



Terracuda e Nanotecnologie

Già con il Programma di Ricerca Nazionale PRIN 2006, dall'Unità di Ricerca UR/1, che fa capo all'Università degli Studi di Palermo, era stata affrontata la ricerca sui materiali compositi nanostrutturati, mirati al recupero e alla conservazione del patrimonio architettonico. E con Alberto Sposito, co-ordinatore nazionale e responsabile di una Unità di Ricerca, erano l'Unità chimico-fisica di Palermo e l'Unità che faceva capo all'Università di Messina. Con i fondi assegnati da tale PRIN l'Unità di Palermo ha organizzato nel 2009 il I Convegno Internazionale dal titolo *Nanotech for Architecture: innovative Technologies, Techniques and nanostructured Materials*, i cui atti sono stati pubblicati da Luciano Editore (2009). Inoltre, lo stesso anno e con gli stessi tipi sono state pubblicate le risultanze della ricerca con il titolo *Nanotecnologie & Nanomateriali per l'Architettura*. A tale PRIN ha fatto seguito quello del 2008, dal titolo *Terra cruda e Nanotecnologie: Tradizione, Innovazione e Sostenibilità*, di cui qui sono riportate le risultanze della ricerca. Dopo l'introduzione che presenta il progetto di ricerca, nella Prima Parte seguono le relazioni di Maria Luisa Germanà, Cesare Sposito, Giuseppe De Giovanni e Antonino Guglielmino. Nella Seconda Parte sono riportate gli esperimenti e diverse considerazioni fatte dal gruppo dei chimici coordinati da Stefana Milioto, dagli architetti Francesca Scalisi, Carmelo Cipriano e Salvatore Pitruzzella e dall'Ingegnere Teotista Panzeca. In ultimo Alberto Sposito traccia alcune valutazioni finali e indica delle tracce di ricerca.

In copertina: l'antica Città di Shibam, costruita in terracuda dal sec. XVI nello Yemen, Patrimonio dell'Umanità.

Terracuda e Nanotecnologie a cura di F. Scalisi e C. Sposito

TERRACUDA E NANOTECNOLOGIE

TRADIZIONE, INNOVAZIONE, SOSTENIBILITÀ

a cura di

Francesca Scalisi e Cesare Sposito

Alberto Sposito con i contributi di
Giuseppe Cavallaro, Carmelo Cipriano, Giuseppe De Giovanni,
Maria Luisa Germanà, Antonio Guglielmino, Giuseppe Lazzara,
Stefana Milioto, Teotista Panzeca, Daniela Piazzese, Salvatore
Pitruzzella, Francesca Scalisi e Cesare Sposito

Francesca Scalisi, architetto e Dottore di Ricerca in *Recupero e Fruizione dei Contesti Antichi*, è stata titolare di Assegno di Ricerca sul tema *Sperimentazione dei materiali nanostrutturati nei siti archeologici di Agrigento, Morgantina e Villa Romana del Casale*, presso l'Università degli Studi di Palermo. Già docente di *Progettazione dei sistemi costruttivi* e di *Elementi e materiali dell'Architettura* presso la Facoltà di Architettura di Palermo, svolge da anni attività di ricerca sui temi delle nanotecnologie applicate ai Beni Culturali e alle nuove costruzioni, dell'architettura bioclimatica e del rapporto tra nanotecnologie e risparmio energetico. Ha pubblicato varie monografie, tra cui: *Nanotecnologie per gli edifici: Innovazione tecnologica e nuovi materiali per le costruzioni* (2010) e *Tecnologie per il risparmio energetico degli edifici* (2011).

Cesare Sposito, architetto, svolge attività di ricerca nell'ambito della cultura architettonica, sul tema del recupero e della fruizione, con particolare attenzione alla sostenibilità ambientale e ai materiali innovativi. Ricercatore e docente del *Laboratorio di Costruzioni I* presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Palermo, già Dottore di Ricerca in *Recupero del Patrimonio Edilizio ed Ambientale*, docente di *Progettazione dei Sistemi Costruttivi* e di *Tecnologia dell'Architettura*, è componente della Società Italiana di Tecnologia dell'Architettura (SITdA). Ha pubblicato varie monografie su questioni tecnologiche, tra cui i volumi: *L'Anfiteatro romano di Catania: conoscenza, recupero e valorizzazione* (2003), *Le Tommare: storia e architettura* (2007), *Suite d'Autore: architettura, design e tecnologia per una moderna cultura dell'ospitalità* (2008), *Architettura Sistemica: materiali ed elementi costruttivi* (2011), *I siti archeologici: dalla definizione del valore alla protezione della materia* (2012), *Sul recupero delle aree industriali dismesse* (2012).



