

LA Lolla di riso come additivo naturale per l'Adobe: dalle prove in laboratorio al progetto di un centro civico per CEPITÁ (Colombia)

Michele Paradiso

Università degli Studi di Firenze, Italia

Ricardo Alfredo Cruz Hernández

Universidad Industrial de Santander, Colombia

Fabrizio F.V. Arrigoni

Università degli Studi di Firenze, Italia

Costanza Bigi

Università degli Studi di Firenze, Italia

Stefano Cartesio

Università degli Studi di Firenze, Italia



Il cañon del Chicamocha visto dalla via d'accesso a Cepitá

RIASSUNTO

Lontano dalla frenesia delle metropoli sudamericane, incastonato sul fondo del secondo cañon più grande del mondo, sorge il *pueblito* di Cepitá, un gioiello fermo nel tempo, patrimonio tangibile dell'architettura colombiana. È dalla sua terra che nasce questo progetto. La prima parte di questo studio ha luogo in un laboratorio; il materiale, analizzato nelle sue proprietà fisiche mediante prove di caratterizzazione, ha preso forma diventando vero e proprio elemento costruttivo: *l'adobe*. Le sue potenzialità meccaniche sono state quindi messe alla prova. Riallacciandosi alla tradizione del luogo, ma anche apportando delle innovazioni, ne è stato migliorato il comportamento meccanico grazie all'utilizzo di un additivo naturale, ottenuto dagli scarti della lavorazione del riso, la lolla. È a questo punto che il materiale diviene architettura: il progetto di un centro civico riempie uno degli isolati di Cepitá, con lo scopo di diventare polo attrattivo sia per la popolazione locale sia per i visitatori. Si tratta di un complesso

costituito da quattro corpi di fabbrica, collegati tra loro attraverso ampi camminamenti che delineano tre corti. L'edificio si integra pienamente nel contesto in cui sorge, sia per forma sia per dimensioni, creando continuità con l'intorno. Il fulcro visivo dell'intero progetto, però, è rappresentato da tre cupole tronche, che, in parte rompendo i ritmi e gli andamenti ortogonali del piccolo centro abitato, in parte guardando alle capanne a pianta circolare delle popolazioni precolombiane, portano all'estremo la tecnologia costruttiva della terra cruda.

PAROLE CHIAVE

Terra cruda, adobe, lolla, architettura, laboratorio, Cepitá



Via d'accesso a Cepitá

ABSTRACT

Far away from the frenzy of the south American metropolis, the village of Cepitá is nestled on the bottom of the second biggest canyon of the world, a jewel frozen in time, touchable patrimony of the Columbian architecture. It is from its earth that rises this project. The first part of this study takes place in a laboratory; the material, once analyzed in its physical proprieties through characterization tests, took a shape, becoming an effective construction element: the adobe. Its mechanical proprieties were put to the test; its mechanical behavior was improved following the building tradition of the place but also using innovations; in fact it was used the rice husk as a natural additive, obtained from the wastes of the rice production. It is at this point where the material becomes architecture: the project of a civic center occupies one of the Cepitá's blocks, in order to create a center of attraction both for population and visitors. It is a building made of four parts, connected each other with wide walkways that form together three courtyards. The building perfectly fits in the context, both for form and dimensions, creating a good continuity with the surroundings. The visual core of the whole project is represented by three truncated domes, which, breaking down the rhythms and the orthogonal directions of the village, but also looking back at the circular-shaped huts of the pre-Columbian populations, bring to the extreme point the construction technology of raw-earth bricks.

KEY WORDS

Raw earth, adobe, rice husk, architecture, laboratory, Cepitá

INTRODUZIONE

Il seguente studio nasce grazie ai rapporti internazionali tra l'Università degli Studi di Firenze e La Universidad Santo Tomas con sede a Bucaramanga, Colombia. È in questa città che tale lavoro ha avuto inizio, nato dalla volontà di riscoprire e conferire l'adeguata importanza a tecniche architettoniche spesso ingiustamente considerate desuete o inadatte alla società moderna.

Tale esperienza ha generato un differente approccio all'Architettura, identificata non più solo con l'architettura di tipo "monumentale", ma anche con le sue forme più povere e spontanee, culla di interazioni sociali, storiche e culturali.

La prima parte della presente ricerca si concentra sulla caratterizzazione fisico-meccanica del materiale terra, la quale è stata in seguito additivata, con il fine di migliorarne le prestazioni, attraverso l'aggiunta di una fibra naturale, la lolla di riso. È a questo punto dello studio che il materiale diviene architettura, attraverso la progettazione di un centro civico nel piccolo paese di Cepitá.

CENNI STORICI E TECNOLOGICI

La terra cruda è il materiale da costruzione più antico che esista, presente praticamente da sempre nella storia dell'architettura. Si tratta di un composto totalmente naturale, miscela di terra ed acqua lasciato essiccare al sole. La sua diffusione non dipende solo dalla facilità di lavorazione, soprattutto in rapporto ad altri materiali come la pietra ed il legno, ma anche dal fatto che è possibile reperirlo pressoché in ogni luogo, come sostiene l'autore Eugenio Galdieri in "Le meraviglie dell'architettura in terra cruda": *"ovunque c'è acqua, almeno in teoria c'è fango"*. (fig.01)

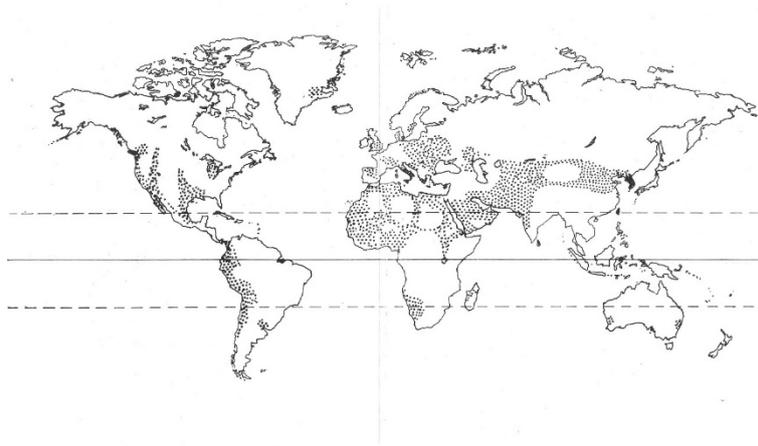


Figura 1 - mappa dell'area di diffusione delle costruzioni in crudo. Da: Le meraviglie dell'architettura in terra cruda, Galdieri E., Editori Laterza, 1982

Anche per questo motivo, la terra cruda può vantare una storia risalente all'età Neolitica (10.000 a.C.) quando erano già conosciute alcune delle sue tecniche costruttive. L'utilizzo delle costruzioni in crudo ha avuto maggiore utilizzo in tutte quelle aree interessate da uno sviluppo economico e culturale, come ad esempio la Mesopotamia, l'India, la Cina, l'Africa e l'America Centrale. Uno degli esempi per comprendere l'importanza degli edifici in crudo del passato è la Grande moschea di Djenne in Mali, il più grande edificio in adobe al mondo, risalente XIII secolo e poi ricostruito nel 1907 (*fig. 02*).



Figura 2 - Grande moschea di Djenne, in Mali (foto reperita in rete)

La diffusione degli edifici in terra cruda ebbe tuttavia un drastico arresto, soprattutto in Occidente, a partire dal secondo dopoguerra, con la ovvia conseguenza di una graduale perdita della conoscenza delle tecniche costruttive ad esso legate.

Ma perché avvenne ciò? È chiaro che la terra divenne con l'avvento dell'industrializzazione un materiale superato e desueto, soprattutto se confrontato con il calcestruzzo e l'acciaio, materiali di gran lunga più performanti dal punto di vista statico; la volontà di poter erigere edifici sempre più maestosi, alti e leggeri escludeva l'uso della terra in partenza, poco utile alle esigenze del tempo. Il motivo della sua scomparsa non fu, però, causato solo da quanto detto finora. Nel tempo questa avversione acquistò un tono differente, creando un limite di natura psicologica, portando così la terra dall'essere ritenuta un materiale *povero* all'essere materiale *dei poveri*, e divenendo dunque motivo di vergogna.

Un netto cambiamento di tendenza si è riscontrato in seguito all'introduzione del concetto di architettura sostenibile. Il modello di sviluppo da prendere come riferimento è diventato quello dell'economia circolare, il quale presuppone la produzione minima di scarti e rifiuti che non siano necessari e che ha come obiettivo primario quello del riutilizzo delle risorse esistenti.

