

POLITECNICO DI TORINO  
Repository ISTITUZIONALE

ReHab: a project for participative retrofitting with earth and local materials.

*Original*

ReHab: a project for participative retrofitting with earth and local materials / Pennacchio, Roberto; Paccoud, Gregoire. - In: SUSTAINABLE MEDITERRANEAN CONSTRUCTION. LAND CULTURE, RESEARCH AND TECHNOLOGY. - ISSN 2385-1546. - ELETTRONICO. - 1:(2014), pp. 50-54.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2690959 since: 2020-09-18T10:40:48Z

*Publisher:*

Luciano Editore

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

default\_article\_editorial [DA NON USARE]

-

(Article begins on next page)



# SMC

SUSTAINABLE MEDITERRANEAN CONSTRUCTION  
LAND CULTURE, RESEARCH AND TECHNOLOGY

## magazine

FOCUS ON

# RAMMED EARTH

LUCIANO EDITORE

N. ONE  
2014

SMC - Sustainable Mediterranean Construction is the Official Annual Magazine of the SMC Association - Online Edition: <http://www.sustainablemediterraneanconstruction.eu> Autorizzazione del Tribunale di Napoli n. 29 del 09/06/2014.



## SCIENTIFIC COMMITTEE

Aasfaw BEYENE  
Claudia BLOOM  
Michele CAPASSO  
Paul CASALONGA  
Francesca R. D' AMBROSIO  
Kambiz M. EBRAHIMI  
Graeme EVANS  
Daniel FAURE  
Pliny FISK  
Giorgio GIALLOCOSTA  
Rodolfo GIRARDI  
Mihiel HAM  
Stephane HANROT  
Jean Luis IZARD  
Fakher KARAT  
Pablo LA ROCHE  
Serge LATOUCHE  
Stefano LENCI  
Alberto LUCARELLI  
Gaetano MANFREDI  
Saverio MECCA

Giuseppe MENSITIERI  
Lorenzo MICCOLI  
Alastair MOORE  
Michael NEUMAN  
João NUNES  
Silvia PIARDI  
Alberto PIEROBON  
Kuno PREY  
Khalid R'KHA CHAHAM  
Susan ROAF  
Francois Noel ROSSI  
Piero SALATINO  
Antonello SANNA  
Gianni SCUDO  
Alfonso SENATORE  
Ali SHABOU  
Abdelgani TAYYIBI  
Nikolas TSINIKAS  
Michael VAN GESSEL  
Dilek YILDIZ  
Ayman ZUAITER

## REFEREE BOARD

Maddalena ACHENZA  
Manuela ALMEIDA  
Eugenio ARBIZZANI  
Gaia BOLLINI  
Pedro BOSCH GIRAL  
Assunta CAPECE  
Gianluca CADONI  
James CHAMBERS  
Giacomo CHIESA  
Luigi CIMORELLI  
Ana Maria DABIJA  
Pietromaria DAVOLI  
Orio DE PAOLI  
Dalila EL-KERDANY  
Dominique FLAHAUT  
Aurora FLOREZ  
Maria Cristina FORLANI  
Andrea GIACHETTA  
Barbara GUASTAFERRO  
Luigi IANNACE  
Shoaib  
KHANMOHAMMADI  
Pablo LA ROCHE  
Liliana LOLICH  
Philippe MARIN  
Paulo MENDONCA  
Barbara MESSINA  
Luigi MOLLO  
Paola NISTICO'  
Joe RAVETZ  
Marco SALA  
Jacques TELLER  
Fani VAVILI  
Roland VIDAL

## EDITORIAL BOARD

Editor in Chief  
Dora FRANCESE

First Editors  
Domenico CAPUTO  
Antonio PASSARO

Associate Editors  
Luca BUONINCONTI  
Domenico CALCATERRA  
Paola DE JOANNA  
Cristian FILAGROSSI A.  
Marina FUMO  
Fabio IUCOLANO  
Andrea MAGLIO  
Lia Maria PAPA  
Domenico PIANESE  
Rossella SIANI  
MariaLUCE STANGANELLI

Editorial Secretary  
Pierpaolo D' AGOSTINO  
Lina MASTRANGELO

Graphic Design  
Web Master  
Cristian FILAGROSSI A.  
Rossella SIANI

## STEERING COMMITTEE

Gigliola AUSIELLO  
Alfredo BUCCARO  
Luca BUONINCONTI  
Domenico CALCATERRA  
Domenico CAPUTO  
Carmine COLELLA  
Alba COSTA  
Pierpaolo D' AGOSTINO  
Gabriella DE IENNER  
Paola DE JOANNA

Cristian FILAGROSSI A.  
Francesco FITTIPALDI  
Dora FRANCESE  
Manuela FRANCO  
Marina FUMO  
Fabio IUCOLANO  
Fabrizio LECCISI  
Mario LO SASSO  
Andrea MAGLIO  
Lina MASTRANGELO

Vincenzo MORRA  
Lia Maria PAPA  
Antonio PASSARO  
Elvira PETRONCELLI  
Domenico PIANESE  
Daniela PISCOPO  
Francesco POLVERINO  
Rossella SIANI  
MariaLUCE STANGANELLI  
Rosamaria VITRANO

SMC is the official magazine of the SMC - Association

SMC N. 1 - 2014

All the articles of SMC magazine were submitted to a double peer blind review.

Cover Photo © Rossella Siani 2013

Printed Edition  
ISSN: 2385-1546

Publisher:  
Luciano Editore  
Via P. Francesco Denza, 7  
P.zza S. Maria La Nova, 4  
80138 Naples - Italy  
[www.lucianoeditore.net](http://www.lucianoeditore.net)  
[info@lucianoeditore.net](mailto:info@lucianoeditore.net)  
[editoreluciano@libero.it](mailto:editoreluciano@libero.it)

Online Edition  
ISSN: 2420-8213  
[www.sustainablemediterraneanconstruction.eu](http://www.sustainablemediterraneanconstruction.eu)



SMC - Sustainable Mediterranean Construction Association  
Founded on March 1st 2013  
Via Posillipo, 69  
80123 Naples - Italy  
[smc.association@mail.com](mailto:smc.association@mail.com)

# CONSTRUCTING FOR THE DE-GROWTH IN THE MEDITERRANEAN REGION

In the Mediterranean region, although a great number of different cultures and social evolutions are present, many common characters have been found in the citizens' behaviour as well as in the landscape transformation, thus providing to the district itself a clear identity, now worldwide recognized.

These different cultural items are investigated by various sectors of scientific and technological expertise, each one under the specific and well-aimed view point, with the intention of studying the dynamical occurrence of various phenomena connected with the anthropic development and life.

So far the conventional issues of a Magazine have been those connected with the aforesaid peculiarities, and were meant at specializing the peculiar approach that this particular subject could provide to land transformation.

This new Magazine, the "Sustainable Mediterranean Construction: Land culture, research and technology", would take fulfillment, instead, in proposing to the public a different view of the Construction world, which will include various scales of intervention and strategies, as well as create a connection between the various disciplines and professionals.

The aim will hence be that of actualizing the various approaches and of discovering the possible common ground for allowing the various knowledge to dialogue, providing a more sensitive language and more careful techniques of construction, which will reduce the disadvantages of a deep footprint and of serious impacts to both earth's and man's life.

