

Obiettivi della ricerca

L'approccio scientifico applicato allo studio delle *architetture in terra cruda* ha permesso di elaborare alcuni risultati inerenti la loro qualità tecnica con lo scopo di trovare corrispondenze o mancanze relativamente alle prescrizioni dettate dalle vigenti normative sul risparmio energetico in edilizia e per dare una risposta *quantitativa* al benessere termico degli ambienti confinati realizzati con la tecnica costruttiva dell'adobe ancora *priva di normative nazionali* che valorizzino questa *tradizione* per incentivarne sia la conservazione che le costruzioni *ex-novo*.

Le riflessioni sulle informazioni acquisite dalla ricerca bibliografica hanno contribuito a fissare l'obiettivo della Ricerca, ovvero dimostrare la validità di una struttura muraria in *adobe* nella stagione estiva tramite simulazioni analitiche, numeriche e dati sperimentali ricavati dal monitoraggio di un edificio in terra cruda: *Casa Mancosu*.

Il monitoraggio di questa abitazione, eseguito tra luglio e agosto 2010, si è reso utile sia per l'analisi del *benessere termico* dell'ambiente confinato, sia per l'affinamento delle simulazioni dinamiche: la strumentazione e il supporto tecnico all'acquisizione dei dati sono stati forniti dal *Laboratorio di Efficienza Energetica*, appartenente al Cluster delle Energie Rinnovabili di Sardegna Ricerche.

1_Sommario

DOTTORATO DI RICERCA

LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEGLI EDIFICI. “Diagnosi energetica delle Architetture di Terra: analisi del comportamento termico in regime dinamico di una muratura in adobe e misura del benessere termico di un edificio realizzato con l'utilizzo del mattone crudo”.

La tecnica costruttiva dell'*adobe* (mattone di terra cruda realizzato con una miscela di terra e paglia, forgiato con stampi in legno ed essiccato al sole), appartiene tanto alla nostra tradizione nazionale (in particolare alla Sardegna) quanto al sapere costruttivo mondiale sia storico (patrimonio tutelato dall'UNESCO) che contemporaneo (nuove costruzioni in Germania, Francia, Australia,

Africa, America). Le prime analisi condotte in regime stazionario su un edificio storico in adobe (*Casa Asquer*, Comune di Musei - CI) hanno rilevato interessanti prestazioni termiche dell'involucro nella stagione estiva. Le conoscenze sulle prestazioni termofisiche del materiale sono state approfondite con una ricerca bibliografica relativa a studi e sperimentazioni sul mattone di terra cruda. Simulazioni analitiche in regime transitorio, eseguite tramite un modello matematico basato sull'approssimazione ad un comportamento sinusoidale di tutte le grandezze agenti sul sistema (temperatura esterna, temperatura interna, radiazione solare), confermano l'elevata inerzia termica di una muratura realizzata in *adobe*, che risponde con una buona capacità di smorzamento e di attenuazione dell'onda termica a partire dai trenta centimetri di spessore. L'analisi del benessere termico condotta con l'ausilio dei dati sperimentali ricavati dal monitoraggio di un edificio esistente (*Casa Mancosu*, Comune di Serramanna - CI) ha confermato che in un ambiente in evoluzione libera, durante la stagione estiva, se l'involucro non presenta elementi costruttivi energeticamente deboli, si registrano valori di comfort termico che rientrano all'interno delle classi di benessere dettate dalla normativa UNI EN ISO 7730:2006. Le simulazioni numeriche condotte sulla base dei dati sperimentali hanno fornito un profilo idoneo a condurre azioni di retrofit energetico sull'involucro analizzato. Dall'analisi del benessere termico, la copertura risulta essere l'elemento costruttivo che crea maggiori condizioni di disagio termico. Si tratta di una copertura ventilata studiata tramite simulazioni numeriche di *Casa Mancosu* in regime invernale. La simulazione è stata condotta con l'introduzione di un modello matematico relativo al funzionamento di una copertura ventilata. È stato verificato il fabbisogno energetico dell'edificio con il canale di ventilazione aperto e col canale di ventilazione chiuso: risulta una differenza pari al 7,2% sui consumi totali. Con la tipologia costruttiva di questa copertura, poiché l'analisi di *Glaser* verifica l'assenza di condensa, lo studio effettuato suggerisce l'adozione di chiusure meccaniche per un miglioramento in termini di consumi energetici. L'analisi di un eventuale impianto di raffrescamento per l'edificio monitorato ha messo in luce il basso contributo richiesto dalle pareti disperdenti opache (*metodo Carrier*). L'analisi del fabbisogno energetico dell'edificio condotta sulla base delle norme UNI TS 11300:2008 e delle Linee Guida del D.M. 26/06/2009 fornisce una classe energetica E per l'inverno e una classe I per le prestazioni estive dell'involucro termico. Le riflessioni su questi risultati portano alla necessità di un miglioramento delle normative sulla classificazione energetica in modo che possano essere incluse anche le qualità ecologiche relative all'energia grigia utilizzata per la produzione dei materiali edili.