Tale studio fonda dunque le sue radici sulla volontà di poter offrire una scelta ecologica e sostenibile in un contesto, che purtroppo a livello mondiale, per semplicità e profitto, spesso limita ricerche e progetti "eco" a nicchie elitarie, e dunque poco rappresentative della comune produzione edilizia, escludendo perciò i paesi più poveri. Concentrandosi su progetti a basso costo, attraverso l'uso di materiali locali e di tecniche costruttive tradizionali, è possibile rendere accessibile a tutti una scelta sostenibile.

Nonostante i già citati limiti della terra cruda, che hanno fatto sì che questo materiale venisse accantonato nel corso della recente storia dell'architettura, è palese come i caratteri virtuosi delle costruzioni in crudo rientrino alla perfezione nell'ottica esposta finora. La terra è un materiale naturale, sostenibile, ecocompatibile e riciclabile e permette un notevole risparmio energetico. Inoltre, genera un elevato comfort abitativo grazie alle sue doti di regolatore termo-igrometrico e di filtro antisettico, e, grazie alle sue tinte calde e naturali, regala agli utenti delle sensazioni che solo pochissimi altri materiali riescono a trasmettere.

Le potenzialità di tale materiale, negli ultimi anni, sono state "riscoperte", dando luogo a numerosi studi e progetti. Si pensi alla Cappella della Riconciliazione a Berlino di Martin Rauch (*fig. 03*) o a quei progetti nei luoghi più poveri del mondo

che trovano nella terra una soluzione economica ed affidabile, come il progetto di una scuola primaria in Burkinafaso di Francis Keré(*fig. 04*), costituita da mattoni in terra cruda compressa, o la scuola primaria degli Architetti senza Frontiere in Senegal.



Figura 3 - interno della Cappella della Riconciliazione di G. Minke a Berlino (foto reperita in rete)



Figura 4 - scuola primaria di Francis Kéré in Burkina Faso (foto reperita in rete)

Nello svolgimento di questo studio tale materiale si affianca ad una fibra naturale, la lolla di riso, scelta come additivo per la terra. Il riso è una delle più antiche piante coltivate del mondo. La larghissima diffusione della sua produzione e della sua consumazione a livello mondiale e, nel particolare, in America Latina ed in Colombia, ha dettato la scelta del suo utilizzo.

Il ciclo di produzione e raffinazione del riso consiste nell'eliminare dal chicco le parti che lo avvolgono, generando una notevole quantità di scarti, divisibile a grandi linee in paglia, pula e lolla. La lolla è l'involucro protettivo che circonda il chicco, e viene asportata attraverso un processo chiamato sbramatura. È costituita da piccole foglie di color beige, rigide al tatto. Ciò che se ne ricava è un sottoprodotto di scarto con qualità molto interessanti, ma attualmente non sfruttate(*fig. 05*).

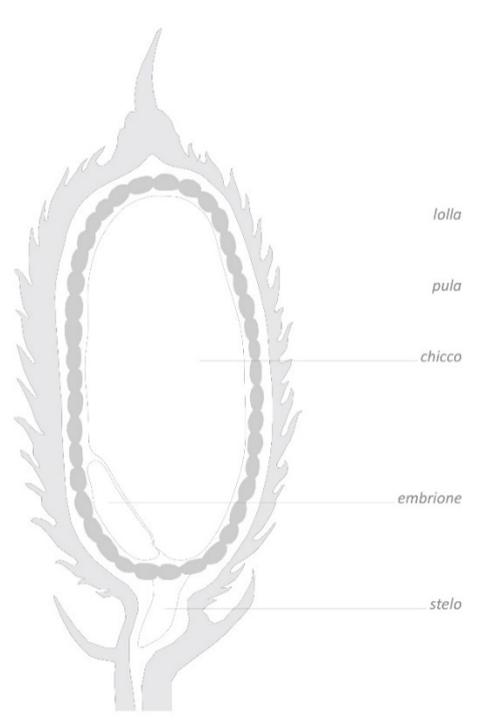


Figura 5 - dettaglio componenti del "risone"

Si tratta infatti di un materiale leggero e voluminoso, con un elevato grado di impermeabilità, è, inoltre, imputrescibile, inattaccabile dagli insetti data la quasi totale assenza di nutrienti, e costituito, per quasi metà della sua massa, da cellulosa.

Ad oggi, è utilizzata prevalentemente come sottofondo per le aie, come lettiera per il bestiame o, più raramente, come foraggio di scarsa qualità.

Di recente, però, la lolla, è stata oggetto di nuovi studi e progetti: aziende come la Good Year e la Pirelli, ad esempio, stanno considerando la possibilità di miscelarla a dei materiali polimerici per migliorarne il comportamento grazie alla sua componente silicea. Nel campo delle costruzioni, invece, gli impieghi della lolla sono diversi: costituisce il principale composto del cosiddetto legno artificiale, utilizzato per pontili, passerelle, darsene o arredi urbani; la sua cenere viene utilizzata per la produzione del cemento pozzolanico; rappresenta inoltre il materiale base per la produzione di intonaci naturali, sottofondi alleggeriti per massetti e pannelli termo e fono-isolanti di un'azienda italiana sensibile su tale tema: Ricehouse.

A coniugare la tecnologia della terra cruda con questo materiale hanno inoltre già contribuito due recenti progetti, sempre italiani, realizzati da WASP in collaborazione proprio con Ricehouse: *Gaia*, la prima casa in terra cruda realizzata con la tecnologia della stampa 3D, e *Tecla*, un progetto di Mario Cucinella, nei quali la lolla è utilizzata inserita all'interno delle intercapedini murarie con lo scopo di termo e fono isolamento.

Il sito dello studio si trova in una regione centro-settentrionale della Colombia, la regione di Santander, famosa per molti luoghi turistici, tra cui piccoli paesi

caratteristici, ritenuti patrimonio architettonico della nazione e costituiti per la quasi totalità di edifici in terra cruda. Molti di questi centri sorgono sulle pendici di quella che è la massima attrazione turistica naturalistica di Santander: il Cañon del Chicamocha, secondo nel mondo per dimensioni. Sul fondo di questo, si trova il luogo dove nasce e si sviluppa il vero nucleo di tale lavoro: Cepitá (*fig. 06*).



Figura 6 - veduta di Cepitá e del Cañon del Chicamocha

Cepitá è un piccolo municipio fondato a metà del Settecento. Conta circa duemila abitanti, un quarto dei quali vive nel vero e proprio centro del paese. L'effetto è quello di un luogo fermo nel tempo.

Il paese è costituito da un piccolo agglomerato urbano, detto *centro*, e quindici diversi micro-quartieri rurali chiamati *veredas*. Il centro, di stampo coloniale, è formato da un reticolo di strade tra loro ortogonali che, a partire dalla Piazza Centrale, forma degli isolati quadrangolari che prendono il nome di *manzanas* (*fig. 07*). Questi risultano sempre meno densamente costruiti man mano che ci

si allontana dalla Piazza. Tutti gli edifici presenti raggiungono raramente le due elevazioni e la tecnologia costruttiva con cui sono realizzati è, per la quasi totalità, quella del pisé e dell'adobe.



Figura 7 - Carta di Cepitá

La maggior parte della popolazione è impegnata in attività agricole (tabacco, caffè, canna da zucchero, fique, mais, lulo, limone, mango ...) e di allevamento.

Durante uno dei primi sopralluoghi al paese, è stato individuato un luogo adatto al prelievo della terra. Qui ne è stata quindi raccolta manualmente un totale di circa 400 kilogrammi, partendo da una profondità di circa 1 metro dal piano di campagna al fine di prelevare solamente terra priva di materiale organico. Questa è stata quindi imballata in dei sacchi al fine di essere trasportata nel laboratorio dove sono state effettuate le analisi.

ANALISI DI LABORATORIO

Il lavoro in laboratorio è stato caratterizzato da due macro-fasi: la caratterizzazione del materiale terra e la successiva e conseguente creazione di provini da utilizzare per le prove meccaniche.

La prima parte del lavoro in laboratorio consiste nelle cosiddette prove di caratterizzazione, analisi volte ad individuare in modo semplice le proprietà fisico-meccaniche del terreno prelevato a Cepitá.

Le prove di caratterizzazione sono state tutte eseguite secondo la regola dell'arte, seguendo le indicazioni di alcuni testi di geotecnica, tra i quali occorre indubbiamente citare "Il laboratorio geotecnico" di P.L. Raviolo.

Le analisi svolte sono:

- Analisi mineralogica;
- Analisi granulometriche (via secca, via umida e sedimentazione);
- Analisi del contenuto d'acqua;
- Analisi del peso specifico;
- Analisi dei limiti di Atterberg (limite liquido, limite plastico, indici).

Per tutte le analisi, eccezion fatta per quelle che richiedevano per il loro corretto svolgimento dei campioni di terra indisturbati, il terreno è stato precedentemente essiccato in forno a temperatura controllata e setacciato tramite apposito setaccio normato al fine di rimuovere l'eventuale presenza di ghiaia.