Either the specialization belongs to study and design for landscape and land-construction, or to the applied technologies and practice, the papers here published will hopefully be in line with the sustainable innovative way of working and acting in this twenty-first century, so the actual immersion into the various sections of the magazine itself will be devoted to the environmental question.

All the intentions proclaimed by the single papers as well as by the specialized section, which any number contains, will then be assessed under a peculiar point of view, taking into account mainly those new ideas and actions which would help to save resources, energy, water, etc. : in few words to reduce the critical growth of our living system rather than to produce the augmentation of consumption goods, of any kind of machines, of any kind of chemical products, and of fossil fuel utilization.

In this magazine both the academic expertise and the professional world will be welcome, as long as their contribution will go towards the outlined direction of sustainability for the southern Europe and northern Mediterranean regions, wishing to forecast a de-growth society.

The main subjects faced by the magazine will then be those of technology, material science, survey and drawing, construction procedures and security, urban planning, land transformation and land perception, history of architecture, hydraulics, geological impacts, architecture and engineering design, structural and technical physics.

This number ONE will contain, as well as all the following issues, a special section whose papers – this time – will be mainly oriented to the studies, the applications and the experimentation of a peculiar very sustainable material for construction, which has always been employed in the traditional land transformation of the Mediterranean region, at many different scales: from the Arabic world's defensive walls, till the small objects of everyday life: the raw earth.

Many experts and researchers among architects, engineers, planners and geologists already know the rammed earth's potential and poetry, since lately the emerging trend in sustainable construction strategies had brought up this matter again on the scene.

It will be possible to go across a number of characteristics, essence, advantages and beauties of the various rammed earth technologies, from both the past and the present architecture.

If we think about what Wines states "*...that we live in an universe where nature and technology interact ...*" and therefore "*from here the danger of falling into a façade ecologism, i.e. made up with substantially conventional architectures, finished with organic shapes and ecological materials*", then it will be possible to underline the importance of the employment of such a material as a tool for leading the construction sector towards a less footprint strategic vision.

A simple definition of the earth, as construction material, can be easily outlined: a compound generated by a number of elements taken by the clayed soil, then moulded and let drying on at the open air.

The various activities carried out along years in the University of Naples, in the Department of Architecture, in the CITTAM research centre, had created the desire of preserving and valorizing the earthen construction heritage of the Mediterranean tradition, since it is part of human roots and identity of sites and cultural belongings, and also the idea of carrying out the exploitation of the new significance for this material as well as the investigation of its potential as future technology for eco-sustainable and bio-compatible architecture.

According to the various declination that the use and study of the "rammed earth" technology has been carried out by various researchers, scientists and designers, this issue collects a number of papers in the specialized sectors which run around this topic. The "Focus" thus includes interesting studies on the actual presence of this material in the ancient traditional architecture and infrastructures of the Mediterranean area, read as a factor which had affected, not only the technological aspects of the construction itself, but also the configuration, the space definition and the social life establishment. Here some examples are shown in Sardinia, in East Italy, in Greece and in Portugal. Another field of interest is that of the recovery and rehabilitation of the existing cultural heritage in rammed earth, both in Italy and abroad, Morocco, Tunisia, Palestina, Abruzzo. Moreover a number of studies regarding the mechanical, thermal and physical performances of this material had been presented and discussed: according to the legislation and standard requirement of the rammed earth in the international scene, an eventual layout of indications towards the potentials of this material's use for both rehabilitation of existing texture landscape and for building new fabric with sustainable principles has been outlined, so as to promote its use. Finally an actual laboratory activity has been described, the ReHab project and building site procedure.

In the other section, the free one, of this number One, some researches are included, such as the Mediterranean approach to the Brazilian traditional architecture, the monumental area of the Greek origin in the south Italian region, some peculiar traditional technologies in the Salento area, the Mediterranean approach to the Romanian urban architecture. Some very up-to-date studies also demonstrated the need of interfacing the traditional construction in the Mediterranean area with more modern tools and methodologies such as the energy performance evaluation and the Computer Modelling.

The last section, dedicated to Phd thesis, collects in this number the studies made up along the years on the rammed earth technologies, so as to diffuse as much as possible the interest for this so sustainable and at the same time Mediterranean material.

# COSTRUIRE PER LA DECRESCITA NELLA REGIONE MEDITERRANEA

È ormai noto che nella regione mediterranea, nonostante il gran numero di culture ed evoluzioni sociali diverse, è possibile trovare molti caratteri comuni nel comportamento dei cittadini così come nella trasformazione del territorio, che infatti forniscono all'area stessa un'identità specifica e chiara, ormai riconosciuta in tutto il mondo.

Abitualmente queste diverse tematiche vengono indagate da diversi settori di competenza scientifica e tecnologica, ognuna dal suo specifico e ben mirato punto di vista, con l'intenzione di studiare il divenire dinamico dei vari fenomeni connessi con lo sviluppo antropico e con la vita.

Fin adesso i caratteri tipici e convenzionali di una rivista sono stati appunto quelli connessi con le peculiarità appena dette, ed erano mirati ad approfondire l'approccio specifico che quel tema particolare potesse fornire alla trasformazione del territorio.

Questa nuova rivista, la "Sustainable Mediterranean Construction: Land culture, research and technology" (la costruzione sostenibile nel Mediterraneo: Cultura, ricerca e tecnologia nel territorio), gradirebbe invece proporre al pubblico una visuale differente del mondo delle Costruzioni, che possa includere le varie scale di intervento e di strategia, così come creare una connessione tra le numerose discipline e competenze.

L'obiettivo sarà dunque quello di concretizzare i vari approcci e scoprire possibile terreno comune sul quale le varie competenze possano appunto dialogare e interagire, così da creare un più sensibile linguaggio delle costruzioni e una più attenta tecnologia del fare, che possa ridurre gli svantaggi di una profonda impronta ecologica e di gravi impatti alla vita della terra e dell'uomo.

Appartenga la specializzazione allo studio e al progetto per il paesaggio e per la costruzione del territorio, oppure alle tecnologie di intervento e di pratica, gli articoli qui pubblicati ottimisticamente saranno in linea con le modalità di lavoro e di azione del ventunesimo secolo, cioè quelle innovative e sostenibili, in modo che l'immersione concreta nelle varie sezioni della rivista stessa sia deputata alla questione ambientale.

Tutte le intenzioni dichiarate da ogni singolo pezzo, così come quelle definite dalla sezione a tema, che ogni numero conterrà, saranno perciò valutate secondo uno specifico punto di vista, che terrà conto principalmente di quelle nuove idee e quei nuovi interventi che potrebbero aiutare a risparmiare risorse, energia, acqua, ecc. : in poche parole quelle che tenderanno a ridurre la grave crescita del nostro sistema di vita piuttosto che a un aumento aggiuntivo di beni di consumo, di ogni tipo di macchinario, di ogni tipo di prodotto chimico e di utilizzo di combustibili fossili.

In questa rivista saranno benvenute sia le esperienze accademiche che quelle del mondo professionale, nella misura in cui vadano nella direzione delineata della sostenibilità per il sud dell'Europa e per il nord delle regioni mediterranee, auspicando una previsione per una società della decrescita.