La tecnica costruttiva dell'adobe, nei contesti in cui può essere applicata, risulta avere ottime prestazioni energetiche in regime estivo e basse prestazioni energetiche in regime invernale, che dimostrano la necessità di migliorare la tecnica dotando la struttura muraria di una coibentazione esterna. I dati sperimentali relativi al monitoraggio di *Casa Mancosu* testimoniano un ambiente nel quale l'umidità si attesta sempre in valori compresi tra il 50 e il 60%: dalla ricerca bibliografica si evince come questa caratterizzazione dell'ambiente confinato possa essere attribuito al materiale stesso, portando in luce un argomento di grande interesse e da approfondire. L'ultima parte della ricerca svela, attraverso alcuni costi di costruzione e il lavoro delle ONG, come progetti internazionali legati a questa tecnica costruttiva possano dar luogo ad importanti risvolti sociali.

2_Résumé

DOCTORAT DE RECHERCHE

LES BATIMENTS POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE. "Analyse énergétique des Architecture de Terre: comportement thermique en régime dynamiques d'une maçonnerie en adobe et confort thermique d'un environnement intérieur réalisé avec les briques en terre crue".

La technique constructive de l'adobe (brique de terre réalisée avec un mélange de terre et paille, forgé par moules en bois et séchées au soleil), fait partie de la tradition nationale italienne (surtout de la *Sardegna*) soit que du savoir faire mondiale (patrimoine de l'UNESCO), soit de l'architecture contemporaine (nouveau construction en Allemagne, France, Australie et Amérique). Les premières analyses conduites, en conditions de régime stationnaire, sur un bâtiment historique en adobe (par exemple en Sardegna: 'Casa Asquer', Ville de 'Musei' - CI) ont permis de voir intéressantes caractéristiques thermiques de l'enveloppe du bâtiment en été. Les connaissances sur le caractéristiques thermiques du matériau adobe ont été développées par une recherche bibliographique relativement à une recherche bibliographique qui concerne des études et expérimentations sur ce matériau. Les simulations analytiques en condition de régime *dynamique* réalisées par un model mathématique qui suppose que toutes les composants du système sont des courbes sinusoïdales (température extérieure, température intérieure, radiation solaire), montrent la grande inertie thermique d'une maçonnerie en adobe qui réponde avec une

valeur positive d'amortissement et d'atténuation de l'onde thermique à partir de trente centimètres d'épaisseur.

L'analyse du confort thermique effectuée avec les données expérimentales gagnés du monitoring d'un bâtiment existant ('*Casa Mancosu*', Ville de Serramanna - CI) démontre qu'un environnement qui n'utilise aucun système de climatisation en été, si tout l'enveloppe du bâtiment n'a pas des éléments énergétiquement fragiles, il a des valeurs de confort thermique qui sont à l'intérieure de classes de confort thermique dictées par les normes UNI (UNI EN ISO 7730:2006). Les simulations numériques exécutés à partir des données expérimentales du monitoring ont fourni un profil apte à mener des actions concrètes d'amélioration énergétique sur l'enveloppe analysée.

A partir de l'analyse du confort thermique nous avons trouvé que la couverture est l'élément constructive plus fragile et celui qui crée de malaise thermique. Elle est une couverture ventilée qui a suscité l'intérêt de fournir des simulations numériques de la '*Casa Mancosu*' en régime d'hiver. La simulation a été conduite avec l'introduction d'un model mathématique pour l'étude de la couverture. Pendant l'hiver le besoin en énergie du bâtiment a été calculé soit que avec un conduit de ventilation ouvert soit que avec un conduit fermé. La différence c'est du 7,2 % sur la consommation d'énergie totale. C'est à dire que avec la typologie constructive de la '*Casa Mancosu*', en considérant que l'analyse de Glaser a vérifié l'absence de condensation, l'étude effectuée suggère l'adoption des dispositifs mécanique qui ferment le conduit de ventilation en hiver, pour consommer moins d'énergie. L'analyse d'un possible système de climatisation pour le bâtiment monitoré a démontré le faible contribution des surfaces dispersantes en adobe.

