

Borse di dottorato di ricerca finanziate da Regione Lombardia nell'ambito dell'Accordo di collaborazione con ENEA/Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo sostenibile (DGR n. 7792 del 17/01/2018 e 5321 del 4/10/2021).

POLITECNICO DI MILANO

Dottorato in: Ingegneria dei materiali

Chiara Moletti: Economia circolare nel settore delle costruzioni: recupero e valorizzazione dei materiali di scarto nella produzione di materiali sostenibili.

Abstract:

I materiali da costruzione contenenti aggregati vegetali sono soluzioni innovative, sviluppate per ridurre l'enorme impatto ambientale del settore delle costruzioni. Le emissioni inquinanti sono generate sia durante la produzione dei materiali che durante il funzionamento degli edifici, in particolare nel raffrescamento e riscaldamento delle strutture. In questo contesto, la ricerca si concentra su materiali caratterizzati da processi di produzione più sostenibili e da buone proprietà isolanti, tali da migliorare l'efficienza energetica degli edifici. Queste soluzioni a base naturale o vegetale sono possibili candidate per sostituire i materiali da costruzione tradizionali. In particolare, questi materiali sono caratterizzati dalla presenza di aggregati vegetali ottenuti dal recupero di biomasse agricole che sono quindi utilizzate come materia prima per uso edile. Di conseguenza, il processo di produzione segue i principi dell'economia circolare dato che un materiale che sarebbe un rifiuto viene recuperato ed acquisisce un valore aggiunto tramite un nuovo utilizzo. Questi materiali sono caratterizzati da eccellenti proprietà di isolamento termico e acustico grazie alla porosità e igroscopicità tipiche del materiale vegetale che contengono.

Questa tesi si concentra sul calcecanapulo, un materiale edile naturale ottenuto mescolando il canapulo, un legante minerale e acqua. L'aggregato vegetale deriva dal prodotto secondario della coltivazione della canapa industriale: lo stelo legnoso della pianta. Attraverso una semplice procedura di separazione della fibra dallo stelo, chiamata stigliatura, la parte legnosa della pianta viene tagliata in modo da ottenere canapulo che, se caratterizzato da una granulometria adatta, può essere utilizzato come aggregato in materiali per l'edilizia. Il legante minerale è tipicamente a base calce e costituisce la matrice del materiale composito chiamato calcecanapulo. La proporzione tra canapulo e legante dipende dall'applicazione finale (ad esempio intonaci, blocchi prefabbricati o getti in cantiere). L'attività di ricerca in situ è svolta in collaborazione con ENEA (Agenzia Italiana per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). Il progetto si concentra sulla determinazione delle prestazioni del calcecanapulo prodotto da un'azienda italiana; questo comprende la valutazione delle prestazioni del materiale in condizioni climatiche mediterranee.

La tesi presenta i risultati dei monitoraggi delle prestazioni termoigrometriche che sono stati svolti sia in laboratorio che in campo su pareti costruite in blocchi prefabbricati di calcecanapulo. Le stesse campagne sperimentali sono state ripetute dopo 3 anni rispetto alle prime che erano state svolte pochi mesi dopo la costruzione delle pareti. I monitoraggi sono stati ripetuti per studiare l'effetto della maturazione del calcecanapulo sulle sue prestazioni. In parallelo a queste prove sono state effettuate analisi periodiche di caratterizzazione tramite diffrazione ai raggi X (DRX) e termogravimetria (TG-DTG) per studiare l'evoluzione della carbonatazione del legante. Quest'ultima è fondamentale per lo sviluppo delle prestazioni termoigrometriche, della resistenza meccanica e della durabilità del materiale. Per questa ragione è stata effettuata anche un'analisi chimica per valutare l'avanzamento del processo di carbonatazione in diverse formulazioni di calcecanapulo. Inoltre, le isoterme di assorbimento e la conducibilità termica sono state misurate in laboratorio e i risultati sono stati utilizzati per l'elaborazione delle simulazioni numeriche. Queste ultime sono state ottenute con il software WUFI® che permette di simulare il comportamento termoigrometrico degli involucri edilizi in regime dinamico. Infine, sono state effettuate delle prove meccaniche con l'obiettivo di determinare il comportamento a rottura del materiale e valutare il modulo di Young di 4 diverse mescole utilizzate per

la produzione di blocchi prefabbricati in calcecanapulo. Tra le formulazioni studiate è compresa quella utilizzata per costruire le pareti citate in precedenza. Le prove meccaniche scelte sono prove triassiali che permettono di testare il materiale in condizioni simili il più possibile a quelle di servizio. Infine, è stata svolta l'analisi delle prestazioni ambientali di tre materiali edili a base canapa secondo la metodologia di valutazione del ciclo di vita LCA. Per svolgere quest'ultima analisi sono stati utilizzati i dati sulla carbonatazione ottenuti tramite la caratterizzazione del materiale svolta in laboratorio.

I blocchi in calcecanapulo hanno mostrato buone proprietà termoigrometriche nelle condizioni climatiche tipiche dell'area mediterranea, queste prestazioni si sviluppano nel tempo con la maturazione del materiale, che avviene tramite la carbonatazione del materiale. Quest'ultima è stata studiata tramite le analisi di caratterizzazione citate in precedenza. Per quanto riguarda le proprietà meccaniche, i risultati sperimentali confermano la possibilità di usare il calcecanapulo esclusivamente con funzione non portante, a causa del suo basso modulo di Young. L'analisi LCA ha dimostrato le buone prestazioni ambientali del materiale, che migliorano al decrescere del rapporto legante – aggregato, come nel caso delle formulazioni preparate per i riempimenti o gli intonaci.

Publicazioni

C. Moletti, P. Aversa, A.E. Losini, G. Dotelli, M. Woloszyn, V.A.M. Luprano. Hygrothermal behaviour of hemp-lime walls: the effect of binder carbonation over time. *Building and Environment*, 233, 2023, 110129, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110129>.

Congressi

- Settembre 2022. 14th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings SEB-22, organized by KES International, Split, Croatia. Title of the presentation: “Hemp-lime blocks innovative solution for green buildings in Italy”.
- Giugno 2021. 4th International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM2021), online conference organized by Barcelona School of Building Construction (EPSEB) of the Universitat PHD SCHOOL Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain. Title of the presentation: “Microstructural characterization of prefabricated hempcrete blocks”.
- Aprile 2021. Engineered Materials for Sustainable Structures '21 (EM4SS), online conference organized by University of Modena and Reggio Emilia (UNIMORE), Italy. Title of the presentation: “Triaxial tests on hempcrete for prefabricated blocks production”.
- Novembre 2020. Construction Digitalisation for Sustainable Development (CDS2020), online conference organized by National University of Civil Engineering (NUCE), Hanoi, Vietnam. Title of the presentation: “Numerical modeling of a hemp-lime blocks wall subject to horizontal in-plane loads”.
- Ottobre 2020. 15th International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBCM2020), online conference organized by Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, Spain. Title of the presentation: “Hempcrete Buildings: Thermo-hygrometric Behavior and Environmental Sustainability of Two Case Studies in North and South of Italy”.