Gli argomenti principali affrontati dalla rivista saranno dunque quelli della tecnologia, della scienza dei materiali, del rilievo e disegno dell'architettura, delle procedure e della sicurezza nelle costruzioni, l'urbanistica, la pianificazione e la percezione dell'ambiente, la storia dell'architettura, l'idraulica, l'impatto geologico, il design, la fisica tecnica e strutturale.

Questo numero Uno conterrà, alla stregua di tutti i numeri successivi, una sezione speciale che - questa volta - includerà degli articoli principalmente orientati agli studi, all'attuazione e alla sperimentazione di un materiale da costruzione peculiare e molto sostenibile, che è stato spesso impiegato nella trasformazione del territorio della regione mediterranea, alle varie scale: dalle mura difensive del mondo arabo fino agli oggetti della vita quotidiana: la terra cruda.

Molti esperti e ricercatori sia nel campo dell'ingegneria, dell'architettura, dell'urbanistica e della geologia sono ormai a conoscenza delle potenzialità e del contenuto poetico della terra cruda, poiché negli ultimi tempi l'emergente spinta verso le strategie costruttive sostenibili ha portato di nuovo questa materia sulla breccia.

Apparirà dunque possibile declinare le caratteristiche, l'essenza, gli svantaggi e la bellezza delle varie tecnologie in terra, sia nell'architettura presente che in quella del passato.

Ripensando a quello che Wines dichiara a proposito del fatto che *"viviamo in un universo in cui la natura e la tecnologia interagiscono ..."* e che dunque *"da qui emerge il pericolo di cadere in un ecologismo di facciata, cioè fatto di architetture sostanzialmente convenzionali, rifinite con forme organiche e materiali ecologici"*, allora appare possibile sottolineare l'importanza dell'impiego di tale materiale quale mezzo per condurre il settore delle costruzioni verso una visione strategica con minor impronta ecologica.

Una prima definizione della "terra cruda", quale materiale da costruzione, si può sintetizzare: un composto generato da numerosi elementi estratti dal suolo argilloso, e poi miscelati e lasciati asciugare all'aria aperta.

Le numerose attività portate avanti nell'università di Napoli "Federico II", nei vari dipartimenti e nel CITTAM, ha ingenerato il desiderio di preservare e valorizzare il patrimonio costruito in terra della tradizione mediterranea, quale parte delle radici umane e dell'identità dei siti e dell'appartenenza culturale, ma anche l'idea di condurre un possibile sfruttamento del nuovo significato da attribuire a questo materiale così come eventuali indagini sulle sue potenzialità come parte integrante di future tecnologie che vadano a costruire un'architettura eco-sostenibile e bio-compatibile.

In armonia con le varie declinazioni che hanno esaminato i diversi ricercatori, scientifici e progettisti, sull'uso e sullo studio delle tecnologie in "terra cruda", questo numero raccoglie numerosi articoli negli specifici settori che ruotano intorno a questo argomento. Perciò il "Focus" contiene studi interessanti sulla reale presenza di questo materiale nella architettura e nelle infrastrutture antiche tradizionali della regione mediterranea, quale fattore che ha influenzato, non solo, gli aspetti tecnologici della stessa costruzione, ma anche la configurazione, la definizione degli spazi e la struttura della vita sociale. Vengono qui mostrati alcuni esempi in Sardegna, nell'Italia orientale, in Grecia, in Portogallo. Altro campo di interesse si rivela quello del recupero e della riqualificazione del patrimonio esistente in terra cruda, sia in Italia che all'estero, in Marocco, in Tunisia, in Palestina, in Abruzzo. Inoltre vengono presentati e discussi una serie di studi sulle prestazioni meccaniche, termiche e fisiche della terra cruda: secondo i requisiti delle leggi e degli standard sulla terra cruda nella scena internazionale, si incomincia a delineare un possibile profilo di indicazioni verso le potenzialità d'uso di questo materiale sia per la riqualificazione del tessuto del paesaggio esistente sia per l'edificazione di nuovi manufatti con principi sostenibili, così da promuoverne l'uso. Viene infine descritto un laboratorio concreto di azioni in attinenza col tema, il progetto e la procedura di cantiere del ReHab.

Nell'altra sezione di questo numero Uno, quella libera, sono contenute alcune ricerche, come l'approccio mediterraneo all'architettura tradizionale brasiliana, l'area monumentale di origine greca nella regione meridionale italiana, alcune tecnologie tradizionali peculiari dell'area salentina, l'approccio mediterraneo all'architettura urbana in Romania. Alcuni studi attualizzati dimostrano anche l'esigenza di interfaccia con la costruzione tradizionale della regione mediterranea mediante strumenti e metodologie moderni, come la valutazione delle prestazioni energetiche e la modellazione computerizzata.

L'ultima sezione, quella dedicata alle tesi di Dottorato di Ricerca, raccoglie in questo numero gli studi sviluppati negli anni sulla terra cruda, così da diffondere al massimo l'interesse per questo materiale così sostenibile e al contempo mediterraneo.

# REHAB: A PROJECT FOR PARTICIPATIVE RETROFITTING WITH EARTH AND LOCAL MATERIALS

## Introduction

Widely disseminated by François Cointeraux publications in the 19th century, « pisé » or rammed earth can be found in many European plains such as Vojvodine in Serbia, South Portugal, Piemonte in Italy and Saône and Rhône plains in France, last of which is where François Cointeraux initiated his discovery of this technique. Rammed earth heritage in and around Lyon is therefore one of the richest in Europe, still very present especially in rural areas, however it's endangered since decades by inadequate and sometimes dangerous interventions: retrofitting and repairing techniques used are mostly conventional building techniques. Trainings for building professionals including earthen materials and heritage, although developing, are still very rare. People who want to preserve their heritage therefore have to choose between rare competent professionals or learning and self-building.

As professional involved in rammed earth heritage retrofitting and assistance to self-builders since half a dozen years, it felt necessary to be in the self-builder situation, so as to face first-hand the questions raised by retrofitting rammed earth heritage. A ruined rammed earth building in a village near Mâcon, along the Saône river, was therefore acquired and a project set up to explore the use of local resources as building materials. This paper aims at presenting the process, describing some of its technical aspects and drawing some first lessons

## 1. An unconventional building process

### 1.1 Participative and experimental worksite

Under many self-builders' choice of "doing by themselves" is the will of doing another way. The other way can be different technical options, although more and more companies who propose

alternative options emerge. It can also be another idea of the relations to others and to our environment. The technical solutions offered by most companies remain structured by solely economic viability at the cost of quality, sustainability, and individual's interrelations. A worksite is an adventure that can be more pleasant to go through when shared, and although it's not necessarily easier, quicker and cheaper as one might think at first sight, many self-builders choose to open some parts of this adventure to get help from outside the close friends and family circle. This worksite in Pont de Veyle included from the beginning this openness at some stages, building on previous experiences of being trainer on other people's worksites.

Active learning applied to building techniques takes advantage of experimenting with materials. Thus can the experiments with local materials become a didactic approach of the participative worksite, if an adapted setting is provided. In Pont de Veyle, various experimentations to repair existing structures and improving building indoor comfort were elaborated by participants with local natural resources and basic building materials through numerous tries. The process was supervised by the worksite organizer, Grégoire Paccoud, who provided basic information concerning available materials and tools, but most of the work was built upon the participants various know-how and knowledge.

