WASTELOPE

STRATEGIE D'IMPIEGO DEGLI SCARTI COME MATERIALI COSTRUTTIVI:
L'involucro edilizio per il conseguimento sostenibile del comfort ambientale

In Copertina:
Arcipelago fluviale di Mariuá. Rio Negro. 2019. Sebastião Salgado

Sapienza Università di Roma
Dottorato di Ricerca in Ingengeria dell'Architettura e dell'Urbanistica

WASTELOPE

STRATEGIE D'IMPIEGO DEGLI SCARTI COME MATERIALI COSTRUTTIVI:
L'involucro edilizio per il conseguimento sostenibile del comfort ambientale

PhD candidate:
Arianna Peduzzi

Tesis Supervisors:
Prof. Ing. Carlo Cecere, Prof. Ing. Marco Ferrero

Tesis co-advisors:
Prof. Arch. Mercedes del Rìo Merino, PhD Annalisa Franco

Indice

Abstract 8

1. Introduzione 13

1.1. L'architettura sostenibile 15
1.1.1. Linee di ricerca e temi 16
1.1.2. Lo studio dei materiali 18
1.1.3. Il ruolo dell'edilizia esistente e del suo efficientamento 20
1.2. Malta cementizia 23
1.2.1. Elementi costitutivi e processo di formazione della pasta 23
1.2.2. Produzione 27
1.2.3. Considerazioni 28
1.3. Intonaco di gesso 32
1.3.1. Elementi costitutivi e processo di formazione della pasta 33
1.3.2. Produzione 34
1.3.3. Considerazioni 36
1.4. Canapa 36
1.4.1. Storia dell'uso 39
1.4.2. Produzione 42
1.4.3. Applicazioni 43
1.4.4. Problematiche ed impedimenti 46
1.5. Residui da costruzione e demolizione (C&D) 47
1.5.1. Generazione dei rifiuti da demolizione 50
1.5.2. Trattamento e procedure di riciclaggio 53
1.5.3. I residui ceramici 56
1.5.4. Applicazioni 57
1.5.5. Problematiche ed impedimenti 58
1.6. Conclusioni parziali 59
Bibliografia del capitolo 61

2. Stato dell'Arte 71

2.1. Malte di rivestimento: sostituzione dei componenti nelle paste 72
2.1.1. L'uso dei rifiuti come inerte 72
2.1.2. Rifiuti agro-industriali 79
2.1.3. La canapa 81
2.2. Intonaci di gesso di rivestimento: addizione di componenti nelle paste 98
2.2.1. L'addizione di materie prime 99
2.2.2. L'addizione di rifiuti agro-industriali 100
2.2.3. L'addizione di rifiuti da costruzione e demolizione 102
2.2.4. L'addizione di rifiuti ceramici 103
2.3. Strategie di assorbimento di inquinanti 105
2.3.1. Materiali adsorbenti 106
2.3.2. Elementi costruttivi biorecettivi 108
2.4. Conclusioni parziali 113
Bibliografia del capitolo 116

3. Casi di Studio 131

3.1. Scuola Media Statale "Carlo Alberto dalla Chiesa" 132
3.1.1. Evoluzione storica 133
3.1.2. Caratteristiche costruttive 133
3.2. Real Colegio "Nuestra Señora de Loreto" 134
3.2.1. Evoluzione storica 135
3.2.2. Caratteristiche costruttive 136
Bibliografia del capitolo 137

4. Obiettivi 139

5. Metodologia e Strumenti 143

5.1. OS1. Scelta dei principi condizionanti e definizione del campo di interesse della tesi 145
5.1.1. F1. Scelta dei materiali di scarto 145
5.1.2. F2. Definizione dei parametri e dei prinicpi condizionanti il lavoro di studio 147
5.2. OS2. Studio dello strato esterno 147
5.2.1. F1. Preparazione e caratterizzazione dell'aggregato di riciclo: canapa 148
5.2.2. F2. Caratterizzazione preliminare del conglomerato 151
5.2.3. F3. Confronto tra i risultati ottenuti e scelta del conglomerato 156
5.2.4. F4. Caratterizzazione del conglomerato selezionato 156
5.2.5. F5. Scelta delle possibilità di impiego e valutazione della riciclabilità 159
5.3. OS3. Studio dello strato interno 160
5.3.1. F1. Preparazione del materiale di scarto: laterizio da CW 160
5.3.2. F2. Caratterizzazione preliminare del conglomerato 162
5.3.3. F3. Confronto tra i risultati ottenuti e scelta del conglomerato 165
5.3.4. F4. Caratterizzazione del conglomerato selezionato 165
5.3.5. F5. Scelta delle possibilità di impiego e valutazione della riciclabilità 168
5.4. OS4. Studio delle soluzioni tecnologiche 169
5.4.1. F1. Progettazione degli elementi di involucro 169
5.5. OS5. Applicazione sui casi di studio 170
5.5.1. F1. Individuazione dei casi studio 170
5.5.2. F2. Applicazione sui casi studio 170
5.5.3. F3. Valutazione dell'impatto dei materiali studiati sull'edificato esistente 171
Bibliografia del capitolo 172