euro 24,00

ISBN 978-88-548-6044-5



9 788854 860445

ESEMPI DI ARCHITETTURA

Direttore

Olimpia Niglio

Kyoto University, Japan

Comitato scientifico

Taisuke Kuroda

Kanto Gakuin University, Yokohama, Japan

Rubén Hernández Molina

Universidad Nacional, Bogotá, Colombia

Alberto Parducci

Università degli Studi di Perugia

Alberto Parducci

Università degli Studi di Perugia

Pastor Alfonso Sánchez Cruz

Revista Horizontes de Arquitectura, Mexico

Alberto Sposito

Università degli Studi di Palermo

Karin Templin

University of Cambridge, Cambridge, UK

Comitato di redazione

Giuseppe De Giovanni

Università degli Studi di Palermo

Marzia Marandola

Sapienza Università di Roma

Mabel Matamoros Tuma

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, La Habana, Cuba

Alessio Pipinato

Università degli Studi di Padova

Bruno Pelucca

Università degli Studi di Firenze

Chiara Visentin

Università degli Studi di Pisa, Campus di Lucca

ESEMPI DI ARCHITETTURA

La collana editoriale Esempi di Architettura nasce per divulgare pubblicazioni scientifiche edite dal mondo universitario e dai centri di ricerca, che focalizzino l'attenzione sulla lettura critica dei progetti. Si vuole così creare un luogo per un dibattito culturale su argomenti interdisciplinari con la finalità di approfondire tematiche attinenti a differenti ambiti di studio che vadano dalla storia, al restauro, alla progettazione architettonica e strutturale, all'analisi tecnologica, al paesaggio e alla città.

Le finalità scientifiche e culturali del progetto EDA trovano le ragioni nel pensiero di Werner Heisenberg Premio Nobel per la Fisica nel 1932.

... È probabilmente vero, in linea di massima, che nella storia del pensiero umano gli sviluppi più fruttuosi si verificano spesso nei punti d'interferenza tra diverse linee di pensiero. Queste linee possono avere le loro radici in parti assolutamente diverse della cultura umana, in diversi tempi ed in ambienti culturali diversi o di diverse tradizioni religiose; perciò, se esse veramente si incontrano, cioè, se vengono a trovarsi in rapporti sufficientemente stretti da dare origine ad un'effettiva interazione, si può allora sperare che possano seguire nuovi ed interessanti sviluppi.

Pubblicazione realizzata con Fondi del Programma di Ricerca Scientifica di Rilevante Interesse Nazionale PRIN anno 2008.

Titolo del Programma:

NANOTECNOLOGIE PER L'ARCHITETTURA SOSTENIBILE: I MATTONI IN TERRACRUDA.
NANOTECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE: THE BRICKS IN UNFIRED CLAY.

Titolo del Volume:

TERRACRUDA E NANOTECNOLOGIE: TRADIZIONE, INNOVAZIONE, SOSTENIBILITÀ.
UNFIRED CLAY AND NANOTECHNOLOGIES: TRADITION, INNOVATION, SUSTAINABILITY.

Coordinatore Scientifico:

Prof. Arch. Alberto Sposito

TERRACRUDA E NANOTECNOLOGIE

Tradizione, Innovazione, Sostenibilità

a cura di

Francesca Scalisi e Cesare Sposito

Alberto Sposito *con i contributi di*
Giuseppe Cavallaro, Carmelo Cipriano,
Giuseppe De Giovanni, Maria Luisa Germanà,
Antonino Guglielmino, Giuseppe Lazzara, Stefana Milioto,
Teotista Panzeca, Daniela Piazzese, Salvatore Pitruzzella,
Francesca Scalisi e Cesare Sposito



© by Alberto Sposito
Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Palermo

Copyright © MMXIII
ARACNE editrice S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

via Raffaele Garofalo, 133/A-B
00173 Roma
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-6044-5

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: maggio 2013

Sommario

<i>Presentazione</i>	9
<i>Presentation</i>	10
FRANCESCA SCALISI e CESARE SPOSITO	

Introduzione

Il progetto di ricerca PRIN 2008	II
<i>The Research Project PRIN 2008</i>	27
ALBERTO SPOSITO	

PARTE PRIMA – *Terracruda e nanotecnologie*

Terracruda in Sicilia: dal Patrimonio Architettonico alle potenzialità contemporanee.	49
MARIA LUISA GERMANÀ	

