

## Costruire in Terra Cruda: studio strutturale ed energetico di un progetto pilota Inti Wasi a Livitaca, Perù

Questo lavoro nasce da una collaborazione internazionale con le ONLUS, Ingegneria Senza Frontiere e Amici del Perù e lo studio di progettazione ArchitetturaxSostenibilità.

Il progetto di cooperazione nasce nel 2010 con il nome di “INTI YATRAI WASI” (in quechua Casa dell’Apprendimento Solare) e riguarda la formazione della popolazione della zona di Livitaca, distretto della regione di Cusco in Perù situata a 3800 m s.l.m, attraverso l’attivazione di un cantiere scuola per la costruzione di un piccolo edificio in adobe (argilla cruda), al quale applicare accorgimenti, economici e di facile realizzazione, mirati al guadagno solare passivo per migliorare le condizioni climatiche interne.

Il progetto di tesi riguarda la costruzione di un edificio a due piani; lo studio è stato condotto con l’obiettivo di focalizzare le problematiche di resistenza al sisma e al regime climatico presente nel sito analizzato per poter fornire alcune soluzioni strutturali e costruttive atte a migliorare le condizioni statiche e di comfort termico dell’edificio, nonché la qualità di vita delle persone.

Per poter progettare con questo tipo di tecnica costruttiva, è stato necessario affrontare uno studio conoscitivo delle costruzioni in adobe, termine derivante dall’arabo *al-tub* (mattoni), tecnica tra le più conosciute e diffuse come muratura portante formata da mattoni di terra misti ad una percentuale di paglia. Le costruzioni in Perù sono per lo più vernacolari e le tecniche tramandate di padre in figlio, utilizzando legno, argilla e adobe e combinazioni di questi materiali localmente disponibili.

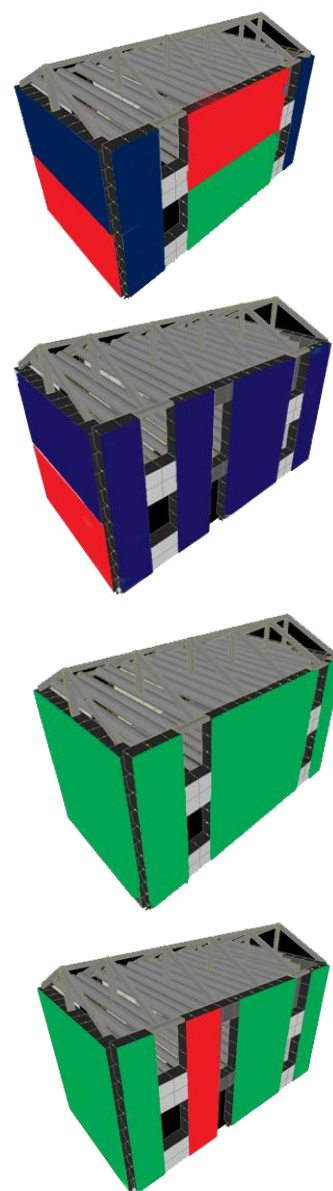
Il Perù rientra in quel gruppo di stati maggiormente colpiti da terremoti e, nonostante questi rappresentino solo il 13% dei disastri naturali riportano il 53% delle vittime tra il 1970 e il 1999 . A livello normativo, sono stati fatti degli studi dal 1977 fino al 2000, anno in cui viene redatta la normativa *Norma tecnica de edificación de adobe E.80*. In queste murature, la rottura risulta come combinazione delle fessure a tensione diagonale nel mattone e delle fessure nel giunto malta-mattone. La resistenza a trazione della muratura è controllata principalmente dalla resistenza all’aderenza fra mattone e malta e, per sollecitazioni a flessione e taglio, presenta, dopo la prima fessurazione, deformazioni con capacità dissipative. La muratura è considerata elemento fragile, limitando la sua resistenza laterale agli sforzi ammissibili senza considerare il comportamento anelastico.

Attraverso un workshop è stata studiata l’idoneità della terra per il confezionamento degli adobe e, in seguito, sono state realizzate due serie di mattoni secondo le tecniche di fabbricazione non

meccanizzate. Mattoni e terra sono stati trasportati nei laboratori dell'Università di Pisa dove sono state eseguite le prove geotecniche, attraverso la definizione della curva granulometrica, dei limiti di Atterberg e del peso specifico di ogni provino di terra, per poter in seguito confrontarle con quelle effettuate durante il workshop, riscontrando una soddisfacente relazione. Nel laboratorio del Dipartimento di Strutture, sono state eseguite prove a compressione su muretto e mattoni per la caratterizzazione meccanica del materiale. Il muretto è stato confezionato nel rispetto delle prescrizioni della normativa peruviana per la progettazione sismica. Successivamente sono state fatte le prove sul mattone singolo per determinarne la resistenza. Sono stati presi sei mattoni per tipologia, e hanno riportato risultati abbastanza concordi, nonostante l'approssimazione in fase di realizzazione. Vanno sottolineate le cause per le quali i valori riportano piccole discordanze: va ricordato che i mattoni non sono stati eseguiti con processo meccanizzato, ma manuale e da manualità diverse. Sono stati pesati per determinarne il peso specifico. La prova di compressione assiale a lati liberi è stata eseguita secondo i metodi tradizionali, senza però prelevarne un campione vista l'eterogeneità dell'elemento.