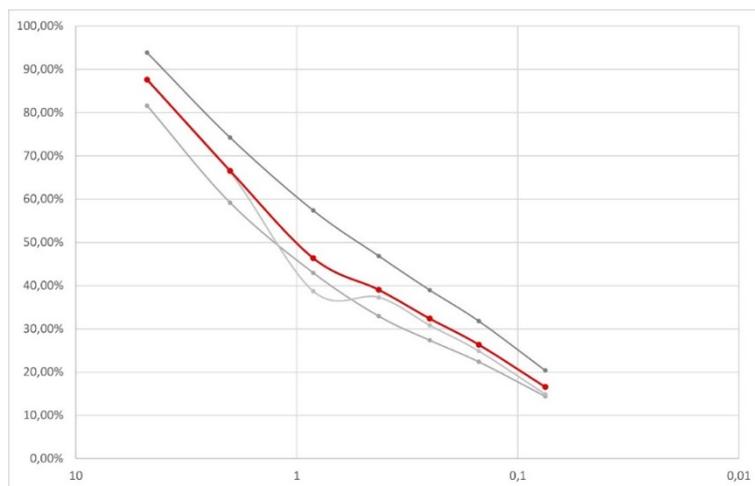
L'analisi mineralogica è stata effettuata tramite diffrattometro a raggi X; tale prova ha messo in evidenza i minerali presenti nel campione, quali, in ordine di

abbondanza, quarzo in prevalenza, plagioclasio (albite), k-feldspato (microclino), mica (muscovite) e minerali argillosi (illite, clorite, caolinite).

Le analisi granulometriche sono state svolte sia per via secca sia per via umida. Tali analisi hanno lo scopo di determinare le proprietà fisico-meccaniche del terreno in base alla percentuale di particelle per ogni classe granulometrica. Consistono essenzialmente nel setacciare, a secco o con l'ausilio di acqua, un campione di terreno attraverso una serie di setacci normati (normative ASTM), così da identificare le varie frazioni granulometriche, distinte a grandi linee in grossolana (sabbia), fine (limo), finissima (argilla).

Nella prova per via secca, dopo aver setacciato il campione di terra, del peso di circa un kilogrammo, è stata pesata la quantità di terra rimasta in ogni setaccio; tale peso è stato poi trasformato in percentuale sul totale del campione. A questo punto è stato possibile costruire un diagramma in scala logaritmica che rappresentasse il tipo ed il grado di assortimento delle particelle del terreno (*tab. 01*).

Tabella 1 - curva granulometrica ottenuta tramite setacciatura per via secca



L'analisi granulometrica per via umida ha presentato risultati più coerenti con quelli ottenuti nell'analisi mineralogica. Tale prova è stata infatti realizzata con le stesse modalità di quella per via secca ma attraverso l'ausilio di acqua corrente, la quale ha garantito una migliore disgregazione della frazione fine del campione. A tale prova è seguita, per completezza, l'analisi per sedimentazione, la quale ha lo scopo di determinare la distribuzione granulometrica della frazione limoso-argillosa, ovvero quella più fine (particelle con diametro inferiore a 0,075 mm) impossibile da setacciare con mezzi meccanici quali, per l'appunto, i setacci. L'analisi si è svolta attraverso l'osservazione della sedimentazione delle particelle: all'interno di un cilindro graduato in vetro è stata posta una dispersione delle particelle stesse in acqua distillata, il quale è stato a sua volta posizionato in una vasca d'acqua per mantenere la temperatura esterna costante.

Quanto ottenuto da tali prove ha messo in evidenza come la terra di Cepitá sia costituita da circa il 49,3% da sabbia, dal 37,8% di limo, dall'8,2% da argilla e per il restante 4,6% da ghiaia. Tali risultati confermano quanto ottenuto nella precedente prova mineralogica e fanno sì che il campione sia classificabile come "sabbia con limo debolmente argillosa", nonché come terreno dal "medio impasto".

L'analisi del contenuto d'acqua ha lo scopo di stabilire la percentuale di acqua presente naturalmente nel terreno; tale prova si svolge tramite pesata, essiccamento e nuova pesata di un campione di terra indisturbato, ossia con condizioni identiche alla fase di prelievo. La terra è risultata essere molto secca, come già dedotto in fase di prelievo in situ e durante le primissime lavorazioni, contenendo appunto in media solo il 2,47% di acqua.

L'analisi del peso specifico è una prova che permette di ricavare il valore, per l'appunto, del peso specifico del terreno oggetto di studio. Il procedimento consiste essenzialmente nel determinare la differenza di peso tra un contenitore in vetro, detto picnometro, riempito di sola acqua distillata ed uno riempito di acqua distillata ed una quantità controllata e disaerata del campione di terra. Il peso specifico nel nostro caso è risultato essere corrispondente a circa $2,59 \text{ gr/cm}^3$, ponendosi nell'intervallo della maggior parte dei terreni ($2,5 - 2,8 \text{ gr/cm}^3$).

Infine, sono state effettuate le analisi dei limiti di Atterberg, volte ad individuare i valori del limite liquido e del limite plastico del terreno in esame e, quindi, i conseguenti indici di plasticità, liquidità e consistenza.

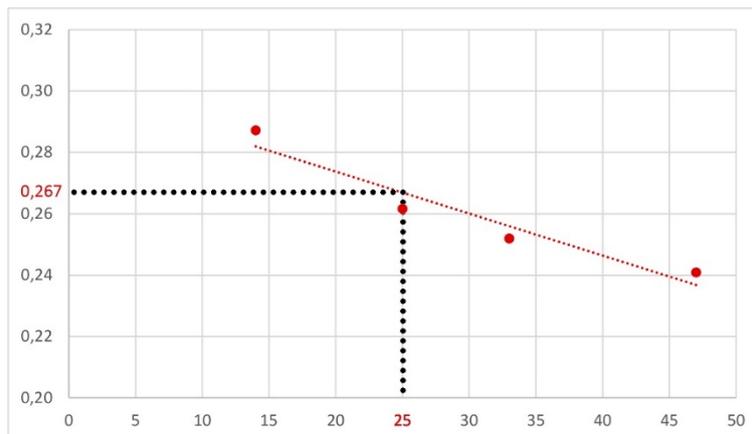
Il limite liquido corrisponde a quel valore di acqua limite superato il quale la terra inizia a comportarsi come un fluido. La prova si svolge utilizzando un apparecchio chiamato Cucchiaino di Casagrande (*fig. 08*); nella coppa in ottone di tale strumento è stato posto un campione di argilla il quale viene solcato con un apposito utensile. A questo punto la coppa è stata fatta rimbalzare per una quantità di volte utile a far chiudere tale solco per una lunghezza pari a 13 mm. La prova è stata effettuata più volte con condizioni di umidità dei campioni differenti fino ad avvicinarsi ad una media di 25 colpi.



Figura 8 - apparecchiatura utilizzata per l'ottenimento del limite liquido

Preso una parte di ogni campione, questo è stato fatto essiccare determinandone la quantità d'acqua presente. Attraverso la creazione di un diagramma è stato quindi possibile determinare il contenuto d'acqua corrispondente a 25 colpi, che rappresenta il limite liquido, pari in questo caso al 26,7% di acqua rispetto al peso del terreno (tab. 02).

Tabella 2 - diagramma per la determinazione del limite liquido



Il limite plastico corrisponde invece a quel valore percentuale di acqua superato il quale la terra può essere deformata plasticamente senza rompersi o spaccarsi. Per lo svolgimento della prova si realizzano manualmente dei bastoncini di terra dello spessore di circa 3 mm, che continuano ad essere lavorati fin quando non inizieranno a sbriciolarsi raggiungendo così il contenuto d'acqua limite. A questo punto i bastoncini vengono pesati e posti ad essiccare, ricavando, in base ad una pesata successiva, la percentuale di acqua presente al momento della rottura. È risultato dunque possibile calcolare la media tra le prove eseguite e quindi determinare che il limite plastico corrispondesse al valore di circa il 17,7% di acqua.