Architettura in terra.	61
CESARE SPOSITO	

Le nanotecnologie per l'architettura	75
GIUSEPPE DE GIOVANNI	

Costruire con la terra.	89
ANTONINO GUGLIELMINO	

PARTE SECONDA – *Gli esiti della ricerca*

Correlazioni struttura-proprietà di materiali compositi nanoargilla/biopolimero	101
GIUSEPPE CAVALLARO, GIUSEPPE LAZZARA, STEFANA MILIOTO, DANIELA PIAZZESE	

Le modalità di esecuzione dei mattoni in terracruda	111
FRANCESCA SCALISI	

Prove di resistenza a compressione e a flessione dei campioni in terracuda	137
FRANCESCA SCALISI	
Valutazioni sulla resistenza dei campioni nanostrutturati.	153
TEOTISTA PANZECA	
Prove di durabilità e di resistenza meccanica sui mattoni in terra cruda nanostrutturati.	157
CARMELO CIPRIANO	
Simulazione delle caratteristiche termofisiche di mattoni in terracuda con nanodischi di argilla con il metodo degli elementi finiti e loro applicazioni	169
SALVATORE PITRUZZELLA	
Caratterizzazione acustica di mattoni in terracuda addizionati con nanodischi di argilla	197
SALVATORE PITRUZZELLA	
<i>Conclusioni</i>	213
<i>Conclusions</i>	221
ALBERTO SPOSITO	
<i>Bibliografia</i>	235

Architettura in terra

CESARE SPOSITO*

ABSTRACT – As a new way of approaching the utilization of the resources of this planet earth, the Author proposes baked earth as a natural, ecological and widely available building material, accessible everywhere and to everybody; starting from the Manifesto for the Right to Build with Baked Earth, the Author cites several examples of contemporary architecture built from this material.

L'uso della terra cruda nelle costruzioni vanta una tradizione millenaria, come dimostrano i resti delle fortificazioni greche di Capo Soprano a Gela in Sicilia, risalenti al sec. IV a. C. o le città mediorientali interamente realizzate in terra, come Shibam nello Yemen, costruita nel sec. XVI e nota come la *Manhattan del deserto* (Fig. 1). Negli ultimi anni si è rinnovato l'interesse per un tale materiale facilmente reperibile ed eco-compatibile.

In Europa, la riscoperta dell'architettura e della tecnologia in terra è avvenuta a partire dal 1972, grazie a studi ed esperienze costruttive di ricercatori e progettisti, che hanno portato nel 1979 alla nascita presso la Scuola di Architettura di Grenoble, di CRATerre – Centro di Ricerca sulla Costruzione in Terra, un'associazione incaricata dal governo francese di definire un vasto programma di ricerca e di sperimentazione riguardante lo stato dell'arte e il futuro delle costruzioni in terra. Nel 1981 il *Centre National d'Art et de Culture Georges Pompidou* ha organizzato una grande mostra internazionale, avente per tema *Passato, presente e futuro dell'architettura in terra*: questa mostra ha rappresentato una vetrina per l'intera Europa sul rinnovato interesse per questa modalità costruttiva. Nel 2001 l'UNESCO ha firmato un impegno per accelerare la diffusione, all'interno della comunità internazionale, delle conoscenze scientifiche e tecniche sull'architettura di terra.

La fede assoluta nel calcestruzzo armato, che ha attraversato il sec. XX, ha messo da parte le enormi potenzialità di questo materiale, facendo venir meno

* Cesare Sposito è ricercatore nel settore della Tecnologia dell'Architettura all'Università degli Studi di Palermo ed è docente del Laboratorio di Costruzione I alla Facoltà di Architettura di Palermo.

il diritto alla sua utilizzazione, come la mancanza di una normativa sulla costruzione in terra cruda, in Paesi come l'Italia. Ma in un'epoca in cui abbiamo cominciato a prendere coscienza dei limiti che hanno le risorse del nostro pianeta, la terra cruda viene sempre più spesso considerata il materiale ecologico per eccellenza. La necessità di uno sviluppo sostenibile coinvolge necessariamente le costruzioni, in quanto grandi consumatrici di risorse non rinnovabili, in particolare di quelle energetiche, e grandi produttrici di rifiuti. Per questa ragione CRATerre, l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble e la Cattedra UNESCO hanno promosso il *Manifesto per il diritto a costruire in terra cruda*, con l'obiettivo di sollecitare la promulgazione di una normativa adeguata, di promuovere la formazione di professionisti per la costruzione di opere tradizionali e contemporanee e di approfondire la ricerca scientifica sul materiale e sulle tecniche costruttive.

