terre che presentano una naturale tendenza al ritiro;
- terre che non assicurano una discreta coesività.

- *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.

4.3.2 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.O8O).
- *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 (oli 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).

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 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).

4.3.3 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.

4.3.4 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)
- *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)

- *Stoccaggio dei materiali:* i materiali dovranno essere stoccati in maniera da evitare contaminazioni o possibilità di reazioni chimiche involontarie, lontani da umidità.

4.4 Costruzione

- *Utilizzo degli adobe:*
 - Nessun adobe potrà essere messo in opera senza aver subito un tempo di essiccazione di almeno 4 settimane. (NMAC)
 - 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 m² per edifici ad 1 piano, 300 m² per edifici a due piani fuori terra. (NZ 4299)
- *Fondazioni:*
 - Non è consentito utilizzare adobe per la realizzazione di fondazioni. (NMAC)
 - 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)
 - 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):*
 - 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.

SPESSORE DELLA MURATURA	ALTEZZA MASSIMA CONSENTITA
30	325
35	360
40	360
45	360
60	360

Tabella 1- Altezze consentite per murature portanti in adobe (NMAC)

• *Cordoli:*

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)

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)

• *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'intonatrice meccanica.

• *Aperture:*

– Aperture di porte e finestre dovranno essere collocate a non meno di 45 cm. di distanza da ciascun angolo dell'edificio. (NMAC)

– 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)

– 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 semplice inserire il telaio durante la messa in opera della muratura che fissarlo a posteriori. (NMAC)

– 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.

4.5 Test per il controllo della qualità delle terre e dei materiali da costruzione

I test effettuati in laboratorio sono in assoluto i più affidabili. Tuttavia, 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 indicati nella tabella. 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
		<i>Prima della messa in opera</i>	<i>Durante la costruzione</i>	
Compressione o modulo di rottura	A	5 campioni della stessa fornitura	5 campioni ogni 5000 messi in opera	3 N/mm ² (compressione) 0.4 N/mm ² (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 utilizzati	Risultato positivo, secondo scheda di riferimento

I campioni dovranno essere stati preventivamente essiccati per almeno 28 giorni² in ambiente protetto da pioggia e vento, e schermato da soleggiamento diretto per i primi 4 giorni. Inoltre, non devono essere stati essiccati in forno.

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 CRA Terre³. 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.

- *Elaborazioni e calcoli⁴*

Alla rottura di ciascun adobe, misuriamo il carico di rottura P_{fi} , da cui si deduce la resistenza a flessione σ_{fi} tramite la formula di Navier

$$\sigma_{fi} = M y_{max} / J = 1,5 \times (P_{fi} d) / (l h^2)$$

nella quale:

$$M = P_{fi} d / 4 \quad \text{momento flettente in mezzzeria;}$$

$$y_{max} = h / 2 \quad \text{posizione dell'asse neutro;}$$

$$J = l h^3 / 12 \quad \text{momento d'inerzia baricentrico della sezione;}$$

per cui sostituendo si ottiene:

$$\sigma_{fi} = 1,5 \times (P_{fi} d) / (l h^2)$$

dove:

$$P_{fi} \quad \text{carico di rottura in N;}$$

$$d \quad \text{distanza tra gli appoggi in mm;}$$

$$l \quad \text{larghezza dell'adobe in mm;}$$

$$h \quad \text{altezza dell'adobe in mm;}$$

Dal valore σ_{fi} così ottenuto si estrapola la resistenza a compressione σ_{ci} tramite la formula:

$$\sigma_{ci} = k \sigma_{fi}$$

dove $k = 8$ è un coefficiente il cui valore è stato proposto dall'ENTPE (Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat de Lyon). A partire dai valori di σ_{fi} e di σ_{ci} si deducono i valori medi di resistenza a flessione σ_f e a compressione σ_c per le due serie di adobe.

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.

- *Accettazione dei risultati*

Gli adobe saranno accettati se l'altezza dell'acqua è contenuta nei limiti indicati nella tabella a lato.

In ogni caso al termine della prova l'adobe dovrà risultare pressoché integro, con lievi perdite di materiale alla base.

TEMPI	H MAX	TEMPI	H MAX
15'	7,5	3h 30'	12
30'	8,5	4h	12,5
45'	9,	4h 30'	12,7
1h	9,5	5h	13
1h 15'	10	5h 30'	13,5
1h 30'	10,5	6h	13,6
1h 45'	10,7	7h	13,7
2h	11,	8h	13,9
2h 15'	11,2	9h	14
2h 30'	11,4	10h	14,3
2h 45'	11,6	11h	14,4
3h	11,8	12h	14,5

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.