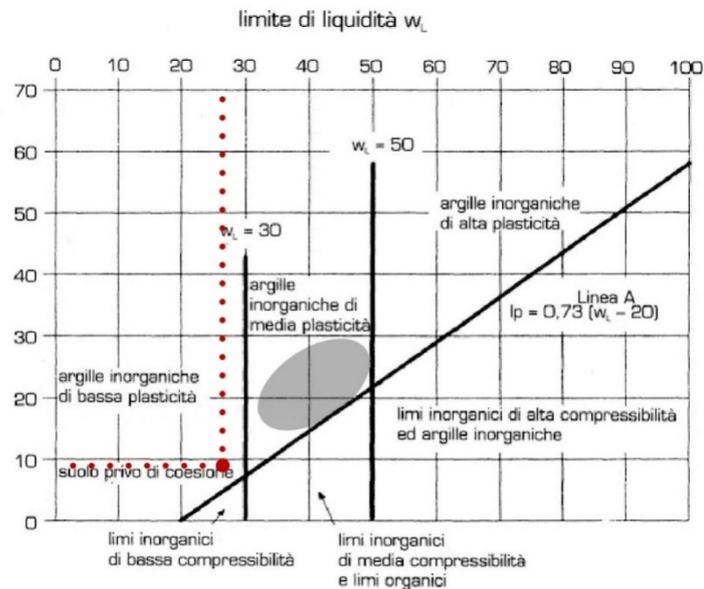
Ottenuti tali dati si passa al calcolo degli indici di plasticità, liquidità e consistenza. Questi hanno quindi messo in luce come il terreno possa essere catalogato come terreno "molto consistente" (dato fornito dagli indici di consistenza e liquidità) e come terreno a bassa plasticità (con un indice di plasticità pari al 9%).

In generale, per un valore del limite liquido inferiore al 30% il terreno viene considerato a bassa plasticità, per un valore compreso tra il 30% ed il 50% il terreno viene considerato a media plasticità, mentre se il limite è superiore al 50% il terreno sarà ad alta plasticità. Nel caso della terra presa in esame, avente un limite liquido di poco inferiore al 27%, questa risulta ai limiti della bassa plasticità.

Com'è visibile, il punto individuato sulla Carta di Casagrande (*tab. 03*) non rientra nel campo dei valori in cui la terra è indicata per la tecnica dell'adobe

(area in grigio), ciò è causato da un'eccessiva assenza di coesione da parte del terreno preso in esame.

Tabella 3 - carta di Casagrande



Tali risultati hanno fatto sì che si ritenesse utile, per l'ottenimento di un impasto adatto alla realizzazione di adobe, l'utilizzo di un additivo che potesse aumentare la capacità di deformazione plastica.

Contemporaneamente allo svolgimento delle prove di caratterizzazione è stato avviato il confezionamento dei provini necessari allo svolgimento delle prove meccaniche, le quali hanno il fine di determinare la resistenza a compressione e trazione del materiale oggetto di studio.

Inizialmente sono state svolte delle prove al fine di identificare la forma migliore della lolla di riso da amalgamare, come additivo, alla terra. La consistenza scelta è stata quella di una vera e propria polvere ottenuta mediante uno strumento manuale chiamato "molino Corona" tipico della tradizione colombiana e utilizzato ad esempio per la macinatura del caffè.

Le percentuali di additivo, corrispondenti al 3, 8 e 12% (tutte percentuali da considerarsi rispetto al peso della terra), sono state scelte sia in riferimento a studi di tesi svolti in passato sia in quanto percentuali risultate, a seguito di diverse prove di lavorazione, valide per la realizzazione di un buon impasto.

Conseguentemente, in base alla lavorabilità ed alla coesione ottenute durante la lavorazione, sono state fissate anche le percentuali di acqua: 25% per gli impasti privi di additivo, 26% per quelli con il 3% di lolla, 30% per quelli con l'8%, ed infine 35% per quelli con il 12%.

Sono stati realizzati un numero totale di 93 provini: 36 cubi di lato 8 cm per le prove di compressione, 9 per ogni percentuale di additivo, e 48 parallelepipedi di dimensioni 8 x 8 x 30 cm per le prove di flessione per tre e per quattro punti, 12 per ogni percentuale di additivo, più ulteriori 9 provini utili per aggiustamenti, settaggi dei macchinari e prove secondarie(*fig. 09*).



Figura 9 - provini realizzati

Per una corretta identificazione, ad ogni serie è stato affidato un codice alfanumerico:

- C025 - P025 - 4P025: 0% di additivo 25% di acqua;
- C326 - P326 - 4P326: 3% di additivo 26% di acqua;
- C830 - P830 - 4P830: 8% di additivo 30% di acqua;
- C1235 - P1235 - 4P1235: 12% di additivo 35% di acqua.

Per la realizzazione dei provini, tutti gli impasti sono stati eseguiti a mano con la terra precedentemente essiccata in forno (a 110°C per un tempo minimo di 16 ore) e poi setacciata (con il setaccio n°4 della serie ASTM) al fine di rimuovere l'eventuale presenza di ghiaia. Dopodiché gli impasti sono stati posti all'interno di casseforme in compensato appositamente realizzate in precedenza. Il tutto è stato quindi fatto essiccare e maturare per un periodo di minimo 28 giorni.

Prima di procedere alle prove meccaniche, è stato possibile osservare come in tutti i provini, al crescere della percentuale di additivo, diminuiva il loro peso fino ad un valore pari a circa il 15%, passando dagli 025 ai 1235. Analogamente anche il ritiro in fase di essiccamento subisce una diminuzione, limitando il ritiro a circa 2-3 mm nei cubi, e a 6-7 mm nel lato lungo dei parallelepipedi.

Il macchinario utilizzato per le prove meccaniche, sia a compressione che a trazione, è una pressa servo-idraulica, denominata MTS810.

Durante le prove sono stati registrati tutti i valori di carico applicato e di spostamento. Ciò ha reso possibile la realizzazione di diagrammi forza-spostamento che indicassero in ascissa i valori della deformazione ed in ordinata quelli del carico applicato.

Un fattore interessante che ha caratterizzato la totalità delle prove è la grande disomogeneità dei risultati dei grafici ottenuti nei provini privi di additivo, che però si attenua notevolmente con l'aggiunta della lolla di riso. Questa, infatti, omogenizza sia i valori di resistenza, sia i grafici ottenuti.

Nel caso delle prove a compressione sui diagrammi ottenuti è stato possibile individuare alcuni valori fondamentali per ottenere i parametri meccanici in grado di descrivere il comportamento del materiale, quali: la rigidità tangenziale, il modulo elastico, la resistenza a compressione, la duttilità cinematica e la duttilità cinematica disponibile.

I dati ottenuti dalle prove di compressione hanno permesso di formulare numerose ed interessanti osservazioni finali. I provini privi di additivo (serie C025) sono quelli che hanno registrato i valori più soddisfacenti per quanto riguarda la resistenza a compressione. All'aumentare della percentuale di lolla di riso, però, oltre ad un peggioramento dei valori di resistenza, è stato riscontrato un incremento della capacità di deformazione sia elastica che plastica del materiale. Questo andamento positivo è riscontrabile fino alla serie di provini C830 contenente l'8% di lolla ed il 30% di acqua. I provini con il 12% hanno infatti subito un crollo delle prestazioni sia nella resistenza sia nella capacità deformativa (*tabb. 04, 05, 06, 07*).