La terra è un materiale da costruzione che, in virtù della sua versatilità, è in grado di porsi perfettamente in equilibrio con l'ambiente: la terra si presta a realizzazioni accessibili a qualsiasi organizzazione produttiva, dalla più semplice



Fig. 1 – La città di Shibam nello Yemen (sec. XVI), costruita interamente in terra cruda.

alla più complessa; inoltre è una risorsa facilmente reperibile nella gran parte dei contesti geografici e la varietà delle prestazioni ottenibili dalle diverse tecniche esecutive consente di produrre manufatti adatti a perseguire il risparmio energetico e il comfort in differenti contesti climatici.¹

Le tecniche costruttive in terra più conosciute sono l'*adobe* e il *pisé*. L'*adobe* è una tecnica costruttiva con blocchi e mattoni crudi prodotti, artigianalmente o industrialmente, senza cottura, impiegando terre argillose eventualmente impastate con triturato di paglia. La produzione artigianale consiste nella modellazione dei blocchi pressando l'impasto argilloso e plasmabile in appositi stampi di legno. Tolti dallo stampo vengono essiccati all'aria aperta. I prodotti industriali si ottengono invece per estrusione e taglio, come i normali mattoni e blocchi di cui sono un semiprodotto. L'*adobe* permette di costruire edifici alti fino a tre metri.²

Un altro sistema di produzione industriale di mattoni è quello dei *blocchi compressi*: la terra leggermente umida viene introdotta in una pressa avente delle forme di dimensioni ridotte e, tramite un sistema di leve o di pistoni idraulici, si applica sulla terra umida una forza di compressione che produce una diminuzione del volume di circa la metà. Si ottiene così un blocco ben definito, simile nell'aspetto ai mattoni cotti pieni, che offre gli stessi vantaggi di versatilità nella messa in opera. L'apparizione del mattone compresso sul mercato è recente; attualmente si possono acquistare macchine di piccole dimensioni che eseguono la setacciatura, l'impasto con inerti e stabilizzanti e la compattazione continua di blocchi che escono su di un nastro trasportatore.

Il *pisé*, invece, consiste nella costruzione di muri usando casseforme in cui la terra cruda, opportunamente preparata, viene immessa. Si impiega una terra piuttosto magra (sabbiosa) e poco umida; il materiale viene inserito nelle casseforme in strati di cm 5-12 e battuto fino ad arrivare a strati di circa cm 80. Lo spessore minimo dei muri portanti è di cm 50; le aperture delle finestre e delle porte si ottengono tramite apposite contro intelaiature, le architravi sono da rinforzare con listelli di legno. Questa tecnica consente la costruzione di edifici alti fino a due o anche tre piani. Convien erigere muri in terra cruda su di uno zoccolo di pietra e proteggerli contro l'umidità ascendente; inoltre, i muri esterni devono essere protetti da un intonaco contro la pioggia. Un'altra tipologia costruttiva realizzata con la terra è il *torchis*, un impasto plastico di terra e paglia utilizzato per rivestire griglie in legno, in bambù o in rami di salice o di nocciolo, fissate alla struttura portante.

Nella cittadina francese di Isle-d'Abeau, a pochi chilometri da Lione, è stato realizzato un intero quartiere in terra, che coniuga esigenze sociali e ambientali. Il quartiere, chiamato *Domaine de la Terre* e costruito tra il 1982 e il 1986, è costituito da 65 alloggi che comprendono case unifamiliari e piccoli condomini, distribuiti in dodici isolati che sono stati affidati a differenti architetti (Fig. 2). Le *performance* energetiche degli alloggi sono di gran lunga superiori rispetto agli standard presenti all'epoca negli alloggi popolari; i muri realizzati in *pisé*,



Fig. 2 – Uno degli edifici all'interno del quartiere *Domaine de la terre*, a Lione, progettato da Jourda & Perrandin.

in blocchi di terra compressa, grazie alla loro inerzia termica e al loro ottimo comportamento igrometrico, offrono un buon comfort globale. I principi costruttivi si rifanno, modernizzandoli, alle tecniche tradizionali del Basso Deltafinato³. Il *Domaine de la Terre* mostra la volontà di sottolineare la continuità tra l'architettura di terra legata alla tradizione e quella moderna.

Nel 1982, dopo ricerche e test condotti dalla Facoltà di Architettura di Grenoble, per un periodo di quindici anni, con lo scopo di migliorare le tecniche costruttive in terra cruda, il ministero francese dei lavori pubblici ha bandito il concorso di progettazione su ciascuno dei dodici isolati del complesso, specificando i seguenti obiettivi: a) riscoprire un materiale energeticamente economico, in particolare nella fase di costruzione e di gestione; b) rinnovare un passato storico regionale; c) riscoprire le tecniche suscettibili di essere utilizzate in luoghi diversi. I vincitori del concorso avrebbero proceduto poi alla redazione dei progetti definitivi e, dopo le procedure di appalto, anche alla esecuzione dei lavori per la costruzione degli edifici.