- *Interpretazione dei risultati*

PROPRIETÀ	CRITERI	INDICE DI EROSIONE
Profondità del foro D (in mm)	< 20	1
	$20 \leq D < 50$	2
	$50 \leq D < 90$	3
	$90 \leq D < 120$	4
	$D \geq 120$	5 (non accettato)
Profondità di penetrazione U	< 120	Accettato
Se il campione è più spesso di 120 mm	≥ 120	Non accettato

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 operativo⁵*

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 dev'essere eseguita in un luogo all'aperto riparato dal vento e dall'irraggiamento diretto (foto 58).

Il gocciolamento deve avvenire da un'altezza di 400 mm dalla superficie dell'adobe, che andrà disposta inclinata come indicato in figura. 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.

- *Elaborazione dei dati*

L'accettabilità di un adobe è vincolata alla profondità del foro (D, in mm) prodotto dal gocciolamento e si basa sull'attribuzione di un indice di erosione I da assegnare seguendo le indicazioni riportate nella seguente tabella:



Fig 4.2. Prova di Geelong.

PROPRIETÀ	CRITERI	INDICE DI EROSIONE
Profondità del foro D (in mm)	$0 < D < 5$	2
	$5 \leq D < 10$	3
	$10 \leq D < 15$	4
	$D \geq 15$	5 (non accettato)
Profondità di penetrazione U	< 120	Accettato
Se il campione è più spesso di 120 mm	≥ 120	Non accettato

Scheda E 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.

- *Elaborazione dei dati*

$0\% \leq \text{ritiro} \leq 3\%$ è considerato normale;

$3\% \leq \text{ritiro} \leq 5\%$ è considerato accettabile;

$5\% \leq \text{ritiro}$ è considerato inadeguato.

Scheda F 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 operativo⁶*

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.

- *Elaborazione dei dati*

I requisiti di accettazione sono i seguenti:

- l'adobe non deve rompersi in pezzi di dimensioni approssimativamente uguali;
- gli spigoli della parte restante dopo l'urto non devono presentare perdite superiori ai 10 cm.

4.6. Caratteristiche tecniche di riferimento degli elementi da costruzione in terra cruda

- *Resistenza a compressione*

Gli adobe dovranno avere una resistenza minima a compressione pari a 20 kg/cm². Un campione su 5 può avere una resistenza minima di 17 kg/cm²:

RESISTENZA A COMPRESSIONE		LEHMBAUREGELN
Materiali	Densità (Kg/dm ³)	Resistenza a compressione (N/mm ²)
Adobe	1,6-2,2	2,0-4,0

- *Modulo di rottura*

Ciascun adobe dovrà avere un modulo di rottura non inferiore a 3,5 kg/cm² (NMAC) testato secondo il seguente procedimento:

- Si appoggia un adobe su due tubi di 2" di diametro (5,08 cm), posti a 5 cm di distanza da ciascun lato più corto. L'intera profondità dell'adobe deve poggiare sul ferro.
- Un terzo tondino di 2" di diametro verrà posto sulla mezzeria della faccia superiore.
- Si applicherà un carico alla velocità di 250 kg/min (NMAC) fino alla rottura del campione.
- Il modulo di rottura si ricava con la formula $3WL/2Bd$, dove:

W = Carico di rottura;

L = Distanza tra i supporti;

B = Lunghezza del campione;

d = spessore del campione;

- *Modulo di elasticità (Lehmbauregeln)*

Il modulo di elasticità E dell'adobe è compreso tra 5000 e 7000.