Tabella 4 - grafico Forza (N) / Spostamento (mm) serie C025

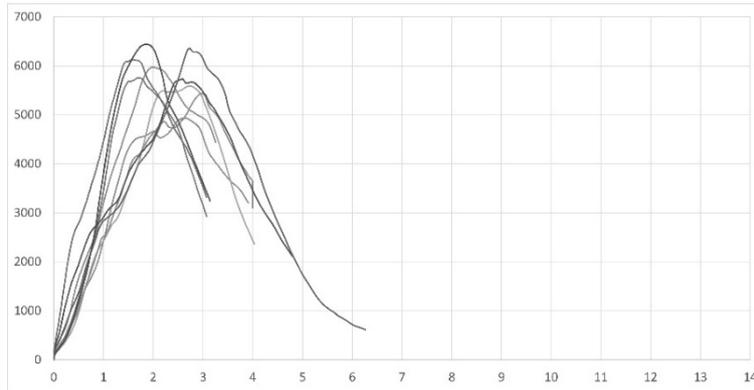


Tabella 5 - grafico Forza (N) / Spostamento (mm) serie C326

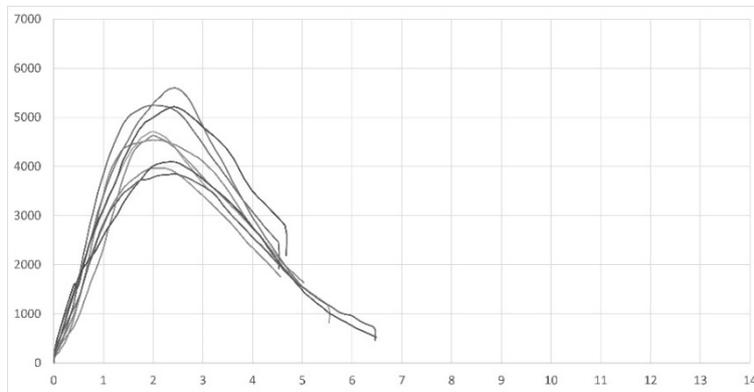


Tabella 6 - grafico Forza (N) / Spostamento (mm) serie C830

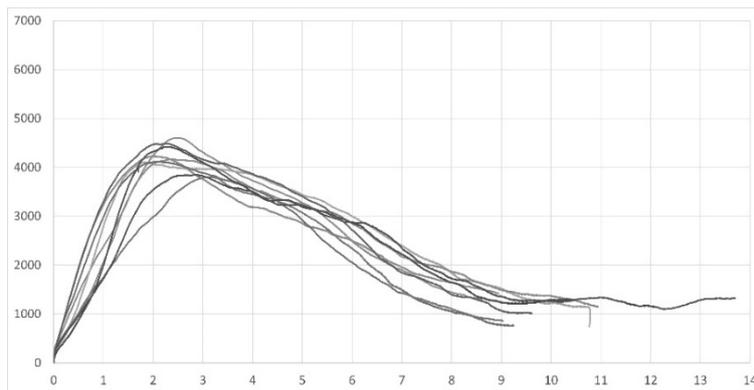
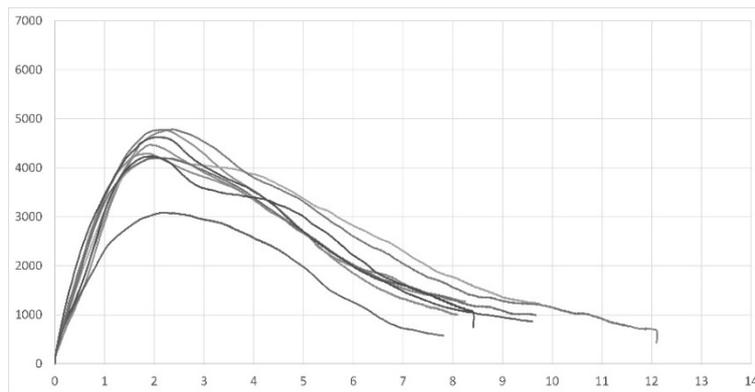


Tabella 7 - grafico Forza (N) / Spostamento (mm) serie C1235



Le prove a flessione per 3 punti sono state eseguite con lo stesso macchinario, con la differenza che il provino è stato posto su due tondini di acciaio posizionati a 25 cm di distanza, simulatori degli appoggi della trave ideale e, tra la testa superiore del macchinario ed il provino, ne è stato posto un terzo al fine di concentrare il carico applicato in un unico punto.

Anche nel caso di queste prove, dai diagrammi forza - spostamento ricavati, è stato possibile individuare valori fondamentali per ottenere i parametri meccanici in grado di descrivere il comportamento del materiale, quali ad esempio il momento d'inerzia e la resistenza a trazione per flessione.

Tali prove, hanno evidenziato, al variare della percentuale di lolla presente nell'impasto, un andamento simile rispetto alla caratterizzazione meccanica per compressione. In questo caso, però, all'aumentare della percentuale di lolla, oltre ad aver ottenuto un miglioramento nella capacità deformativa del materiale, è stato riscontrato anche un aumento anche della resistenza a trazione. Anche in queste prove i miglioramenti dati dall'additivo sono riscontrabili fino ai provini contenenti l'8% di lolla di riso.

I risultati migliori si riscontrano nei valori della deformazione che triplicano, passando da una deformazione inferiore al millimetro nei provini senza additivo, ad una di 2,43 millimetri in quelli all'8% (*tabb. 08, 09, 10, 11*).

Tabella 8 - grafico Forza (N) / Spostamento (mm) serie P025

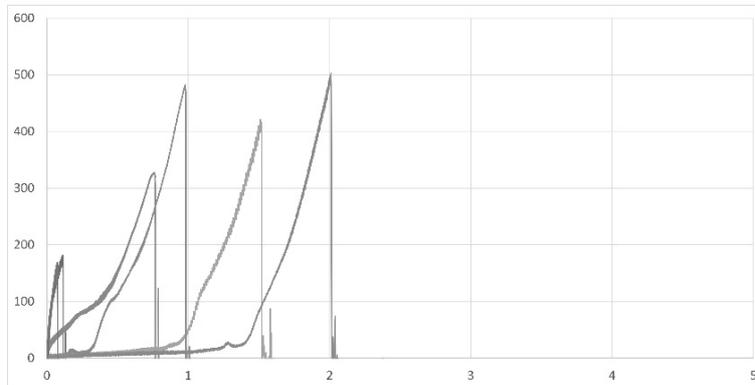


Tabella 9 - grafico Forza (N) / Spostamento (mm) serie P326

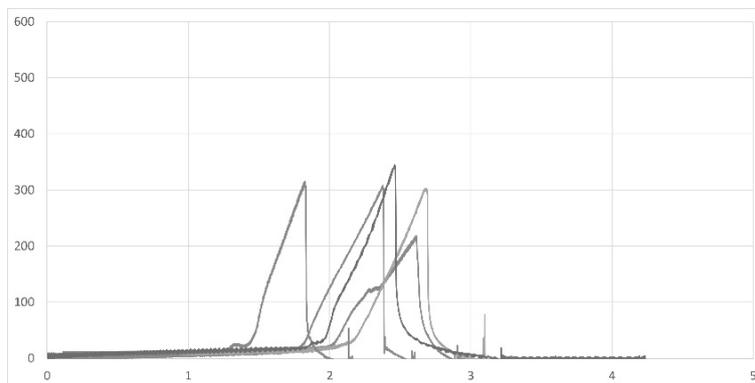


Tabella 10 - grafico Forza (N) / Spostamento (mm) serie P830

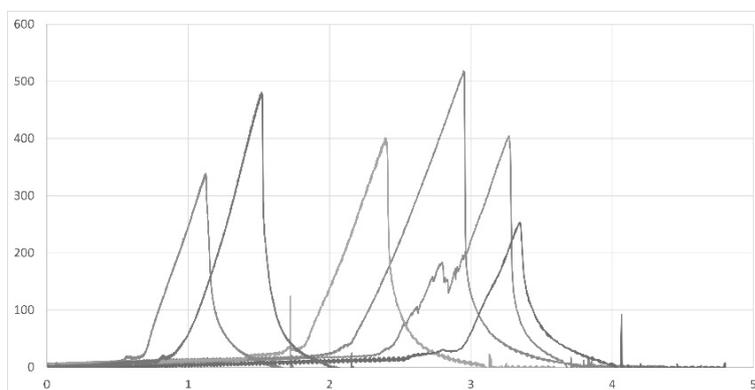
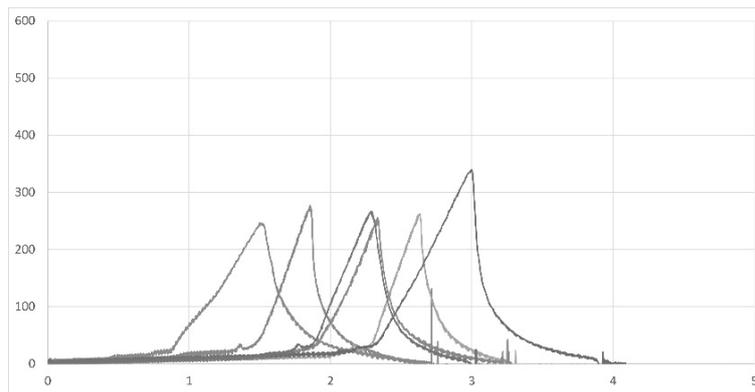


Tabella 11 - grafico Forza (N) / Spostamento (mm) serie P1235



IL PROGETTO

È proprio a partire da questi impasti di terra che prendono forma gli adobe, fulcro tanto concettuale quanto strutturale dell'intero studio. Il luogo in cui, come già esposto in precedenza, questo sorge è il piccolo paese di Cepitá. L'unico modo per raggiungerlo è scendere lungo il versante del Cañon del Chicamocha attraverso una stretta e suggestiva strada sterrata, che permette di immergersi totalmente in uno dei paesaggi più caratteristici di tutta la Colombia. Il fiume Chicamocha accompagna tutta la discesa fino al sopraggiungere della vegetazione che circonda Cepitá, costituita da alberi da frutta esotica, campi e coltivazioni di tabacco. Attraversato il fiume, una volta arrivati al fondo del cañon, si varca l'ingresso del paese, e percorrendo una stretta via, delimitata da bassi muri in terra cruda, si raggiunge il centro fisico e sociale di Cepitá, la piazza principale.

Il progetto vuole rappresentare il punto di arrivo di uno studio basato sia sull'analisi sperimentale della terra come materiale da costruzione, sia sulle esigenze della popolazione che vive in questo luogo.