### 1.2 Participative worksite for sensitization

A participative process was implemented firstly to raise awareness about earth material and its potential in building. Raising awareness of the neighborhood proved easier with different people, from different countries, coming on the site: it helped showing that interest for the material is already shared. It also gives more opportunity of exchanges with the neighbors and occasional visitors. Participants also discovered

various aspects of rammed earth retrofitting, including the long preliminary works to clean the site and structures before intervention, to install safe access and rubble evacuation systems, which are an essential part of the work.

### 1.3 Understanding basics of earth behavior through practice

Several workshops were set up to allow people to try different earth building techniques, all of them linked to future needs of the works. Among them two were especially linked to the understanding of the material, and were used as a first contact with the worksite and its materials.

A CEB (Compressed Earth Blocks) manual press was put back into service. The manufacture of CEB allowed to introduce moisture content of compressed earth techniques and was quickly twisted into a game where various objects were left in the mould to see what the print into the block would be.

A small straw bale cabin previously built was used to try out earth plasters and wattle and daub, so to this end its walls were prepared with salvaged materials. At first basic information was given and after half a day of intuitive tries, a discussion started about what happened during these tries. These discussions were followed by an "on-site course" about earth plasters, focused on the issues encountered during the first practice. During this process, some basic tests were made that will be used as references for the formulation of the layers of earth plaster needed in the project. This allowed to speak about retraction issues, basic stabilization of earth, and earth-based mixes' plasticity. These learning experiences proved very efficient to enhance curiosity and comprehension of participants during the works.



Fig. 1 - Hollowing out small portions of rammed earth wall.



Fig. 2 - Raising the stone basement.



Fig. 3 - Aesthetic research with CEB.





Fig. 4 -Filling in holes in rammed earth.



Fig. 5 -Slipping formwork.



Fig. 6 - Full formwork.

## 2. Repair of the existing structures

### 2.1. Dismantling unstable structures

Some walls were particularly out of plumb and couldn't be kept as they were. It was decided to cut off half of their height until their verticality was recovered and then replace it with another structure. This introduced a significant delay in the planned activities, but it was also the occasion to gain a better understanding of the traditional technique used to build the earth walls. Limits between two benches of rammed earth were identified by the lime outer lines, where the rammed earth would also go lose under very little stress. Branches were found inside the material where two walls were connecting. Closer observation revealed a slightly different height of lime lines and material structure, which confirm that the whole wall was built in at least two times. This experience enriched the knowledge of the signs revealing the palimpsest each rammed earth building of the area represents. These dismantled wall, mostly above 3 meters high, had to be replaced by some other kind of structure to keep schedule and manage to rebuild the roof before the planned end of the works. Therefore a wooden structure was conceived to ensure a quick implementation and a design in keeping with the raw materials.

### 2.2 Basement recovery with local stone

The rammed-earth wall base is the most delicate point of the structure, and needs adequate protection; particularly the rammed-earth wall-basement interface is the most prone region to phenomenon of capillarity moisture rising from soil, rainwater splashing and infiltrations that can cause degradation and great structural damages to the wall (Bendakir, 2009). In Pont de Veyle parts of the North wall's stone basement were found to be dangerously too low, also considering the building is in a flood hazard area. Moreover moisture could be seen above these low basements and all along the South wall, where earth was significantly eroded. A quick test with masonry materials moisture detector (name of the apparatus with pins) revealed that moisture raised to 1m. Inside the walls above the eroded parts whereas it kept much lower in other parts of the rammed earth walls. To prevent further erosion and keep the rammed earth walls protected from moisture accumulation, it was decided to remove the lower moist rammed earth and replace it with local stones masonry. The earth wall base was divided in sections 60 to 80 cm long; each section was alternatively carefully removed and replaced with two courses of local stone in order to avoid compromising the wall

stability. The new stone courses were bound with a lime based mortar. This mortar was made of Natural Hydraulic Lime (NHL2.5) and a small proportion of prompt cement, mixed with sand and rammed earth to widen the granularity of the mixture and allow for better plasticity and long term performance.

### 2.3 Use of CEB for recovery and closures

To repair areas of particularly damaged rammed-earth walls not directly connected to the base, and to fill the holes left by the beams of the removed intermediate floor, Compressed Earth Blocks were used. This technique is particularly interesting because it allows to use the original walls' material, that once manufactured in CEB, has a very similar elastic behavior to the rammed-earth wall. Moreover CEBs can be manufactured and left to dry, so that shrinkage occurs before installation, preventing cracking and ensuring continuity with original wall, once in place (Warren 1993) (Jaquin 2008). A humid earth mixture was prepared (sieved, mixed) and put in the formwork of the manual press machine which allows to obtain compressed blocks of 23 cm side and about 9cm thickness. The blocks were then left to dry for 1 week on a sheltered and ventilated slab. Once dried CEBs have been installed in the rammed-earth wall, using an earth-sand mortar as a binder. CEB are usually stabilized to ensure better mechanical properties and specially to reduce the loss during the phases preceding their implementation. Therefore several of the blocks broke during handling. But this loss was balanced by the ease to cut them, adapting their sizes to the masonry to be done. It was also possible to put back the broken parts into the rammed earth pit, so as to use it again.

### 2.4 Razing wall-tops

According to the rehab project design, a wooden structure had to be installed on the existing rammed earth walls, so it was necessary to protect the top of the walls with a leveling cap strong enough to support its weight. As the rehab construction site philosophy was working with local available material making the most specially with earth, this gave participants the opportunity to experiment different earth mixtures in order to find the best solution for the protecting cap to be cast on the wall-top. Four pad samples A,B,C,D were prepared in different mixtures: sample A with a pure earth mixture, in sample B earth mixture was stabilized with lime 5%, sample C, earth mixture stabilized with cement 5%, and D,

earth mixture stabilized with prompt cement 5%. (image of the tests) Each pad was exposed to water dropping from the same height (similar to Geelong drip test, Walker and Maniatidis, 2003 pp. 17), using 50cl plastic bottles of water. Three series of test were realized: the first one with the original four pads, a second one was realized coating the four pads with linseed oil, and in the third one linseed oil was added to the mixture of each sample. Linseed considerably improve resistance to water, especially when added to the mix. Low stabilization with either lime, cement or prompt cement proved to diminish mechanical strength compared to the original raw earth sample. As an important use of the leveling cap was to protect the walls during the weeks they would be uncovered, stabilization with cement and linseed oil was chosen (sample D), because it showed excellent erosion resistance. The mixture was put in place using a panel formwork moved along the length of the wall. We found the process quite difficult because of irregularity of the rammed-earth wall and the stickiness of the mix, as water level was contained to a minimum to keep its plasticity without cracking too much. Moreover it was a quite slow process so that the cap didn't dried out simultaneously, easily causing cracks in the joints. Procedure was repeated using a running staves as formwork and casting the stabilized earth mixture at the same time. Cracks appeared also but they were randomly distributed, although the mixture was changed with sand addition. A sand coat was immediately spread on the cap once casted, and it was covered with a plastic sheet to protect it from the sun, but cracks due to shrinkage still occurred. A cement-linseed coating was applied with a broom before installing the wood structure to fill in the remaining cracks. To compare the implementation and result, traditional lime-sand wall caps were made for the other walls. It proved much easier to handle. However, both proved dangerous for the building of the wood structures over the wall tops because rammed earth was wet under the caps : it caused upper angles of the walls to collapse when walking on it. As a conclusion, a proper capping would need to be either thicker (minimum 15cm)



Fig. 7 - First layers: working with many.