6. Risultati 175

6.1. OS2. Studio dello strato esterno 176
6.1.1. F1. Preparazione e caratterizzazione dell'aggregato di riciclo: canapa 176
6.1.2. F2. Caratterizzazione preliminare del conglomerato 178
6.1.3. F3. Confronto tra i risultati ottenuti e scelta del conglomerato 184
6.1.4. F4. Caratterizzazione del conglomerato selezionato 187
6.1.5. F5. Scelta delle possibilità di impiego e valutazione della riciclabilità 209
6.1.6. Conclusioni parziali 212
6.2. OS3. Studio dello strato interno 217
6.2.1. F2. Caratterizzazione preliminare del conglomerato 217
6.2.2. F3. Confronto tra i risultati ottenuti e scelta del conglomerato 222
6.2.3. F4. Caratterizzazione del conglomerato selezionato 223

6.2.4. F5. Scelta delle possibilità di impiego e valutazione della riciclabilità 242
6.2.5. Conclusioni parziali 244
6.3. OS4. Studio delle soluzioni tecnologiche 247
6.3.1. F1. Progettazione degli elementi di involucro 247
6.3.2. Conclusioni parziali 254
6.4. OS5. Applicazione sui casi di studio 255
6.4.1. F2. Applicazione sui casi studio 255
6.4.2. F3. Valutazione dell'impatto dei materiali studiati sull'edificato esistente 256
6.4.3. Conclusioni parziali 259
Bibliografia del capitolo 260

7. Conclusioni 263

8. Sviluppi Futuri 271

9. Postfazione 275

10. Allegato 1: Prove Sperimentali 281
10.1. Prove condotte sui residui 282
10.1.1. Caratterizzazione del canapulo 282
10.2. Prove condotte sui composti 284
10.2.1. Preparazione delle paste 284
10.2.2. Analisi del conglomerato: Prove preliminari 286
10.2.3. Caratterizzazione del conglomerato selezionato 288
Bibliografia del capitolo 299

11. Allegato 2: Risultati Estesi 301
11.1. OS2. Studio dello strato esterno 302
11.1.1. F2. Caratterizzazione preliminare del conglomerato 302
11.1.2. F4. Caratterizzazione del conglomerato selezionato 317
11.1.3. F5. Scelta delle possibilità di impiego e valutazione della riciclabilità 340
11.2. OS3. Studio dello strato interno 356
11.2.1. F2. Caratterizzazione preliminare del conglomerato 356
11.2.2. F4. Caratterizzazione del conglomerato selezionato 371
11.2.3. F5. Scelta delle possibilità di impiego e valutazione della riciclabilità 387

Abstract

La ricerca è nata dall'osservazione dei macro-fenomeni che stanno interessando attualmente l'ambiente costruito.

Negli ultimi decenni il fenomeno di urbanizzazione ha da una parte fatto crescere in maniera esponenziale la richiesta di materie prime per la produzione di materiali edili, evidenziando i limiti di sostenibilità degli attuali processi produttivi dei materiali stessi, dall'altra ha reso inoltre le città sempre meno salubri.

Parallelamente si è osservato che lo studio di soluzioni per lo smaltimento dei rifiuti produttivi, che è ormai questione al centro dell'agenda di governi e industrie, costituisce una delle criticità ambientali più rilevanti.

Alla luce di ciò, la tesi si propone di individuare una soluzione a queste problematiche, coniugandole con i principi di sostenibilità ed economia circolare. L'idea è quella di progettare nuovi elementi tecnologici che siano in grado di influire positivamente sulla salubrità e sul comfort dello spazio costruito.

L'obiettivo principale di questa tesi è quindi quello di verificare la realizzabilità di un involucro opaco sostenibile, dotato di un'impronta di carbonio ridotta, in grado di contribuire in maniera positiva alla qualità e al comfort all'interno e all'esterno degli edifici in cui risulti applicato.

Per il raggiungimento di tale obiettivo si è prevista la definizione di un programma sperimentale, volto all'analisi delle caratteristiche dei materiali e alla valutazione della loro fattibilità, e la definizione di una fase applicativa, volta ad analizzare i possibili benefici ottenibili dall'impiego dei materiali studiati sugli oggetti architettonici finiti.

Il programma sperimentale è articolato su due obiettivi specifici; il primo focalizzato sulla definizione di uno strato esterno, a base di malta, realizzato mediante il ricorso ad uno scarto di provenienza agro-industriale, il canapulo, come sostituto dell'inerte, e additivato con gel di silice; il secondo centrato sulla definizione di uno strato interno, a base di intonaco, realizzato mediante aggiunta di uno scarto proveniente da operazioni di costruzione e demolizione, ovvero la chamotte, e additivato sempre con il gel di silice. Il programma sperimentale consta di cinque fasi utilizzate sia per l'analisi dello strato esterno che per quella dello strato interno. La prima fase riguarda lo studio del materiale di scarto inserito nella pasta. La seconda si focalizza sulla caratterizzazione preliminare dell'impasto, ed è strumentale alla terza fase, ovvero la scelta del conglomerato oggetto di studio, successivamente caratterizzato nella fase quattro, a completamento della quale, nella fase cinque, se ne definiscono le possibilità di impiego.