| Fonte/prova | Resistenza a compressione muretto [Kg/cm <sup>2</sup> ] | Resistenza a compressione mattone [Kg/cm <sup>2</sup> ] |
|-------------|---|---|
| Aveiro      | 11,53   | 18,35   |
| PUCP        | 8,56  | 12,23   |
| Los Andes   | -   | 12,23   |
| Studio      | 12,75   | 16  |

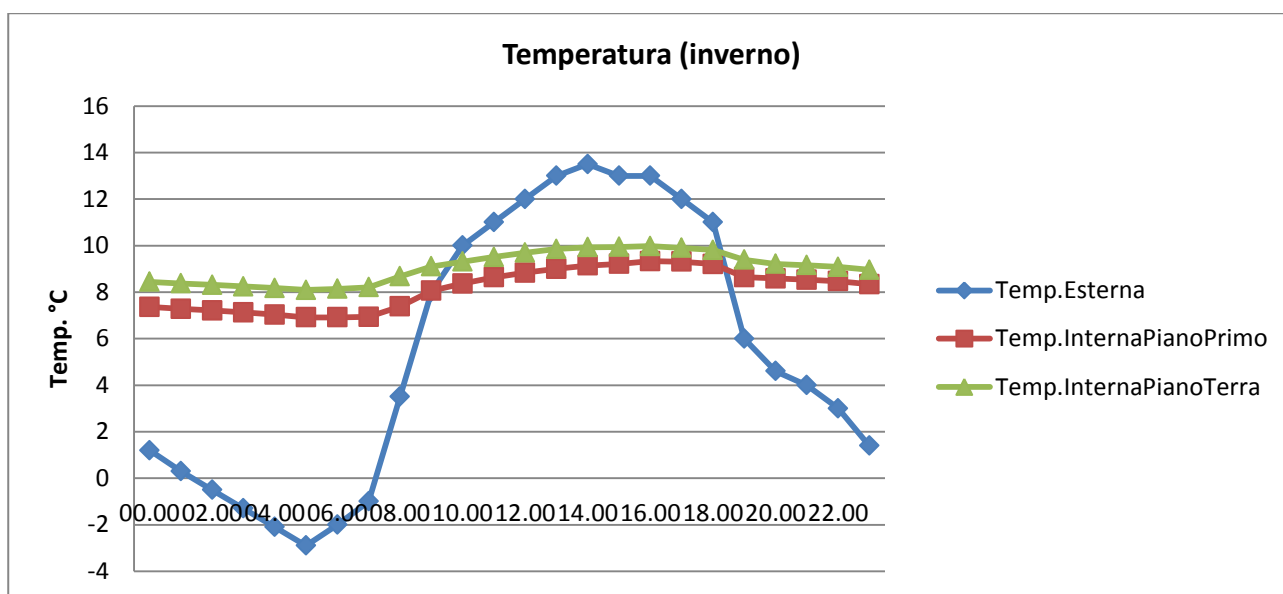
Raccolti tutti i dati necessari, è stato definito un modello strutturale sul programma SAP2000 per poter determinare gli sforzi agenti sulla struttura e di conseguenza fare le verifiche dei maschi murari, secondo le norme vigenti in Italia essendone carente la normativa peruviana, a pressoflessione fuori e nel piano e a taglio. La muratura non soddisfa le verifiche; per risolvere il problema, è stata introdotta un'armatura in bambù, con tre canne accoppiate di diametro 20mm a passo 32cm