A più di vent'anni dalla sua costruzione il livello del mantenimento dell'efficienza negli edifici di questo quartiere sembra ottimo, salvo pochi casi di limitate manutenzioni che per altro sono paragonabili a quelle di analoghi edifici eseguiti con tecnologie tradizionali. Sempre in Francia, è stato costruito il Centro Ecologico Europeo *Terre Vivante*, realizzato in blocchi compressi di terra cruda con l'aggiunta dell'8% di cemento (Fig. 3).

In Europa, diversi esempi di architetture in terra si trovano in Germania e Austria, grazie ad architetti come Martin Rauch, considerato uno dei pionieri delle moderne tecniche costruttive in terra. Il Rauch ha realizzato a Berlino la *Chiesa della Riconciliazione*, inaugurata nel 2000, che rappresenta la prima chiesa



Fig. 3 – Il ristorante all'interno del Centro Ecologico Europeo Terre Vivante, realizzato in blocchi compressi di terra cruda.

tedesca in argilla compressa portante. La Chiesa sorge sulle rovine della vecchia Chiesa eretta nel 1894, caduta in rovina negli anni successivi alla costruzione del Muro di Berlino, in quanto il Muro passava direttamente davanti alla Chiesa che, da quel momento in poi, non era più accessibile né da Berlino Ovest né da Berlino Est; per questo motivo l'edificio era stato demolito nel 1985. Questo nuovo progetto di Martin Rauch è composto da due corpi ovali, collocati l'uno dentro l'altro ma con gli assi ruotati in direzioni opposte: l'ovale esterno è realizzato in lamelle di legno, quello interno in argilla compressa (Fig. 4).

Sempre l'architetto Rauch ha realizzato a Schlins, in Austria, la propria abitazione, insieme con l'architetto Roger Boltshauser: un edificio costituito da tre livelli e realizzato in terra compressa e stratificata, con sottili file di mattoni disposti a intervalli regolari e visibili in facciata. Le pareti, i pavimenti e gli intonaci sono realizzati completamente con la terra dello sbancamento: questo è il risultato della volontà di costruire una casa esclusivamente con materiali sostenibili. La casa in terra ha una struttura monolitica diventando quasi un blocco scultoreo, una natura astratta e artificiale spinta verso l'alto dalla terra sottostante. Già nel 1994 Martin Rauch aveva costruito il suo atelier in terra cruda, sempre a Schlins, diventato un edificio dimostrativo (Fig. 5). Non da meno è l'opera dell'arch. Minke, di cui ricordiamo la costruzione del Giardino d'Infanzia Waldorf a Sorsum, in Germania, realizzato in blocchi di terra estrusi (Fig. 6).



Fig. 4 – La Chiesa della Conciliazione a Berlino, opera dell'architetto Martin Rauch (2000).



Figg. 5, 6 – A sinistra: la casa dell'architetto Martin Rauch a Schlins, in Austria (2008); a destra: il giardino d'infanzia a Sorsum (Germania) dell'arch. Minke.