Fig. 7 - Soil pouter in action.

which represents a much higher workload; or made with a stronger material, similar in strength to concrete. This would also allow to brace the structure. Actual research provides no solution for such a material based on earth: concrete remains the easiest practical solution.

### 2.5 Rammed-earth walls rebuilding

One of the common walls had collapsed and had to be rebuilt from the ground. It was chosen to rebuild it with rammed earth to keep the envelope's materials coherence on this facade. Dismantled rammed earth was used to rebuild. The earth pit on which all rammed earth had been collected was moisten and mixed with a small digger rented for other works on the site. It was then covered with plastic sheet for 2 hot weeks and moisten everyday, before being mixed again with the digger, resulting in a perfectly usable earth for our purpose. The basement was built to the size of the wall and adapted old form-works were installed. The first quarter was made using buckets to fill-in the formwork and it was compacted manually, using half of a steel strut to compact the earth. Then compaction kept being done manually but a soil pouter suspended to a small crane was used to fill in the formwork. The 1,50m by 2,50m high rammed earth wall, 45cm thick, was made in 4 days, almost 3 of them for installing and moving the formwork that proved too heavy even with the crane and not well adjusted. The vertical sliding concept of the formwork implied lifting the elements and installing from a scaffolding, which was limiting the movements, the strength and therefore making the whole process dangerous. It wouldn't be possible to build higher than 2,5m with this formwork if we had too. However, the soil pouter allowed to ease and quicken most of the handling of moist earth, and the time needed to compact one layer was about the same as the time needed

to fill the pouter and lift it to the formwork, which resulted in a quick and smooth progress in the ramming.

## 3. Enhancing indoor comfort with earth

### 3.1 Earth based plasters

Earth based plasters can result an excellent solution for indoor hygrometry control (Minke 2006) and to exploit the material properties of thermal inertia. It was shown that in a rammed-earth wall, over 24h cycle, only the first 2-6 cm of thickness participate in the exchange of heat, while part of it is accumulated deeper inside the wall and gradually released over a longer period of time. Through earth based plasters it is possible to exploit this principle maximizing the surface area of exchange with indoor environment (Courgey & Oliva, 2010).

During these summer works some tests were performed with the rammed-earth material, sand and straw fibers in order to find the best mixture for earth based plasters to be used in the house. On a vertical reeds structure, a mortar of 1cm was applied starting with a rammed-earth material coating, and then gradually adding sand and straw fibers in different proportions in order to provide shrinkage control and adhesion to the supporting structure (Leonardo clay plaster). Results showed that under 5mm thickness it is possible to use only raw rammed earth material without the addition of sand or straw in the mixture. Although a 5mm thickness is only useful for decorative finishes, the results can be interesting as an hygrometric regulation element, though the composition of the material, mainly silts with few clays, might not be the most efficient for this purpose. A full analysis remains to be done to evaluate the benefits of using this almost raw and easy to use material.

Other tests to sensitization by practice were realized using a wattle and daub structure. A wet earth mortar mixture composed of a white earth volume, two rammed earth volumes and water, was prepared and mixed with ten straw fibers volumes in a basin. The mixture obtained was modeled in sausages 20cm long and 6/7cm thick approximately, and installed on a wood structure fixed on the inside façade of the straw-bale wall of the cabin. Wattle and daub was also used as a support for earth plasters experimentation.

### 3.2 Vegetal fibers and clay for insulation: straw, hemp and Japan knotweed

As the idea under the whole project is to use local resources, vegetal fibers available on the site were collected to explore their potential as main component of insulating compounds, with clay as binding material. Straw-clay is well documented and has limits in terms of thermal resistance, therefore it was not tried. Previous experience with hemp boon and clay binder revealed a potential for better performance. Japan knotweed, considered one of the worst vegetal pest in most Europe, was invading the southern part of the plot. After collecting the plant rods, some tests were performed in order to check the material is not rotting when mixed with clay and left to dry. Two different types of component were realized: 10x10x10 cm blocks with a basic earth mortar (1 white earth volume, 2 rammed earth volumes,

water) mixed with 4 volumes of Japan Knotweed dried and coarsely crumbled, and 42x37x7cm bricks made of basic earth mortar mixed with 2 volumes of straw fibers, 1of glass sand and 4 volumes of Japan Knotweed dried and finely crumbled. Tough approximate, results were encouraging; after drying both types of component presented no molds and didn't collapse. As Japan knotweed rods can be crushed into small pieces, the experiments will go on, to find a proper granularity for the knotweed's boon and a proper binding mix. Given the availability of resources all over Europe, and the need of insulating materials for retrofitting, it is expected that such compounds will draw more research.

### 3.3 Other techniques: earth floors, mass stoves, storage walls

Earth can be used in several other techniques to improve thermal mass and hygrometric regulation, adapting to different situations. Among them, earth floors, mass stoves and storage walls are planned to be part of this experimental worksite/project.

Although they're not as strong as usual floors, earth floors with various coating can be used in less exposed rooms and allow to spread cheap but labour intensive thermal mass. As they're coated, they won't have a big impact on moisture regulation.

Masoned mass stoves are another possible element that can take advantage of earth, which can be used for the envelope, to ameliorate indoor comfort smoothing the temperature changes and radiating softer temperatures than most other materials. According to the heat needs, the surface needed to radiate can be designed using all the possibilities offered by mass stoves and earth combined, providing benches and other hot nests around the core. However not the whole stove can be built with earth: the very heated core require refractory material, which is usually expensive. Earthen storage walls already have some history, with "trombe wall" concept used and fine-tuned since decades. The planned experiments aims at studying how such thermal mass, both solar accumulators and cooler under certain conditions can become pre-heater or pre-cooler for the entering air, while also providing a moisture regulation.

## REFERENCES

- [1] Anquetil S., Boisseau L., Penel M., *ReHab : fiches expérimentations 2013*, Pont de Veyle, 2013
- [2] Beguin M., Cauderay E., Hosta J., Paccoud G., Pegoraro G., Sonderegger M., *Earth building training : the experience of working on site in France and Switzerland*, 2012, LEHM 2012, Weimar
- [3] Jaquin P.A., Gerrard C.M., Augarde C.E. and Canivell J., *Damage in Historic Rammed earth structures: A case study at Ambel, Zaragoza, Spain. SIACOT IX*. Coimbra, Portugal, 20-23 February 2010.
- [4] Jaquin P.A., *Analysis of historic earth construction*, PhD thesis, School of Engineering, Dhuram University, 2008.
- [5] Courgey S. & Oliva J.P., *L'isolation thermique écologique, ed. terre vivante, ..., 2010*. Minke G., *Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Birkhauser, Basel, Berlin, Boston, 2006.



[6] Walker P. & Maniatidis V., *A Review of Rammed Earth Construction – Dti Partners in Innovation Project ‘Developing Rammed Earth for UK Housing’*. Natural Building Technology Group, Department of Architecture & Civil Engineering, University of Bath, Bath, 2003.

[7] Warren J., *Earthen Architecture: The conservation of brick and earth structures*, ICOMOS, 1993.