- *Trasmittanza λ (Lehmbauregeln)*

Peso specifico (kg/m ³)	Trasmittanza λ_R (W/mK)	Peso specifico (kg/m ³)	Trasmittanza λ_R (W/mK)
2200	1,40	1000	0,35
2000	1,20	900	0,30
1800	0,90	800	0,25
1600	0,70	700	0,21
1400	0,60	600	0,17
1200	0,50	500	0,14
1000	0,35	400	0,12

- *Calore specifico c (Lehmbauregeln)*

CALORE SPECIFICO (kJ/kgK)				
Peso specifico	Additivi minerali	Additivi organici minerali		
kg/m^3	Sabbia, Ghiaia, inerti leggeri	Paglia	Fibre sottili	Granulato in legno
≤1600	1,0	1,0	1,0	1,0
1400	1,0	1,0	1,1	1,1
1200	1,0	1,0	1,1	1,2
1000	1,0	1,1	1,1	1,3
800	1,0	1,1	1,2	1,4
600	1,0	1,1	1,3	1,5
400	-	1,2	1,4	-

- *Densità. Valori medi (Lehmbauregeln)*

TIPO	da (kg/m³)	a (kg/m³)
Mattoni di terra	1700	2200 minerali
Mattoni in terra leggera	600	1200
Malta in terra	1200	1800
Malta in terra alleggerita	800	1200
Intonaco in terra	1200	1800
Intonaco in terra alleggerita	600	1200
Intonaco a spruzzo	600	1800

- *Solidità. Resistenza a compressione. Valori medi ottenuti da test di laboratorio (Lehmbauregeln)*

MATERIALE	Densità del crudo (kg/dm³)	Resistenza a compressione (N/mm²) - (kg/dm³)
Mattoni di terra	1,6 - 2,2	2 - 4 minerali

- *Umidità. Diffusione del vapore (Lehmbauregeln)*

Fattore di contrasto alla diffusione del vapore			
Densità del crudo (kg/m³)		μ	
		additivi	
da	a	organici	minerali
400	1200	3/5	5/10
1200	2200	5/10	5/10

- *Essiccazione (Lehmbauregeln)*

TEMPI DI ESSICCAZIONE DEI MATERIALI (VALORI SPERIMENTATI)	
	mesi
Muratura in adobe 25 cm	1-2
Muratura in adobe leggeri spessore 15 cm.	1-2
Intonaco di terra interno	0,5-1

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

Lehmbau 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 Técnica de edificación 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.

Note

¹ Nel testo vengono usate le seguenti abbreviazioni ad indicare i relativi riferimenti bibliografici e normativi:

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

(NTE – E.080): *Norma tecnica de edificación NTE E.080*, Adobe, Lima Peru 2000;

(NZ 4297): Standards New Zealand – *NZ 4297 Engineering design for earth buildings*, 1998;

(NZ 4298): Standards New Zealand – *NZ 4298 Materials and workmanship for earth buildings*, 1998;

(NZ 4299): Standards New Zealand – *NZ 4299 Earth buildings not requiring specific design*, 1998;

(NMAC): New Mexico State Building Code, Section 2405 - Amendment, 1982.

² Questo lasso di tempo assicura un contenuto di umidità pari a 3.0 - 5.0%, raccomandato per una corretta valutazione.

³ Vincent Rigassi, CRATerre-EAG, *Blocs de terre comprimée. Volume I. Manuel de production*, op. cit., pag. 88.

⁴ Vincent Rigassi, CRATerre-EAG, *Blocs de terre comprimée. Volume I. Manuel de production*, op. cit., pag.79; Hugo Houben, Hubert Guillaud, CRATerre-EAG, *Traité de construction en terre*, op. cit., pag. 139; Gaia Bollini, Viviana Bonato, "Normativa tecnica per la costruzione in terra cruda (lādiri) in Sardegna: prime ipotesi", in *Abitare la terra*, op. cit., pagg. 80-81.

⁵ Standards New Zealand Committee BD/83 *Earth Building. NZS 4298 Materials and workmanship for earth buildings*, Marzo 1998, pagg. 53-54.

⁶ Standards New Zealand Committee BD/83 *Earth Building. NZS 4298 Materials and workmanship for earth buildings*, Marzo 1998, pag. 58.