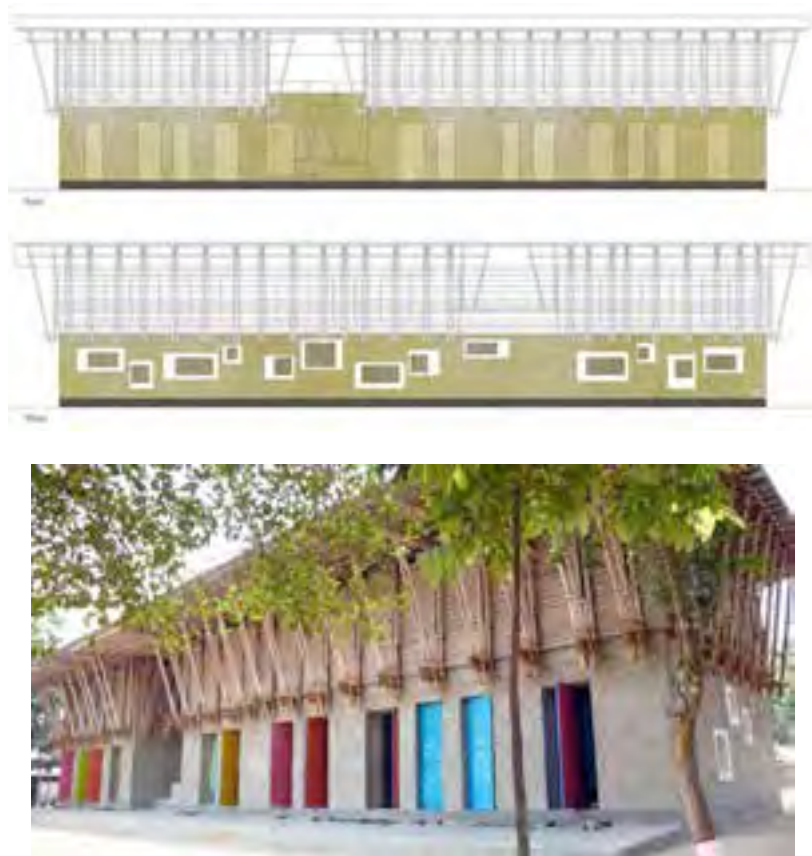


Fig. 7 – Abitazioni in blocchi compressi di terra cruda in India, arch. Satprem Maini.

Nei Paesi in via di sviluppo le costruzioni in terra cruda hanno sempre rappresentato per la maggior parte della popolazione l'unica realtà possibile, in quanto la facilità di reperire il materiale terra e la possibilità di realizzare artigianalmente i mattoni, hanno permesso anche ai più poveri di poter costruire le proprie abitazioni. Da diversi anni si cerca di coniugare quella che è sicuramente una necessità, con scelte tecniche ed estetiche che assicurino livelli di comfort migliori, nel rispetto dei valori della tradizione, della sostenibilità ambientale e delle esigenze economiche. In India troviamo le abitazioni realizzate dall'arch. Satprem Maini in blocchi compressi con l'aggiunta del 5% di cemento (Fig. 7), mentre in Bangladesh una scuola realizzata a mano in argilla e bambù (Figg. 8 – 9).

Il progetto trova il suo punto di forza proprio nei materiali, l'argilla e il bambù che provengono dalla tradizione locale. Sul piano delle fondazioni, realizzate in mattoni e isolate con uno strato di intonaco cementizio e uno di polietilene facilmente reperibile nel mercato locale, sono stati innalzati i muri portanti di argilla sviluppati in strati alti circa cm 65 di blocchi fatti di un impasto composto da terra, paglia, acqua e lavorato con l'aiuto dei buoi. L'altro materiale cardine, il bambù, dalle alte prestazioni tecniche, invece è stato usato per la struttura degli orizzontamenti, intelaiato con tasselli in acciaio e nylon, invece della tradizionale iuta, e per le chiusure verticali del primo piano, intrecciato in modo da creare un gioco di pannelli mobili, allo scopo di favorire la ventilazione e il soleggiamento.

Con la terra cruda sono stati costruiti anche importanti edifici, come musei, scuole, alberghi, ville, soprattutto in Paesi come l'Australia, il Canada o gli Stati Uniti, dove esiste una regolamentazione in merito alle costruzioni in terra cruda da diversi anni. In Canada si trova il Nk'Mip, un centro culturale nel deserto della Columbia Britannica; l'area su cui sorge l'edificio è di proprietà



Figg. 8, 9 – Scuola realizzata in argilla e bambù nel Bangladesh.

degli indiani *Osoyoos* e rappresenta un habitat unico nel panorama canadese. Il progetto iniziale, di *Hotson Bakker Boniface Haden Architects & Urbanistes (HBBH)*, era costituito da un edificio in cemento, a cui successivamente è stato aggiunto un lungo muro in *pisé*, che si integra perfettamente con l'ambiente circostante e soddisfa anche le esigenze della comunità indiana, che stentava a riconoscersi in un edificio di cemento (Fig. 10); esso è il risultato di un miscuglio di terra locale e coloranti misti a una percentuale di cemento superiore al 6%.⁴

In Australia ci sono molti esempi di architetture realizzate in terra cruda, come il *The TarraWarra Museum of Art* dell'architetto Alan Powell, completato nel 2004 (Fig. 11), il Centro Culturale a Ayers Rock – Uluru (Fig. 12), dell'arch. Gregory Burgess, realizzato in adobe stabilizzato con il 2% di cemento o le abitazioni realizzate a Sunny Cliffs – Mildura in *adobe* industrializzato con paglia e bitume (Fig. 13). Nelle aree desertiche degli Stati Uniti l'integrazione con il paesaggio circostante può essere realizzata soltanto con l'utilizzo di materiali naturali come la terra: a Tucson, in Arizona, l'architetto Rick Joy ha progettato la casa *Palmer-Rose* con muri in *pisé* (Fig. 14), la stessa tecnica impiegata per



Fig. 10 – Il muro realizzato in pisé nel Centro Culturale NK'MIP in Canada.

realizzare l'ingresso del McDowell Sonoran Preserve (Fig. 15); sempre in Arizona, l'architetto Neil Jones ha realizzato diversi edifici in terra, tra cui va ricordata la *Dirt House*, un edificio residenziale a un unico livello a Scottsdale, che è stato completato nel 1997.