[8] Bendakir M., [s.d.]. *Les vestiges de Mari. La préservation d'une architecture millénaire en terre*. Paris : [s.n.], Coll. Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble, 2009. Introduzione

## **REHAB: UN PROGETTO DI RECUPERO PARTECIPATIVO CON TERRA CRUDA E MATERIALI LOCALI**

### **Introduzione**

Largamente diffusa da Francois Cointeraux nel 19<sup>th</sup> secolo, il "pisé", o terra battuta si trova in molte pianure europee come Vojvodina in Serbia, il sud del Portogallo, il Piemonte in Italia e le pianure della Saona e del Rhone in Francia, dove Cointeraux cominciò la sua scoperta di questa tecnica. Il patrimonio di terra battuta intorno a Lyon è uno dei più ricchi d'Europa, ancora molto presente, specialmente in aree rurali, ma minacciato ormai da decenni, da interventi inadeguati e a volte pericolosi: le tecniche di adeguamento e riparazione utilizzate sono per lo più tecniche di costruzione tradizionali. Corsi di formazione per costruttori professionisti che includono il patrimonio e i materiali in terra cruda, anche se cominciano a diffondersi, sono ancora molto rari. Chi voglia preservare il proprio patrimonio in terra può scegliere tra pochi professionisti competenti o imparare in auto-costruzione.

Come professionista coinvolto nell'adeguamento di edifici in terra battuta e nell'assistenza ad auto-costruttori da circa sei anni, si sente la necessità di mettersi nei panni dell'auto-costruttore, in modo da affrontare in prima persona le questioni sollevate dal recupero del patrimonio in terra battuta. È stato acquistato un edificio in rovina in "Pisé", in un villaggio vicino Mâcon sulla Saône, ed è stato impostato un progetto per esplorare l'uso di risorse locali come materiali da costruzione. Quest'articolo ne presenta il processo, descrivendo alcuni dei suoi aspetti tecnici, elaborandone i primi insegnamenti.

### **1. Un processo di costruzione non convenzionale**

#### **1.1. Un cantiere partecipato e sperimentale**

Nella scelta di molti auto-costruttori di fare da soli, c'è la volontà di fare in modo diverso. L'altro modo può essere opzioni di tecniche diverse, sebbene sempre più aziende che propongano possibilità alternative stiano emergendo. La novità può stare anche in un'idea diversa delle relazioni con gli altri e con l'ambiente. Le soluzioni tecniche offerte da molte aziende rimandano alla sola fattibilità economica, a spese della qualità, sostenibilità, e delle relazioni tra gli individui. Un cantiere è un'avventura che può essere più piacevole se condivisa, e sebbene non necessariamente più semplice, veloce ed economica, molti auto-costruttori scelgono di aprire parti di questa avventura all'aiuto di amici stretti e familiari. Il cantiere a Pont de Veyle ha incluso fin dall'inizio quest'apertura in alcune tappe, basandomi su precedenti esperienze da istruttore nei cantieri di altre persone. L'apprendimento attivo applicato a tecniche costruttive, si avvale della sperimentazione dei materiali. La sperimentazione con materiali locali diventa un approccio didattico del cantiere partecipativo se viene costruito un ambiente adeguato. A Pont de Veyle sono stati elaborati dai partecipanti vari esperimenti per riparare le strutture esistenti e migliorare il comfort interno dell'edificio con risorse naturali locali e materiali da costruzione basici. Il processo è stato supervisionato dall'organizzatore del cantiere, Gregoire Paccoud, che ha fornito le informazioni di base necessarie riguardo i

materiali e gli strumenti disponibili, ma la maggior parte del lavoro è stato costruito sul "saper-fare" e le conoscenze dei partecipanti.

1.2. *Un cantiere partecipativo per la sensibilizzazione*  
È stato realizzato un cantiere partecipativo principalmente per sensibilizzare l'opinione pubblica sul materiale terra e il suo potenziale nelle costruzioni. La sensibilizzazione del quartiere si è rivelata più facile attraverso la partecipazione al cantiere di persone provenienti da diversi paesi: questo ha aiutato a mostrare che l'interesse per il materiale è largamente condiviso. Questo offre maggiori opportunità di scambio con il quartiere e visitatori occasionali. I partecipanti hanno scoperto anche vari aspetti del recupero del "pisé", incluso il lungo lavoro preliminare di pulizia del cantiere e delle strutture prima dell'intervento, di organizzare un accesso sicuro e sistemi di evacuazione delle macerie, che sono una parte essenziale del lavoro.

1.3. *Comprendere le basi del comportamento della terra cruda attraverso la pratica*  
Molti workshops sono stati organizzati per permettere ai partecipanti di provare diverse tecniche di costruzione con la terra, ognuna di esse legata alle future esigenze del cantiere. Tra queste, due erano particolarmente legate alla comprensione del materiale e sono state usate come primo contatto con il cantiere e i suoi materiali. È stata rimessa in funzione una pressa manuale per BTC (Blocchi di Terra Compattati). La produzione di BTC ha permesso di introdurre il concetto di contenuto di umidità nelle tecniche in terra battuta e si è presto convertita in un gioco in cui vari oggetti sono stati lasciati nello stampo per verificare l'impronta che avrebbe lasciato nel blocco. Una piccola capanna in paglia, costruita precedentemente, è stata usata per provare intonaci di terra e "torchis", a questo scopo le pareti sono state preparate con materiali di recupero. Al principio sono state fornite informazioni basiche e dopo una mezza giornata di prove intuitive, è cominciata una discussione sull'accaduto durante le prove. A queste discussioni è seguito un corso in loco su intonaci di terra, focalizzato sulle questioni emerse durante la prima pratica. Durante questo processo sono stati fatti alcuni test basici usati poi come riferimenti per l'impostazione degli strati di intonaco in terra necessari nel progetto. Questo ha permesso di parlare dei problemi di ritiro, stabilizzazione della terra, e plasticità delle miscele a base di terra. Le esperienze apprese hanno dato prova di essere molto utili per accrescere la curiosità e la comprensione dei partecipanti durante i lavori.

### **2. Riparazione delle strutture esistenti**

#### **2.1. Smontaggio delle strutture instabili**

Alcuni muri erano particolarmente fuori piombo e non potevano essere mantenuti in quello stato. È stato deciso di tagliare metà della loro altezza fino a recuperare la verticalità, e poi sostituire le parti eliminate con una nuova struttura. Questo ha comportato un ritardo significativo nelle attività pianificate, ma è stata anche l'occasione per acquisire una migliore comprensione delle tecniche tradizionali usate per costruire i muri in terra. I limiti tra due blocchi di terra battuta sono identificati dalle linee di calce, dove la terra battuta avrebbe ceduto anche sotto una pressione minima. Delle fessure sono state trovate all'interno del materiale nel punto di connessione di due muri. Una più stretta osservazione ha rivelato una piccola differenza di altezza tra le linee di calce e la struttura del materiale, che conferma che il muro è stato costruito almeno due volte. Quest'esperienza ha arricchito la conoscenza dei segni rivelatori del palinsesto che ogni edificio in terra battuta della zona presenta. I muri smantellati, la maggior parte oltre i 3m di altezza, dovevano essere rimpiazzati da un altro tipo di struttura per rispettare le scadenze e gestire la ricostruzione del tetto prima della prevista fine dei lavori. Per questo è stata pensata una struttura in legno per

assicurare una rapida realizzazione e un disegno in linea con i materiali.