Dialogando a lungo con le persone del posto, è stato possibile comprendere i desideri ed i timori rivolti al futuro di questo piccolo paese. Quanto emerso da tale indagine è il desiderio di trasformare Cepitá in una meta turistica, facendo leva sulle sue bellezze naturalistiche e sui suggestivi percorsi che la attraversano, alcuni dei quali denominati *Caminos de los Indios*.

Altre riflessioni sono legate allo sviluppo e alla crescita di Cepitá, anche nell'ambito dell'istruzione e dell'arginamento dello spopolamento da parte dei giovani, un problema che colpisce molti di questi piccoli paesi.

Un pensiero a parte è stato espresso dalla popolazione femminile, le cui occupazioni, fortemente legate alla stagionalità, ad esempio del tabacco con la sua raccolta e la piegatura delle sue foglie, avrebbero in questo modo l'opportunità di espandersi a nuovi orizzonti, quali ad esempio l'artigianato locale.

Quanto appena detto, insieme con la creazione di mercati con vendita di prodotti locali, artigianali e dei sigari prodotti in loco, sarebbe possibile grazie all'eventuale incremento del turismo. Inoltre, la realizzazione di una micro-realtà di formazione scolastica, legata agli ambiti di possibile crescita del paese, nonché alla profonda conoscenza della tradizione, potrebbe rappresentare la soluzione pratica a molte delle problematiche del paese.

Tale progetto vuole dunque coniugare le varie esigenze della popolazione, diventando un polo ricettivo sia per l'abitante di Cepitá, che ad oggi percepisce la mancanza di un vero e proprio nucleo aggregativo, sia per il visitatore.

Il progetto sorge occupando per intero uno degli isolati liberi del centro urbano, posizionandosi all'incrocio tra la strada d'accesso al paese e ad una via ad essa

perpendicolare che conduce ad un percorso naturalistico che costeggia il fiume Chicamocha(fig. 10).

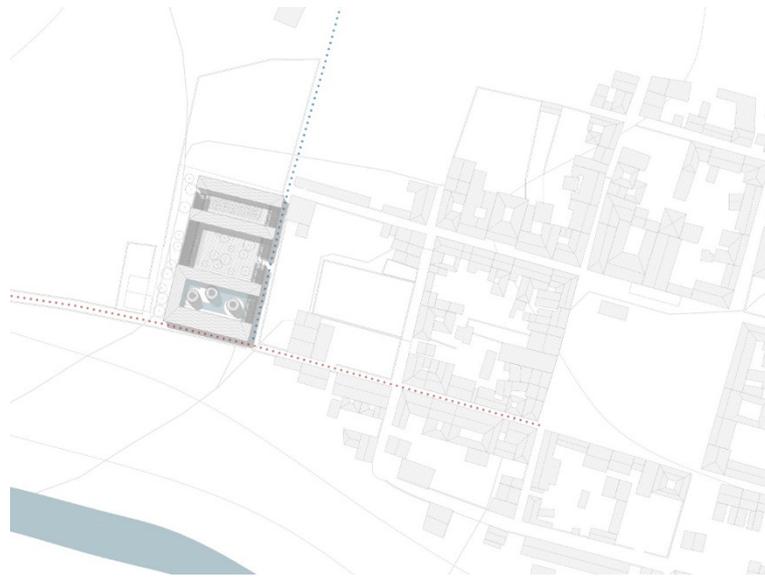


Figura 10 – masterplan

Il fiume è, in effetti, una presenza fondamentale per questo centro abitato. Da questo partono infatti delle “vie d’acqua” che forniscono irrigazione ai campi e che, tagliando per il paese, si reimmettono nel fiume. Le strade di Cepitá sono perciò spesso affiancate da piccole scoline e che talvolta le attraversano.

La costruzione, di forma quadrangolare, si allinea alla maglia del costruito esistente, immergendosi completamente nel contesto in cui sorge.

Le basse mura racchiudono tre grandi corti interne su cui si affacciano le funzioni contenute dall’edificio. Il progetto è quindi un incontro tra tradizione ed innovazione, riprendendo la distribuzione a patio dallo stile delle case coloniali, importato in questo luogo dai *conquistadores* spagnoli, ma anche guardando alle capanne circolari di epoca pre-colombina per quanto concerne le tre cupole tronche. Da un punto di vista volumetrico, dunque, il progetto si presenta come

una piastra da cui emergono tre cupole, le quali, trovandosi nel cortile più prossimo alla strada, si possono scorgere dall'esterno(*fig. 11*).



Figura 11 - vista dall'ingresso di Cepitá

Percorrendo la strada di accesso al paese, che conduce alla piazza centrale, si incontra l'area con carattere più pubblico dell'intero progetto; l'edificio si apre infatti alla città tramite il suo prospetto sud, caratterizzato da grandi aperture che conducono all'ambiente adibito a mercato.

L'ingresso principale è posto al centro della parete est dell'edificio e conduce al cortile centrale. Un sistema distributivo costituito da percorsi protetti soltanto da brise-soleil lignei permette l'accesso ai vari ambienti dell'edificio, suddivisi in base alle funzioni. A nord si trova l'ambiente più isolato e privato, un'area dedicata alla filiera produttiva del tabacco, con gli ambienti disposti in sequenza secondo l'ordine delle lavorazioni previste: raccolta, essiccazione, stoccaggio, piegatura e produzione dei sigari. Spostandosi verso sud si incontra dapprima l'area dedicata a una micro-realtà scolastica, costituita da tre aule e da una zona relax, e poi quella dedicata al centro culturale, con un'area espositiva ed

un'aula conferenze. Infine, come già detto, vi è l'area destinata a mercato con un proprio locale adibito a deposito (fig. 12).

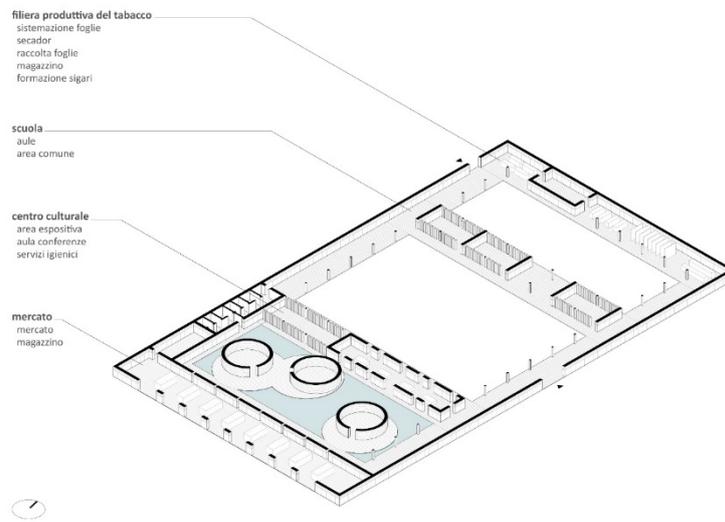


Figura 12 - assonometria funzionale

Il grande cortile centrale è di dimensioni maggiori degli altri due, ed in esso trovano posto alberi da frutta ed un piccolo orto a totale fruizione degli utenti dell'edificio. A nord di tale ambiente trova posto il più piccolo dei tre cortili, adibito a coltivazione della pianta del tabacco e racchiuso tra la zona scolastica e quella per la lavorazione delle foglie di tabacco. Qui è possibile accedere anche tramite un ingresso di servizio posto nell'angolo nord-ovest dell'edificio.

Il terzo ed ultimo cortile è posto tra il mercato e l'area turistica. Qui, una delle scoline che percorrono gli isolati del paese, si amplia fino a divenire vasca d'acqua, che invadendo l'intero cortile, isola le cupole tronche.

I profili dell'edificio esprimono una forte sensazione di orizzontalità, conferita dalle proporzioni dei muri perimetrali, bassi e continui. L'inclinazione delle falde dei tetti, inoltre, contribuisce all'identificazione di quegli ambienti più privati e raccolti.

L'immersione nel contesto è garantita anche dalla qualità materica dei muri. Questi sono ovviamente realizzati in adobe rivestito poi da una scialbatura in calce bianca e si ergono su di un basamento lapideo, che richiama idealmente quello in vernice marrone presente in tutte le case del paese. Sono le tre cupole in terra, emergendo dai tetti in coppi, a rompere questo andamento orizzontale(*fig. 13*).



Figura 13 - vista dal cortile interno

Analizzando i profili è possibile notare come il progetto cambi in base al punto da cui questo è osservato. Mentre il perimetro esterno si chiude quasi del tutto alla città, trovando come soluzioni di continuità soltanto le aperture di accesso al mercato, del tutto opposto è quanto si presenta all'interno dei cortili. L'edificio, infatti, è accessibile in ogni sua area, con un ritmo dettato quasi sempre dal passo dei pilastri e con un grado di permeabilità crescente man mano che ci si addentra nell'edificio.