Fig. 11 – Il TarraWarra Museum of Art di Victoria, in Australia, progettato da Allan Powell (2004).



Fig. 12 – Il Centro Culturale a Ayers Rock – Uluru, in Australia, dell'arch. Gregory Burgess.



Fig. 13 – Abitazioni realizzate a Sunny Cliffs, Australia.



Fig. 14 – Casa Palmer-Rose a Tucson in Arizona, progettata dall'arch. Rick Joy (1998).



Fig. 15 – L'ingresso al McDowell Sonoran Preserve in Arizona.

Un interessante progetto di ricerca è il *Rammed Earth N51* realizzato presso il Massachusetts Institute of Technology e coordinato dal John Ochsendorf, Professore del Dipartimento di Architettura. Un gruppo di studenti ha costruito un muro di recinzione in terra all'interno del campus per valutare le qualità tecniche ed estetiche di questa tecnica costruttiva. Il muro, che si trova sul retro dell'edificio N51 del MIT, è stato realizzato in terra battuta ed è stato costruito in due sezioni, divise al centro da un cancello largo tre metri. Innanzitutto è stata realizzata una fondazione in cemento armato, in seguito si è provveduto alla realizzazione di una cassaforma in legno compensato collegata alla trave in cemento sotto e rafforzata con fascette orizzontali. Per la realizzazione della prima metà del muro, il composto di argilla, sabbia, acqua e inerti è stato versato nella cassaforma manualmente, così come manualmente è stato compattato. Nella seconda metà della parete entrambe le operazioni sono state eseguite meccanicamente con un notevole risparmio di tempo e di manodopera. Quando la compattazione della terra era completata, la cassaforma è stata rimossa e si è provveduto a installare una protezione impermeabile sulla sommità del muro.

Per concludere, gli esempi citati dimostrano un grande attivismo nel mondo intorno alle costruzioni in terra cruda. La diffidenza nei confronti di questo materiale è ancora molta, anche se le problematiche che le costruzioni in terra cruda presentano sono molteplici e sicuramente la sua utilizzazione non può essere indiscriminata. Tali problematiche possono essere superate ponendo l'attenzione su tre aspetti: quello culturale, quello normativo e quello che è riferibile all'incremento della ricerca. L'aspetto culturale e quello relativo alla ricerca si stanno affrontando in maniera crescente, come dimostrano i Convegni, le ricerche e le pubblicazioni che sempre più negli ultimi anni incrementano il *corpus* bibliografico: si è visto come una delle Università più prestigiose al mondo, il Massachusetts Institute of Technology, abbia condotto una sperimentazione sulla costruzione di un muro in terra. Il problema fondamentale rimane la mancanza di Normative di riferimento che siano di supporto agli operatori



Fig. 16 – *Rammed Earth N51*: la cassaforma del muro in terra battuta.



Figg. 17, 18 – Rammed Earth N51: il muro in terra battuta completato.

del settore. Molti Paesi comunque hanno iniziato da tempo riflessioni sui vantaggi (economici, ecologici, energetici) di questi sistemi costruttivi; ad esempio, attualmente negli Stati Uniti la costruzione in *adobe* è integrata nei codici di costruzione nazionali (*Uniform Building Code Standards*) e dal 1983 alcuni Stati hanno regolamentato la costruzione in *pisé*, in *blocchi compressi* e in *zolle*. Invece l'Italia è tra i Paesi che non possiede ancora una Normativa per le costruzioni in terra cruda, anche se alcune regioni hanno avviato un processo di tutela speciale per il recupero e la messa in valore del patrimonio di terra. La strada da percorrere sarà lunga, ma di certo le prospettive di ricerca sono molte e si prefigurano di grande interesse.

NOTE

¹ La terra cruda impiegata negli edifici è prevalentemente un miscuglio di argilla e sabbia; l'argilla è una roccia sedimentaria clastica caratterizzata da un'elevata plasticità e dalla capacità di assorbire acqua. Con la terra cruda e con l'ausilio di casseforme si possono direttamente costruire muri e volte, oppure modellare mattoni crudi e costruire con questi. Le costruzioni in terra cruda sono ritenute molto salubri perché possiedono proprietà igrometriche molto vantaggiose, che conferiscono agli ambienti un equilibrato clima interno; grazie al loro elevato spessore e peso, i muri costruiti in terra cruda sono buoni accumulatori di calore e possiedono buone proprietà fonoisolanti. La terra argillosa è abbondantemente disponibile e si trova dappertutto, spesso direttamente sull'area di costruzione, quindi i trasporti sono minimi. Costruire in terra cruda è anche economico, richiede sì più lavoro rispetto ad altre tecniche, ma il materiale costa davvero molto poco e il consumo di energia è di soli 2-5 kWh/mc, corrispondente all'1% di quello necessario per la produzione di calcestruzzi. Inoltre, la lavorazione della terra cruda non comporta rischi per la salute e lo smal-

timento, dopo la demolizione, non causa problemi; il materiale inumidito può essere riutilizzato oppure restituito alla natura, spesso anche senza trasportarlo in discarica.