#### **2.2. Recupero del basamento con pietra locale**

La base del muro in "pisé" è la parte più delicata della struttura e ha bisogno di una protezione adeguata; in particolar modo l'interfaccia basamento-muro in terra è la regione maggiormente soggetta a fenomeni di umidità di risalita dal suolo, schizzi d'acqua piovana e infiltrazioni che possono causare degrado e gravi danni strutturali alla struttura (Bendakir, 2009).

A Pont de Veyle, parti del basamento del muro nord erano pericolosamente troppo basse, considerando anche che l'edificio si trova in una zona a rischio inondazioni. Inoltre l'umidità era visibile sul basamento basso e lungo tutto il muro sud, dove il muro era significativamente eroso. Un rapido test con il rivelatore di umidità per materiali della muratura ha svelato che l'umidità era salita di 1m.

All'interno dei muri al di sopra delle parti erose, mentre si è mantenuta più bassa nelle altre parti dei muri in terra. Per prevenire ulteriori fenomeni di erosione e mantenere i muri in terra protetti dall'accumulo di umidità, si è deciso di rimuovere la parte di terra battuta umida più in basso e sostituirla con muratura in pietra locale. La base del muro in terra è stata divisa in sezioni da 60-80cm di lunghezza; le sezioni sono state rimosse con cura in modo alternato e sostituite con due corsi di pietra locale per evitare di compromettere la stabilità del muro. I nuovi corsi in pietra sono stati legati con malta a base di calce. La malta è stata realizzata con Calce Naturale Idraulica (NHL2.5) e un piccola parte di cemento a presa rapida, miscelato con sabbia e terra per ampliare la granulosità della miscela e permettere una migliore plasticità e migliori prestazioni nel tempo.

#### **2.3. L'uso di BTC per recupero e riempimenti**

Per il restauro di aree dei muri in terra particolarmente danneggiate non direttamente connesse al basamento e per riempire le asole lasciate dalla rimozione delle travi del piano intermedio sono stati utilizzati Blocchi di Terra Compattati. Questa tecnica è particolarmente interessante perché permette di utilizzare il materiale del muro originale, che una volta trasformato in BTC ha un comportamento elastico molto simile al "pisé". Inoltre i BTC possono essere prodotti e lasciati seccare, in modo che il ritiro avvenga prima della posa in opera, prevenendo il rischio di fessurazioni e assicurando la continuità strutturale con il muro originale una volta in opera (Warren 1993) (Jaquin 2008).

È stata preparata una miscela di terra umida (setacciata e miscelata) e posta nella cassaforma della pressa manuale che permette di realizzare blocchi compressi di 23cm di lunghezza e 9cm di spessore. I blocchi sono stati lasciati seccare per 1 settimana su una piastra coperta e ventilata.

Una volta asciutti i BTC sono stati messi in opera usando una malta di terra e sabbia come legante. I BTC vengono generalmente stabilizzati per assicurare migliori prestazioni meccaniche e in particolare per ridurre la perdita di materiale durante l'installazione. Vari blocchi si sono rotti durante il trasporto. Ma queste perdite sono state bilanciate dalla facilità di taglio per adattarne le dimensioni alla muratura da realizzare. È stato inoltre possibile riversare le parti rotte nella fossa di terra cruda in modo da poterli utilizzare nuovamente.

#### **2.4. Rasatura delle pareti in terra**

Secondo il disegno del progetto di recupero, si doveva realizzare una struttura in legno sui muri in terra cruda esistenti, così è stato necessario proteggere la sommità dei muri con uno strato di livellamento abbastanza resistente da sopportarne il peso. La filosofia del cantiere di recupero era quella di lavorare con i materiali locali disponibili, sfruttando al massimo in particolare la terra, questo ha dato l'opportunità ai partecipanti di sperimentare diverse miscele di terra per trovare la soluzione migliore per proteggere lo strato da gettare sulla sommità dei muri. Sono state preparate quattro pastiglie A,B,C,D con miscele diverse: il campione A con

una miscela di terra pura, nel campione B la miscela è stata stabilizzata con calce al 5%, nel campione C la miscela è stata stabilizzata con cemento al 5%, e nel D la miscela di terra è stata stabilizzata con cemento a presa rapida 5%.

Ogni pastiglia è stata esposta al gocciolamento d'acqua dalla stessa altezza (in modo simile al Geelong drip test, Walker and Maniatidis, 2003 pp. 17), usando bottiglie di plastica da 50cl. Sono state realizzate tre serie di prove: la prima con le pastiglie originali, una seconda rivestendo le quattro pastiglie con olio di lino, mentre nella terza l'olio di lino è stato aggiunto alla miscela di terra di ogni campione. L'olio di lino migliora considerevolmente la resistenza all'acqua, specialmente se aggiunto alla miscela. La stabilizzazione leggera sia con cemento che con cemento a presa rapida ha dimostrato di diminuire la resistenza meccanica in rapporto al campione originale di terra pura. Siccome una funzione importante dello strato di livellamento era quello di proteggere il muro nelle settimane in cui il muro sarebbe rimasto scoperto, è stato scelto il campione stabilizzato con cemento e olio di lino (D), poiché ha dimostrato un'eccellente resistenza all'erosione.

La miscela è stata messa in opera utilizzando un quadro in legno come cassaforma, spostandolo lungo la lunghezza del muro. Il procedimento si è dimostrato piuttosto difficile a causa dell'irregolarità del muro e della vischiosità della miscela, siccome la quantità d'acqua è stata contenuta al minimo per mantenere la plasticità evitando che fessurasse troppo. Inoltre il processo era piuttosto lento, per cui la miscela non seccava tutta contemporaneamente, il che causava facilmente fratture nelle giunzioni. Il processo è stato ripetuto usando doghe continue come casseforme e gettando la miscela nello stesso momento. Le fessure sono comparse ugualmente, ma erano distribuite casualmente, nonostante alla miscela fosse stata aggiunta della sabbia. È stato quindi steso immediatamente uno strato di sabbia sulla superficie, una volta gettata, ed è stata coperta con un telo di plastica per proteggerla dal sole, ma le fessure dovute al ritiro si sono presentate nuovamente. È stato quindi aggiunto uno strato di cemento e olio di lino, spalmato con una spazzola, in modo da riempire le fessure rimaste prima di installare la struttura in legno. In modo da comparare procedimento e risultati, sugli altri muri è stato realizzata una protezione tradizionale di calce e sabbia. Si è dimostrata più facile da gestire. Entrambe però, sono risultate pericolose per la costruzione della struttura in legno sui muri in terra, poiché la terra cruda al di sotto dello strato protettivo era umida: questo ha causato la rottura degli angoli del muro al camminarci sopra. In conclusione uno strato di protezione appropriato dovrebbe essere più spesso (minimo 15cm) e più resistente ai carichi; oppure dev'essere realizzato con un materiale con una resistenza simile a quella del cemento. Il che permetterebbe anche di rinforzare la struttura. Allo stato attuale la ricerca ancora non ha sviluppato un materiale a base di terra di questo tipo: il calcestruzzo rimane la soluzione più pratica.