Bibliografia

L'ARCHITETTURA POPOLARE E L'EDILIZIA RURALE

- A. Della Marmora, *Itinerario dell'Isola di Sardegna, tradotto e compendiato dal Can. Giovanni Spano, volume I*, edizione anastatica sui tipi di A. Alagna, Cagliari 1868, Edizioni Trois, Cagliari 1971.
- G. Pagano, G. Daniel, *Architettura rurale in Italia*, <Quaderni della Triennale>, Milano 1936.
- R. Biasutti, *Lo studio della casa rurale*, in <La ricerca scientifica>, n. 10 1952.
- E. Sereni, *Storia del paesaggio agrario italiano*, Laterza, Bari 1961.
- L. Gambi, G. Barbieri (a cura di), *La casa rurale in Italia*, CNR, L.S. Olschki ed., Firenze 1970.
- G. Caniggia, *Strutture dello spazio antropico*, Uniedit, Firenze 1976.
- L. Gambi, *La casa contadina*, in <Storia d'Italia>, vol. VI, Einaudi, Torino 1976.
- E. Guidoni, *L'architettura popolare in Italia*, Laterza, Roma-Bari 1980.
- S. Agostini, *Architettura rurale: la via del recupero. Alternative d'intervento sull'esistente*, Franco Angeli, Milano 1999.
- J. Ortiz Sanz, T. Rego Sanmartin, I. Cañas Guerrero, *La casa de corral: emblema de las construcciones agrarias tradicionales en Castilla y Leon*, Junta de Castilla Y Leon 2001.
- Equipe Corpus (a cura di), *Arquitectura tradicional mediterránea*, Col·legi d'Aparelladores i Arquitectes Tècnics de Barcelona per il Meda-Corpus, Barcelona 2002.

MANUALI E GUIDE DEL RECUPERO

- F. Giovanetti (a cura di), *Manuale del recupero di Palermo*, Flaccovio Ed., Palermo 1997.
- F. Giovanetti (a cura di), *Manuale del recupero del comune di Roma*, seconda edizione ampliata, DEI, Roma 1997.
- A. Giuffrè, C. Carocci, *Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione dei Sassi di Matera*, Edizioni La Baitta, Matera 1997.
- F. Giovanetti (a cura di), *Manuale del recupero di Città di Castello*, DEI, Roma 2000.
- S.F. Musso, G. Franco, *Guida alla manutenzione e al recupero dell'edilizia e dei manufatti rurali*, Marsilio, Venezia 2000.
- D. Bosia, G. Franco, R. Marchiano, S.F. Musso, *Guida al recupero degli elementi caratterizzanti l'architettura del territorio del G.A.L. Mongioie*, TipoArte, Bologna 2004.
- G. Cangì, *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, DEI, Roma 2005.
- S.F. Musso, G. Franco, *Guida agli interventi di recupero dell'edilizia diffusa nel parco nazionale delle cinque terre*, Marsilio, Venezia 2006.
- C. Atzeni, M. Manias, *Manuale del recupero dei centri storici della Marmilla del Sarcidano, dell'Arvi e del Grighine*, DEI, Roma 2006.
- G.V. Galliani, G. Mor (a cura di), *Manuale del recupero di Genova antica*, DEI, Roma 2006.

GENERALITÀ SULL'ARCHITETTURA IN TERRA, CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE, TECNICHE DI RECUPERO

- E. Galdieri, *Le meraviglie dell'architettura in terra cruda*, Laterza, Bari 1982.
- F. Ago, *Moschee in adobe*, Kappa, Roma 1982.
- H. Fathy, *Costruire con la gente*, Ed. Jaca Book, Milano 1985.
- CRATerre, *Traite de construction en terre*, Ed. Parethese, Marsiglia 1989.
- G. Caterina, *Tecnologia del recupero edilizio*, UTET, Torino 1989.
- F. Selva (a cura di), *Architetture nei contesti minori, tipologia, tecnologia, linguaggio*, CUEC, Cagliari 1991.
- M. Bertagnin, *Il pise e la regola: manualistica settecentesca per l'architettura in terra*, EdilStampa, Roma 1992.
- CRATerre-Iccrom, *Bibliographie sur la preservation la restauration et la rehabilitation des architectures de terre CRATERRE/EAG/ICCROM*, Roma, Italia 1993.
- A. Giuffrè (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei Centri storici. Il caso di Ortigia*, Laterza, Roma-Bari 1993.
- G. Scudo, N. Bonati (a cura di), *Architettura in terra, memoria e innovazione*, Città Studi Edizioni, Milano 1994.