² I manufatti realizzati con questa tecnica sono caratterizzati da un'elevata inerzia termica per via dell'elevato peso specifico e dell'utilizzo di terra non alleggerita. I blocchi formati, essendo dotati di elevata massa, consentono un buon isolamento dai rumori. La maggiore specializzazione è richiesta nella realizzazione dell'impasto, mentre la fase di formatura e quella d'essiccamento richiedono grande attenzione, ma non particolari conoscenze. Se ben eseguita e in assenza di eventi esogeni, per esempio infiltrazioni dal tetto o risalita capillare dal basamento, la muratura in blocchi presenta nel tempo una bassa probabilità di guasto; inoltre i blocchi compressi risultano praticamente incombustibili. Le norme DIN (18 952) tedesche considerano i manufatti in terra di peso specifico superiore ai 1700 Kg/mc come incombustibili. I blocchi formati, se assemblati con malta in terra cruda, possono essere facilmente disassemblati, puliti e riutilizzati. Nel caso di dismissione della parete i blocchi in breve tempo si sciogliono tornando terra coltivabile; qualora la parete non sia omogenea, prima della dismissione sarà necessario separare i diversi componenti.

³ Il primo muro in terra conosciuto nella Gallia meridionale risale alla fine dell'età del bronzo (sec. VIII a. C.). La tecnica fu introdotta dai Cartaginesi che la assunsero dalla cultura fenicia. Il pisé sembra essere scomparso nel Medio Evo, soppiantato dal legno e dalla tecnica del torchis. Il pisé incontra una rinascita nel secolo dei Lumi per opera di François Cointeraux, architetto rurale di origine lione (1740-1830): nel 1786 costruisce la sua prima casa incombustibile in pisé. Il patrimonio edilizio in pisé del Delfinato è molto ricco; le costruzioni datano all'inizio del sec. XIX, come conferma il catasto napoleonico (1836) che riporta i piccoli villaggi della Grande Charrière. Nel 1808 Napoleone chiamò François Cointeraux per la costruzione di casermaggi che, esaurite le necessità belliche, diventarono centri abitati che sono tutt'ora esistenti.

⁴ La normativa vigente in Canada prevede una percentuale di cemento compresa tra il 3 e il 6%.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *Architecture en terre*, in 'Ecologik' n. 12, dicembre 2009/gennaio 2010, pp. 54-90.
- BOLLINI G., *Terra cruda tra tradizione e innovazione*, Atti del primo Corso di Formazione Tecnica organizzato dalla Provincia di Alessandria, Edicom Edizioni, 2008.
- CORRADO M., *Oro, Legno e Terra*, Macro Edizioni, Forlì 2006.
- FONTAINE L., ANGER R., *Batir en terre. Du grain de sable à l'architecture*, Belin, Paris 2009.
- FORLANI M. C. (cur.), *Costruzione e Uso della Terra*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna 2001.
- GALDIERI E., *Le meraviglie dell'architettura in terra cruda*, Laterza, Bari 1982.
- GERMANÀ M. L., PANVINI R. (cur), *La terra cruda nelle costruzioni. Dalle testimonianze archeologiche all'architettura sostenibile*, Atti della Giornata di Studi, Caltanissetta, Museo Archeologico, 29 giugno 2007, Nuova Ipsa Editore, Palermo 2008.
- MINKE G., *Earth construction handbook*, WIT Press, Southampton 2000.
- RAEL R., *Earth Architecture*, Princeton Architectural Press, New York 2008.
- SCUDO G., 'Le nuove radici delle architetture in terra', in GERMANÀ M. L., PANVINI R. (cur), *La terra cruda nelle costruzioni. Dalle testimonianze archeologiche all'architettura sostenibile*, Atti della Giornata di Studi, Caltanissetta, Museo Archeologico, 29 giugno 2007, Nuova Ipsa Editore, Palermo 2008, pp. 49-58.
- WIENKE U., *Manuale di Bioedilizia*, DEI, Roma 2002.