A fare da filtro tra i cortili e gli ambienti "chiusi" sono presenti solo brevi brani murari, tende, o file di brise-soleil verticali e semoventi, utili a schermare,

all'occorrenza, ambienti quali ad esempio le aule, le quali possono dunque essere completamente in luce e in pieno contatto con l'esterno se questi ultimi sono aperti o al contrario protette ed in ombra quando questi vengono chiusi.

Particolare è poi il rapporto tra l'area più pubblica del progetto, ossia il mercato, ed il cortile che ospita le cupole. Il primo si apre alla città attraverso la sua totale permeabilità e con l'inclinazione della falda del tetto che invita all'ingresso, il secondo, più privato, è visibile dal mercato tramite strette fenditure nel muro che lasciano intravedere i giochi di luce creati dallo sfioro d'acqua.

Il cortile che ospita le tre cupole (*fig. 14*) è sicuramente uno degli ambienti più suggestivi dell'intero progetto. Questi elementi architettonici emergono dalla vasca d'acqua e risultano idealmente e fisicamente isolati dal resto del progetto. Sono rivestite da un intonaco in terra caratterizzato da una particolare finitura rigata con corsi orizzontali, e ospitano tre piccoli quanto particolarissimi ambienti espositivi; la qualità materica della trama di superficie genera giochi di luci ed ombre grazie all'ingresso zenitale della luce solare.



Figura 14 - vista dal cortile delle cupole

Il rapporto tra le cupole ed i camminamenti coperti dai brise-soleil che le circondano, evidenzia ancora una volta come queste si “isolino” rispetto al resto dell’edificio grazie, sì, alla loro particolare forma, ma anche tramite un distacco fisico tangibile, garantito proprio dalla presenza della vasca d’acqua, che le rende accessibili solo in pochi precisi punti.

Queste connessioni non sono altro che intersezioni tra l’area di pertinenza della cupola, che funge anche da piccolo spazio di ritrovo per i visitatori, ed un camminamento adiacente al mercato.

La cupola è un elemento architettonico costruito totalmente in terra cruda additivata con lolla di riso polverizzata; attraverso la tecnica dell’adobe si sono ipotizzati mattoni di 40 x 20 x 10 cm. Il basamento è pensato come un tamburo di 1 metro di altezza in granito del Pescadero, una pietra locale utilizzata anche per il basamento lapideo dell’intero progetto.

La struttura della cupola è a doppia calotta, con sedici costoloni solidali alle due calotte, realizzate entrambe in foglia con spessore di 10 centimetri l’una, per uno spessore totale murario di 40 centimetri (*fig. 15*).

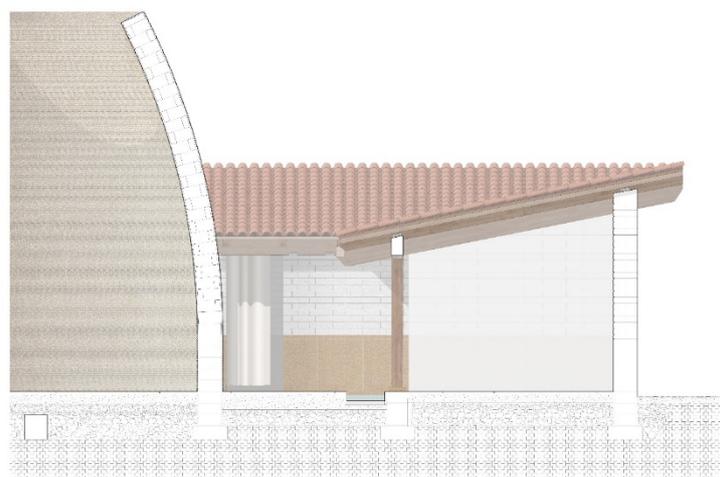


Figura 15 - particolare costruttivo

La cupola è dunque stata studiata da un punto di vista strutturale: per quanto concerne la deformazione, calcolata secondo delle dilatazioni radiali, la calotta interna e quella esterna risultano subire nella zona di maggior sollecitazione uno spostamento, secondo il raggio, di un valore inferiore ai 2 millimetri; il dato positivo ottenuto evidenzia come le due calotte subiscano delle deformazioni congruenti, tali da non presentare dunque eventuali distaccamenti o tensioni interne (*fig. 16*).

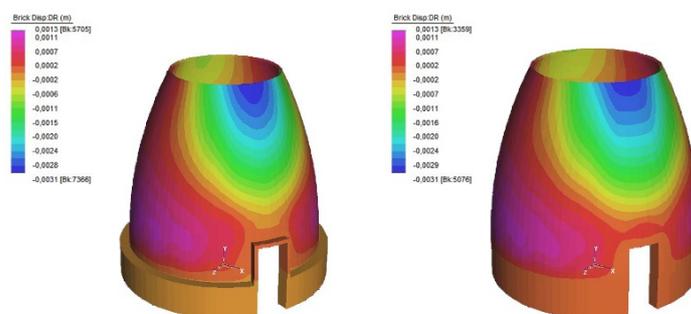


Figura 16 - dilatazioni radiali della calotta interna e di quella esterna

I diagrammi relativi alle sollecitazioni di compressione sono stati calcolati tramite le sollecitazioni lungo i meridiani ed i paralleli della cupola.

I primi mettono in evidenza come la struttura presenti una zona di criticità nei pressi dell'apertura della calotta. Al fine di mantenere tali valori in un range di accettabilità per la resistenza del nostro materiale, è stato quindi inserito un telaio ligneo costituito da due piedritti ed un architrave (*fig. 17*).

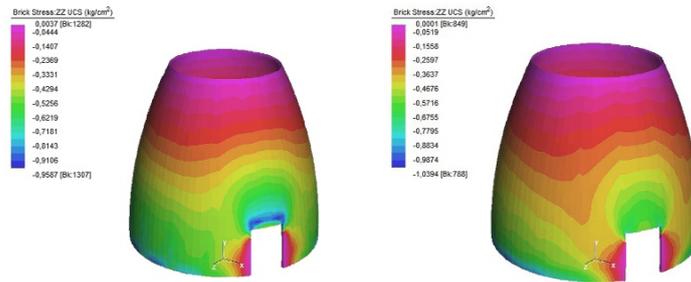


Figura 17 - stress lungo i meridiani della calotta interna e di quella esterna

Le sollecitazioni lungo i paralleli invece mostrano come si generino delle tensioni tra le due calotte nella zona sommitale dell'elemento, date dall'azione contenitiva dei costoloni. Inoltre, altra zona soggetta a sollecitazione è quella basamentale, dove la struttura in adobe si poggia su quella lapidea inferiore (fig. 18).

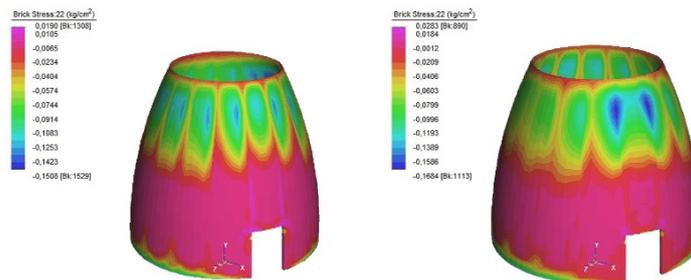


Figura 18 - stress lungo i paralleli della calotta interna e di quella esterna

Attraverso la realizzazione di un secondo modello tridimensionale, costruito con elementi di tipo *plates*, in cui è stato possibile visualizzare eventuali sforzi di momento agenti sulla costruzione, si evince come effettivamente la struttura non reagisca unicamente a sforzi di compressione, bensì anche a momento, nonostante tali sforzi siano comunque di entità modestissima.

CONCLUSIONI

Come già esposto in precedenza nella presente trattazione, le prove meccaniche sui provini in terra sono state condotte secondo compressione, flessione per tre punti e flessione per quattro punti.

Studiando e comparando i risultati complessivi ottenuti, è stato possibile affermare che l'impasto di terra e lolla che garantisce il miglior compromesso tra tutti i dati presi in considerazione nelle prove è quello con cui sono stati realizzati i provini della serie 830, contenente cioè l'8% di additivo ed il 30% di acqua (tabb. 12, 13). È proprio con tale tipo di impasto che è stato pensato e concepito l'adobe di cui è costituito l'intero progetto. Anche i calcoli strutturali sopracitati, eseguiti sulle cupole tronche, sono stati realizzati a partire dai dati ottenuti dalle prove sull'impasto dei provini 830.