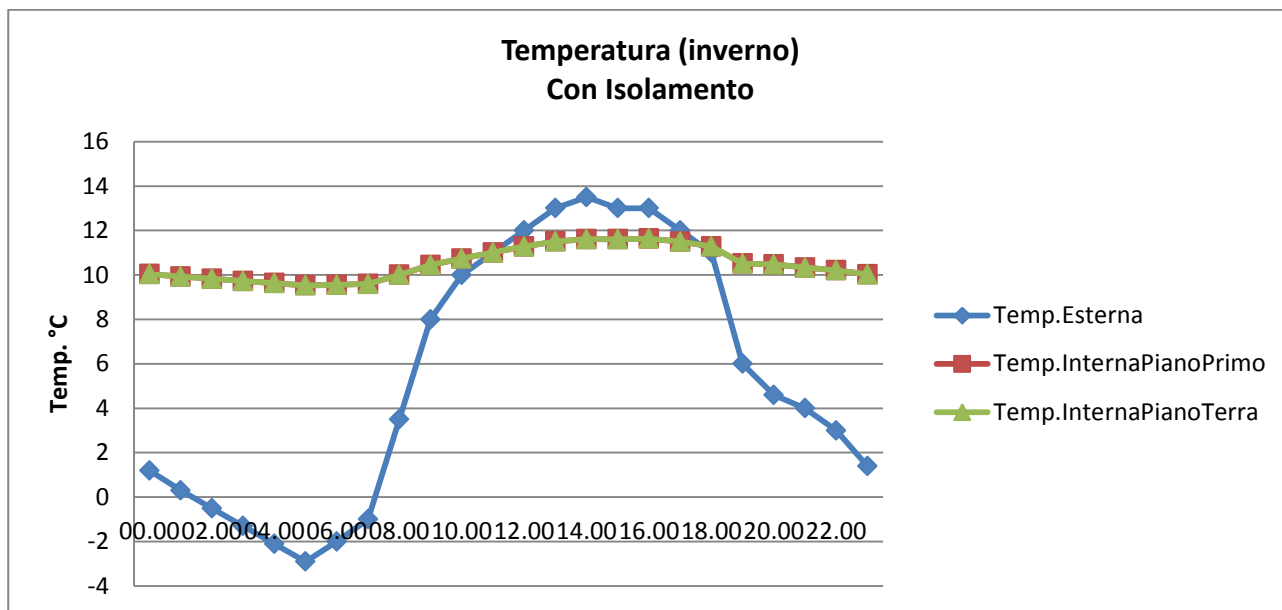


■ non verificato a TAGLIO  
■ non verificato a FLESSIONE  
■ VERIFICATO

all'interno della muratura.

Nella seconda parte di questo lavoro si è preso in esame il benessere termico dell'edificio ricercando le condizioni climatiche, in particolare quelle della zona di Cusco. Cusco ha un clima subtropicale altopiano (Köppen CWB), con due stagioni definite: la stagione secca da aprile ad ottobre, con sole abbondante, e occasionali gelate notturne (media di 9,6 °C), la stagione delle piogge da novembre a marzo (medie di 13,4°C) . L'uso dei mattoni in adobe si rivela particolarmente adatto per la realizzazione di tamponamenti esterni dell'edificio nelle zone climatiche nelle quali sono presenti escursioni termiche particolarmente accentuate. Le caratteristiche termofisiche del materiale, in particolare il valore di diffusività [m<sup>2</sup>/s] permettono di apprezzare un notevole sfasamento orario dell'onda termica: il calore accumulato di giorno e disperso (con considerevole ritardo e attenuazione della temperatura diurna) durante tutta la notte garantiscono, al mattino successivo, di usufruire di un buon livello di comfort termico. Per studiare il comportamento in regime dinamico dell'edificio è stato realizzato un modello con l'ausilio del simulatore EnergyPlus. I dati climatici sono stati presi dal database del programma, utilizzando quelli relativi alla città di Lapaz (Bolivia) e quelli del materiale da letteratura o ricavati da prove specifiche di laboratorio. L'edificio viene simulato in condizioni di evoluzione libera, inizialmente ipotizzando l'assenza d'isolamento, e in seguito, con uno strato di canniccio esterno, dopo aver dimostrato attraverso una piccola simulazione che lo strato esterno è la posizione ottimale dove porre il canniccio di isolamento in spessore di 0,06 m (unità di misura locale di circa due pollici).





Con l'inserimento di uno strato esterno di canniccio si può vedere come in entrambe le zone, piano terra e piano primo, ci sia una variazione di temperatura di 2-3°C in ogni ora del giorno e come la temperatura vada uniformandosi in tutto l'edificio. L'introduzione di uno strato esterno di canniccio è molto favorevole per quanto riguarda il comportamento invernale, aumentando la temperatura interna del locale, riducendo le dispersioni verso l'esterno e favorendo l'accumulo di radiazione solare captata dai componenti trasparenti. In estate la presenza del canniccio comporta una diminuzione delle dispersioni, ma questo non si traduce in un guadagno di temperatura interna.

Dallo studio è emerso che la terra cruda non è il materiale costruttivo migliore in zone ad alto rischio sismico e con grande escursione termica giorno-notte. L'intento di questa tesi è tuttavia non proporre altre tecniche costruttive agli abitanti di Livitaca, ma migliorare con **soluzioni sostenibili** quelle esistenti nel rispetto della **tradizione** e della **cultura** del luogo in cui si è operato. Attraverso l'inserimento di un'armatura in bambù ed uno strato di canniccio esterno è possibile aumentare la resistenza delle costruzioni e migliorare il comfort interno dell'edificio; tutto questo si traduce in una miglior vivibilità delle costruzioni da parte dei fruitori e quindi miglioramento delle condizioni di vita.