La fase applicativa è articolata anch'essa in due obiettivi specifici, che riguardano rispettivamente la progettazione di elementi costruttivi, realizzati con i materiali precedentemente definiti, in accordo con quanto verificato nel completamento del programma sperimentale, e la verifica dell'apporto degli elementi di involucro studiati, mediante l'applicazione degli stessi a due casi di studio tramite modellazione.

I risultati ottenuti mostrano la fattibilità dell'impiego dei materiali di scarto in entrambi i composti, realizzando così materiali di finitura più sostenibili che possano essere impiegati per la realizzazione

di elementi di rivestimento interno ed esterno e che offrano così la possibilità di valorizzazione degli scarti.

In particolare con riferimento alla malta si dimostra come il canapulo sia in grado di fornire un alleggerimento del composto, una buona durezza superficiale, un miglioramento della conduttività termica, buona resistenza al fuoco diretto, riduzione dell'altezza di risalita capillare. In aggiunta l'addizione superficiale di gel di silice conferisce al materiale composito proprietà di assorbimento degli inquinanti. Infine, è stata dimostrata la possibilità di reimpiego del materiale stesso per la produzione dello stesso composto.

Mentre l'inserimento di chamotte nell'intonaco migliora sensibilmente le resistenze meccaniche del composto, riduce l'assorbimento del vapore acqueo e l'altezza di risalita di acqua per capillarità. Inoltre, l'addizione del gel di silice consente di produrre materiali con un alto grado di assorbenza nei confronti degli inquinanti.

Per quanto riguarda l'applicazione, dai risultati emerge come l'addizione degli elementi costruttivi di progetto riduca sensibilmente i consumi per il riscaldamento, mentre abbia risultati discordanti in termini di consumi per il raffrescamento.

The research was born from observing the macro phenomena currently affecting the built environment. In recent decades, the phenomenon of urbanisation: firstly, has made the demand for raw materials for the production of building materials grow exponentially, highlighting the limits of sustainability of the current production processes of the materials themselves; secondly, it has also made the cities less and less healthy. At the same time, the study of solutions for the disposal of production waste, which is now an issue at the centre of the Agenda of governments and industries, constitutes one of the most significant environmental problems. In light of this, the thesis aims to identify a solution to these problems, combining them according to the sustainability and circular economy principles. The idea is to design new technological elements that can positively affect the health and comfort of the built space. Therefore, the main objective of this thesis is to verify the feasibility of a sustainable opaque envelope with a reduced carbon footprint, capable of contributing positively to the quality and comfort inside and outside the buildings in which it is applied. In order to achieve this objective, an experimental program aimed at analysing the characteristics of the materials and assessing their feasibility was envisaged, and an application phase was defined, aimed at investigating the possible benefits obtainable from the use of the materials previously characterised on finished architectural objects. The experimental program is articulated on two specific objectives; the first focused on defining an external layer, based on mortar, made by resorting to a waste of agro-industrial origin, the hemp, as a substitute for the aggregate, and added with silica gel; the second centred on the definition of an internal layer, based on plaster, made by adding waste from construction and demolition operations, the chamotte, and silica gel. The experimental program consists of five phases used both to analyse the outer layer and the inner layer. The first phase concerns the study of the waste material inserted in the mix. The second focuses on the preliminary characterisation of the mixture and is instrumental to the third phase: the choice of the conglomerate, subsequently characterised in phase four, upon completion of which, in phase five, the possibilities of use are defined. The application phase is also divided into two specific objectives, which respectively concern the design of construction elements, made with the previously characterised materials, in accordance with what was verified in the completion of the experimental program; and verification of the contribution of the shell elements studied, by applying them to two case studies through modelling. The results obtained show the feasibility of using waste materials in both compounds, thus creating more sustainable finishing materials that can be used to produce internal and external cladding elements and therefore offer the possibility of enhancing the analysed waste. In particular, concerning the mortar, it is shown how the hurd is able to provide a lightening of the compound, a good surface hardness, an improvement in thermal conductivity, good resistance to direct fire, reduction of the rising capillary height. In addition, the surface addition of silica gel gives the material properties of absorption of pollutants. Finally, the possibility of reusing the material itself for the production of the same mix was demonstrated. On the other hand, the insertion of chamotte in the plaster significantly improves the mechanical strength of the compound; it reduces the absorption of water vapour and the rising height of the water by capillarity. Furthermore, silica gel addition makes it possible to produce materials with high absorbency towards pollutants.