Tabella 12 - schema riassuntivo dei valori di forza e spostamento dei provini sottoposti a compressione

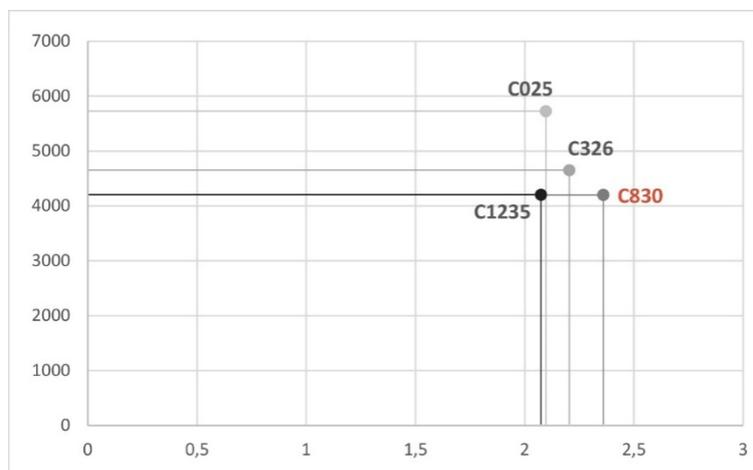
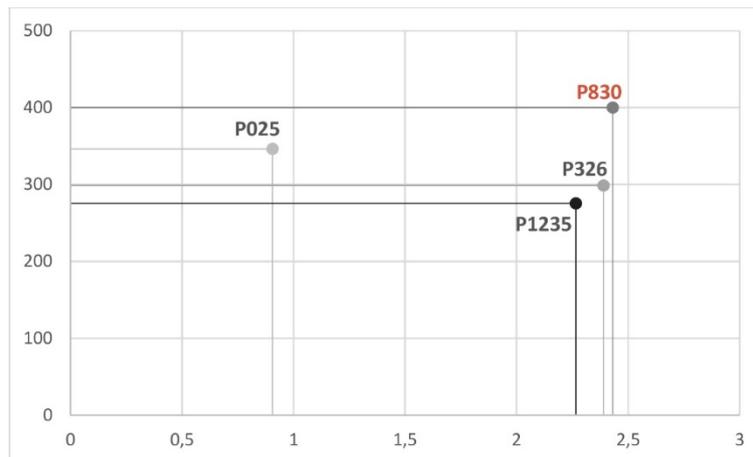


Tabella 13 - schema riassuntivo dei valori di forza e spostamento dei provini sottoposti a flessione per tre punti



Un ulteriore piccolo esperimento realizzato al termine di questo studio è stato sviluppato utilizzando uno dei provini riportati in Italia. È stato effettuato un buco all'interno del campione e successivamente è stata mossa ed inumidita parte della terra di cui questo è composto. Qui è stato piantato un seme di basilico e dopo poche settimane è spuntato il suo germoglio. Lo scopo di questo esperimento era quello di dimostrare come la terra, anche in seguito al suo utilizzo come materiale da costruzione, conservi tutte le sue caratteristiche naturali e possa garantire e portare a termine il compito più importante, confermando così la sua totale sostenibilità come materiale da costruzione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bardou, P.& Arzoumanian, V. (1981). *Arquitecturas de adobe*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Belluzzi, O. (1992). *Scienza delle costruzioni*. Bologna: Zanichelli Bologna.
- Bollini, G. (a cura di). (2002). *La ricerca universitaria sull'architettura di terra*. Gorizia: EdicomEdizioni.
- Bollini, G. (a cura di). (2008). *Terra cruda tra tradizione e innovazione*. Gorizia: EdicomEdizioni.
- Galdieri, E. (1982). *Le meraviglie dell'architettura in terra cruda*. Editori Laterza.
- Germanà, M. L. & Panvini, R. (a cura di). (2008). *La terra cruda nelle costruzioni: dalle testimonianze archeologiche all'architettura sostenibile*. Palermo: Nuova Ipsa Editore.
- Higuera Reyes, J. (2007). *Arquitectura de tierra: sustentabilidad y cultura*. Cali: Fundación Hábitat en Tierra.
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra*. Editorial Fin De Siglo.
- Raviolo, P.L. (1993). *Il laboratorio geotecnico*. Milano: Editrice Controls.
- Sánchez, C.E. & Ospina, C. A. (traduzione a cura di). (1990). *Construir con tierra – Tomo I*. Bogotá: Fondo Rotatorio Editorial.

Profili degli Autori:

Michele Paradiso

Professore Associato di *Statica e Stabilità delle Costruzioni Murarie e Monumentali*, Dipartimento di Architettura, DiDA, Università degli Studi di Firenze, Italia. Membro Esperto di Icomos-Cuba, Membro Esperto di Icofort-Icomos, Membro Esperto di Iscarsah-Icomos. Da 42 anni si occupa di meccanismi di collasso di archi, volte e cupole in muratura e di tecniche olistiche di consolidamento strutturale sul patrimonio storico costruito. Dal 1996 ad oggi ha organizzato moltissimi eventi dedicati alle Scuole d'Arte, sia in Italia, che a Cuba. Decorato con il *Sello Cujae* della *Escuela Tecnológica José Antonio Echeverría* de La Habana per il suo sostegno al recupero delle *Escuelas Nacionales de Arte de Cubanacan*. Due volte *Menzione Speciale al Premio Nacional de Restauración de Cuba* (La Habana, 2008 e 2018), *Primo Premio di Arquitectura Vernácula* (La Habana Vieja, 2008). Membro del Comitato Scientifico del Progetto di Cooperazione finanziato dal Ministero degli Esteri Italiano per il restauro, consolidamento e rifunzionalizzazione della Scuola di Teatro (Roberto Gottardi) delle *Escuelas de Arte de Cubanacan*, progetto da lui ideato e sostenuto in collaborazione col Governo Cubano e finanziato dall'Italia nel 2019 per 2,5 milioni di euro.

michele.paradiso@unifi.it

Ricardo Alfredo Cruz Hernández

Profesor de la Universidad Industrial de Santander. Ingeniero civil y doctor en Ciencias Técnicas de la Technische Universität Wien Austria. Correo electrónico: racruz@uis.edu.

Fabrizio Arrigoni

Fabrizio Franco Vittorio Arrigoni si è laureato in architettura, relatore Adolfo Natalini, presso l'Università degli Studi di Firenze; dottore di ricerca in Progettazione Architettonica e Urbana è professore ordinario presso il DiDA, Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze; insegna Progettazione Architettonica presso la Scuola di Architettura e la Scuola di Ingegneria della stessa Università. Ha collaborato con Kent State University College of Architecture & Environmental Design - Florence Program (USA), SUNY-Syracuse University School of Architecture (USA), Università Cattolica Nostra Signora del Buon Consiglio, Tirana (AL). Dal 2014 fa parte del Collegio dei Docenti del Dottorato di Ricerca in Architettura e dal 2019 è referente del

Collegio dei Docenti ICAR/14 nel Dottorato di Ricerca in *Architettura progetto, conoscenza e salvaguardia del patrimonio culturale*. Dal 2001 è redattore della rivista del Dipartimento di Architettura "Firenze Architettura". Fa parte dello Scientific Board delle collane editoriali "Saggi" e "Carré blanc carré noir- Forme e teorie dell'architettura" (Firenze University Press) ed è membro del Consiglio Editoriale della stessa casa editrice. Alterna il disegno, la scrittura e l'esercizio compositivo all'impegno accademico; tra le ultime pubblicazioni: *Sinopie. Architectura ex atramentis*, Die Neue Sachlichkeit, Köln (D), *Fogli. Scritture per l'architettura*, Didapress, Firenze.

fabrizio.arrigoni@unifi.it

Costanza Bigi

Laureata in Architettura presso l'Università degli Studi di Firenze con una tesi sullo studio sperimentale della terra cruda additivata con la lolla (fibra naturale) come materiale da costruzione e su un progetto di un centro civico nel paese di Cepitá, in Colombia. Tale tesi è risultata meritevole di lode e di Dignità di Pubblicazione. Lo studio è stato eseguito in seguito ad un periodo di permanenza, della durata di quattro mesi, svolto nella città di Bucaramanga, nella regione di Santander. Tale studio è stato utile per acquisire una maggiore conoscenza dei vantaggi della terra come materiale da costruzione e della cultura colombiana. Indirizzo

mail: costanza.bigi@gmail.com

Stefano Cartesio

Si laurea in Architettura presso l'Università degli Studi di Firenze (Italia) con lode e dignità di stampa con una tesi sperimentale e progettuale riguardante le capacità meccaniche della terra cruda (adobe) additivata con fibre vegetali (lolla di riso) ed il progetto di un centro civico nel paese di Cepitá. Tale studio è stato possibile grazie ad un periodo di permanenza in Colombia della durata di quattro mesi nella regione di Santander, in particolare presso la città di Bucaramanga. Lo studio ha avuto lo scopo di indagare i caratteri e le possibilità di un materiale naturale come la terra cruda, ad oggi ancora non adeguatamente valorizzato. Indirizzo

mail: stefano.cartesio@gmail.com