- P. Rocchi, *Manuale del consolidamento*, Edizioni Dial, Roma, 1994.
- G. Carbonara, *Trattato di restauro architettonico*, UTET, Torino 1996.
- D. Easton, *The rammed earth house*, Chelsea Green, USA 1996.
- G. Scudo, S. Sabbadini (a cura di), *Le regioni dell'architettura in terra, culture e tecniche delle costruzioni in terra in Italia*, Maggioli editore, Rimini 1997.
- M. Achenza, A. Sanna (a cura di), *Abitare la terra, atti del convegno*, CUEC, Cagliari 1999.
- O. Cavalcanti, R. Chimirri, *Di fango, di paglia. architettura in terra cruda in Calabria*, Rubettino ed., Soveria Mannelli (CZ) 1999.
- M. Bertagnin, *Architetture di terra in Italia*, GB editori, Monfalcone 1999.
- G. Scudo, B. Narici, C. Talamo, *Costruire con la terra*, Esselibri S.p.A., Napoli 2001.
- M. Rauch, O. Kapeinger, *Terra cruda e architettura - rammed earth - lehm und architektur*, Birkhauser Ed., Svizzera 2001.
- M. C. Forlani, *Costruzione e uso della terra*, Maggioli Editore, Rimini 2001.
- G. Bollini (a cura di), *La ricerca universitaria sull'architettura di terra*, Edicom Edizioni, Monfalcone 2002.
- A. Palombarini, G. Volpe, *La casa di terra nelle Marche*, Federico Motta Editore, Regione Marche 2002.
- M. Saracco, *Architettura in terra cruda. Il caso delle Marche*, Alinea Ed., Firenze 2002.
- C. Greco, *Le case di terra del Fujian*, Ed. Meltemi, Roma 2003.
- B. P. Torsello, S. F. Musso, *Tecniche di restauro architettonico*, UTET, Torino 2003.
- D. Bosia, *Risanamento igienico edilizio*, Epo Libri, Roma 2005.
- M. Achenza (a cura di), *TERRA 2002 – Atti del Convegno*, Edicom Edizioni, Monfalcone 2005.
- AA.VV., *Método RehabiMed. Método RehabiMed para la rehabilitación de la arquitectura tradicional mediterránea. Voll. I e II*, Col.legi d'Aparelladores i Arquitectes Tècnics de Barcelona per il Consortium Rehabimed, Barcelona 2007.
- AA.VV., *Experiencias de rehabilitación mediterráneas*, Col.legi d'Aparelladores i Arquitectes Tècnics de Barcelona per il Consortium Rehabimed, Barcelona 2007.

TERRITORIO, ARCHITETTURA E COSTRUZIONE IN SARDEGNA. GENERALITÀ, STUDI TEMATICI

- V. Angius, in G. Casalis, *Dizionario Geografico-Storico-Statistico-Commerciale degli Stati di S. M. il Re di Sardegna*, Maspero, Torino 1833.
- G. V. Arata, G. Biasi, *Arte Sarda*, Carlo Delfino Editore, Sassari 1935.
- M. Le Lannou, *Patres et paysans de la Sardaigne*, Arrault, Tours 1941.
- O. Baldacci, *La casa rurale in Sardegna*, Centro di Studi per la geografia etnologica, Firenze 1952.
- V. Mossa, *Architettura domestica in Sardegna*, Carlo Delfino Editore, Cagliari 1957.
- A. Asole (a cura di), *Sardegna: l'uomo e la montagna*, Silvana editoriale, Cinisello Balsamo 1984.
- G. Angioni, A. Sanna, *L'architettura popolare in Italia. Sardegna*, Laterza, Roma-Bari 1988.
- A. Sanna, *Caratteri tipologici e costruttivi dell'architettura tradizionale della Sardegna. Materiali per un manuale del recupero*, CUEC Editrice, Cagliari 1992.
- A. Sanna (a cura di), *Architetture in terra, tipologia, tecnologia, progetto*, CUEC, Cagliari 1993.
- G.G. Ortu, *Villaggio e poteri signorili in Sardegna*, Editori Laterza, Bari 1996.
- G. Mura, A. Sanna, *Paesi e città della Sardegna. I paesi*, CUEC Editrice, Cagliari 1998.
- E. Fodde, *Costruzioni in terra cruda della Sardegna, sostenibilità e conservazione architettonica*, BSA Biblioteca Storico Ambientale-Ambiente e Territorio, Artigianarte Ed., Cagliari 1998.
- E. Fodde, *Architetture di terra in Sardegna. Archeometria e conservazione*, AIPSA, Cagliari 2004.
- A. Antona, C. Atzeni, R. Porcu, U. Sanna, N. Spanu, *Terra dal passato, terra per il futuro. Innovazione nell'uso di un materiale naturale nella conservazione, Atti del Convegno ALAr: Innovazioni Tecnologiche per i Beni Culturali in Italia*, Caserta 2005, a cura di C. D'Amico, Patron Editore, Bologna 2006.