### 2.5. Ricostruzione dei muri in "pisé"

Una delle pareti ha collassato ed è stato necessario ricostruirla da capo. Si è scelto di ricostruirla in terra battuta per mantenere la coerenza dei materiali dell'involucro sulla facciata. La terra smantellata è stata riutilizzata per la ricostruzione. La fossa in cui la terra battuta è stata raccolta è stata umidificata e miscelata con un a piccola scavatrice affittata per altri lavori del cantiere. È stata poi coperta con teli di plastica per 2 calde settimane e bagnata ogni giorno, prima di essere

miscelata di nuovo con la scavatrice, ottenendo una terra adatta al nostro scopo. Il basamento è stato costruito sulle dimensioni del muro, dopo di che sono state installate vecchie casseforme. Il primo quarto è stato costruito usando dei secchi per riempire le casseforme e la terra è stata compattata manualmente utilizzando la metà di un puntone in acciaio. Successivamente si è continuato con la compattazione manuale, ma è stata usata una cassero contenitore per versare la terra. Il muro di dimensioni 1,5m di lunghezza per 2,5m di altezza e 45cm di spessore è stato realizzato in 4 giorni, di cui circa 3 per posizionare la cassaforma dimostratasi troppo pesante anche con l'aiuto di una piccola gru e sistemata non troppo bene. Il concetto di scorrimento verticale della cassaforma implicava il sollevamento e l'installazione degli elementi da un ponteggio, il che ha limitava i movimenti, la forza e rendeva il procedimento pericoloso. Non sarebbe stato possibile costruire un'altezza maggiore di 2,5m con queste casseforme nel caso di bisogno. Il cassero ha comunque permesso di velocizzare e facilitare la gestione della terra umida, e il tempo necessario per compattare uno strato è risultato circa lo stesso necessario per riempire il cassero e alzarlo fino alla cassaforma, permettendo un rapido avanzamento nella compattazione.

## 3. Migliorare il comfort interno con la terra

### 3.1. Intonaci a base di terra

Gli intonaci a base di terra possono essere una soluzione eccellente per il controllo dell'igrometria interna (Minke 2006) e per sfruttare le proprietà di inerzia termica del materiale. È stato dimostrato che in un muro in "pisé", su un ciclo di 24h, solo i primi 2-6cm di spessore partecipano allo scambio di calore, mentre parte di questo viene accumulato più in profondità all'interno del muro e rilasciato gradualmente, su un periodo di tempo più lungo. Attraverso gli intonaci a base di terra è possibile sfruttare questo principio massimizzando l'area della superficie di scambio con l'ambiente interno (Courgey & Oliva, 2010).

Durante i lavori di quest'estate sono state eseguite alcune prove con terra, sabbia e fibre di paglia per trovare la miscela migliore per intonaci a base di terra da utilizzare nell'edificio. Su una struttura di canne verticale è stato applicato un impasto di 1cm, cominciando con uno strato di terra pura, e aggiungendo poco a poco sabbia e paglia in proporzioni differenti, per fornire un adeguato controllo sul ritiro e la necessaria adesione al supporto. I risultati hanno mostrato che sotto i 5mm di spessore è possibile utilizzare uno strato di sola terra, senza aggiunta di sabbia e paglia nella miscela. Sebbene uno spessore di 5mm sia utilizzabile solo per finiture decorative, può essere interessante come elemento regolatore dell'igrometria, nonostante la composizione del materiale, principalmente limo con poca argilla, potrebbe non essere così efficiente per questo scopo. Rimane da fare un'analisi completa per valutare i benefici nell'uso di questo materiale quasi puro e facile da usare. Altri test di sensibilizzazione attraverso la pratica sono stati svolti utilizzando il "torchis". È stata preparata una miscela umida per malta di terra composta da un volume di terra bianca, due volumi di terra battuta e acqua, miscelata con dieci volumi di fibre di paglia in una vasca. La miscela ottenuta è stata poi modellata per realizzare delle salicce approssimativamente di 20cm di lunghezza e 6-7cm di spessore ed è stata installata su una struttura fissata sulla facciata interna delle pareti di balle di paglia della capanna. Il "torchis" è stato usato anche come supporto per la sperimentazione con intonaci a base di terra.

3.2. Fibre vegetali e argilla per l'isolamento: paglia, canapa e Poligono del Giappone  
Siccome l'idea alla base dell'intero progetto era quella di usare risorse locali, sono state raccolte le fibre vegetali disponibili in loco per esplorare il loro potenziale come elemento principale di componenti isolanti, con l'argilla usata come legante. L'argilla-paglia è ben documentata ed ha i suoi limiti in termini di resistenza termica, per questo non è stata sperimentata. Le precedenti esperienze con canapa e argilla come legante hanno rivelato la possibilità di ottenere migliori prestazioni. Il Poligono del Giappone, considerato uno dei peggiori parassiti vegetali nella maggior parte d'Europa, stava invadendo la parte sud del lotto. Dopo aver raccolto le canne della pianta sono stati effettuati alcuni test per verificare che il materiale non marcisca se misciato con argilla e lasciato seccare.

Due tipi differenti di componenti sono stati realizzati: blocchi 10x10x10cm con malta a base di terra miscelata con 4 volumi di Poligono del Giappone seccato e spezzettato grossolanamente, e dei mattoni di 42x37x7cm costituiti da una malta a base di terra miscelata con 2 volumi di fibre di paglia, 1 di sabbia di vetro e 4 volumi di Poligono del Giappone seccato e finemente sbriciolato. Sebbene approssimativi, i risultati sono stati incoraggianti; dopo aver seccato, entrambi i componenti non presentavano muffe e non sono collassati. Siccome il Poligono del Giappone può essere spezzettato in piccoli pezzi, seguiranno esperimenti per trovare una granularità appropriata per le canne di Poligono e un'appropriate miscela legante. Data la disponibilità delle risorse in tutta Europa e la necessità di materiali isolanti per il recupero, ci si aspetta che questi componenti attirino ulteriormente la ricerca.

### 3.3. Altre tecniche: solai in terra, stufe a massa termica, pareti di accumulo

La terra può essere usata in varie altre tecniche per migliorare massa termica e regolazione igrometrica, adattandole alle diverse situazioni. Tra queste, solai in terra stufe a massa termica e pareti di accumulo, sono parte di questo progetto/cantiere sperimentale. Sebbene non così resistenti come i solai abituali, i solai in terra con diversi rivestimenti possono essere usati in stanze meno esposte e permettere di diffondere massa termica a basso costo, anche se laboriosi da realizzare. Essendo rivestiti non avranno un grosso impatto sul controllo dell'umidità.

Le stufe a massa termica sono un altro possibile elemento che può sfruttare la terra, usata per il loro involucro, per migliorare il comfort interno, smussando gli sbalzi di temperatura e irradiando temperature più basse di altri materiali. A seconda del calore necessario, la superficie radiante necessaria può essere disegnata utilizzando tutte le possibilità offerte dalla combinazione di stufe a massa termica e terra, utilizzando banchi e altre aree calde di protezione intorno al nucleo. In ogni caso la stufa non può essere costruita interamente in terra: il nucleo molto caldo ha bisogno di un materiale refrattario, generalmente costoso.

Anche le pareti di accumulo in terra hanno una certa storia, utilizzando e perfezionando il concetto del "muro trombe" da decenni. Gli esperimenti programmati tendono allo studio di come questa massa termica, sia per l'accumulo solare che per il raffrescamento possa, sotto certe condizioni, preriscaldare o preraffreddare l'aria in ingresso, regolando allo stesso tempo l'umidità.