L'analyse de besoins énergétique, de la '*Casa Mancosu*', réalisée avec les normes UNI TS 11300 e D.M. 26/6/2009 donne une classe énergétique E pour l'hiver et une classe 1^a pour l'été. Les réflexions sur ces résultats conduisent au besoin d'améliorer les normes sur la classification énergétique en sorte que aussi les caractéristiques écologiques sont considérées. La technique constructive de l'adobe, quand on peut l'appliquer, a des propriétés énergétiques positives pour l'été et autres qui ne sont pas suffisantes pour l'hiver. Ce résultats démontre que la technique doit être améliorée avec un couche d'isolation sur la surface extérieure de la maçonnerie en adobe.

Les données expérimentales du monitoring de la '*Casa Mancosu*' démontrent que l'environnement intérieure, il a une valeur d'humidité constante entre le 50 et le 60%. Ce résultat est

en accord avec celui de la littérature et il fait voir un argumentation qui est très intéressante et qu'il doit être encore étudié.

La dernière partie de cette thèse révèle, avec quelque couts de construction et avec le travaille des ONG, que les projets internationales, dans les pays en développement, faites avec la technique constructive de la terre crue ils peuvent apporter des résultats importants dans le domaine social.

3_Abstract

DOCTOR OF PHILOSOPHY

BUILDINGS ENVIRONMENT SUSTAINABILITY. “Energetic diagnosis of clay architectural: assessment of thermal behaviour in dynamic conditions of an adobe masonry and measurement of thermal comfort of an unfired brick building”.

The construction technique of the adobe (brick made of clay with a mixture of land and straw, forged with wooden molds and sunny dried) belongs to our National tradition (especially Sardinia) and to the worldwide building knowledge both historical (heritage protected by UNESCO) and contemporary (new development in Germany, France, Australia, Africa). The first analysis conducted under steady state conditions of a historical building made by adobe (*Casa Asquer*, City of Musei-CI) have found an interesting thermal performance envelope in summer. The knowledge on the thermophysical material performance have been deeply studied through an interesting literature review, including analytical studies and experiments performed on brick clay. Analytical simulations performed using a transient model based on the assumption of sinusoidal behaviour of all the parameters acting on the system (e.g., external temperature, internal temperature, solar radiation) confirmed the high thermal inertia of a wall made of adobe and the good ability in damping the thermal wave, starting from a thickness of 30 cm. The analysis of thermal comfort, conducted with the help of experimental data obtained monitoring an existing building (*Casa Mancosu*, City of Serramanna-CI), has confirmed that the thermal comfort values are within the thermal comfort classes, as indicated by UNI EN ISO 7730:2006 in the case of absence of mechanical cooling in Summer and absence of weak (from the thermal point of view) structural elements. The numerical simulations conducted on the basis of the experimental data have provided profitable results on

possible retrofit actions. The analysis of thermal comfort shows that the roof is the thermally-weak component, creating higher discomfort. The adopted roof structure is a ventilated cover, whose behaviour is worth to be investigated also in Winter conditions. The simulation was conducted adopting a suitable mathematical model, aimed at evaluating the performance of a ventilated roof. The house energy requirements (during Winter) have been verified both with open and closed channel ventilation configuration. A difference of 7.2% of the total consumption has been computed. Choosing the closed channel roof type, the analysis of Glaser confirms the absence of condensation. Thus, the study suggests the adoption of closing doors for the air channel, to improve the energy performance. The sizing (by Carrier method) of the air conditioning system for the monitored house shows the low contribution of the opaque walls to the overall building needs. The energy class of the building is determined on the basis of UNI TS 11300:2008 and DM 26/6/2009. It results in class *E* for the winter season and *Ist* class for the summer. Despite the quite poor results, it should be mentioned that the applied guidelines do not take into account the ecology of the adobe. The adobe is a 'green' and locally-available material, which needs a low amount of energy to be manufactured, rather than classical building materials. The introduction into the mentioned guidelines of parameters related to the ecology of the building materials is hence desirable.

The construction technique of the adobe, in contexts where it can be applied, appears to have excellent energy performance during summer and a rather low energy performance during winter, showing the need of improvement, especially considering an external insulation. The experimental data coming from the monitoring of *Casa Mancosu* show an environment in which the humidity stays between 50 and 60%: literature research suggests that this characteristic is typical of the adopted material. Additional investigation should be done on this respect to fully understand the behaviour of adobe brick. The last part of the present research deals with the positive social implication related to the adobe building construction. Cost estimation, *Non Governative Organization* data and other International Projects conducted in developing Countries support this conclusion.